

REGIONE PUGLIA  
PROVINCIA DI LECCE

Comune:  
Galatina

Località "San Vito"

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE FOTOVOLTAICA E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE - Potenza nominale **19.650,00 kWp in DC** e potenza in immissione di **17.000,00 kW in AC**

Codice Pratica Regione Puglia MHNQZC6

Sezione 9:

**CALCOLI PRELIMINARI STRUTTURE E IMPIANTI**

Titolo elaborato:

RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT

N. Elaborato: **9.2**

Scala:

Committente

**Galatina 2 S.r.l.**

Via Francesco Scandone,4  
Montella (AV) - 83048  
P.IVA 03126160641  
galatina21@legalmail.it

Amministratore Unico

**Geom. Braccia Gerardo Carmine**

Progettazione



**sede legale e operativa**

San Martino Sannita (BN) Località Chianarile snc Area Industriale

**sede operativa**

Lucera (FG) via Alfonso La Cava 114

P.IVA 01465940623

**Azienda con sistema gestione qualità Certificato N. 50 100 11873**



Progettista

**Dott. Ing. Nicola FORTE**



Rev.	Data	Elaborazione	Approvazione	Emissione	DESCRIZIONE
00	Agosto 2022	FDM sigla	MO sigla	NF sigla	Emissione Progetto Definitivo
Nome File sorgente	FV.GAL01.C2.PD.9.2.R00.doc	Nome file stampa	FV.GAL01.C2.PD.9.2.R00.pdf	Formato di stampa	A4

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT</b>	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	FV.GAL01.C2.PD.9.2 00 22/08/2022 01/09/2022 1 di 19
---	--	--	---

## INDICE

1	INTRODUZIONE.....	2
2	DOCUMENTI E NORME DI RIFERIMENTO .....	3
3	CONDIZIONI AMBIETALI DI PROGETTO .....	3
4	SISTEMA ELETTRICO .....	4
4.1	Descrizione generale .....	4
4.2	Dati di impianto .....	7
5	CARATTERISTICHE TECNICHE DEI CAVI.....	9
5.1	Caratteristiche elettriche .....	9
5.2	Tensione di isolamento del cavo.....	9
5.3	Temperature massime di esercizio e di cortocircuito.....	9
5.4	Caratteristiche funzionali e costruttive .....	9
5.4.1	Collegamenti MT impianto fotovoltaico (interno ed esterno).....	9
5.4.2	Collegamenti MT impianto fotovoltaico (interno ed esterno).....	10
5.4.3	Collegamenti MT interni alla stazione elettrica.....	10
5.5	Accessori.....	11
6	VERIFICHE RETI MT .....	11
6.1	Modalità e criterio di calcolo elettrico .....	11
6.2	Interpretazione dei risultati .....	12
6.3	Calcolo di load flow .....	12
6.4	Verifica della portata .....	14
6.5	Verifica della caduta di tensione .....	15
7	RISULTATI DI CALCOLO .....	16
7.1	Verifica delle perdite.....	17

	<b>RELAZIONE DI CACOLO E DIMENSIONAMENTO MT</b>	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	FV.GAL01.C2.PD.9.2 00 22/08/2022 01/09/2022 2 di 19
---	---	--	---

## 1 INTRODUZIONE

Il progetto riguarda la realizzazione di un impianto fotovoltaico di potenza nominale pari a 17 MW e potenza di picco pari a 19,65 MWp da installare nel comune di Galatina (LE) in località “S. Vito”, e con opere di connessione ricadenti tutte nello stesso territorio comunale.

Proponente dell’iniziativa è la società Galatina 2 S.r.l. con sede a Montella (AV) in Via Francesco Scandone 4.

L’impianto fotovoltaico è costituito da 37436 moduli in silicio policristallino ognuno di potenza pari a 525 Wp. I moduli fotovoltaici sono montati su una struttura in acciaio zincato ancorata al terreno. Tali moduli sono collegati tra di loro in modo da costituire stringhe. L’impianto è organizzato in gruppi di stringhe collegati alle cabine di campo. L’impianto è suddiviso in 8 campi: i campi denominati 1-2-3-4-5-6-7-8 sono delimitati a Sud dalla SP47 e a Nord/Est dalla strada vicinale Due Trappeti.

L’energia elettrica viene prodotta da ogni gruppo di moduli fotovoltaici in corrente continua e viene trasmessa all’inverter che provvede alla conversione in corrente alternata. Ogni inverter è posto all’interno di una cabina di campo all’interno della quale è ubicato il trasformatore MT/BT.

Le linee MT in cavo interrato collegheranno fra loro le cabine di campo e quindi proseguiranno alla cabina di raccolta prevista all’interno dell’area campo 1. Dalla cabina di raccolta si svilupperà il collegamento in cavo interrato MT a 30 kV per il trasferimento dell’energia prodotta alla sottostazione di trasformazione di utenza (150/30 kV) prevista all’interno di un’area condivisa con altri produttori che si collegherà in antenna a 150 kV con la futura stazione Terna “Galatina” RTN 380/150 kV da connettere in entra-esce alla linea RTN a 380 kV “Galatina – Taranto Nord”.

La proposta progettuale presentata è stata sviluppata in modo da ottimizzare al massimo il rapporto tra le opere di progetto e il territorio, limitare al minimo gli impatti ambientali e paesaggistici e garantire la sostenibilità ambientale dell’intervento.

La presente relazione descrive, nel dettaglio, il calcolo e dimensionamento della rete in media tensione.

	<p align="center"><b>RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT</b></p>	<p>Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina</p>	<p>FV.GAL01.C2.PD.9.2 00 22/08/2022 01/09/2022 3 di 19</p>
---	--	---	--

## 2 DOCUMENTI E NORME DI RIFERIMENTO

Le norme tecniche e i documenti di riferimento utilizzate per la stesura del progetto esecutivo sono:

- IEC 60502-2: Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ( $U_m=1.2$  kV) up to 30 kV ( $U_m=36$  kV) – Part 2: Cables for rated voltages from 6 kV ( $U_m=7.2$  kV) up to 30 kV ( $U_m=36$  kV) (03/2005);
- CEI EN 60909 (11-25) – Calcolo di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata (12/2001);
- IEC 60287: Electric cables – Calculation of the current rating (12/2006);
- CEI 11-17: Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica – Linee in cavo (10/2011).

## 3 CONDIZIONI AMBIETALI DI PROGETTO

- Altezza sul livello del mare < 1000 m;
- Temperatura ambiente -25 +40°C;
- Temperatura media 25°C;
- Umidità relativa 90%;
- Inquinamento leggero;
- Tipo di atmosfera non aggressiva.

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT</b>	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	FV.GAL01.C2.PD.9.2 00 22/08/2022 01/09/2022 4 di 19
---	--	--	---

## 4 SISTEMA ELETTRICO

### 4.1 Descrizione generale

Il progetto prevede la realizzazione di un impianto fotovoltaico da realizzarsi nel comune di Galatina (LE) in località "S. Vito". Parte dell'impianto è raggiungibile percorrendo la SP47, l'altra parte è raggiungibile percorrendo la strada vicinale "Due Trappeti".

L'impianto fotovoltaico di progetto ha una potenza complessiva di picco installata pari a 19,65 MWp. Il suddetto impianto è costituito da 37436 moduli fotovoltaici, suddivisi in campi, sottocampi e stringhe, i quali sono collegati in serie o in parallelo a seconda del livello. Una serie di moduli costituisce una stringa, la quale si collega in parallelo ad altre stringhe per formare il sottocampo, il quale forma con altri sottocampi sempre collegati in parallelo il campo fotovoltaico.

I pannelli saranno montati su strutture a inseguimento monoassiale (tracker), in configurazione bifilare; ovvero un tracker con 2 filari da 14 moduli ognuno.

I pannelli fotovoltaici hanno dimensioni 2230 x 1134 mm, incapsulati in una cornice di alluminio anodizzato dello spessore di 35 mm, per un peso totale di 28,9 kg ognuno.

I tracker su cui sono montati i moduli sono realizzati in acciaio al carbonio galvanizzato, resistente alla corrosione, e sono mossi da un motorino magnetico passo-passo.

Le strutture dei tracker sono costituite da pali verticali infissi al suolo e collegati da una trave orizzontale secondo l'asse nord-sud (mozzo) inserita all'interno di cuscinetti appositamente progettati per consentirne la rotazione lungo l'arco solare (asse est-ovest). Ogni tracker è dotato di un motorino a vite senza fine, che trasmette il moto rotazionale al mozzo.

L'altezza al mozzo delle strutture è di circa 2 m dal suolo; l'angolo di rotazione del mozzo è di  $\pm 60^\circ$  rispetto all'orizzontale. La motorizzazione del mozzo è alimentata da un kit integrato comprendente un piccolo modulo fotovoltaico dedicato, una batteria di accumulo, e non necessita di alimentazione esterna.

Il progetto prevede n°1337 tracker da 28 moduli (ovvero 37436 moduli) per una potenza complessiva installata di 19,65 MWp.

L'impianto sarà corredato da 23 cabine di campo, 1 cabina di raccolta, un cavidotto di utenza interrato da 30 kV, 1 sottostazione di trasformazione di utenza (150/30 kV) prevista all'interno di un'area condivisa con altri produttori che si collegherà in antenna a 150 kV con la futura stazione Terna "Galatina" RTN 380/150 kV da connettere in entra-esce alla linea RTN a 380 kV "Galatina – Taranto Nord".

Ogni sottocampo è gestito dalla cabina di campo associata e in riferimento allo schema elettrico unifilare di progetto FV.GAL01.C2.5.7, le stringhe sono denominate con la seguente dicitura:

#### **Ixx - Cyy - Szz**

Dove:

- **Ixx** rappresenta il numero dell'inverter;
- **Cyy** rappresenta il numero del sottocampo;
- **Szz** rappresenta il numero della stringa.

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT</b>	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	FV.GAL01.C2.PD.9.2 00 22/08/2022 01/09/2022 5 di 19
---	--	--	---

Per necessità di disposizione sul sito ed ottimizzazione del layout, l'impianto è stato suddiviso in diciassette sottocampi:

- **SOTTOCAMPO 1:** composto da 2240 moduli (n.80 strutture da 28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest;
- **SOTTOCAMPO 2:** composto da 2240 moduli (n.80 strutture da 28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest;
- **SOTTOCAMPO 3:** composto da 2240 moduli (n.80 strutture da 28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest;
- **SOTTOCAMPO 4:** composto da 2240 moduli (n.80 strutture da 28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest;
- **SOTTOCAMPO 5:** composto da 2240 moduli (n.80 strutture da 28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest;
- **SOTTOCAMPO 6:** composto da 2240 moduli (n.80 strutture da 28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest;
- **SOTTOCAMPO 7:** composto da 2240 moduli (n.80 strutture da 28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest;
- **SOTTOCAMPO 8:** composto da 2240 moduli (n.80 strutture da 28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest;
- **SOTTOCAMPO 9:** composto da 2240 moduli (n.80 strutture da 28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest;
- **SOTTOCAMPO 10:** composto da 2240 moduli (n.80 strutture da 28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest.
- **SOTTOCAMPO 10:** composto da 2240 moduli (n.80 strutture da 28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest.
- **SOTTOCAMPO 11:** composto da 2240 moduli (n.80 strutture da 28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest.
- **SOTTOCAMPO 12:** composto da 2240 moduli (n.80 strutture da 28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest.
- **SOTTOCAMPO 13:** composto da 2240 moduli (n.80 strutture da 28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest.
- **SOTTOCAMPO 14:** composto da 2240 moduli (n.80 strutture da 28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest.
- **SOTTOCAMPO 15:** composto da 2240 moduli (n.80 strutture da 28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest.
- **SOTTOCAMPO 16:** composto da 2240 moduli (n.80 strutture da 28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest.
- **SOTTOCAMPO 17:** composto da 1596 moduli (n.57 strutture da 28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest.

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT</b>	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	FV.GAL01.C2.PD.9.2 00 22/08/2022 01/09/2022 6 di 19
---	--	--	---

Le uscite c.a. degli inverter di ogni sottocampo si collegano a relativi trasformatori MT/BT che elevano la tensione a 30 kV in particolare le cabine di campo saranno collegate tra di loro mediante un cavidotto MT interrato denominato “cavidotto interno”.

Quest’ultimo giungerà ad una cabina di raccolta a partire dalla quale si svilupperà un cavidotto MT interrato, denominato “cavidotto esterno” per il collegamento dell’impianto alla sottostazione di trasformazione di utenza (150/30 kV) prevista all’interno di un’area condivisa con altri produttori che si collegherà in antenna a 150 kV con la futura stazione Terna “Galatina” RTN 380/150 kV da connettere in entra-esce alla linea RTN a 380 kV “Galatina – Taranto Nord”.

L’area d’impianto (ovvero quella destinata all’installazione dei pannelli fotovoltaici) sarà delimitata da una recinzione realizzata con rete in acciaio zincato plastificata verde collegata a pali in acciaio tinteggiati verdi infissi direttamente nel suolo. Per consentire il passaggio della fauna selvatica di piccola taglia si prevede di installare la recinzione in modo da garantire lungo tutto il perimetro dell’impianto un varco di 20 cm rispetto al piano campagna. L’accesso alle aree d’impianto avverrà attraverso diversi cancelli carrai a due ante, con luce netta 5 m ed ante montate su pali in acciaio fissati al suolo con plinti di fondazione in cls armato collegati da cordolo.

All’interno dell’area d’impianto e perimetralmente alla recinzione è previsto un sistema di illuminazione e videosorveglianza che sarà montato su pali in acciaio zincato fissati al suolo con plinto di fondazione in cls armato. L’illuminazione avverrà dall’alto verso il basso in modo da evitare la dispersione verso il cielo della luce artificiale in accordo con quanto previsto dalla normativa regionale e nazionale in materia di inquinamento luminoso (ad esempio l.r. 23 novembre 2005, n. 15).

## 4.2 Dati di impianto

Lo schema della rete utilizzato per le valutazioni relative ai calcoli di Load Flow è rappresentato nell'*Allegato 1*. In seguito si riportano i dati relativi ai vari componenti dell'impianto.

### RETE MT- AT

- Sistema trifase
- Frequenza 50 Hz
- Tensione nominale (lato MT) 30 kV
- Tensione nominale (lato AT) 150 kV
- Corrente massima di corto circuito trifase (lato AT-RTN)<sup>1</sup> 31.5 kA
- Corrente massima di corto circuito monofase (lato AT-RTN)<sup>1</sup> 20 kA

### GENERATORI STATICI (INVERTER)

#### CAMPO 1 – CAMPO 2 – CAMPO 3 – CAMPO 4 – CAMPO 5- CAMPO 6- CAMPO 7-CAMPO 8

- Tensione nominale 0.64 kV
- Potenza nominale 998 kW
- Inverter SUNWAY TG900 1500V TE 640 STD o similare

### TRASFORMATORI MT/BT

#### CAMPO 1 – CAMPO 2 – CAMPO 3 – CAMPO 4 – CAMPO 5- CAMPO 6- CAMPO 7-CAMPO 8

- Potenza nominale 1000 kVA
- Rapporto trasformazione 30/0.64 kV
- Tensione di c.to c.to 6 %
- Collegamento Dyn11

### TRASFORMATORE MT/AT

- Potenza nominale 63 MVA
- Rapporto nominale 150 ± 12x1.25% / 31 kV
- Tensione di c.to c.to 14 %
- Perdite nel ferro 31 kW
- Collegamento YNd11
- Isolamento olio minerale
- Raffreddamento ONAN-ONAF

<sup>1</sup> Valore raccomandato dall'Allegato A.8 al Codice di Rete per stazioni vicine a punti di interconnessione 150 kV.

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT</b>	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	FV.GAL01.C2.PD.9.2 00 22/08/2022 01/09/2022 8 di 19
---	--	--	---

### TRASFORMATORE SA

- Potenza nominale 100 kVA
- Rapporto nominale  $30 \pm 2 \times 2.5\% / 0.4 \text{ kV}$
- Tensione di c.to c.to 4 %
- Collegamento Dyn11
- Isolamento olio minerale
- Raffreddamento ONAN

### COLLEGAMENTI MT

Nella tabella seguente si riportano le caratteristiche geometriche dei collegamenti dei cavi MT oggetto del calcolo.

Tabella 1 - Collegamenti MT, sezione e materiale dei conduttori

COLLEGAMENTI IMPIANTO FOTOVOLTAICO (INTERNO ED ESTERNO)		SEZIONE CONDUTTORE [mm <sup>2</sup> ]	MATERIALE CONDUTTORE	LUNGHEZZA [m]
CAMPO 2 - CAMPO 1	CAB3-CAB1	95	Al	255
CAMPO 1	CAB1-CABR	185	Al	20
CAMPO 5- CAMPO 7	CAB8-CAB7	95	Al	560
CAMPO 7- CAMPO 4	CAB7-CAB6	95	Al	80
CAMPO 4- CAMPO 3	CAB6-CAB5	95	Al	260
CAMPO 3	CAB5-CABR	185	Al	950
CAMPO 8- CAMPO 6	CAB21-CAB19	95	Al	150
CAMPO 6	CAB19-CAB18	95	Al	100
	CAB18-CAB17	95	Al	20
	CAB17-CAB16	95	Al	160
	CAB16-CAB15	95	Al	20
	CAB15-CAB14	95	Al	250
	CAB14-CAB13	95	Al	20
	CAB13-CAB12	185	Al	100
	CAB12-CAB11	185	Al	20
	CAB11-CAB10	185	Al	195
	CAB10-CAB09	185	Al	20
	CAB9-CABR	240	Al	1250
	CABR-SE	300	Al	4930
	CABR-SE	300	Al	4930

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT</b>	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	FV.GAL01.C2.PD.9.2 00 22/08/2022 01/09/2022 9 di 19
---	--	--	---

Le caratteristiche tecniche dei cavi utilizzati per i calcoli sono ricavate dai data-sheet del costruttore PRYSMIAN, ad essi si rimanda per ulteriori approfondimenti.

## 5 CARATTERISTICHE TECNICHE DEI CAVI

Scopo del presente paragrafo è quello di fornire le caratteristiche tecniche ed elettriche dei cavi che verranno utilizzati per il collegamento in media tensione.

### 5.1 Caratteristiche elettriche

Le caratteristiche elettriche principali del sistema elettrico in media tensione sono:

- Sistema elettrico 3 fasi – c.a.
- Frequenza 50 Hz
- Tensione nominale 30 kV
- Tensione massima 36 kV
- Categoria sistema B

### 5.2 Tensione di isolamento del cavo

Dalla tab. 4.1.4 della norma CEI 11-17 in base a tensione nominale e massima del sistema la tensione di isolamento  $U_0$  corrispondente è 18 kV.

Nel dettaglio le sezioni di posa del cavidotto sono riportate nell'elaborato di progetto (Consultare l'elaborato FV.GAL01.PD.3.3).

### 5.3 Temperature massime di esercizio e di cortocircuito

Dalla tab. 4.2.2.a della norma CEI 11-17 per cavi con isolamento estruso in polietilene reticolato ed in gomma ad alto modulo la massima temperatura di esercizio è di 90°C mentre quella di cortocircuito è di 250°C.

### 5.4 Caratteristiche funzionali e costruttive

#### 5.4.1 Collegamenti MT impianto fotovoltaico (interno ed esterno)

I cavi MT utilizzati per le linee elettriche interrate, per il collegamento di potenza tra le cabine di campo e la cabina raccolta e quest'ultima con la stazione elettrica di trasformazione 30/150 kV, sono adatti a posa interrata, con conduttore in Al, isolamento XLPE, schermo in tubo Al, guaina in PE.

I cavi previsti sono destinati a sistemi elettrici di distribuzione con  $U_0/U=18/30$  kV e tensione massima  $U_m=36$  kV, sigla di designazione ARE4H5E.

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT</b>	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	FV.GAL01.C2.PD.9.2 00 22/08/2022 01/09/2022 10 di 19
---	--	--	--

La stessa tipologia di cavi è utilizzata per i collegamenti MT tra quadri e trafo SA, tra quadri e trasformatore AT/MT all'interno della stazione elettrica di trasformazione.

#### 5.4.2 Collegamenti MT impianto fotovoltaico (interno ed esterno)

Il cavidotto MT che interessa il collegamento tra la cabina di campo e la cabina di raccolta e quest'ultima con la stazione elettrica di trasformazione, seguirà le modalità di posa riportate nella norma CEI 11-17, sarà costituito da cavi unipolari direttamente interrati, ovvero modalità di posa tipo **M**, ad eccezione degli attraversamenti di opere stradali e o fluviali richieste dagli enti concessionari, per i quali sarà utilizzata una tipologia di posa che prevede i cavi unipolari in tubo interrato, modalità di posa **N**, mediante l'uso della tecnica con trivellazione orizzontale controllata. La posa verrà eseguita ad una profondità di 1.20 m in uno scavo di profondità 1.30-1.50 m (la seconda profondità è da considerarsi in terreno agricolo) e larghezza alla base variabile in base al numero di conduttori presenti. La sequenza di posa dei vari materiali, partendo dal fondo dello scavo, sarà la seguente.

- Strato di sabbia di 10 cm;
- Cavi posati a trifoglio di sezione 95, 185, 240, 300 direttamente sullo strato di sabbia;
- Posa della lastra di protezione supplementare;
- Ulteriore strato di sabbia per complessivi 30 cm;
- Posa del tubo in PEHD del diametro esterno di 63 mm per inserimento di una linea in cavo di telecomunicazione (Fibra Ottica);
- Riempimento con il materiale di risulta dello scavo di 60÷90 cm;
- Nastro segnalatore (a non meno di 20 cm dai cavi);
- Riempimento finale con il materiale di risulta dello scavo e ripristino del manto stradale ove necessario, secondo le indicazioni riportate nelle concessioni degli enti proprietari.

Lungo tutto lo scavo dei collegamenti tra le cabine di campo sarà posata una corda in rame nudo di sezione 50 mm<sup>2</sup> per la messa a terra dell'impianto.

Nel dettaglio le sezioni di posa del cavidotto sono riportate nell'elaborato di progetto (Consultare l'elaborato FV.GAL01.C2.PD.3.3).

#### 5.4.3 Collegamenti MT interni alla stazione elettrica

Le linee in media tensione che interessano il collegamento tra il quadro MT ed il trasformatore di potenza MT/AT seguiranno le modalità di posa riportate nella norma CEI 11-17, saranno costituite da terne di cavi unipolari (ad elica visibile) posate ciascuna in tubo di polietilene ad alta densità, inglobati in calcestruzzo, ovvero modalità di posa tipo **O.1** (manufatti gettati in opera). La posa verrà eseguita ad una profondità di 0.50 m in uno scavo di profondità 0.60 m e larghezza alla base variabile in base al numero di tubi presenti. La medesima modalità di posa verrà eseguita per i cavi di collegamento in media tensione tra i 4 Container PCS HC ISO ed il quadro MT.

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT</b>	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	FV.GAL01.C2.PD.9.2 00 22/08/2022 01/09/2022 11 di 19
---	--	--	--

La linea in media tensione che interessa il collegamento tra il quadro MT ed il trasformatore dei servizi ausiliari di stazione seguirà la modalità di posa riportate nella norma CEI 11-17, costituita da una terna di cavi unipolari posate su passerella porta-cavi o in cunicolo areato/chiuso, ovvero modalità di posa tipo **F oppure P.1/P.2** all'interno del locale utente della stazione elettrica di trasformazione.

## 5.5 Accessori

Le terminazioni e le giunzioni per i cavi di energia devono risultare idonee a sopportare le sollecitazioni elettriche, termiche e meccaniche previste durante l'esercizio dei cavi in condizioni ordinarie ed anomale (sovracorrenti e sovratensioni).

La tensione di designazione U degli accessori deve essere almeno uguale alla tensione nominale del sistema al quale sono destinati, ovvero 30 kV. I componenti e i manufatti adottati per la protezione meccanica supplementare devono essere progettati per sopportare, in relazione alla profondità di posa, le prevedibili sollecitazioni determinate dai carichi statici, dal traffico veicolare o da attrezzi manuali di scavo, secondo quanto previsto nella norma CEI 11-17.

I percorsi interrati dei cavi devono essere segnalati, in modo tale da rendere evidente la loro presenza in caso di ulteriori scavi, mediante l'utilizzo di nastri monitori posati nel terreno a non meno di 0.2 m al di sopra dei cavi, secondo quanto prescritto dalla norma CEI 11-17: 2011-10. I nastri monitori dovranno riportare la dicitura "Attenzione Cavi Energia in Media Tensione".

## 6 VERIFICHE RETI MT

### 6.1 Modalità e criterio di calcolo elettrico

Nel seguito si illustrano i risultati di calcolo, atti a verificare che le scelte operate sulle sezioni dei cavi della rete del impianto fotovoltaico, in accordo alla normativa vigente.

Il calcolo delle correnti a regime, delle cadute di tensione, delle perdite e le correnti di corti circuito ai nodi è effettuato con il software Neplan®, mediante un calcolo di load flow (con metodo Newton Raphson), in accordo alla Norma IEC 60909/2001 (CEI 11-25).

Il processo di calcolo è iterativo, se uno dei vincoli imposti non è rispettato si maggiore la sezione dei cavi, e si risolve di nuovo il problema.

Questa operazione sarà realizzata tante volte fino a quando tutti i vincoli sono stati rispettati.

I criteri di verifica sono i seguenti:

- Verifica della portata nei diversi tratti, alla reale condizione di posa;
- Verifica delle perdite complessive delle linee in MT (limite totale = 4%);
- Verifica della caduta di tensione delle linee MT per i collegamenti tra le cabine di campo (limite = 1%);

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT</b>	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	FV.GAL01.C2.PD.9.2 00 22/08/2022 01/09/2022 12 di 19
---	--	--	--

- Verifica della caduta di tensione delle linee MT per il collegamento tra il gruppo di cabina di campo e la cabina di raccolta (limite = 4%);
- Verifica della caduta di tensione delle linee MT per il collegamento tra la cabina di raccolta e la stazione elettrica di trasformazione (limite = 4%).

Le condizioni di calcolo sono le seguenti:

- Potenza di ciascuna tratta corrispondente alla potenza nominale dei gruppi di generazione (cabina di campo);
- Tensione nominale 30 kV;
- Resistenza dei cavi riportata alla massima temperatura operativa (90 °C);

## 6.2 Interpretazione dei risultati

Nelle tabelle che seguono sono riassunti i risultati di calcolo del load flow.

Nelle colonne viene indicato con la sigla **N**\_\_\_ l'elemento nodo in bassa tensione, con la sigla **M**\_\_\_ l'elemento nodo in media tensione, con la sigla **A**\_\_\_ l'elemento generatore, con la sigla **TR**\_\_\_ l'elemento trasformatore e con la sigla **L**\_\_\_ l'elemento Linea.

## 6.3 Calcolo di load flow

In *Allegato 2* sono riportati, rappresentati graficamente, i risultati del calcolo di load flow e qui riportati in forma tabellare:

**Tabella 2 - Risultati Load Flow**

IMPIANTO FOTOVOLTAICO - LOAD FLOW						
Element	Type	P	Ib	Loading	P Loss	P Fe
name		MW	kA	%	MW	MW
CAMPO 1 - INVETER 1	Generatore Statico	-0,998	0,868			
CAMPO 2 - INVETER 3	Generatore Statico	-0,998	0,868			
CAMPO 3 - INVETER 5	Generatore Statico	-0,998	0,868			
CAMPO 4 - INVETER 6	Generatore Statico	-0,998	0,868			
CAMPO 5- INVETER 8	Generatore Statico	-0,998	0,867			
CAMPO 6- INVETER 12	Generatore Statico	-0,998	0,866			
CAMPO 6- INVETER 19	Generatore Statico	-0,998	0,864			
CAMPO 6 - INVERTER 16	Generatore Statico	-0,998	0,865			
CAMPO 6 - INVETER 10	Generatore Statico	-0,998	0,866			
CAMPO 6 - INVETER 11	Generatore Statico	-0,998	0,866			
CAMPO 6 - INVETER 13	Generatore Statico	-0,998	0,865			
CAMPO 6 - INVETER 14	Generatore Statico	-0,998	0,865			
CAMPO 6 - INVETER 15	Generatore Statico	-0,998	0,865			
CAMPO 6 - INVETER 17	Generatore Statico	-0,998	0,865			
CAMPO 6 - INVETER 18	Generatore Statico	-0,998	0,864			
CAMPO 6 - INVETER 9	Generatore Statico	-0,998	0,866			
CAMPO 2 - INVETER 21	Generatore Statico	-0,998	0,867			
CAMPO 7 - INVETER 7	Generatore Statico	-0,998	0,867			
TR1	Trasformatore 2 avv.	0,998	0,868	95,25	0,0321	0,003
TR2	Trasformatore 2 avv.	0,998	0,868	95,25	0,0321	0,003
TR5	Trasformatore 2 avv.	0,998	0,868	95,25	0,0321	0,003
TR7	Trasformatore 2 avv.	0,998	0,868	95,25	0,0321	0,003
TR8	Trasformatore 2 avv.	0,998	0,868	95,25	0,0321	0,003
TR9	Trasformatore 2 avv.	0,998	0,868	95,25	0,0321	0,003
TR10	Trasformatore 2 avv.	0,998	0,868	95,25	0,0321	0,003
TR11	Trasformatore 2 avv.	0,998	0,868	95,25	0,0321	0,003

TR12	Trasformatore 2 avv.	0,998	0,868	95,25	0,0321	0,003
TR13	Trasformatore 2 avv.	0,998	0,868	95,25	0,0321	0,003
TR14	Trasformatore 2 avv.	0,998	0,868	95,25	0,0321	0,003
TR15	Trasformatore 2 avv.	0,998	0,868	95,25	0,0321	0,003
TR16	Trasformatore 2 avv.	0,998	0,868	95,25	0,0321	0,003
TR17	Trasformatore 2 avv.	0,998	0,868	95,25	0,0321	0,003
TR18	Trasformatore 2 avv.	0,998	0,868	95,25	0,0321	0,003
TR19	Trasformatore 2 avv.	0,998	0,868	95,25	0,0321	0,003
L3-CAB1	Linea	1,932	0,037	17,38	0,0004	
L1-CABR	Linea	2,897	0,055	26,07	0,0001	
L22-CAB21	Linea	0,966	0,018	11,17	0,0001	
L19-CAB18	Linea	2,898	0,055	25,95	0,0004	
L18-CAB17	Linea	3,864	0,074	34,6	0,0001	
L17-CAB16	Linea	4,83	0,092	43,25	0,0017	
L16-CAB15	Linea	5,794	0,11	51,91	0,0003	
L15-CAB14	Linea	6,76	0,129	60,56	0,0051	
L14-CAB13	Linea	7,721	0,147	69,22	0,0005	
L13-CAB12	Linea	8,687	0,166	54	0,0017	
L12-CAB11	Linea	9,651	0,184	60	0,0004	
L11-CAB10	Linea	10,617	0,202	66	0,0051	
L10-CAB9	Linea	11,578	0,221	72	0,0006	
L9-CABR	Linea	12,543	0,239	67,31	0,0345	
L8-CAB7	Linea	0,966	0,018	11,2	0,0002	
L7-CAB6	Linea	1,932	0,037	22,4	0,0001	
L6-CAB5	Linea	2,898	0,055	26,06	0,001	
L5-CABR	Linea	3,862	0,074	24,06	0,0033	
CABR-SE	Linea	16,383	0,313	39	0,0935	
TR AT/MT	Trasformatore 2 avv.	16,29	0,313	25,83	0,0638	0,044
RTN	Alimentazione rete	16,226	0,062			

## 6.4 Verifica della portata

La portata dei cavi in regime permanente viene determinata in accordo alla norma IEC 60502-2, tenendo conto del declassamento dovuto alla temperatura, profondità e tipologia di posa.

In particolare è utilizzata la formula seguente:

$$I_z = I_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4$$

dove:

$I_0$  = portata in condizioni nominali dei conduttori con isolante polimerico, E4 e G7, ed è ricavata dai datasheet del costruttore;

$k_1$  = coefficiente di correzione per temperatura del terreno diversa da quella di riferimento;

$k_2$  = coefficiente di correzione che tiene conto del numero di circuiti affiancati (più cavi o più tubi);

$k_3$  = coefficiente di correzione per resistività termica del terreno diversa da quella di riferimento

$k_4$  = coefficiente di correzione per profondità di posa diversa da quella di riferimento;

	<b>RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT</b>	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	FV.GAL01.C2.PD.9.2 00 22/08/2022 01/09/2022 15 di 19
---	--	--	--

Il valore di  $I_0$  ricavato dalle tabelle del fornitore ed è riferito alle seguenti condizioni:

- temperatura del terreno 20°C;
- profondità di posa 0,8 m;
- resistività termica del terreno ad 1,0 K\*m/W o 2,0 K\*m/W.

Per la temperatura del terreno è mantenuto il valore di riferimento di 20 °C.

La distanza tra cavi è stata considerata pari a 7 cm qualora nello scavo siano presenti due cavi o 25 cm per 3 cavi, per più circuiti affiancati le tabelle del costruttore prevedono i seguenti coefficienti di abbattimento della portata:

**Tabella 3 - Coefficienti di derating della portata per più circuiti affiancati**

Distanza tra i cavi o terne	Numero di cavi o terne (in orizzontale)	
	2	3
7 cm	0.84	\
25 cm	\	0.78

In assenza di informazioni specifiche sulle caratteristiche termiche del terreno, variabili sulla base di diversi fattori (composizione, umidità, ecc...), è stata considerata una resistività termica pari a 2 °C\*m/W per tutti i collegamenti. Tale valore risulta essere cautelativo e rappresenta una media tra i valori di resistività dei materiali costituenti il letto di posa (sabbia, materiale di risulta, ecc...).

È stata infine considerata una profondità di posa media pari a 1,2 m.

Per i dettagli sul percorso e le modalità di posa dei collegamenti interni ed esterni dell'impianto fotovoltaico, si rimanda all'elaborato di progetto FV.GAL01.C2.PD.3.3).

## 6.5 Verifica della caduta di tensione

Il calcolo della caduta di tensione è ricavato dal calcolo di load flow ed è atto a stabilire il valore totale per l'intero cavidotto a partire dai gruppi fino alla stazione elettrica di trasformazione. I valori delle tensioni ai nodi sono deducibili dal diagramma di *Allegato 2*.

## 7 RISULTATI DI CALCOLO

Nella tabella seguente sono riportati i risultati di calcolo relativi alla portata effettiva, alla caduta di tensione ed alla tenuta al cortocircuito di ciascuna tratta in media tensione costituente la rete dell'impianto fotovoltaico.

**Tabella 5 – Portata effettiva, caduta di tensione di ciascuna tratta.**

node 1	node 2	Element name	mat	n	sez [mm <sup>2</sup> ]	Iz [A]	$\Delta U_n$ [%]
CABR	NMTN1	CABR-SE	Al	2	300	803	0,6
B8	B7	L8-CAB7	Al	1	95	164,6	0
B6	B5	L6-CAB5	Al	1	95	212,5	0
B6	B7	L7-CAB6	Al	1	95	164,6	0
B1	B3	L3-CAB1	Al	1	95	212,5	0
B18	B19	L19-CAB18	Al	1	95	212,5	0
B17	B18	L18-CAB17	Al	1	95	212,5	0
B16	B17	L17-CAB16	Al	1	95	212,5	0
B15	B16	L16-CAB15	Al	1	95	212,5	0
B14	B15	L15-CAB14	Al	1	95	212,5	0,1
B13	B14	L14-CAB13	Al	1	95	212,5	0
B12	B13	L13-CAB12	Al	1	185	306,6	0
B11	B12	L12-CAB11	Al	1	185	306,6	0
B10	B11	L11-CAB10	Al	1	185	306,6	0
B9	B10	L10-CAB9	Al	1	185	306,6	0
B9	CABR	L9-CABR	Al	1	240	355,3	0,3
B5	CABR	L5-CABR	Al	1	185	306,6	0,1
B1	CABR	L1-CABR	Al	1	95	212,5	0

Come si evince dalla tabella il **valore della C.d.T. relativa alle linee MT di ogni collegamento tra le cabine di campo è inferiore al 1% previsto. Il valore della C.d.T. relative alle linee MT del collegamento tra le cabine di campo e la cabina di raccolta e quest'ultima con la stazione elettrica di trasformazione è inferiore al 4% previsto nei criteri di verifica descritti nel paragrafo 6.1.**

## 7.1 Verifica delle perdite

Il calcolo delle perdite è ricavato dal calcolo di load flow ed è atto a stabilire la somma delle perdite dell'intera rete MT in cavo interrato, dei trasformatori della cabina di campo e del trasformatore elevatore, nelle condizioni di progetto previste.

La tabella 6 riporta le perdite complessive per impianto fotovoltaico:

Tabella 6 - Perdite complessive

IMPIANTO FOTOVOLTAICO GALATINA - SOMMARIO				
	<b>N.</b>		<b>kW</b>	
<b>CAMPO FV</b>	17	<b>P TOT</b>	17000	
<b>Un</b>	<b>Perdite Linee</b>		<b>Perdite trasformatori</b>	
<b>kV</b>	<b>kW</b>	<b>%</b>	<b>kW</b>	<b>%</b>
30	132	<b>0,8%</b>	544	<b>3,2%</b>
150	0		64	<b>0,4%</b>
<b>Perdite totali impianto</b>				
<b>kW</b>	740	<b>%</b>	<b>4,4%</b>	

Come si evince dalla tabella, il valore delle perdite totali delle linee MT è pari a 0,8%, inferiore al 4% previsto.

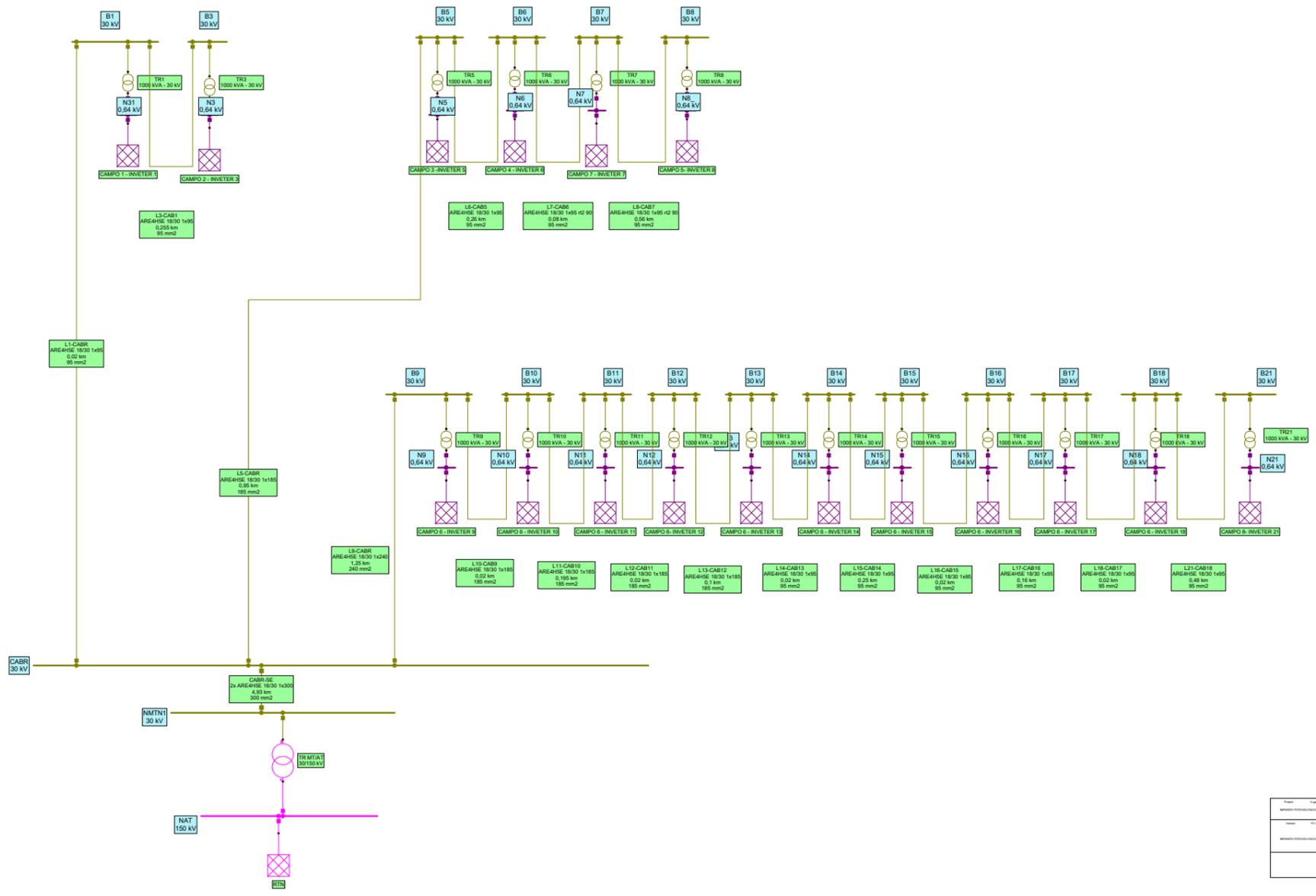
Complessivamente considerando le perdite dei trasformatori di ciascuna cabina di campo e del trasformatore della stazione elettrica, si ottiene che il valore delle perdite complessive raggiunge il 4,4%.

I risultati dei calcoli di cui sopra dimostrano la correttezza delle scelte operate sulle sezioni dei cavi per l'impianto in progetto.

Si fa presente che il calcolo delle perdite sopra esposto non tiene conto delle perdite intrinseche dell'impianto fotovoltaico.

 <b>TENPROJECT</b>	<b>RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT</b>	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	FV.GAL01.C2.PD.9.2 00 22/08/2022 01/09/2022 18 di 19
---	--	--	--

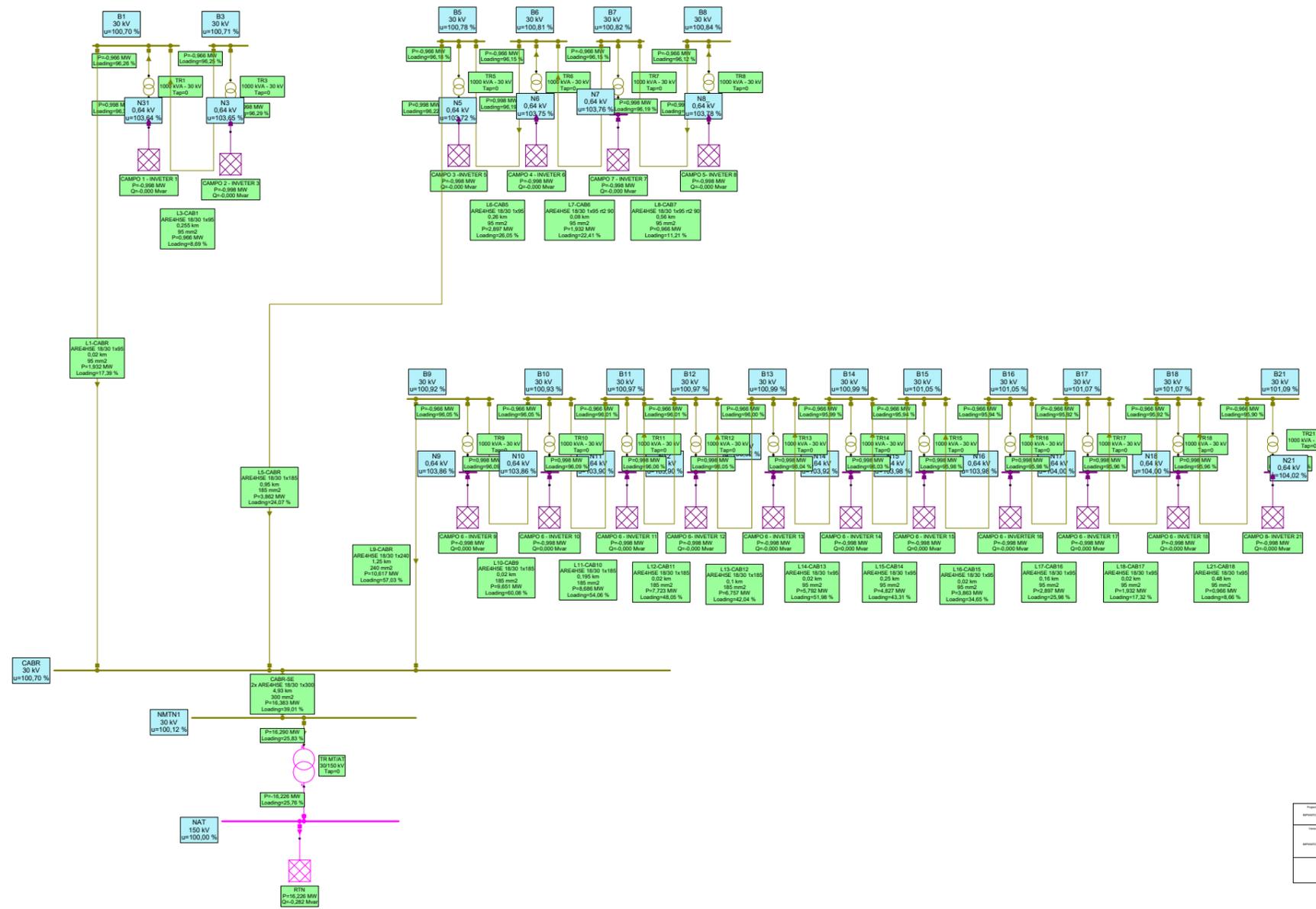
**ALLEGATO 1  
RETE ELETTRICA**



Nome	Legenda	Quantidade	Unidade
Distancia 2 borne	L1-CAB		
Distancia 2 borne	L2-CAB		
Distancia 2 borne	L3-CAB		
Distancia 2 borne	L4-CAB		
Distancia 2 borne	L5-CAB		
Distancia 2 borne	L6-CAB		
Distancia 2 borne	L7-CAB		
Distancia 2 borne	L8-CAB		
Distancia 2 borne	L9-CAB		
Distancia 2 borne	L10-CAB		
Distancia 2 borne	L11-CAB		
Distancia 2 borne	L12-CAB		
Distancia 2 borne	L13-CAB		
Distancia 2 borne	L14-CAB		
Distancia 2 borne	L15-CAB		
Distancia 2 borne	L16-CAB		
Distancia 2 borne	L17-CAB		
Distancia 2 borne	L18-CAB		
Distancia 2 borne	L19-CAB		
Distancia 2 borne	L20-CAB		
Distancia 2 borne	L21-CAB		
Distancia 2 borne	L22-CAB		
Distancia 2 borne	L23-CAB		
Distancia 2 borne	L24-CAB		
Distancia 2 borne	L25-CAB		
Distancia 2 borne	L26-CAB		
Distancia 2 borne	L27-CAB		
Distancia 2 borne	L28-CAB		
Distancia 2 borne	L29-CAB		
Distancia 2 borne	L30-CAB		
Distancia 2 borne	L31-CAB		
Distancia 2 borne	L32-CAB		
Distancia 2 borne	L33-CAB		
Distancia 2 borne	L34-CAB		
Distancia 2 borne	L35-CAB		
Distancia 2 borne	L36-CAB		
Distancia 2 borne	L37-CAB		
Distancia 2 borne	L38-CAB		
Distancia 2 borne	L39-CAB		
Distancia 2 borne	L40-CAB		
Distancia 2 borne	L41-CAB		
Distancia 2 borne	L42-CAB		
Distancia 2 borne	L43-CAB		
Distancia 2 borne	L44-CAB		
Distancia 2 borne	L45-CAB		
Distancia 2 borne	L46-CAB		
Distancia 2 borne	L47-CAB		
Distancia 2 borne	L48-CAB		
Distancia 2 borne	L49-CAB		
Distancia 2 borne	L50-CAB		
Distancia 2 borne	L51-CAB		
Distancia 2 borne	L52-CAB		
Distancia 2 borne	L53-CAB		
Distancia 2 borne	L54-CAB		
Distancia 2 borne	L55-CAB		
Distancia 2 borne	L56-CAB		
Distancia 2 borne	L57-CAB		
Distancia 2 borne	L58-CAB		
Distancia 2 borne	L59-CAB		
Distancia 2 borne	L60-CAB		
Distancia 2 borne	L61-CAB		
Distancia 2 borne	L62-CAB		
Distancia 2 borne	L63-CAB		
Distancia 2 borne	L64-CAB		
Distancia 2 borne	L65-CAB		
Distancia 2 borne	L66-CAB		
Distancia 2 borne	L67-CAB		
Distancia 2 borne	L68-CAB		
Distancia 2 borne	L69-CAB		
Distancia 2 borne	L70-CAB		
Distancia 2 borne	L71-CAB		
Distancia 2 borne	L72-CAB		
Distancia 2 borne	L73-CAB		
Distancia 2 borne	L74-CAB		
Distancia 2 borne	L75-CAB		
Distancia 2 borne	L76-CAB		
Distancia 2 borne	L77-CAB		
Distancia 2 borne	L78-CAB		
Distancia 2 borne	L79-CAB		
Distancia 2 borne	L80-CAB		
Distancia 2 borne	L81-CAB		
Distancia 2 borne	L82-CAB		
Distancia 2 borne	L83-CAB		
Distancia 2 borne	L84-CAB		
Distancia 2 borne	L85-CAB		
Distancia 2 borne	L86-CAB		
Distancia 2 borne	L87-CAB		
Distancia 2 borne	L88-CAB		
Distancia 2 borne	L89-CAB		
Distancia 2 borne	L90-CAB		
Distancia 2 borne	L91-CAB		
Distancia 2 borne	L92-CAB		
Distancia 2 borne	L93-CAB		
Distancia 2 borne	L94-CAB		
Distancia 2 borne	L95-CAB		
Distancia 2 borne	L96-CAB		
Distancia 2 borne	L97-CAB		
Distancia 2 borne	L98-CAB		
Distancia 2 borne	L99-CAB		
Distancia 2 borne	L100-CAB		

 <b>TENPROJECT</b>	<b>RELAZIONE DI CACOLO E DIMENSIONAMENTO MT</b>	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	FV.GAL01.C2.PD.9.2 00 22/08/2022 01/09/2022 19 di 19
---	---	--	--

**ALLEGATO 2  
CALCOLO LOAD FLOW**



Didascalia	
	Elemento non standard
	Cable in linea
	100.00 kV
	10.00 kV
	0.69 kV

Nome	Tap=0	Nome	Tap=0
distancia 2 barra	2.00	distancia 4 barra	4.00
distancia 3 barra	3.00	distancia 5 barra	5.00
distancia 1 barra	1.00	distancia 6 barra	6.00
distancia 8 barra	8.00	distancia 7 barra	7.00

Nome	Tap=0	Nome	Tap=0
distancia 2 barra	2.00	distancia 4 barra	4.00
distancia 3 barra	3.00	distancia 5 barra	5.00
distancia 1 barra	1.00	distancia 6 barra	6.00
distancia 8 barra	8.00	distancia 7 barra	7.00

Nome	Tap=0	Nome	Tap=0
distancia 2 barra	2.00	distancia 4 barra	4.00
distancia 3 barra	3.00	distancia 5 barra	5.00
distancia 1 barra	1.00	distancia 6 barra	6.00
distancia 8 barra	8.00	distancia 7 barra	7.00