

REGIONE PUGLIA
PROVINCIA DI FOGGIA

Comune:
Troia

Località "Perazzone - S. Andrea - Convegna"

PROGETTO DEFINITIVO DI UN IMPIANTO AGROVOLTAICO E RELATIVE OPERE
DI CONNESSIONE ALLA RTN NEL COMUNE DI TROIA AVENTE POTENZA
NOMINALE PARI A 40 MW E POTENZA DI CONNESSIONE PARI A 34,825 MW

Sezione 8:

CALCOLI PRELIMINARI STRUTTURE E IMPIANTI

Titolo elaborato:

RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT

N. Elaborato: 9.2

Scala: -

Committente

ENGIE NDT S.r.l.

Via Chiese, 72 -
20126 MILANO
PART.IVA/CF: 12112940965

Progettazione



sede legale e operativa

San Giorgio Del Sannio (BN) via de Gasperi 61

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	GENNAIO 2022	FDM sigla	MO sigla	NF sigla	Emissione Progetto Definitivo
Nome File sorgente		FV.TRO03.PD.9.2.doc	Nome file stampa	FV.TRO03.PD.9.2.pdf	Formato di stampa A4/A3

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.....	11
5.1	Caratteristiche elettriche	11
5.2	Tensione di isolamento del cavo.....	11
5.3	Temperature massime di esercizio e di cortocircuito.....	11
5.4	Caratteristiche funzionali e costruttive	11
5.4.1	Collegamenti MT impianto fotovoltaico (interno ed esterno).....	11
5.4.2	Collegamenti MT impianto fotovoltaico (interno ed esterno).....	12
5.4.3	Collegamenti MT interni alla stazione elettrica.....	12
5.5	Accessori.....	13
6	VERIFICHE RETI MT	14
6.1	Modalità e criterio di calcolo elettrico	14
6.2	Interpretazione dei risultati	14
6.3	Calcolo di load flow	15
6.4	Verifica della portata	17
6.5	Verifica della caduta di tensione	18
7	RISULTATI DI CALCOLO.....	18
7.1	Verifica delle perdite.....	19

	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	FV.TRO03.PD.9.2 00 17/01/2022 28/01/2022 2 di 21
---	--	--	--

1 INTRODUZIONE

Il progetto riguarda la realizzazione di un impianto agrovoltaiico di potenza di picco pari a 40.065 MWp e potenza nominale di immissione in rete pari a 34,825 MW da installare nel comune di Troia (FG) nelle località "Perazzone - S. Andrea – Convegna".

Proponente dell'iniziativa è la società ENGIE NDT S.r.l. con sede in Via Chiese, 72 - 20126 MILANO.

L'impianto è organizzato in cinque campi: un campo è previsto in adiacenza alla SP 114 in località "Perazzone"; un secondo campo è localizzato in adiacenza alla SP 109 in località "Convegna"; i restanti campi sono localizzati in prossimità dell'incrocio tra la SP112 e la SP109 in località "S. Andrea".

I cinque campi sono delimitati da recinzione perimetrale provvisti di cancello di accesso. All'esterno della recinzione è prevista una fascia a verde di ampiezza pari a 10 m per garantire la mitigazione ambientale e paesaggistica dell'intervento.

L'impianto fotovoltaico è costituito da 60704 moduli in silicio monocristallino ognuno di potenza pari a 660Wp. Tali moduli sono collegati tra di loro in modo da costituire:

- 122 strutture 2x14 moduli;
- 1023 strutture 2x28 moduli.

Le strutture sono in acciaio zincato ancorate al terreno. L'impianto è organizzato in gruppi di stringhe collegati alle cabine di campo.


L'energia elettrica viene prodotta da ogni gruppo di moduli fotovoltaici in corrente continua e viene trasmessa agli inverter ubicati nelle cabine di campo, che provvedono alla conversione in corrente alternata.

Le linee MT in cavo interrato collegano tra loro le cabine di campo, nelle quali sono ubicati i trasformatori MT/BT, e quindi proseguono alla cabina di raccolta prevista all'interno dell'area di impianto ubicata Convegna. Dalla cabina di raccolta si sviluppano due linee 30 kV interrate per il trasferimento dell'energia alla stazione elettrica di utente 30/150 kV. Da quest'ultima una volta innalzata alla tensione di 150 kV, l'energia viene trasferita mediante un cavidotto a 150 KV allo stallo di consegna previsto nel futuro ampliamento della seziona a 150 kV della stazione elettrica esistente 380/150 kV di Troia di proprietà TERNA S.p.A.

In particolare, come previsto dalla STMG si condivideranno le opere di rete del futuro ampliamento con altri impianti di produzione.

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.

	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	FV.TRO03.PD.9.2 00 17/01/2022 28/01/2022 3 di 21
---	--	--	--


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.

	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	FV.TRO03.PD.9.2 00 17/01/2022 28/01/2022 4 di 21
---	--	--	--

4 SISTEMA ELETTRICO

4.1 Descrizione generale

Il progetto prevede la realizzazione di un impianto agrovoltaiico da realizzare nel comune di Troia (FG) alle località "Perazzone - S. Andrea – Convegna".

L'impianto consta di cinque campi all'interno di ognuno dei quali si prevede l'installazione delle pannellature. In dettaglio, i campi 1, 2 e 3 si collocano in località S. Andrea in prossimità dell'incrocio tra la SP112 e la SP109 a Sud-Est rispetto al centro urbano di Troia da cui distano circa 4 km. Ad 1 km di distanza in direzione Sud rispetto ai campi descritti, si colloca il campo 4, sito in località Convegna in adiacenza alla SP 109. Infine, il campo 5 è situato in località Perazzone ad Est rispetto al centro di Troia, da cui dista circa 5.8 km.

I cinque campi sono collegati alla stazione elettrica di utenza sita alla località Piano di Napoli, tramite un cavidotto MT interrato che si sviluppa totalmente su strada esistente. La stazione elettrica di utenza, tramite il cavidotto AT interrato su strada esistente, si collega al vicino ampliamento della sezione 150 kV della SE RTN 150/380 kV di Troia.

Di fatto un impianto agrovoltaiico è una tipologia di impianto fotovoltaico installato su suoli agricoli che consente non solo di produrre energia elettrica da fonte solare, ma anche di continuare la coltivazione delle aree o di prevedere nuove coltivazioni. Si tratta quindi di un impianto fotovoltaico combinato all'attività di coltivazione dei campi.

I pannelli fotovoltaici sono installati su strutture metalliche a inseguimento monoassiale (tracker).

Tali strutture, ancorate al suolo tramite sostegni infissi, consentono la rotazione assiale delle pannellature in modo da avere sempre un'inclinazione ottimale rispetto ai raggi solari incidenti, massimizzando il funzionamento delle celle fotovoltaiche.

La distanza tra le file parallele delle pannellature, disposte con asse in direzione Nord-Sud, oltre ad evitare l'ombreggiamento reciproco tra le strutture, è definita in modo da consentire la coltivazione delle fasce di terreno d'interfila in maniera agevole, garantendo l'accesso ai mezzi agricoli.


Il progetto prevede inoltre, la realizzazione di una fascia arborea di mitigazione posta lungo il perimetro dei singoli campi agrovoltaiici. Nelle aree residuali nella disponibilità della Proponente, si prevede la realizzazione di interventi di compensazione ambientale atti a mantenere la biodiversità e tutelare gli ecosistemi presenti.

L'impianto agrovoltaiico di progetto ha una potenza complessiva di picco pari a 40.065 MWp e potenza nominale di immissione in rete pari a 34,825 MW.

Il suddetto impianto è costituito da 60704 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 agrovoltaiico.

I pannelli saranno montati su strutture ad inseguimento monoassiale (tracker) secondo le seguenti configurazioni:

- Strutture da 2x14 moduli;

	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	FV.TRO03.PD.9.2 00 17/01/2022 28/01/2022 5 di 21
---	--	--	--

- Strutture 2x28 moduli;

I pannelli fotovoltaici hanno dimensioni 2384 x 1303 mm, incapsulati in una cornice di alluminio anodizzato dello spessore di 35 mm, per un peso totale di 37,9 kg ognuno.

Le strutture di sostegno ipotizzate hanno la caratteristica di poter essere infisse nel terreno senza bisogno di alcun tipo di fondazione in calcestruzzo, compatibilmente alle caratteristiche geotecniche del terreno e alle prove penetrometriche che verranno effettuate in fase esecutiva. Come certificato dal costruttore, le strutture sono in grado di supportare il peso dei moduli anche in presenza di raffiche di vento di elevata velocità, di neve e altri carichi accidentali.

Le strutture che sostengono i moduli fotovoltaici sono posizionate in file parallele opportunamente distanziate in modo da evitare l'ombreggiamento reciproco, consentire le operazioni di pulizia e manutenzione dei pannelli, e avere gli spazi necessari per coltivare agevolmente e con i mezzi agricoli i terreni di interfila.

L'altezza al mozzo delle strutture è di 2,18 m dal suolo; l'angolo di rotazione del mozzo è di $\pm 60^\circ$ rispetto all'orizzontale.

Il progetto prevede n°122 array da 28 moduli (ovvero 3416 moduli), n°1023 array da 56 moduli (ovvero 57288 moduli), per una potenza complessiva installata di 40,065 MWp.

L'impianto sarà corredato da 17 cabine di campo, 1 cabina di raccolta, 1 stazione elettrica di utente 30/150 kV, un cavidotto di utenza interrato da 30 kV e, a partire dalla stazione di utenza un cavidotto a 150 kV per il collegamento all'ampliamento della sezione a 150 kV della stazione elettrica esistente 380/150 kV di Troia di proprietà TERNA S.p.A.

Ogni sottocampo è gestito dalla cabina di campo associata e in riferimento allo schema elettrico unifilare di progetto FV.TRO3.PD.5.9, 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.

Per necessità di disposizione sul sito ed ottimizzazione del layout, l'impianto è stato suddiviso in 17 sottocampi:

- **SOTTOCAMPO 1:** composta da 5264 moduli (n.188 stringhe/28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest;
- **SOTTOCAMPO 2:** composta da 5264 moduli (n.188 stringhe/28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest;
- **SOTTOCAMPO 3:** composta da 5264 moduli (n.188 stringhe/28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest;
- **SOTTOCAMPO 4:** composta da 5264 moduli (n.188 stringhe/28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest;
- **SOTTOCAMPO 5** composta da 5264 moduli (n.188 stringhe/28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest;

	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	FV.TRO03.PD.9.2 00 17/01/2022 28/01/2022 6 di 21
---	--	--	--

- **SOTTOCAMPO 6** composta da 5264 moduli (n.188 stringhe/28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest;
- **SOTTOCAMPO 7** composta da 5236 moduli (n.187 stringhe/28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest;
- **SOTTOCAMPO 8** composta da 2240 moduli (n.80 stringhe/28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest;
- **SOTTOCAMPO 9** composta da 2240 moduli (n.80 stringhe/28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest;
- **SOTTOCAMPO 10** composta da 2240 moduli (n.80 stringhe/28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest;
- **SOTTOCAMPO 11** composta da 2240 moduli (n.80 stringhe/28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest;
- **SOTTOCAMPO 12** composta da 2464 moduli (n.88 stringhe/28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest;
- **SOTTOCAMPO 13** composta da 2464 moduli (n.88 stringhe/28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest;
- **SOTTOCAMPO 14** composta da 2464 moduli (n.88 stringhe/28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest;
- **SOTTOCAMPO 15** composta da 2492 moduli (n.89 stringhe/28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest;
- **SOTTOCAMPO 16** composta da 2520 moduli (n.90 stringhe/28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest;
- **SOTTOCAMPO 17** composta da 2520 moduli (n.90 stringhe/28 moduli) installati su strutture ad inseguimento monoassiale est-ovest;

Durante il giorno l'impianto agrovoltaiico converte la radiazione solare in energia elettrica in corrente continua. Tale corrente è inviata attraverso i quadri di campo e sottocampo agli inverter i quali la trasformano in corrente alternata trifase.

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 stazione elettrica di utente 30/150 kV. Da quest'ultima, una volta innalzata alla tensione di 150 kV, l'energia viene trasferita mediante un cavidotto a 150 kV allo stallo di consegna previsto nel futuro ampliamento della seziona a 150 kV della stazione elettrica esistente 380/150 kV di Troia di proprietà TERNA S.p.A.

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)¹ 31.5 kA
- Corrente massima di corto circuito monofase (lato AT-RTN)¹ 20 kA

GENERATORI STATICI (INVERTER) CAMPO 1

- Tensione nominale 0.6 kV
- Potenza nominale 1500 kW
- Corrente di corto circuito 1443 A

GENERATORI STATICI (INVERTER) CAMPO 2

- Tensione nominale 0.6 kV
- Potenza nominale 1500 kW
- Corrente di corto circuito 1443 A

GENERATORI STATICI (INVERTER) CAMPO 3

- Tensione nominale 0.6 kV
- Potenza nominale 1500 kW
- Corrente di corto circuito 1443 A

GENERATORI STATICI (INVERTER) CAMPO 4

- Tensione nominale 0.6 kV
- Potenza nominale 1250 kW
- Corrente di corto circuito 1443 A

GENERATORI STATICI (INVERTER) CAMPO 5

- Tensione nominale 0.6 kV
- Potenza nominale 3000 kW
- Corrente di corto circuito 2886 A

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

TRASFORMATORI MT/BT CAMPO 1

- Potenza nominale 1500 kVA
- Rapporto trasformazione 30/0.6 kV
- Tensione di c.to c.to 6 %
- Collegamento Dyn11

TRASFORMATORI MT/BT CAMPO 2

- Potenza nominale 1500 kVA
- Rapporto trasformazione 30/0.6 kV
- Tensione di c.to c.to 6 %
- Collegamento Dyn11

TRASFORMATORI MT/BT CAMPO 3

- Potenza nominale 1500 kVA
- Rapporto trasformazione 30/0.6 kV
- Tensione di c.to c.to 6 %
- Collegamento Dyn11

TRASFORMATORI MT/BT CAMPO 4

- Potenza nominale 1250 kVA
- Rapporto trasformazione 30/0.6 kV
- Tensione di c.to c.to 6 %
- Collegamento Dyn11

TRASFORMATORI MT/BT CAMPO 5

- Potenza nominale 3000 kVA
- Rapporto trasformazione 30/0.6 kV
- Tensione di c.to c.to 6 %
- Collegamento Dyn11

TRASFORMATORE MT/AT

- Potenza nominale 45 MVA
- Rapporto nominale $150 \pm 12 \times 1.25\%$ / 31 kV
- Tensione di c.to c.to 14 %
- Perdite nel ferro 31 kW
- Collegamento YNd11
- Isolamento olio minerale
- Raffreddamento ONAN-ONAF

TRASFORMATORE SA

- Potenza nominale 100 kVA
- Rapporto nominale $30 \pm 2 \times 2.5\%$ / 0.4 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.



	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	FV.TRO03.PD.9.2 00 17/01/2022 28/01/2022 10 di 21
---	--	--	---

Tabella 1 - Collegamenti MT, sezione e materiale dei conduttori

COLLEGAMENTI IMPIANTO FOTOVOLTAICO (INTERNO ED ESTERNO)		SEZIONE CONDUTTORE [mm ²]	MATERIALE CONDUTTORE	LUNGHEZZA [m]
CAMPO 1	CAB16-CAB17	95	Al	270
CAMPO 1- CAMPO 2	CAB17-CAB15	95	Al	650
CAMPO 2	CAB15-CAB14	95	Al	280
CAMPO 2- CAMPO 3	CAB14-CAB12	95	Al	290
CAMPO 3	CAB12-CAB13	95	Al	200
	CAB13-CABR	185	Al	1680
CAMPO 4	CAB8-CAB9	95	Al	170
	CAB9-CAB10	95	Al	335
	CAB10-CAB11	95	Al	230
	CAB11-CABR	185	Al	20
CAMPO 5	CAB7-CAB6	95	Al	200
	CAB6-CAB5	95	Al	170
	CAB5-CAB4	185	Al	210
	CAB4-CAB3	240	Al	140
	CAB3-CAB2	400	Al	345
	CAB2-CAB1	500	Al	130
	CAB1-CABR	630	Al	6410
	CABR-SE	500	Al	9370
	CABR-SE	500	Al	9370

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

	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	FV.TRO03.PD.9.2 00 17/01/2022 28/01/2022 11 di 21
---	--	--	---

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.TRO03.PD.3.4).

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.

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.

	<p align="center">RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT</p>	<p>Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina</p>	<p>FV.TRO03.PD.9.2 00 17/01/2022 28/01/2022 12 di 21</p>
---	--	---	--

5.4.2 Collegamenti MT impianto fotovoltaico (interno ed esterno)

Il cavidotto MT che interessa il collegamento tra la cabine 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, 300, 400, 630 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 mm² 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.TRO03.PD.3.4).

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.

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

	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	FV.TRO03.PD.9.2 00 17/01/2022 28/01/2022 13 di 21
---	--	--	---


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".

	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	FV.TRO03.PD.9.2 00 17/01/2022 28/01/2022 14 di 21
---	--	--	---

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 maggiora 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%);
- 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		kW	A	%	kW	kW
CAMPO 3 - INVETER 12	Generatore Statico	-1500	1391,2			
CAMPO 3 - INVETER 13	Generatore Statico	-1500	1392			
CAMPO 2 - INVETER 14	Generatore Statico	-1500	1390,1			
CAMPO 2 - INVETER 15	Generatore Statico	-1500	1389,4			
CAMPO 1 - INVETER 16	Generatore Statico	-1500	1388,1			
CAMPO 1 - INVETER 17	Generatore Statico	-1500	1388,3			
CAMPO 2 - INVETER 8	Generatore Statico	-1250	1158,5			
CAMPO 2 - INVETER 9	Generatore Statico	-1250	1158,6			
CAMPO 2 - INVETER 10	Generatore Statico	-1250	1159			
CAMPO 2 - INVETER 11	Generatore Statico	-1250	1159,2			
CAMPO 5 - INVETER 1	Generatore Statico	-3000	2794,1			
CAMPO 5 - INVETER 2	Generatore Statico	-3000	2793,5			
CAMPO 5 - INVETER 3	Generatore Statico	-3000	2792			
CAMPO 5 - INVETER 4	Generatore Statico	-3000	2791,2			
CAMPO 5 - INVETER 5	Generatore Statico	-3000	2790,1			
CAMPO 5 - INVETER 6	Generatore Statico	-3000	2788,9			
CAMPO 5 - INVETER 7	Generatore Statico	-3000	2788,2			
TR1	Trasformatore 2 avv.	3000	2794,1	96,79	32,515	2,756
TR2	Trasformatore 2 avv.	3000	2793,5	96,77	32,504	2,758
TR3	Trasformatore 2 avv.	3000	2792	96,72	32,475	2,756
TR4	Trasformatore 2 avv.	3000	2791,2	96,69	32,459	2,758

TR5	Trasformatore 2 avv.	3000	2790,1	96,62	32,437	2,760
TR6	Trasformatore 2 avv.	3000	2788,9	96,61	32,414	2,763
TR7	Trasformatore 2 avv.	3000	2788,2	96,58	32,401	2,764
TR8	Trasformatore 2 avv.	1250	1158,5	96,32	32,129	2,741
TR9	Trasformatore 2 avv.	1250	1158,6	96,33	32,134	2,740
TR10	Trasformatore 2 avv.	1250	1159	96,36	32,152	2,739
TR11	Trasformatore 2 avv.	1250	1159,2	96,38	32,162	2,738
TR12	Trasformatore 2 avv.	1500	1391,2	96,40	32,233	2,748
TR13	Trasformatore 2 avv.	1500	1392	96,44	32,266	2,745
TR14	Trasformatore 2 avv.	1500	1390,1	96,31	32,194	2,752
TR15	Trasformatore 2 avv.	1500	1389,4	96,26	32,194	2,755
TR16	Trasformatore 2 avv.	1500	1388,1	96,17	32,114	2,761
TR17	Trasformatore 2 avv.	1500	1388,3	96,18	32,123	2,760
L2-1	Linea	17785,79	334,5	83,13	3,883	
L3-2	Linea	14827,06	278,7	78,62	8,762	
L4-3	Linea	11863,04	222,9	81,16	3,506	
L5-4	Linea	8899,34	167,2	70,32	3,837	
L6-5	Linea	5934,41	111,4	67,68	2,633	
L7-6	Linea	2967,6	55,7	33,84	0,774	
L8-9	Linea	1217,87	23,1	14,04	0,113	
L9-10	Linea	2435,62	46,2	28,08	0,893	
L17-L15	Linea	2935,5	55,4	33,66	2,489	
L16-17	Linea	1467,89	27,7	16,83	0,258	
L15-14	Linea	4400,85	83,1	50,49	2,413	
L14-12	Linea	5866,24	110,9	67,33	4,447	
L12-13	Linea	7329,56	138,6	84,19	4,795	
L10-11	Linea	3652,58	69,3	29,17	0,723	
L1-CABR	Linea	20749,39	390,3	85,26	216,177	
L11-CABR	Linea	4869,69	92,5	38,9	0,111	
L13-CABR	Linea	8792,49	166,4	70	30,405	
CABR-SE		34164,88	648,5	80,59	525,514	
TR AT/MT	Trasformatore 2 avv.	33639,37	647,9	74,82	209,984	43,965
RTN	Alimentazione rete	33429,38	216	129,4		

	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	FV.TRO03.PD.9.2 00 17/01/2022 28/01/2022 17 di 21
---	--	--	---

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;

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.TRO03.PD.3.4).

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 cavo dritto 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	sec [mm ²]	Iz [A]	ΔUn [%]
Cabina campo 1	Cabina campo 2	L2-1	Al	1	500	402,4	0
Cabina campo 2	Cabina campo 3	L3-2	Al	1	400	354,5	0
Cabina campo 3	Cabina campo 4	L4-3	Al	1	240	274,7	0,1
Cabina campo 4	Cabina campo 5	L5-4	Al	1	185	237,7	0
Cabina campo 5	Cabina campo 6	L6-5	Al	1	95	164,6	0
Cabina campo 6	Cabina campo 7	L7-6	Al	1	95	164,6	0
Cabina campo 8	Cabina campo 9	L9-8	Al	1	95	164,6	0
Cabina campo 9	Cabina campo 10	L10-9	Al	1	95	164,6	0
Cabina campo 10	Cabina campo 11	L11-10	Al	1	185	237,7	0
Cabina campo 16	Cabina campo 17	L16-17	Al	1	95	164,6	0
Cabina campo 17	Cabina campo 15	L17-15	Al	1	95	164,6	0,1
Cabina campo 15	Cabina campo 14	L15-14	Al	1	95	164,6	0,1
Cabina campo 14	Cabina campo 12	L14-13	Al	1	95	164,6	0,1
Cabina campo 12	Cabina campo 13	L12-13	Al	1	95	164,6	0,1
Cabina campo 12	Cabina campo 13	L12-13	Al	1	95	164,6	0,1
Cabina di campo 1	Cabina di raccolta	L1-CABR	Al	1	630	457,8	1
Cabina di campo 11	Cabina di raccolta	L11-CABR	Al	1	185	237,7	0
Cabina di campo 13	Cabina di raccolta	L11-CABR	Al	1	185	237,7	0,3
Cabina di raccolta	NT1	CABR-SE	Al	2	500	804,7	1,5

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 TROIA - SOMMARIO				
	N.	P TOT	kW	
CAMPO FV	5			35000
Un	Perdite Linee		Perdite trasformatori	
kV	kW	%	kW	%
30	811,74	2,32%	548,49	1,57%
150	0		209,98	0,60%
Perdite totali impianto				
kW	1570,21	%	4,49%	

Come si evince dalla tabella, il valore delle perdite totali delle linee MT è pari a 2,32%, inferiore al 4% previsto.

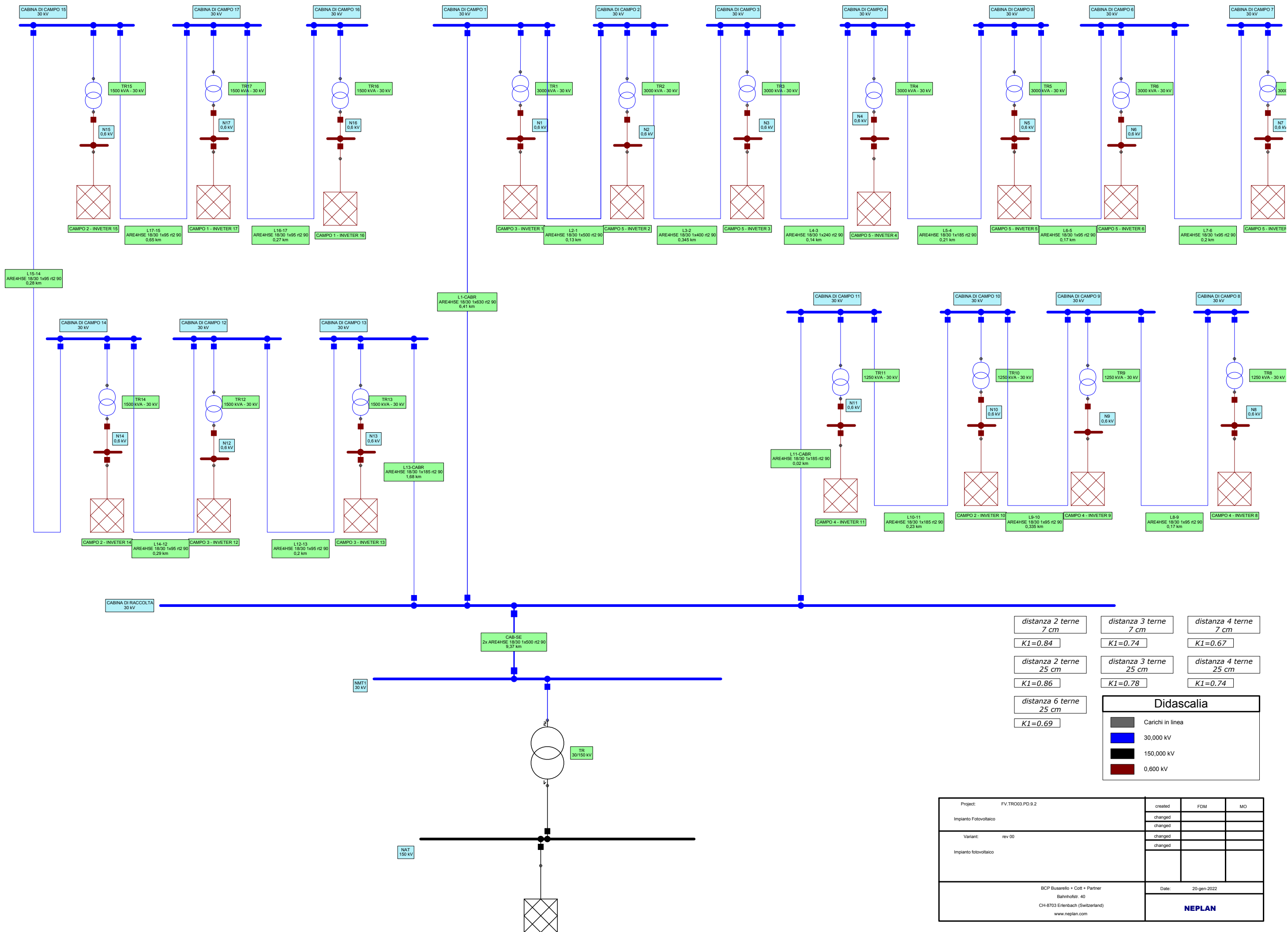
Complessivamente considerando le perdite dei trasformatori di ciascuna cabina di campo e del trasformatore della stazione elettrica, si ottiene che il valore delle perdite complessive raggiunge il 4,49%.

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.

	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	FV.TRO03.PD.9.2 00 17/01/2022 28/01/2022 18 di 19
---	--	--	---


**ALLEGATO 1
RETE ELETTRICA**



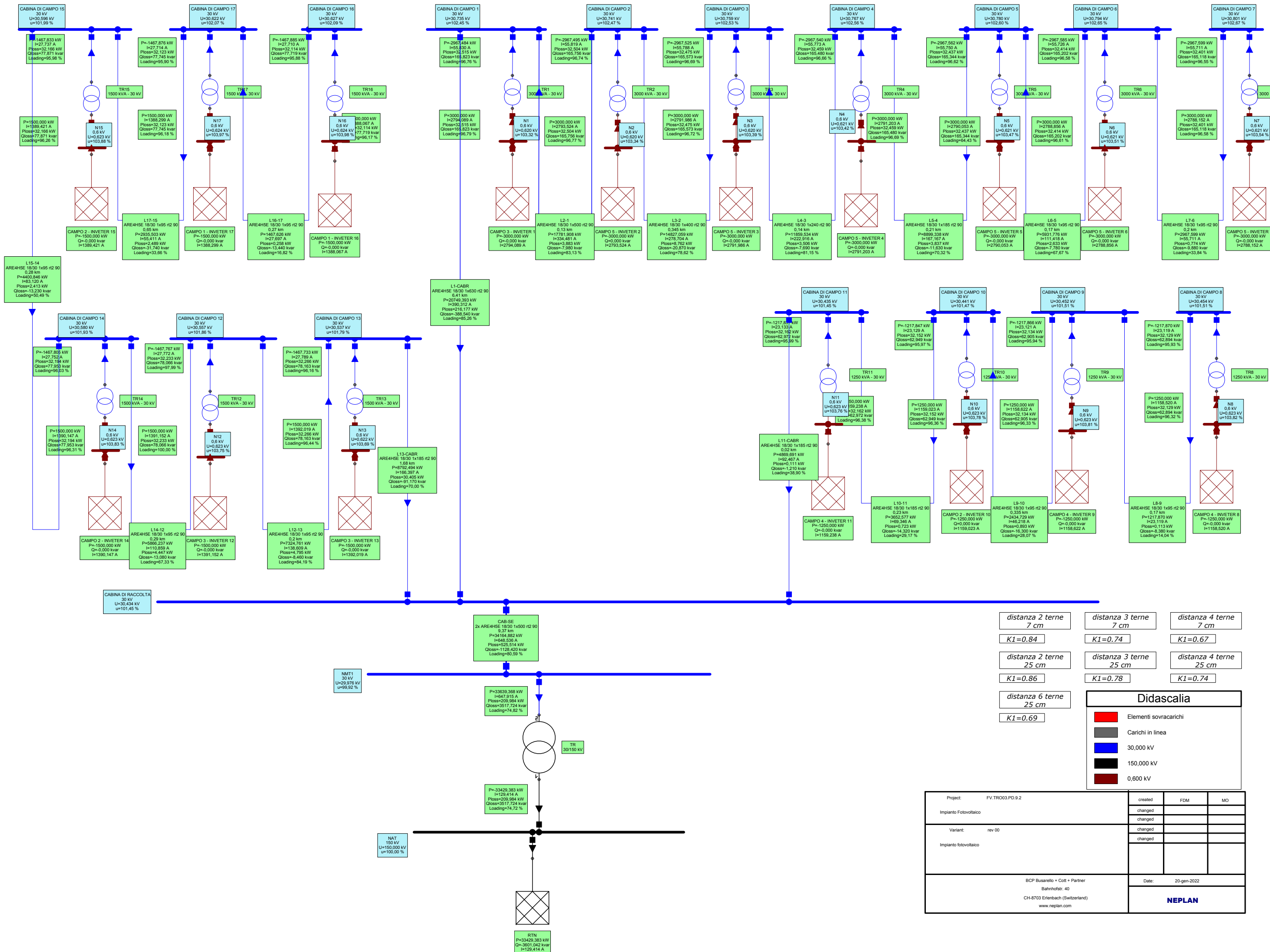
distanza 2 terne 7 cm	distanza 3 terne 7 cm	distanza 4 terne 7 cm
K1=0.84	K1=0.74	K1=0.67
distanza 2 terne 25 cm	distanza 3 terne 25 cm	distanza 4 terne 25 cm
K1=0.86	K1=0.78	K1=0.74
distanza 6 terne 25 cm		
K1=0.69		

Didascalìa	
	Carichi in linea
	30,000 kV
	150,000 kV
	0,600 kV

Project: FV.TR003.PD.9.2	created	FDM	MO
Impianto Fotovoltaico	changed		
	changed		
Variant: rev 00	changed		
Impianto fotovoltaico	changed		
BCP Busarello + Cott + Partner Bahnhofstr. 40 CH-8703 Erlenbach (Switzerland) www.neplan.com		Date:	20-gen-2022
			NEPLAN

 TENPROJECT	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	FV.TRO03.PD.9.2 00 17/01/2022 28/01/2022 19 di 19
---	--	--	---

**ALLEGATO 2
CALCOLO LOAD FLOW**



distanza 2 terne 7 cm	distanza 3 terne 7 cm	distanza 4 terne 7 cm
K1=0.84	K1=0.74	K1=0.67
distanza 2 terne 25 cm	distanza 3 terne 25 cm	distanza 4 terne 25 cm
K1=0.86	K1=0.78	K1=0.74
distanza 6 terne 25 cm		
K1=0.69		

Didascalìa

- Elementi sovraccarichi
- Carichi in linea
- 30,000 kV
- 150,000 kV
- 0.600 kV

Projet:	FV.TRO03.PD.9.2	created	FDM	MO
Impianto Fotovoltaico		changed		
		changed		
Variant:	rev 00	changed		
Impianto fotovoltaico		changed		
BCP Busarello + Cott + Partner Bahnhofstr. 40 CH-8703 Erlenbach (Switzerland) www.neplan.com		Date:	20-gen-2022	
NEPLAN				