

REGIONE EMILIA-ROMAGNA

PROVINCIA DI FERRARA

Comuni di Codigoro e Fiscaglia (FE)

LOCALITA' "Valle Giralda"

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RTN AVENTE POTENZA NOMINALE PARI A 71 MWp

Sezione 9:

CALCOLI PRELIMINARI STRUTTURE E IMPIANTI

Titolo elaborato:

Relazione di calcolo e dimensionamento della rete in alta tensione

N. Elaborato: 9.2

Scala: -

Proponente

VIRGO ALPHA S.r.l.

Via Piave, 7
CAP 00187 - ROMA (RM)
P.Iva 17296991007

Procuratore

Dott. Ing. SALVATORE FLORENI

Progettazione



TENPROJECT

sede legale e operativa

Loc. Chianarile snc Area Industriale - 82010 San Martino Sannita (BN)

sede operativa

Via A.La Cava 114 - 71036 Lucera (FG)

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	MAGGIO 2024	FDM sigla	FDM sigla	NF sigla	Emissione progetto definitivo
Nome file sorgente	FV.CDG01.PD.9.2.R00.doc	Nome file stampa	FV.CDG01.PD.9.2.R00.pdf	Formato di stampa	A4

INDICE

1	PREMESSA.....	2
2	DOCUMENTI E NORME DI RIFERIMENTO	3
3	CONDIZIONI AMBIETALI DI PROGETTO	4
4	CARATTERISTICHE TECNICHE DELL'IMPIANTO.....	5
4.1	Descrizione generale	5
4.2	Dati di impianto	6
5	CARATTERISTICHE TECNICHE DEI CAVI.....	7
5.1	Caratteristiche elettriche	7
5.2	Caratteristiche funzionali e costruttive	9
5.2.1	Collegamenti impianto agrivoltaico (interno ed esterno).....	9
5.3	Accessori.....	9
6	VERIFICHE RETI AT	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	14
6.6	Verifica delle perdite.....	17
7	CARATTERISTICHE PRINCIPALI DEI COMPONENTI AT	18
7.1	Generalità.....	18
7.2	Quadri elettrici	19
7.3	Interruttori	19
7.4	Sezionatori	19

1 PREMESSA

Il progetto riguarda la realizzazione di un impianto agrivoltaico di potenza nominale installata pari a 71 MWp e potenza nominale di connessione pari a 60 MW da installare in provincia di Ferrara, nel comune di Codigoro in località "Valle Giralda", con opere di connessione ricadenti nei comuni di Codigoro e Fiscaglia.

Proponente dell'iniziativa è la società VIRGO ALPHA S.r.l. con sede in Via Piave, 7 - 00187 Roma (RM).

L'impianto agrivoltaico è costituito da 98628 moduli in silicio monocristallino, ognuno di potenza pari a 720 Wp. La configurazione dei pannelli, scelta in via preliminare, è costituita da un blocco di 7 file di tracker monoassiali. Ciascuna di esse consta di 24 moduli, ripartiti in n.12 moduli a valle ed a monte rispetto ad una barra di trasmissione tra le file parallele che traslerà in direzione est-ovest facendo ruotare, contemporaneamente, tutte le file ad esso collegate lungo la medesima direzione. Si precisa che la struttura descritta è la dimensione massima prevedibile, ma la stessa è modulabile per numero di moduli. Il limite di 7 file è dato, infatti, dalla massima trazione trasmissibile dalla barra per far scorrere le strutture ad esso collegate.

L'impianto è organizzato in n.6 campi delimitati da una recinzione perimetrale e provvisti di un cancello di accesso. Ogni stringa di moduli fotovoltaici è montata su una struttura metallica in acciaio zincato ancorata al terreno. All'esterno della recinzione, lungo il perimetro visibile dell'impianto, è prevista una fascia a verde di ampiezza pari a 3 m per garantire la mitigazione ambientale e paesaggistica dell'intervento.

L'impianto è organizzato in gruppi di stringhe collegati alle cabine di campo attraverso gli inverter di stringa. In particolare, l'energia elettrica viene prodotta da ogni gruppo di stringhe collegate in parallelo tramite quadri di parallelo DC in corrente continua (denominati "string box") e viene trasmessa agli inverter installati in campo e ancorati ai pali di sostegno di una delle strutture, che provvedono alla conversione in corrente alternata. Gli inverter attraverso linee BT vengono collegati ai trasformatori BT/AT ubicati all'interno delle cabine di campo. Le linee AT 36 kV in cavo interrato collegano tra loro le cabine di campo, e quindi proseguono alla cabina di smistamento utente, prevista all'interno del campo 5.

Dalla cabina di smistamento utente si sviluppa una linea 36 kV interrata per il trasferimento dell'energia dell'impianto agrivoltaico alla futura Stazione Elettrica (SE) della RTN a 380/132/36 kV da inserire in entra – esce alla linea RTN 380 kV "Ravenna Canala – Porto Tolle" e alle linee RTN 132 kV afferenti alla Cabina Primaria Codigoro ricollegata in doppia antenna alla suddetta Stazione Elettrica.

La proposta progettuale presentata è stata sviluppata in modo da ottimizzare al massimo il rapporto tra le opere di progetto ed 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 alta tensione.

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);
- Legge 01 marzo 1968 n.186: Disposizioni concernenti la produzione di materiali, apparecchiature, macchinari, installazioni e impianti elettrici ed elettronici;
- Norma CEI 0-2: Guida per la definizione della documentazione di progetto per impianti elettrici.
- Norma CEI 11-17: Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica - Linee in cavo;
- Norma IEC 60909: Calcolo delle correnti di cortocircuito nelle reti trifasi a corrente alternata;
- Norma CEI EN 50110-1: Esercizio degli impianti elettrici;
- Norma CEI EN 50363: Materiali isolanti, di guaina e di rivestimento per cavi di energia di bassa tensione;
- Norma CEI EN 50522: Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1kV in c.a.;
- Norma CEI EN 50541-1: Trasformatori trifase di distribuzione di tipo a secco a 50 Hz, da 100 kVA a 3150 kVA e con una tensione massima per il componente non superiore a 36 kV;
- Norma CEI EN 60071: Coordinamento dell'isolamento;
- Norma CEI EN 60076-1: Trasformatori di potenza –Parte 1 Generalità;
- Norma CEI EN 60099-4/A2, CEI 37-2;V2: Scaricatori. Parte 4: Scaricatori ad ossido metallico senza spinterometri per reti elettriche a corrente alternata;
- Norma CEI EN 61082-1: Preparazione di documenti utilizzati in elettrotecnica - Parte 1: Prescrizioni generali;
- Norma CEI EN 61936-1: Impianti elettrici con tensione superiore a 1kV in c.a. Parte 1: Prescrizioni comuni;
- Documento di armonizzazione CENELEC HD 637 S1: Power installations exceeding 1 kV a.c.;

- Norma IEC 60204-1: Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 1: General requirements;
- Norma IEC 60228: Conductors of insulated cables;
- Norma IEC 60502: 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);
- Terna Allegato A.3 Codice di rete - Requisiti e caratteristiche di riferimento di stazioni e linee elettriche della RTN;
- Terna Allegato A.17 Codice di rete - CENTRALI EOLICHE: Condizioni generali di connessione alle reti AT - Sistemi di protezione regolazione e controllo;
- Norma CEI UNEL 35027 Cavi di energia per tensione nominale u da 1 kV a 30 kV - portate di corrente in regime permanente - posa in aria ed interrata.

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.

4 CARATTERISTICHE TECNICHE DELL'IMPIANTO

4.1 Descrizione generale

il progetto dell'impianto agrivoltaico prevede la realizzazione/installazione di:

- N° 98628 moduli fotovoltaici da 720 Wp collegati in stringhe installate su strutture di supporto;
- N°20 cabine di campo all'interno dell'area d'impianto comprensive di cabine "Spare";
- N°300 inverter di stringa DC/AC;
- N°20 trasformatori MT/BT comprensivi di trasformatori "Spare";
- N°6 cabine per i servizi ausiliari;
- N°1 cabina di smistamento utente 36 kV all'interno del campo 5;
- Recinzione esterna perimetrale alle aree di installazione dei pannelli fotovoltaici;
- N°8 cancelli carrai da installare lungo la recinzione perimetrale per l'accesso ai campi agrivoltaici;
- Realizzazione di circa 7,35 km di viabilità a servizio dell'impianto;
- Un cavidotto AT interrato interno al campo agrivoltaico per il collegamento delle cabine di campo alla cabina di smistamento utente, avente una lunghezza complessiva di circa 6 km;
- Un cavidotto AT interrato esterno al campo agrivoltaico per il collegamento della cabina di smistamento alla futura stazione elettrica 380/132/36 kV di Fiscaglia, avente una lunghezza complessiva di circa 18 km;
- Fascia arborea prevista lungo il perimetro esterno della recinzione dell'impianto agrivoltaico.

Per la realizzazione dell'impianto sono previste le seguenti opere ed infrastrutture:

- **Opere civili:** installazione delle strutture di supporto dei moduli fotovoltaici; realizzazione della viabilità interna al campo agrivoltaico; realizzazione della recinzione perimetrale al campo agrivoltaico; realizzazione degli scavi per la posa dei cavi elettrici; realizzazione delle cabine di campo, delle cabine per i servizi ausiliari, della cabina di raccolta e della stazione elettrica; realizzazione di un manufatto in cls per la regimentazione idraulica; realizzazione di due capannoni per ricovero dei mezzi a supporto dell'attività agricola.
- **Opere impiantistiche:** installazione dei moduli fotovoltaici collegati in stringhe; installazione degli inverter; installazione dei trasformatori all'interno delle cabine di campo; installazione delle apparecchiature e realizzazione dei collegamenti all'interno della cabina di raccolta; esecuzione dei collegamenti elettrici, tramite cavidotti interrati, tra i moduli fotovoltaici, le cabine di campo, la cabina di raccolta, la stazione elettrica; realizzazione degli impianti di terra dei gruppi di campo, delle cabine di campo, della cabina di raccolta e della stazione elettrica.
- **Coltivazioni, opere di mitigazione e compensazione:** preparazione del terreno degli spazi di interfila ai fini della coltivazione; messa a dimora delle essenze previste per la fascia arborea perimetrale al campo.

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 AT

- Sistema trifase
- Frequenza 50 Hz
- Tensione nominale (lato AT-Utente) 36 kV
- Tensione nominale (lato AT-RTN) 36-150 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)

- Tensione nominale CA 0.80 kV
- Tensione massima CC 1,5 kV
- Potenza nominale 200 kW
- Corrente nominale 144.4 A

TRASFORMATORI AT/BT (CABINA DI CAMPO)

- Potenza nominale 3600-4000-4400 kVA
- Rapporto trasformazione 36/0.8 kV
- Tensione di c.to c.to 6 %
- Collegamento Dy11

TRASFORMATORE SA

- Potenza nominale 50 kVA
- Rapporto nominale 36 / 0.4 kV
- Tensione di c.to c.to 4 %
- Collegamento Dyn11
- Isolamento resina

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

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 alta tensione.

5.1 Caratteristiche elettriche

I cavi AT che saranno utilizzati per il collegamento di potenza tra le cabine di campo e quest'ultime con la cabina utente di smistamento saranno di tipo unipolare, adatti a posa interrata, con conduttore in Al, isolamento in polietilene reticolato XPLE, guaina esterna in PE di colore rosso. I cavi previsti sono destinati a sistemi elettrici di distribuzione con $U_0/U=20.8/36(42)$ kV ed hanno sigla di designazione ARE4H1H5E. La temperatura massima di esercizio per i cavi considerati è pari a 90°C, quella di cortocircuito a 250 °C.

Sono di seguito riportate in "Tabella 2" le sezioni, le portate (nell'ipotesi di resistività termica del terreno pari a 1°Cm/W riferimento scheda tecnica produttore Com-Cavi S.p.A. Holding) e le lunghezze dei cavi utilizzati per il collegamento dell'impianto.

In questa fase della progettazione si è scelto di utilizzare cavi unipolari Com-Cavi S.p.A. Holding ARE4H1H5E, fermo restando che la scelta adottata potrà subire modifiche in fase di progettazione esecutiva anche in funzione del progresso tecnologico.



Tabella 1 - Collegamenti AT, sezione e materiale dei conduttori

N.	COLLEGAMENTO IMPIANTO (INTERNO ED ESTERNO)	LUNGHEZZA [m]	SIGLA	SEZIONE [mmq]	PORTATA NOMINALE (RT=1 °C*m/W)
GRUPPO 1	CAB1-CAB2	570	ARE4H1H5E 20,08/36 kV	185	405
	CAB2-CAB3	335	ARE4H1H5E 20,08/36 kV	185	405
	CAB3-CAB20	205	ARE4H1H5E 20,08/36 kV	185	405
	CAB20-CABU	960	ARE4H1H5E 20,08/36 kV	240	468
GRUPPO 2	CAB4-CAB5	705	ARE4H1H5E 20,08/36 kV	185	405
	CAB5-CAB9	310	ARE4H1H5E 20,08/36 kV	185	405
	CAB9-CABU	335	ARE4H1H5E 20,08/36 kV	240	468
GRUPPO 3	CAB14-CAB13	170	ARE4H1H5E 20,08/36 kV	185	405
	CAB13-CAB12	380	ARE4H1H5E 20,08/36 kV	185	405
	CAB12-CAB11	360	ARE4H1H5E 20,08/36 kV	185	405
	CAB11-CAB10	230	ARE4H1H5E 20,08/36 kV	240	468
	CAB10-CAB9	230	ARE4H1H5E 20,08/36 kV	400	605
	CAB9-CAB8	260	ARE4H1H5E 20,08/36 kV	400	605
	CAB8-CABU	400	ARE4H1H5E 20,08/36 kV	630	794
GRUPPO 4	CAB18-CAB17	140	ARE4H1H5E 20,08/36 kV	185	405
	CAB17-CAB16	140	ARE4H1H5E 20,08/36 kV	185	405
	CAB16-CABU	490	ARE4H1H5E 20,08/36 kV	240	468
RTN	CABU-SERTN	18000	ARE4H1H5E 20,08/36 kV	630	794

5.2 Caratteristiche funzionali e costruttive

5.2.1 Collegamenti impianto agrivoltaico (interno ed esterno)

Il cavidotto AT che interessa il collegamento tra le cabine di campo e la cabina utente di smistamento e quest'ultima con la SE di Terna 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 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 25 mm² per la messa a terra dell'impianto.

Nel dettaglio le sezioni di posa del cavidotto sono riportate nell'elaborato di progetto FV.CDG01.PD.4.8.R00
Sezioni tipo cavidotto

5.3 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 36 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: 2006-07.

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: 2006-07. I nastri monitori dovranno riportare la dicitura "Attenzione Cavi Energia in Alta Tensione 36 kV".

Le giunzioni servono per collegare tra loro due pezzature contigue di cavo. Una giunzione AT è generalmente costituita da:

- una connessione metallica dei conduttori (connettore);
- un elemento di controllo del campo elettrico;
- uno o più elementi di ricostruzione dell'isolamento;
- schermatura metallica con relativo ripristino della continuità degli schermi dei cavi;
- rivestimenti esterni (per la protezione meccanica ed il tamponamento nei confronti dell'umidità).

L'involucro esterno delle giunzioni deve essere realizzato con materiale resistente agli agenti presenti nel terreno; l'impiego di nastri, vernici, smalti o materie similari non è considerato sufficiente ad assicurare la protezione necessaria. L'involucro esterno deve risultare ermetico alle infiltrazioni che potrebbero verificarsi durante l'esercizio (acqua, umidità, ecc.). Inoltre, le giunzioni devono essere realizzate in modo da impedire la migrazione longitudinale dell'acqua lungo gli schermi dei cavi.

Le principali tecnologie costruttive prevedono l'utilizzo di:

- elementi preformati di materiale retraibile a caldo (termorestringente);
- elementi preformati di materiale retraibile a freddo (autorestringente);
- resina epossidica iniettata per la ricostruzione dell'isolamento

6 VERIFICHE RETI AT

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 dell'impianto agrivoltaico, 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 AT (limite totale = 4%);
- Verifica della caduta di tensione delle linee AT per i collegamenti tra le cabine di campo (limite = 1%);
- Verifica della caduta di tensione delle linee AT per il collegamento tra il gruppo di cabine di campo e la cabina utente di smistamento (limite = 4%);
- Verifica della caduta di tensione delle linee AT per il collegamento tra la cabina utente di smistamento e la SE di Terna (limite = 4%).

Le condizioni di calcolo sono le seguenti:

- Potenza di ciascuna tratta corrispondente alla potenza nominale dei gruppi di generazione;
- Tensione nominale 36 kV;
- Resistenza dei cavi riportata alla massima temperatura operativa (90 °C);
- Fattore di potenza dei gruppi pari a 1;
- Resistività termica del terreno pari a 2°C*m/W;
- Massimo carico previsto per il cavo pari a 85%.

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 alta tensione, con la sigla **CAMPO** ___ 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 AGRIVOLTAICO - LOAD FLOW						
Element name	Type	P kW	Ib A	Loading %	P Loss kW	P Fe kW
CAMPO 1	Generatore statico	-3260	2275			
	Generatore statico	-3260	2281,4			
	Generatore statico	-3260	2280,8			
CAMPO 2	Generatore statico	-4000	2806,9			
	Generatore statico	-4000	2807,8			
	Generatore statico	-4000	2808,6			
CAMPO 3	Generatore statico	-3600	3078,5			
	Generatore statico	-3600	3078,7			
	Generatore statico	-3600	3079,6			
	Generatore statico	-3600	3081			
	Generatore statico	-3600	2523,3			
	Generatore statico	-3600	2523,8			
CAMPO 4	Generatore statico	-3200	2240,9			
	Generatore statico	-3200	2241			
	Generatore statico	-3200	2241,2			
CAMPO5/ CAMPO6	Generatore statico	-3260	2792,4			
TR1	Trasformatore 2 avv.	3600	2280	90,56	43,457	2,738
TR2	Trasformatore 2 avv.	3600	2523,2	71,56	43,343	2,729
TR3	Trasformatore 2 avv.	3600	4443,6	80	45,608	2,638



TR4	Trasformatore 2 avv	4400	2806,2	90,91	43,932	2,727
TR5	Trasformatore 2 avv.	4400	2807,1	90,91	43,957	2,727
TR5	Trasformatore 2 avv.	4400	2807,8	90,91	43,978	2,725
TR6	Trasformatore 2 avv.	4400	2807,8	90,91	43,978	2,725
TR8	Trasformatore 2 avv.	4000	2524,5	71,6	43,381	2,726
TR9	Trasformatore 2 avv.	4000	2524,5	71,6	43,381	2,726
TR10	Trasformatore 2 avv.	4000	2523,3	71,57	43,343	2,729
TR11	Trasformatore 2 avv.	4000	2523,3	71,57	43,343	2,729
TR12	Trasformatore 2 avv.	4000	3079,63	87,35	43,343	2,276
TR13	Trasformatore 2 avv.	4000	3078,5	87,32	43,266	2,279
TR14	Trasformatore 2 avv.	4000	3078,5	87,31	43,261	2,280
TR16	Trasformatore 2 avv.	3600	3078,5	87,31	43,261	2,280
TR17	Trasformatore 2 avv.	3600	2241	88,89	42,338	2,730
TR18	Trasformatore 2 avv.	3600	2240,9	88,89	42,334	2,731
TR20	Trasformatore 2 avv.	3600	2786,4	79,03	43,779	2,278
L1-2	Linea	3216,54	50,6	17,86	0,718	
L2-3	Linea	6432,08	101,2	35,7	1,688	
L3-20	Linea	12860,52	202,5	61,81	14,757	
L4-5	Linea	5554,47	88,7	26,21	2,788	
L5-9	Linea	7910,76	124,6	43,95	2,367	
L9-8	Linea	21324,03	335,9	79,32	6,847	
L10-9	Linea	17771,6	279,9	66,09	4,205	
L11-10	Linea	14219,26	223,9	68,34	4,323	
L12-11	Linea	10667,58	167,9	59,22	4,992	
L13-12	Linea	7113,21	111,9	39,48	2,341	
L14-13	Linea	3556,74	56	19,74	0,261	
L16-CABU	Linea	9472,15	149,3	45,56	4,093	
L20-CABU	Linea	12860,52	202,5	61,81	14,757	
L8-CABU	Linea	24873,8	392	70,52	8,646	
L9-CABU	Linea	11864,42	186,9	57,06	4,39	
LCABU-SE		59039,01	930,6	83,71	1094,458	
RTN	Alimentazione rete	57944,55	929,3			

6.4 Verifica della portata

La portata dei cavi in regime permanente viene determinata in accordo alla norme IEC 60502-2 e CEI UNEL 35027, 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 fornita dal costruttore con resistività termica del terreno 1 °C m/W e profondità di posa 0,5 m;

k_1 = coefficiente di correzione per temperatura del terreno diversa da quella di riferimento pari a 1;

k_2 = coefficiente di spaziatura per terne affiancate e distanziate 250 mm pari a 1;

k_3 = coefficiente di correzione per resistività termica del terreno diversa da quella di riferimento pari a 0,73;

k_4 = coefficiente di correzione per profondità di posa diversa da quella di riferimento (0,5 m) pari a 0,94.

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.

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*.

Al fine di verificare la tenuta dei cavi al corto circuito, per le diverse sezioni saranno effettuati i seguenti calcoli. In particolare, secondo quanto previsto dalla normativa, sono stati calcolati i tempi di intervento massimi delle protezioni in caso di guasto trifase massimo, al fine di verificare il vincolo sull'energia passante per le sezioni scelte. La relazione è la seguente:

$$K^2 S^2 = I^2 t$$

con:

- K: costante del cavo che dipende dal materiale di cui è costituito il conduttore, dall'isolamento e dalle temperature massime ammesse durante il servizio ordinario e in corto circuito [$A \cdot s^{1/2} / mm^2$];

- S: sezione del conduttore [mm²];
- t: durata del guasto [s];
- I: corrente di corto circuito trifase [A].

In accordo alla Norma CEI 11-17 (Tab. 4.2.2), il valore di K considerato è pari a 92 As^{1/2}/mm² calcolato con temperatura iniziale e finale pari a 90°C e 250°C rispettivamente (cavo in Al con isolamento in polietilene reticolato XLPE). Il criterio di tenuta è stabilito sulla base del tempo ricavato dal tempo massimo di estinzione del guasto (t), il cui limite è stabilito pari a 1 s.

Nella tabella seguente sono riportati i risultati di calcolo relativi alla portata effettiva, quelli relativi alla caduta di tensione di ciascuna tratta e la tenuta al cortocircuito considerando il massimo transito di potenza attiva.

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

node 1	node 2	Element name	mat	n	Sez [mm ²]	Iz [A]	K	ΔUn [%]	tmax [s]
CAMPO 5/CAMPO6 CABINA 5- CABINA DI CAMPO 20	CAMPO 1 - CABINA 3	L3-20	Al	1	185	283,5	0,686	0,1	>5
CAMPO 1 - CABINA 2	CAMPO 1 - CABINA 1	L1-2	Al	1	185	283,5	0,686	0,1	>5
CAMPO 1 - CABINA 3	CAMPO 1 - CABINA 2	L2-3	Al	1	185	283,5	0,686	0,1	>5
CAMPO 2 - CABINA 5	CAMPO 2 - CABINA 4	L4-5	Al	1	185	283,5	0,686	0,1	>5
CAMPO 2 - CABINA 6	CAMPO 2 - CABINA 5	L5-9	Al	1	185	283,5	0,686	0,1	>5
CAMPO 3- CABINA 14	CAMPO 3- CABINA 13	L14-13	Al	1	185	283,5	0,686	0,1	>5
CAMPO 3- CABINA 12	CAMPO 3- CABINA 11	L12-11	Al	1	185	283,5	0,686	0,1	>5
CAMPO 3- CABINA 13	CAMPO 3- CABINA 12	L13-12	Al	1	185	283,5	0,686	0,1	>5
CAMPO 3- CABINA 10	CAMPO 3- CABINA 9	L10-9	Al	1	400	423,5	0,686	0,1	>5
CAMPO 3- CABINA 9	CAMPO 3- CABINA 8	L9-8	Al	1	400	423,5	0,686	0,1	>5

CAMPO 5/CAMPO6 CABINA 5- CABINA DI CAMPO 20	CABINA UTENTE 36 kV	L20- CABU	AI	1	240	327,6	0,686	0,1	>5
CABINA UTENTE 36 kV	CAMPO 2 - CABINA 6	L9- CABU	AI	1	240	327,6	0,686	0,1	>5
CAMPO 3- CABINA 11	CAMPO 3- CABINA 10	L11-10	AI	1	240	327,6	0,686	0,1	>5
CAMPO 3- CABINA 8	CABINA UTENTE 36 kV	L8- CABU	AI	1	630	555,8	0,686	0,1	>5
CAMPO 4- CABINA 18	CAMPO 4- CABINA 17	L18-17	AI	1	185	283,5	0,686	0,1	>5
CAMPO 4- CABINA 17	CAMPO 4- CABINA 16	L17-16	AI	1	185	283,5	0,686	0,1	>5
CAMPO 4- CABINA 16	CABINA UTENTE 36 kV	L16- CABU	AI	1	240	327,6	0,686	0,1	>5
CABINA UTENTE 36 kV	BRTN	LCABU- SE	AI	2	630	1111,6	0,686	1.8	>5

Come si evince dalla tabella il **valore della C.d.T. relativa alle linee AT 36 kV di ogni collegamento tra le cabine di campo e quest'ultime con la cabina utente di smistamento è inferiore al 1% previsto.**

Il valore della C.d.T. relative alle linee AT 36 kV del collegamento tra la cabina di smistamento e quest'ultima con la SE di TERNA è inferiore al 4% previsto nei criteri di verifica descritti nel paragrafo 6.1.

6.6 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 AT in cavo, dei trasformatori di macchina, nelle condizioni di progetto previste.

La tabella 6 riporta le perdite complessive per impianto agrivoltaico:

Tabella 6 - Perdite complessive

IMPIANTO AGRIVOLTAICO - SOMMARIO				
Potenza totale di connessione			<i>kW</i>	
			60000	
Un	Perdite Linee		Perdite trasformatori	
<i>kV</i>	<i>kW</i>	%	<i>kW</i>	%
36	1158,59	1,93%	736,86	1,23%
Perdite totali impianto				
<i>kW</i>	1895,45	%	3,16%	

Come si evince dalla tabella, il valore delle perdite totali delle linee AT è pari a 1,93%, inferiore al 4% previsto.

Complessivamente considerando le perdite dei trasformatori di ciascuna cabina di campo il valore di perdite complessive raggiunge il 3,16%.

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 agrivoltaico.

7 CARATTERISTICHE PRINCIPALI DEI COMPONENTI AT

7.1 Generalità

Alla luce dei risultati ottenuti dalle simulazioni della rete in alta tensione 36 kV, è possibile individuare le caratteristiche principali dei componenti elettrici dell'impianto relativi all'alta tensione 36 kV e precisamente alle apparecchiature nella cabina utente di smistamento.

Le apparecchiature di bassa tensione presenti all'interno della cabina di campo e cabina utente di smistamento vengono approvvigionate per il livello di tensione opportuno (230 V – 400 V) e pertanto già sono in grado di reggere il relativo corto circuito trifase e monofase.

Tutti i componenti elettrici in alta tensione 36 kV sono caratterizzati da valori superiori ai risultati delle simulazioni nelle seguenti grandezze:

- Tensione nominale (U_r) e tensione massima (U_m);
- Livello di isolamento (tensione di tenuta a 50 Hz e ad impulso);
- Corrente nominale (I_r);
- Corrente nominale di breve durata ammissibile (I_k);
- Durata nominale di cortocircuito (t_k).

I valori unificati (valori normali) delle grandezze sopraindicate per le apparecchiature elettriche in media tensione sono:

Tensioni nominali e massime

- Valori di tensione nominali (kV): 3 6 10 15 20 30 36
- Valori di tensione massimi (kV): 3,6 7,2 12 17,5 24 36 40,5

Livello di isolamento

In relazione alla tensione nominale sono stabilite:

- la tensione di tenuta a frequenza industriale U_d (kV): 10 ($U_r=3$ kV); 20 ($U_r=6$ kV); 28 ($U_r=10$ kV); 38 ($U_r=15$ kV); 50 ($U_r=20$ kV); 70 ($U_r=30$ kV); 80 ($U_r=36$ kV).
- la tensione di tenuta ad impulso U_p (1,2/50 μ s) (kV): 40 ($U_r=3$ kV); 90 ($U_r=6$ kV); 75 ($U_r=10$ kV); 95 ($U_r=15$ kV); 125 ($U_r=20$ kV); 170 ($U_r=30$ kV); 185 ($U_r=36$ kV).

Corrente nominale

I valori normalizzati delle correnti nominali in media tensione sono (A):

400 630 800 1000 1250 1600 2000 2500 3150

Corrente nominale di breve durata e durata nominale di cortocircuito

I valori normalizzati delle correnti nominali di breve durata sono (kA):

8 10 12,5 16 20 25

7.2 Quadri elettrici

Dalla scelta iniziale sulla tensione nominale del sistema, dall'analisi delle tabelle del load flow e del corto circuito, si dovranno scegliere quadri con le seguenti caratteristiche:

- Tensione nominale: 36 kV;
- Tensione massima: 40,5 kV;
- Tensione di tenuta a frequenza industriale: 50 kV;
- Tensione di tenuta ad impulso: 185 kA.

7.3 Interruttori

Specifiche funzionali degli interruttori:

- Tensione nominale (U_r) almeno uguale alla tensione massima del sistema elettrico (U_m);
- Corrente nominale (I_r) almeno uguale alla corrente di intervento del relè di massima. La durata normale di cortocircuito (t_k) è in genere un secondo; altri valori raccomandati sono (s): 0,5 – 2 - 3 corrente ritardato, a sua volta maggiore della corrente di impiego del circuito (I_b);
- Potere di interruzione (I_{sc}) almeno uguale alla corrente di cortocircuito presunta nel punto di installazione;

Specifiche tecniche degli interruttori scelti:

Elemento	U_r [kV]	Corrente Nominale [A]	I_k [kA]
Interruttore	40,5	630	25

7.4 Sezionatori

Specifiche funzionali dei sezionatori:

- Tensione nominale (U_r) almeno uguale alla tensione massima del sistema;
- Corrente nominale di breve durata (I_k) almeno uguale alla corrente presunta di cortocircuito (trifase simmetrica) nel punto di installazione, e durata nominale di cortocircuito (t_k) almeno uguale al tempo di interruzione della corrente di cortocircuito dei dispositivi di protezione;
- Corrente nominale (I_r) almeno uguale alla corrente di intervento del relè di massima corrente ritardato.

Specifiche tecniche dei sezionatori scelti:

Elemento	U_r [kV]	Corrente Nominale [A]	I_k [kA]	t_k [s]
Sezionatore	40,5	630	25	>>1

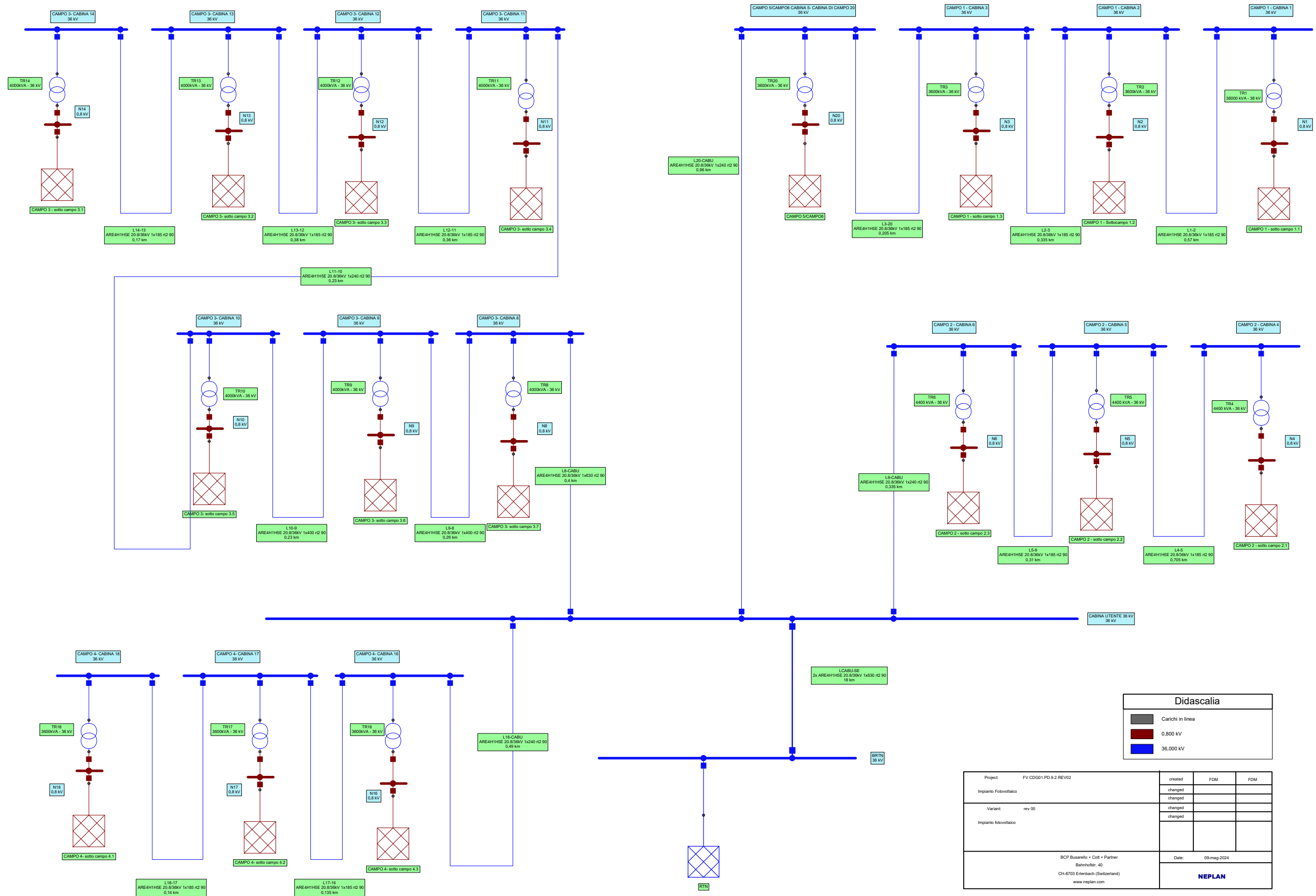


TENPROJECT
"The power of the future is renewable"

**RELAZIONE SUL DIMENSIONAMENTO
DELLA RETE IN ALTA TENSIONE**

Codice FV.CDG01.PD.9.2
Revisione 00
Pagina 20 di 21

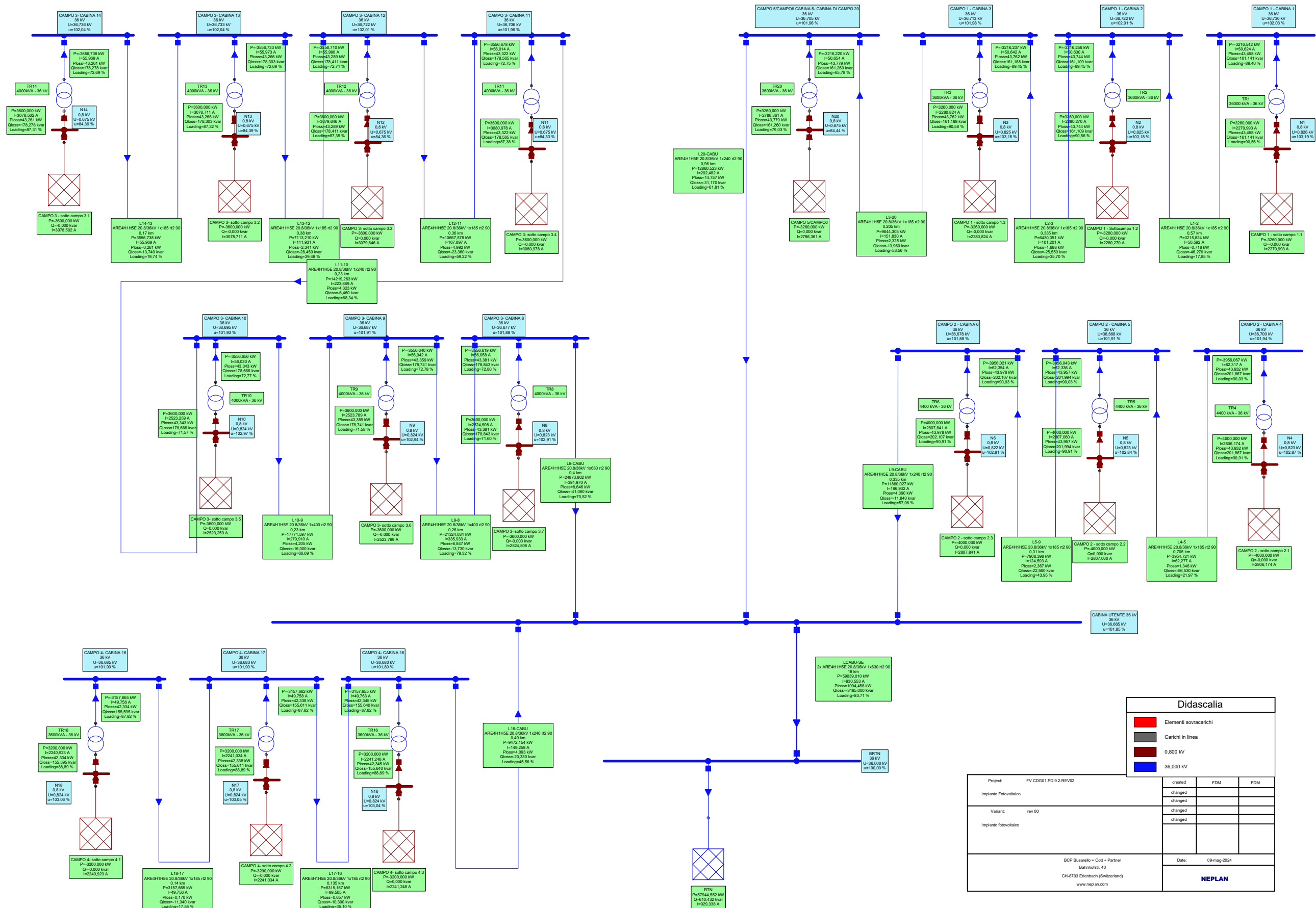
**ALLEGATO 1
RETE ELETTRICA**



Didascalia		
	Carichi in linea	
	0,800 kV	
	36,000 kV	

Project	FV CDG01 PD 9.2 REV02	created	FDM	FDM
Impianto Fotovoltaico		changed		
Version	rev 00	changed		
Impianto fotovoltaico		changed		
BCP Busarelo + Colt + Partner Bahnhofstr. 40 CH-8703 Erlenbach (Switzerland) www.neplan.com		Date:	09-mag-2024	
		NEPLAN		

**ALLEGATO 2
CALCOLO LOAD FLOW**



Didascalia

- Elementi sovraccarichi
- Carichi in linea
- 0,800 kV
- 36,000 kV

Project:	FV.CDG01.PD.9.2.REV02	created:	FDM	FDM
Impianto Fotovoltaico:		changed:		
Variant:	rev 00	changed:		
Impianto fotovoltaico:		changed:		
BCP Busarelli + Cotti + Partner Bathelstr. 40 CH-8703 Entenbach (Switzerland) www.neplan.com		Date:	09-mag-2024	
		NEPLAN		