

REGIONE PUGLIA
PROVINCIA DI LECCE

Comune:
Galatina

Località "La Lama"

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE FOTOVOLTAICA E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE - Potenza nominale **11.970,00 kWp in DC** e potenza in immissione di **9.980,00 kW in AC**

Codice Pratica Regione Puglia **FWSK078**

Sezione 9:

CALCOLI PRELIMINARI STRUTTURE E IMPIANTI

Titolo elaborato:

RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT

N. Elaborato: **9.2**

Scala: -

Committente

Galatina 3 S.r.l.

Via Francesco Scandone, 4
Montella (AV) - 83048
P.IVA 03105260644
galatina3@legalmail.it

Legale Rappresentante

Geom. Braccia Gerardo Carmine

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
01	Ottobre 2021	FDM	SS	NF	Voltura Societaria
00	Agosto 2021	FDM	SS	NF	Emissione Progetto Definitivo

Nome File sorgente	FV.GAL01.C3.PD.9.2.R01.dwg	Nome file stampa	FV.GAL01.C3.PD.9.2.R01.pdf	Formato di stampa	A4/A3
--------------------	----------------------------	------------------	----------------------------	-------------------	-------

	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.GAL01.C3.PD.9.2 05/08/2021 20/10/2021 01 1 di 9
---	--	---	--

INDICE

1.	INTRODUZIONE	2
2.	DOCUMENTI E NORME DI RIFERIMENTO	2
3.	SISTEMA ELETTRICO	3
3.1.	Descrizione generale	3
3.2.	Dati di impianto	3
4.	VERIFICA RETE MT	5
4.1.	Modalità e criterio del calcolo elettrico per la verifica della sezione dei cavi dell'impianto fotovoltaico	5
4.2.	Interpretazione dei risultati	5
4.1.	Calcolo di load flow	6
4.2.	Verifica della portata delle cadute di tensione e della tenuta al cortocircuito	7
4.3.	Verifica delle perdite.....	9
	ALLEGATO A – RETE ELETTRICA.....	
	ALLEGATO B – CALCOLO DI LOAD FLOW.....	

	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.GAL01.C3.PD.9.2 05/08/2021 20/10/2021 01 2 di 9
---	--	---	--

1. INTRODUZIONE

Nella presente relazione si riportano i calcoli di verifica dei cavi MT e Load Flow, nell'ambito della progettazione definitiva dell'impianto fotovoltaico proposto dalla società "Galatina 3 S.r.l." da realizzarsi nel comune di Galatina (LE) in località "La Lama", e con opere di connessione ricadenti tutte nello stesso territorio comunale.

2. DOCUMENTI E NORME DI RIFERIMENTO

Le norme tecniche e i documenti di riferimento utilizzate per la stesura della presente relazione sono:

- IEC 60502-2:2014: Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV (Um=1.2 kV) up to 30 kV (Um=36 kV) – Part 2: Cables for rated voltages from 6 kV (Um=7.2 kV) up to 30 kV (Um=36 kV) (02/2014);
- CEI EN 60909 (11-25) – Calcolo di cortocircuito nei sistemi trifasi in corrente alternata (12/2001);
- IEC 60287-2:2015: Electric cables – Calculation of the current rating (04/2015);
- CEI 11-17 ed.III V1 (2011-10): Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica – Linee in cavo;
- Guida tecnica Prysmian Group;
- Scheda tecnica cavo "ARE4H1R - Prysmian";
- Scheda tecnica: "Jinko Solar - TR JKM515-535M-7TL4-TV-A1-EN";
- Scheda tecnica: "SUNWAY STATION 1000 1500V 640 LS";
- Regulation (EU) No 548/2014 implementing Directive 2009/125/EC for small, medium and large power transformers.

	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT	Codice	FV.GAL01.C3.PD.9.2
		Data creazione	05/08/2021
		Data ultima modif.	20/10/2021
		Revisione	01
		Pagina	3 di 9

3. SISTEMA ELETTRICO

3.1. Descrizione generale

Il progetto riguarda la realizzazione di un impianto fotovoltaico di potenza nominale pari a 9,98 MW e potenza di picco pari a 11,97 MWp da installare nel comune di Galatina (LE) in località "La Lama", e con opere di connessione ricadenti tutte nello stesso territorio comunale.

L'impianto fotovoltaico è costituito da 22792 moduli in silicio policristallino ognuno di potenza pari a 525 Wp. Tali moduli sono collegati tra di loro in modo da costituire stringhe da 28 moduli. Ogni coppia di stringhe è montata su una struttura in acciaio zincato ancorata al terreno. L'impianto è organizzato in gruppi di stringhe collegati alle cabine di campo. A sua volta l'impianto è suddiviso in due aree distanti tra di loro circa 700 m in linea d'aria. Un'area è prossima alla SP18, l'altra area campo è posta in prossimità della strada vicinale "Le Longhe". Le due aree campo saranno delimitate da recinzione perimetrale e provviste di cancelli di accesso.

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 10 cabine di campo e quindi proseguiranno alla cabina di raccolta prevista all'interno dell'area campo prossima alla strada vicinale "Le Longhe". Dalla cabina di raccolta si svilupperà una linea MT interrata per il trasferimento dell'energia alla cabina di consegna lato utente. In adiacenza a quest'ultima è prevista la cabina di consegna lato Enel a partire dalla quale si svilupperà una linea MT in gran parte in cavo aereo che trporterà l'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico verso la Cabina Primaria "Collemeto" esistente.

3.2. Dati di impianto

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

Inverter SUNWAY TG900 1500V TE 640 STD	
Un [kV]	0,64
Pn [MW]	0,998
Trasformatori MT/BT- 1000 kVA	
Un1 [kV]	20
Un2 [kV]	0,64
Sr [kVA]*	1000
Ukr [%]*	6,0
Pfe [kW]*	0,7
Pcu [kW]*	7,6

Tabella 1 - Dati caratteristici dell'impianto

***Le perdite indicate per i trasformatori di campo sono state ricavate in accordo a quanto disposto dal regolamento UE N.548/2014 in rispetto della direttiva 2009/125/EC.**

	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.GAL01.C3.PD.9.2 05/08/2021 20/10/2021 01 4 di 9
---	--	---	--

I cavi MT che saranno utilizzati per il collegamento di potenza tra le cabine di campo e la cabina utente di consegna, saranno di tipo unipolare, adatti a posa interrata, con conduttore in Al, isolamento in miscela di polietilene reticolato, schermo a fili di rame rosso e guaina in PVC. I cavi previsti sono destinati a sistemi elettrici di distribuzione con $U_0/U=12/20$ kV ed hanno sigla di designazione ARE4H1R. 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 2,0 °C*m/W) e le lunghezze dei cavi utilizzati per il collegamento dell’impianto. Le modalità di posa dei cavi di collegamento sono riportate nell’elaborato: “FV.GAL01.PD.0.1a – Relazione tecnica”, le sezioni di posa nell’elaborato: “FV.GAL01.PD.3.3 – Sezioni tipo cavidotto MT”.

Collegamento	Sigla	Sezione	Portata nominale (RT=2 °C*m/W)	Lunghezza [m]
CAB1-CABR	ARE4H1R	185 mm ²	272 A	1690
CAB2-CAB3	ARE4H1R	95 mm ²	190 A	15
CAB3-CAB4	ARE4H1R	95 mm ²	190 A	15
CAB4-CAB5	ARE4H1R	95 mm ²	190 A	625
CAB5-CABR	ARE4H1R	185 mm ²	272 A	15
CAB10-CAB9	ARE4H1R	95 mm ²	190 A	125
CAB9-CAB8	ARE4H1R	95 mm ²	190 A	15
CAB8-CAB7	ARE4H1R	95 mm ²	190 A	15
CAB7-CAB6	ARE4H1R	95 mm ²	190 A	170
CAB6-CABR	ARE4H1R	185 mm ²	272 A	230
CABR-CABU	ARE4H1R	300 mm ²	354 A	330

Tabella 2 – Cavi di collegamento MT

	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.GAL01.C3.PD.9.2 05/08/2021 20/10/2021 01 5 di 9
---	--	---	--

4. VERIFICA RETE MT

4.1. Modalità e criterio del calcolo elettrico per la verifica della sezione dei cavi dell'impianto fotovoltaico

Nel seguito si illustrano i risultati di calcolo preliminare, atti a verificare le scelte operate sulle sezioni dei cavi della rete dell'impianto fotovoltaico in progetto, in accordo alla normativa vigente. Il calcolo delle correnti a regime, delle cadute di tensione e delle perdite ai nodi è stato effettuato con il software Neplan®, mediante un calcolo di load flow (con metodo Newton Raphson), in accordo alla Norma IEC 60909 (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 non saranno 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 per i collegamenti tra cabine di campo e cabina di consegna utente (limite = 2%).

Le condizioni di calcolo sono le seguenti:

- Potenza di ciascuna tratta corrispondente alla potenza nominale in uscita dagli inverter;
- Dimensionamento dei cavi attraverso transito di sola potenza attiva (Fattore di potenza unitario);
- Tensione nominale pari a 20 kV;
- Resistenza dei cavi riportata alla massima temperatura operativa (90 °C);
- Resistività termica del terreno pari a 2°C*m/W.

4.2. 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 **CAB**_ l'elemento nodo in media tensione interno alle cabine, con la sigla **TR**___ l'elemento trasformatore e con la sigla **L**___ l'elemento Linea.

4.1. Calcolo di load flow

In *Allegato 1* sono riportati, rappresentati graficamente, i risultati del calcolo di load flow qui riportati in forma tabellare:

Element name	Type	P	Ib	Loading	P Loss	P Fe
		kW	A	%	kW	kW
INV1	Inverter	-998	908			
INV2	Inverter	-998	907,3			
INV3	Inverter	-998	907,3			
INV4	Inverter	-998	907,3			
INV5	Inverter	-998	908,6			
INV6	Inverter	-998	908,2			
INV7	Inverter	-998	907,7			
INV8	Inverter	-998	907,7			
INV9	Inverter	-998	907,7			
INV10	Inverter	-998	907,6			
TR1	Trasformatore 2 avv.	998	908	99,8	8,161	0,695
TR2	Trasformatore 2 avv.	998	907,3	99,8	8,15	0,696
TR3	Trasformatore 2 avv.	998	907,3	99,8	8,15	0,696
TR4	Trasformatore 2 avv.	998	907,3	99,8	8,151	0,696
TR5	Trasformatore 2 avv.	998	908,6	99,8	8,17	0,694
TR6	Trasformatore 2 avv.	998	908,2	99,8	8,164	0,695
TR7	Trasformatore 2 avv.	998	907,7	99,8	8,157	0,696
TR8	Trasformatore 2 avv.	998	907,7	99,8	8,157	0,696
TR9	Trasformatore 2 avv.	998	907,7	99,8	8,157	0,696
TR10	Trasformatore 2 avv.	998	907,6	99,8	8,155	0,696
LCAB2-CAB3	Linea	989,85	28,6	17,89	0,011	
LCAB3-CAB4	Linea	1979,69	57,1	35,79	0,046	
LCAB4-CAB5	Linea	2969,49	85,7	53,68	4,389	
LCAB10-CAB9	Linea	989,84	28,6	17,9	0,097	
LCAB9-CAB8	Linea	1979,59	57,1	35,8	0,046	
LCAB8-CAB7	Linea	2969,39	85,7	53,7	0,105	
LCAB7-CAB6	Linea	3959,12	114,3	71,61	2,124	
LCAB1-CABR	Linea	989,84	28,6	14,2	0,681	
LCAB5-CABR	Linea	3954,93	114,3	56,76	0,096	
LCAB6-CABR	Linea	4946,83	142,9	70,98	2,323	
LCABR-CABU	Linea	9888,5	285,6	82,32	8,397	

	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT	Codice	FV.GAL01.C3.PD.9.2
		Data creazione	05/08/2021
		Data ultima modif.	20/10/2021
		Revisione	01
		Pagina	7 di 9

E-distribuzione	Alimentazione rete	9880,1	285,6			
-----------------	--------------------	--------	-------	--	--	--

Tabella 3 – Calcolo di load flow

4.2. Verifica della portata delle cadute di tensione e della tenuta al cortocircuito

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 dal datasheet dei fornitori è riferito alle seguenti condizioni (IEC 60502-2):

- temperatura del terreno 20°C;
- profondità di posa 0,8 m;
- resistività termica del terreno riportata sia ad 1°C*m/W che a 2°C*m/W;
- temperatura di funzionamento pari a 90 °C.

Per la temperatura del terreno è mantenuto il valore di riferimento di 20 °C ($k_1 = 1$).

Per i circuiti affiancati la distanza considerata tra le terne considerata è stata valutata pari a 7 cm.

Sono stati, pertanto, considerati i seguenti coefficienti di correzione k_2 (Rif. Guida tecnica Prysmian):

Coefficiente di Riduzione k_2	Numero di cavi o terne (in orizzontale)		
	2	2	3
Cavi MT	0,84	0,74	0,67

Tabella 4 - Coefficienti di derating della portata per più circuiti affiancati cavi MT

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

	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT	Codice	FV.GAL01.C3.PD.9.2
		Data creazione	05/08/2021
		Data ultima modif.	20/10/2021
		Revisione	01
		Pagina	8 di 9

valori di resistività dei materiali costituenti il letto di posa (sabbia, materiale di risulta, ecc...). ($k_3 = 1$, portata considerata da datasheet già relativa ad un valore di resistività termica pari a $2 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{m}/\text{W}$).

È stata infine considerata una profondità di posa media pari a 1,2 m ($k_4 = 0,98$).

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 dalle cabine di campo fino alla cabina di raccolta e quella di consegna utente. I valori delle tensioni ai nodi sono deducibili dai diagrammi presenti nell' **"Allegato B"**.

Al fine di verificare la tenuta dei cavi al corto circuito, per le diverse sezioni sono stati inoltre effettuati i calcoli seguenti. 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 [$\text{A}\cdot\text{s}^{1/2}/\text{mm}^2$];
- S: sezione del conduttore [mm^2];
- 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 $92 \text{ As}^{1/2}/\text{mm}^2$ 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.

node 1	node 2	Element name	mat	n	sec [mm ²]	Ib [A]	Iz [A]	ΔUn [%]	tmax [s]
CAB-C2	CAB-C3	LCAB2-CAB3	Al	1	95	28,6	159,6	0	>5
CAB-C3	CAB-C4	LCAB3-CAB4	Al	1	95	57,1	159,6	0	>5
CAB-C4	CAB-C5	LCAB4-CAB5	Al	1	95	85,7	159,6	0,1	>5
CAB-C10	CAB-C9	LCAB10-CAB9	Al	1	95	28,6	159,6	0	>5
CAB-C9	CAB-C8	LCAB9-CAB8	Al	1	95	57,1	159,6	0	>5
CAB-C8	CAB-C7	LCAB8-CAB7	Al	1	95	85,7	159,6	0	>5
CAB-C7	CAB-C6	LCAB7-CAB6	Al	1	95	114,3	159,6	0,1	>5

	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT	Codice	FV.GAL01.C3.PD.9.2
		Data creazione	05/08/2021
		Data ultima modif.	20/10/2021
		Revisione	01
		Pagina	9 di 9

CAB-C1	CAB-R	LCAB1-CABR	AI	1	185	28,6	201,3	0,1	>5
CAB-C5	CAB-R	LCAB5-CABR	AI	1	185	114,3	201,3	0	>5
CAB-C6	CAB-R	LCAB6-CABR	AI	1	185	142,9	201,3	0	>5
CAB-R	CAB-U	LCABR-CABU	AI	1	300	285,6	346,9	0,1	>5

Tabella 5 – Portata effettiva e caduta di tensione di ciascuna tratta

Come è possibile evincere dalla tabella 5, il valore della C.d.T. relativa alle linee MT di collegamento tra le cabine di campo e la cabina di consegna utente è inferiore al 4% previsto. Per quanto riguarda la tenuta al cortocircuito, in nessun caso il tempo di eliminazione del guasto è inferiore a 1 s, tempo utile alle protezioni per aprire il circuito guasto.

4.3. 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 e dei trasformatori BT/MT delle cabine di campo.

IMPIANTO FOTOVOLTAICO "FV.GAL01.C3" - SOMMARIO				
INV.	N.	P TOT	kW	
	10		9980	
Un	Perdite Linee		Perdite trasformatori	
kV	kW	%	kW	%
20	18,315	0,18%	88,528	0,89%
Perdite totali impianto				
kW	106,843	%	1,07 %	

Tabella 6 – Perdite rete impianto FV

Come si evince dalla tabella 6, il valore delle perdite delle linee MT è pari al 0,18% inferiori al 4% previsto.

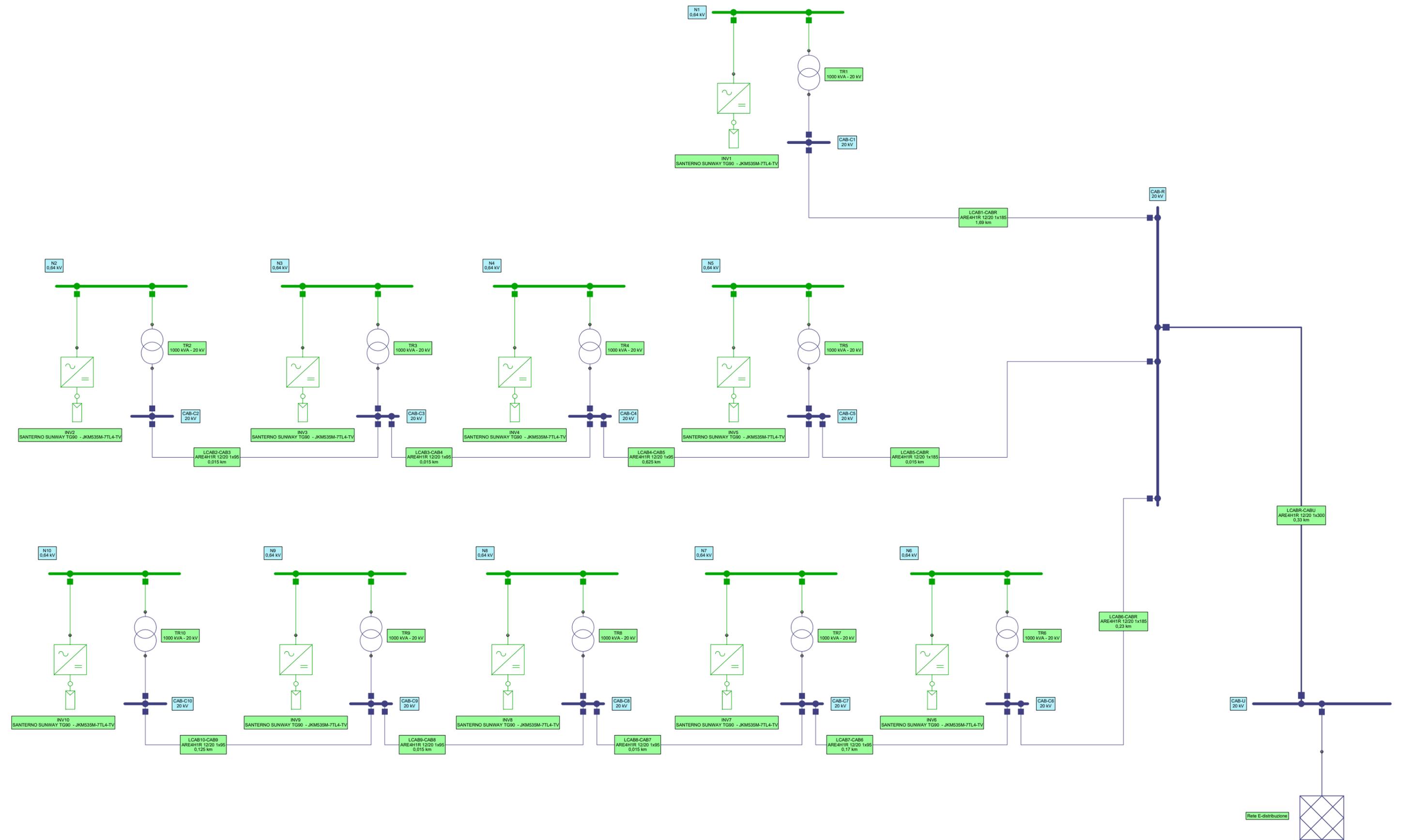
Complessivamente considerando le perdite dei trasformatori delle cabine di campo, il valore di perdite complessive raggiunge l'1,07% per il nuovo impianto fotovoltaico proposto dalla società "Galatina 3 S.r.l."

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.

 TENPROJECT	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.GAL01.C3.PD.9.2 05/08/2021 20/10/2021 01 10 di 9
---	--	---	---

ALLEGATO A – RETE ELETTRICA



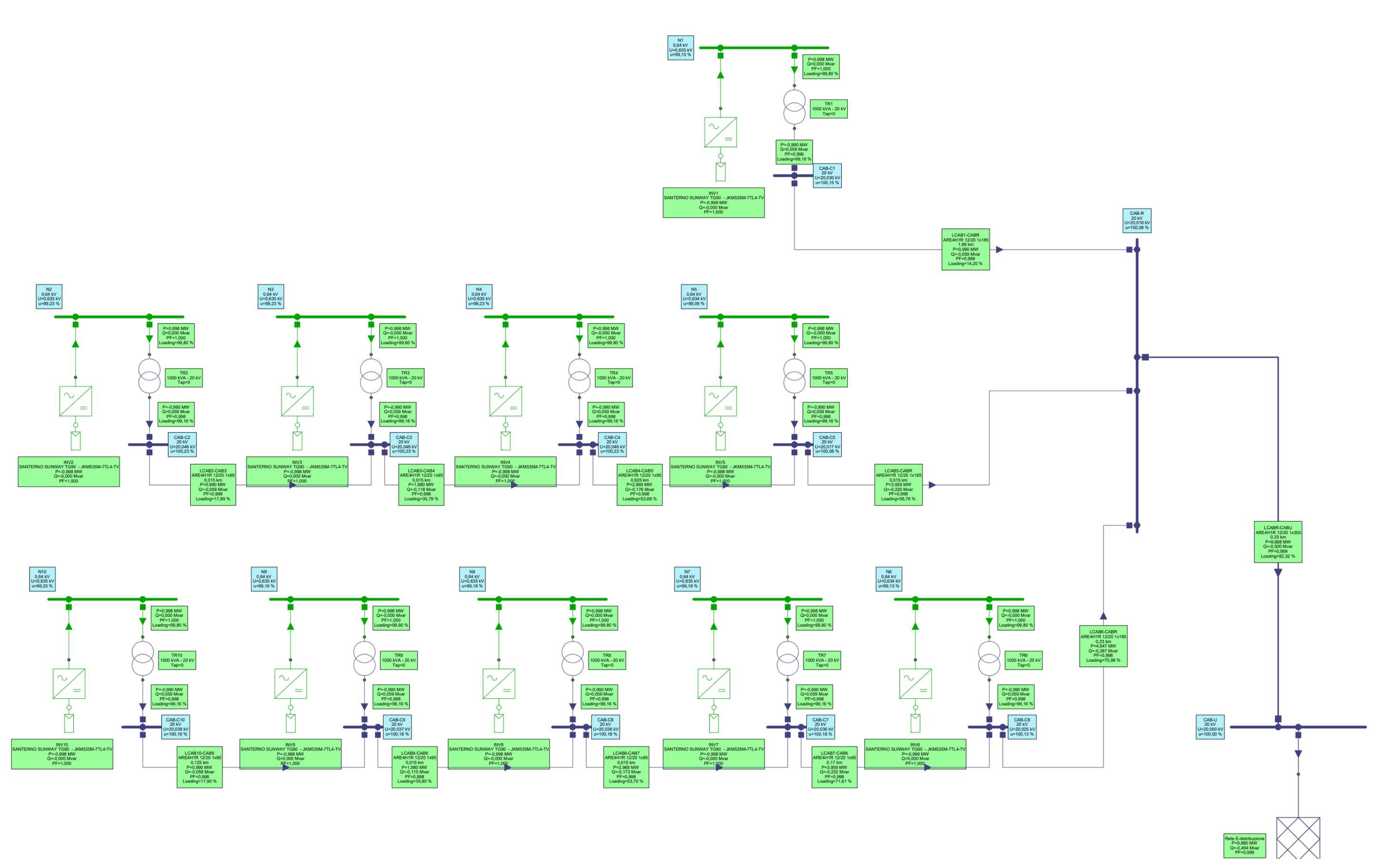
Didascalia

- Carichi in linea
- 0,640 kV
- 20,000 kV

Project:	FV.GAL01.PD.9.2	created	AC	SS
Layout elettrico		changed		
		changed		
Variant:	rev 00	changed		
		changed		
Impianto FV "FV.GAL01.C3"				
PDC = 11970 kWp				
PAC = 9980 kW				
10 Inverter "Santerno Sunway TG900"				
U=20 kV				
BCP Busarello + Cotti + Partner Bahnhofstr. 40 CH-8703 Erlenbach (Switzerland) www.neplan.com		Date:	13-set-2021	
		NEPLAN		

	RELAZIONE DI CALCOLO E DIMENSIONAMENTO MT	Codice Data creazione Data ultima modif. Revisione Pagina	FV.GAL01.C3.PD.9.2 05/08/2021 20/10/2021 01 11 di 9
---	--	---	---

ALLEGATO B – CALCOLO DI LOAD FLOW



Didascalia

- █ Elementi sovraccarichi
- █ Carichi in linea
- █ 0,640 kV
- █ 20,000 kV

Project: FV.GAL01.PD.9.2	created	AC	SS
Layout elettrico	changed		
	changed		
Variant: rev 00	changed		
Impianto FV "FV.GAL01.C3"			
PDC = 11970 kWp			
PAC = 9980 kW			
10 Inverter "Santerno Sunway TG90"			
U=20 kV			
BCP Busarello + Cotti + Partner Bahnhofstr. 40 CH-8703 Erlenbach (Switzerland) www.neplan.com	Date:	13-set-2021	
		NEPLAN	