

REGIONE EMILIA ROMAGNA

COMUNE DI CODIGORO

PROGETTO DI UN FOTOVOLTAICO 24,99 MW_p DA UBICARSI SU TERRENO AGRICOLO
NEL COMUNE DI CODIGORO (FE) E DELLE RELATIVE
OPERE DI CONNESSIONE ALLA RTN

Timbri autorizzativi

Relazione tecnica

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

Livello prog.	ID Terna spa	Tipo Elabor.	N.ro Elabor.	Project ID Cliente	Project ID Interno	NOME FILE	DATA	SCALA
PD	202401788	Relazione	01F25RT00900	PV-CODI	COD	01F25RT00900.docx	16-10-2025	-

REVISIONI

VERSIONE	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
00	22/07/2025	Prima emissione	Ing. Alberto Zotto	DB	FF
01	16/10/2025	Aggiornamento	Ing. Alberto Zotto	DB	FF
02	20/11/2025	Aggiornamento	Ing. Alberto Zotto	DB	FF
03	06/02/2026	Aggiornamento	Ing. Alberto Zotto	DB	FF

IL PROPONENTE



Elements Codigoro S.r.L.

Sede legale: Via beato Sebastiano Valfrè, 14 - 10121 Torino
CF e P.IVA: 13328390011 - REA TO- 1355264
PEC: elements.codigoro@legalmail.it

PROGETTO DI



i-Pergola SRL

Sede legale: Via Flero 28, Brescia, 25125
PEC: i-pergolasrl@pec.it
P.IVA 00747010197

INDICE

1. OGGETTO E SCOPO	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
2.1. Norme CEI	3
2.2. Altre norme di riferimento	3
3. DESCRIZIONE DELLA CONNESSIONE	4
4. LIMITI DI FUNZIONAMENTO	5
5. CRITERI DI TARATURA	6
5.1. Protezioni dell'impianto fotovoltaico contro i guasti esterni	7
5.1.1. Protezioni di rete sulla sbarra a 36 kV dell'utente	7
5.1.2. Protezioni degli inverter	8
5.1.3. Protezioni dell'impianto fotovoltaico contro i guasti interni	9
6. DESCRIZIONE DEI COMPONENTI DELLE OPERE DI UTENZA	10
6.1. Cabina di consegna	10
6.2. Cavo di connessione	10
7. RISOLUZIONE DELLE INTERFERENZE	12
8. VALUTAZIONI SUI CAMPI MAGNETICI	12

1. OGGETTO E SCOPO

Questo documento descrive l'impianto di rete per la connessione relativo all'impianto fotovoltaico di potenza 24,99 MWp da realizzarsi nel comune di Codigoro (FE).

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

2.1. NORME CEI

- ✓ EN 61936-1 Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in c.a Parte 1: Prescrizioni comuni
- ✓ CEI 11-17 Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica – Linee in cavo;
- ✓ CEI 11-20 Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a reti di I e II categoria;
- ✓ EN 50110-1 Esercizio degli impianti elettrici;
- ✓ CEI 82-25 Guida alla realizzazione di sistemi di generazione fotovoltaica collegati alle reti elettriche di Media e Bassa Tensione;
- ✓ CEI 0-2 Guida per la definizione della documentazione di progetto degli impianti elettrici;
- ✓ CEI 64-8 Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1.000 V in corrente alternata e a 1.500 V in corrente continua;
- ✓ CEI 64-14 Guida alla verifica degli impianti elettrici utilizzatori;
- ✓ CEI 20-13 Cavi con isolamento estruso in gomma per tensioni nominali da 1 a 30 kV;
- ✓ EN 62271-200 Apparecchiatura ad alta tensione - Parte 200: Apparecchiatura prefabbricata con involucro metallico per tensioni superiori a 1 kV fino a 52 kV compreso
- ✓ EN 61386-1 Sistemi di tubi e accessori per installazioni elettriche - Parte 1: Prescrizioni generali
- ✓ EN 61386-22 Sistemi di tubi e accessori per installazioni elettriche - Parte 22: Prescrizioni particolari - Sistemi di tubi pieghevoli e accessori.

2.2. ALTRE NORME DI RIFERIMENTO

Codice di Rete Terna e relativi allegati di riferimento

3. DESCRIZIONE DELLA CONNESSIONE

Le principali caratteristiche per la connessione dell'impianto fotovoltaico alla RTN vengono di seguito indicate:

- l'impianto è dotato di interruttore sull'arrivo linea di un interruttore che funge da dispositivo generale, per realizzare la separazione funzionale fra le attività interne all'impianto e quelle esterne ad esso;
- ogni linea di sottocampo è dotata di proprio interruttore e di sistema di protezione in grado di separarla dal resto dell'impianto in caso di guasto.
- gli interruttori a 36 kV richiesti sono a comando tripolare con potere di interruzione delle correnti di cortocircuito ≥ 25 kA e capacità di interruzione della corrente capacitiva a vuoto ≥ 50 A;
- la linea di collegamento a 36 kV dell'impianto di Utente alla stazione RTN deve essere connessa ad una singola cella 36 kV con un numero di terne in parallelo non superiore a 2. Poiché, nel caso in oggetto, la potenza di impianto non è trasportabile con 2 terne di cavi, si utilizzano due celle distinte sulla medesima sezione 36 kV della SE Terna.
- la linea di collegamento a 36 kV dell'impianto di Utente alla stazione RTN è dotata di vettori ridonati in fibra ottica fra gli estremi con coppie di fibre disponibili e indipendenti utilizzabili per:
 - telemisure e telesegnali da scambiare con Terna;
 - scambio dei segnali associati alla regolazione locale della tensione;
 - segnali di telescatto associati al sistema di protezione dei reattori shunt di linea eventualmente presenti;
 - eventuali segnali logici e/o analogici richiesti dai sistemi di protezione;
 - segnali per il sistema di difesa
- condutture ed apparecchiature sono dimensionate per una tenuta alla corrente di cortocircuito ≥ 20 kA per 1,0 s;
- il livello di isolamento richiesto per tutte le apparecchiature è pari a $U_r=40,5$ kV, valore previsto dalla norma CEI EN 62271-1 e tale da rispettare la massima tensione di esercizio garantita da Terna pari a +10% della V_n ;
- la corrente di guasto a terra garantita da Terna con esercizio normale della rete a neutro compensato (bobina di compensazione attiva e funzionante) è pari a 150 A resistivi;
- il sistema di protezione è predisposto in modo da eliminare correttamente i guasti a terra sia nella condizione normale di esercizio della rete a neutro compensato sia in quella accidentale di esercizio a neutro isolato nella quale la corrente di guasto di tipo capacitivo può arrivare fino ad un valore massimo di 1250 A. Le due necessità devono essere

garantite contemporaneamente, ovvero senza necessità di adeguare le tarature in funzione dello stato di neutro;

- in corrispondenza della potenza attiva $P=0$ ed in assenza di regolazione della tensione, l'impianto è progettato in modo che siano minimizzati gli scambi di potenza reattiva con la RTN al fine di non influire negativamente sulla corretta regolazione della tensione. Pertanto, ad impianto fermo, in caso di potenza reattiva immessa superiore a 0,5 MVar, sono previsti sistemi di bilanciamento della potenza reattiva capacitiva prodotta dall'impianto d'Utente in modo da garantire un grado di compensazione al Punto di Connessione compreso fra il 110% e il 120% della massima potenza reattiva prodotta a V_n . Tali sistemi di bilanciamento sono rappresentati da reattanze shunt, se necessari, o dall'utilizzo della capability degli inverter. In caso di utilizzo di reattanze, queste dovranno essere necessariamente gestite con neutro isolato da terra per evitare sovrapposizioni con la compensazione omopolare operata dalla bobina di Petersen nella stazione Terna. Al di sopra di determinati valori di potenza attiva prodotta dalla Centrale Fotovoltaica o su richiesta di Terna, tali reattanze di compensazione potranno poter essere disconnesse in modo da concorrere al sostegno delle tensioni delle reti AAT-AT.

Da tali indicazioni derivano la progettazione della rete elettrica interna e la scelta e dimensionamento dei diversi componenti, come protezioni, condutture e trasformatori, di seguito descritti, nonché la scelta del collegamento alla SE.

4. LIMITI DI FUNZIONAMENTO

La Centrale Fotovoltaica ed i relativi macchinari ed apparecchiature sono progettati per restare in parallelo anche in condizioni di emergenza e di ripristino di rete. In particolare, la Centrale, in ogni condizione di carico, è in grado di rimanere in parallelo alla rete AT, per valori di tensione nel Punto di Consegna, compresi nei seguenti intervalli:

$$85\% V_n \leq V \leq 115\% V_n$$

Il variatore sotto carico del trasformatore AT-AAT/36 kV sarà gestito con l'obiettivo di mantenere la tensione nel Punto di Consegna quanto più possibile prossima al valore nominale, consentendo al tempo stesso, nel lato primario del TR, il funzionamento nel medesimo range di tensione indicato.

Riguardo all'esercizio in parallelo con la rete AT in funzione della frequenza, la Centrale rimane connessa alla rete per un tempo indefinito, per valori di frequenza compresi nel seguente intervallo:

$$47,5 \text{ Hz} \leq f \leq 51,5 \text{ Hz}$$

e rimane connessa alla rete per tempi limitati quando la frequenza si trova al di sotto di 47,5 Hz e sopra 51,5 Hz.

La centrale, inoltre, funziona in parallelo alla rete senza disconnessione con valori di derivata di frequenza fino a 2,5 Hz/s valutata su un numero di cicli pari ad almeno 5 (100 ms).

5. CRITERI DI TARATURA

Nel presente paragrafo vengono riportati i criteri di protezione e taratura degli apparati dedicati alla protezione dell'impianto e della rete sia per guasti interni che per guasti esterni, nella configurazione più semplice, rappresentata nella seguente figura.

Eventuali protezioni e/o tarature diverse potranno essere impostate in fase esecutiva a cura dell'Utente, purché garantiscano il corretto coordinamento con le altre protezioni di rete, ed opportunamente e concordate con Terna.

- Protezione di massima tensione omopolare rete (59N).

Per la prima funzione protettiva (27Y) è richiesta l'alimentazione dei circuiti voltmetrici con tensioni stellate. Per le funzioni protettive 2)÷5) è richiesta l'alimentazione dei circuiti voltmetrici con tensioni concatenate. Per la sesta, è richiesta un'alimentazione voltmetrica da TV con connessione a triangolo aperto, oppure, per relè in grado di ricavare la tensione omopolare al loro interno, dalle tensioni di fase fornite dai TV con collegamento a stella.

L'intervento delle protezioni citate deve comandare l'apertura dell'interruttore 52I, ovvero dispositivo generale di linea (DGL), del collegamento con la Stazione Terna.

Sbarre 36 kV dell'impianto utente				
Protezione	Tarature di riferimento			Comando
	Soglia	Valori di taratura	Ritardo	
Minima tensione di fase (27Y)	Unica	80% $V_{nYR}^{(1)}$	2,0 ÷ 4,0 s ⁽³⁾	Apertura interruttore 52I
Minima tensione concatenata (27Y)	Unica	80% $V_{nR}^{(2)}$	2,0 ÷ 4,0 s ⁽³⁾	
Massima tensione (59)	1 ^a soglia	110% $V_{nR}^{(2)}$	60 s	
	2 ^a soglia	115% $V_{nR}^{(2)}$	1,0 s	
Massima tensione omopolare (59N)	Unica	10% $V_{RES MAX}^{(4)}$	1,0 ÷ 2,0 s	
Minima frequenza (81G<) ⁽⁵⁾	1 ^a soglia	47,5 Hz	4,0 s	
	2 ^a soglia	46,5 Hz	0,1 s ⁽⁷⁾	
Massima frequenza (81G>) ⁽⁶⁾	1 ^a soglia	51,5 Hz	1,0 s	
	2 ^a soglia	52,5 Hz	0,1 s ⁽⁷⁾	
Note: ⁽¹⁾ V_{nYR} è la tensione nominale stellata della rete a 36 kV; ⁽²⁾ V_{nR} è la tensione nominale concatenata della rete a 36 kV; ⁽³⁾ Valori di ritardo riferiti alla tensione nominale della sezione a tensione più elevate della stazione di Terna di connessione: 2,0 s per 132-150 kV; ⁽⁴⁾ $V_{RES} = 3V_0$ è la tensione residua riscontrabile nella rete AT per corto circuito monofase a terra; ⁽⁵⁾ Tensione operativa raccomandata: 0,2 V_{nR} ⁽⁶⁾ Tensione operativa raccomandata: 0,8 V_{nR} ⁽⁷⁾ Sono accettate anche tarature con tempi di intervento superiori.				

Tabella 5-1: Protezioni e soglie di taratura sulle sbarre a 36 kV.

5.1.2. PROTEZIONI DEGLI INVERTER

Protezioni Inverter				
Protezione	Tarature di riferimento			Comando
	Soglia	Valori di taratura	Ritardo	
Minima tensione (27G)	1 ^a soglia	85% $V_{nl}(1)$	2,0 ÷ 4,0 s ⁽²⁾	Arresto inverter con apertura interruttore 52G
	2 ^a soglia (opzionale)	vedi nota (3)	vedi nota (3)	
Massima tensione (59G)	1 ^a soglia	115% $V_{nl}(1)$	1,0 s	
	2 ^a soglia (se presente)	120% $V_{nl}(1)$	0,1 s	
Minima frequenza (81G<) ⁽⁴⁾	1 ^a soglia	47,5 Hz	4,0 s	
	2 ^a soglia	46,5 Hz	0,1 s ⁽⁶⁾	

Massima frequenza (81G>) ⁽⁵⁾	1 ^a soglia	51,5 Hz	1,0 s
	2 ^a soglia	52,5 Hz	0,1 s ⁽⁶⁾

Note:
⁽¹⁾V_{nl} è la tensione nominale dell'inverter;
⁽²⁾Valori di ritardo: 2,0 s per impianti connessi nelle reti a 132-150 kV;
⁽³⁾Coppia di valori tensione e tempo purchè coincidente con un punto del tratto inclinato nella caratteristica UVRT, riportata ai morsetti dell'aereogeneratore
⁽⁴⁾Tensione operative raccomandata: 0,2 V_{nl} ⁽⁵⁾Tensione operative raccomandata: 0,8 V_{nl}
⁽⁶⁾Sono acetate anche tarature con tempi di intervento superiori.

Tabella 5-2: Protezioni e soglie di taratura degli inverter.

5.1.3. PROTEZIONI DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO CONTRO I GUASTI INTERNI

Protezioni delle linee di sottocampo

Le linee Sottocampo in partenza dalla sbarra 36 kV dovranno essere protette con:

- Protezione a massima corrente di fase (50/51)
- Protezione a massima corrente direzionale di terra (67N)

Tramite l'apertura dell'interruttore 52F, ovvero il dispositivo d'interfaccia (DDI).

I setting di riferimento, al fine di garantire il coordinamento con le protezioni presenti in SE Terna sono quelli riportati in tabella sottostante.

Linee Sottocampo 36 kV dell'impianto utente				
Protezione	Tarature di riferimento			Comando
	Soglia	Valori di taratura	Ritardo	
Massima corrente di fase (50/51)	1 ^a soglia	$I \geq 1,15 \sum I_{nl}^{(1)}$	Curva a tempo inverso	Apertura interruttore 52F
	2 ^a soglia	$I \gg = 400 \div 600A$	0,6 ÷ 0,8 s	
	3 ^a soglia	$I \gg \gg = 2000 \div 3000A^{(2)}$	0,12 ÷ 0,15 s	
Massima corrente direzionale di terra (67N)	1 ^a soglia (Neutro compensato)	$V_{RES} = 5\% V_{RES} \text{ MAX}^{(3)}$ $I_{RES} = 5 \div 10 A$ $\angle = [61^\circ; 257^\circ]$	0,3 s	
	2 ^a soglia (Neutro isolato)	$V_{RES} = 5\% V_{RES} \text{ MAX}^{(3)}$ $I_{RES} = 10 A$ $\angle = [60^\circ; 120^\circ]$	0,3 s	
	3 ^a soglia (Doppio guasto a terra)	$V_{RES} = 5\% V_{RES} \text{ MAX}^{(3)}$ $I_{RES} \geq 300 A$ $\angle = [-60^\circ; 133^\circ]$	0,12 ÷ 0,15 s	

Note:
⁽¹⁾ $\sum I_{nl}$ la sommatoria delle correnti nominali degli inverter sottesi alla linea di sottocampo;
⁽²⁾Il valore di regolazione della soglia $I \gg \gg$ deve essere:
• minore del minimo valore di corrente di cortocircuito richiamata da un guasto bifase nel terminale remoto della linea sottocampo mettendo in conto un coefficiente di sicurezza non inferiore a 0,8;
• maggiore del valore della corrente di inrush richiamata dall'energizzazione simultanea dei trasformatori connessi alla singola Linea Sottocampo; tale valore deve essere stimato in relazione al tempo di ritardo assegnato alla soglia $I \gg \gg$;
⁽³⁾ $V_{RES} = 3 V_0$ è la tensione residua riscontrabile nella rete AT per cortocircuito monofase a terra

Tabella 5-3: Protezioni e soglie di taratura delle linee di sottocampo.

6. DESCRIZIONE DEI COMPONENTI DELLE OPERE DI UTENZA

6.1. CABINA DI CONSEGNA

La cabina di consegna è una cabina elettrica in cemento armato prefabbricata, di dimensione pari a 20 x 3,5 x 10 m (L x H x P), dove vengo collegate i cavi che arrivano dal campo le terne a 30 kV provenienti dai diversi collegamenti in entra-esci delle cabine di sottocampo e da dove parte una terna a 36 kV per la connessione alla SE. All'interno della cabina di raccolta vengono installati i seguenti componenti principali:

- quadro elettrico con livello di isolamento 40,5/80/185, tensione di esercizio 36 kV, corrente nominale pari a 630 A e corrente ammissibile per 1 secondo pari a 20 kA. Il quadro elettrico sarà composto dalle seguenti unità, ognuna delle quali opportunamente progettata a seconda dell'utilizzo per la protezione, il sezionamento e le misure, ovvero:
 - unità di arrivo/partenza linee, per la partenza della linea a 36 kV per la connessione alla SE di Terna;
 - partenza trasformatore per l'alimentazione dei servizi ausiliari;

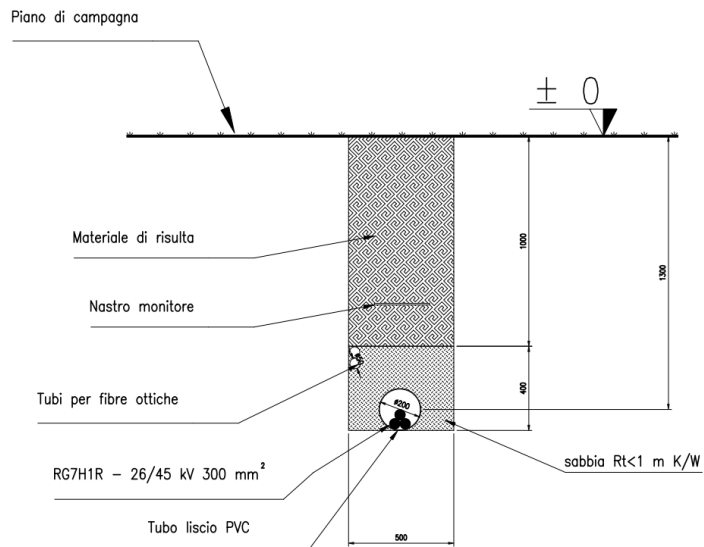
All'interno dell'edificio tecnico saranno installati inoltre gli apparati di misura, comando, controllo e protezione necessari per la corretta funzionalità dell'impianto.

6.2. CAVO DI CONNESSIONE

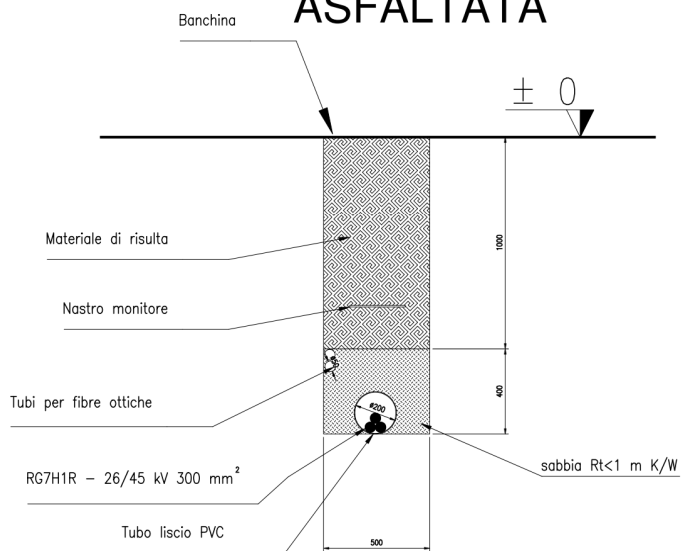
La rete elettrica a 36 kV sarà realizzata con posa completamente interrata. Tale rete, di lunghezza totale pari a circa 6 km, sarà realizzata per mezzo di cavi del tipo RG7H1R 26/45 kV o con conduttore in rame di classe 2 tipo unipolare solati in XLPE e rivestiti da una guaina termorestringente in PVC qualità RZ/ST2, di sezione pari a 300 mm².

Di seguito le sezioni tipiche di posa:

STRADA STERRATA



BANCHINA STRADA ASFALTATA



La potenza massima immessa dall'impianto fotovoltaico è 24,99 MW che corrisponde ad corrente immessa di:

$$I_{imm} = \frac{P}{\sqrt{3} V_n} = \frac{24,9 \cdot 10^6}{\sqrt{3} 36 \cdot 10^3} \cong 400 A$$

la portata di un cavo RG7H1R 26/45 kV con sezione 300 mm² in condizioni di posa come quelle evidenziate sopra è

$$I_z = 570 A$$

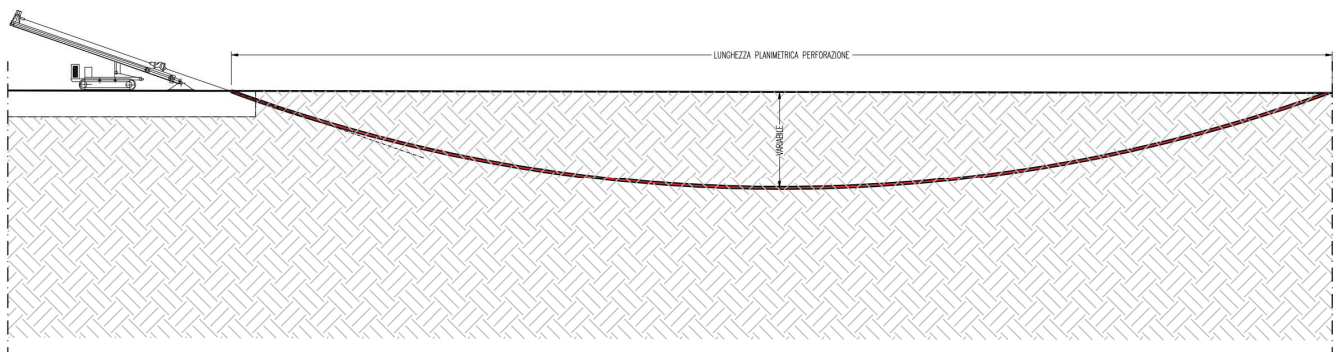
per cui l'utilizzo di questa sezione soddisfa i requisiti di portata minima.

7. RISOLUZIONE DELLE INTERFERENZE

Il tracciato prevede due interferenze:

1. il sottopasso del PO di Volano;
2. la ferrovia Ferrara-Pomposa.

per la loro risoluzione si prevede di utilizzare la tecnica della TOC come da schema di esempio sottostante:

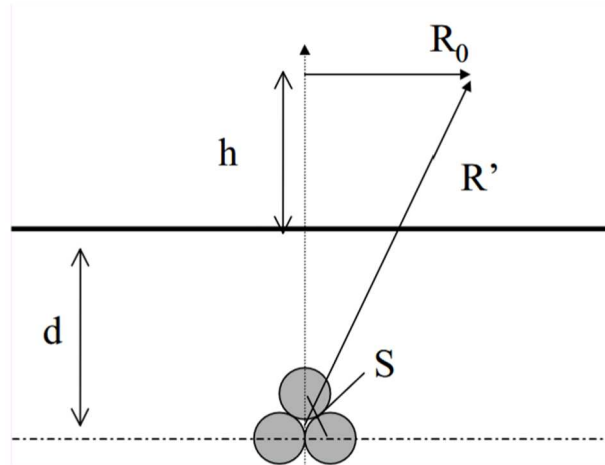


8. VALUTAZIONI SUI CAMPI MAGNETICI

La guida CEI 106-11 descrive i metodi semplificati per la determinazione dell'induzione magnetica in casi di linee elettriche interrate o aeree e con geometrie semplificate, tramite formule analitiche approssimate. Tali formule derivano dalla considerazione che l'induzione magnetica generata da un sistema di conduttori di lunghezza infinita e tra loro paralleli può essere espresso dalla scomposizione in serie della legge di Biot-Savart e che, per punti relativamente lontani dai conduttori, quali quelli di interesse per la valutazione delle fasce di rispetto a 3 µT, lo sviluppo in serie può essere troncato al primo termine con un'

approssimazione tanto più accettabile tanto più è elevata la distanza dai conduttori. Con questa approssimazione le curve isolivello dell'induzione magnetica sono le circonferenze aventi per centro il centro geometrico dei conduttori.

Nel caso di cavi unipolari posati a trifoglio, la distanza alla quale l'induzione scende al di sotto dei 3 μT



$$R' = 0,286 \cdot \sqrt{S \cdot I}$$

che applicata con la corrente massima erogabile dall'impianto fornisce:

$$R' \approx 1,3 \text{ m}$$

per cui sul piano di campagna l'induzione risulta sempre al di sotto del limite dei 3 μT .