

COORDINAMENTO

Innova Service S.r.l
Via Santa Margherita, 4
09124 - Cagliari (CA)
P.IVA 03379940921
PEC: innovaservice@pec.it



COMMITTENTE

Apollo Solar 3 S.r.l.
Viale della Stazione, 7
39100 - Bolzano (BZ)
P.IVA 03187660216
PEC: apollosolar3srl@pecimprese.it

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO AVANZATO "USSANA 3"

Ussana (SU), Sardegna, Italia



PROGETTO DEFINITIVO

ELABORATO

IMPIANTO AGRIVOLTAICO AVANZATO
Relazione Tecnica Elettrodotto

RIF: 24050

CODICE ELABORATO
REL_LIN_GEN

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	NOME FILE: REL_LIN_GEN.pdf
00	30/05/2024	Prima emissione	Seingim Global Service S.r.l.	Innova Service S.r.l.	Apollo Solar 3 S.r.l.	
01	06/2024	Seconda emissione	Seingim Global Service S.r.l.	Innova Service S.r.l.	Apollo Solar 3 S.r.l.	
						SCALA:

SEINGIM GLOBAL SERVICE S.r.l.

Sede Legale: Vicolo degli Olmi, 57
30022 Ceggia (VE)
Telefono: 0421/323007
e-mail: info@seingim.it
Web: www.seingim.it

SOMMARIO

1. PREMESSA	2
2. LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA DEL SITO	2
3. CARATTERISTICHE TECNICHE GENERALI	4
4. CONNESSIONE ALLA RTN	7
4.1 IMPIANTO DI RETE PER LA CONNESSIONE – STALLO 36 kV	7
4.2 CABINA ELETTRICA DI CONSEGNA	9
4.2.1 QUADRO AT	9
4.2.2 SCHEMA ELETTRICO UNIFILARE CABINA DI CONSEGNA	12
4.3 ELETTRODOTTO 36 kV – IMPIANTO DI UTENZA PER LA CONNESSIONE	12
4.3.1 DIMENSIONAMENTO ELETTRODOTTO 36 kV	13
4.3.2 MODALITÀ DI POSA	18
5. INTERFERENZE	23
5.1 DESCRIZIONE INTERFERENZE	23
5.2 RISOLUZIONE INTERFERENZE	24
5.2.1 STAFFAGGI SU PONTI O STRUTTURE PRE-ESISTENTI	25
5.2.2 TRIVELLAZIONE ORIZZONTALE CONTROLLATA	25
5.3 COESISTENZA TRA CAVI ELETTRICI ED ALTRE CONDUTTURE INTERRATE	25

1. PREMESSA

Il proponente dell'iniziativa Apollo Solar 3 S.r.l. intende realizzare un impianto agrivoltaico avanzato denominato "Ussana 3" di potenza nominale pari a circa 44.174,800 kW_p integrato con un sistema di accumulo di potenza nominale pari a 16.000,000 kW nel comune di Ussana e Nuraminis (SU).

Viste le scelte progettuali, l'impianto agrivoltaico avanzato in progetto, è conforme a quanto stabilito dall'articolo 65, comma 1-quater e 1-quinquies, del decreto-legge 24 gennaio 2012, n. 1, e ss. mm. Poiché: 1. adotta soluzioni integrative innovative con montaggio dei moduli elevati da terra, anche prevedendo la rotazione dei moduli stessi, in modo da non compromettere la continuità delle attività di coltivazione agricola e pastorale, anche eventualmente consentendo l'applicazione di strumenti di agricoltura digitale e di precisione; 2. prevede la contestuale realizzazione di sistemi di monitoraggio che consentano di verificare l'impatto dell'installazione fotovoltaica sulle colture, il risparmio idrico, la produttività agricola per le diverse tipologie di colture, la continuità delle attività delle aziende agricole interessate, il recupero della fertilità del suolo, il microclima, la resilienza ai cambiamenti climatici. Per cui l'impianto può essere definito "Impianto agrivoltaico avanzato" poiché risponde ai requisiti A, B, C e D delle "Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici-Giugno 2022". Nei successivi paragrafi del presente elaborato ogni qual volta si parlerà di "impianto agrivoltaico" o "impianto agrovoltaico" o "impianto agro-fotovoltaico" o "impianto fotovoltaico" si intenderà implicitamente "impianto agrivoltaico avanzato".

Il presente documento ha lo scopo di individuare gli elementi tecnici utili relativi alla realizzazione dell'elettrodotto di collegamento tra cabina di consegna e la SE di Terna.

2. LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA DEL SITO

Il sito interessato alla realizzazione dell'impianto agrivoltaico avanzato denominato "**Ussana 3**" si sviluppa nel territorio del Comune di Ussana (SU) e ricade nel Catasto Terreni ai Fogli 24-25-27, sarà del tipo grid-connected e l'energia elettrica prodotta sarà riversata completamente in rete, con connessione in antenna a 36 kV della Stazione Elettrica (SE) della RTN 150 kV, denominata "Nuraminis", previo ampliamento della stessa. Il collegamento avverrà tramite un cavidotto interrato, lungo circa 13,7 km e situato lungo la viabilità esistente.

La connessione interessa sia il comune di Ussana che di Nuraminis.

L'area oggetto di realizzazione del parco fotovoltaico ha una estensione di 68,28 ettari e si trova ad un'altitudine media di m 155 s.l.m. e le coordinate geografiche, nel sistema Geografico-WGS84 sono:

	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4
Latitudine	39°22'54.46"N	39°22'46.63"N	39°22'26.18"N	39°22'14.87"N
Longitudine	9° 6'26.69"E	9° 6'8.88"E	9° 6'9.41"E	9° 5'52.53"E
Altitudine	116 m. slm	124 m. slm	182 m. slm	157 m. slm

Nell'ambito dello strumento urbanistico vigente nel Comune di Ussana (SU) l'area di intervento è collocata nella "E2-Aree di primaria importanza per la funzione agricola produttiva in terreni non irrigui" ed "E5-Aree marginali per attività agricola con esigenza di garantire adeguate condizioni di stabilità ambientale".

L'area è censita all'interno del Nuovo Catasto Terreni (N.C.T.) del comune di Ussana e ricade nei seguenti fogli catastali:

- f. 24 p.lle: 26-27-34-41-50-58-61-68-75A-75B-76-77-85-103-107-1323-1324-1325-1326-1327-1328-1329-1330;
- f. 25 p.lle 11-12-13-14-15-22-25-32-33-36-42-44-60-61;
- f. 27 p.lle 16-17-18-19-20-21-22-23-24-25-26-43-44-46-54-57-58-81.

Nel presente caso, l'area di progetto ha un'estensione di circa 80,69 ettari; mentre l'area di impianto è di circa 68,23 ettari, ci troviamo in presenza di un territorio prevalentemente pianeggiante, la cui quota varia da 120 a 150 m s.l.m. ed attualmente è coltivato a seminativo non irriguo e in misura minore utilizzata a pascolo. La zona in esame è scarsamente antropizzata, sono presenti alcuni fabbricati utilizzati come ricovero per i mezzi agricoli e/o per l'attività agricola e zootecnica; non presenta agglomerati urbani nelle immediate vicinanze, quello più vicino è il centro abitato di Ussana che si trova ad una distanza di circa 2 km.

Il sito su cui si propone di realizzare l'impianto agrivoltaico è facilmente raggiungibile mediante la viabilità esistente: la parte nord dell'impianto è accessibile dalla SS466, invece per raggiungere la parte sud occorre percorrere la SP9 e successivamente una strada comunale per circa 600 metri, accessibile da uno svincolo presente sulla stessa Strada Provinciale.

Il tracciato di connessione, destinato al trasporto dell'energia elettrica prodotta dall'impianto agrivoltaico, attraversa i comuni di Ussana e Nuraminis, fino a collegarsi alla SE Nuraminis (Latitudine 39°27'53.08"N, 9° 1'28.55"E); il suo tracciato è stato identificato con l'obiettivo di minimizzare la lunghezza del percorso nonché di essere posato, per quanto possibile, su strade esistenti e in territori privi di particolari caratteristiche naturalistico-ambientali.

L'area è censita all'interno del Nuovo Catasto Terreni (N.C.T.) del comune di Ussana e ricade nei seguenti fogli catastali:

Le reti infrastrutturali di tipo viario presenti in prossimità delle opere in progetto sono:

- la SS466, oltre ad essere in prossimità del confine nord dell'area di progetto, per 1,5 km è interessata dal tracciato del cavidotto;
- la SP9, lungo la quale saranno posizionati circa 3,4 km di cavidotto;
- varie strade comunali.

Inoltre, l'area di impianto è attraversata da una linea AT che si sviluppa trasversalmente al layout.



Figura 1: – Inquadramento satellitare dell'area

3. CARATTERISTICHE TECNICHE GENERALI

L'impianto, di potenza nominale pari a 44.174,8 kW_p, come già anticipato in premessa, sarà allacciato alla Rete elettrica nazionale tramite una cabina di consegna e una linea AT interrata che percorrerà prevalentemente strada pubblica fino ad arrivare al punto di allaccio di Terna situata nel comune di Ussana e Nuraminis (SU). L'impianto in oggetto prevede l'installazione di pannelli fotovoltaici (moduli) in silicio HJT della potenza unitaria di 710 W_p, su un terreno prevalentemente pianeggiante di estensione di circa 68,28 ettari.

L'impianto presenterà i seguenti componenti:

- N° 62.218 moduli fotovoltaici in silicio HJT (potenza nominale di 710 W_p), installati su inseguitori assiali in configurazione 'portrait', saranno orientati ('azimuth') a Sud (0°) e avranno un'inclinazione variabile in base al percorso del sole durante il giorno con angolo variabile rispetto all'orizzontale ('tilt') di -55°/+55°.
- I moduli impiegati saranno suddivisi in quattro aree recintate secondo la planimetria inserita nel presente progetto definitivo e secondo le quantità indicate in seguito:

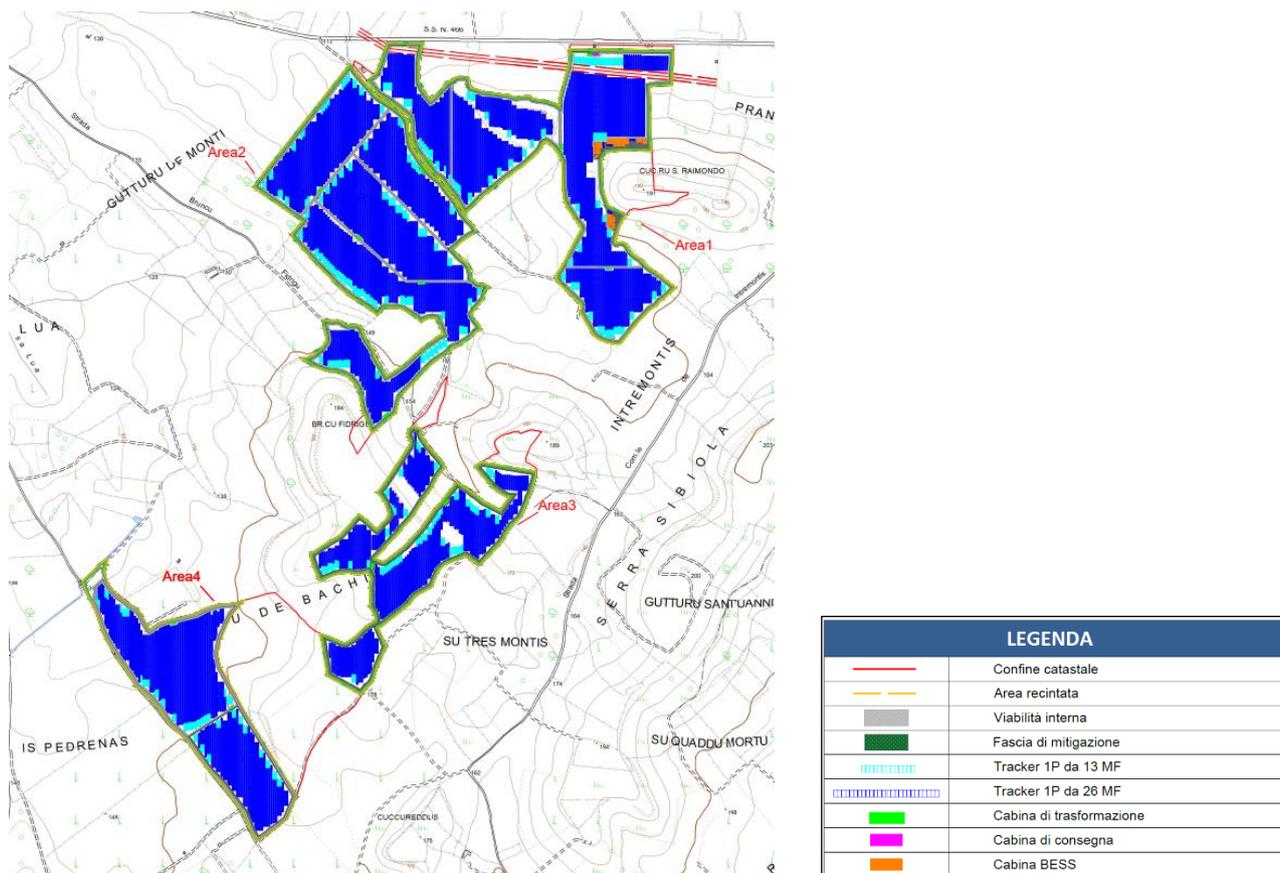


Figura 2: - Inquadramento dell'area impianto su catastale

- I pannelli saranno montati su strutture a inseguimento monoassiale (tracker) in configurazione unifilare ed ogni tracker (struttura portante dei pannelli) sarà composto da 13 e 26 moduli.
- Per la connessione dell'impianto fotovoltaico alla rete nazionale è prevista all'interno del campo fotovoltaico una Cabina Elettrica di Consegna, la quale verrà collegata mediante un cavidotto interrato a 36 kV alla SE 150 kV denominata Nuraminis.

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa con i principali dati di progetto:

DATI TECNICI IMPIANTO					
Area	Potenza modulo FV (Wp)	n° moduli installati	Potenza immissione (KW)	Potenza installata (KWp)	Coordinate
Area 1	710	18.824	12.480	13.365,04	39°22'54.46"N 9°6'26.69"E
Area 2	710	22.880	15.360	16.244,80	39°22'46.63"N 9°6'8.88"E
Area 3	710	9.074	6.080	6.442,50	39°22'26.18"N 9°6'9.41"E
Area 4	710	10.440	7.680	8.122,40	39°22'14.87"N 9°5'52.53"E

TOTALE	62.218	41.600	44.174,80	
Numero, marca e modello moduli	N. 62.218 Recom RCM-710-8DBHM			
Numero, marca e modello inverter	N. 130 Sungrow SG350HX			

Sono previste inoltre

- N°13 Cabine di campo (Power Station ('PS')) relative all'impianto fotovoltaico sono collocate in posizione baricentrica rispetto alle varie aree dell'impianto, con la duplice funzione di collegare gli inverter presenti in campo e di elevare la tensione da BT a AT. Le stesse verranno equipaggiate da:
 - quadro BT per la protezione delle linee degli inverter;
 - trasformatore elevatore 0,8/36 kV;
 - quadro AT;
 - quadro ausiliari cabina con UPS da 10kVA.
- N°4 Cabine di campo (Power Station ('PS')) relative all'impianto di accumulo sono collocate in posizione baricentrica rispetto alle varie aree dell'impianto, con la duplice funzione di collegare i container BESS presenti in campo e di elevare la tensione da BT a AT. Le stesse verranno equipaggiate da:
 - quadro BT per la protezione delle linee degli inverter;
 - trasformatore elevatore 0,4/36 kV;
 - quadro AT;
 - quadro ausiliari cabina con UPS da 10kVA.
- N°1 Cabina di consegna AT ('CDC'), equipaggiata con:
 - un quadro principale AT dedicato in cui saranno installati gli scomparti di arrivo delle PS, scomparto misure con relativi TA/TV;
 - l'alimentazione dei servizi ausiliari (con relativo trasformatore AT/bt).
 - dispositivi di comunicazione e controllo incluso un controllore Centrale d'Impianto (CCI), necessario per il monitoraggio dell'impianto di produzione e la trasmissione dei dati al Distributore (DSO) o ad altro Operatore abilitato secondo quanto stabilito da ARERA (delibera 36/2020/R/EEL) e descritto dalla norma CEI 0-16.

L'impianto sarà inoltre equipaggiato con:

- tutte le apparecchiature elettriche necessarie alla protezione delle linee interne e all'immissione dell'energia prodotta in Rete;
- un ricevitore GSM/GPRS in corrispondenza della cabina di consegna (in ottemperanza ai requisiti dell'allegato M della norma CEI 0-16, ai sensi della Deliberazione 421/2014/R/EEL dell'AEEGSI) per assicurare la comunicazione da/per Terna ai fini del rispetto delle prescrizioni relative alla partecipazione degli impianti di potenza nominale maggiore o uguale a 100 kW ai piani di difesa della Rete;
- un Controllore Centrale d'Impianto (CCI) necessario per il monitoraggio dell'impianto di produzione e la trasmissione dei dati al Distributore (DSO) o ad altro Operatore abilitato secondo quanto stabilito da ARERA (delibera 36/2020/R/EEL) e descritto dalla norma CEI 0-16.

4. CONNESSIONE ALLA RTN

L'intervento ha ottenuto il preventivo di connessione di cui al codice pratica TERNA n. 202203937 relativo ad una potenza in immissione pari a 62 MW e 22 MW in prelievo.

In accordo con la citata Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG) l'impianto sarà collegato in antenna a 36 kV sull'ampliamento a 36 kV della Stazione Elettrica (SE) della RTN 150 kV, denominata "Nuraminis", previa realizzazione dei raccordi della linea RTN 150 kV "S. Miali – Selegas" con la sezione 150 kV di una nuova SE di Trasformazione RTN a 380/150 kV da inserire in entra – esce alla linea RTN 380 kV "Ittiri – Selargius" e previa realizzazione dei seguenti interventi di cui al Piano di Sviluppo:

- nuova SE RTN 150 kV da realizzare presso l'attuale Cabina primaria di Goni;
- nuovo elettrodotto RTN a 150 kV "Selargius – Goni";
- rimozione delle limitazioni sulle attuali linee a 150 kV "S.Miali – Goni" e "S.Miali - Villasor".

Secondo la suddetta specifica di connessione si individuano i seguenti elementi:

- stallo arrivo produttore a 36 kV nella stazione (impianto di rete per la connessione);
- elettrodotto in antenna a 36 kV per il collegamento della centrale alla citata stazione RTN (impianto di utenza per la connessione).

La società proponente si riserva la possibilità di modificare, nel corso del procedimento autorizzativo, le specifiche tecniche dei componenti individuati nella presente relazione in funzione delle indicazioni che saranno impartite dal gestore di rete per le connessioni a 36 kV, in particolare:

- valutato che, come indicato nella versione aggiornata dell'Allegato A.2 del Codice di Rete – Guida agli schemi di connessione in cui è stato introdotto il nuovo standard di connessione a 36 kV approvato dall'ARERA con Delibera 439/2021, ogni utente che fa la richiesta di connessione per impianti FER sotto i 100 MW potrà avere una connessione a 36 kV su una cella dedicata in SE, per il collegamento verso la cella sarà possibile prevedere anche più terne in parallelo. Nel caso specifico il proponente ha previsto n. 1 cella a 36 kV dedicata per garantire la massima flessibilità nella connessione, nonché la migliore selettività e gestione dei guasti che potrebbero potenzialmente presentarsi nell'impianto di utenza per la connessione;
- la soluzione di connessione qui proposta rispetta quanto indicato nell'Allegato 2 al Codice di Rete, in attesa della modifica degli Allegati 17 e 68 che auspicabilmente verranno emessi da Terna e daranno ulteriori chiarimenti su dettagli tecnici e sugli elaborati per emettere il PTO per le connessioni a 36 kV (elettromeccanici, unifilari, edifici ecc). In attesa della pubblicazione delle specifiche tecniche da parte di Terna su cavi, celle, apparecchiature e altro (attualmente oggetto di valutazione, indagine di mercato e verifiche di cantiere da parte di Terna), ogni indicazione qui riportata ai cavi a 36 kV deve intendersi riferita a cavi da 26/45 kV commercialmente disponibili e idonei allo scopo.

4.1 Impianto di rete per la connessione – Stallo 36 kV

La connessione del produttore alla stazione RTN sarà realizzata secondo le indicazioni fornite dal gestore di rete, ovvero tramite stallo (montante di stazione) a 36 kV presso della Stazione Elettrica (SE) della RTN 150 kV, denominata "Nuraminis" previo ampliamento della stessa.

La modalità di connessione avverrà secondo le specifiche dell'allegato A2 – Appendice d – schemi e requisiti 36 kV.

La connessione avverrà come indicato nello schema elettrico sotto riportato

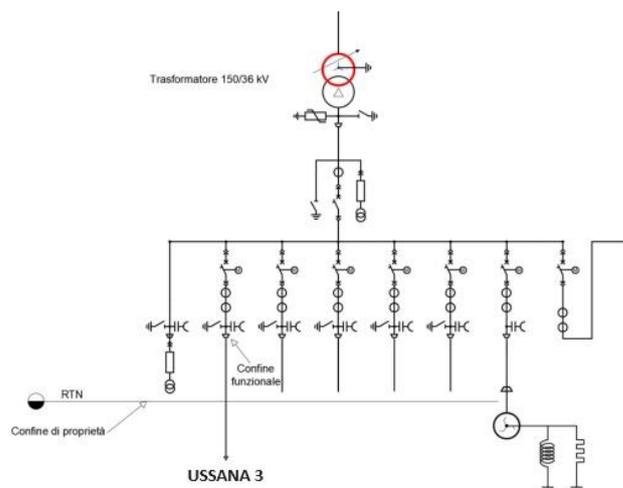


Figura 3: - Schema connessione agli stalli 36 kV

Inoltre si deve tenere presente che per l'inserimento dell'impianto nella RTN è doveroso che vengano prese in considerazione alcuni accortezze:

- Le apparecchiature devono essere dimensionate per correnti di cortocircuito compatibili con le caratteristiche previsionali della RTN comunicate dal gestore;
- Il coordinamento dell'isolamento sia conforme ai valori delle tensioni di tenuta resi disponibili dal gestore
- L'impianto di terra sia dimensionato secondo l'allegato A.8 del Codice di Rete, con i margini di sicurezza comunicati da gestore
- L'impianto di Utente per la connessione, lato impianto di rete per la connessione, sia sempre allestito con un interruttore generale con funzione di interfaccia in quanto su di esso è prevista la separazione dell'impianto di Utente dalla rete ad opera delle protezioni di interfaccia
- L'elemento di impianto di Utente per la connessione più prossimo all'impianto di rete per la connessione sia un sezionatore di linea con lame di terra.

Le caratteristiche generali dello stallo saranno le seguenti:

- Sistema di sbarre semplice o doppio, doppio piano a due interruttori e altre configurazioni disponibili
- Accessibilità frontale
- Installazione su pavimentazione in cemento, su ferri di base o su basamento
- Sicurezza per operatori durante l'esercizio e la manutenzione in conformità al d.lgs 81/2008 e alla norma IEC 62271-200
- Applicazione di interruttori isolati in vuoto o con gas SF6 multimarca su carrello estraibile
- Interruttori e trasformatori di tensione estraibili
- Relé di protezione, controllo e contatori digitali personalizzabili e programmabili
- Sinottico tradizionale o digitale
- Versione digitale per minimizzare i cablaggi e ottimizzare le prestazioni
- Integrazione a sistema SCADA
- Su richiesta, sistema di controllo termico su sbarre e interruttori
- Su richiesta, integrazione di sistemi di protezione per arco interno
- Su richiesta, integrazione di sistemi di fast transfer, controllo di frequenza e distacco carichi

La progettazione relativa all'ampliamento dello stallo esula da questa relazione e dunque non verrà trattata.

4.2 Cabina elettrica di consegna

La configurazione elettrica dell'impianto prevede la realizzazione di una cabina elettrica di consegna nei pressi dell'impianto agrivoltaico "Ussana 3" al cui interno si prevede l'installazione di un quadro a 36 kV con funzioni di sezionamento e protezione della linea a 36 kV proveniente dalla SE di Nuraminis.

La planimetria della cabina viene sotto riportata

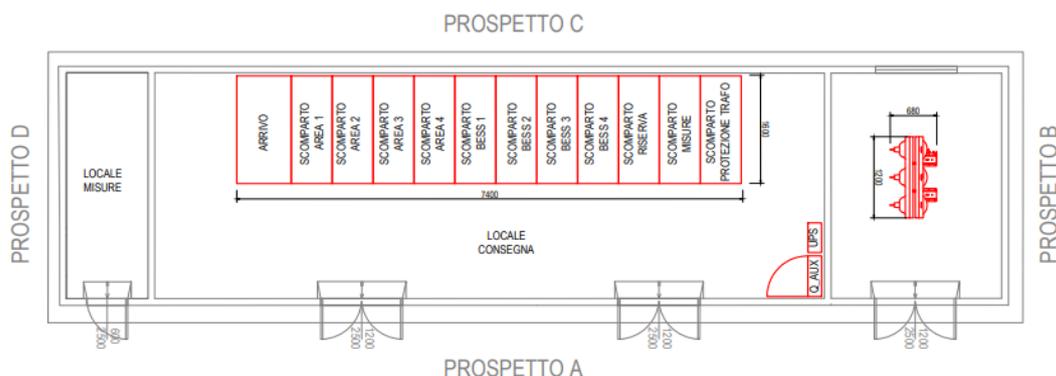


Figura 4: - Planimetria cabina di consegna

4.2.1 Quadro AT

Il suddetto quadro, realizzato in maniera conforme a quanto previsto dall'Allegato A.68 e A.79 del Codice di Rete e dalla norma EN 62271-200, è composto dalle seguenti celle:

- **n°1** arrivo linea da RTN: costituito da un interruttore tripolare isolato in gas SF6 ed equipaggiato con relè di protezione atti a svolgere le seguenti funzioni di protezione:
 - minima tensione di rete (27Y),
 - minima tensione di rete (27Δ),
 - massima tensione di rete (59),
 - minima frequenza di rete (81) a due soglie,
 - massima tensione omopolare di rete (59N).

Queste protezioni andranno ad operare in maniera coordinata (secondo i settaggi previsti dal CdR) con quelle presenti sulla sbarra a 36 kV della SSE RTN in corrispondenza della partenza della linea di impianto ed atte a proteggere l'impianto di utenza contro i guasti tra le fasi mediante la protezione distanziometrica (21) o massima corrente (50/51) e contro i guasti a terra mediante la protezione di massima corrente di terra (67).

- **n°1** scomparto "Misure": costituito dai Trasformatori di corrente e Trasformatori di Tensione con circuiti voltmetrici connessi come segue:
 - tensione stellati per la protezione 27Y,
 - tensione concatenate per le protezioni 27Δ, 59, 81< ed 81>,
 - tensioni concatenate a triangolo aperto per la protezione 59N.
- **n°1** scomparto interruttore "Scomparto Area 1" per la linea di sottocampo dedicata a PS1 e PS2 dell'area 1 costituito da interruttori tripolari isolati in gas SF6 ed equipaggiati con relè di protezione atti a svolgere le seguenti funzioni di protezione:
 - massima corrente di fase (50/51),
 - massima corrente direzionale di terra (67N).

- minima tensione di rete (27Y),
 - minima tensione di rete (27Δ),
 - massima tensione di rete (59),
 - minima frequenza di rete (81) a due soglie,
 - massima tensione omopolare di rete (59N).
- n°1 scomparto interruttore “Scomparto Area 2” per la linea di sottocampo dedicata a PS1 e PS2 dell’area 2 costituito da interruttori tripolari isolati in gas SF6 ed equipaggiati con relè di protezione atti a svolgere le seguenti funzione di protezione:
 - massima corrente di fase (50/51),
 - massima corrente direzionale di terra (67N).
 - minima tensione di rete (27Y),
 - minima tensione di rete (27Δ),
 - massima tensione di rete (59),
 - minima frequenza di rete (81) a due soglie,
 - massima tensione omopolare di rete (59N).
- n°1 scomparto interruttore “Scomparto Area 3” per la linea di sottocampo dedicata a PS1 dell’area 3 costituito da interruttori tripolari isolati in gas SF6 ed equipaggiati con relè di protezione atti a svolgere le seguenti funzione di protezione:
 - massima corrente di fase (50/51),
 - massima corrente direzionale di terra (67N).
 - minima tensione di rete (27Y),
 - minima tensione di rete (27Δ),
 - massima tensione di rete (59),
 - minima frequenza di rete (81) a due soglie,
 - massima tensione omopolare di rete (59N).
- n°1 scomparto interruttore “Scomparto Area 4” per la linea di sottocampo dedicata a PS1 dell’area 4 costituito da interruttori tripolari isolati in gas SF6 ed equipaggiati con relè di protezione atti a svolgere le seguenti funzione di protezione:
 - massima corrente di fase (50/51),
 - massima corrente direzionale di terra (67N).
 - minima tensione di rete (27Y),
 - minima tensione di rete (27Δ),
 - massima tensione di rete (59),
 - minima frequenza di rete (81) a due soglie,
 - massima tensione omopolare di rete (59N).
- n°1 scomparto interruttore “Scomparto Bess 1” per la linea di sottocampo dedicata a PS1 dell’impianto di accumulo costituito da interruttori tripolari isolati in gas SF6 ed equipaggiati con relè di protezione atti a svolgere le seguenti funzione di protezione:
 - massima corrente di fase (50/51),
 - massima corrente direzionale di terra (67N).
 - minima tensione di rete (27Y),
 - minima tensione di rete (27Δ),
 - massima tensione di rete (59),
 - minima frequenza di rete (81) a due soglie,
 - massima tensione omopolare di rete (59N).

- n°1 scomparto interruttore “Scomparto Bess 2” per la linea di sottocampo dedicata a PS2 dell’impianto di accumulo costituito da interruttori tripolari isolati in gas SF6 ed equipaggiati con relè di protezione atti a svolgere le seguenti funzione di protezione:
 - massima corrente di fase (50/51),
 - massima corrente direzionale di terra (67N).
 - minima tensione di rete (27Y),
 - minima tensione di rete (27Δ),
 - massima tensione di rete (59),
 - minima frequenza di rete (81) a due soglie,
 - massima tensione omopolare di rete (59N).
- n°1 scomparto interruttore “Scomparto Bess 3” per la linea di sottocampo dedicata a PS3 dell’impianto di accumulo costituito da interruttori tripolari isolati in gas SF6 ed equipaggiati con relè di protezione atti a svolgere le seguenti funzione di protezione:
 - massima corrente di fase (50/51),
 - massima corrente direzionale di terra (67N).
 - minima tensione di rete (27Y),
 - minima tensione di rete (27Δ),
 - massima tensione di rete (59),
 - minima frequenza di rete (81) a due soglie,
 - massima tensione omopolare di rete (59N).
- n°1 scomparto interruttore “Scomparto Bess 4” per la linea di sottocampo dedicata a PS4 dell’impianto di accumulo costituito da interruttori tripolari isolati in gas SF6 ed equipaggiati con relè di protezione atti a svolgere le seguenti funzione di protezione:
 - massima corrente di fase (50/51),
 - massima corrente direzionale di terra (67N).
 - minima tensione di rete (27Y),
 - minima tensione di rete (27Δ),
 - massima tensione di rete (59),
 - minima frequenza di rete (81) a due soglie,
 - massima tensione omopolare di rete (59N).

- n°1 scomparto interruttore “Riserva” per eventuale rifasamento tramite reattore di Shunt con protezioni di massima corrente e guasto a terra;
- n°1 Scomparto interruttore “Trafo aux” con funzione di alimentazione Servizi Ausiliari di Cabina composti da trasformatore Aux MT/bt.

Inoltre, ciascuna linea è dotata di sezionatore realizzato secondo IEC62271-103 e IEC62271-105, in classe M1-E3 del tipo a tre posizioni racchiuso in un involucro in acciaio isolato in gas SF6 con possibilità di controllo della presenza del gas.

Le posizioni del sezionatore sono:

- “CHIUSO SU LINEA”
- “APERTO”
- “CHIUSO SU TERRA” con comando indipendente dall’operatore.

La costruzione del sezionatore impedisce la chiusura contemporanea su linea e su terra senza l'uso di blocchi a chiave. Il sezionatore sotto-carico e il sezionatore di terra sono facili da manovrare e sono interbloccati meccanicamente. L'accesso al comparto fusibili, così come quello ai cavi AT a 36 kV, risulta possibile solo a derivazione chiuso a terra.

I trasformatori di corrente sono del tipo toroidale trifasi monoblocco. Sono montati all'esterno della capsula SF6 a potenziale di terra, direttamente sugli isolatori passanti della derivazione. È possibile montare TA toroidali anche sui cavi di derivazione.

I trasformatori di tensione sono del tipo metallicamente incapsulati. Essi sono estraibili e vengono alloggiati all'esterno della capsula SF6 sia sulla derivazione che sulle sbarre omnibus. I trasformatori di corrente e tensione per le celle misura possono essere del tipo convenzionale o del tipo combinato.

4.2.2 Schema elettrico Unifilare Cabina di consegna

Lo schema elettrico del quadro a 36 kV presente nella cabina elettrica di consegna viene sottorappresentato

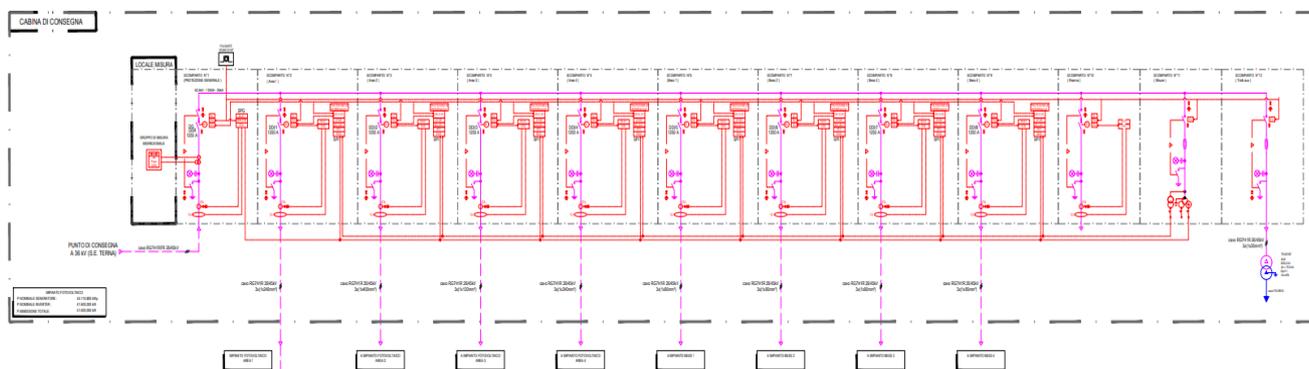


Figura 5: - Schema elettrico unifilare CDC

Per ulteriori informazioni si rimanda a TAV_EL_UNF – Schema elettrico Unifilare

4.3 Elettrodotta 36 kV – Impianto di utenza per la connessione

L'impianto sarà collegato in antenna a 36 kV sull'ampliamento a 36 kV della Stazione Elettrica (SE) della RTN 150 kV, denominata "Nuraminis".

Per la connessione del quadro generale presente nella cabina di consegna e la sezione a 36 kV verranno utilizzati cavi unipolari del tipo RG7H1RFR 26/45 kV unipolare.

I cavi avranno le seguenti caratteristiche costruttive e funzionali:

Anima: conduttore a corda a fili di rame in accordo alla norma CEI 20-29 classe 2

Semiconduttivo interno: elastomerico estruso

Isolante: miscela di gomma ad alto modulo G7

Semiconduttivo esterno: elastomerico estruso pelabile a freddo

Schermo metallico: fili di rame e nastro equalizzatore di rame

Guaina di separazione: miscela PVC

Armatura: fili di alluminio

Guaina esterna: mescola PVC, colore rosso

Inoltre possono essere forniti con caratteristiche di non propagazione dell'incendio e ridotta emissione di sostanze corrosive; ridotta emissione di fumi opachi e gas tossici e assenza di gas corrosivi (AFUMEX)

Unipolare - conduttore di rame / Single core - copper conductor - RG7H1RFR

sezione nominale	diámetro indicativo conduttore	spessore isolante	diámetro esterno massimo	peso indicativo del cavo	raggio minimo di curvatura	sezione nominale	posa in aria a trifoglio	posa interrata a trifoglio $\rho=1^\circ \text{C m/w}$
conductor cross-section	approximate conductor diameter	insulation thickness	maximum outer diameter	approximate weight	minimum bending radius	conductor cross-section	open air installation trefoil	underground installation trefoil $\rho=1^\circ \text{C m/w}$
(mm ²)	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/km)	(mm)	(mm ²)	(A)	(A)

Dati costruttivi / Construction charact. - 26/45 kV

70	9,8	10,0	48,5	2860	650
95	11,4	10,0	50,3	3240	680
120	12,9	10,0	51,9	3580	690
150	14,2	9,0	51,3	3720	690
185	15,8	9,0	53,2	4190	720
240	18,2	9,0	56,1	4910	750
300	20,5	9,0	59,0	5680	790
400	22,9	9,0	61,9	6670	830
500	26,2	9,0	65,5	7940	870
630	30,0	9,0	70,1	9630	940

Caratt. elettriche / Electrical charact. - 26/45 kV

70	291	256
95	351	304
120	401	343
150	451	382
185	510	426
240	591	484
300	665	535
400	747	590
500	839	647
630	934	702

Figura 6: - Datasheet cavo Pyrisman

4.3.1 Dimensionamento elettrodotta 36 kV

La corretta individuazione di un carico alimentabile tramite una rete elettrica richiede la conoscenza di un sistema di alimentazione, tensione nominale, potenza nominale e fattore di potenza.

Il carico viene alimentato dalla rete tramite una linea o meglio conduttura che deve assicurare sicurezza, qualità ed economia.

La "conduttura elettrica" si configura come un collegamento tra un sistema assegnato e un carico.

Dai dati nominali del carico è facile determinare la corrente nominale più consona all'individuazione della conduttura.

Dati:

- Tensione nominale del sistema elettrico U_n
- Potenza nominale del carico P_n

Si ricava la corrente Nominale $I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\phi}$ fondamentale per il dimensionamento

Si deve considerare il fatto che l'unico componente attivo della conduttura, in quanto preposto alla conduzione di flusso di elettroni che costituisce il vettore energetico – elettrico di alimentazione del carico, è il conduttore, individuabile in base alla sua resistività variabile in base alla temperatura.

Per i calcoli adottati nei dimensionamenti di massima si può convenzionalmente assumere come temperatura di esercizio nel caso di conduttura in cavo pari a $\theta_{cavo} = 90^\circ \text{C}$

Come precedentemente introdotto la conduttura deve assicurare

- Sicurezza

Per sicurezza, non si intende sicurezza elettrica per persone o cose, ma sicurezza per tutti gli altri componenti facenti parte dell'impianto. La sicurezza è intimamente correlata alla temperatura massima che potrà assumere il conduttore e deve essere tale da non portare danneggiamenti fisici o meccanici; soprattutto si cerca di eludere possibili scariche del dielettrico che costituisce il sistema isolante che comprometterebbe la funzione stessa della conduttura elettrica.

Bisognerà pertanto verificare che l'equilibrio termico tra la potenza generata nel conduttore dalle perdite per effetto Joule e la potenza trasmessa all'ambiente avvenga ad una temperatura compatibile con le caratteristiche del conduttore.

Supposta $\Delta\theta_M = \theta_M - \theta_0$ la sovratemperatura massima accettabile rispetto alla temperatura ambiente

$$RI^2 \leq K \cdot S_l \cdot \Delta\theta_M$$

Dove

- R è la resistenza del conduttore
- I la corrente massima ammissibile
- K il fattore di trasmissione termica globale (tiene conto di tutti i fenomeni associati alla dissipazione termica: conduzione, convezione, irraggiamento)
- S_l la superficie di scambio termico con l'ambiente

Introdotta poi la densità di corrente $G = \frac{I}{S}$ [A/mm²] si ricaverà la densità di corrente ammissibile

$$G^* = \sqrt{\frac{4K\Delta\theta_M}{\rho \cdot d}}$$

Dove

- ρ è la resistività del materiale conduttore al variare della temperatura.

Si ricorda che la resistività al variare della temperatura è data da

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha \cdot \Delta\theta)$$

Si osserva come la densità di corrente ammissibile cresca al diminuire del diametro del conduttore.

Bisognerà verificare dunque ai fini della sicurezza che valga $G \leq G^*$ in qualsiasi condizione di carico

- Power Quality

Per "power quality" si intende la continuità e qualità di dell'energia elettrica fornita ai carichi rispetto alle caratteristiche della tensione di rete ovvero frequenza, valore efficace e forma d'onda.

In questo caso faremo riferimento essenzialmente alle massime variazioni di tensione riscontrabili in corrispondenza del nodo di carico ne passaggio da linea a vuoto a linea a carico.

Fissato un valore massimo relativo alla caduta di tensione ammissibile, ε^* si dovrà verificare che la conduttura soddisfi

$$\varepsilon \leq \varepsilon^*$$

Dove ε è la reale caduta di tensione da vuoto a carico

- Efficienza

Richiede il contenimento delle perdite nei conduttori in modo che il rendimento di trasmissione η , sia superiore ad un certo valore di soglia accettabile in relazione ai costi di capitale ed esercizio

- Economia

Per "economia" si intende la riduzione dei costi di investimento per la realizzazione delle condutture. Bisognerà individuare un punto di equilibrio, nel dimensionamento, tra economia ed efficienza.

Per il calcolo della sezione minima del conduttore, bisognerà innanzitutto calcolare la massima caduta di tensione ammissibile.

$$\Delta U^* = \frac{\varepsilon^*}{100} \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3}} = \frac{4}{100} \cdot \frac{36000}{\sqrt{3}} = 831,384 [V]$$

Dove la caduta di tensione ammissibile si suppone $\varepsilon^* = 4\%$

La corrente efficace assorbita dal carico si ricava dalla conoscenza della potenza apparente, che si suppone pari alla potenza in immissione richiesta nella STMG, pari a $P_n = 62000 kW$, risulta quindi evidente che tale dimensionamento sarà cautelativo.

$$I_c = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{62000}{\sqrt{3} \cdot 36} = 994,32 [A]$$

Possiamo inoltre determinare le due componenti di corrente attiva e reattiva ipotizzando un fattore di potenza $\cos\varphi = 0.90$

Componente attiva $I_a = I_c \cdot \cos\varphi = 894,89 [A]$

Componente reattiva $I_r = I_c \cdot \sin\varphi = 433,41 [A]$

Assumendo come $90^\circ C$ la temperatura convenzionale di funzionamento del conduttore, è possibile ai fini di un primo dimensionamento considerare la conduttura stessa come se fosse caricata di soli momenti attivi

$$S \geq \frac{\rho_{Cu90^\circ C}}{\Delta U^*} \cdot \lambda \cdot I_a$$

Dove $\rho_{Cu90^\circ} = \rho_{20^\circ C} (1 + \alpha \cdot (90^\circ C - 20^\circ C)) = 0,018(1 + 3,93 \cdot 10^{-3} \cdot 70) = 0,02295 \left[\frac{\Omega mm^2}{m} \right]$

E la lunghezza del cavidotto pari a $\lambda = 13,76 km$

Dunque

$$S \geq \frac{\rho_{Cu90^\circ C}}{\Delta U^*} \cdot \lambda \cdot I_a = 339,914 [mm^2]$$

Il vincolo più stringente nel caso delle condutture in cavo riguarda il regime continuativo di esercizio dove il parametro fondamentale è la portata del cavo.

Per portata si intende quel valore di corrente che porta il conduttore alla temperatura continuativa di esercizio che può essere tollerata dall'isolante per un tempo indefinito.

Bisogna altresì specificare che la conoscenza reale della portata di un cavo è complessa essendo essa dipendente da parametri non sempre determinabili accuratamente.

Definiamo la corrente di ampacity come $I_{ampacity} = \sqrt{\frac{S \cdot (\theta_c - \theta_0)}{\rho_{20^\circ C} \cdot T_{eq}}}$

Dipendente da

- Sezione del conduttore
- Resistività del materiale costituente il conduttore
- Salto di temperatura, cioè cavi con temperature massime di esercizio avranno portate maggiori
- Resistenza termica equivalente: essa dipende dalle condizioni di posa e dalla resistività del terreno

Per un corretto dimensionamento $I_{ampacity} > I_c$

Dal datasheet sopra riportato del conduttore, si nota che la sezione subito maggiore al valore sopra determinato $S \geq 339,914 [mm^2]$

Corrisponde a $S = 400 [mm^2]$ e considerando una posa a trifoglio $I_{ampacity} = 590 [A]$

Poiché come precedentemente spiegato la portata del cavo deve essere maggiore della corrente assorbita dal carico $I_c = 994,32 [A]$

Scegliamo di utilizzare una doppia terna di cavi unipolari di sezione $S = 630 [mm^2]$ a cui corrisponde una $I_{ampacity} = 1404 [A]$

Per valutare la reale caduta di tensione è fondamentale la conoscenza della resistenza e della reattanza chilometrica:

- Resistenza chilometrica $r_{90^\circ C} = 0,044 [\frac{\Omega}{km}]$
- Reattanza chilometrica $x = 0,1 [\frac{\Omega}{km}]$

Con l'utilizzo della formula della caduta di tensione industriale

$$\Delta U = \frac{r_{90^\circ C}}{2} \cdot \lambda \cdot I_a + \frac{x}{2} \cdot \lambda \cdot I_r = 569,087 [V] \text{ che corrisponde a } \varepsilon = 1,58 \%$$

Bisognerà altresì verificare che la sezione scelta sia quella corretta anche nel caso di un funzionamento adiabatico della conduttura.

Per funzionamento adiabatico si intende una situazione di guasto, dove la dissipazione di calore verso l'esterno risulta trascurabile dato che la durata del fenomeno, che coincide con il tempo di intervento delle protezioni è inferiore alla costante di tempo termica.

Definiamo la densità di corrente ammissibile in corto circuito $G = \sqrt{\frac{\gamma c}{\rho_{20^\circ C}}} \sqrt{\frac{\Delta \theta}{\Delta t}} = k \sqrt{\frac{\Delta \theta}{\Delta t}} \quad [\frac{A}{mm^2}]$

Dove

- $k = 12$ per il rame
- $\Delta \theta$ è il salto di temperatura
- Δt è il tempo di intervento delle protezioni

Cautelativamente si può calcolare la densità di corrente ammissibile secondo la norma IEC 60949 che tiene conto del

possibile fatto che il regime non sia adiabatico $G = \frac{226}{\sqrt{\Delta t}} \cdot \sqrt{\ln \left(\frac{\theta_f + 234,5}{\theta_i + 234,5} \right)}$

Per verificare che la sezione scelta sia adeguata anche in regime di guasto adiabatico bisognerà appurare che $I_{th_equ} < I_{tollerabile}$

La corrente efficace termicamente equivalente rappresenta l'intensità di corrente media equivalente ai fini termici, alla corrente variabile durante l'occorrere del cortocircuito.

$$I_{th_equ} = I_{eff} \sqrt{1 + m} [A]$$

Dove m è un coefficiente che tiene conto del contributo della componente smorzata.

Si ricorda, che in regime transitorio (guasto), dalla teoria dell'elettrotecnica è noto che la corrente che si instaura nel circuito è dato da un termine permanente sinusoidale e dal contributo di un termine unidirezionale esponenziale smorzato.

Secondo la Norma CEI 11-25 il termine che tiene conto della natura dinamica smorzata del cortocircuito si può calcolare secondo la seguente formula:

$$m = \frac{1}{2f \cdot t_i \ln(\chi - 1)} [e^{4f \cdot t_i \cdot \ln(\chi - 1)} - 1]$$

Dove $\chi = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-\frac{3R}{X}} = 1,2817$

Essendo il tempo di intervento delle protezioni pari 1 [s] possiamo affermare che m sia trascurabile; dunque, la $I_{th_equ} = I_{eff} = I_{cc_3f} = 20kA$ valore dato da Terna secondo allegato A.68

Si calcola la corrente tollerabile in base alla sezione scelta per la conduttura

$$I_{tollerabile} = G \cdot S = 12 \sqrt{\frac{250 - 90}{1}} \cdot 630 = 95,627 \text{ kA}$$

Dopo l'ampio rispetto dei vincoli relativi alla caduta di tensione, alla portata e alla verifica del corretto dimensionamento in regime adiabatico il cavidotto scelto sarà una doppia terna RG7H1RFR 26/45 kV 2x(3x(1x 630 mm²)).

Si sottolinea infine come la portata reale del cavo è inferiore rispetto il valore da datasheet poiché le condizioni di posa, i circuiti di prossimità, la reale temperatura ambiente contribuiscono ad una sua correzione tramite coefficienti di declassamento moltiplicativi inferiori a 1.

Un ulteriore aspetto da considerare riguarda la potenza reattiva del cavo.

Definiamo la capacità di esercizio di un cavo unipolare come la capacità che c'è tra fase e schermo metallico: nel caso in studio, la capacità del cavo unipolare utilizzato viene calcolata al seguito:

$$c_e = \frac{\epsilon_r}{18 \cdot \ln\left(\frac{d_0}{d_1}\right)} = 0,33 \text{ } [\mu F / km]$$

La conduttanza trasversale tiene conto delle perdite dielettriche date dal campo elettrico all'interno dell'isolante e secondo la norma IEC 60287-1-1 possono essere calcolate mediante $g = \omega c_e \tan \delta = 5,183 \cdot 10^{-7} \left[\frac{S}{km} \right]$

Il problema della conduttura in cavo è noto come Effetto Ferranti, dove in particolari condizioni di funzionamento (a basso carico, a vuoto) si ha un innalzamento della tensione.

Sappiamo dall'elettrotecnica che la rete trifase, supposta in una condizione simmetrica ed equilibrata può essere studiata secondo un modello equivalente monofase a costanti uniformemente distribuite. Per esemplificare il problema però ci rifacciamo invece ad un modello a T, ciò ci consente di valutare la sopraelevazione di tensione a vuoto $\frac{\Delta U}{U_a} = \frac{\omega^2 \cdot L_e \cdot c_e}{2} \cdot l^2$

A questo scopo calcoliamo anche l'induttanza di esercizio sfruttando la conoscenza della reattanza della linea in cavo $L_e = \frac{0,1}{\omega} = 0,318 \left[\frac{mH}{km} \right]$

Poiché utilizzeremo una doppia terna la sopraelevazione di tensione $\frac{\Delta U}{U_a} = \frac{\omega^2 \cdot \frac{L_e}{2} \cdot 2c_e}{2} \cdot l^2$ è minima.

Per capire se è necessaria l'installazione di reattanze di compensazione da porre in parallelo al cavo dobbiamo individuare la percentuale dell'assorbimento di potenza reattiva rispetto alla potenza naturale del cavo stesso.

La potenza naturale del cavo dipende dalla sua impedenza caratteristica $Z_C = \sqrt{\frac{z}{y}}$

Dove l'impedenza chilometrica è $z = r_{90^\circ} + j\omega L_e = 0,044 + j0,1 \left[\frac{\Omega}{km}\right]$

Mentre l'ammettenza chilometrica $y = g + j\omega c_e = 5,1836 \cdot 10^{-7} + j1,0367 \cdot 10^{-4} \left[\frac{S}{km}\right]$

Poiché nel progetto si prevede l'utilizzo di una doppia terna, dove l'impedenza chilometrica totale si dimezza, mentre l'ammettenza totale raddoppia, l'impedenza caratteristica $Z_c = \sqrt{\frac{z/2}{2y}} = 15,892 - j3,300 [\Omega]$ e la costante di propagazione $k = \sqrt{x \cdot y} = k' + jk'' = 7,0075 \cdot 10^{-4} + j3,2916 \cdot 10^{-3} \left[\frac{1}{km}\right]$

Alla tensione massima di esercizio $U_r = 40,5 \text{ kV}$ risulta una potenza naturale

$$S_{nat} = \frac{U_r^2}{Z_{c*}} = 98,945 - j20,546 [MW + Mvar] \text{ il cui modulo vale } |S_{nat}| = 101,056 MW$$

Questa potenza deve essere confrontata con la potenza trasmissibile relativa all'ampacity $S_a = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{amp} = 87,544 \text{ MVA}$ che è inferiore alla potenza naturale.

Questo significa che il cavo è fortemente limitato dal regime termico ma ha una grande attitudine alla mera trasmissione dell'energia, la potenza reattiva impegnata è bassa e si può ritenere che esso abbia un benefico effetto rifasante oltre ad una caratteristica intrinseca di lavorare in un regime di sovraccarico

Secondo, inoltre, le prescrizioni del Codice di Rete il contributo alle correnti di guasto monofase terra della capacità del cavo di collegamento tra SE e cabina di consegna non deve essere superiore a 50 A. Alla tensione nominale ne deriva che la capacità massima della doppia terna deve essere inferiore a $4,4 \mu F$. Essendo la capacità di esercizio per ogni terna pari a $c_e = 0,33 \frac{\mu F}{km}$ risulta una capacità complessiva $c_{TOT} = 9,042 \mu F$. Non rispettando tale vincolo, sarà necessaria l'installazione di reattori di shunt da collegare rigidamente alla linea. Il valore di compensazione da utilizzare è quello necessario a garantire il rispetto del limite dell'interruttore nella condizione più critica (apertura linea guasta con estremo opposto aperto).

La taglia del reattore di shunt viene quindi valutata in base alla capacità del cavo da compensare: poiché deve essere inferiore a $4,4 \mu F$, la potenza di dimensionamento farà riferimento ad una $c_e = 9,042 - 4,4 = 4,642 \mu F$ concludendo quindi che la potenza del reattore per garantire il rispetto delle specifiche di connessione deve essere di almeno

$$Q_c = U_n^2 \omega c_e l = 1,8 \text{ Mvar}$$

L'installazione del reattore installato in derivazione oltre a compensare la capacità della linea di collegamento, riduce l'aumento di tensione (effetto Ferranti), e poiché la generazione di potenza attiva è fluttuante e non ben definibile sono strumenti idonei alla riduzione di instabilità indotte nel sistema elettrico.

Un ulteriore requisito per la connessione e l'esercizio in parallelo con la rete riguarda la verifica che non vi siano scambi di potenza reattiva ad impianto fermo. Se non si verificherà ciò, l'impianto dovrà essere dotato di apparati di compensazione che garantiscano uno scambio di potenza reattiva nel punto di consegna con fattore di potenza pari a 1

4.3.2 Modalità di posa

Si riporta una tabella riassuntiva delle caratteristiche di modalità installativa nel caso della doppia terna di collegamento tra l'impianto agrivoltaico avanzato e lo stallo SE 36 kV.

Caratteristiche di posa	
Posa	Interrata in letto di sabbia a bassa resistività termica

Messa a terra degli schermi	"Cross Bonding" o " Single point bonding"
Profondità di posa del cavo	Minimo 1,20 m
Formazione	Due terne a trifoglio
Tipologia di riempimento	Con sabbia a bassa resistività termica o letto demento magro h 0,50 m
Porofondità del riempimento	Minimo 1,10 m
Copertura con piastre di protezione in C.A	spessore minimo 5 cm
Tipogia di riempimento fino a piano terra	Terra di riporto adeguatamente selezionata
Posa di nastro monitore in PVC-profondità	Circa 1,00 m

I cavi saranno interrati ed installati in una trincea alla profondità di 1,5 m, con disposizione delle fasi a trifoglio.

Per i cavi interrati le Norme CEI 11-17 prevedono una protezione meccanica che può essere intrinseca al cavo stesso oppure supplementare a seconda del tipo di cavo e della profondità di posa. Nel caso in esame sarà utilizzato un cavo di tipo armato. Sarà previsto superiormente il nastro segnaletico posato ad almeno 20cm dalla protezione del cavo

Nello stesso scavo, ad una distanza di almeno 0,3 m dai cavi di energia, sarà posato un cavo ottico dielettrico costituito da n. 24 fibre ottiche per posa rispondente alla tabella di unificazione Enel DC 4677. Il cavo in fibra ottica sarà posizionato in canalizzazione realizzata sul tracciato del cavo elettrico mediante l'impiego di tritubo in PEHD e, dove necessario, di pozzetti in cls. per consentire il tiro ed il cambio di direzione del cavo e l'alloggiamento dei giunti e della ricchezza di scorta del cavo. Le suddette prescrizioni permetteranno al gestore della rete nazionale di installare adeguati strumenti che consentano la misurazione in tempo reale e la visibilità, da parte del sistema di controllo della rete, dell'energia immessa, nonché l'interrompibilità istantanea delle immissioni di produzione. In alternativa a quanto prescritto nella tabella contenuta nella DC 4677, possono anche essere presi in considerazione cavi ottici le cui caratteristiche costruttive prevedano l'alloggiamento delle fibre ottiche costituenti il cavo in tubetti anziché in cave. Resta inteso che le caratteristiche dimensionali e fisiche dei cavi, nonché le caratteristiche dimensionali, trasmissive e costruttive delle singole fibre ottiche devono comunque essere conformi a quanto previsto dalla DC 4677.

Tutti i cavi verranno alloggiati in terreno di riporto, la cui resistività termica, se necessario verrà corretta con una miscela di sabbia vagliata. La restante parte della trincea verrà ulteriormente riempita con materiale di risulta e di riporto.

Altre soluzioni particolari, quali l'alloggiamento dei cavi in cunicoli prefabbricati o gettati in opera o in tubazioni di PVC della serie pesante o di ferro, potranno essere adottate per attraversamenti specifici.

Gli attraversamenti di eventuali opere interferenti saranno eseguiti in accordo a quanto previsto dalla Norma CEI 11-17.

Inoltre, per evitare danneggiamenti meccanici sul cavo, durante la posa, si dovrà tenere conto dello sforzo massimo del cavo e del raggio di curvatura minimo.

In caso di presenza di acqua occorrerà prestare particolare attenzione per evitare che possa entrare acqua o umidità alle estremità dei cavi: dovrà essere effettuata la spelatura del cavo per 30cm, la sigillatura mediante coni di fissaggio in corrispondenza dell'inizio dell'isolante e la sigillatura mediante calotte termo restringenti in caso di interrimento del cavo prima della realizzazione di giunzioni o terminazioni.

Poiché il percorso del cavidotto si estende per la lunghezza di 13,760 km risulta necessario l'utilizzo di giunti.

I giunti servono a collegare tra loro due pezzature contigue di cavo e devono provvedere:

- alla connessione dei conduttori di due pezzature di cavo mediante manicotti metallici chiamati connettori;
- all'isolamento del conduttore e al ripristino dei vari elementi del cavo;
- a controllare la distribuzione del campo elettrico, per evitare concentrazioni localizzate che possono provocare in breve tempo la perforazione del giunto;
- al mantenimento della continuità elettrica tra gli schermi metallici dei cavi;
- alla protezione dall'ambiente nel quale il giunto è posato.

Nelle giunzioni fra cavi, i connettori sono i componenti deputati alla sola continuità elettrica; essi sono installati sui conduttori dei cavi mediante compressione eseguita con presse idrauliche e con le rispettive matrici a corredo.

I connettori si distinguono a seconda dei materiali costituenti, in base all'impiego a cui sono destinati.

I giunti unipolari saranno posizionati lungo il percorso del cavo, a circa 300 m l'uno dall'altro, ed ubicati all'interno di opportune buche giunti nella quale è prevista la realizzazione di un impianto di terra costituito da 4 picchetti metallici collegati fra di loro con una corda di rame nudo.

Accanto ad ogni buca di giunzione sarà posizionato un pozzetto per l'alloggiamento della cassetta di sezionamento delle guaine. Il posizionamento dei giunti sarà determinato in sede di progetto esecutivo in funzione delle interferenze sotto il piano di campagna e della possibilità di trasporto delle bobine.

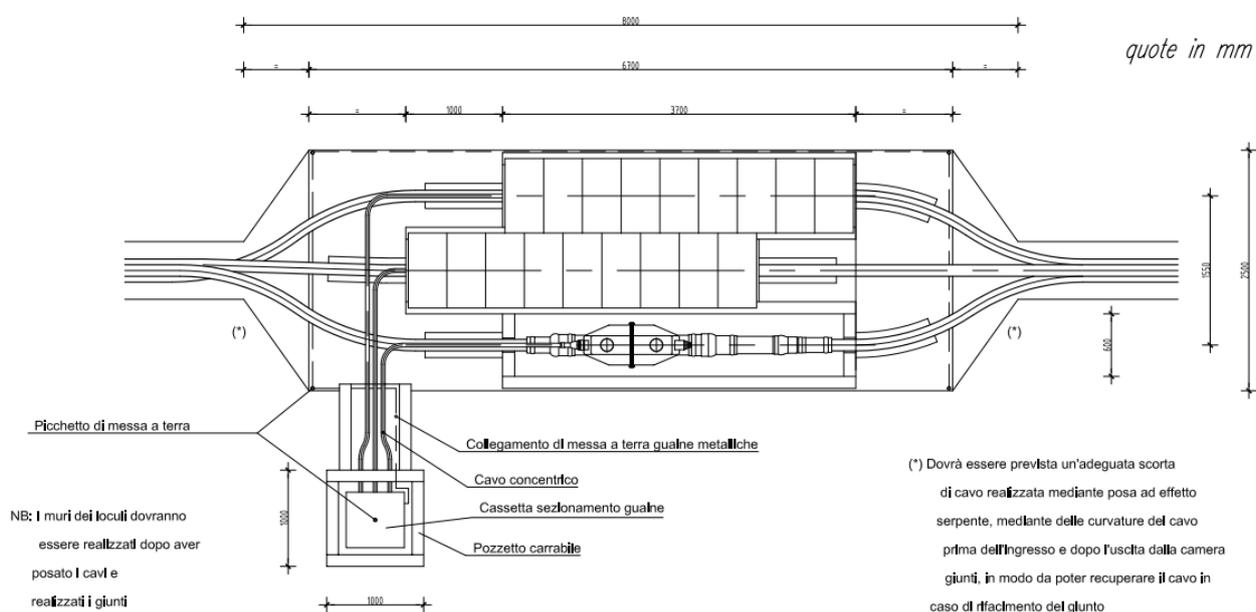
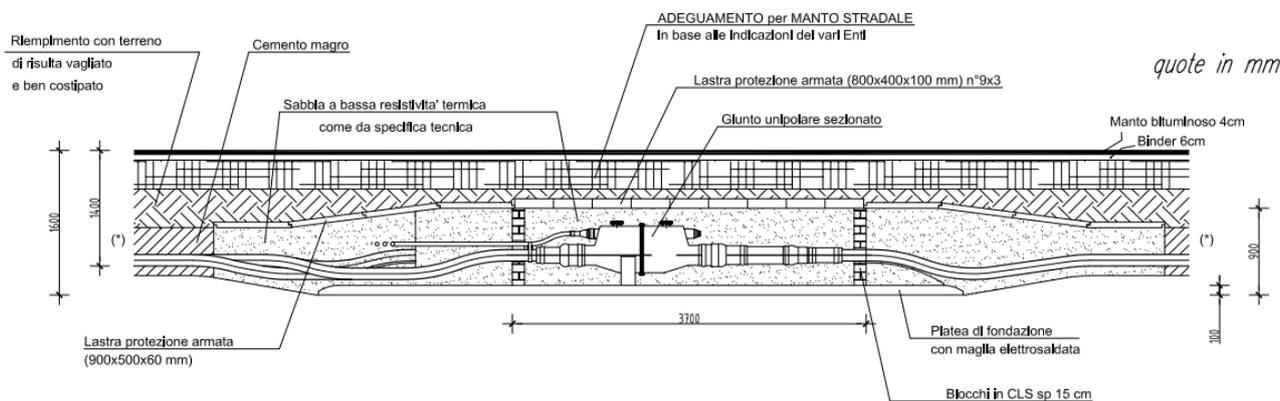


Figura 7: – Tipico camera giunti - pianta



NB: I muri dei loculi dovranno essere realizzati dopo aver posato i cavi e realizzati i giunti

(*) Dovrà essere prevista un'adeguata scorta di cavo realizzata mediante posa ad effetto serpente, mediante delle curvature del cavo prima dell'ingresso e dopo l'uscita dalla camera giunti, in modo da poter recuperare il cavo in caso di sfaldamento del giunto

Figura 8: – Tipico camera giunti - sezione

Il posizionamento dei giunti sarà determinato in sede di progetto esecutivo in funzione di:

- interferenze sotto il piano di campagna;
- possibilità di trasporto;
- rispetto dei vincoli sull'induzione magnetica generata, secondo quanto prescritto nel DPCM 08/07/2003.

Gli schermi metallici dei cavi saranno collegati in configurazione “cross bonding” (normalmente utilizzato per linee di lunghezza maggiore di 1 km) ossia con la loro permutazione ciclica delle fasi in corrispondenza dei giunti che consente di annullare praticamente le perdite elettriche conseguenti alle correnti indotte circolanti nei rivestimenti metallici dei cavi ottenendo così, a parità di sezione e di perdite totali, una maggiore portata utile. Il collegamento in “cross bonding” dei rivestimenti metallici del cavo 36 kV richiede l'appropriato uso di opportune cassette di sezionamento. Le camere di giunzione avranno dimensioni indicative 8 m x 2,5 m e saranno realizzate con profondità di posa di almeno 1,5 m.

Al termine delle fasi di posa e di rinterro si procederà alla realizzazione degli interventi di ripristino. La fase comprende tutte le operazioni necessarie per riportare il territorio attraversato nelle condizioni ambientali precedenti la realizzazione dell'opera.

Le opere di ripristino previste possono essere raggruppate nelle seguenti due tipologie principali:

- ripristini geomorfologici ed idraulici;
- ripristini della vegetazione.

Preliminarmente si procederà alle sistemazioni generali di linea, che consistono nella ri-profilatura dell'area interessata dai lavori e nella ri-configurazione delle pendenze preesistenti, ricostruendo la morfologia originaria del terreno e provvedendo alla riattivazione di fossi e canali irrigui, nonché delle linee di deflusso eventualmente preesistenti.

La funzione principale del ripristino idraulico è essenzialmente il consolidamento delle coltri superficiali attraverso la regimazione delle acque, evitando il ruscellamento diffuso e favorendo la ricrescita del manto erboso.

Successivamente si passerà al ripristino vegetale, avente lo scopo di ricostituire, nel più breve tempo possibile, il manto vegetale preesistente i lavori nelle zone con vegetazione naturale.

Il ripristino avverrà mediante:

- ricollocazione dello strato superficiale del terreno se precedentemente accantonato;
- inerbimento;
- messa a dimora, ove opportuno, di arbusti e alberi di basso fusto.

Per gli inerbimenti verranno utilizzate specie erbacee adatte all'ambiente pedoclimatico, in modo da garantire il migliore attecchimento e sviluppo vegetativo possibile. Le aree agricole saranno ripristinate al fine di restituire l'originaria fertilità.

5. INTERFERENZE

5.1 Descrizione interferenze

Lungo il percorso dell'elettrodotto interrato sono state rilevate le seguenti interferenze:



Figura 9: Percorso cavidotto e le interferenze rilevate

Nella sottostante tabella viene riportato l'elenco di tutti attraversamenti ed interessati dall'opera.

Interferenza Numero	Tipologia di attraversamento	Comune	Tratto stradale
1	Ponticello di attraversamento su elemento idrico Riu Su Cruccuri	Ussana	SS466
2	Incrocio stradale SS466-SP9	Ussana	SS466
3	Incrocio stradale SS466-SS675	Ussana	SS466
4	Ponte di attraversamento su elemento idrico Riu Mitza S'Ollastu	Ussana	SS466
5	Incrocio stradale SP 9 (Via Is Osterias)-Via Donori	Ussana	SP9
6	Incrocio stradale SS466-SP 9 (Via Is Osterias)	Ussana	SP9
7	Ponte di attraversamento su elemento idrico Riu Flumineddu	Ussana	SP9
8	Ponticello di attraversamento su canale	Ussana	SP9
9	Ponticello di attraversamento su elemento idrico	Ussana	SP9
10	Ponte di attraversamento su Riu di Costera	Ussana	SP9
11	Ponte di attraversamento su elemento idrico Riu Mannu	Ussana	SP9
12	Ponticello di attraversamento su elemento idrico	Ussana	SP9
13	Ponticello di attraversamento su elemento idrico	Ussana	SP9
14	Incrocio stradale SP9-SS128	Ussana	SP9
15	Ponticello di attraversamento su elemento idrico Gora Paoli Anandis	Nuraminis	Strada interpodereale
16	Strada su elemento idrico Gora Riu S'Egaventu	Nuraminis	Strada interpodereale
17	Ponticello di attraversamento su elemento idrico su Riu Rettori	Nuraminis	Strada interpodereale
18	Incrocio stradale Strada interpodereale-SP33	Nuraminis	SP33

Figura 10: Tabella – Percorso cavidotta e le interferenze rilevate

5.2 Risoluzione interferenze

In alcuni casi particolari e comunque dove si renderà necessario, in particolare per tratti interni ai centri abitati e in corrispondenza di attraversamenti, si potrà procedere anche con modalità diverse.

In particolare, si evidenzia che in alcuni casi specifici potrebbe essere necessario procedere alla posa del cavo con:

- Perforazione teleguidata;
- Staffaggio su ponti o strutture pre-esistenti;
- Posa del cavo in tubo interrato;
- Realizzazione manufatti per attraversamenti corsi d'acqua.

In accordo alla normativa vigente, l'elettrodotta interrato sarà realizzato in modo da escludere, o rendere estremamente improbabile, la possibilità che avvenga un danneggiamento dei cavi in tensione provocato dalle opere sovrastanti (ad esempio, per rottura del sistema di protezione dei conduttori).

Una volta realizzata la trincea si procederà con la posa dei cavi, che arriveranno nella zona di posa avvolti su bobine. La bobina viene comunemente montata su un cavalletto, piazzato ad una certa distanza dallo scavo in modo da ridurre l'angolo di flessione del conduttore quando esso viene posato sul terreno. Durante le operazioni di posa o di spostamento dei cavi saranno adottate le seguenti precauzioni:

- si opererà in modo che la temperatura dei cavi, per tutta la loro lunghezza e per tutto il tempo in cui essi possono venire piegati o raddrizzati, non sarà inferiore a 0°C;
- i raggi di curvatura dei cavi, misurati sulla generatrice interna degli stessi, non saranno mai inferiori a 15 volte il diametro esterno del cavo.

Tenendo conto che il tracciato si sviluppa quasi interamente su percorso stradale si nota che quando la strada lo consenta (cioè nel caso in cui la sede stradale permetta lo scambio di due mezzi pesanti) sarà realizzata, come anticipato, la posa in scavo aperto, mantenendo aperto lo scavo per tutto il tratto compreso tra due giunti consecutivi e istituendo per la circolazione stradale un regime di senso unico alternato mediante semafori iniziale e finale, garantendo la opportuna segnalazione del conseguente restringimento di corsia e del possibile rallentamento della circolazione. In casi particolari e solo quando si renderà necessario potrà essere possibile interrompere al traffico, per brevi periodi, alcuni tratti stradali particolarmente stretti, segnalando anticipatamente ed in modo opportuno la viabilità alternativa e prendendo i relativi accordi con i comuni e gli enti interessati.

Per i tratti su strade strette o in corrispondenza dei centri abitati, tali da non consentire l'istituzione del senso unico alternato, ovvero laddove sia manifesta l'impossibilità di interruzione del traffico si potrà procedere con lo scavo di trincee più brevi (30÷50 m) all'interno delle quali sarà posato il tubo di alloggiamento dei cavi, da ricoprire e ripristinare in tempi brevi, effettuando la posa del cavo tramite sonda nell'alloggiamento sotterraneo e mantenendo aperti tratti di scavo in corrispondenza di eventuali giunti.

5.2.1 Staffaggi su ponti o strutture pre-esistenti

Qualora il tracciato del cavo prevedesse l'attraversamento di ponti pre-esistenti, sarà valutata la possibilità di effettuare lo staffaggio sotto la soletta in c.a. del ponte stesso o sulla fiancata della struttura mediante apposite staffe in acciaio, realizzando cunicoli inclinati per raccordare opportunamente la posa dei cavi realizzati lungo la sede stradale (in profondità circa 1,2 m) con la posa mediante staffaggio.

5.2.2 Trivellazione orizzontale controllata

Questo tipo di perforazione consiste essenzialmente nella realizzazione di un cavidotto sotterraneo mediante il radio-controllo del suo andamento planoaltimetrico.

Il controllo della perforazione è reso possibile dall'utilizzo di una sonda radio montata in cima alla punta di perforazione, questa sonda dialogando con l'unità operativa esterna permette di controllare e correggere in tempo reale gli eventuali errori.

5.3 Coesistenza tra cavi elettrici ed altre condutture interrate

Le prescrizioni in merito alla coesistenza tra i cavidotti AT-BT e le condutture degli altri servizi del sottosuolo derivano principalmente dalle seguenti norme:

- Norme CEI 11-17 "Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica – Linee in cavo";
- DM 24.11.1984 "Norme di sicurezza antincendio per il trasporto, la distribuzione, l'accumulo e l'utilizzazione del gas naturale con densità non superiore a 0,8".

Eventuali prescrizioni aggiuntive saranno comunicate dai vari enti a cui sarà richiesto il coordinamento dei sottoservizi.

- a) Incrocio e parallelismo tra cavi di energia e cavi di telecomunicazione interrati

Nell'eseguire l'incrocio o il parallelismo tra due cavi direttamente interrati, la distanza tra i due cavi non deve essere inferiore a 0,3 m. Quando almeno uno dei due cavi è posto dentro manufatti di protezione meccanica (tubazioni,

cunicoli, ecc.) che ne rendono possibile la posa e la successiva manutenzione senza necessità di effettuare scavi, non è necessario osservare alcuna distanza minima.

b) Incroci tra cavi di energia e tubazioni metalliche interrate

L'incrocio fra cavi di energia e le tubazioni metalliche adibite al trasporto e alla distribuzione di fluidi [acquedotti, gasdotti, oleodotti e simili] o a servizi di posta pneumatica, non deve essere effettuato sulla proiezione verticale di giunti non saldati delle tubazioni metalliche stesse. I cavi di energia non devono presentare giunzioni se non a distanze ≥ 1 m dal punto di incrocio con le tubazioni a meno che non siano attuati i provvedimenti scritti nel seguito. Nei riguardi delle protezioni meccaniche, non viene data nessuna particolare prescrizione nel caso in cui la distanza minima misurata fra le superfici esterne dei cavi di energia e delle tubazioni metalliche o fra quelle di eventuali loro manufatti di protezione, è superiore a 0,50 m.

Tale distanza può essere ridotta fino ad un minimo di 0,30 m nel caso in cui una delle strutture di incrocio è contenuta in un manufatto di protezione non metallico prolungato almeno 0,30 m per parte rispetto all'ingombro in pianta dell'altra struttura. Un'altra soluzione, per ridurre la distanza di incrocio fino ad un minimo di 0,30 m è quella di interporre tra cavi energia e tubazioni metalliche un elemento separatore non metallico (ad esempio lastre di calcestruzzo o di materiale isolante rigido); questo elemento deve poter coprire, oltre la superficie di sovrapposizione in pianta delle strutture che si incrociano, quella di una striscia di circa 0.30 m di larghezza ad essa periferica.

I manufatti di protezione e gli elementi separatori in calcestruzzo armato sono da considerarsi strutture non metalliche. Come manufatto di protezione di singole strutture con sezione circolare possono essere utilizzati collari di materiale isolante fissati ad esse.

c) Parallelismi tra cavi di energia e tubazioni metalliche interrate

In nessun tratto la distanza misurata in proiezione orizzontale fra le due superfici esterne di eventuali altri manufatti di protezione deve risultare inferiore a 0,3 m.

d) Incroci e parallelismi tra cavi di energia in tubazione e tubazioni di gas con densità non superiore a 0,8 non drenate con pressione massima di esercizio > 5 bar

Nei casi di sopra e sottopasso tra canalizzazioni per cavi elettrici e tubazioni non drenate, la distanza misurata in senso verticale fra le due superfici affacciate deve essere $\geq 1,50$ m. Qualora non sia possibile osservare tale distanza, la tubazione del gas deve essere collocata entro un tubo di protezione che deve essere prolungato da una parte e dall'altra dell'incrocio per almeno 1 m nei sottopassi e 3 m nei sovrappassi; le distanze vanno misurate a partire dalle tangenti verticali alle pareti esterne della canalizzazione; in ogni caso deve essere evitato il contatto metallico tra le superfici affacciate.

Nei parallelismi tra canalizzazioni per cavi elettrici e tubazioni non drenate, la distanza minima tra le due superfici affacciate non deve essere inferiore alla profondità di interrimento della condotta del gas, salvo l'impiego di diaframmi continui di separazione.

e) Incroci e parallelismi tra cavi di energia in tubazione e tubazioni di gas con densità non superiore a 0,8 non drenate, con pressione di esercizio massima di 5 bar

Nel caso di sopra e sottopasso tra canalizzazioni per cavi elettrici e tubazioni del gas la distanza misurata tra le due superfici affacciate deve essere:

- Per condotte di 4° e 5° specie: $> 0,5$ m
- Per condotte di 6° e 7° specie: tale da consentire gli eventuali interventi di manutenzione su entrambi i servizi interrati

Qualora per le condotte di 4° e 5° specie, non sia possibile osservare la distanza minima di 0,5 m, la condotta del gas deve essere collocata entro un manufatto o altra tubazione di protezione e detta protezione deve essere prolungata da una parte e dall'altra, dell'incrocio stesso per almeno 3 m, nei sovrappassi e 1 m nei sottopassi, misurati a partire dalle tangenti verticali alle pareti esterne dell'altra canalizzazione.

Nei casi di percorsi paralleli tra canalizzazioni per cavi elettrici e tubazioni del gas la distanza misurata tra la due superfici affacciate deve essere:

- per condotte di 4° e 5° specie: > 0.50 m;
- per condotte di 6° e 7° tale da consentire gli eventuali interventi di manutenzione su entrambi i servizi interrati.

Qualora per le condotte di 4^a e 5^a specie non sia possibile osservare la distanza minima di 0,50 m, la tubazione dei gas deve essere collocata entro un manufatto o altra tubazione; nei casi in cui il parallelismo abbia lunghezza superiore a 150 m la condotta dovrà essere contenuta in tubi o manufatti speciali chiusi, in muratura o cemento, lungo i quali devono essere disposti diaframmi a distanza opportuna e dispositivi di sfogo verso l'esterno. Detti dispositivi devono essere costruiti con tubi di diametro interno non inferiore a 20m, e devono essere posti alla distanza minima tra loro di 150 m e protetti contro l'intasame.