



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Ingegneria Industriale DII

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria dell'Energia

Elettrica

*Analisi del sistema per il sezionamento della linea di
contatto e messa a terra di sicurezza per gallerie
ferroviarie*

Relatore: Prof. Roberto Turri

Studente: Matteo Bullo 1241875

Anno Accademico 2021/2022

Premessa

Lo scopo di questa tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria dell'Energia Elettrica sarà quello di descrivere e realizzare la progettazione di un sistema di sezionamento e messa a terra di sicurezza delle linee di contatto ferroviarie in galleria. Questo sistema permetterà una maggiore sicurezza agli operatori di soccorso nel caso in cui debbano intervenire in situazioni di emergenza in galleria, garantendo l'assenza di tensione nelle linee elettriche coinvolte. L'operatore dovrà essere in grado di mettere a terra le linee di contatto per mezzo di una chiave estraibile presente in un quadro di soccorso posizionato all'esterno della galleria. L'analisi e lo sviluppo di questo progetto è stato effettuato in collaborazione con Rete Ferroviaria Italiana (RFI) che ha messo a disposizione i documenti e le risorse per lo studio effettuato. Il progetto in questa tesi sarà elaborato descrivendo inizialmente i dispositivi e le apparecchiature generali di un sistema di trazione ferroviario, analizzando poi i componenti specifici necessari per la realizzazione del sistema in esame. Nei capitoli seguenti sarà riportato lo stato di fatto del piano di lavoro che sarà realizzato, esaminando anche la collocazione delle apparecchiature tramite le tavole costruite. Saranno calcolati anche dei dimensionamenti per le condutture di collegamento e delle tarature degli interruttori negli schemi di potenza. Tutte le apparecchiature e i sistemi descritti nell'elaborato dovranno far riferimento alle normative tecniche e di sicurezza vigenti nel campo di appartenenza.

Indice

Premessa	3
1. Introduzione	1
2. Nozioni fondamentali TE.....	5
2.1. Fondamenti trazione elettrica	6
2.2. Linea di alimentazione	9
2.3. Struttura linea di contatto	12
3. Sistema STES	31
3.1. Decreto Ministeriale 28 ottobre 2005	32
3.2. Architettura sistema	34
3.3. Quadro controllo continuità (QCC)	39
3.4. Dispositivo motorizzato di corto circuito (DMBC)	52
3.5. Unità di controllo e comando	66
4. Progetto definitivo STES	73
4.1. Imbocco Nord.....	73
4.2. Prima finestra intermedia	80
4.3. Schema unifilare di potenza	83
4.4. Seconda finestra intermedia	98
4.5. Imbocco Sud.....	101
4.6. Rete comunicazioni	104
CONCLUSIONI	109
Bibliografia-Sitografia	111

1. Introduzione

Rete Ferroviaria Italiana S.p.A. è la società del Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane che si occupa della gestione dell'infrastruttura ferroviaria. RFI nasce in risposta alla necessità di separare il gestore della rete dal produttore dei servizi di trasporto il 1° luglio 2001 a seguito dell'Atto di Concessione rilasciato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti con il Decreto Ministeriale del 31 ottobre 2000. L'azienda assicura la connessione fra le diverse aree del Paese, gestendo la circolazione ferroviaria e mantenendo in efficienza l'infrastruttura con il reticolo di linee e stazioni dislocate sul territorio. [1][2][3]



Figura 1.1 Rete Ferroviaria Italiana

La struttura organizzativa si articola a livello centrale in 6 Direzioni di linee e 13 tra Direzioni e strutture di staff. La capillarità a livello nazionale sul territorio determina un'articolazione organizzativa molto fitta, legata alle dipendenze delle Direzioni centrali. La sede legale si trova a Roma, mentre le sedi territoriali si trovano a Torino, Milano, Genova, Venezia, Verona, Trieste, Bologna, Firenze, Roma, Napoli, Reggio Calabria, Bari, Ancona, Palermo e Cagliari. In tutto si contano quasi 28000 dipendenti specializzati e i due ambiti che richiedono il maggior numero di lavoratori sono la manutenzione dell'infrastruttura ferroviaria e la gestione della circolazione dei treni. Le linee in esercizio si estendono per circa 16782 km sul territorio nazionale. [14]

RFI è la principale figura appaltante del Paese, è un organismo di diritto pubblico e deve rispettare i vincoli e le normative del Codice degli Appalti, il quale regola gli appalti e i contratti pubblici di lavori. Il ruolo dell'azienda è quello di stazione appaltante, che definisce degli appositi bandi di gara. Alla fine di un bando il Committente comunica all'Appaltatore l'aggiudicazione della procedura di affidamento e stipula con questo un Accordo Quadro (AQ) in cui si individuano le condizioni e i vincoli secondo cui devono essere svolte le prestazioni. [16]



Figura 1.2 Sviluppo territoriale e aree di competenza delle linee ferroviarie

Il livello di progettazione di lavori pubblici si divide in tre livelli:

1. Progetto di fattibilità: analizza tra varie soluzioni quella che meglio si adatta in ambito tecnico ed economico al progetto preso in esame. Il progettista deve svolgere indagini e studi per rispettare le esigenze richieste in termini di dimensionamento e limiti economici.
2. Progetto definitivo (PD): in questa sezione di progetto si individuano i lavori da realizzare rispettando i criteri e i vincoli del progetto di fattibilità. Questo progetto contiene tutti gli elementi necessari per quantificare il limite di spesa per la realizzazione finale.
3. Progetto esecutivo (PE): riprende il progetto definitivo e in base a questo determina ogni dettaglio dei lavori da realizzare e ne studia la fattibilità tecnica. Ogni elemento che andrà a comporre il progetto deve essere descritto nel dettaglio in tutte le sue caratteristiche tecniche ed economiche.

RFI redige normalmente le prime due tipologie di progetti e lascia l'ultimo alle imprese esterne vincitrici dell'appalto. I progetti devono rispettare i vincoli dati a livello nazionale dalla normativa interna di RFI che regola tutte le apparecchiature e i sistemi della Trazione Elettrica.

2. Nozioni fondamentali TE

In questo capitolo vengono descritti i fondamenti del funzionamento e della componentistica relativi agli impianti di Trazione Elettrica ferroviaria alla tensione nominale di 3 kV in corrente continua.

Il dimensionamento del sistema TE è determinato dalla potenza massima che può essere derivata dalla linea di contatto. È necessario soddisfare dei requisiti tecnici e di sicurezza per l'intero dimensionamento, infatti i criteri di verifica della potenzialità di un impianto TE sono:

- La sovratemperatura della linea non può superare un certo limite, quindi la corrente che può circolare in linea sarà limitata;
- Non deve essere superato il carico massimo sostenibile dai raddrizzatori;
- È necessario mantenere la tensione al pantografo entro i limiti tollerabili;
- La corrente assorbita non può superare i valori di taratura degli interruttori extrarapidi di linea;

Le analisi delle potenzialità degli impianti TE vengono eseguite considerando due possibili situazioni di esercizio: esercizio normale o esercizio anomalo. Per il primo vengono considerati i periodi della giornata in cui il traffico è più intenso, mentre per il secondo sono considerati casi di anomalie sulle linee o sugli impianti. In situazione normale il traffico dev'essere sostenuto senza superare i limiti previsti per l'esercizio della linea, in situazioni anomale (riavvio di una serie di treni, interruzione linea o problemi agli impianti) è consentito il superamento entro certi limiti dei valori nominali. Questo creerà maggiori sollecitazioni all'impianto, le quali possono essere sostenute solo se queste saranno di breve durata e occasionali.

Vengono ora analizzati nel dettaglio i criteri per il dimensionamento degli impianti TE con le condizioni e i limiti da rispettare per il corretto funzionamento dell'intero sistema. [3][4][5]

2.1. Fondamenti trazione elettrica

I limiti imposti sul riscaldamento massimo che può sopportare la linea di contatto devono considerare il sovraccarico sostenibile e la capacità di tenuta per brevi periodi di correnti maggiori del limite consentito in regime permanente. Il dimensionamento corretto non deve permettere il superamento della massima sovratemperatura ammissibile. La costante di tempo termica dei conduttori utilizzati è dell'ordine dei minuti, quindi un tempo confrontabile con le percorrenze dei treni tra due sottostazioni.

Prove sperimentali hanno portato all'applicazione, entro certi limiti, dell'equazione differenziale:

$$\tau \frac{d\vartheta}{dt} + \vartheta = C\sigma^2$$

- $\vartheta(t)$: sovratemperatura assunta dalla linea di contatto in funzione di t ;
- $\sigma(t)$: densità di corrente
- τ : costante di tempo termica
- C : costante dipendente dalle condizioni di trasmissione del calore

Per i conduttori in rame della LdC (100-150 mm²), con condizioni di ventilazione minima, si assumono $C=2,5$ e $\tau=10$ minuti.

Il valore limite che può raggiungere la temperatura della LdC accettato dalle amministrazioni ferroviarie è pari a 85°C. Con le condizioni ambientali più sfavorevoli si assume una temperatura di 45°C, quindi la sovratemperatura massima è pari a: $\vartheta_{\max} = 85 - 45 = 40^\circ\text{C}$.

Essendo il diagramma di carico di una SSE molto variabile in 10 minuti c'è un elevato grado di sovraccaricabilità. La massima densità di corrente da non superare a regime viene definita a:

$$4 \text{ A/mm}^2$$

Raddrizzatori

Il calcolo dei limiti imposti viene realizzato, per ciascuna ipotesi di carico, calcolando il valore quadratico della corrente assorbita e la punta di corrente relativi ai diagrammi di carico della sottostazione. Queste si ottengono utilizzando la sovrapposizione dei diagrammi di assorbimento di ciascun treno.

Tabella 2.1 Limiti di carico per gruppi raddrizzatori

Potenza nominale	Corrente nominale	Corrente media quadratica		Corrente di punta*
		Normale (+50 %)	Anomala (+100%)	
[kW]	[A]	[A]	[A]	[A]
3600	1000	1500	2000	3000
5400	1500	2250	3000	3500

I limiti di corrente media quadratica sono cautelativi, infatti:

- Un sovraccarico del 50%, in condizioni normali, rispetto al carico nominale può essere sopportato da ciascun gruppo continuamente. È improbabile che in situazioni di massimo carico i tempi si prolunghino per più di 2-3 ore.

Un sovraccarico del 100%, in situazioni anomale, può essere sopportato per 2 ore, tempo che permette pienamente l'estinzione della situazione anomala a meno che non si tratti di guasti di lunga durata.

Tensione al pantografo

La tensione al pantografo può variare intorno al valore nominale del sistema, deve però mantenersi entro valori prefissati dalla normativa vigente, sia che le condizioni di esercizio siano normali che anomale.

$$V_n = 3\text{kV} \begin{cases} +20\% (3600\text{V}) \\ -33\% (2000\text{V}) \end{cases}$$

La valutazione del valore della tensione deriva da complesse definizioni matematiche che possono essere semplificate solo con l'utilizzo di ipotesi particolari (treni uguali con assorbimento di corrente costante). In generale si calcola con programmi di simulazione.

Tabella 2.2. Tensioni limite al pantografo

Parametri	Situazioni di esercizio	
	Normali	Anomale
Tensione utile media	$\geq 3000\text{V}$	$\geq 2700\text{V}$
Tensione minima assoluta	2500V	2300V
Percentuale rilievi di tensione $\leq 2800\text{V}$	$\leq 10\%$	$\leq 20\%$

Interruttori Extrarapidi

Con l'entrata in servizio di mezzi di trazione più potenti, la taratura degli interruttori extrarapidi si è dimostrata un punto molto critico su alcuni tratti di linea. Il motivo della criticità è dovuto soprattutto al fatto che la taratura è vincolata ai valori istantanei degli assorbimenti e non può sopportare valori oltre limite per più tempo come i componenti precedenti. È stato comunque possibile elevare il relativo limite, basato sul calcolo della massima corrente di linea, con il reciproco asservimento tra le aperture automatiche degli interruttori extrarapidi delle SSE limitrofe, combinato con il comando automatico di apertura in caso di abbassamenti di tensione anomali lungo la linea rilevati dai dispositivi RV.

2.2. Linea di alimentazione

L'alimentazione della linea inizia con uno sviluppo quasi completamente all'aperto con l'arrivo della linea in alta tensione. In questa sezione si trovano le apparecchiature e i dispositivi di controllo e protezione tra l'arrivo delle linee e la successiva sezione di "trasformazione e alimentazione MT". La tensione di arrivo fornita alle SSE ne determina la categoria, infatti si possono distinguere sottostazioni in alta tensione se alimentate a 66, 132 e 150 kV, in media tensione se alimentate con tensioni tra 15 e 24 kV. La struttura generale e più frequente di arrivo linea è quella illustrata in figura:

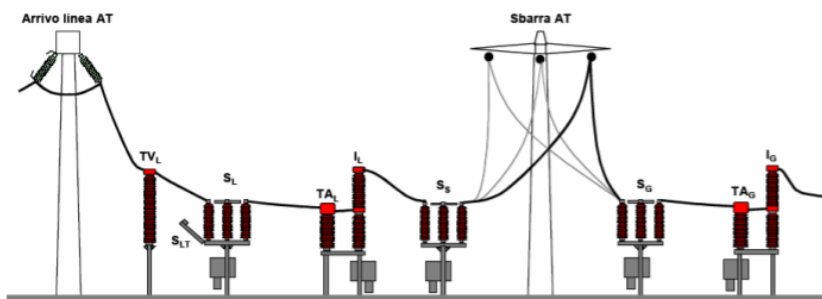


Figura 2.1. Struttura di arrivo linea di alimentazione

Dalla figura precedente si possono osservare i componenti che compongono questa sezione:

Arrivo linea AT

Sono le condutture elettriche aeree in AT che si amarrano ai portali o ai tralicci di SSE, nella loro parte terminale delle cosiddette “linee primarie”. Vengono ancorate a dei sostegni (tralicci, portali, pali, ecc.) mediante amarrini spinterometrici e accessori per ormeggi. Un sostegno utilizzato al posto dei portali è ad esempio il “palo gatto” a cui si amarra una sola terna di conduttori.

Trasformatore di tensione di linea – TVL

Dispositivo che permette la misura della tensione di linea può essere di tipo induttivo (con elevato rapporto di trasformazione) o di tipo capacitivo. È necessario per ridurre la tensione a valori misurabili dalle apparecchiature di controllo di tipo digitale o a microprocessore. Il valore misurato permette l'eventuale intervento delle protezioni di max/min tensione o delle selettive distanziometriche.

Sezionatore di linea con lame di terra - SLT

Dedicato al sezionamento della linea in alta tensione, a manovra manuale o automatica, permette di separare il circuito elettrico e di avere una conferma visiva dell'interruzione. È provvisto di lame per la messa a terra delle condutture elettriche, le quali non possono essere chiuse prima che il circuito sia stato aperto. I sezionatori vanno manovrati sia in apertura che in chiusura in assenza di carico. In genere sono a poli affiancati con tre colonne per ogni fase, quella centrale ruota sul suo asse verticale e inserisce un braccio rigido orizzontale che va ad inserirsi nelle rispettive sedi sostenute dalle colonne laterali alle quali fanno capo i conduttori da separare.



Figura 2.2. Sezionatore di linea

Trasformatore di corrente di linea – TA_L

Apparecchio utilizzato per la misura delle correnti di linea per controllare i consumi energetici ed esigenze di protezione. Alimenta il relè di protezione per massima corrente, di rinalzo per le protezioni selettive distanziometriche.

Interruttore di linea – I_L

L'interruttore è un apparecchio che serve a interrompere la corrente in un circuito anche sotto carico. L'interruttore di linea è tripolare, uno per ogni fase, serve per proteggere dai cortocircuiti e dai sovraccarichi i dispositivi che potrebbero danneggiarsi. L'estinzione dell'arco elettrico avviene in SF_6 (esafluoruro di zolfo). La differenza tra interruttore di gruppo e interruttore di linea è che il secondo può avere l'apertura a diseccitazione in quanto legato all'apertura di emergenza (AG).



Figura 2.3. Interruttore di linea

Sezionatore di sbarra – Ss

Dispositivo analogo al sezionatore di linea, ma senza le lame di terra, la sua funzione è quella di garantire la continuità tra interruttore e sbarra.

Sbarra – AT

Costituita dalla stessa tipologia di sostegni, conduttori, amari e isolatori degli arrivi linea AT, la sua funzione principale è quella di consentire differenti schemi di alimentazione. Alla sbarra arrivano i conduttori di ogni arrivo AT e ripartono quelli di alimentazione delle successive apparecchiature.

Dalla sbarra AT vengono derivate le terne di conduttori verso i sezionatori di gruppo S_G e da questi si passa verso i trasformatori di corrente di gruppo TA_G e gli interruttori di gruppo I_G, con le stesse caratteristiche delle apparecchiature viste in precedenza.

Scaricatori di tensione – SC

Tra l'interruttore di gruppo e il trasformatore di potenza (per ogni fase) si prevede l'inserimento di uno scaricatore in AT, previsto per una protezione del trasformatore dalle eventuali sovratensioni di origine atmosferica e di manovra.

2.3. Struttura linea di contatto

La "Linea di contatto" è l'insieme dei conduttori composto da: alimentatori, fili di contatto e corde portanti. La sua funzione è quella di trasmettere l'energia elettrica per l'alimentazione dei mezzi di trazione, questi captano la corrente per mezzo di un dispositivo posto sul tetto dei mezzi denominato "pantografo".

Fanno parte integrante del sistema i sostegni, le fondazioni, gli isolatori, i dispositivi di ormeggio e regolazione dei conduttori, il circuito di ritorno, il circuito di terra di protezione e tutti gli accessori secondari di questi dispositivi. Sulla rete il filo di contatto è sospeso ad una o due catenarie longitudinali, la linea aerea di contatto è

quindi detta con “sospensione mediante catenaria”. La catenaria è la curva che forma una corda sospesa tra due appoggi.

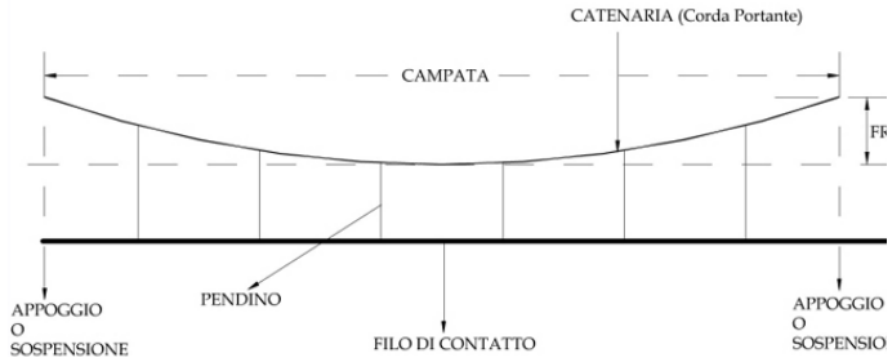


Figura 2.4. Struttura campata di linea

Con riferimento alla figura si possono definire i vari componenti e la loro funzione:

- Fune portante: corda in rame che serve sia a sostenere il filo di contatto attraverso i pendini che a trasmettere l’energia elettrica.
- Filo di contatto: è il conduttore dal quale il pantografo capta la corrente.
- Pendino: organo di sospensione che collega il filo di contatto alla corda portante, non è generalmente un buon collegamento elettrico.
- Sospensione: le apparecchiature che creano un punto di appoggio ad una catenaria.
- Campata: tratto di linea compresa tra due punti di sospensione contigui.
- Campata elementare: tratto di filo tra un pendino e il successivo.

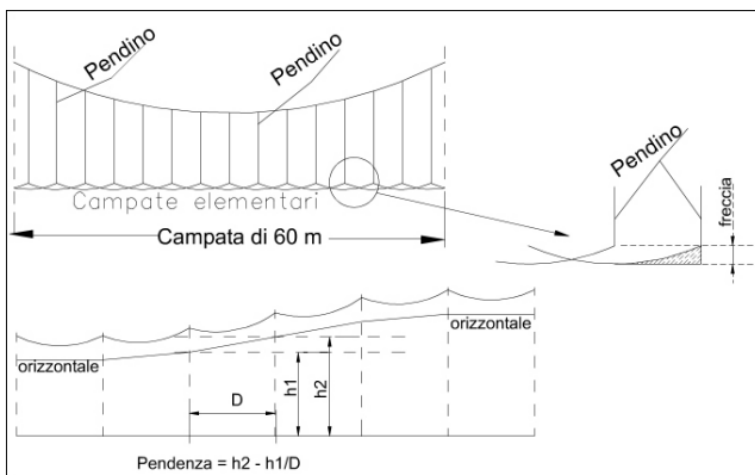


Figura 2.5. Esempio pendini su campata

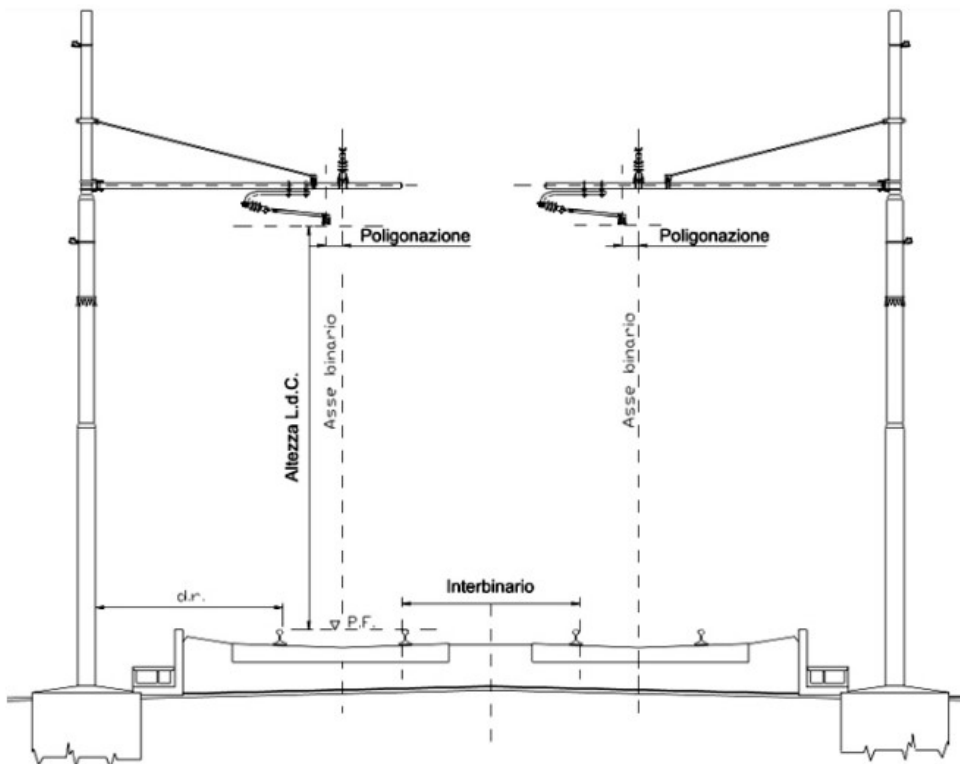


Figura 2.6. Struttura palificazione di linea

Le geometrie più importanti da tenere in considerazione sono:

- Altezza della linea di contatto: misurata tra il filo di contatto e il piano di rotolamento del binario
- Poligonazione: disposizione dei fili di contatto rispetto all'asse del binario per realizzare un consumo uniforme del pantografo
- Freccia: distanza tra la retta passante tra gli appoggi e il punto più basso della catenaria
- Distanza palo-rotaia
- Franco elettrico: minima distanza tra parti in tensione e parti fisse o mobili non in tensione
- Pendenza
- Interbinario: distanza tra due rotaie interne di due binari paralleli
- Sagoma limite: sezione massima di ingombro del materiale rotabile

Tabella 2.3. Composizione, sezione e impiego corde

Sezione (mm ²)	Composizione	Diametro (mm)	Materiali	Norme/STF	Impiego
120	19 x 2,8	14	Cu	NT TE 25	Corda portante
155	37 x 2,3	16,1	Cu	NT TE 25	Corda per alimentatori
155	61 x 1,8	16,2	Cu	NT TE 25	Collegamenti elettrici
230	37 x 2,8	19,6	Cu	NT TE 25	Corda per alimentatori
85	37 x 1,7	11,9	Cu	NT TE 25	Collegamenti elettrici
170	1 x 1,25 mm Ac + guaina Al + 1 corona di 9 conci TAL + 1 corona di 18 fili TAL Diam. 2,21 mm	15,82	TACSR	STF TE 80	Circuito di terra di protezione TE
170	1 x 1,25 mm Ac + guaina Al + 1 corona di 9 conci TAL + 1 corona di 18 fili TAL Diam. 2,21 mm e guaina isolante	19,62	TACSR	STF TE 86	Circuito di ritorno TE
16	16 x 84	6,2	CuMg0,4	STF TE 51	Cordino per pendino conduttore

Sezione (mm ²)	Diametro (mm)	Materiale	Norme	Impiego
100	11,8	CuAg 0,10	STF TE 40	Filo sagomato
150	14,5	CuAg 0,10	STF TE 40	Filo sagomato
20	5	Cu	N.T. TE 19	Tondo per fili per pendini

In una linea di contatto aerea vengono poi definite le strutture di sostegno che costituiscono l'ancoraggio per le sospensioni e per gli ormeggi dei conduttori:

- Pali
- Portali TE: strutture a traliccio poste da entrambi i lati del binario e con una travata orizzontale idonea al sostegno delle sospensioni. Utilizzati per realizzare i posti di sezionamento a spazio d'aria.
- Travate trasversali: utilizzate nelle stazioni
- Supporto pendulo per lo scoperto: struttura metallica fissata a travate orizzontali per sostenere le sospensioni.



Figura 2.7. Portale ferroviario TE



Figura 2.8. Esempio di palificazione in linea

Tutte le strutture sono normalmente fissate sui propri basamenti, questi vengono interrati totalmente o parzialmente. Possono anche essere “aggrappate” su pareti o muri di contenimento in caso non ci sia la possibilità di inserire un basamento.

Sostegni per galleria:

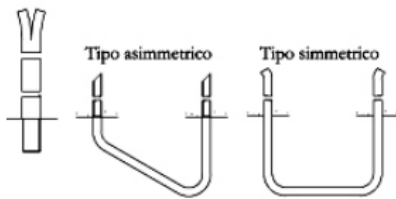


Figura 2.9. Grappe di ancoraggio

Grappe di ancoraggio: strutture in rame infisse sul volto delle gallerie per supporto delle sospensioni e ormeggi.

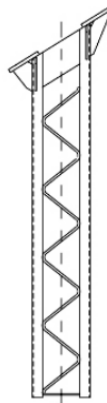


Figura 2.10. Supporto pendolo

Supporto pendolo per galleria: struttura metallica a traliccio che viene fissata al volto della galleria mediante grappe di ancoraggio e permette il sostegno delle sospensioni.

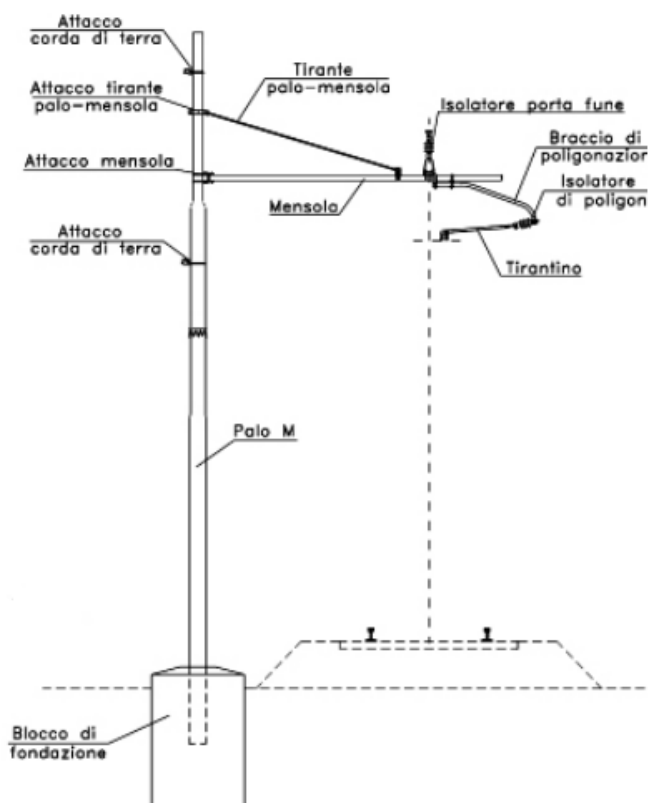


Figura 2.11. Mensola di sostegno su palo

La mensola è l'elemento che collega il palo a un supporto pendolo, costituisce l'appoggio diretto delle sospensioni e può essere considerato come parte integrante della sospensione stessa. I tiranti servono a sostenere le strutture caricate da pesi che le porterebbero a inclinarsi.

Per realizzare il collegamento elettrico della linea di contatto vengono utilizzati i morsetti. Devono avere caratteristiche ben definite per evitare problemi meccanici o elettrici, il collegamento della sospensione alle corde portanti deve essere realizzato tramite un morsetto in lega di rame (bronzo-alluminio) realizzato tramite fusione. I collegamenti con i fili di contatto devono invece essere effettuati mediante morsetti in lega di rame realizzati tramite stampaggio. Nei morsetti di ultima generazione vengono impiegati quasi esclusivamente viti e bulloni di acciaio.

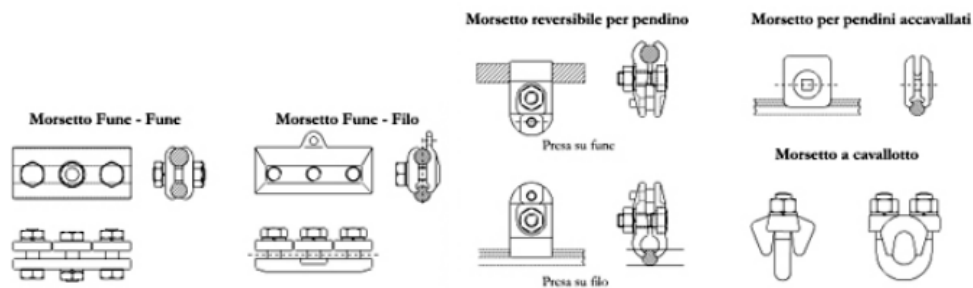


Figura 2.12. Esempi di morsetti

Per avere una captazione ottima da parte del pantografo sui fili di contatto questi dovrebbero essere posizionati in maniera esattamente parallela al binario, quindi con freccia pari a zero, ipotesi solo ideale. Questa caratteristica è ovviamente impossibile da realizzare in quanto il complesso degli apparecchi di sostegno tende a deformarsi continuamente a causa delle variazioni di temperatura che causano un allungamento o accorciamento dei fili di contatto e delle funi portanti. Si deve fare in modo che al variare della temperatura il piano si discosti il meno possibile da quello ideale, per ottenere un buon parallelismo i fili di contatto e le funi portanti vengono tesati con un tiro che può essere “fisso” o “regolato”, con tiro regolato la forza applicata ai conduttori è detta “tiro di regolazione”. L’intera regolazione invece è definita dal tratto di linea compresa tra due punti di amarraggio.

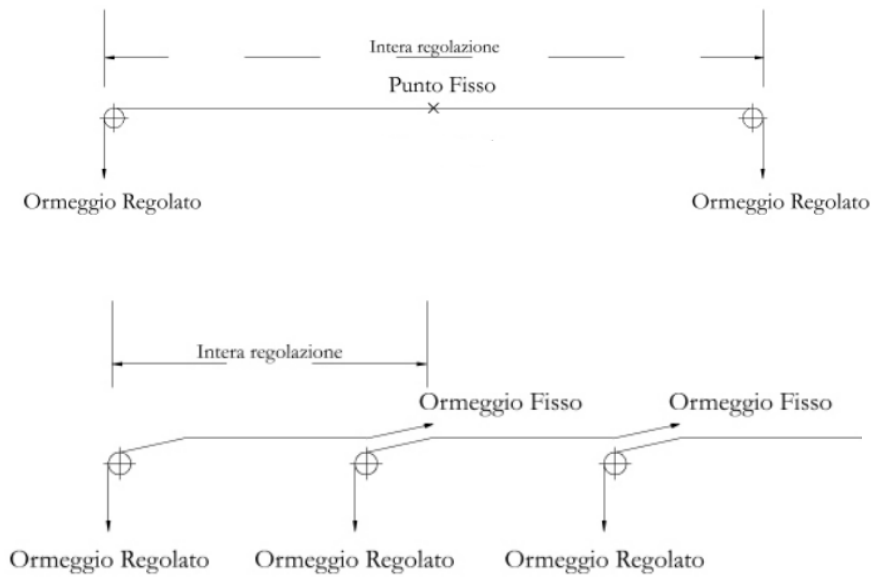


Figura 2.13. Tipi di regolazione conduttori di linea

Possono essere adottati anche i dispositivi di tensionatura automatica quando il tiro di regolazione deve essere costante entro prefissati limiti di temperatura.

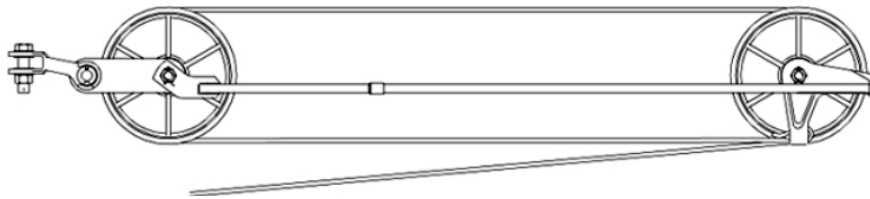


Figura 2.14. Dispositivo di tensionatura (tipo a taglia):

Lungo la linea sono predisposti dei tratti dotati di appositi cinematismi che convertono la forza verticale di contrappesatura in tiro longitudinale della conduttura, questi vengono chiamati “posto di regolazione automatica” (Posto RA). Esistono dei dispositivi (Tensorex) che, invece dei contrappesi, sfruttano la spinta di una molla precompressa che viene trasferita alla conduttura.

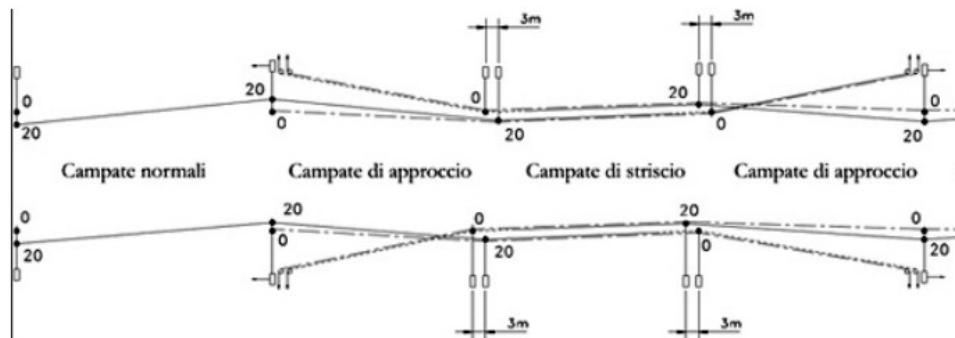


Figura 2.15. Esempio di Posto RA

Le condutture della linea di contatto di due tratte di tesatura contigue e che appartengono a due diverse intere regolazioni, prima di alzarsi per andare a ormeggiarsi, devono correre parallele e alla stessa altezza (campate di striscio), questo per favorire il passaggio dei pantografi. Nei Posti RA esiste una separazione meccanica tra i due tratti di linea, ma non una separazione elettrica. Per ottenere il sezionamento elettrico tra la linea di contatto dei binari di stazione da quella della piena linea si ricorre ai posti di sezionamento a spazio d'aria.

Quando è prevista una sola tratta di tesatura i fili di contatto sono ormeggiati da un lato rigidamente (ormeggio fisso) e dall'altro attraverso un dispositivo di tensionatura (ormeggio regolato). Quando sono previste due tratte di tesatura entrambe le estremità sono ormeggiate tramite i dispositivi di tesatura automatica. Il tratto di linea in cui la risultante delle forze longitudinali agenti sul filo è nulla è chiamato "Punto fisso", questo punto è situato al centro di una intera regolazione. Riassumendo, i fili di contatto hanno sempre il tiro regolato automaticamente, mentre le funi portanti hanno il tiro regolato automaticamente su alcune tipologie di linee e fisso in altre. Le linee di contatto vengono catalogate quindi in due tipologie:

- Linee di contatto con fune fissa (FF)
- Linee di contatto con fune regolata (FR)

Circuito di ritorno, terra e protezione TE

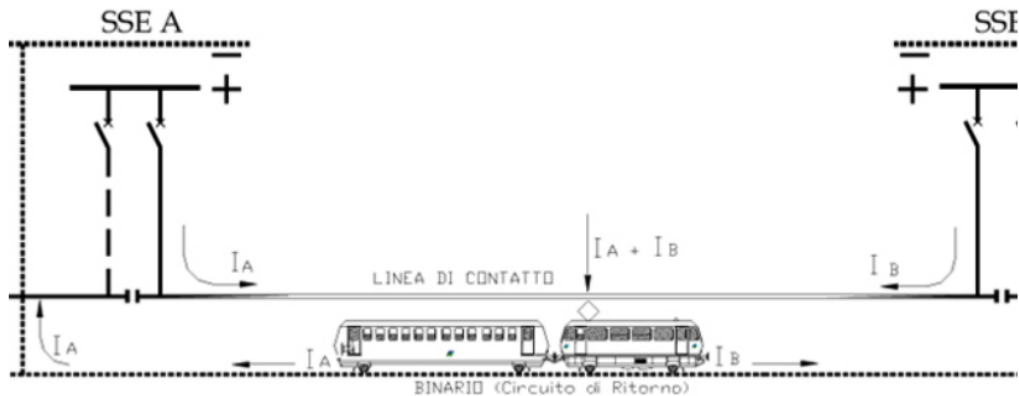


Figura 2.16. Circuito di ritorno

In tutte le elettrificazioni ferroviarie della rete FS le rotaie del binario sono utilizzate come uno dei conduttori del circuito di alimentazione dei mezzi di trazione. In particolare, nei sistemi in corrente continua il binario costituisce il circuito di ritorno. Il binario è collegato al polo negativo delle sottostazioni di alimentazione, quindi tutte le correnti di trazione assorbite dai treni vengono convogliate verso le sottostazioni stesse.

Per garantire la sicurezza delle persone tutte le masse metalliche che possono venire in contatto con i conduttori in tensione devono essere collegate a terra con una resistenza bassa che non faccia arrivare il potenziale elettrico a livelli pericolosi. Gli stessi collegamenti devono convogliare verso il circuito di ritorno eventuali correnti di corto circuito e non devono favorire correnti disperse nel terreno per contenere la corrosione di eventuali masse metalliche in vicinanza. Il complesso di tutti i collegamenti verso terra e al circuito di ritorno TE di tutte le masse metalliche circostanti viene chiamato circuito di terra di protezione TE.

Tipologia linea di contatto

Elenco delle tipologie delle linee di contatto in servizio sulla rete FS. Ci sono ancora numerose linee in servizio che adottano conduttori che fanno parte di uno standard passato e non più attuale.

Tabella 2.4. Tipologie di linee di contatto

Sezione mm ²	Corda/e portante/i mm ²	Regolazione	Filo/i di contatto mm ²	Regolazione	Tipo di sosp.ne	Impiego
220	1 x 120	FISSA 1x819 daN (a 15°C)	1 x 100	REGOLATO 1x750 daN	(1)	Binari secondari di Stazione
220	1 x 120	FISSA 1x819 daN (a 15°C)	1 x 100	REGOLATO 1x750 daN	(1) (2)	Binari di precedenza di stazione e comunicazioni tra binari di corsa e tra binari di corsa e binari di precedenza (con binario di corsa a 440 mm ²)
270	1 x 120	REGOLATA 1x1125 daN	1 x 150	REGOLATO 1x1125 daN	(2)	Binari di precedenza di stazione e comunicazioni tra binari di corsa e tra binari di corsa e binari di precedenza (con binario di corsa a 540 mm ²)
320	1 x 120	REGOLATA 1x1375 daN	2 x 100	REGOLATI 2x1000 daN	(1)	Binari di corsa di stazione, di piena linea allo scoperto e in galleria con velocità fino a 200 km/h
440	2 x 120	REGOLATE 2x1125 daN	2 x 100	REGOLATI 2x1000 daN	(1) (2)	Binari di corsa di stazione, di piena linea allo scoperto e in galleria con velocità fino a 200 km/h
540(*)	2 x 120	REGOLATE 2x1500 daN	2 x 150	REGOLATI 2x1875 daN	(2)	Binari di corsa di stazione, di piena linea allo scoperto e in galleria con velocità fino a 250 km/h

La linea di contatto può essere suddivisa per la tipologia di impianto in cui si trova:

- Linea di contatto in piena linea: tratto compreso tra due portali esterni di stazioni successive, si può trovare allo scoperto oppure in galleria. Le tipologie di corde che si possono trovare in questa sezione sono le ultime tre della tabella, quindi con corde di sezione 320, 440 o 540 mm².
- Linea di contatto in stazione: tratto compreso tra portali esterni dei posti di sezionamento a spazio d'aria che delimitano una stazione. Di norma risiede allo scoperto, si possono individuare comunque due tipologie differenti di linea in stazione ovvero la linea di contatto su binari di corsa e la linea di contatto su binari secondari.

La differenza tra la piena linea e la stazione risiede nella presenza di un numero più o meno grande in stazione di deviatori che permettono l'attraversamento a raso di un binario o il passaggio da un binario all'altro al materiale rotabile. La linea aerea di contatto deve essere realizzata per permettere al pantografo di scorrere senza impedimenti e senza pericoli. Nelle linee in cui la velocità di percorrenza è superiore ai 200 km/h le condutture non vengono fatte incrociare. I complessi di incrocio delle linee di contatto in corrispondenza dei deviatori vengono chiamati scambi aerei e intersezioni.

Sostegni

A seconda del carico meccanico da sostenere e dalle caratteristiche della linea vengono impiegati pali di diverso tipo. Per i tratti di piena linea vengono utilizzati i pali del tipo "LS" a traliccio, questi possono essere caricati nello stesso modo in tutte le direzioni ma non sono idonei a sostenere sospensioni che generano momento flettente in direzione perpendicolare alle due facce esterne dei profilati. I sostegni in piena linea per linee a doppio binario devono essere posizionati esternamente ai binari, mentre per linee a binario semplice devono essere posizionati sul lato opposto a quello relativo alla sede ferroviaria del probabile raddoppio. La distanza dei sostegni dalla rotaia più vicina dev'essere di almeno 2.25m.

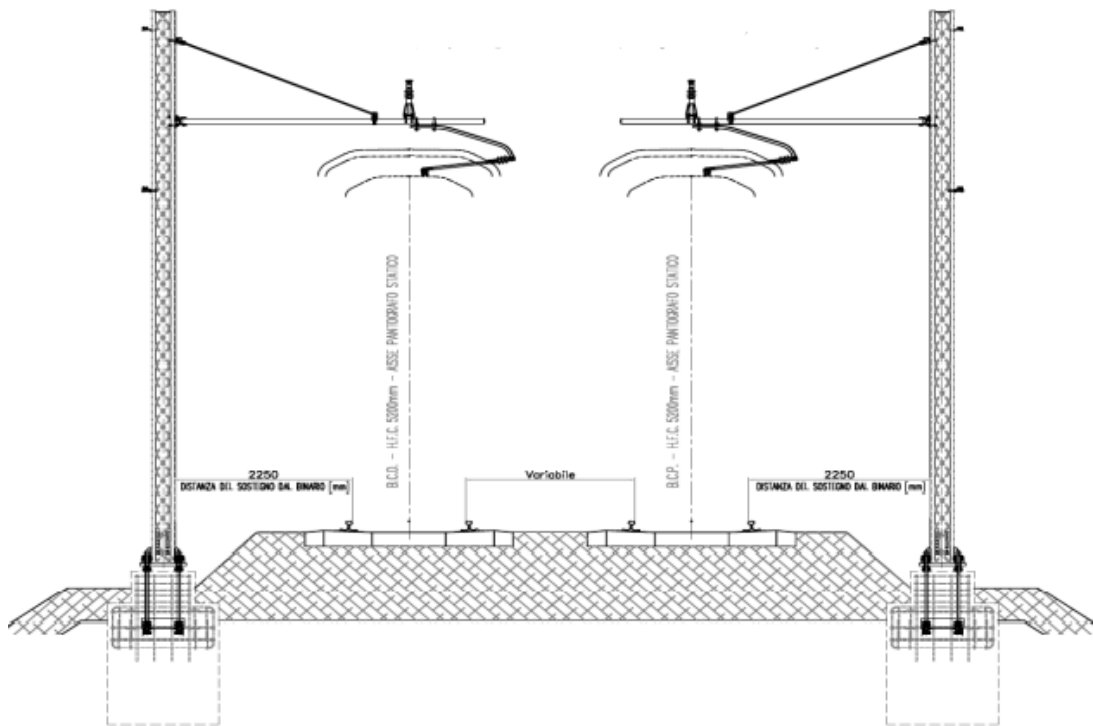


Figura 2.17. Struttura basamento e palificazione

Di recente sono stati introdotti anche i pali di tipo “PH”, i quali non sono infissi ma montati sul blocco tramite appositi dadi che fissano la piastra base a quattro tirafondi.

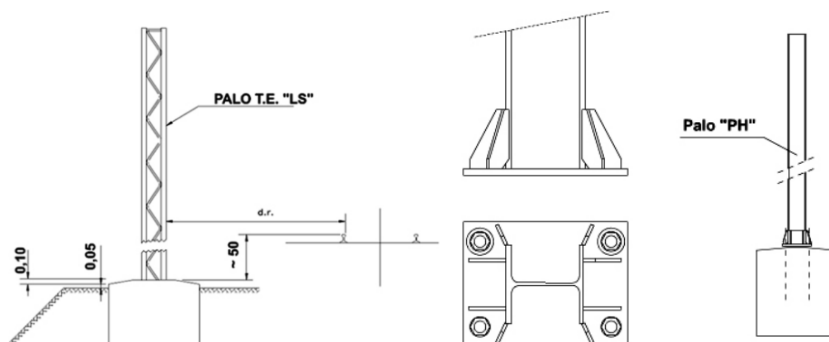


Figura 2.18. Tipologie di palificazioni

Nel posizionamento dei sostegni va considerato il carico permanente che gli stessi dovranno sopportare, per questo bisognerà inclinarli in maniera trasversale rispetto al binario così che risultino orizzontali una volta caricati. L'inclinazione trasversale al binario è chiamata "strapiombo". I pali devono essere forniti anche di tiranti a terra per contrastare il tiro degli ormeggi ad essi applicati.

La base dei sostegni è costituita dai blocchi di fondazione, strutture in conglomerato cementizio con forma di parallelepipedo. La parte superiore è sagomata per garantire il deflusso dell'acqua dalla base del palo, devono sporgere dal terreno di almeno 15 cm e il punto di innesto con il palo è più basso del piano del ferro (binario) di 50 cm se il dislivello lo consente. Le dimensioni e la forma dei blocchi devono garantire un livello di stabilità e sicurezza con tutti i carichi a cui le strutture sono soggette.

Per la poligonazione della linea di contatto vengono utilizzati appositi tirantini di poligonazione. Sono composti da aste metalliche che agganciate all'isolatore permettono, tirando la linea di contatto, la poligonazione.

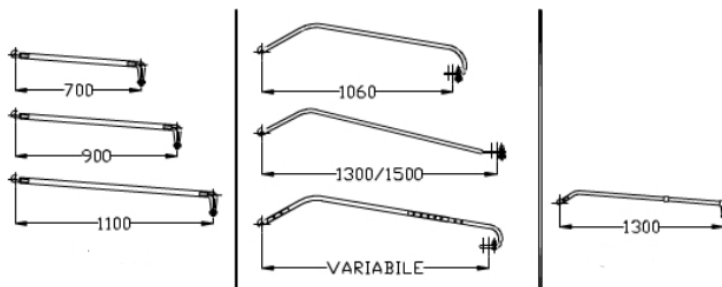


Figura 2.19. Tirantini di poligonazione

Sistemi di sospensione per galleria

Le sospensioni in galleria devono tenere le parti in tensione ad una distanza di almeno 20 cm dal volto e dalle pareti della galleria, oltre a permettere il libero passaggio dei convogli. La distanza tra una sospensione e l'altra non può superare i 30 metri per non creare interferenza tra le funi e i fili di contatto. Le tipologie di sospensione sono varie e si differenziano per il tipo di isolamento utilizzato e per il tipo di mensola utilizzata. Le tre tipologie più usate sono: sospensione con tirantino, a traversa isolata e su mensola orizzontale.

L'isolatore portante è formato da un corpo isolante con dei terminali metallici. L'anima centrale è composta da vetroresina epossidica con una copertura alettata in materiale isolante, mentre i terminali metallici permettono il collegamento da una parte con la mensola e dall'altra alle corde portanti.

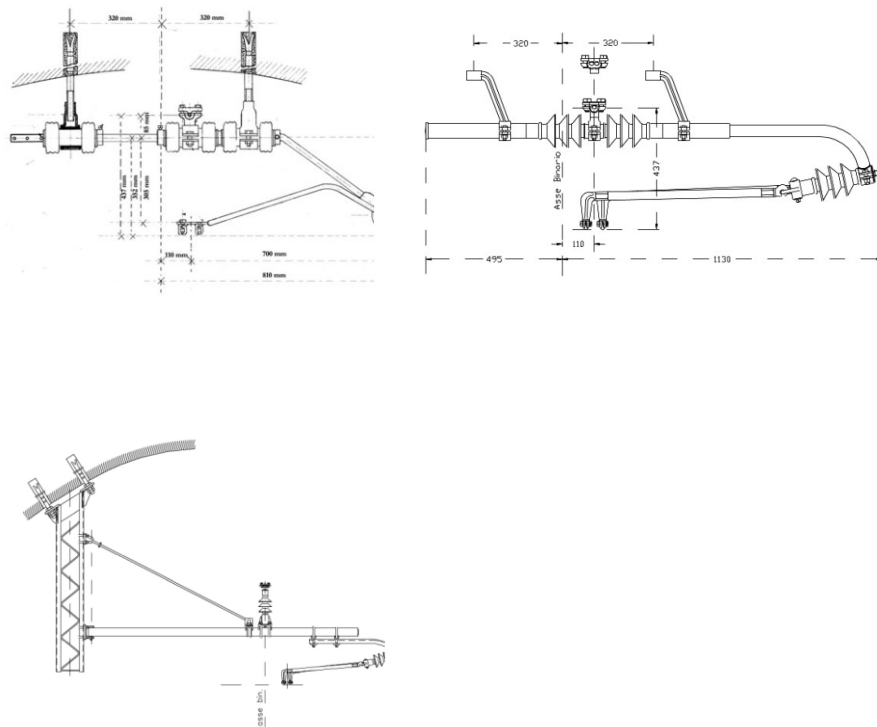


Figura 2.20. Tipologie di isolatori di linea

Campata

Il contatto tra i pendini e la fune portante non è sufficiente ad ottenere una ripartizione equa della corrente tra funi portanti e fili di contatto. È quindi necessario un ulteriore contatto elettrico di continuità, che permetta il passaggio di corrente dei fili in modo da poter considerare il complesso dei conduttori come un unico conduttore di sezione uguale alla somma delle sezioni dei conduttori. In generale la distanza tra due pendini consecutivi nella stessa campata è tra i 3 e i 5 metri.

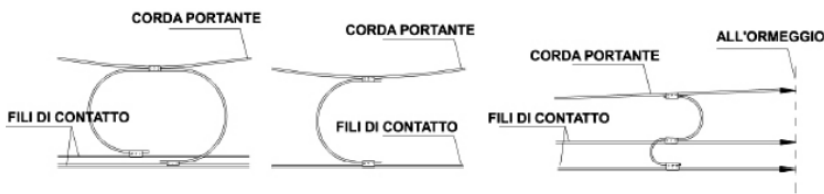


Figura 2.21. Contatti elettrici di continuità

È possibile ricavare gli allungamenti/accorciamenti che subiscono i conduttori al variare della temperatura tramite la formula:

$$A = L * T * R$$

Dove A è l'allungamento del conduttore (in metri), L è la lunghezza del conduttore, T il salto di temperatura e R il coefficiente di dilatazione (0,000017 per il rame).

Circuito di ritorno

Il circuito di ritorno come detto è costituito dalle rotaie del binario che convogliano al negativo delle sottostazioni la corrente di ritorno TE. Si possono classificare in tre tipologie:

- Entrambe le rotaie isolate: le rotaie di uno stesso binario sono suddivise in sezioni isolate tramite giunti isolanti. Agli estremi di ogni sezione sono presenti delle connessioni induttive che permettono la continuità del circuito.

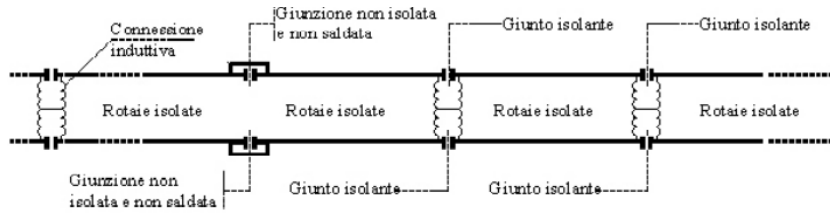


Figura 2.22. Circuito di ritorno con rotaie isolate

- Una rotaia isolata e una non isolata. La continuità del circuito è assicurata dalla rotaia non isolata.

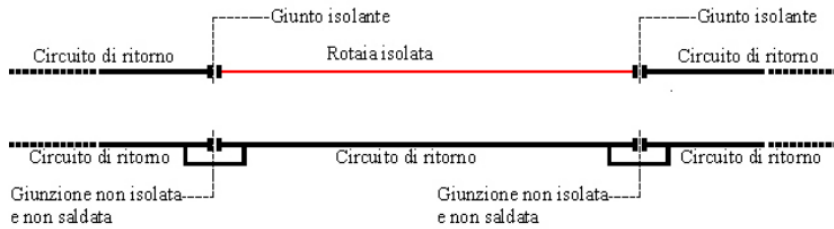


Figura 2.23. Circuito di ritorno con una rotaia isolata

- Entrambe le rotaie non isolate. Opportune connessioni longitudinali assicurano la continuità del circuito.



Figura 2.24. Circuito di ritorno con rotaie non isolate

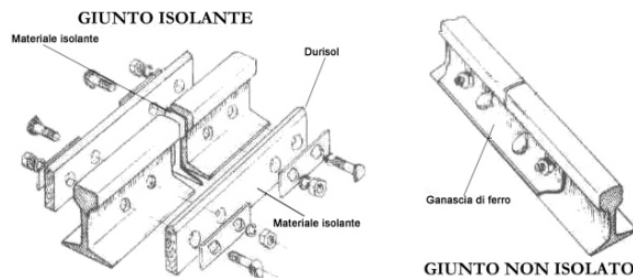


Figura 2.25. Tipologie di giunti su binario

3. Sistema STES

In questo capitolo verranno descritti i dispositivi necessari per la messa in servizio del sistema STES, studiandone i dettagli costruttivi e funzionali. Prima della sezione tecnica delle apparecchiature verranno esposti brevemente gli scopi e i vincoli legali, presenti nel decreto ministeriale, che hanno portato alla necessità di aumentare la sicurezza nelle gallerie ferroviarie.

Il sistema di comando e controllo può essere effettuato sia localmente che da remoto. Il sistema STES deve essere interfacciato con il Sistema di Supervisione SPVI e con il sistema DOTE. Quando si intende LdC (linea di contatto) messa a terra o in corto circuito si intende: la connessione della LdC (catenaria e feeder) alla rotaia del circuito di ritorno TE attraverso il dispositivo DMQC per il sistema di Trazione Elettrica 2x25 kVca oppure la connessione della LdC alla rotaia del circuito di ritorno attraverso il dispositivo DMBC per il sistema a 3 kVcc.

Il sezionamento esterno della galleria avviene per mezzo dei dispositivi IMS (Interruttori di Manovra-Sezionatori) ottenuti utilizzando le apparecchiature già previste negli impianti elettrici ferroviari TE.

3.1. Decreto Ministeriale 28 ottobre 2005

Lo scopo del decreto è quello di assicurare un livello di sicurezza adeguato nelle gallerie ferroviarie, per fare in modo di ottenere questo è prevista l'adozione di misure di prevenzione e protezione atte alla riduzione di situazioni critiche che possano mettere in pericolo la vita umana oppure gli impianti della galleria, limitando così delle conseguenze in caso di incidente. Le gallerie ferroviarie devono quindi essere progettate, costruite, sottoposte a manutenzione ed esercite in maniera da garantire adeguati livelli di sicurezza agli utenti, ai lavoratori e agli incaricati delle operazioni di soccorso. [6]

Il decreto si applica a tutte le gallerie di lunghezza superiore a 1000 metri che siano sull'infrastruttura ferroviaria. Le norme descritte si applicano non solo alle gallerie in fase di progettazione, ma anche a quelle già in esercizio, rendendo obbligatori dei lavori di rinnovamento con l'integrazione di misure di sicurezza. Le norme descritte non si applicano alle metropolitane e alle stazioni/fermate sotterranee.

Gli incidenti da valutare nell'esercizio delle gallerie ferroviarie sono quelli derivanti da collisioni, deragliamenti e incendi. Nel caso in cui una di queste situazioni si verifichi gli operatori di soccorso devono poter intervenire in sicurezza, quindi il sistema STES deve garantire il suo funzionamento. Il responsabile del rispetto delle norme è il gestore dell'infrastruttura, il quale dovrà rispettare i vincoli imposti dal decreto e dalle normative in atto. Per ogni galleria sarà presente la figura di responsabile di galleria, colui che può attuare le procedure di sicurezza per la messa in servizio o fuori servizio della galleria, mantenendo l'efficienza dell'infrastruttura e dei dispositivi di sicurezza. Il responsabile di galleria sarà affiancato dal responsabile di sicurezza per redigere annualmente un rapporto informativo sulle condizioni della galleria. È inoltre obbligatorio lo svolgimento di apposite esercitazioni per verificare l'ordine delle procedure in caso di emergenza e il funzionamento di tutti i dispositivi presenti. L'obiettivo di queste normative è migliorare i requisiti di sicurezza, l'ottenimento di questo risultato può essere meglio assicurato se tutti i soggetti interessati hanno definite e chiare responsabilità.

Ai fini di garantire la sicurezza si attuano delle limitazioni per prevenire gli incendi, limitarne l'effetto qualora si verificassero, favorire l'esodo delle persone coinvolte e consentire un intervento rapido ed efficace delle squadre di soccorso. In caso di incendio è auspicabile che il treno possa essere arrestato prima dell'ingresso in galleria e in luoghi predisposti per l'esodo dei passeggeri.

Per le gallerie di lunghezza superiore a 5000 metri, come quella presa in esame, deve essere predisposto un piazzale di emergenza in prossimità dell'imbocco in galleria, spazio utile per la sosta dei mezzi di soccorso per l'impiego delle attrezzature per l'emergenza.

Con lo scopo di valutare le probabilità di accadimento di eventuali incidenti si esegue un'attenta analisi dei rischi che potrebbero verificarsi in gallerie ferroviarie. In questo modo è possibile facilitare le operazioni di intervento e valutare gli interventi di sicurezza che porterebbero a minimizzare la probabilità che questi eventi avvengano.

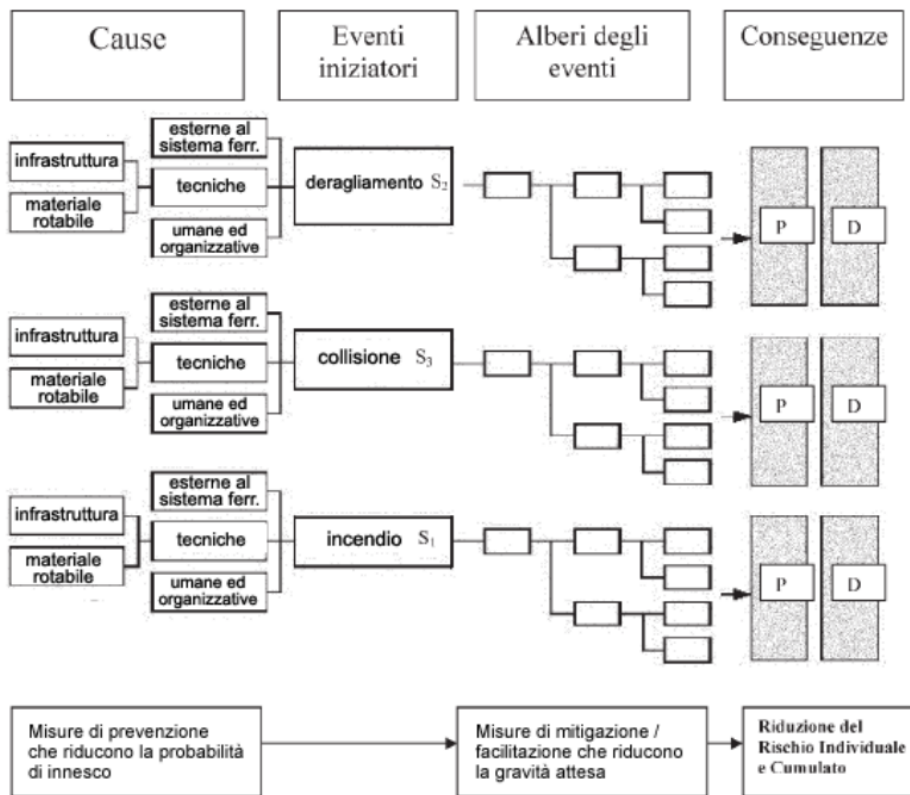


Figura 3.1 Schema procedura analisi dei rischi

3.2. Architettura sistema

L'architettura del sistema STES prevede:

- Un dispositivo motorizzato di cortocircuito (DMBC/DMQC) ad ogni imbocco alla galleria per permettere il collegamento delle sorgenti di alimentazione alla rotaia. Un QCC (quadro di controllo continuità) deve essere presente per ogni DMBC/DMQC per garantire il controllo in sicurezza della continuità dei collegamenti fra sorgente e rotaia. Una UCS (unità di controllo secondaria) per la gestione di ogni DMBC/DMQC e relativo QCC. Un QS (quadro per le squadre di soccorso) che permetta l'ingresso in galleria.
- Per gli imbocchi principali possono essere aggiunti (se previsti) dei sezionatori di linea IMS per il sezionamento delle sorgenti entranti in galleria. Una UCS per la gestione di ogni IMS. Una UCP per la gestione del sistema STES e il collegamento al DOTE¹.
- All'interno delle gallerie di lunghezza superiore a 5000 m potrebbero essere previsti dei sezionatori di linea IMS con le relative UCS.
- Per il collegamento fra tutte le unità di controllo UCP e UCS si utilizza la fibra ottica.
- Tutte le UCP collegate tramite la rete trasmissiva esterna RFI.
- Una delle unità di controllo principali deve essere collegata al DOTE.

¹ DOTE: Dirigente Operativo Trazione Elettrica

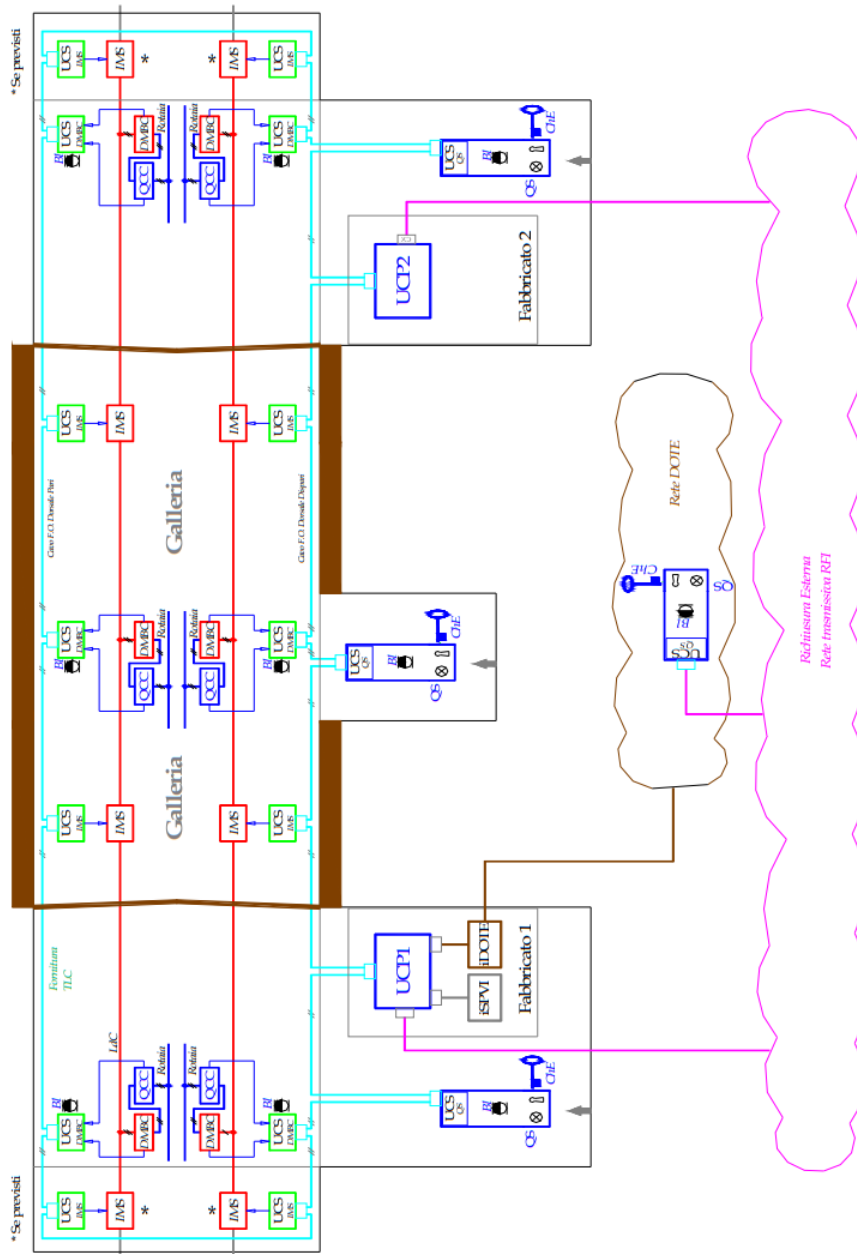


Figura 3.2. Architettura sistema STES

Requisiti generali [10]

Devono essere presenti due trasformatori di isolamento che servono per la separazione galvanica delle sorgenti di alimentazione a 230 Vca per tutti i dispositivi e apparecchiature collegate al quadro. Le due sorgenti di alimentazione devono essere dotate di passacavi per garantire l'isolamento richiesto. Una barra equipotenziale presente in ogni quadro deve essere collegata francamente alla struttura esterna, tramite questa barra il quadro è connesso al circuito di protezione TE.

Morsettiera/Porta	Funzione
ALIM-I1	Primo ingresso di alimentazione a 230 Vca
ALIMI-I2	Secondo ingresso di alimentazione a 230 Vca
ALIM-U	Uscite di alimentazione, a 230 Vca, verso QCC e/o IMS e/o DMBC/DMQC
DMBC/DMQC	Uscite/Ingressi, a 230 Vca, di comando/controllo/diagnostica verso DMBC/DMQC
IMS	Uscite/Ingressi, a 230 Vca, di comando/controllo/diagnostica verso IMS
QCC	Uscite/Ingressi comandi, controlli SIL4 e diagnostica
F.O.	Fibra ottica
T	Connessione barra equipotenziale al circuito di protezione TE

Tabella 3.1. Porte di interfacciamento verso l'esterno di un quadro generico

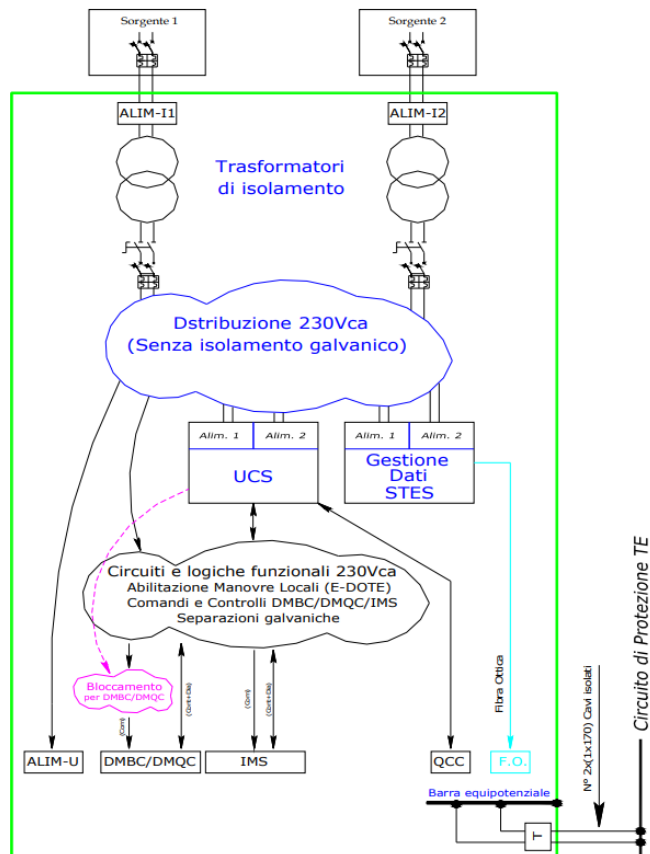


Figura 3.3. Diagramma funzionale

Sono previsti i seguenti livelli di isolamento da rispettare:

- Tensione di tenuta a 50 Hz per 60s (valore efficace): tra tutte le porte e verso tutte le altre porte è prevista una tenuta di 2 kV. Tra contatti aperti dello stesso circuito una tenuta di 1 kV
- Tenuta ad impulso atmosferico 1,2/50 μ s (valore di picco): tra tutte le porte e verso tutte le altre porte è prevista una tenuta di 5 kV. Tra contatti aperti dello stesso circuito una tenuta di 2 kV

I trasformatori di isolamento devono avere tra l'avvolgimento primario e quello secondario i livelli di isolamento:

- Tensione di tenuta a 50 Hz per 60s (valore efficace) di 2,5 kV
- Tenuta ad impulso atmosferico 1,2/50 μ s (valore di picco) di 6 kV

La protezione contro sovraccarichi ed eventuali corto circuiti è verificata per mezzo di interruttori di altri sistemi che alimentano i quadri del sistema STES.

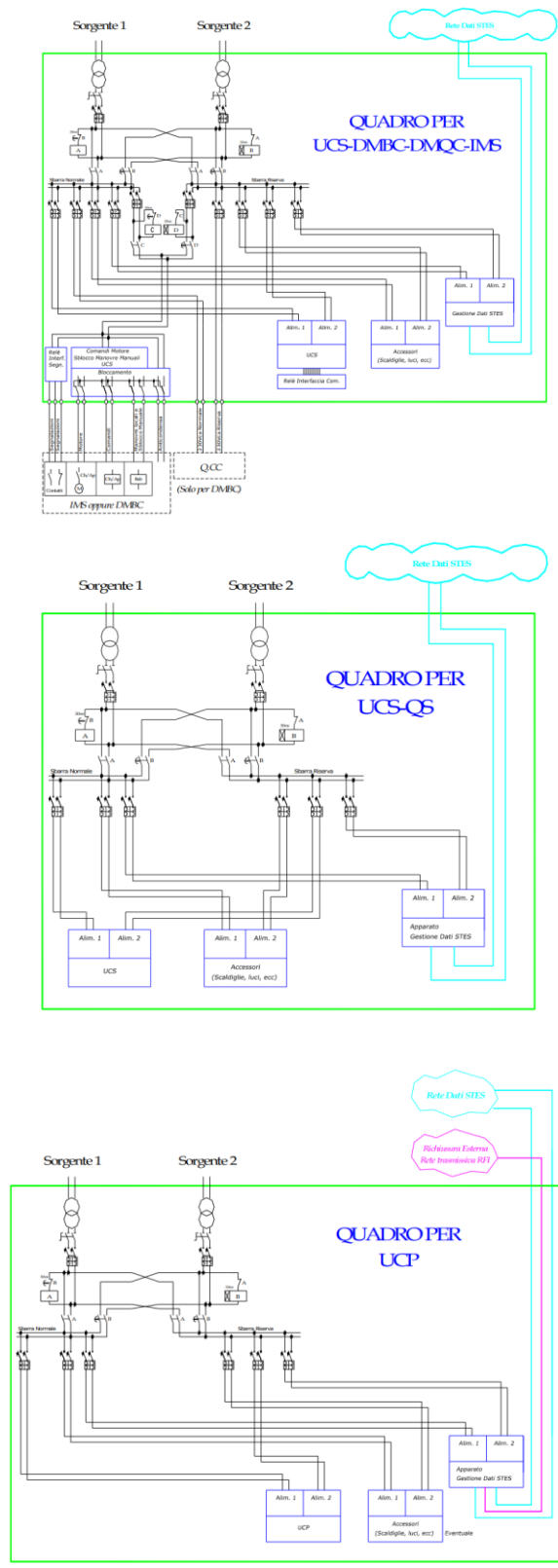


Figura 3.4. Quadri unità di comando

3.3. Quadro controllo continuità (QCC)

Caratteristiche costruttive e funzionali del quadro per il controllo della continuità del collegamento tra la linea di contatto/feeder e rotaia (QCC). Sono presenti due tipologie diverse di QCC: quelli per l'impiego nei sistemi elettrici di trazione a 3 kVca e quelli dedicati ai sistemi 2x25 kVca. [9][10]

La funzione del QCC è quella di controllare in sicurezza la presenza e la corretta connessione dei cavi di collegamento dei DMBC/DMQC alla rotaia e alla linea di contatto (o feeder) attraverso la chiusura delle lame di DMBC/DMQC stessi. Quindi di fatto verifica la continuità tra la linea di contatto e la rotaia una volta che i DMBC/DMQC sono stati chiusi. Il raffreddamento è realizzato per circolazione naturale dell'aria. La generazione di armoniche non deve superare i limiti stabiliti che verranno descritti in seguito.

Condizioni elettriche di riferimento per le sorgenti:

- Tensione nominale di tensione di alimentazione: 230 Vca
- Campo di lavoro: +10% V_n o -15% V_n
- Frequenza nominale: 50 Hz \pm 2%
- Potenza prelevabile con continuità: \leq 100 W
- Durata breve interruzione: \leq 10s

Il QCC deve funzionare anche in presenza di corrente di corto circuito della linea di contatto verso le rotaie che attraversa i suoi conduttori di potenza. I valori ammissibili previsti per i QCC sono:

QCC-3kV:

- Corrente continua di corto circuito di targa: 35 kA
- Valore di picco della corrente di corto circuito: 50 kA
- Tempo di durata del corto circuito: 0,25s

QCC-25kV:

- Corrente alternata di cortocircuito di targa: 16 kA
- Tempo di durata del corto circuito: 0,5s

QCC - 3kV

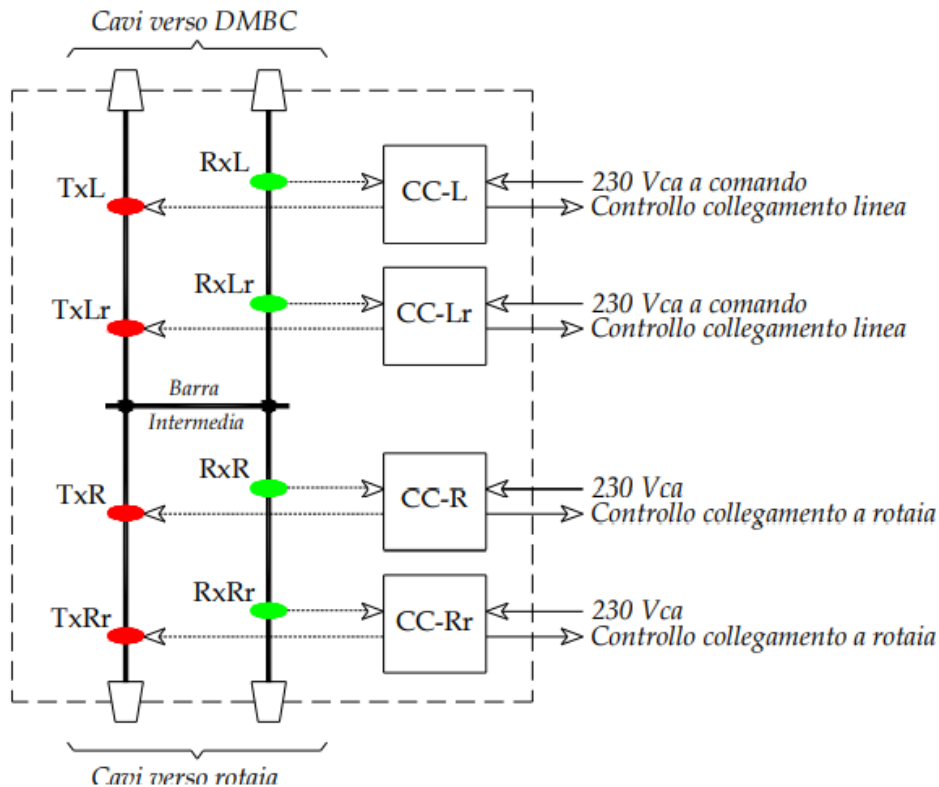


Figura 3.5 Schema a blocchi QCC 3kV

Gli apparati che lo compongono sono:

- CC-L: primo apparato per il controllo della continuità del collegamento della linea di contatto, attraverso le barre del DMBC, alla barra intermedia del QCC e la rotaia. Viene eseguito il controllo ogni volta che il DMBC viene chiuso.
- CC-Lr: secondo apparato per il controllo della continuità in ridondanza al primo.
- CC-R: primo apparato per il controllo della continuità tra la barra intermedia del QCC e la rotaia, deve fornire un controllo continuo.
- CC-Rr: secondo apparato in ridondanza al primo.

Un unico dispositivo ad alta affidabilità può realizzare gli elementi TxR-TxRr, RxR-RxRr o TxL-TxLr, RxL-RxLr, purché il guasto di un'uscita non si ripercuota sulle altre.

QCC - 25kVca

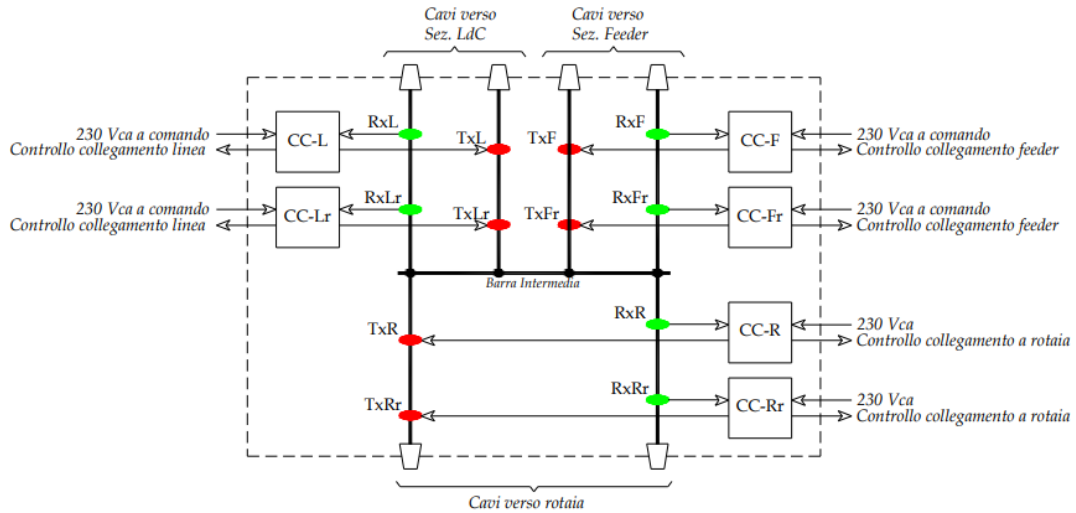


Figura 3.6 Schema a blocchi QCC 25 kV

Architettura composta da:

- CC-L: primo apparato per il controllo della continuità del collegamento della linea di contatto, attraverso le lame del sezionatore della LdC, alla barra intermedia del QCC e la rotaia. Controllo eseguito ogni volta che il sezionatore della LdC viene comandato in chiusura.
- CC-Lr: secondo apparato in ridondanza al primo.
- CC-F: primo apparato per il controllo della continuità del collegamento del feeder, attraverso le lame del sezionatore del feeder, alla barra intermedia del QCC e la rotaia. Controllo eseguito ogni volta che il sezionatore del feeder viene comandato in chiusura.
- CC-Fr: secondo apparato in ridondanza al primo.
- CC.R: primo apparato per il controllo della continuità del collegamento tra la barra intermedia del QCC e la rotaia. Apparato che deve fornire un controllo continuo.
- CC-Rr: secondo apparato in ridondanza al primo.

Un unico dispositivo ad alta affidabilità può realizzare gli elementi TxR-TxRr, RxR-RxRr, TxL-TxLr, RxL-RxLr oppure TxF-TxFr, RxF-RxFr purché il guasto di un'uscita non si ripercuota sulle altre.

Per garantire il corretto funzionamento del QCC anche il DMBC² è provvisto di due lame di uguali caratteristiche, in grado di sostenere le correnti massime di corto circuito della linea. Non deve essere in alcun modo possibile il distacco contemporaneo dei cavi dalla linea senza che venga interrotta la continuità tra i cavi stessi. Dal lato rotaia il QCC si connette mediante due cavi di pari sezione in un unico punto equipotenziale.

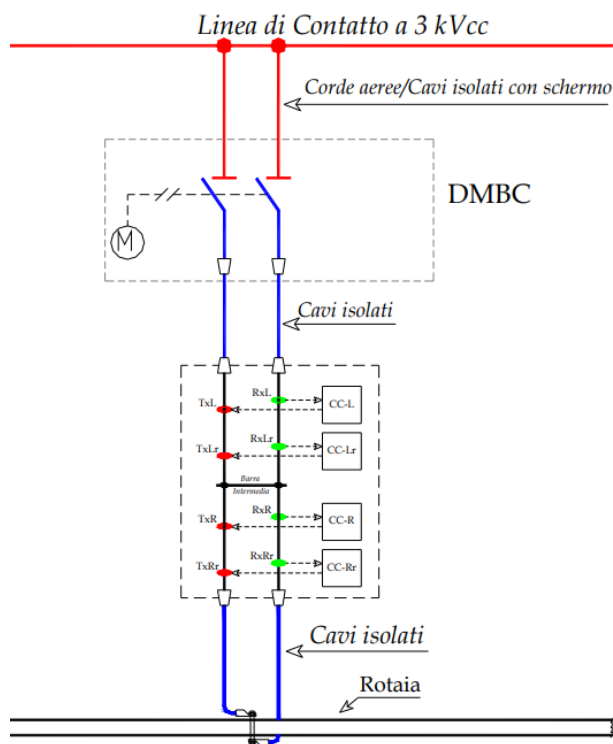


Figura 3.7 Collegamento di un QCC - 3kVcc

Principio di funzionamento del CC-R e CC-Rr

I due apparati devono avere un funzionamento continuo e sottoposti alle rispettive alimentazioni a 230 Vca. Devono rilevare la presenza e corretta connessione dei cavi dal QCC alla rotaia per mezzo della verifica di continuità elettrica dei cavi della maglia formata da:

² Dispositivo motorizzato bipolare di corto circuito

- Sbarra intermedia del QCC
- Due cavi di collegamento del QCC alla rotaia
- Connessione dei cavi alla rotaia come nelle figure

Per la verifica della continuità di questa maglia si iniettano e rilevano delle opportune correnti dagli apparati CC-R e CC-Rr. Le correnti vengono fatte scorrere nella maglia mediante i relativi trasmettitori e rilevate attraverso ricevitori. Ogni apparecchio deve emettere un segnale di consenso sotto forma di tensione continua. La struttura logica è organizzata secondo la tabella:

Tabella 3.2 Uscite del CC-R e CC-Rr

Cavo di potenza TxR/TxRr	Cavo di potenza RxR/RxRr	Segnale consenso CC-R	Segnale consenso CC-Rr	Chiusura sezionatore possibile	Controllo QCC connesso a rotaia
Connesso	Connesso	Presente	Presente	SI	SI
Connesso	Connesso	Presente	Assente (Per guasto CC-R)	SI	SI
Connesso	Connesso	Assente (Per guasto CC-R)	Presente	SI	SI
Connesso	Connesso	Assente	Assente	NO	NO

		(Per guasto CC-R)	(Per guasto CC-R)		
Connesso	Interrotto	Assente	Assente	NO	NO
Interrotto	Connesso	Assente	Assente	NO	NO
Interrotto	Interrotto	Assente	Assente	NO	NO

L' eventuale chiusura possibile del sezionatore dovrà essere fatta da un sistema esterno (STES). La ridondanza dei due apparati CC-R e CC-Rr garantiscono una migliore disponibilità del prodotto.

Principio di funzionamento del CC-L e CC-Lr

I due apparati, sia per il QCC-3kV che per il QCC-25kV, devono funzionare su richiesta, quindi in coincidenza della fase di chiusura del DMBC o del sezionatore della LdC, attivando la rispettiva alimentazione interna. Ogni dispositivo deve rilevare la presenza e la corretta connessione dei cavi dal QCC alla linea di contatto con la verifica della continuità elettrica dei cavi della maglia formata da:

- Sbarra intermedia del QCC
- Due cavi di collegamento del QCC al DMBC o al Sez. LdC
- Due cavi di collegamento dal DMBC o dal Sez. LdC alla linea di contatto
- Connessione dei cavi alla linea di contatto come in figura.

La continuità è verificata sempre con l'iniezione e la rilevazione di opportune correnti.

Quando i cavi di potenza sono connessi correttamente i CC-L e CC-Lr emettono un segnale di consenso in base alla logica implementata.

Tabella 3.3 Uscite logiche CC-L e CC-Lr

Cavo di potenza TxL/TxLr	Cavo di potenza RxL/RxLr	Segnale consenso CC-L	Segnale Consenso CC-Lr	Controllo QCC connesso alla LdC
Connesso	Connesso	Presente	Presente	SI
Connesso	Connesso	Presente	Assente (Per guasto CC-Lr)	SI
Connesso	Connesso	Assente (Per guasto CC-Lr)	Presente	SI
Connesso	Connesso	Assente (Per guasto CC-Lr)	Assente (Per guasto CC-Lr)	NO
Connesso	Interrotto	Assente	Assente	NO
Interrotto	Connesso	Assente	Assente	NO
Interrotto	Interrotto	Assente	Assente	NO

Anche in questo caso la ridondanza dei due apparati permette una migliore disponibilità del prodotto e un servizio continuativo in caso di eventuali guasti.

Principio di funzionamento del CC-F e CC-Fr

Anche per questi apparati è previsto un funzionamento su richiesta, in coincidenza con la chiusura del Sez. Feeder. Devono rilevare la presenza e la corretta connessione dei cavi dal QCC al Feeder attraverso la verifica della continuità elettrica dei cavi della maglia. La maglia è formata da:

- Sbarra intermedia del QCC
- Due cavi di collegamento del QCC al Sez. Feeder
- Due cavi di collegamento dal Sez. Feeder al Feeder
- Dalla connessione dei cavi al Feeder come mostrato in figura.

Continuità della maglia verificata anche in questo caso per mezzo di iniezione e rivelazione di opportune correnti. I due apparati sono anche in questo caso ridondanti. La tabella logica per i segnali di consenso è così organizzata:

Tabella 3.4 Uscite CC-F e CC-Fr

Cavo di potenza TxF/TxFr	Cavo di potenza RxF/RxFr	Segnale consenso CC-F	Segnale Consenso CC-Fr	Controllo QCC connesso al Feeder
Connesso	Connesso	Presente	Presente	SI
Connesso	Connesso	Presente	Assente (Per guasto CC-Lr)	SI
Connesso	Connesso	Assente	Presente	SI

		(Per guasto CC-Lr)		
Connesso	Connesso	Assente (Per guasto CC-Lr)	Assente (Per guasto CC-Lr)	NO
Connesso	Interrotto	Assente	Assente	NO
Interrotto	Connesso	Assente	Assente	NO
Interrotto	Interrotto	Assente	Assente	NO

Caratteristiche elettriche:

Tutti gli apparati appena descritti devono essere in grado di operare correttamente anche in presenza di corto circuito non comandato tra linea di contatto/Feeder e rotaia causato da un incidente o guasto in galleria. In caso di interruzione di uno dei cavi associati ad un trasmettitore i relativi ricevitori non devono essere influenzati dai segnali di altri trasmettitori dello stesso o di altri QCC della tratta.

Rilevazioni delle condizioni dei cavi di potenza:

- Rilevazione cavo connesso: limite impedenza per presenza consenso = 6 Ohm ($Z_{maglia} + L_{serie} < 6 \text{ Ohm}$ per frequenze tra 0 e 5 kHz)
- Rilevazione cavo interrotto: limite impedenza per assenza consenso = 100 Ohm ($Z_{maglia} + L_{serie} > 100 \text{ Ohm}$ per frequenze tra 0 e 5 kHz)
- Tempo per entrate in funzione non superiore a 5s dall'alimentazione
- Tempo per rilevazione cavo connesso/interrotto non superiore a 5s.

I QCC devono essere verificabili e ispezionabili facilmente dalla parte anteriore del quadro. L'accessibilità deve quindi essere idonea e tutte le apparecchiature attive devono essere estraibili nei tempi più ristretti possibili e in sicurezza per l'operatore.

Nome Fornitore				
QUADRO CONTROLLO CONTINUITA'				
Linea di Contatto e Feeder 2x25 kVca in Corto circuito				
Cat/Progr. FS xxx/xxx				
QCC-25kV		matricola		
Coll. Ditta	il [Data]	da	[Collaudatore]	
Coll. FS	il [Data]	da	[Collaudatore]	

Figura 3.8 Targhe dati QCC-3kV e QCC-25kV

Devono essere indicati:

- Nome della ditta fornitrice
- La dicitura: “Quadro Controllo Continuità”
- La cat. RFI (xxx/xxx)
- Matricola dell'apparecchiatura
- Data del collaudo e firma collaudatore della ditta
- Data del collaudo e firma collaudatore RFI

Le apparecchiature devono soddisfare determinati requisiti, per questo vengono sottoposte a delle prove che verifichino e certifichino la rispondenza del prodotto alle caratteristiche richieste. Le prove si dividono in: prove di tipo e prove di accettazione.

Prove di tipo

Le prove di tipo hanno lo scopo di verificare e certificare, tramite dei certificati di prova, la rispondenza del prodotto finale alle caratteristiche richieste. Devono essere eseguite presso laboratori accreditati che redigono il rapporto della prova.

Le prove di tipo vanno ripetute dopo un'eventuale modifica dei criteri di progettazione o fabbricazione su richiesta di RFI.

Le prove di tipo che il QCC deve superare sono:

- Prove climatiche

- Prove vibrazione e urti
- Prove elettriche sull'alimentazione
- Prove di isolamento
- Prove di emissione elettromagnetica
- Prove di isolamento
- Prove di emissione elettromagnetica
- Prove di suscettibilità ai disturbi di tipo condotto e irradiato
- Conformità alle norme CEI EN 61439-1 e CEI EN 61439-2
- Verifica corrente ammissibile di breve durata

Prove di accettazione

Le prove di accettazione sono un sottoinsieme delle prove di tipo e servono a verificare le specifiche del prodotto dopo il processo produttivo, quindi su ogni apparecchio che verrà immesso in rete.

Le prove di accettazione sono:

- Prove funzionali secondo la procedura di collaudo
- Prova di variazione stazionaria della tensione di alimentazione
- Prova di resistenza di isolamento
- Prova di rigidità dielettrica
- Prova di resistenza di isolamento dopo rigidità dielettrica

L' apparecchio QCC è un sistema che se difettoso o guasto può provocare la perdita della sicurezza del sistema con conseguenze che possono portare a danni fisici per le persone che operano sulla parte di rete interessata. Per questo ogni dispositivo deve superare delle prove di omologazione presso la struttura tecnica di RFI. Il processo di omologazione prevede tre passaggi: qualificazione del prototipo, qualificazione del prodotto e omologazione del prodotto. Durante la prima fase un prototipo del prodotto è verificato in laboratorio tramite prove dettagliate sul suo funzionamento per dimostrare i requisiti richiesti. Se le verifiche hanno esito positivo si passa alla verifica di un numero di campioni del prodotto da testare per le prove di tipo ed eventuali collaudi dei dispositivi. Dopo il rilascio del certificato di qualificazione di prodotto segue una fase di sperimentazione in esercizio della

durata di sei mesi. Al termine di questa fase, se superata positivamente, RFI rilascia il certificato di omologazione del prodotto.

Il dispositivo QCC-3kV viene inserito sul ramo verso la rotaia del DMBC, mentre il QCC-25kV è inserito sul ramo verso la rotaia dei sezionatori della linea di contatto e feeder.

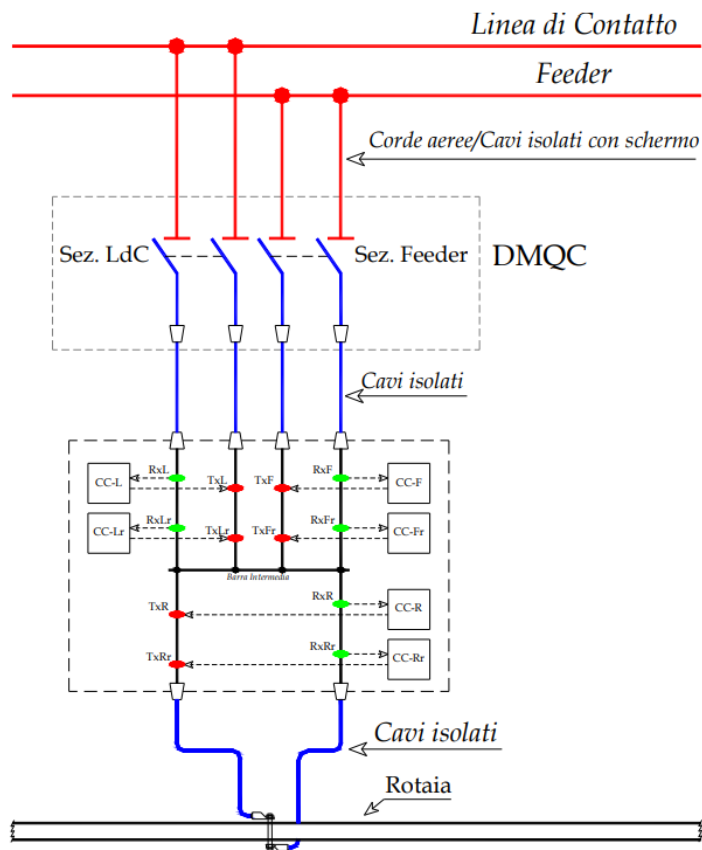


Figura 3.9 Collegamento QCC - 25 KV

Funzioni del sistema

I relè RV monitorano continuamente il collegamento tra la linea di contatto e il DMBC con linea alimentata. Ogni relè è dotato dei contatti elettrici in uscita:

- IRF: uscita eccitata = RV funzionante, uscita diseccitata = RV guasto o disalimentato
- V>: funzione massima tensione per l'intervento a 2200 V (presenza tensione)
- V<: funzione minima tensione per l'intervento a 500 V (assenza tensione)

I contatti elettrici in uscita sono collegati con la relativa UCS, la quale avrà il compito di inviare i dati all'UCP/DOE. I segnali del relè per la valutazione del collegamento del DMBC alla LdC sono:

- Collegamento difettoso: con LdC in tensione, segnalazioni di V> assente e V< presente
- Collegamento efficiente: con LdC in tensione, segnalazioni di V> presente e V< assente

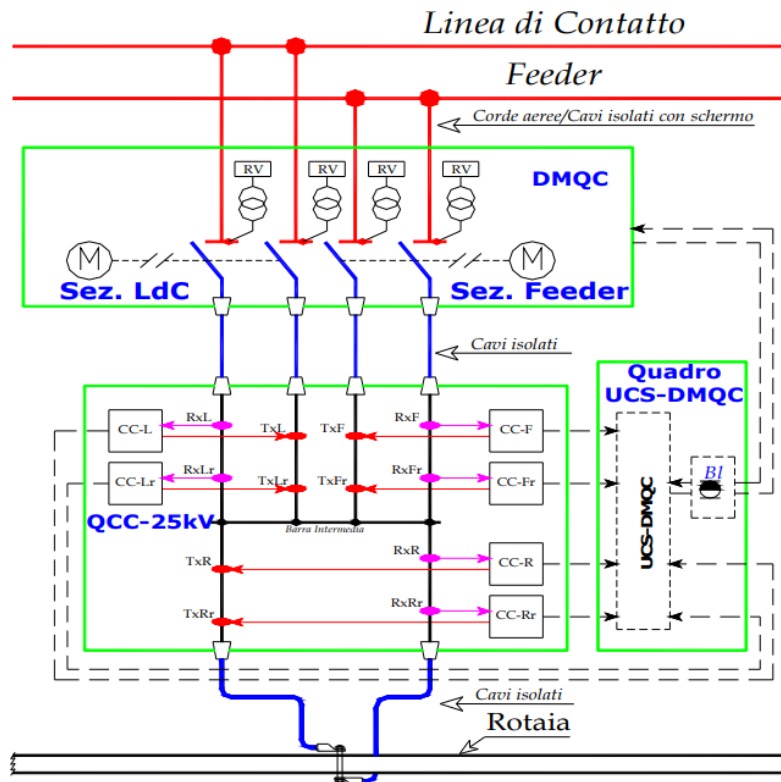


Figura 3.10 Schema inserzione

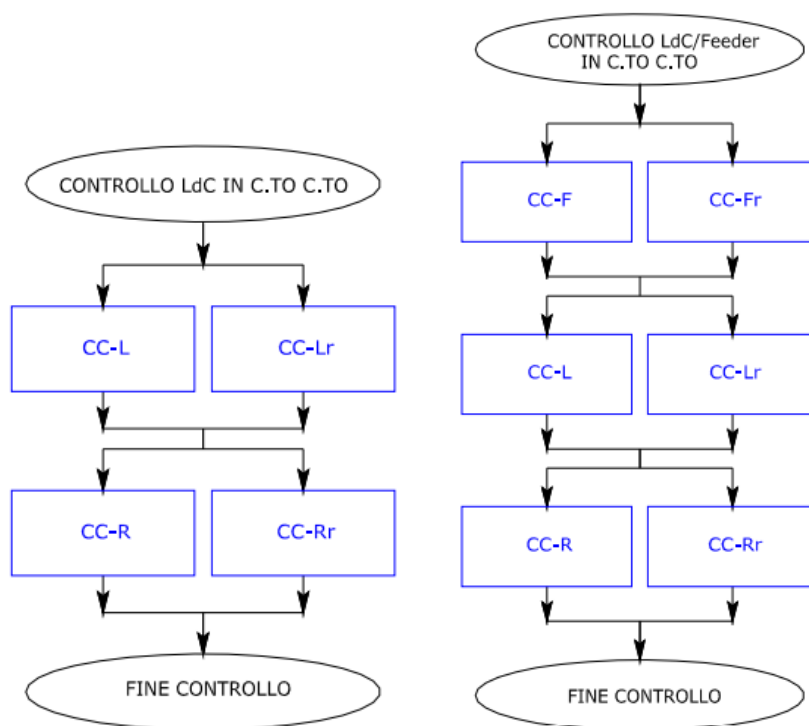


Figura 3.11 Logica di controllo per la verifica del collegamento della linea di contatto a rotaia nei casi a 3 kV o 25 kV

3.4. Dispositivo motorizzato di corto circuito (DMBC)

Il dispositivo motorizzato di corto circuito è un dispositivo per la messa a terra in sicurezza, con potere di chiusura, che collega la linea di contatto/Feeder al potenziale di terra tramite collegamento alla rotaia/terra. Questo apparecchio deve essere in grado di chiudere la massima corrente di corto circuito dell'impianto in cui si trova. È un dispositivo bipolare per i sistemi a 3 kV in corrente continua (DMBC) e quadripolare per i sistemi a 25 kV (DMQC). [8][10]

In questo capitolo si approfondiscono le caratteristiche tecniche e funzionali dei Dispositivi Motorizzati Bipolari di Corto Circuito. Lo studio di queste apparecchiature si riferisce al sistema di trazione a 3 kVcc, il loro scopo è quello di assicurare un collegamento elettrico della linea di contatto al circuito di ritorno (binario). Questi dispositivi sono utilizzati in particolare nei pressi o all'interno delle gallerie ferroviarie per la loro messa in sicurezza, in ottemperanza delle

disposizioni del D.M. 28 ottobre 2005. Il loro utilizzo può comunque essere possibile sugli impieghi che necessitano la messa in corto circuito comandata della linea di contatto.

I dispositivi DMBC devono essere in grado di realizzare il corto circuito della linea di contatto sia con linea disalimentata che con linea alimentata. Possono essere realizzate due tipologie di installazione e con diverse caratteristiche di DMBC:

- Installazione su palo TE (non protetta)
- Installazione a terra (protetta)

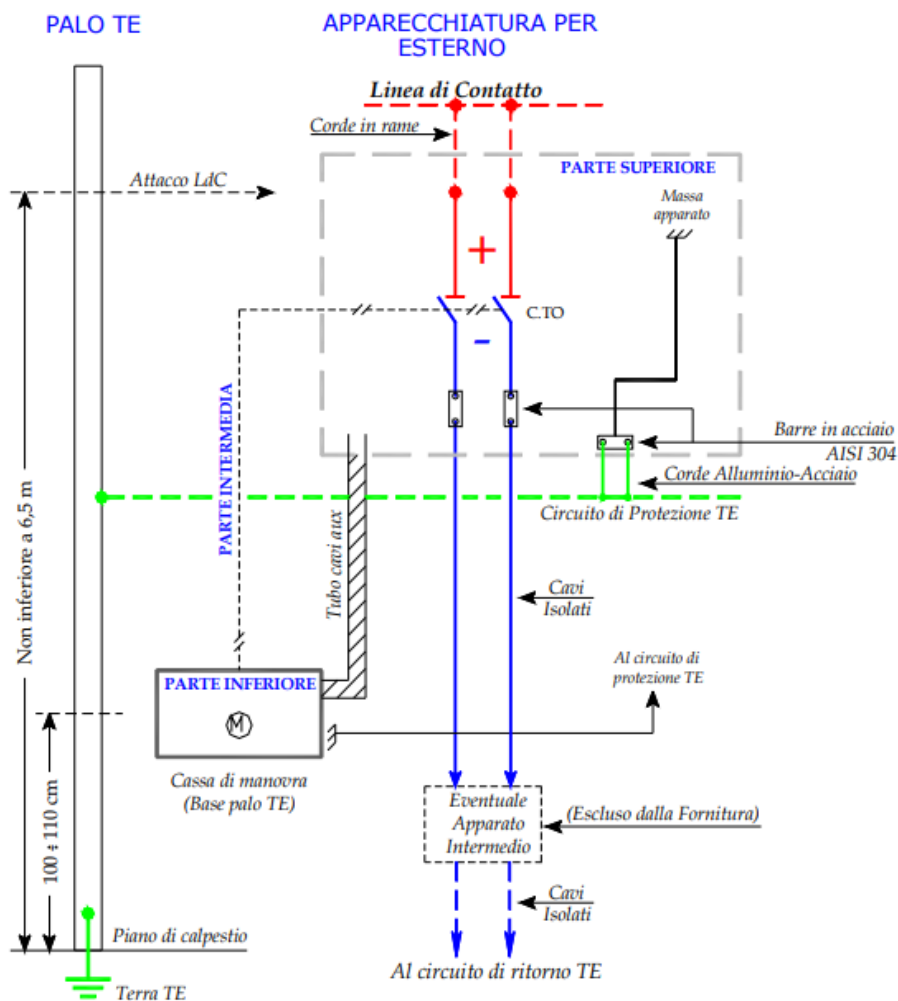


Figura 3.12 Montaggio DMBC su palo

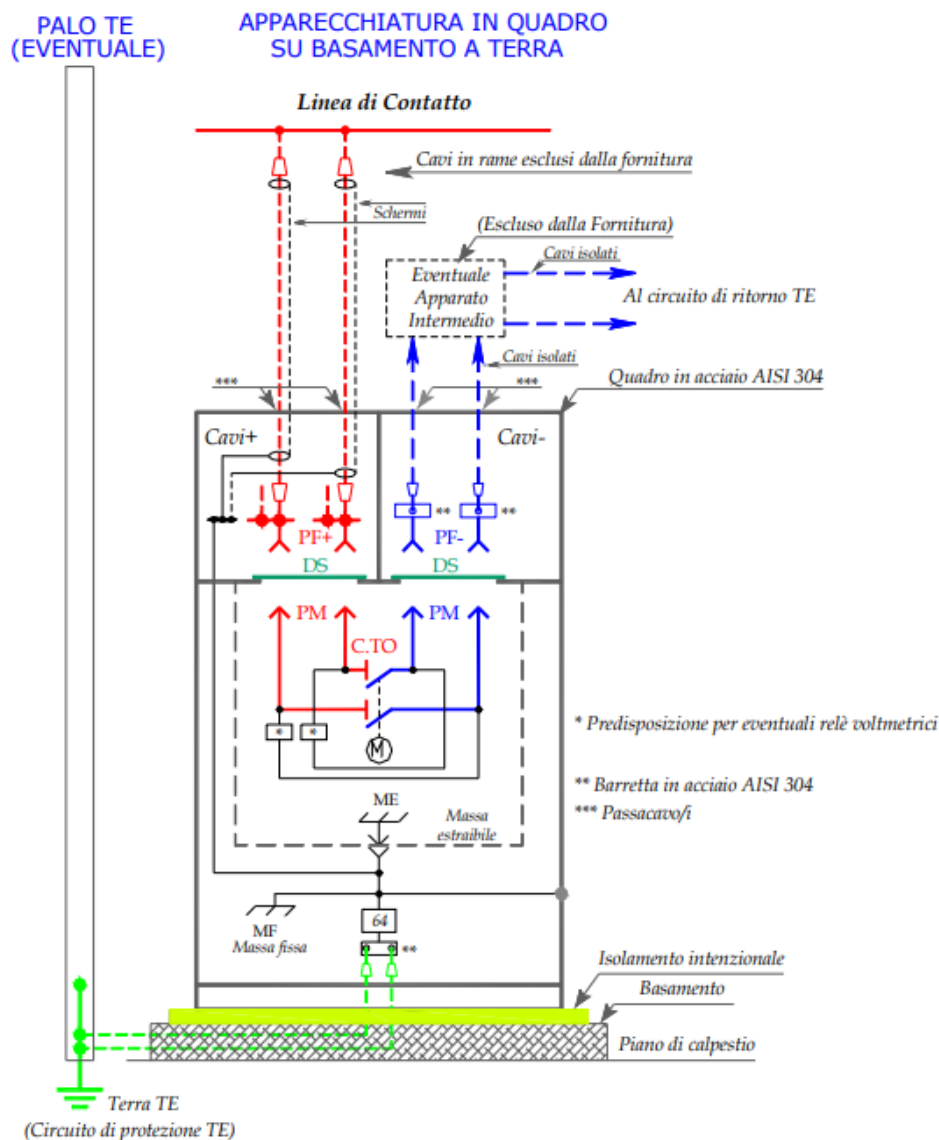


Figura 3.13 Montaggio DMBC con basamento a terra

Nelle due figure le sigle indicano rispettivamente:

- PF+: poli fissi per il collegamento al polo positivo
- PF-: poli fissi per il collegamento al polo negativo
- PM: poli mobili
- DS: diaframma di separazione elettrica e meccanica
- ME: massa estraibile
- MF: massa fissa
- C.TO: contatti di messa in corto circuito
- M: motorizzazione del DMBC
- 64: relè di protezione contro guasti a massa

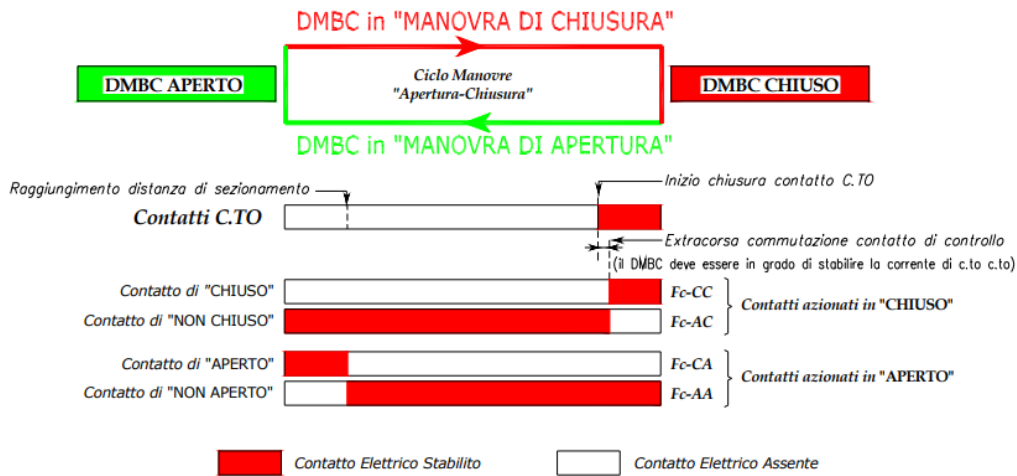


Figura 3.14 Commutazione dei contatti

In cui le sigle rappresentano:

- Fc-CC: contatto di fine corsa chiuso a DMBC chiuso
- Fc-AC: contatto di fine corsa aperto a DMBC chiuso
- Fc-CA: contatto di fine corsa chiuso a DMBC aperto
- Fc-AA: contatto di fine corsa aperto a DMBC aperto

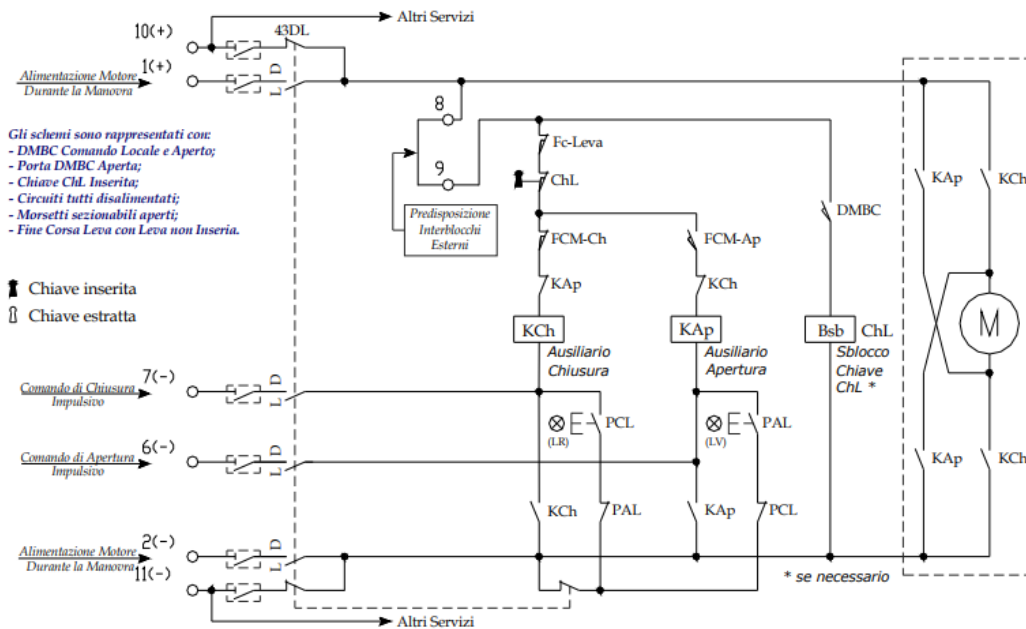


Figura 3.15 Schemi elettrici funzionali per la realizzazione della configurazione su palo

- K-Ch: relè per la chiusura a motore
- K-Ap: relè per l'apertura a motore
- 43DL: commutatore per selezione dei comandi con chiave estraibile
- PCL: pulsante per la chiusura a motore
- PAL: pulsante per l'apertura a motore
- ChL: chiave immobilizzazione DMBC in chiuso
- Bsb-ChL: bobina per sblocco chiave ChL
- Fc-Leva: fine corsa leva non abilitata

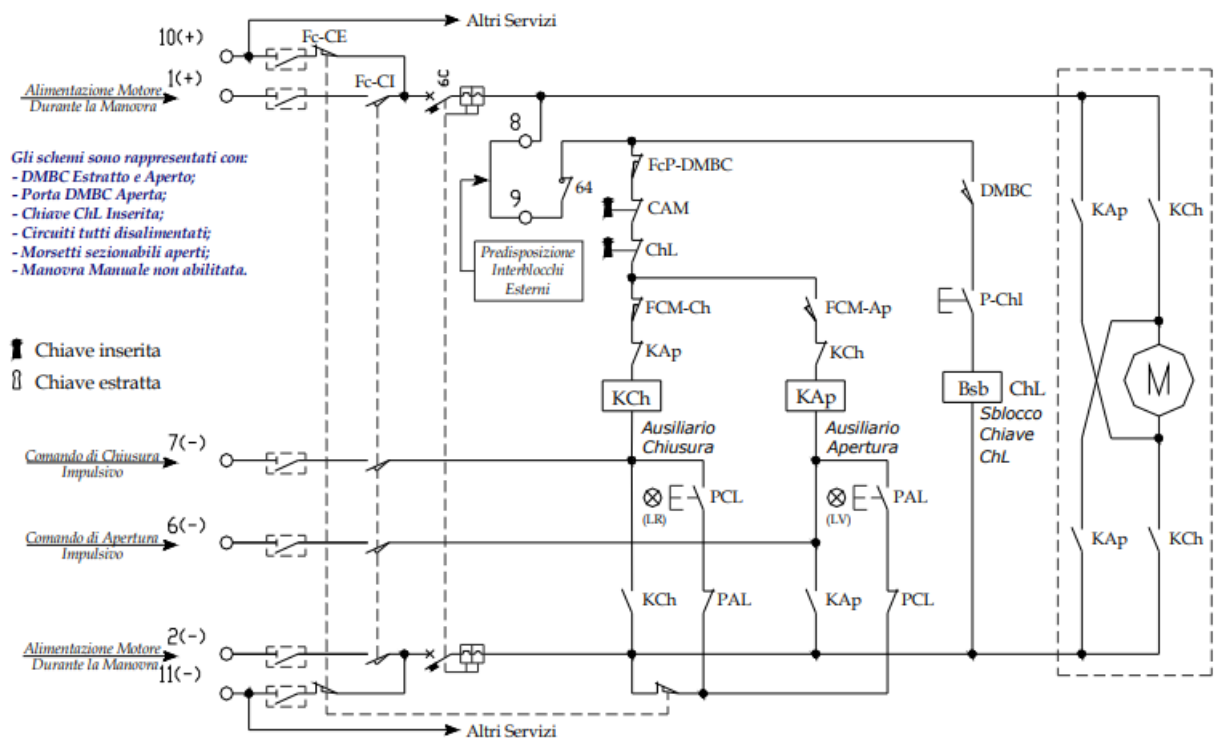


Figura 3.16 Schema realizzazione a terra con copertura tramite involucro metallico

- Fc-CI: fine corsa carrello inserito
- Fc-CE: fine corsa carrello estratto
- Fc-Man: fine corsa manovra manuale non abilitata

Le manovre a motore del DMBC possono essere effettuate tramite l'impiego di molle, non è comunque consentito l'accumulo di energia per eseguire la manovra di chiusura prima del comando di chiusura. Ogni comando deve essere provvisto di un dispositivo per le manovre manuali che potrebbero essere necessarie in caso di emergenza e di guasto dell'impianto motorizzato.

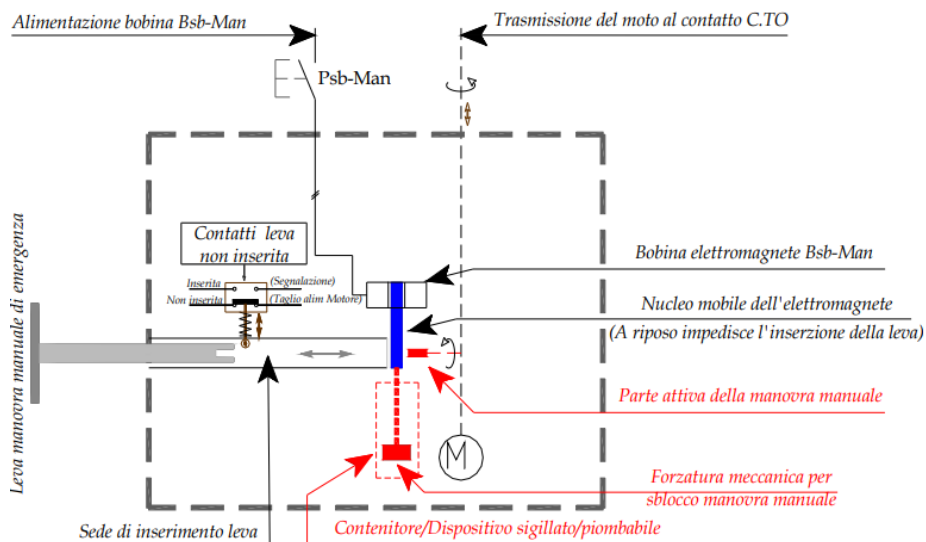


Figura 3.17 Manovra manuale DMBC

La procedura per il comando manuale deve rispettare un protocollo di intervento atto a garantire la sicurezza dell'operatore che deve intervenire. Prima che la leva manuale possa innestarsi con la parte meccanicamente attiva per la trasmissione del moto ai contatti di corto circuito devono essere azionati dei contatti elettrici privi di tensione. I comandi del motore devono essere disalimentati e in morsettiera deve arrivare la segnalazione di leva abilitata alla manovra manuale. L'elettromagnete di manovra manuale, quando è disalimentato, deve impedire l'innesto della leva. Solo in caso di estrema emergenza deve essere possibile poter forzare meccanicamente in eccitato il nucleo dell'elettromagnete per l'innesto della leva in manuale. Possono essere adottate diverse soluzioni tecniche di funzionamento purché garantiscano le funzionalità del dispositivo e che venga accordata con la struttura tecnica di RFI per l'omologazione del prodotto.

Ogni dispositivo DMBC deve essere provvisto di una chiave Ch-L estraibile nella posizione di chiuso, una volta estratta la chiave non deve essere possibile nessuna manovra che sia in apertura o chiusura del DMBC.

Tabella 3.5 Caratteristiche elettriche DMBC

Tensione nominale	3 kVcc
Tensione massima (non permanente)	3.9 kVcc
Tensione di isolamento	4.8 kV
Potere di chiusura I (valore di picco)	50 kA
Valore di picco I corto circuito	50 kA
Tempo di chiusura (meccanico)	≤ 7 s

Struttura DMBC

I dispositivi DMBC devono rispettare determinate caratteristiche costruttive di robustezza, compattezza e affidabilità. Durante il loro esercizio possono essere inseriti in ambienti con condizioni particolarmente gravose e in condizioni climatiche differenti. La loro struttura deve essere costruita in maniera che, durante il loro esercizio, non necessitino di alcuna operazione di manutenzione straordinaria. Gli unici controlli ammessi sono visivi e funzionali in occasione dei controlli periodici di funzionamento.

Il DMBC è diviso in tre parti:

- Parte superiore
- Parte inferiore
- Parte intermedia

La parte superiore è composta dai sezionatori di corto circuito con caratteristiche di chiusura adeguate alla potenza di corto circuito da interrompere, secondo le norme vigenti. È prevista una apposita barra in acciaio per consentire la connessione al ritorno TE.

La parte inferiore è costituita da una cassa di manovra (contenitore metallico) in acciaio inossidabile. Questa sezione deve contenere i comandi per permettere le manovre in apertura e chiusura del DMBC, oltre alla chiave estraibile ChL e la leva per la manovra manuale di emergenza. Oltre a questi componenti al suo interno sono disposte tutte le apparecchiature ausiliarie BT (contattori, relè, e pulsanti di segnalazione). È fondamentale che la cassa di manovra resista agli urti e ad ogni tentativo di vandalismo, per questo la parte interna del contenitore dove si trovano le parti comandabili dovrà essere provvisto di sistemi di sicurezza e che impediscano l'accesso a persone non autorizzate.

La parte intermedia è costituita da un sistema meccanico di funzionamento che collega la parte motrice (inferiore) a quella condotta (superiore). Questa sezione deve permettere un rapido montaggio dell'apparecchiatura, deve essere collegata elettricamente a terra e non deve richiedere grossi aggiustamenti al momento

dell'installazione, inoltre deve essere insensibile al salto termico tra diverse stagioni.

Collegamenti elettrici

Se il dispositivo DMBC fa riferimento alla realizzazione su palo, i poli positivi devono essere connessi alla linea di contatto con due conduttori nudi di rame (uno per polo), mediante i propri capicorda, con sezione di ciascuno di essi pari a **S = 120 mm²**.

Con riferimento alla soluzione realizzativa a terra, i poli positivi devono essere connessi alla linea di contatto con due conduttori di rame (uno per polo), mediante i propri terminali, con sezione non inferiore a **S = 120 mm²**, con isolamento 12/20 kV con schermo di sezione non inferiore a 70 mm².

Per entrambe le soluzioni realizzative i poli negativi dovranno essere connessi al ritorno TE con un cavo isolato (per polo) di alluminio o alluminio-acciaio, avente sezione massima di 185 mm² ciascuno. L'ancoraggio di tali cavi deve essere effettuato tramite bulloni in acciaio inossidabile.

Calcolo e verifica dimensionamento collegamenti elettrici

In questo paragrafo calcoleremo il dimensionamento dei conduttori di corto circuito inseriti nei dispositivi DMBC che permettono di eseguire il collegamento tra linea di contatto e binario. I risultati per essere considerati attendibili dovranno essere conformi a quelli indicati nella specifica tecnica di fornitura di RFI.

Nel calcolo del dimensionamento saranno considerate le condizioni più sfavorevoli e più gravose di cortocircuito sulla linea. Tramite i dati forniti dalla specifica riportati in tabella è possibile vedere che la massima tensione sostenibile dal DMBC è di 3.9 kVcc e la massima corrente interrompibile è pari a 50 kA.

Partendo da questi dati è calcolabile la massima potenza di corto circuito sulla linea tramite il prodotto tra tensione e correnti massime sostenibili:

$$P_{cc} = V * I_{cc} = 3.9 * 50 = 195 [MW]$$

I conduttori nella parte superiore del DMBC collegati alla linea di contatto sono due, quindi ognuno dovrà sopportare una corrente pari a metà di quella massima di corto circuito, ovvero 25 kA.

Tutta la potenza di corto circuito andrà a convertirsi e dissiparsi come potenza Joule, quindi tramite la formula:

$$P_{cc} = PJ = R * I^2$$

È possibile calcolare il valore della resistenza che questo dovrà avere:

$$R = \frac{P_{cc}}{I^2} = \frac{195 [MW]}{50^2 [kA]} = 0.078 \left[\frac{\Omega}{km} \right]$$

Dal valore della resistenza per chilometro si può adesso risalire alla sezione che dovrà avere il conduttore per sostenere una tale potenza e corrente di corto circuito, infatti sappiamo che:

$$R = \frac{\rho}{S}$$

Quindi:

$$S = \frac{\rho}{R} = \frac{18}{0.078} = 230.7 \text{ mm}^2$$

Se il conduttore fosse singolo la sua sezione dovrebbe essere pari ad almeno quella ricavata per sopportare tale corrente di corto circuito. Nel caso in esame vengono posti in parallelo due conduttori, quindi ognuno deve sopportare metà della corrente totale e la sua sezione può essere metà di quella calcolata. Le due corde in rame dovranno avere una sezione di almeno 115 mm² ciascuna e questo dato è verificato dalla sezione reale delle corde date dalla specifica (S = 120 mm²).

Per i poli negativi il ragionamento è equivalente, cambiano però le proprietà del materiale che in questo caso è alluminio. I cavi saranno isolati e ce ne saranno sempre uno per polo.

$$S = \frac{\rho}{R} = \frac{28}{0.078} = 358.97 \text{ mm}^2$$

In questo caso la sezione di ciascun conduttore dovrà essere pari a **S = 179.5 mm²** ancora conforme con quanto riportato in specifica dove i conduttori sono presi di sezione S = 185 mm² ciascuno.

Funzionamento

La parte motrice deve far funzionare la parte condotta nei tempi previsti e senza ritardi meccanici. Il sistema di comando nella sua interezza (cassa di manovra) deve poter essere sostituito con la linea in tensione, anche solo asportando la parte inferiore del dispositivo.

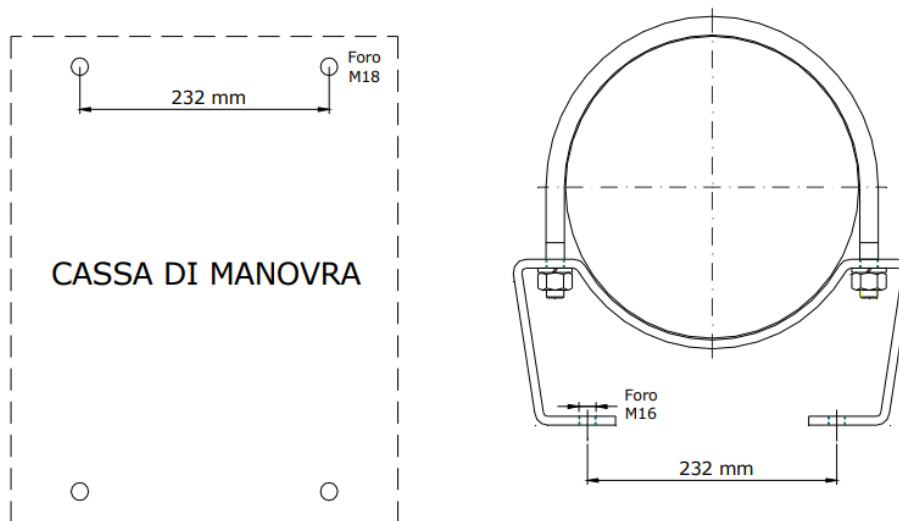


Figura 3.18 Cassa di manovra per il montaggio su palo TE

Tutte le apparecchiature installate devono avere un circuito di anticondensa, questo può essere realizzato con elementi resistivi autoregolanti oppure termostati.

Le condizioni per l'installazione sono riportate nelle due figure successive, il collegamento deve rispettare le condizioni indicate nel caso di circuiti a semplice o doppio binario.

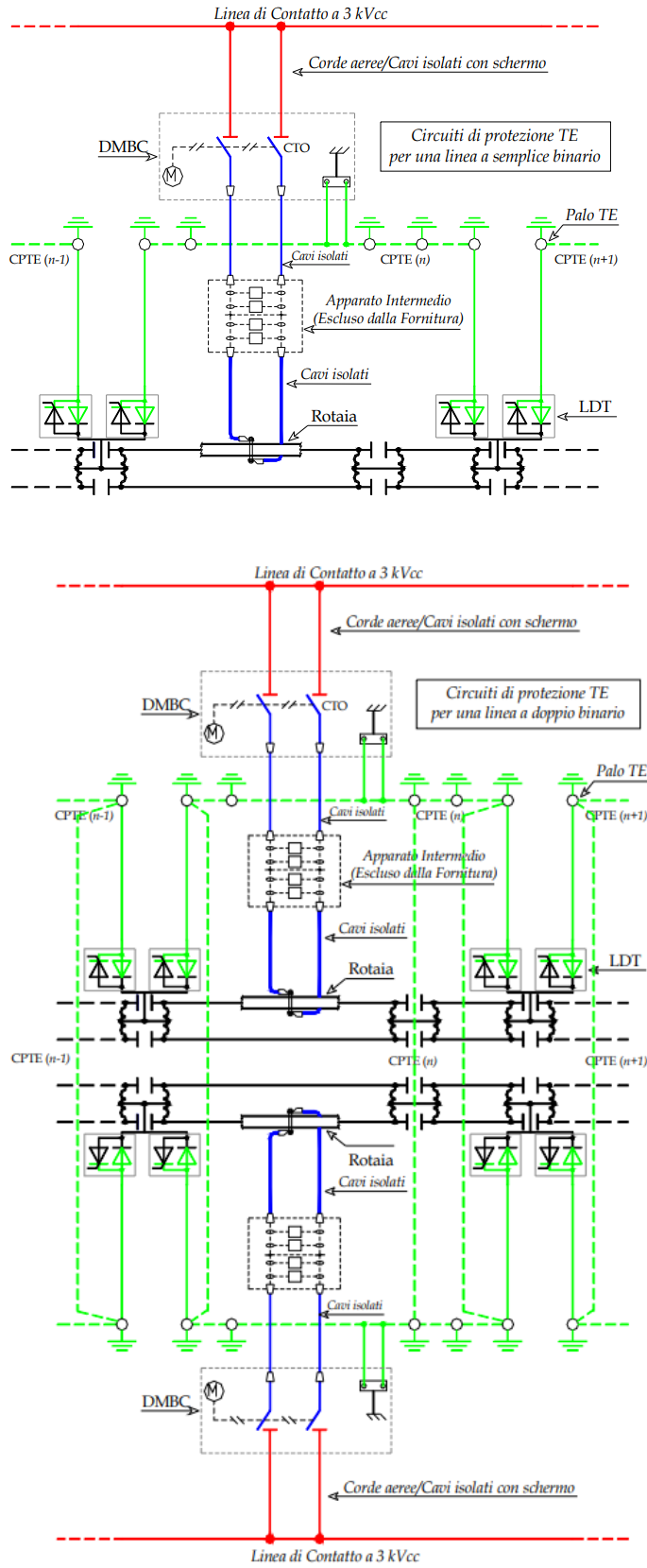


Figura 3.19 Collegamento DMBC alla rotaia

Monitoraggio

I dispositivi DMBC hanno una scarsa movimentazione durante il loro esercizio, per cui risulta difficile capire la loro integrità e il loro corretto funzionamento. È necessario inserire degli opportuni circuiti di monitoraggio continuo delle parti che vengono ritenute fondamentali per il funzionamento del DMBC

Lo scopo di questi circuiti è quello di evidenziare, a distanza, l'eventuale non disponibilità del dispositivo di corto circuito. Le funzioni di monitoraggio si dividono in:

- Continuità elettrica del motore
- Integrità dei circuiti di chiusura
- Integrità dei circuiti di apertura

Tali circuiti devono funzionare compatibilmente con il DMBC e non creare nessuna criticità funzionale al suo impiego.

Per l'omologazione dei dispositivi si passa attraverso diverse fasi per lo studio e la verifica della rispondenza delle caratteristiche volute. La documentazione progettuale del fornitore si divide in pubblica e privata. La prima descrive il dispositivo e certe sue caratteristiche che possono essere visionate da tutti, la seconda è formata da documenti che il fornitore considera riservati e non ne autorizza la libera riproduzione e diffusione. Anche nel caso dei DMBC sono previste delle prove di tipo da effettuarsi in laboratorio per la verifica dell'idoneità dei dispositivi. Sugli esemplari della fornitura completamente assemblati verranno poi eseguite delle prove di accettazione, queste consistono in: esame visivo, funzionamento, tensione a tenuta a frequenza industriale e misura della resistenza.

Per il dispositivo motorizzato quadripolare di corto circuito (DMQC) sui sistemi a 2x25 kV, possono essere impiegati due diversi dispositivi bipolari purché siano comandati simultaneamente. Questi dispositivi di messa a terra sono dotati di potere di chiusura, quindi deve essere previsto che possano essere chiusi anche con la linea di contatto/feeder in tensione. Tale chiusura determina un corto circuito franco della

LdC a rotaia e provoca una sicura apertura degli interruttori di alimentazione della linea.

3.5. Unità di controllo e comando

Interruttore di manovra sezionatore

L'interruttore di manovra-sezionatore (IMS) è un dispositivo che serve ad interrompere, alla tensione nominale, la corrente nominale del proprio circuito TE. Questo dispositivo deve realizzare il sezionamento elettrico al termine della manovra e inoltre deve essere in grado di interrompere la massima corrente di corto circuito dell'impianto in cui viene installato.

Unità di comando e controllo secondaria (UCS)

Le unità di comando e controllo secondarie devono interfacciarsi verso le UCP del sistema STES. Hanno poi una funzione di diagnostica, comando e controllo verso gli interruttori di manovra-sezionatori, i dispositivi DMBC/DMQC e verso il quadro di soccorso (QS). Se un IMS è installato nelle vicinanze di un DMBC/DMQC è consentito che l'UCS del DMBC/DMQC possa gestire anche questo.

Alle unità UCS-QS devono arrivare le seguenti informazioni:

- Avvenuta messa a terra della LdC/Feeder da tutte le unità UCS-DMBC/DMQC presenti
- Avvenuto bloccamento delle manovre dei DMBC/DMQC sempre dalle unità UCS dedicate

La rotazione dell'elettro chiave ChE mette in moto le azioni di sezionamento e messa a terra della LdC e di bloccamento dei DMBC/DMQC. L'informazione è acquisita dall'UCS-QS e mediante la rete dati interna alla galleria e/o tramite quella di richiusura esterna la trasferisce a tutte le unità restanti UCS del sistema STES.

Quadro squadre di soccorso

Il quadro squadre di soccorso (QS) deve avere al suo interno i dispositivi per l'invio o la ricezione del comando per la messa in sicurezza della galleria su comando dell'elettro chiave ChE presente nell'apparecchiatura. Le funzioni che il quadro QS deve svolgere sono:

- Attivazione del comando, mediante rotazione della chiave elettromeccanica ChE, di messa a terra automatica della galleria e relativo bloccamento dei dispositivi DMBC/DMQC.
- Segnalazione di "galleria a terra" quando le manovre dei DMBC/DMQC non sono ancora state bloccate.
- Segnalazione di "galleria a terra bloccata" una volta che tutte le UCS hanno rilevato le manovre di bloccamento.
- Segnalazione di "galleria non a terra" quando almeno una UCS non rileva lo stato di messa in corto circuito della LdC.
- Segnalazione di "condizioni OK" o "condizioni non OK" di verifica per poter operare il comando di messa a terra tramite la chiave ChE.
- Abilitazione al ritiro della chiave ChE.
- Consenso al ripristino degli impianti.

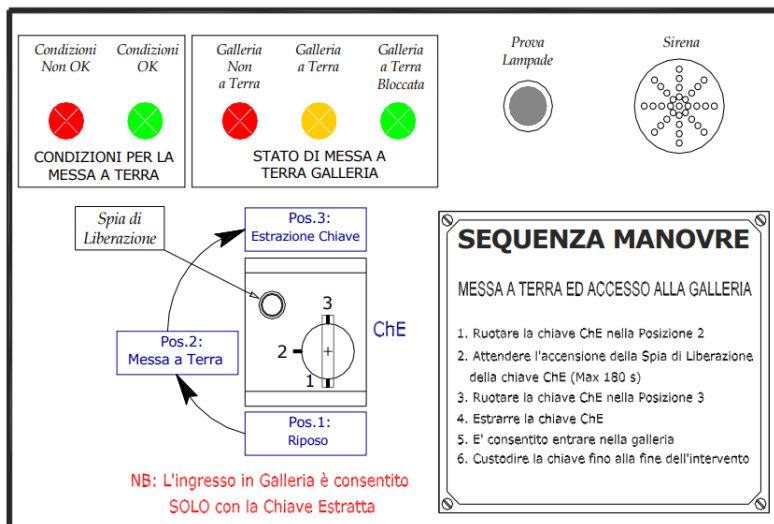


Figura 3.20 Interfaccia quadro QS

Sequenza delle azioni umane e del Sistema STES

Nel momento in cui la squadra di soccorso è di fronte al pannello del quadro QS e ruota la chiave ChE in senso orario dalla posizione 1 alla posizione 2 le UCS acquisiscono il segnale, che viene riconosciuto anche dalle unità UCP. Il sistema effettua le manovre di apertura di tutti gli IMS esterni sezionando le fonti di alimentazione. Vengono in seguito messi a terra tutti i dispositivi DMBC/DMQC anche in caso di mancata apertura di uno o tutti gli IMS. Avviene il controllo, tramite i QCC, del collegamento a rotaia/terra dei DMBC/DMQC e della LdC/Feeder. Vengono bloccati nella posizione di chiuso tutti i DMBC/DMQC impedendo così qualsiasi manovra manuale. In caso di esito positivo di tutti i passaggi precedenti viene aggiornato il segnale sui QS con il nuovo stato di “galleria a terra bloccata”, con conseguente segnalazione acustica per indicare all’operatore che la chiave può essere estratta. La rotazione della chiave ancora in senso orario dalla posizione 2 alla 3 e l’estrazione fa finire il segnale acustico.

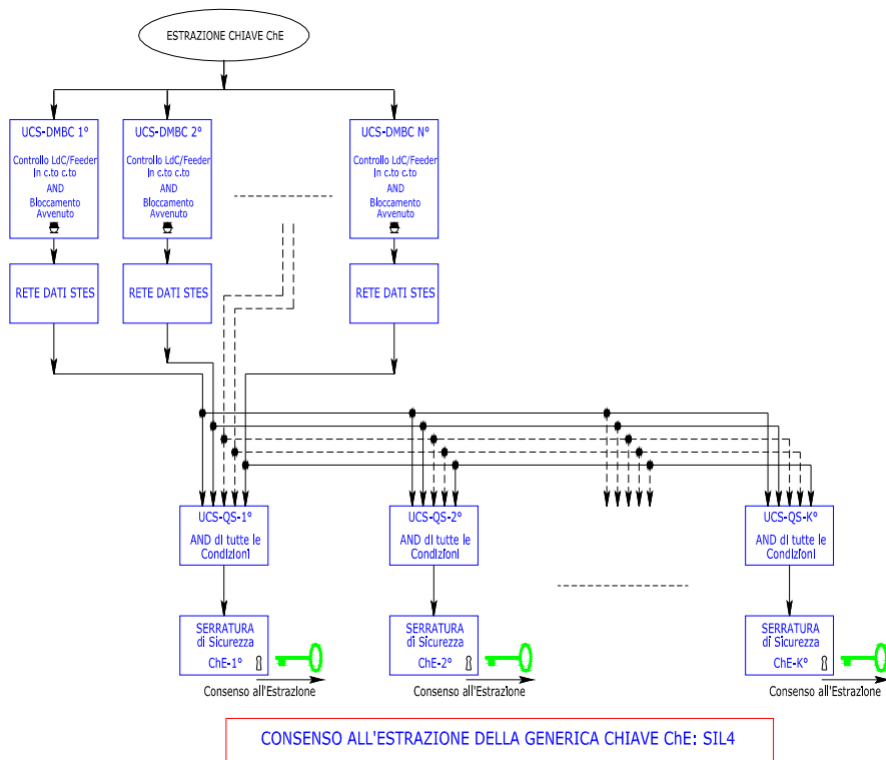


Figura 3.21 Ciclo controlli per estrazione chiave

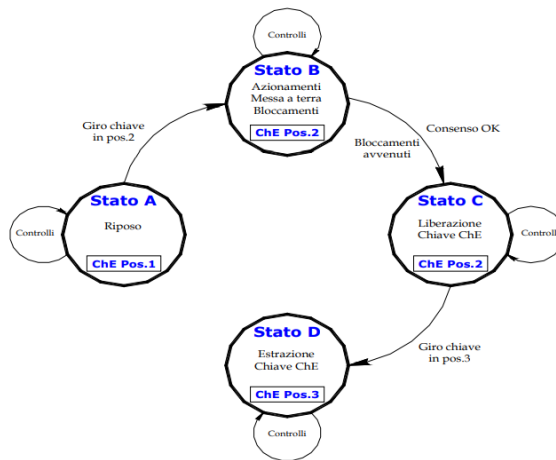


Figura 3.22 Stati per l'estrazione della chiave

Le operazioni per il ripristino del sistema sono:

1. Reinserzione di tutte le elettro chiavi ChE nelle rispettive sedi, riportandole alla posizione 1
2. Comando di sbloccamento da UCP/DOTE. Questo comando riabilita tutte le manovre di tutti i DMBC/DMQC del sistema STES

Dopo lo sbloccamento tutti gli enti TE tornano ad essere gestibili normalmente da DOTE.

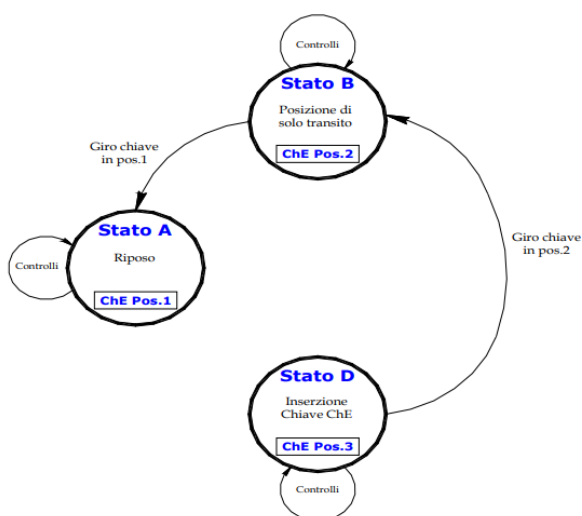


Figura 3.23 Stati per la reinserzione della chiave estraibile

Circuiti esclusione comandi remoti per quadri UCS

Tutte le manovre locali dei DMBC/DMQC e di chiusura degli IMS devono essere normalmente disabilitate, mentre quelle di apertura sempre abilitate.

L'abilitazione avviene con la seguente modalità:

1. L'operatore con il commutatore R-Escl chiede il consenso al DOTE/UCP di abilitazione alle manovre locali (da quadro). Conseguentemente a questo si accenderà una segnalazione luminosa di attesa consenso che si annullerà automaticamente dopo 15 minuti.
2. Il DOTE o l'UCP invia la sua autorizzazione attraverso l'UCS, alimentando la bobina del commutatore a chiave. In questa fase si dovrà disattivare la segnalazione di "attesa consenso" e si attiverà quella di "consenso sblocco".
3. Si ruota il commutatore 43RL da bloccato a libero.
4. Estrazione della chiave dal commutatore se ritenuto opportuno.

Dopo queste operazioni i comandi locali dal quadro UCS devono risultare tutti abilitati, mentre da UCP/DOTE non sarà possibile effettuare comandi. Il ritorno della gestione da remoto avviene quando la chiave viene ruotata nel commutatore in posizione "remoto".

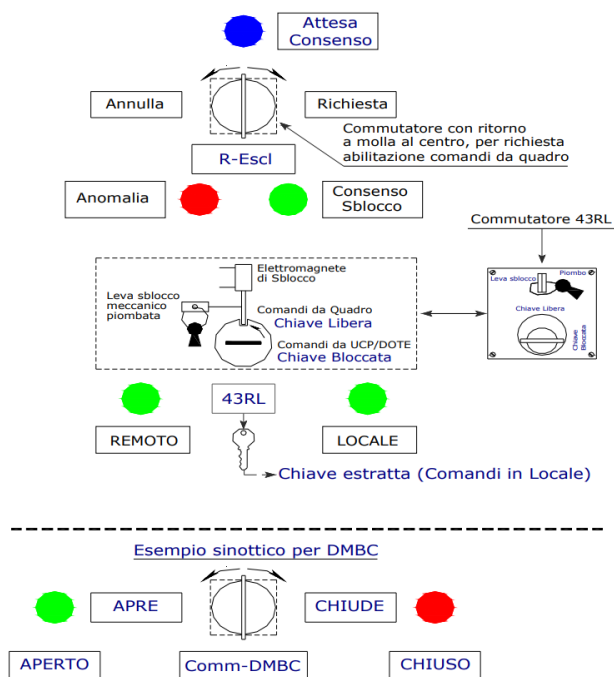


Figura 3.24 Circuiti esclusione comandi remoti

Bloccamento

Deve essere applicato a tutti i DMBC/DMQC da parte dei relativi quadri. Il dispositivo può considerarsi bloccato quando ogni fonte di alimentazione e circuito di manovra sia aperto e cortocircuitato verso le relative utenze. L'alimentazione dei controlli non dovrà assolutamente essere in grado di azionare i circuiti di manovra.

Unità di comando e controllo principale (UCP)

Questa apparecchiatura ricopre il ruolo di interfaccia verso i sistemi di livello superiore (DOTE/SPVI) nel comando e controllo degli enti. Queste unità sono inserite all'interno dei locali tecnici degli imbocchi, in appositi armadi o all'interno di strutture per impianti luce.

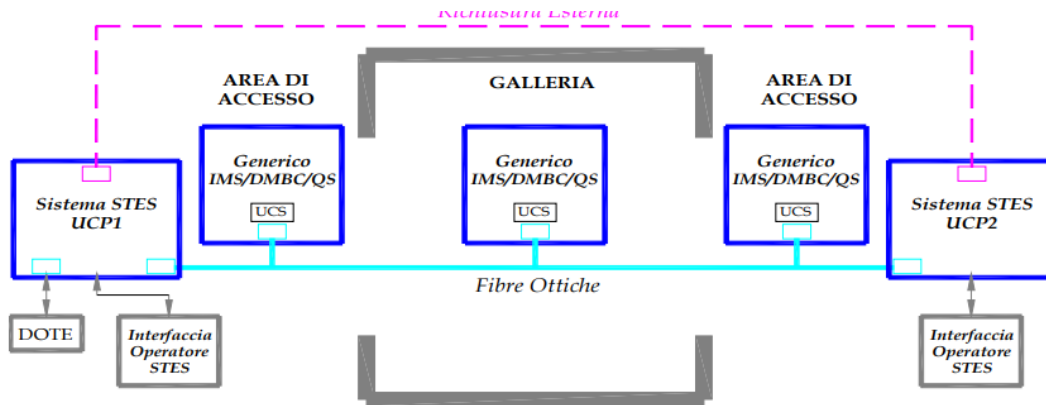


Figura 3.25 Interfacciamento con il DOTE

Il sistema STES può essere considerato come posto periferico di telecomando TE gestito dal DOTE, infatti quest'ultimo realizza la telegestione degli enti TE connessi alla messa in sicurezza della galleria (IMS/DMBC/DMQC) attraverso il sistema STES.

Le informazioni da inviare al DOTE sono:

- Lo stato di aperto/chiuso di tutti i dispositivi IMS e DMBC/DMQC
- Stato di messa a terra bloccata del sistema STES e indicazione di tutti i bloccamenti
- Stato di alimentazione di ogni RV
- Comandi remoti dalle singole UCS
- Stati di chiave ChE e ubicazione
- Mancanza alimentazione armadi TE

Sui principali quadri del sistema STES devono essere previste delle apposite targhe per identificare:

- Identificativo del quadro
- Identificazione galleria
- Progressiva chilometrica

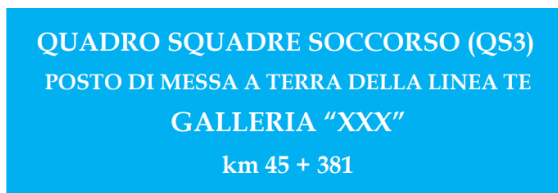


Figura 3.26 Esempio targa indicatrice

Tutta la fornitura del sistema STES deve aver conseguito l'omologazione del prodotto mediante i processi già visti nei quadri di controllo continuità. Tutti i dispositivi devono quindi passare le fasi di: qualificazione di prototipo, qualificazione di prodotto e omologazione di prodotto. La messa in opera di tutto il sistema dovrà essere subordinata alla procedura di verifica tecnica approvata in una seconda fase.

4. Progetto definitivo STES

In questo capitolo analizzeremo i passaggi necessari da affrontare per arrivare alla stesura di un “Progetto Definitivo”, il quale, nel rispetto delle esigenze, dei vincoli e delle norme vigenti, andrà ad individuare i lavori da realizzare per la messa in servizio del sistema STES nella galleria presa in esame.

Sulla base di questo progetto l’azienda che vincerà l’appalto per l’esecuzione dei lavori andrà a realizzare un “Progetto Esecutivo”, in cui si definiranno nel dettaglio le modalità di esecuzione dei lavori e il posizionamento di tutti i dispositivi necessari.

4.1. Imbocco Nord

Sopralluogo in galleria

Il primo passo da affrontare è quello di visionare i luoghi e le zone migliori dove le apparecchiature potrebbero essere posizionate, per questo la prima cosa di cui occuparsi è il sopralluogo nelle zone di imbocco e delle finestre trasversali di galleria.

La valutazione per il posizionamento dei dispositivi deve rispettare la fattibilità tecnica, i vincoli imposti dalle norme e dalle specifiche tecniche e le normative sulla sicurezza.

Imbocco nord galleria

Il primo luogo preso in esame è quello di imbocco di galleria nella sezione a Nord.



Figura 4.1 Imbocco Nord di galleria

Lo studio della fattibilità tecnica in questa zona sembra essere abbastanza agevole per tutte le apparecchiature necessarie. Una nuova palificazione non è necessaria in quanto sono già presenti i pali per i vecchi RV, infatti su questi pali verranno posizionati i DMBC e degli RV di nuova generazione (meno ingombranti), mentre alla loro base verranno inseriti i dispositivi di continuità e controllo (QCC).

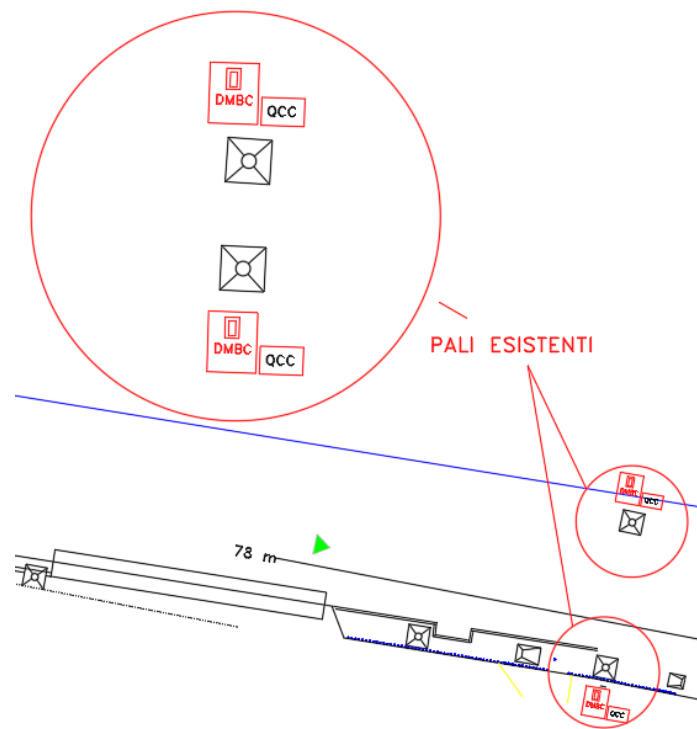


Figura 4.2 Disposizione DMBC e QCC

Per la sezione pari dei binari (parte a sinistra della foto) non ci sono problemi di ingombro e gli spazi sono sufficienti per il posizionamento di tutti i dispositivi. Per la parte dispari del binario potrebbero esserci delle difficoltà nel posizionamento del dispositivo di controllo e continuità a causa della presenza della barriera antirumore. La fattibilità tecnica verrà studiata nel dettaglio una volta che verrà prodotto il “Progetto Esecutivo” e si sceglierà se predisporre una parte degli apparecchi al di fuori della barriera, per permettere un maggior margine di sicurezza e il passaggio più agevole durante lo svolgimento dei lavori.

Nella figura 4.3 vediamo un esempio di come vengono predisposti i dispositivi su palo:

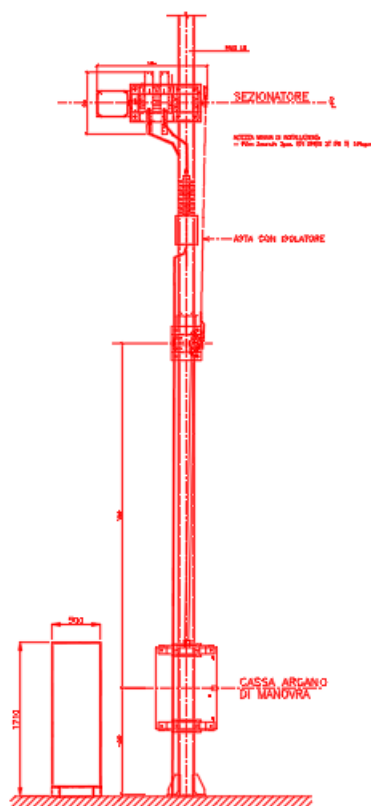


Figura 4.3 Disposizione su palo

Il quadro di soccorso e le unità di comando e controllo verranno posizionate sul piazzale libero oltre la barriera antirumore. Questi dispositivi non necessitano infatti di essere posizionati vicino alla linea di contatto, ma possono essere collegati tra loro anche a distanza facendo passare i cavi di collegamenti negli appositi pozzetti.

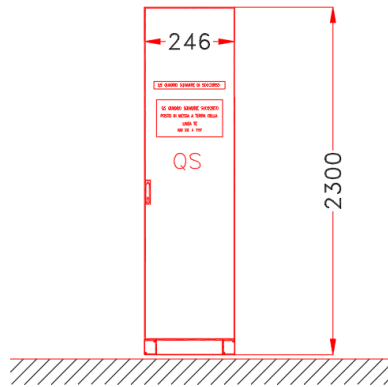


Figura 4.4 Quadro di soccorso (QS) visto frontalmente



Figura 4.5 Piazzale prima dell'imbocco di galleria

Posizionando le apparecchiature sul lato destro del piazzale si permettono eventuali interventi di manutenzione alla linea senza interferire. Nella foto è possibile vedere anche l'impianto di pompe per assicurare l'intervento dei vigili del fuoco nel caso avessero la necessità di utilizzare l'acqua per spegnere eventuali incendi.

I dispositivi che andranno posizionati in questa zona sono:

- Quadro di soccorso (QS)
- Unità di comando e controllo principale (UCP)
- Unità di comando e controllo secondarie (UCS)
- Cabina di alimentazione ausiliaria

Tutti questi apparati andranno posizionati con appositi basamenti e tettoie come imposto da specifica tecnica.

Una delle caratteristiche fondamentali per il posizionamento dei sezionatori in tutte le zone visitate è la necessità della verifica visiva di apertura di sezionamento da parte degli operatori che intervengono in caso di emergenza. Solo così si potrà avere la certezza che la linea non sia in tensione e l'intervento potrà essere effettuato in sicurezza.

La cabina di alimentazione ausiliaria è necessaria per rispettare la specifica, infatti è obbligatorio avere almeno due fonti di alimentazione indipendenti nel caso ce ne fosse una guasta e non funzionante, magari a causa di un guasto causato dall'incidente in galleria.

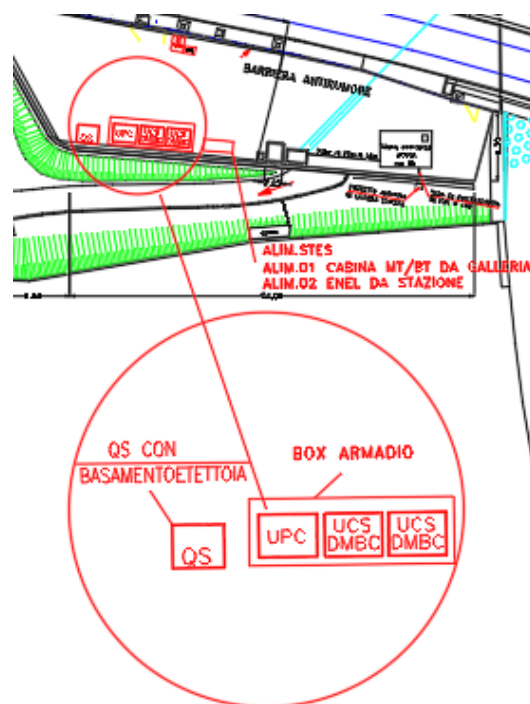


Figura 4.6 Disposizione apparecchiature in piazzale

4.2. Prima finestra intermedia

Prima finestra intermedia di galleria

In questo paragrafo verrà esaminata la prima delle due finestre intermedie sulla galleria. Particolare attenzione va posta sulla sottostazione presente in questa sezione che alimenta le linee di contatto in galleria, di questa sottostazione verrà studiato anche il diagramma unifilare di potenza, si andranno a dimensionare gli interruttori extrarapidi e i sezionatori di corto circuito.



Figura 4.7 Sottostazione di alimentazione intermedia

I sezionatori già presenti saranno affiancati da nuove palificazioni su cui saranno installati i dispositivi di corto circuito DMBC.

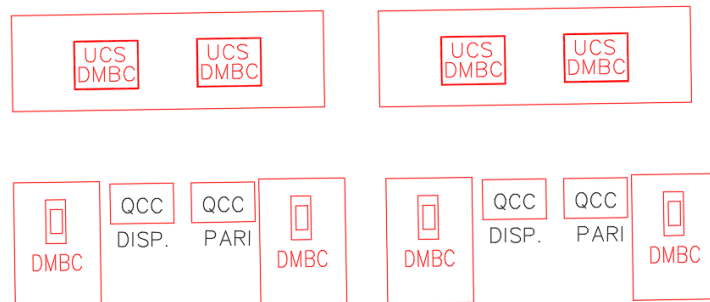


Figura 4.8 Complesso dei dispositivi

Le apparecchiature saranno inserite all'interno dello spazio di sottostazione, queste saranno opportunamente delimitate da una recinzione e saranno presenti ancora una volta i basamenti e le tettoie quando necessari.

Il quadro di soccorso sarà posizionato prima dell'ingresso alla strada che porta in galleria, così da facilitare l'intervento delle squadre di emergenza.

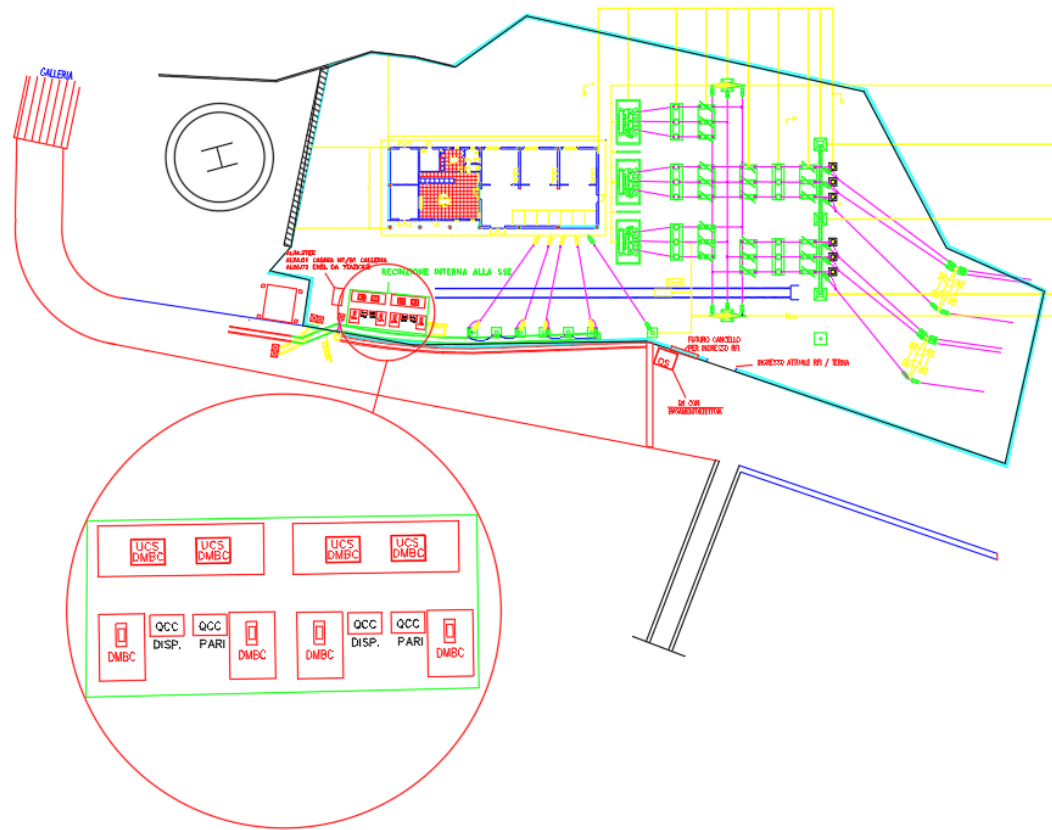


Figura 4.9 Tunnel verso la galleria ferroviaria

All'ingresso della galleria di collegamento con quella dove si trova la linea ferroviaria si trova l'apparecchiatura idrica. Questa sarà utilizzata dai vigili del fuoco in caso di necessità, eventuali tubi dovranno essere ben coibentati per evitare il congelamento dell'acqua al loro interno in caso in cui le temperature scendano sotto lo zero.

Nel progetto sono inseriti anche i nuovi ingressi da realizzare per separare le sezioni di arrivo dell'alimentazione di proprietà di Terna da quelle di sottostazione di competenza di RFI.

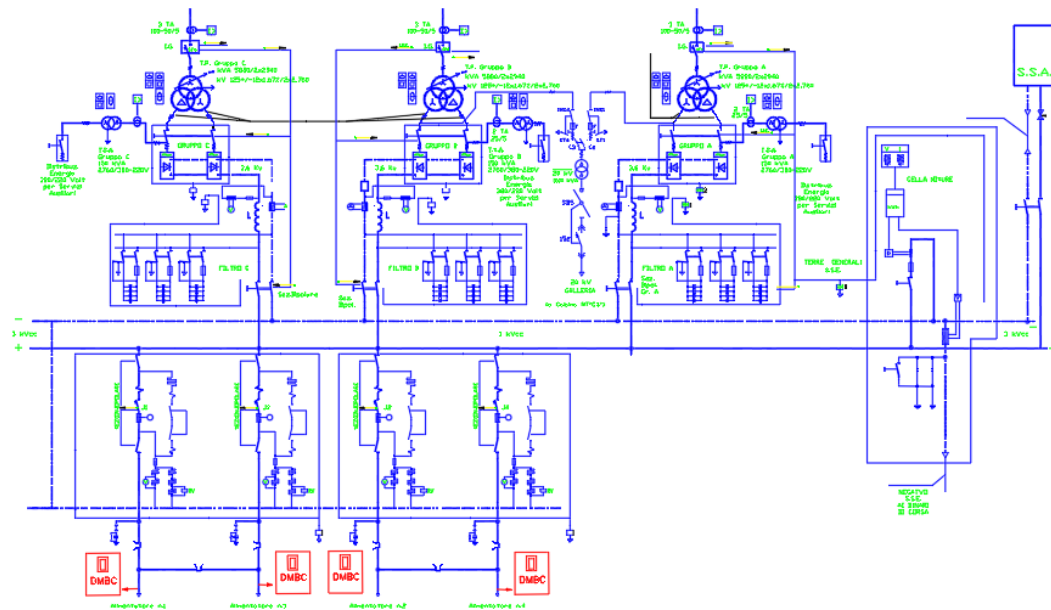
Tavola N.2 Prima finestra intermedia



4.3. Schema unifilare di potenza

Avendo a disposizione lo schema elettrico unifilare generale della sottostazione posta nella finestra intermedia della galleria (figura 4.7) può essere interessante analizzare la taratura degli interruttori extrarapidi in servizio. Questi dispositivi evitano potenziali pericoli e conseguenze gravose alla linea di contatto nel caso si verifichi un corto circuito. Il loro compito è quello di estinguere il corto circuito nel minor tempo possibile e per fare questo devono essere tarati su adeguate correnti di c.c sulla linea di competenza. L'intervento tempestivo e la coordinazione di questi apparecchi è fondamentale per l'esercizio degli impianti TE. [11][12][13]

Tavola N.3 Schema unifilare di potenza



La misura della corrente, della tensione e dell'energia erogata dalla SSE sugli impianti di trazione è effettuata da un sistema multifunzione di misura a 3 kV installato all'interno del locale misure. Tale apparecchiatura acquisisce i segnali attraverso un cavo in fibra ottica, da un trasduttore voltmetrico (collegato, attraverso un sezionatore unipolare, alla sbarra positiva e, francamente, alla sbarra negativa) e da un trasduttore amperometrico (inserito sulla sbarra negativa).

I dispositivi di protezione amperometrici e voltmetrici provvedono alla rilevazione di un guasto nella tratta di linea di loro competenza, in seguito viene comandata l'apertura degli interruttori extrarapidi in maniera che il guasto non venga alimentato per un tempo troppo lungo che potrebbe risultare pericoloso per la linea e per l'ambiente circostante.

I dispositivi di protezione presenti sono:

- Protezione di massima corrente 50-51 (protezione amperometrica)
- Protezione di minima tensione 80 (protezione voltmetricica)
- Sistema di asservimento ASDE3

Tutti i dispositivi sono inseriti sia sul binario pari che su quello dispari, gli schemi che rappresentano in maniera semplificata l'architettura sono riportati di seguito:

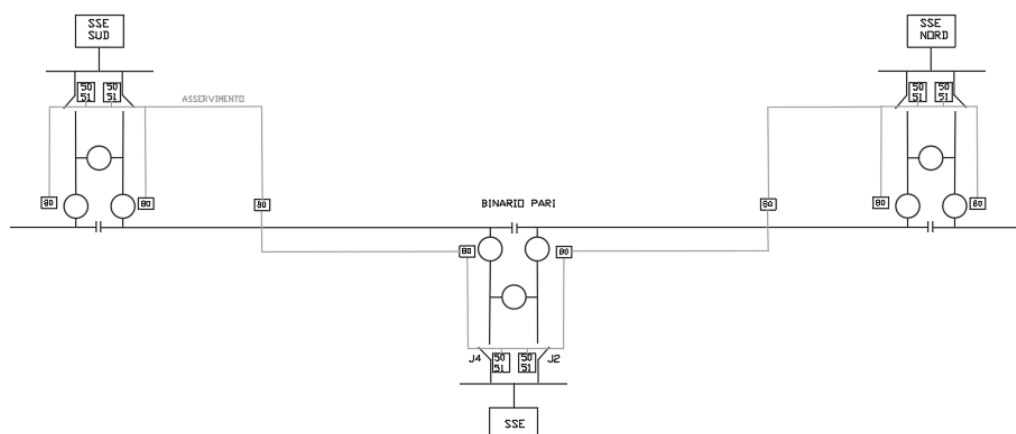


Figura 4.10 Schema di linea (binario pari)

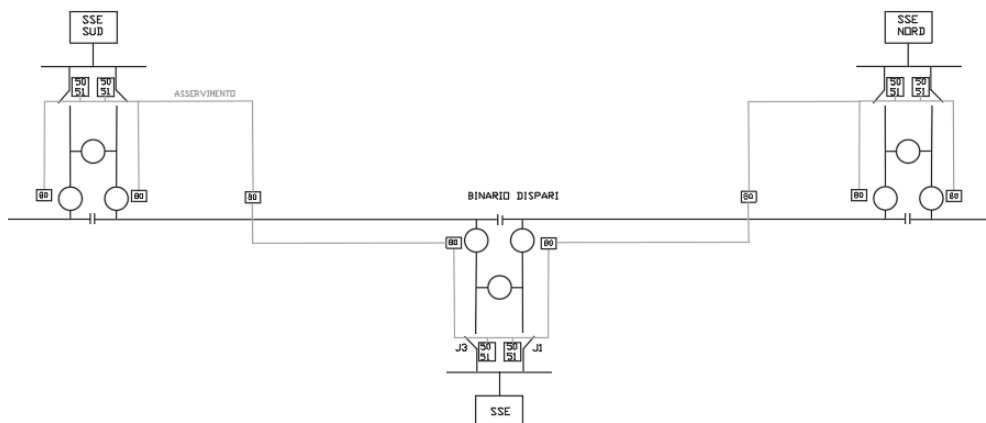


Figura 4.11 Schema di linea (binario dispari)

La taratura degli interruttori extrarapidi si divide in due tipologie: taratura alta e taratura bassa. La prima è relativa al caso di contatto AT del sistema ASDE3 chiuso, quindi quando il sistema di asservimento funziona correttamente, il funzionamento è ad “asservimento incluso” e la corrente telefonica è instaurata nel modo corretto. Le soglie di intervento in questo modello di funzionamento possono consentire un passaggio di corrente maggiore, evitando scatti intempestivi degli extrarapidi in condizioni di sovraccarico. Il riferimento per l’intervento è basato sulla rilevazione degli RV a metà tratta, quindi una protezione voltamperometrica.

Nel caso in cui il sistema ASDE3 sia aperto e in mancanza di almeno una delle condizioni precedenti si imposta la taratura bassa. Questa è di tipo puramente amperometrico ed è una taratura delle protezioni in condizioni anomale e non di ordinario funzionamento.

È comunque impostata una taratura degli interruttori extrarapidi di emergenza, nel caso in cui ci fossero delle anomalie importanti tanto da non far funzionare l’intero sistema di connessioni o asservimento, il valore di emergenza è impostato a 5000A.

Analisi tipologia di cortocircuiti

Ci sono tre tipologie di cortocircuito che possono verificarsi all'interno della tratta di un sistema ferroviario, sulla linea di contatto si possono riscontrare cortocircuiti:

- A rotaia (franco): nel caso avvenga un contatto diretto tra il bonario e la LdC.
- A circuito di protezione (franco): la LdC viene in contatto direttamente con il circuito di protezione.
- Cedimento di isolatore: l'isolamento della LdC subisce una scarica elettrica.

In seguito si farà riferimento al terzo caso, ovvero il cedimento dell'isolamento, in quanto è la circostanza più gravosa per il sistema di protezione, dove circolano correnti di cortocircuito più basse rispetto ai primi due casi.




















Schematizzazione linea di interesse

In seguito viene riportata la schematizzazione della linea di interesse, in cui verrà posta particolare attenzione alla sottostazione intermedia posizionata sulla finestra a circa metà della galleria. Lo schema unifilare descrive i dispositivi e le apparecchiature presenti in sottostazione, tramite i dati forniti da RFI riusciremo a calcolare i valori di eventuali correnti di cortocircuito e di conseguenza il valore di taratura di corrente degli interruttori extrarapidi presenti.

La legenda permette di leggere in maniera più agevole lo schema, riconoscendo i vari componenti secondo dei codici o simboli generali di una tratta TE.

Tavola N.4 Tratta di linea di interesse

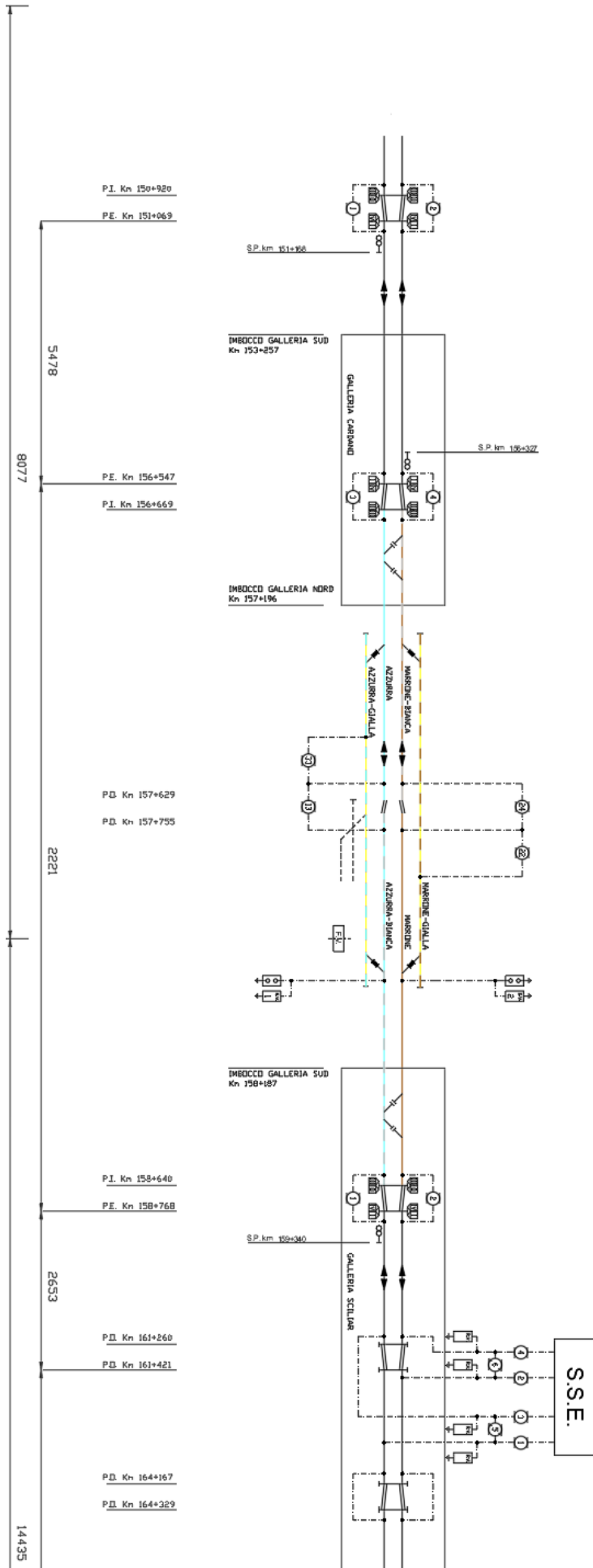
LEGENDA

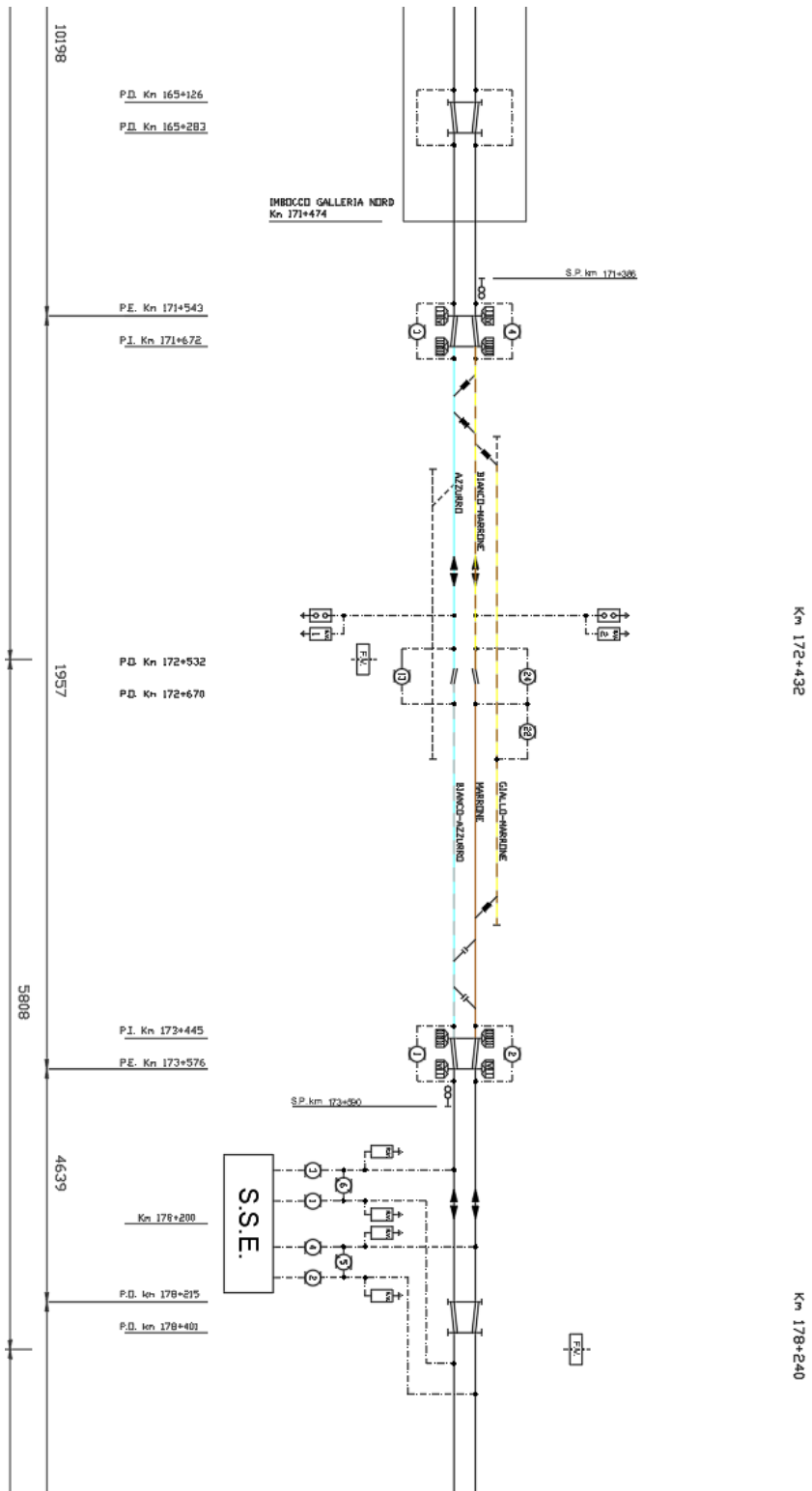
	Isolatore di sezione
	Sezionamento a spazio d'aria nelle comunicazioni pari-dispari
	Sezionamento ai portali estremi di stazione
	Sezionamento intermedio di stazione
	Sezionatore manuale
	Sezionatore motorizzato
	Sezionatore telecomandato
	Sezionatore automatico motorizzato
	Sezionatore automatico telecomandato
	Sezionatore normalmente aperto
	Scaricatore
	Relè Voltmetrico
	Dispensore di terra
	Commutatore con lama di terra
	Binari elettrificati
	Binari non elettrificati
	Linee di alimentazione
A	Lunghezza binari di corsa elettrificati
B	Lunghezza binari secondari elettrificati
C	Lunghezza alimentatori aerei
P.E.	Portale esterno sezionamento estremo di stazione
P.I.	Portale interno sezionamento estremo di stazione
P.□.	Portale sezionamento
	Numerazione portali in entrata
	Numerazione portali in uscita

Km 149+919

Km 157+997

Km 161+329





Schemi equivalenti parametri elettrici

In figura è rappresentato lo schema elettrico equivalente (semplificato) della tratta presa in esame.

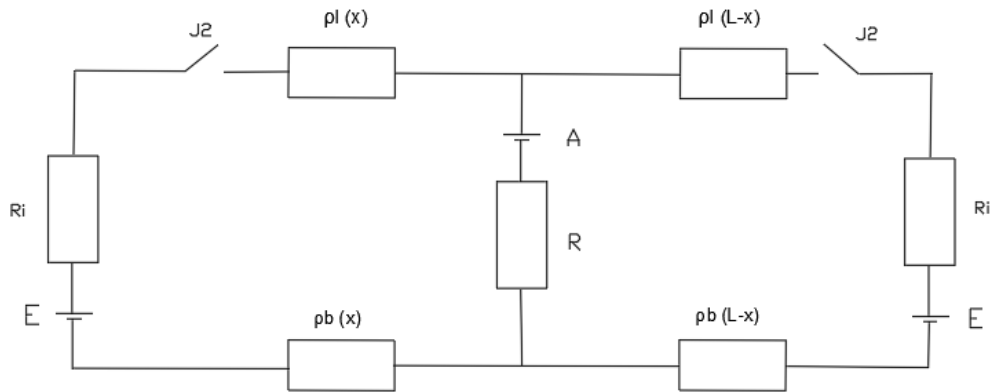


Figura 4.12 Schema equivalente semplificato

- E: Tensione a vuoto della sottostazione, **E = 3600V**.
- Ri: resistenza interna della sottostazione nel caso in cui funzioni un solo gruppo (condizione più sfavorevole), **Ri = 0.2 Ω**.
- R: resistenza di guasto, **R = 0.15 Ω**.
- A: tensione nel punto di guasto trovata sperimentalmente, **A = 400 V**.
- ρl: resistenza per chilometro della linea di contatto, nel caso in esame le condutture di contatto hanno una sezione $S = 440 \text{ mm}^2$, $\rho l = \frac{18}{S \cdot Kc} = 0.044 \frac{\Omega}{km}$.
- Kc: coefficiente di usura della linea di contatto, **Kc = 0.9375**.

- ρ_b : resistenza per chilometro del binario, $\rho_b = 0.01175 \frac{\Omega}{km}$.
- x : distanza del punto di guasto dalla sottostazione più a sud.
- J2: interruttori extrarapidi (porzione di linea pari).
- L: lunghezza della linea compresa tra le due sottostazioni.

Questa rappresentazione schematica è valida per qualsiasi tratta alimentata da due sottostazioni in cui sono presenti degli interruttori extrarapidi. Nello schema bisognerebbe prendere in considerazione anche le correnti derivanti dalle SSE e dai binari limitrofi, ma in questo caso sono state trascurate. Lo studio seguente non perde di generalità poiché le correnti nel caso reale sarebbero comunque più elevate di quelle ottenute nel caso semplificato, così facendo si realizza un margine di sicurezza più ampio per le protezioni della linea.

Calcolo taratura bassa degli interruttori extrarapidi

Protezione di tipo amperometrico senza asservimento. Per primo verrà preso in esame l'interruttore extrarapido J1 che alimenta il binario dispari della tratta compresa tra sottostazione di galleria e la successiva sottostazione a Nord. La linea di contatto è in rame con sezione di 440 mm^2 e la lunghezza della linea interessata è di circa 16901 m.

Perché la protezione sia garantita è necessario che scattino entrambi gli interruttori che alimentano la stessa linea, in questo caso J1 della sottostazione intermedia e J3 della SSE Nord.

Esistono due condizioni diverse da soddisfare per qualsiasi punto in cui si possa verificare un guasto:

1. Una volta rilevato un guasto deve scattare almeno un interruttore extrarapido, la situazione più sfavorevole si ha quando il guasto si verifica al centro della tratta controllata e con entrambi gli interruttori che alimentano il guasto stesso.

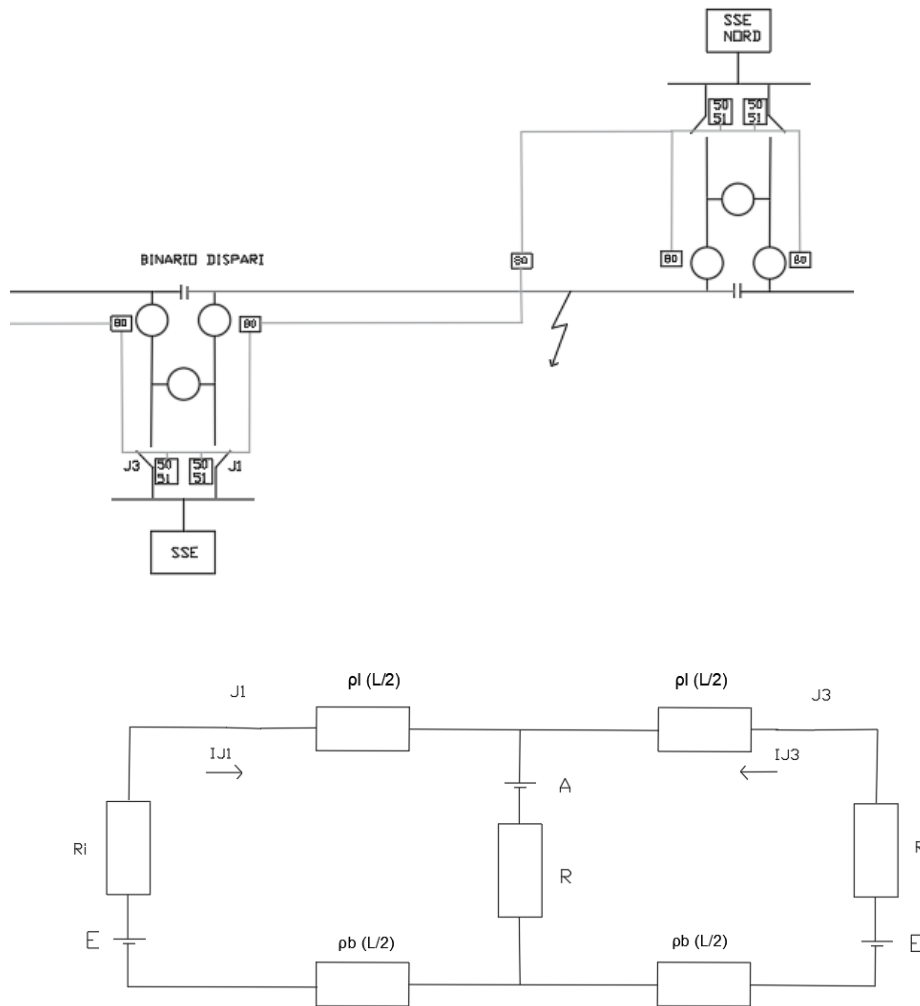


Figura 4.13 Rappresentazione corto circuito di tipo 1

$$I_{cc} = \frac{E - A}{R_i + \rho_l(L/2) + \rho_b(L/2) + R}$$

2. Dopo che un interruttore è scattato è necessario che scatti anche l'altro, in questo caso la posizione di guasto più sfavorevole si trova all'estremità di una tratta con un interruttore aperto:

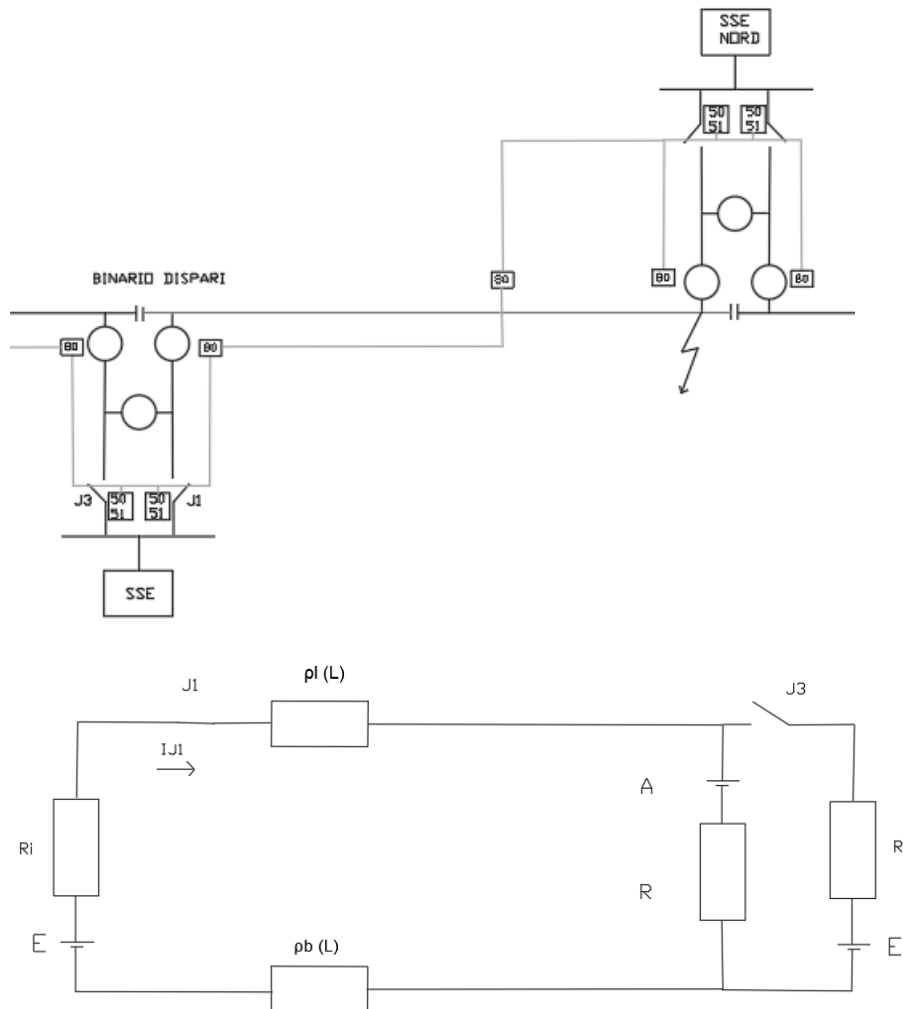


Figura 4.14 Rappresentazione schematica corto circuito di tipo 2

$$I_{cc} = \frac{E - A}{R_i + \rho_l(L) + \rho_b(L) + R}$$

La condizione più sfavorevole è quella da assegnare come taratura bassa dell'interruttore, nel caso in esame è facilmente dimostrabile che si tratta del secondo caso, nel quale le correnti saranno sicuramente più basse rispetto al primo.

Nella figura seguente possiamo vedere quali siano i valori indicativi di riferimento per la taratura degli interruttori a seconda della sezione della linea di contatto adottata.

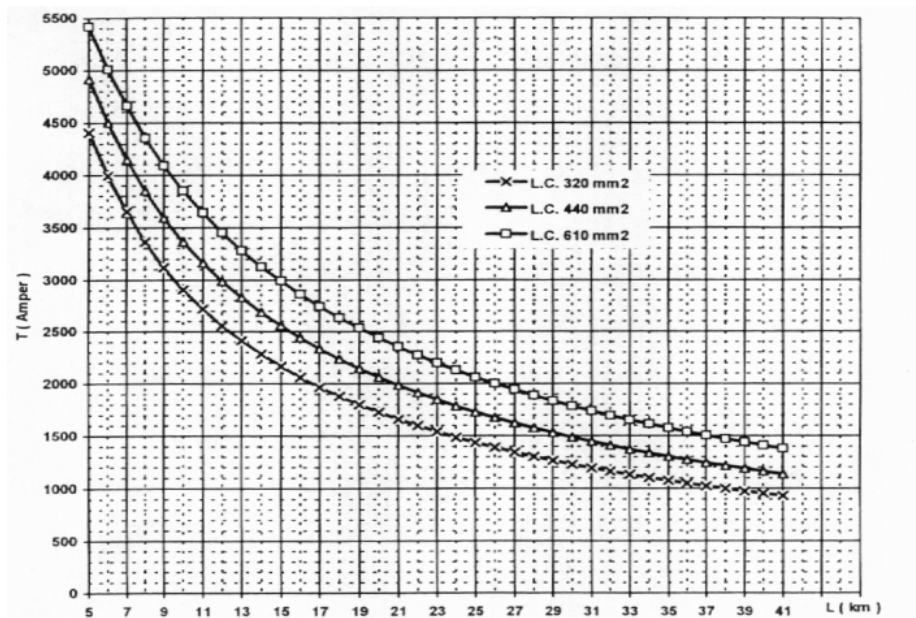


Figura 4.15 Valori limite correnti negli interruttori

Taratura bassa di corrente interruttore extrarapido J1

È quindi possibile procedere con il calcolo della corrente di taratura bassa dell'interruttore J1 che controlla la porzione di linea dispari verso Nord di lunghezza $L = 16901$ m.

$$\begin{aligned} Tb(J1) &= \frac{E - A}{Ri + \rho l(L) + \rho b(L) + R} \\ &= \frac{3600 - 400}{0.2 + 0.044 * 16.901 + 0.01175 * 16.901 + 0.15} = \\ &= 2476.34 \cong \mathbf{2500 A} \end{aligned}$$

Taratura bassa di corrente interruttore extrarapido J2

La tratta di linea di competenza dell'interruttore extrarapido J2 è la stessa di quella di J1 solo che nella parte di binario pari. Le caratteristiche elettriche sono le medesime, quindi la taratura bassa dell'interruttore J2 sarà uguale a quella di J1.

$$Tb(J2) = Tb(J1) = \mathbf{2500 A}$$

Taratura bassa di corrente interruttore extrarapido J3

La tratta di competenza dell'interruttore J3 va dalla sottostazione di galleria fino alla sottostazione Sud, in protezione del binario dispari. I calcoli per trovare il valore della taratura bassa sono gli stessi fatti in precedenza, l'unica differenza risiede nella diversa lunghezza della linea da coprire, infatti in questo caso $L = 11420$ m.

$$\begin{aligned}
 Tb(J3) &= \frac{E - A}{Ri + \rho l(L) + \rho b(L) + R} \\
 &= \frac{3600 - 400}{0.2 + 0.044 * 11.42 + 0.01175 * 11.42 + 0.15} = \\
 &= 3243.25 \cong \mathbf{3200 A}
 \end{aligned}$$

Taratura bassa di corrente interruttore extrarapido J4

Questo interruttore protegge la stessa tratta di linea del J3 ma nella parte di binario pari. Per questo motivo come visto in precedenza i valori di taratura bassa sono gli stessi dell'interruttore J3.

$$Tb(J4) = Tb(J3) = \mathbf{3200 A}$$

Taratura alta di corrente interruttore extrarapido J1 e J2

Come si è visto i livelli di taratura dei due interruttori sulla stessa tratta sono gli stessi, anche su uno controlla la porzione pari e l'altro quella dispari. Per il calcolo dei valori di taratura alta possiamo considerare ancora una volta lo stesso valore sia sull'interruttore J1 che sull'interruttore J2. I valori di corrente della taratura alta saranno più elevati rispetto a quelli della bassa perché la combinazione dei sistemi di protezione (voltmetrica, amperometrica e asservimento) permettono un maggior controllo sulla linea. Con l'asservimento una volta che un interruttore extrarapido è comandato in apertura automaticamente viene aperto anche l'altro. La protezione voltmetrica misura la caduta di tensione sulla linea, infatti in caso di cortocircuito le correnti circolanti provocheranno una caduta di tensione che verrà segnalata dai relè di minima tensione posizionati a circa metà della tratta da proteggere. Tramite il sistema ASDE3 questi provocheranno l'intervento degli interruttori extrarapidi in sottostazione. Con l'asservimento la condizione di guasto più sfavorevole sarà

quella che si trova a metà della tratta, quindi la condizione 1. La tratta che deve essere controllata dall'interruttore extrarapido non sarà più l'intera lunghezza della linea ma la porzione che arriva all'RV asservito di metà tratta. La formula per il calcolo della taratura alta ($L_{SSE-RV} \cong 8450 \text{ m}$) sarà quindi:

$$\begin{aligned}
 Ta(J1) = Ta(J2) &= \frac{E - A}{Ri + \rho l(L - dRV) + \rho b(L - dRV) + 2R} \\
 &= \frac{3600 - 400}{0.2 + 0.044 * 8.45 + 0.01175 * 8.45 + 2 * 0.15} = \\
 &= 3295.18 \cong \mathbf{3300 \text{ A}}
 \end{aligned}$$

Taratura alta di corrente interruttore extrarapido J3 e J4

Questa coppia di interruttori fa riferimento alla linea che va dalla sottostazione di galleria a quella più a Sud. Anche in questo caso il calcolo della taratura alta sarà equivalente sia per l'interruttore che controlla il binario pari, sia per quello che protegge il binario dispari. I parametri elettrici sono gli stessi visti in precedenza, la differenza risiede nella lunghezza della linea da controllare ($L_{SSE-RV} \cong 5710 \text{ m}$).

$$\begin{aligned}
 Ta(J3) = Ta(J4) &= \frac{E - A}{Ri + \rho l(L - dRV) + \rho b(L - dRV) + 2R} \\
 &= \frac{3600 - 400}{0.2 + 0.044 * 5.71 + 0.01175 * 5.71 + 2 * 0.15} = \\
 &= 3910.39 \cong \mathbf{3900 \text{ A}}
 \end{aligned}$$

4.4. Seconda finestra intermedia

Il terzo punto di interesse è un'altra galleria che funge da finestra di sicurezza per la galleria principale. In questo caso non sono presenti sottostazioni di alimentazione quindi le apparecchiature non dovranno essere affiancate ad alcune già presenti. Una nota di interesse è data dall'alimentazione che dev'essere fornita ai dispositivi del sistema, questa infatti deve provenire da due fonti di alimentazione per assicurare il funzionamento dell'impianto anche in caso di guasto di una delle due. In questa postazione una fonte di alimentazione sarà data dalla cabina di media tensione già presente in loco, l'altra dovrà provenire da un gruppo ausiliario che dovrà essere trasportato in un secondo momento.



Figura 4.16 Tunnel trasversale verso la galleria

Questa finestra di collegamento è lunga circa 400 metri. Al suo interno si verificano ingenti spostamenti d'aria dovuti al passaggio dei mezzi ferroviari, bisogna prestare particolare attenzione a questo fenomeno perché potrebbe causare dei problemi alle apparecchiature, è già stato causa di guasti per le porte di chiusura alla fine della galleria, infatti dopo poche settimane dalla loro installazione sono state ritrovate distrutte in mezzo ai binari proprio a causa dello spostamento d'aria insostenibile

dai cardini. All'interno della galleria verranno posizionate le unità di comando e controllo secondarie (UCS) relative ai DMBC, mentre proprio i DMBC e i quadri di controllo e continuità (QCC) saranno sistemati all'interno di una nicchia laterale della galleria di fianco ai binari. Il quadro di soccorso (QS) sarà invece piazzato prima dell'ingresso in galleria.

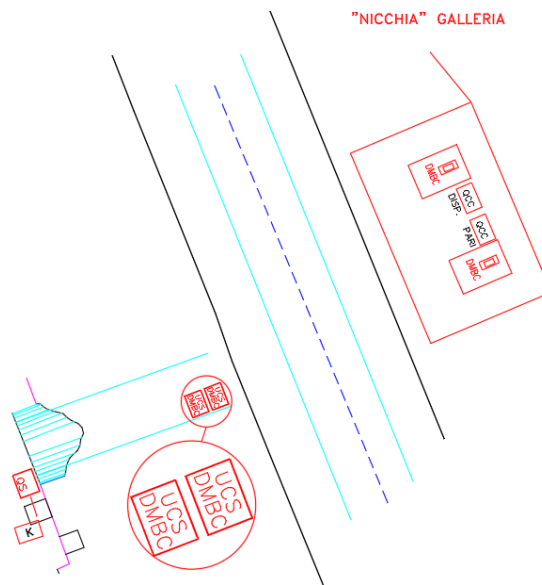


Figura 4.17 Disposizione apparecchiature in galleria

Nel piazzale esterno alla galleria troviamo una cabina di media tensione per l'alimentazione primaria, la seconda alimentazione dovrà essere portata esternamente e verrà effettuata tramite un gruppo indipendente.

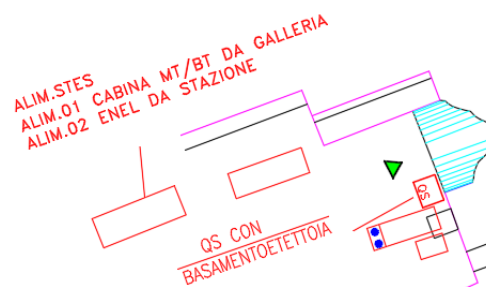
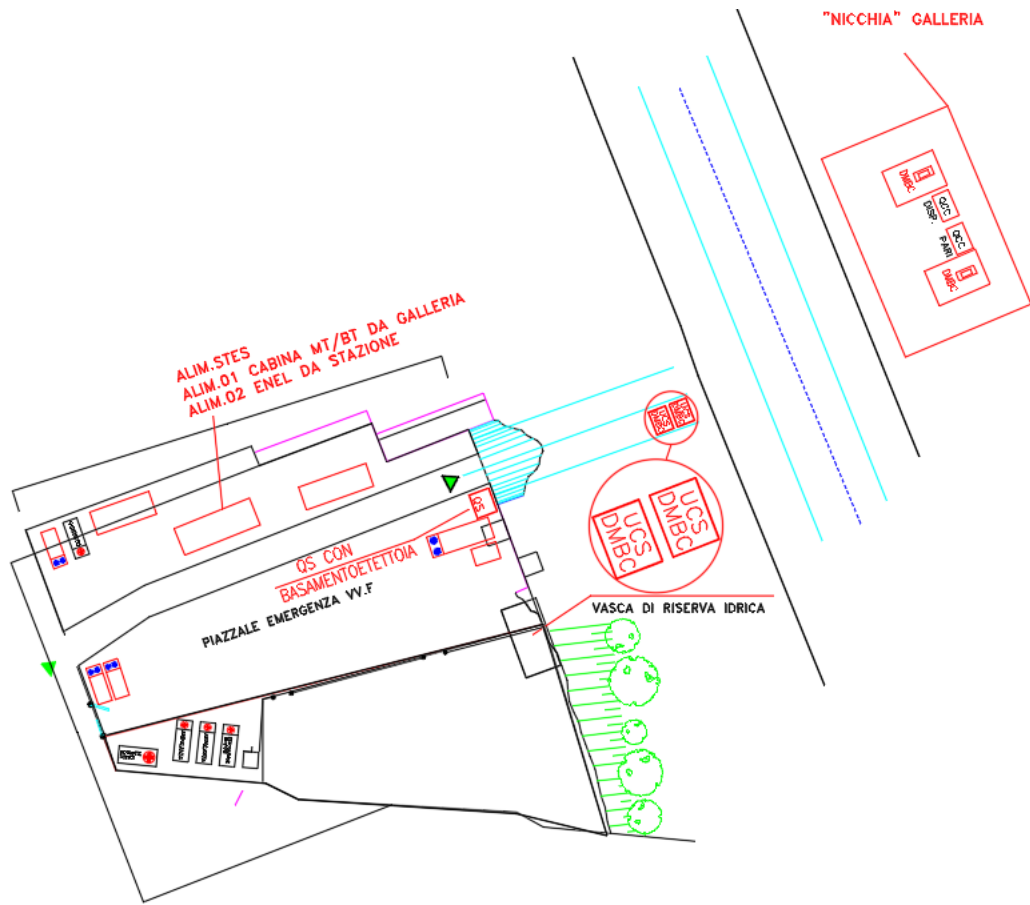


Figura 4.18 Disposizione apparecchiature sul piazzale

Tavola N.5 Seconda finestra intermedia di galleria



4.5. Imbocco Sud

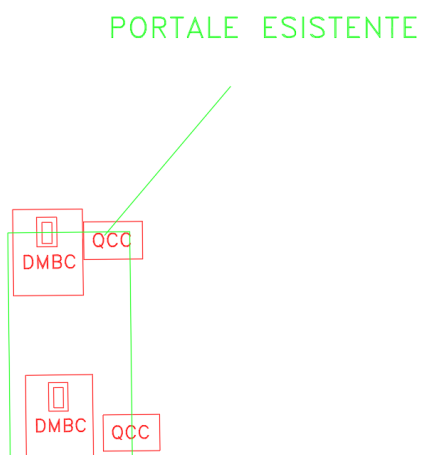
Imbocco sud galleria

L'ultimo luogo d'interesse è l'imbocco sud di galleria, qui lo spazio dove posizionare i dispositivi di messa a terra e i nuovi sezionatori è stato individuato nel portale TE posizionato subito dopo l'imbocco di galleria. Essendo la linea già in funzione ed essendo presenti sul portale le apparecchiature di sospensione e i sezionatori di linea sarà necessario lo spostamento di alcuni di essi per permettere il posizionamento dei nuovi dispositivi.



Figura 4.19 Portale TE su cui montare i DMBC

I due sezionatori bipolari di corto circuito e i quadri di controllo di continuità saranno posizionati sul portale TE esistente secondo la figura seguente:

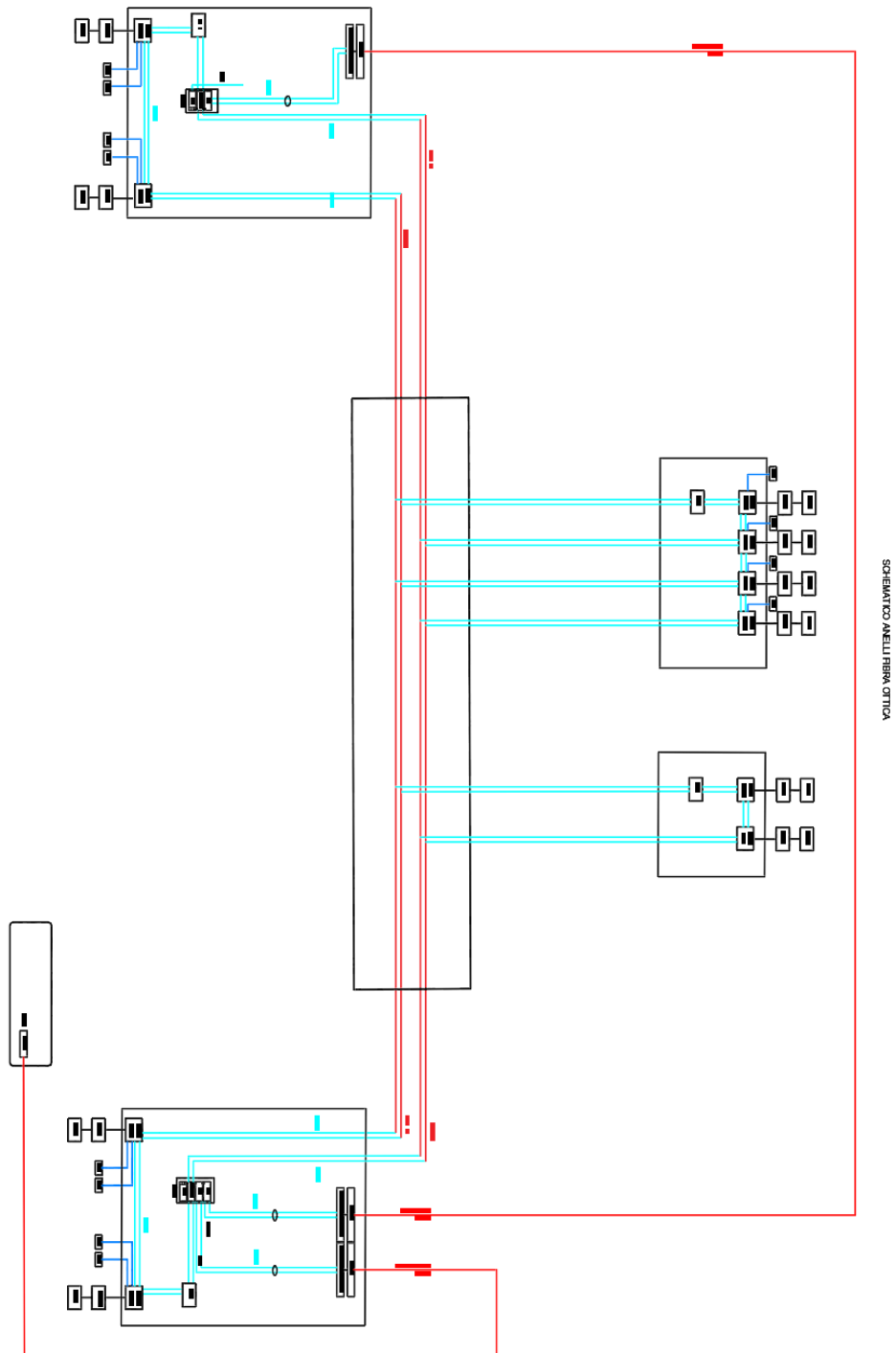


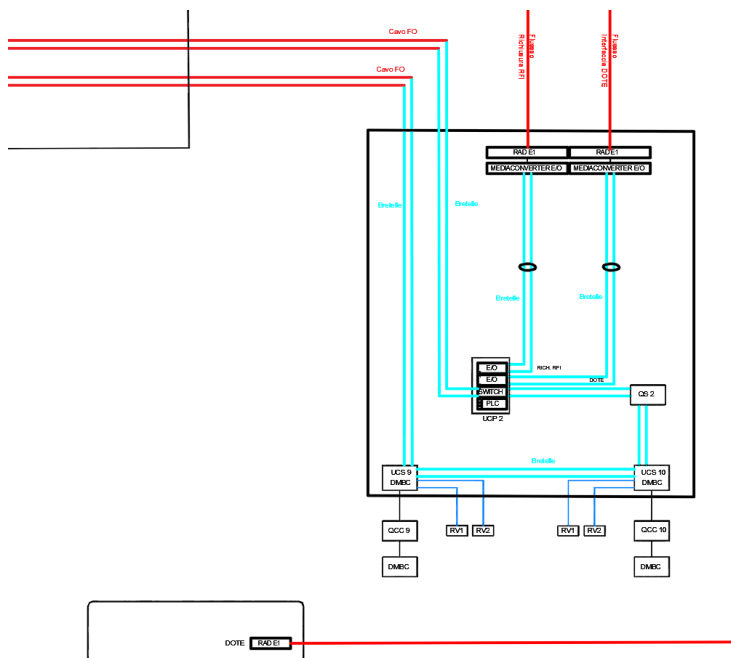
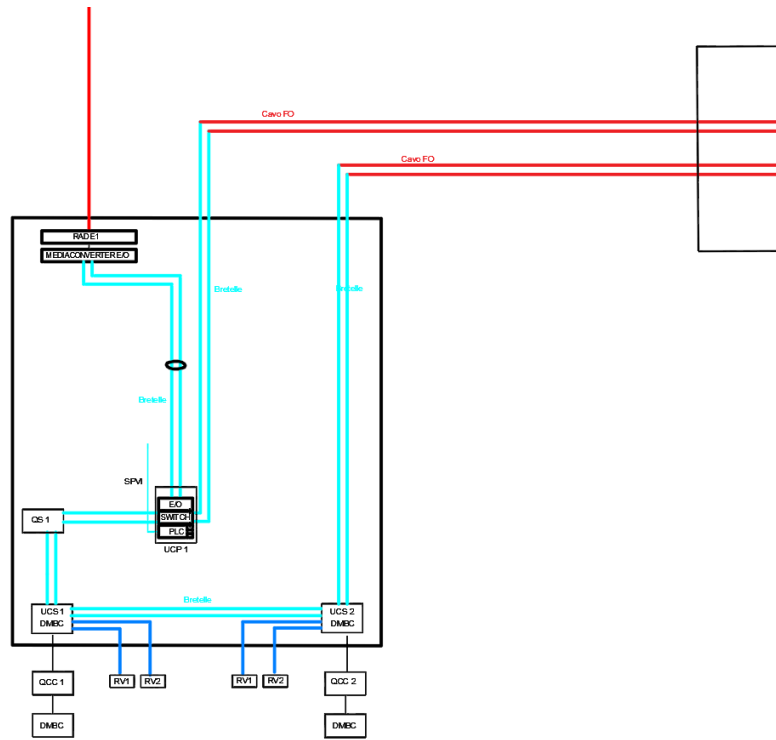
Lo spazio libero nel piazzale sarà sfruttato per inserire il resto dei dispositivi necessari, come mostrato nella Tavola N.6

4.6. Rete comunicazioni

In questo ultimo paragrafo del progetto viene rappresentata la rete di comunicazioni per il sistema STES in esame. Tutti i dispositivi di comando e controllo, sia principali che secondari, devono essere interconnessi tra loro tramite un anello di telecomunicazioni, in modo che riescano a comunicare gli uni con gli altri. Questa rete di comunicazione è realizzata tramite un anello in fibra ottica che collega tutte le apparecchiature. La rete di telecomunicazioni si interfaccia anche con il Sistema di Supervisione SPVI e con il sistema DOTE. Nella tavola N.7 è rappresentata l'intera connessione del sistema e il modo in cui sono interfacciati tutti i dispositivi per garantire il rispetto della normativa e della sicurezza.

Tavola N.7 Rete di comunicazione





CONCLUSIONI

La progettazione definita in questo elaborato è stata visionata e approvata dai responsabili dell'area di Ingegneria di RFI e sarà presa in carico dalla ditta vincitrice dell'appalto dei lavori, questa realizzerà poi il Progetto Esecutivo in cui descriverà nel dettaglio ogni aspetto da definire. Tutti i dispositivi e le apparecchiature utili alla realizzazione del sistema STES sono state esaminate sia nel loro dimensionamento che nel loro funzionamento. Una volta che il sistema sarà realizzato contribuirà al miglioramento della sicurezza in galleria e ridurrà la probabilità di conseguenze gravi nel caso si verificano degli incidenti, salvaguardando sia i passeggeri dei mezzi ferroviari che gli operatori di soccorso. Questo sottolinea l'impegno nell'attuazione del progresso tecnologico e di miglioramento della sicurezza che la società si impegna a realizzare, garantendo un'affidabilità sempre migliore delle proprie strutture e servizi.

Bibliografia-Sitografia

- [1] Chi siamo, <http://www.rfi.it>
- [2] Governance, <http://www.rfi.it>
- [3] Fornitori e gare, <http://www.rfi.it>
- [4] Turri R., “Sottostazioni elettriche per l’alimentazione di impianti TE in corrente continua”, Università degli Studi di Padova, 2006
- [5] “RFI DTC STS ENE SP IFS TE 210 A – Capitolato tecnico per la costruzione delle linee aeree di contatto e di alimentazione a 3 kVcc”, epodweb.rfi.it
- [6] RFI, “MANUALE DIDATTICO PER LA MANUTENZIONE LINEA DI CONTATTO 3 KVCC – COSTRUZIONE E MANUTENZIONE”, 2007
- [7] “Decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 28 ottobre 2005, - Sicurezza nelle gallerie ferroviarie”, 2006
- [8] Spalvieri C., “Sistema di sezionamento e messa a terra in sicurezza della linea di contatto (MATS)”, Bologna, 2015
- [9] “RFI DPRIM STF IFS TE 146 Sper – Dispositivo motorizzato bipolare di corto circuito per il sistema di trazione a 3kVcc”, epodweb.rfi.it
- [10] “RFI DTC ST E SP IFS TE 120 A – Quadro per il controllo della continuità del collegamento tra linea di contatto/feeder e rotaia”. epodweb.rfi.it
- [11] “RFI DTC ST E SP IFS TE 150 A – Sistema per il sezionamento della linea di contatto e messa a terra di sicurezza per gallerie ferroviarie”, epodweb.rfi.it
- [12] Oliviero F., “Schematico disposizione apparecchiature STES”, 2021
- [13] Minoia A., “Corso di Trazione Elettrica – Calcolo delle linee elettriche in corrente continua”, Università degli Studi di Pavia

[14] Turri R, “Dimensionamento delle linee di contatto”, Università degli Studi di Padova, 2016

[15] Marcazzan E., “Studio e progettazione di un intervento di rinnovo tecnologico di sottostazione elettrica (SSE) ferroviaria di conversione”, Università degli studi di Padova, 2021

[16] Turri R., Trentin E., Guarda F., “Guasti di cortocircuito nei sistemi di trazione a corrente continua”, Università degli Studi di Padova, 2005

[17] Ferrovie dello Stato Italiane, “Condizioni Generali di Contratto per gli appalti di lavori delle Società del Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane”, 2017