

Il Responsabile Sistema di Gestione per la Sicurezza

Trazione Elettrica

01/10/2025

Luigi Castaldi

Trazione Elettrica: Generalità

TRAZIONE ELETTRICA (TE): Col termine "**Trazione**" si vuole indicare il complesso di fenomeni, apparecchiature ed impianti che concorrono a provocare il movimento dei veicoli; con l'attributo "**elettrica**" viene specificato il tipo di energia utilizzata per la trazione stessa.

IMPIANTI FISSI DELLA TE: Quale che sia il sistema ferroviario di TE, si può in genere individuare un complesso *di impianti fissi* intermedi tra il centro di produzione/distribuzione (fornitore) dell'energia e i mezzi di trazione:

- Sottostazioni Elettriche (SSE)
- Linee di contatto (ldc) e relativo circuito di ritorno (cdr).

Durante la trattazione degli argomenti verrà tralasciata la parte di Linee Primarie in quanto di utilizzazione nell'ambito FS. In genere le alimentazioni degli impianti fissi dei Trasporti a Guida Vincolata, vengono prelevate attraverso forniture in Media Tensione (MT) in cavo.

Sottostazione Elettrica (SSE): Introduzione

Le SSE sono impianti che ricevono energia, da parte del distributore, da una o più linee trifase in MT (di norma 20kV o 9kV) e ne modificano i parametri elettrici per poter alimentare le linee di contatto e quindi i mezzi di trazione.

In alcune SSE, per permettere l'alimentazione delle Cabine di MT per l'alimentazione dei Servizi Ausiliari delle Stazioni Metropolitane, è prevista un'ulteriore rete MT interna.

Le SSE adibite a servizio Ferroviario/Metropolitano risultano essere più complesse rispetto a SSE Tramviare e filoviarie, ma con analogo principio funzionale di base.

Le SSE sono normalmente impresenziate, in quanto attraverso un sistema di supervisione, che permette il telecomando e il telecontrollo degli enti di SSE, vengono gestite da distante da un Posto Centrale Operativo (PCO) definito in alcuni casi anche Dirigenza Operativo TE (DOTE).

Sottostazione Elettrica (SSE): Generalità

Le Sottostazioni elettriche sono realizzate per garantire la più alta affidabilità e sicurezza dell'esercizio ferroviario. I relativi componenti sono realizzati in conformità alle norme per gli impianti e le apparecchiatura di trazione e alle norme vigenti per la sicurezza e la prevenzione infortuni, con particolare riferimento ai criteri da seguire per permettere, tra le altre cose, di aumentare la sicurezza del personale, impedendo la possibilità di contatti accidentali con parti in tensione.

Da quanto anticipato possiamo considerare una SSE come una Cabina Elettrica di: Trasformazione – Conversione – Distribuzione.

Trasformazione: in quanto ha il compito di modificare la tensione della corrente elettrica per renderla adatta al sistema di conversione per l'alimentazione della trazione elettrica e, in alcuni casi, per la distribuzione a livelli di tensione differenti da quelli del fornitore;

Conversione: in quanto modifica la natura della corrente da alternata (AC) a continua (DC) per l'alimentazione della trazione elettrica;

Distribuzione: in quanto dalla SSE viene effettuata, attraverso linee di interconnessione in MT, l'alimentazione di altre SSE e/o Cabine Elettriche

Pertanto la SSE è caratterizzata elettricamente da una sezione di "Media Tensione", una di "Trasformazione MT/BT", una di "Corrente continua" ed una di "Servizi ausiliari" in bassa tensione.

Sottostazione Elettrica (SSE): Telecomando

Il Posto centrale deve permettere di gestire in remoto, in comunicazione con il Posto Periferico presente nella SSE, la supervisione delle funzionalità dell'impianto stesso e la registrazione di tutte le grandezze e gli eventi significativi.

Il sistema SCADA realizzerà le seguenti principali funzioni:

- **Telecomando;**
- **Telecontrollo;**
- **Telemisure;**
- **Diagnostica apparecchiature.**

Inoltre, il sistema realizza alcune funzioni ausiliarie come la registrazione cronologica eventi e la stampa di tabulati statistici.

I controlli effettuati sono memorizzati nel data base del sistema e gestiti alla stessa stregua dei controlli normali, sia per la rappresentazione grafica sul video, sia per la presentazione, acquisizione, ecc. degli allarmi associati.

Per alcuni comandi, per esempio quelli relativi alla chiusura delle apparecchiature di SSE, il sistema verifica che i comandi stessi siano inviati rispettando le procedure e l'ordine prefissato.

I comandi non rispondenti a tali criteri sono rifiutati e di ciò verrà informato l'operatore in modo esplicito.

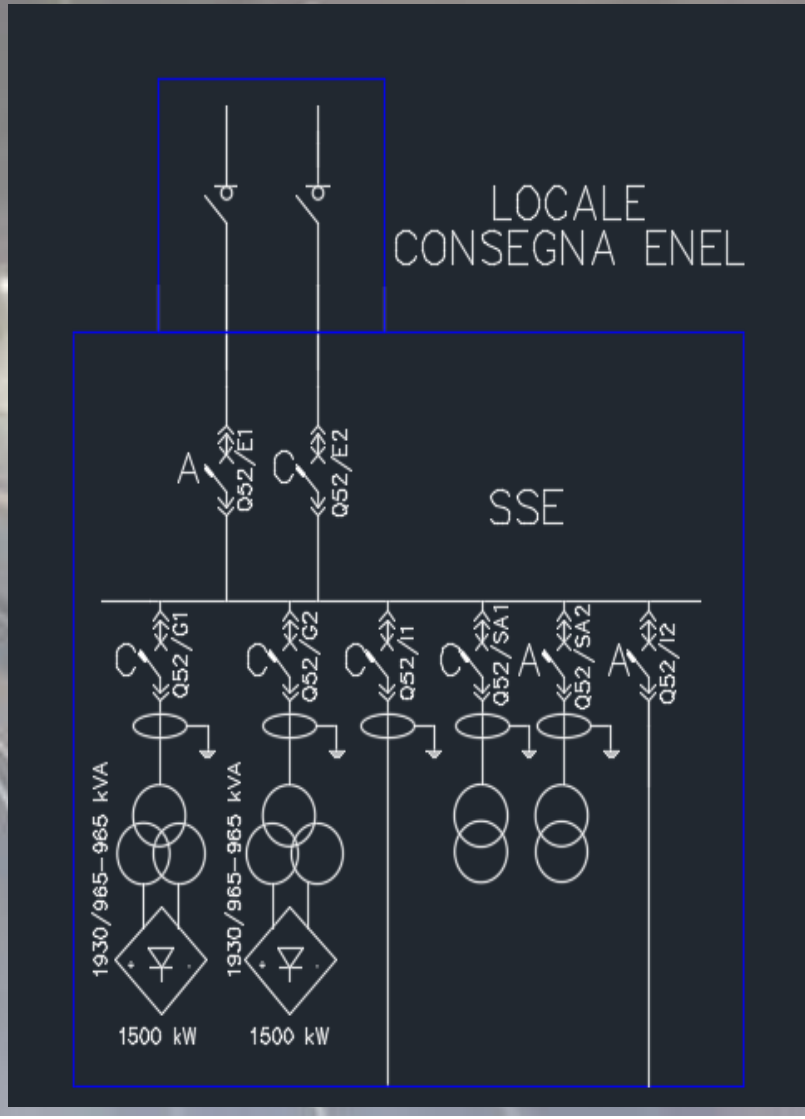
Sottostazione Elettrica (SSE): Composizione

Allo scopo di garantire la continuità operativa e la sicurezza del sistema, anche in caso di guasto di uno degli elementi fondamentali della rete MT, la maggior parte degli enti e delle linee di alimentazione sono duplicate. In modo tale da realizzare la ridondanza delle alimentazioni.

Nel nostro esempio l'alimentazione 20 kV proveniente dal locale consegna ENEL perviene in doppia linea, una di riserva all'altra, al quadro MT di SSE agli interruttori definiti di arrivo Enel Q52E1 e Q52E2.

Dal quadro di MT vengono alimentati i trasformatori di potenza (20/0,59/0,59kV) ed è quindi convertita a 750 Vcc dai gruppi raddrizzatori (1500 kW).

Le SSE sono caratterizzate, in base alla potenza necessaria, da due/tre gruppi di conversione composti da trasformatore di potenza e raddrizzatore, per l'alimentazione del sistema di trazione lato corrente continua.

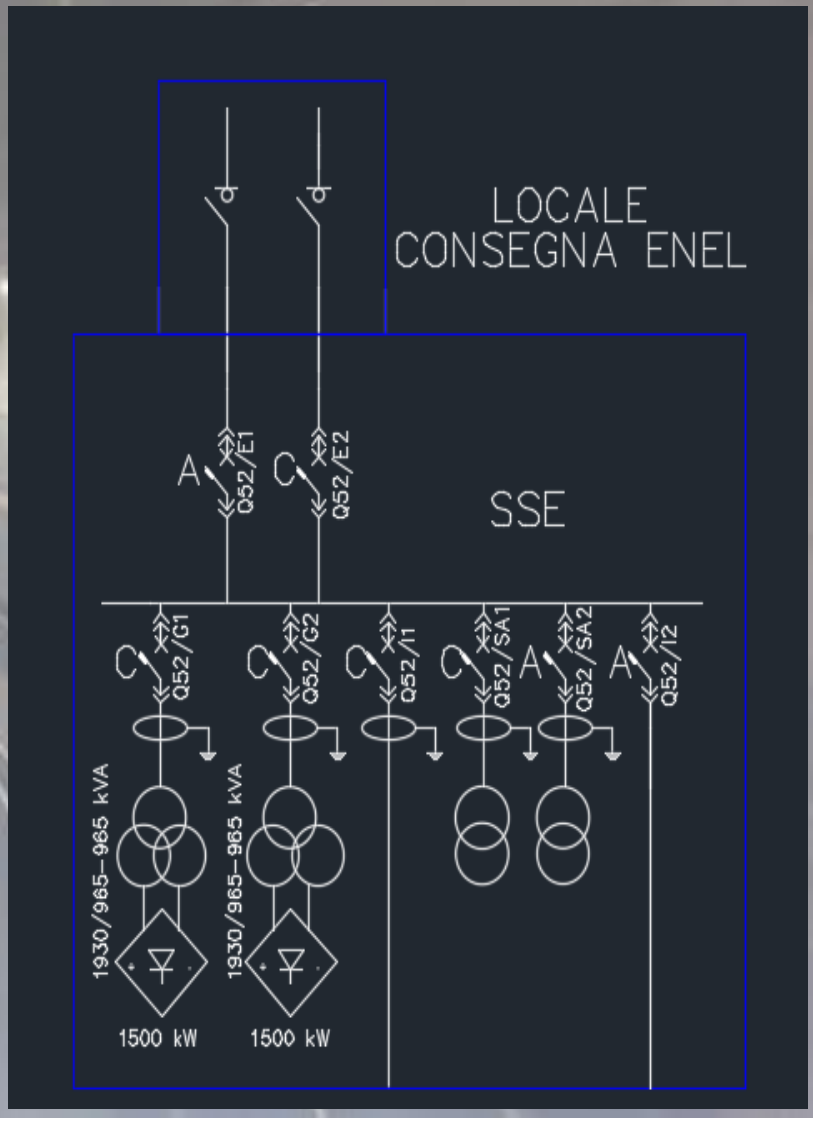


Sottostazione Elettrica (SSE): Composizione

Dal QMT, attraverso due interconnessioni, viene distribuita l'alimentazione 20kV per le cabine di stazioni adiacenti.

Sono presenti due trasformatori dei servizi ausiliari MT/BT (TR/SA1, TR/SA2), uno di riserva all'altro, per alimentare il quadro di distribuzione bt (QBT) di SSE.

Dal QBT viene derivata l'alimentazione di un alimentatore caricabatteria (400Vca/110 e 24 Vcc) necessario per l'alimentazione in continuità (no Break) delle logiche di comando e controllo e delle motorizzazioni degli enti di SSE.





Interruttori MT

Gli interruttori M.T. sono di tipo sezionabile/estraibile, con comando a distanza e con spegnimento dell'arco con gas SF6 (esafloruro di zolfo).

L' **SF6** è un gas di produzione industriale, usato nei componenti elettrici di alta e media tensione.

Il grande impiego del gas è dovuto alle sue proprietà di isolante e di interruzione della corrente, temperatura e stabilità. Inoltre, è inerte, non infiammabile e non è tossico allo stato puro.

Infine, l'elevata proprietà isolante dell'SF6 permette di ridurre significativamente le dimensioni del quadro, così che possano adeguarsi agli stretti spazi in cui devono essere inseriti.

D'altro canto, l'SF6 è un gas **serra** sintetico estremamente resistente, capace di persistere nell'atmosfera per migliaia di anni: ogni chilogrammo di SF6 equivale all'emissione di 25.200 chilogrammi di CO_2.



Interruttori MT: Protezioni MT

Gli interruttori sono dotati di protezione contro i guasti fase-fase, fase-terra e direzionali fase-terra, e sono quindi equipaggiati con un relè di protezione di massima corrente + terra, conforme alle prescrizioni riportate sulle norme specifiche vigenti.

La protezione deve assicurare le seguenti funzioni:

Relè di Massima corrente (50/51)

- ***1a Soglia Sovraccarico (51)*:** ha la funzione di proteggere la linea da eccessive richieste di carico, l'intervento è previsto ritardato per evitare scatti intempestivi e provoca l'apertura dell'ente.

- ***2a Soglia Corto circuito (50)*:** ha il compito di proteggere la linea dai corto circuiti, l'intervento è previsto ritardato per realizzare il coordinamento (selettività) degli interventi; provoca l'apertura e il blocco dell'ente interessato.

Relè direzionale contro guasti a terra (67N): ha la funzione di proteggere la linea nel caso di corto circuito tra una fase e la terra. In breve l'intervento di questa protezione è causata da una perdita di isolamento dei cavi di interconnessione o degli scomparti di media tensione. Tale protezione secondo la norma CEI 0-16 deve essere prevista tenendo conto della gestione dell'alimentazione da parte del fornitore sia a neutro isolato che a neutro compensato. L' intervento della protezione provoca l'apertura e il blocco dell'ente interessato.

Bassa Pressione SF6 (63): controlla tramite pressostati (uno per ogni polo) la pressione del gas SF6; provoca l'apertura e il blocco dell'ente interessato.

Protezioni MT - Selettività

Gli interruttori della SSE e della rete in media tensione sono equipaggiati con protezioni elettriche del tipo Relè multifunzione a microprocessore che controllano in permanenza lo stato elettrico degli elementi della rete elettrica e provocano la loro messa fuori tensione (apertura di un interruttore), quando questi elementi sono interessati da anomalie di funzionamento quali: sovraccarico, corto-circuito, cedimento dell'isolante.

Oltre al rilevamento e, quindi, all'eliminazione del guasto tempestivamente al suo manifestarsi, permettono l'individuazione e la circoscrizione della zona in cui esso si è manifestato, in maniera da ridurre al minimo i disservizi.

In seguito si descrivono le protezioni previste, mettendo in rilievo quali sono le possibili cause che determinano il loro intervento e soprattutto la metodologia utilizzata per realizzarne la selettività.

Un sistema di selettività consiste nell'isolare il più rapidamente possibile la parte di rete interessata dal guasto, lasciando in esercizio tutta la parte sana della rete.

Manutenzione: Generalità

Creare un piano di manutenzione per un impianto elettrico non è solo una buona pratica, è anche un obbligo normativo in Italia, secondo il Decreto 37/08, il Dlgs 81/08 e il DPR 462/01. Si elencano i punti principali per la realizzazione di un PDM.

1. **Analisi dell'impianto:** Mappatura di tutti i componenti: quadri elettrici, interruttori MT/BT, impianto di terra, illuminazione, UPS, ecc. Identificazione dei punti critici e delle apparecchiature soggette a maggiore usura.
2. **Frequenza degli interventi:** Definizione per ogni ente e per ogni operazione manutentiva la frequenza degli interventi. Generalmente: giornaliera, quindicinale, mensile, trimestrale, semestrale, annuale, etc.
3. **Procedure operative:** Redazione di istruzioni dettagliate per ogni tipo di intervento, con riferimento alle norme CEI 11-27 per lavori sotto tensione, specificando tra l'altro chi può accedere ai quadri e chi può eseguire le verifiche.
4. **Personale qualificato:** Gli interventi debbono essere affidati a tecnici abilitati. Formazione del personale interno per le operazioni di primo livello.
5. **Documentazione e tracciabilità:** Registrazione di ogni intervento su un registro digitale o cartaceo. Conservare i rapporti di verifica, certificazioni e manuali tecnici.
6. **Normativa di riferimento:** Guida CEI sulla manutenzione MT/BT. Manuali PDF con riferimenti normativi e operativi

Interruttori MT: Manutenzione

La manutenzione degli interruttori di media tensione (MT) è fondamentale per garantire la sicurezza e l'affidabilità degli impianti elettrici. In elenco alcune delle operazioni principali che vengono eseguite:

- **Ispezione visiva**: verifica dello stato esterno, presenza di segni di usura, corrosione o perdite;
- **Pulizia**: rimozione di polvere, residui e contaminanti da contatti e isolatori;
- **Controllo serraggi**: verifica e serraggio dei collegamenti bullonati;
- **Misure elettriche**: controllo dell'isolamento, resistenza di contatto e prove di funzionamento;
- **Aggiornamento componenti**: sostituzione di parti usurate o fuori produzione;
- **Verifica funzionale manovre**: test di apertura/chiusura dell'interruttore e controllo dei meccanismi di manovra;
- **Verifica funzionale**: test di simulazione segnalazioni, allarmi e misure per la verifica in locale e in distante delle stesse;
- **Verifica funzionale protezioni**: verifica strumentale intervento protezioni con iniezione di corrente di guasto e verifica tempi di apertura;
- **Documentazione:** registrazione dei valori misurati, annotazione di eventuali anomalie, aggiornamento del piano di manutenzione.

LA MANUTENZIONE

Nei luoghi di lavoro la manutenzione è obbligatoria ai sensi del D.Lgs 81/08 e del Codice Civile all'articolo 2087 "Tutela delle condizioni di lavoro".

Norma CEI 78-17 (luglio 2015) Manutenzione delle cabine elettriche MT/MT e MT/BT dei clienti/utenti finali

3.3 Manutentore

Persona fisica o giuridica che ha la responsabilità complessiva della manutenzione; in particolare degli aspetti di sicurezza, tecnici e gestionali/amministrativi. Il manutentore può eseguire o fare eseguire, dal proprio personale o da terzi, operazioni manutentive manuali e/o strumentali sugli impianti di cabine MT/MT e/o MT/BT.

3.12 Addetti alla manutenzione: Persone alle dipendenze (o incaricate) del (dal) manutentore che eseguono le operazioni manutentive, manuali e/o strumentali, degli impianti di cabine MT/MT e/o MT/BT.

3.4 Persona designata alla conduzione dell'impianto elettrico (Responsabile dell'impianto - RI): Persona responsabile, durante l'attività di manutenzione, della sicurezza dell'impianto elettrico.

3.5 Persona preposta alla conduzione dell'attività manutentiva (PL): Persona designata alla responsabilità della conduzione operativa dell'attività manutentiva sul posto di lavoro.

3.6 Persona esperta in ambito elettrico (PES): Persona con istruzione, conoscenza ed esperienza rilevanti tali da consentirle di analizzare i rischi e di evitare i pericoli che l'elettricità può creare.

3.7 Persona avvertita in ambito elettrico (PAV): Persona adeguatamente avvisata da persone esperte per metterla in grado di evitare i pericoli che l'elettricità può creare.

3.8 Persona comune (PEC): Persona non esperta e non avvertita in ambito elettrico.

3.9 Persona idonea: Persona esperta o avvertita che è autorizzata ad eseguire manutenzioni sotto tensione in BT.

Cenni norme di sicurezza- Lavori Elettrici

La norma CEI 11-27 “Lavori su Impianti Elettrici” è la norma tecnica di riferimento per tutte le attività di lavoro sugli impianti elettrici che sono normati sul D.Lgs. 81/2008 in particolare dagli Artt. 82 (lavori sotto tensione e 83 lavori in prossimità di parti attive e ne rimandano l’applicazione. Si applica alle operazioni e alle attività di lavoro sugli impianti elettrici e a quelle ad essi connesse a alle operazioni vicino ad essi.

La CEI 11-27 si applica per impianti eserciti a qualunque livello di tensione – fissi, mobili, permanenti e provvisori- e destinati alla produzione, alla trasmissione, alla trasformazione, alla distribuzione e all’utilizzazione dell’energia elettrica.

La CEI 11-27 fornisce le prescrizioni di sicurezza per attività sugli impianti elettrici sopra descritte e si applica alle procedure di lavoro e a quelle di esercizio durante i lavori e la manutenzione.

La norma non si applica a lavori sotto tensione su impianti a tensione superiore a 1000V in ca e 1500V in cc, trattati nella norma Cei 11-15.

LAVORO ELETTRICO
(Qualsiasi lavoro fatto in vicinanza di un impianto elettrico con accesso a parti attive)

LAVORO FUORI TENSIONE
lavoro svolto su impianto sezionato e messo in sicurezza

LAVORO SOTTO TENSIONE
lavoro svolto a ridosso di parti attive e accessibili

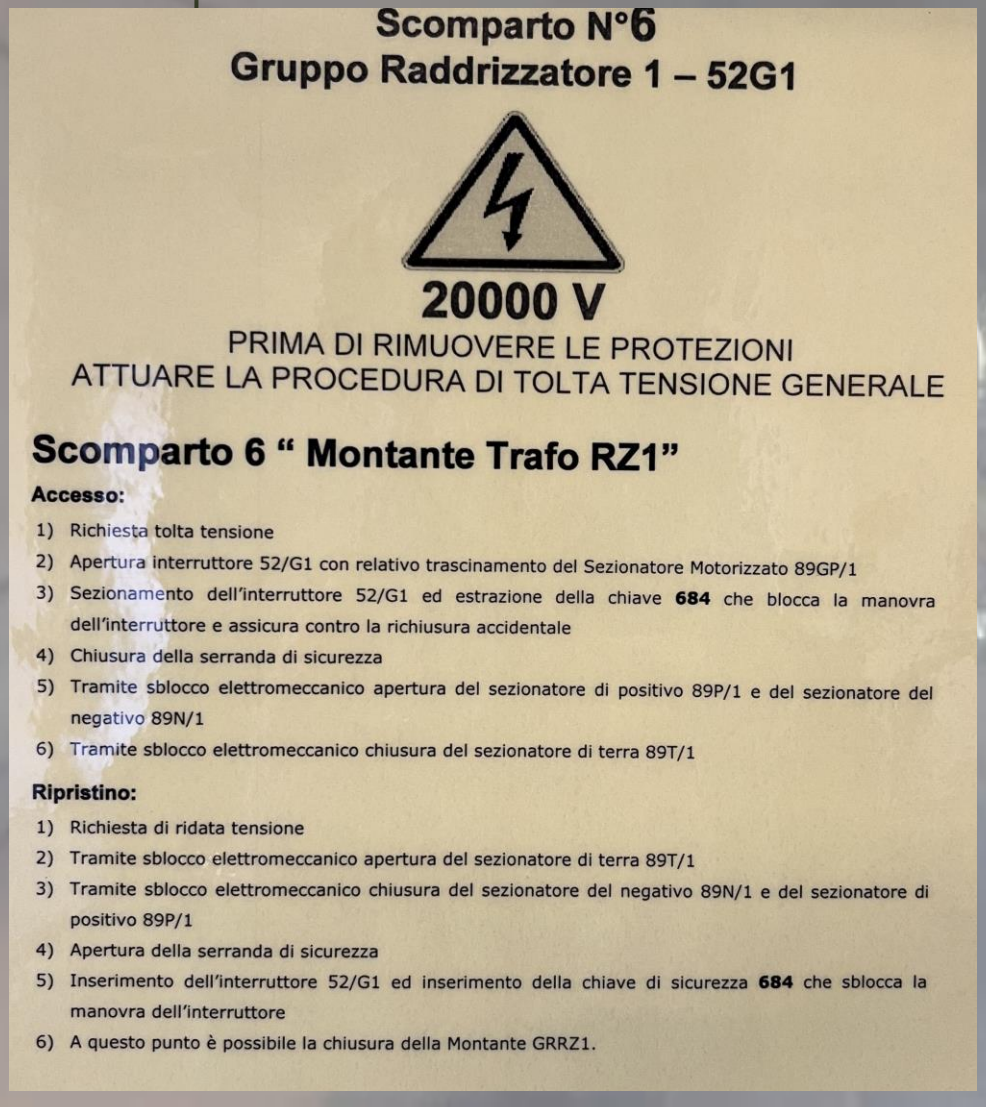
LAVORO IN PROSSIMITÀ
lavoro che si svolge all’interno della zona prossima

Lavoro elettrico fuori tensione

Prima di iniziare un lavoro elettrico FUORI TENSIONE occorre eseguire nell'ordine le seguenti sette operazioni:

1. **1 – Scambio Modulo di Tolta Tensione**
2. **2 - Determinare la zona di lavoro (spazio in cui l'operatore può entrare con il corpo o con attrezzi).**
3. **3 – Disalimentazione di tutte le fonti di energia che alimentano le parti attive.**
4. **4 - Sezionare tutte le fonti di energia che alimentano le parti attive**
5. **5 - Prendere provvedimenti contro le richiusure intempestive ed apporre i cartelli monitori**
6. **6 - Verificare che le parti attive siano fuori tensione**
7. **7 - Mettere a terra ed in cortocircuito le parti attive sezionate**

Interblocchi



Scomparto N°6
Gruppo Raddrizzatore 1 – 52G1

20000 V

PRIMA DI RIMUOVERE LE PROTEZIONI
ATTUARE LA PROCEDURA DI TOLTA TENSIONE GENERALE

Scomparto 6 " Montante Trafo RZ1"

Accesso:

1) Richiesta tolta tensione
2) Apertura interruttore 52/G1 con relativo trascinamento del Sezionatore Motorizzato 89GP/1
3) Sezionamento dell'interruttore 52/G1 ed estrazione della chiave **684** che blocca la manovra dell'interruttore e assicura contro la richiusura accidentale
4) Chiusura della serranda di sicurezza
5) Tramite sblocco elettromeccanico apertura del sezionatore di positivo 89P/1 e del sezionatore del negativo 89N/1
6) Tramite sblocco elettromeccanico chiusura del sezionatore di terra 89T/1

Ripristino:

1) Richiesta di ridata tensione
2) Tramite sblocco elettromeccanico apertura del sezionatore di terra 89T/1
3) Tramite sblocco elettromeccanico chiusura del sezionatore del negativo 89N/1 e del sezionatore di positivo 89P/1
4) Apertura della serranda di sicurezza
5) Inserimento dell'interruttore 52/G1 ed inserimento della chiave di sicurezza **684** che sblocca la manovra dell'interruttore
6) A questo punto è possibile la chiusura della Montante GRRZ1.

La corretta esecuzione delle manovre sarà assicurata da opportuni interblocchi rispondenti alle norme CEI 17-6 e IEC 298 che, completati da segnalazioni meccaniche della posizione, garantiranno la massima sicurezza del personale.

Detti interblocchi assicureranno che sia possibile:

- Accedere ai componenti in Media Tensione solo dopo che questi sono stati opportunamente segregati e messi a terra.
- Accedere agli apparecchi e ai circuiti di bassa tensione senza pericolo di contatto con i componenti a media tensione.

Conversione Alternata/Continua

In ogni SSE, la sezione di conversione alternata/continua è composta da n. 2/3 gruppi di conversione trasformatore/raddrizzatore. Di norma, uno dei gruppi di conversione è di riserva e pronto ad entrare in servizio in caso di avaria di uno dei gruppi in funzione.

Caratteristiche Tecniche Trasformatore:

Trasformatore trifase a doppio avvolgimento secondario, con isolamento in aria.

Potenza nominale: 1930/965-965 kVA;

Tensione nominale primaria: 20 kV;

Tensione nominale secondaria a vuoto: 590 V;

Collegamento delle fasi: Primario: stella - Secondario: stella e triangolo.

Il trasformatore presenta la protezione termica (26) attraverso la centralina di controllo che, riceve il segnale dalle termosonde (PT100) inserite nel punto più caldo degli avvolgimenti del trasformatore e nel nucleo. La protezione è dotata di due soglie di intervento.

Il primo gradino è utilizzato per inviare una segnalazione di allarme in SSE e al telecomando; il secondo gradino, che indica il superamento della temperatura limite per il funzionamento del trasformatore, è invece utilizzato per comandare l'apertura dell'interruttore di gruppo bloccandolo in aperto.

Sezione in Corrente Continua: composizione

Il quadro in corrente continua destinato ad alimentare la linea di contatto è costituito essenzialmente dalle seguenti sezioni:

- Sezione di conversione alternata – continua;
- Sezione di alimentazione della linea di contatto.

La sezione di conversione alternata-continua, costituita da gruppi raddrizzatore a **reazione dodecafase**, è composta dai seguenti scomparti:

N° 2/3 gruppi raddrizzatore dodecafase:

N° 2/3 scomparti sezionatore bipolare di gruppo, misura cc e ritorno negativi;

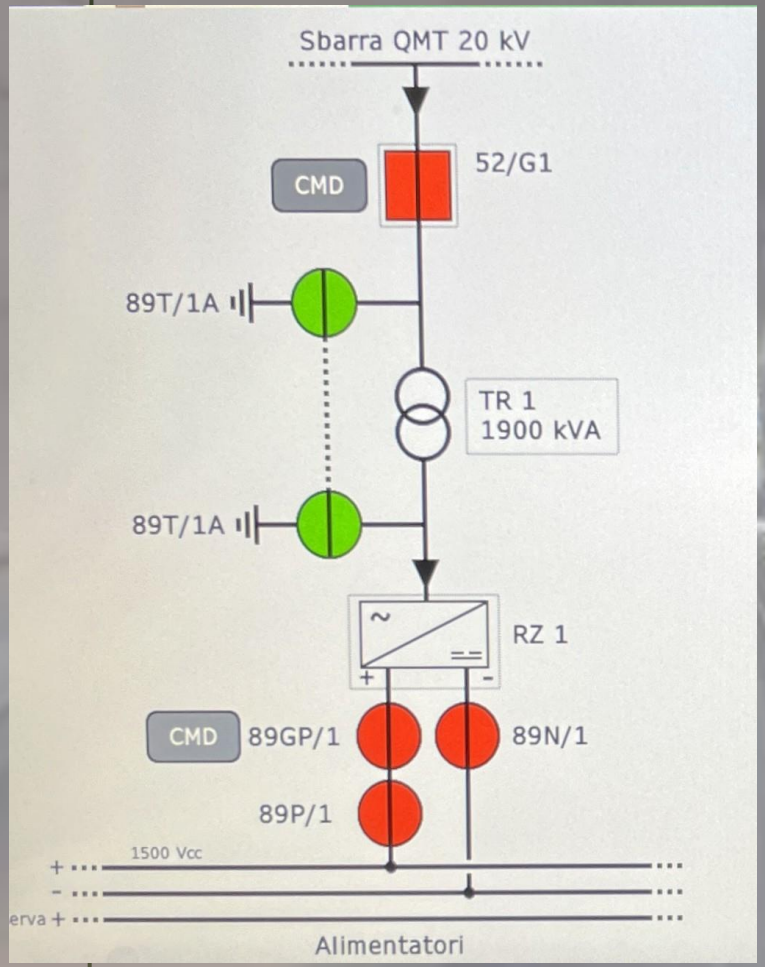
N° 1 scomparto dispositivo limitatore di tensione del negativo.

La sezione alimentazione della linea di contatto è composta elettricamente da N°4 interruttori extrarapidi autorichiudenti unidirezionali, dei quali:

- N°2 per la LdC in direzione SSE precedente binario pari e dispari;
- N°2 per la LdC in direzione SSE successiva binari pari e dispari.

In alcune SSE è previsto un ulteriore interruttore di riserva che, all'occorrenza, (attraverso una combinazione di sezionatori) può essere utilizzato in sostituzione di uno dei 4 interruttori guasto;

Gruppo Raddrizzatore



Le SSE sono caratterizzate, in base alla potenza necessaria, da due/tre gruppi di conversione composti da trasformatore di potenza e raddrizzatore, per l'alimentazione del sistema di trazione lato corrente continua.

Il raddrizzatore è costituito da due scomparti modulari (denominati RZA e RZB identici tra loro) collegati a doppio ponte di Graetz trifase con diodi al silicio a disco, collegati in parallelo.

Le portelle saranno dotate di interblocchi che ne impediranno l'apertura a raddrizzatore in funzione.

Gli scomparti dei raddrizzatori dovranno essere installati isolandoli dal pavimento per consentire la realizzazione del circuito di protezione di guasti verso terra (64), a mezzo di collegamenti in cavo e di dispositivo di rilevazione guasti presente in ogni cella.

Il dispositivo di controllo e protezione e comando di ogni cella dovrà essere collegato al sistema Scada di Sottostazione.

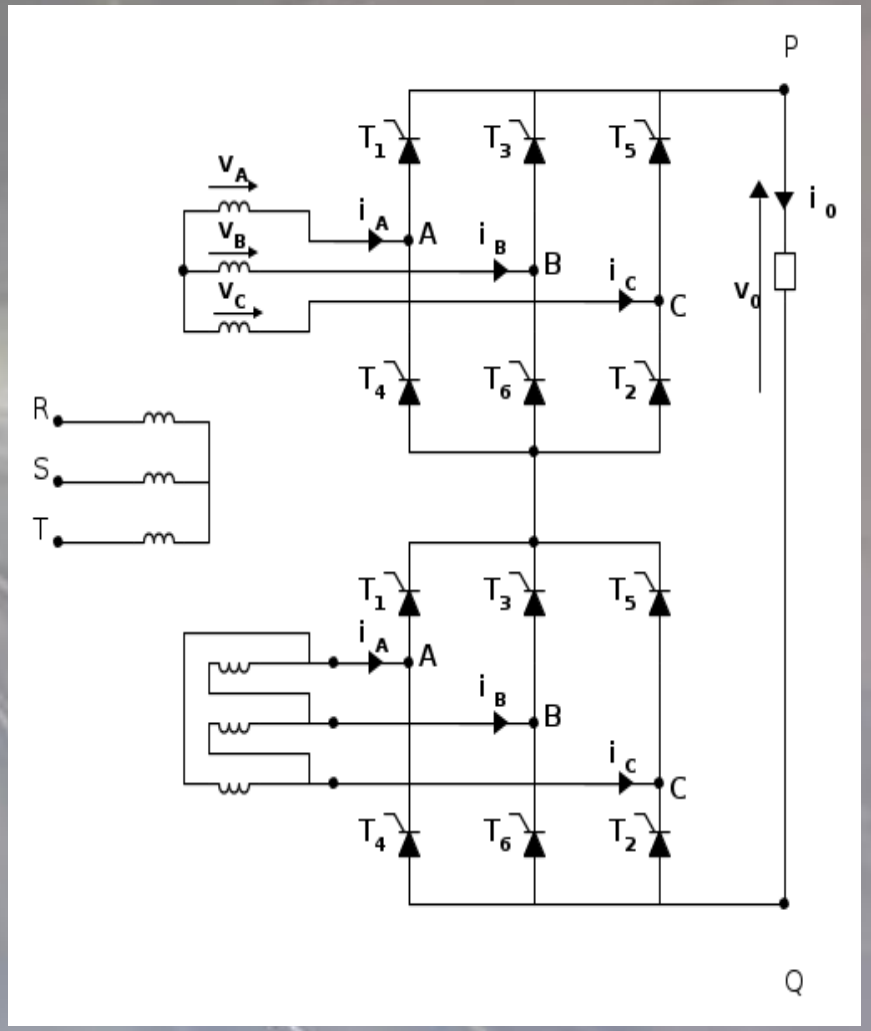
Il gruppo raddrizzatore ha le seguenti caratteristiche elettriche principali: Tensione Nominale: 750 V; Corrente nominale: 1000 A; Potenza nominale: 750 kW.

Gruppo Raddrizzatore - Reazione dodecafase

La **reazione dodecafase** in elettrotecnica si riferisce a un sistema di **raddrizzamento a dodici impulsi**; viene ottenuta combinando due ponti di Graetz trifasi (reazione **esafase -** a 6 impulsi ciascuno). I due raddrizzatori sono alimentati da **due secondari trifase** di un trasformatore, sfasati di **30° elettrici** tra loro. Come visto in precedenza si usa un **trasformatore con doppio secondario**: uno collegato a **stella (Y), l'**altro a **triangolo (Δ)**. Questo collegamento crea lo sfasamento necessario tra le due tensioni trifase.

Nel disegno, ogni ramo è costituito da un diodo. In caso di raddrizzatori di maggiore potenza si potranno prevedere più diodi collegati in parallelo. Per ogni diodo è previsto un fusibile extrarapido di protezione dotato di contatto di intervento.

I raddrizzatori sono realizzati secondo la filosofia "N-1", ossia ciascuno ramo del convertitore dovrà essere costituito dal almeno n. 2 diodi in parallelo, dimensionati in modo che, in caso di guasto un diodo in un ramo del ponte, il raddrizzatore lavora correttamente e le sue prestazioni restano invariate, sia in servizio continuo e sia con i sovraccarichi richiesti.



Gruppo Raddrizzatore - Diodo

Ciascun diodo è protetto singolarmente da un fusibile extrarapido dimensionato per poter intervenire selettivamente nel modo seguente:

- in caso di corto circuito franco lato c.c., i fusibili, ed ovviamente i diodi, dovranno essere in grado di sostenere la corrente di corto circuito fino all'intervento delle protezioni primarie: interruttore automatico MT di gruppo (breve durata);

- in caso di corto circuito interno, cioè di corto circuito di un diodo, il relativo fusibile dovrà intervenire mentre i rimanenti diodi e fusibili del complesso dovranno rimanere integri. Lo stato di ciascun fusibile deve essere inviato ad una centralina di allarme ed essere singolarmente segnalato tramite display.



Allo stesso modo dovrà essere monitorata la temperatura dei dissipatori mettendo un elemento termosensibile (termosonda PT100) nel punto più caldo del dissipatore stesso e tarato in modo da generare un allarme, quando la temperatura presunta della giunzione raggiunge il 70% di quella massima ammessa dal costruttore. Questa temperatura non dovrà essere mai raggiunta in condizioni normali neppure con i sovraccarichi richiesti.

I raddrizzatori dovranno essere isolati verso terra in tutti i loro componenti.

Gruppo Raddrizzatore – accessori - protezioni

I raddrizzatori sono equipaggiati con almeno i seguenti accessori:

- filtri antidisturbo;
- amperometro e voltmetro con relativo shunt e trasduttori;
- centralina per il monitoraggio e la diagnostica dei principali parametri termici ed elettrici;
- segnalazione di ogni diodo guasto e apertura interruttore automatico MT, al secondo diodo guasto dello stesso ramo, con la necessità di ripristino manuale una volta avvenuta la sostituzione del diodo in avaria;
- termostato con contatti di allarme e scatto per il controllo della temperatura dei dissipatori.

Ogni Raddrizzatore è dotato delle seguenti protezioni:

Guasto protezione circuiti RC (FRC) provoca l'allarme e il blocco dell'ente interessato;

Sovratemperatura RZ (26) provoca l'allarme il blocco dell'ente interessato;

Relè corrente inversa (32);

Relè di massa (64).

Protezioni Corrente Inversa (32) - Guasto a Terra (64)

Protezione corrente inversa (32)

Ogni raddrizzatore prevede una protezione corrente inversa; questo dispositivo rileva i guasti che danno origine a correnti inverse (non uscenti dal raddrizzatore) e cioè guasti che potrebbero essere alimentati sia da altri gruppi raddrizzatori della stessa SSE sia provenienti da altre SSE.

Il relè è ad inserzione indiretta leggendo le correnti **entranti** nel raddrizzatore, prelevando il segnale di misura dal ricevitore inserito nello scomparto raddrizzatore.

L'intervento del relè corrente inversa provoca l'apertura e il blocco (non consentendone la richiusura) del raddrizzatore interessato, l'apertura se non già aperti dei restanti raddrizzatori in servizio e l'apertura di tutti gli interruttori extrarapidi.

Protezione guasto a terra (64).

Ogni scomparto raddrizzatore è isolato elettricamente da tutti gli altri scomparti del quadro in corrente continua ed isolato verso terra in tutti i propri componenti. Il quadro è installato facendo attenzione e verificando tale isolamento.

Questo dispositivo rileva la perdita di isolamento delle apparecchiature in cc, onde evitare guasti distruttivi sulle apparecchiature stesse, attraverso il rilievo della corrente verso terra dello scomparto.

L'intervento del dispositivo di terra l'apertura e il blocco di tutti i gruppi raddrizzatori in servizio e l'apertura degli interruttori extrarapidi in modo tale da non consentirne la richiusura, previo intervento del personale di manutenzione per la risoluzione del guasto.

Negativo e VLD

Il negativo è collegato direttamente al binario e tenuto isolato da terra; precauzione necessaria per limitare il fenomeno delle correnti vaganti. Per questo motivo è previsto un sistema che collega il negativo a terra nel caso in cui le tensioni tra negativo e terra superino determinati valori ritenuti pericolosi.

Per questo motivo, in SSE è installato un dispositivo denominato VLD (dispositivo limitatore di tensione) o cortocircuitatore in grado di proteggere da sovratensioni, attraverso un contattore di corto circuito atto a stabilire un collegamento di potenza tra il circuito TE (negativo) e l'impianto di terra della SSE, relativo all'impianto di conversione, quando la tensione misurata supera i valori della tensione di contatto specificati dalle norme EN 50122-1.

Il funzionamento elettrico è il seguente:

- In caso di intervento del relè di massima tensione c.a. (59) o del relè di massima tensione c.c. (45), il contattore, se in posizione di aperto, sarà chiuso automaticamente e resterà in questa posizione per circa 10 secondi, dopodiché automaticamente si riaprirà, richiudendosi se nuovamente i relè che pilotano la sua chiusura rilevano ulteriori tensioni pericolose.

Durante il tempo di chiusura del contattore, in caso di intervento del relè di corrente ad inserzione diretta (76), il VLD comanda l'apertura degli interruttori extrarapidi e il contattore rimane chiuso bloccato, in modo che la funzione "prova linea" degli interruttori extrarapidi identifichi il guasto (lo sblocco del VLD avverrà sul posto manualmente).

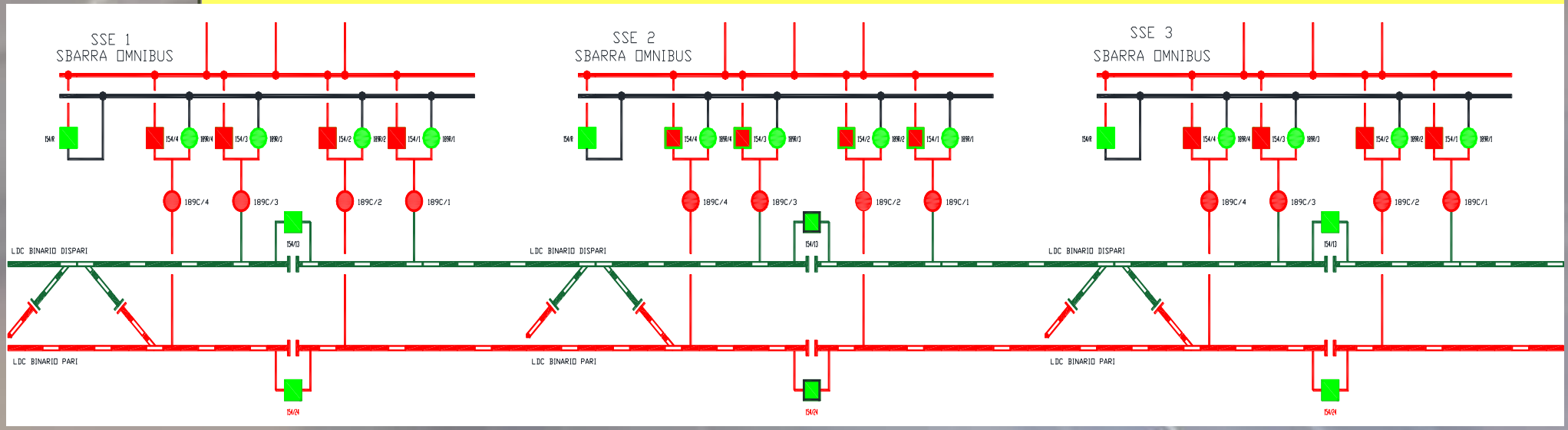
Valori di tensione di intervento in ca 60V; Valori di tensione di intervento in cc 120V.

Schema Trazione Elettrica

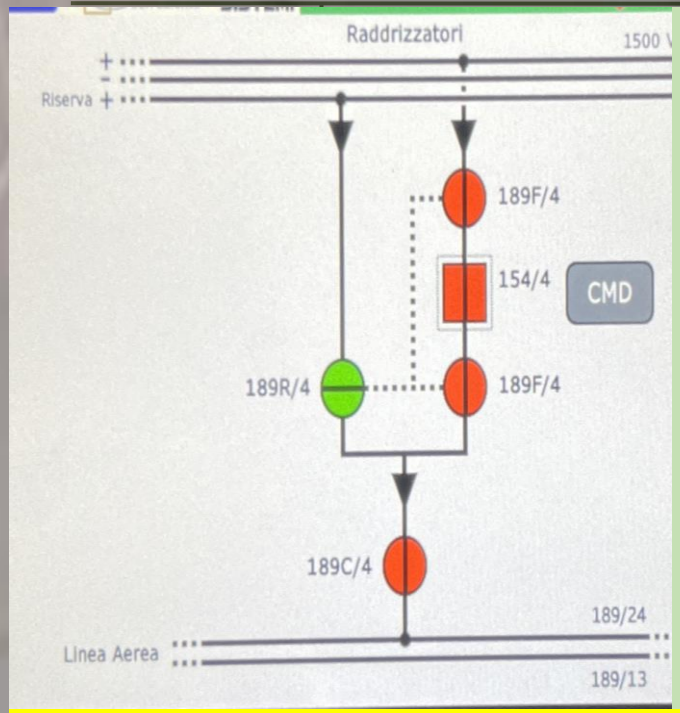
Come anticipato, le SSE sono caratterizzate, in base alla potenza necessaria, da due/tre gruppi di conversione composti da trasformatore di potenza e raddrizzatore, per l'alimentazione del sistema di trazione. L'uscita del positivo dei raddrizzatori fanno capo alle **sbarre omnibus di SSE**.

Dalle sbarre omnibus di SSE vengono derivate, attraverso gli interruttori extrarapidi autorichiudenti, l'alimentazione della linea di contatto aerea.

Il circuito di linea, costituito dalla linea di contatto e dalle rotaie, per ragioni di esercizio, manutenzione e protezione, è suddiviso in **settori** alimentabili e separabili mediante interruttori e sezionatori. I vari settori sono separati meccanicamente e sezionati elettricamente da zone di sezionamento a "**spazio d'aria**". Ogni settore è alimentato in modo **bilaterale** da due SSE limitrofe, in modo a "**sbalzo**" se alimentato da una sola SSE.



Interruttore extrarapido autorichiudente



L'interruttore extrarapido è un interruttore per corrente continua, unipolare, in aria a soffio magnetico, a sgancio libero ed aggancio magnetico, in accordo con le Norme EN50123, in versione fissa per quadri aperti o montato su carrello in esecuzione estraibile per quadri a scomparto.

Il meccanismo di chiusura è di tipo magnetico con bobina di ritenuta.

Uno sganciatore primario di massima corrente è incorporato nell'interruttore ed è di tipo **unidirezionale** (bidirezionale per interruttori di parallelo).



Si può inoltre ottenere l'apertura dell'interruttore, relativamente lenta, interrompendo l'alimentazione alla bobina di ritenuta. L'interruttore extrarapido ha le seguenti principali caratteristiche:

- sistema di aggancio magnetico con bobina di ritenuta;
- sganciatore diretto unidirezionale o bidirezionale per sovracorrente;
- caminetto di estinzione arco.

L'interruttore si definisce **autorichiudente** in quanto, attraverso un sistema di prova linea che verifica lo stato di isolamento della linea, in seguito ad uno scatto si potrà richiudere automaticamente.

Prova Linea

Tale apparecchiatura ha il compito di verificare lo stato di **isolamento** della linea, cioè di stabilire se è possibile la chiusura dell'interruttore extrarapido senza alimentare cortocircuiti.

Il sistema di prova linea è funzionante sia per la chiusura dell'extrarapido su comando sia per consentire la logica di **autorichiusura**. In questo caso il "prova linea" ha il compito di stabilire se le cause che hanno provocato l'apertura dell'interruttore sono fenomeni transitori o permanenti.

A tale proposito, sono previsti **3 test** e, nel caso che tutti siano negativi (linea "guasta"), la logica del dispositivo manda in blocco l'interruttore (blocco autoresettante dopo 30").

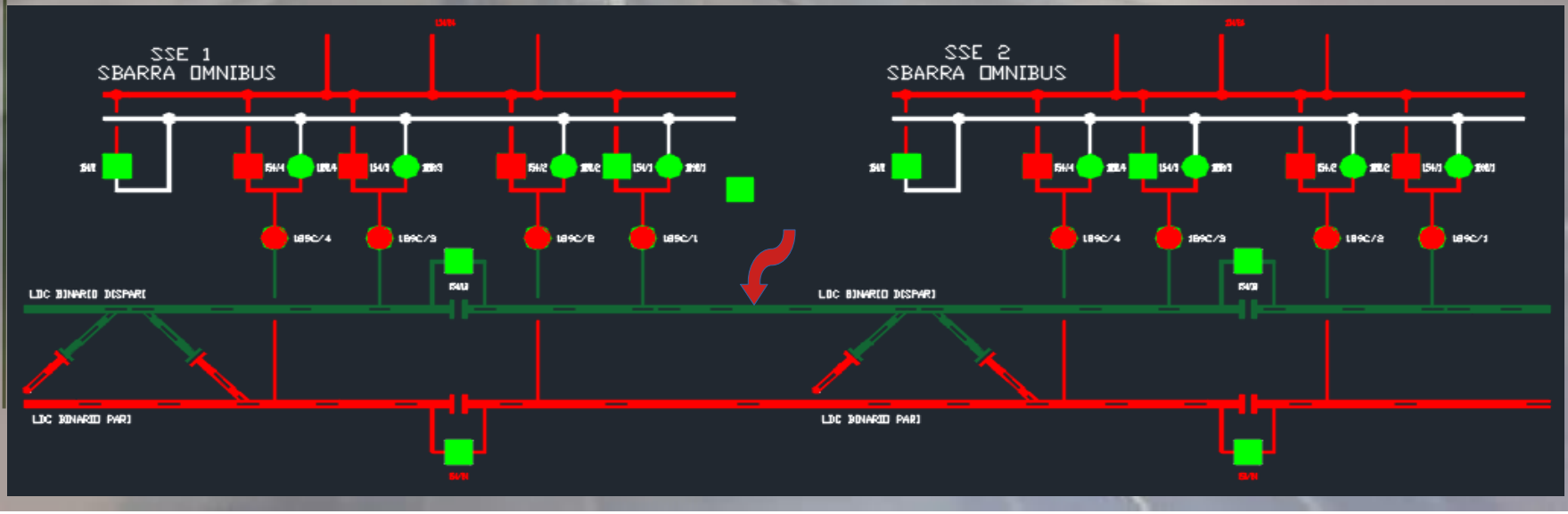
In caso contrario, al primo dei tre test che risulti positivo (linea "sana") la logica comanda la chiusura automatica dell'interruttore.



Circuito di Scattato

Il circuito di scattato o asservimento, necessario nel caso di linea alimentata bilateralmente, prevede il collegamento e la comunicazione degli interruttori extrarapidi preposti all'alimentazione e protezione della linea, mediante l'utilizzazione di un circuito di relazione.
Poiché, infatti, un guasto distante può essere fonte di una corrente di valore inferiore a quella di taratura delle protezioni, è fondamentale l'assistenza della Sottostazione più vicina al guasto, in grado perciò di rilevarlo.

L'apertura dell'interruttore extrarapido della Sottostazione è, così, comunicato alla Sottostazione più lontana, alimentante la medesima linea, consentendo l'apertura dell'interruttore extrarapido competente, anche nel caso che questi non abbia sentito il guasto. In tali casi, l'apertura viene seguita dalla richiusura automatica degli interruttori, previa prova linea. Il guasto delle apparecchiature del circuito di scattato non consentirà la chiusura degli extrarapidi.



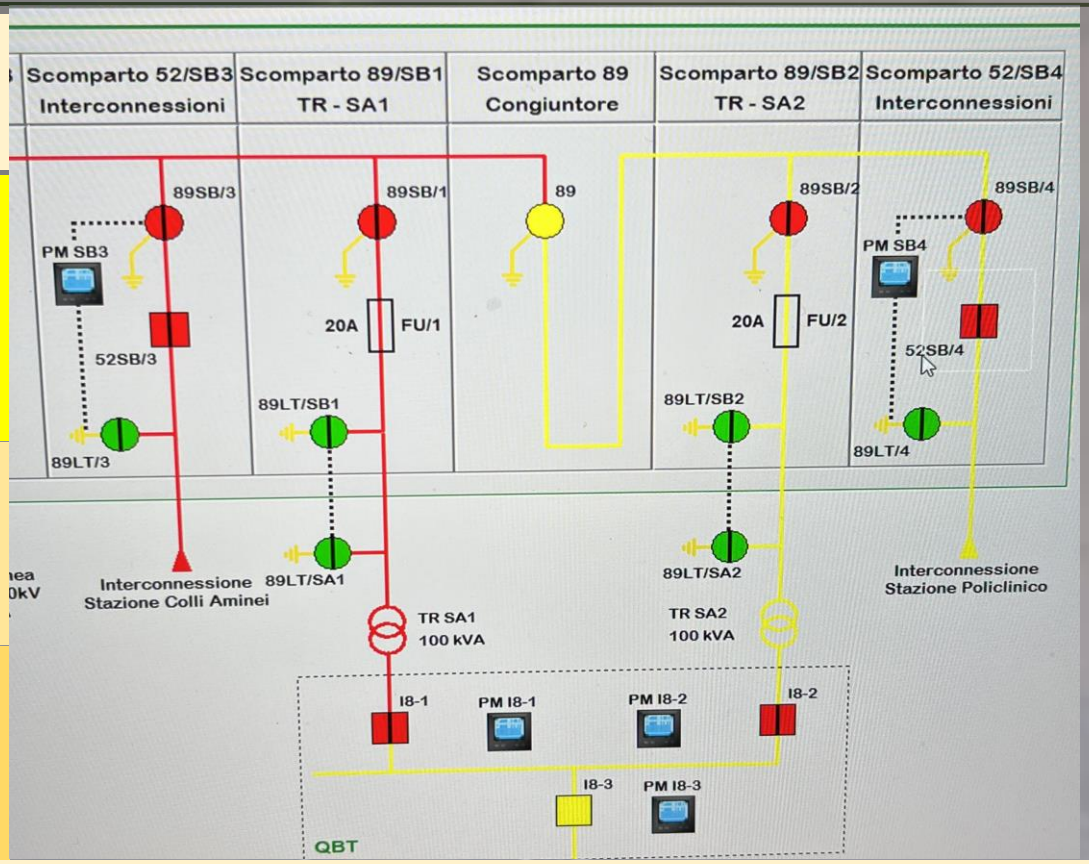
Cabine di Trasformazione SA Stazioni (CDS)

Dalle SSE, tramite distribuzione **ad anello aperto**, si provvede all'alimentazione delle Cabine di Trasformazione delle Stazioni.

Ogni Cabina MT prevede due interruttori «di entrata ed uscita» dell'anello di media tensione e in base al carico necessario di 2 montanti trafo (interruttore 20kV– Trasformatore 20/0,4 kV – Interruttore BT) per l'alimentazione dei servizi ausiliari di Stazione.

Una montante trafo è in servizio, l'altra di pronta riserva. Di norma una montante trafo è sempre di pronta riserva. La logica funzionale prevede il parallelo breve in chiusura dei trasformatori.

Gli interruttori M.T., al pari dei precedenti di SSE (anche se di corrente nominale inferiore), sono di tipo sezionabile/estraibile, con comando a distanza e con spegnimento dell'arco con gas SF6 (esafloruro di zolfo).



Gli interruttori 20 kV della CDS, in linea generale sono dotati delle seguenti protezioni:

- **Relè di Massima corrente (50/51);**
- **Relè direzionale contro guasti a terra (67N);**
- **Bassa Pressione SF6 (63).**

Quadro Generale di Bassa Tensione (QGBT)

Il quadro di distribuzione destinato all'alimentazione dei carichi elettrici afferenti alla stazione, comprese le logiche della cabina stessa di bassa tensione, è suddiviso nelle seguenti sezioni:

"Sezione AC normale": una sezione alimentata dall'uscita dei trasformatori dei servizi ausiliari, contenente gli interruttori di protezione delle utenze a 400/230 Vca sia di Forza Motrice sia di Luci ;

"Sezione AC riserva": una sezione alimentata o dalla sezione AC normale o attraverso una commutazione automatica dal Gruppo Elettrogeno, contenente gli interruttori di protezione delle utenze a 400/230 Vca, sia di Forza Motrice sia di Luci. Le utenze previste su tale sezione in caso di Black out vengono rialimentate dal GE (dopo il tempo necessario al GE per arrivare a regime).

"Sezione AC continuità": una sezione alimentata da UPS, contenente gli interruttori di protezione delle utenze a 400/230 Vca. Tale sezione è deputata all'alimentazione di tutti i carichi privilegiati in continuità, es. luci di emergenza, logiche di comando e controllo, telecomando, impianti di telecomunicazioni, segnalamento, antincendio.

"Sezione 110 e 24Vcc": una sezione (derivata da Caricabatterie), contenente gli interruttori di protezione delle utenze a 110 e 24 Vcc, per l'alimentazione delle logiche di comando e controllo degli enti delle cabine elettriche.

UPS

La sigla **UPS** "Uninterruptible Power Supply" o Gruppo di Continuità è un'apparecchiatura che viene posta fra la rete di alimentazione ed i dispositivi da proteggere, allo scopo di fornire energia alle apparecchiature per ovviare a repentine anomalie e disturbi della fornitura di energia elettrica normalmente utilizzata.

Tra i più frequenti disturbi elettrici distinguiamo: Picchi di tensione, Sovratensioni, Variazioni di frequenza, Cadute di tensione, Microinterruzioni, Mancanza rete (black-out).

Pertanto l'UPS è un'apparecchiatura in grado di garantire l'alimentazione AC delle utenze collegate a valle ed è quindi destinato, al fine di garantire la regolarità e la continuità dell'esercizio, ad alimentare **in continuità** carichi elettrici privilegiati, quali: Logiche ausiliarie, Illuminazione di emergenza (Stazioni, Banchine, Gallerie, Locali Tecnici), Telecomunicazioni, SCADA, Segnalamento, Antincendio, ecc.

L'alimentazione elettrica a valle dell'UPS viene garantita stabilizzata in tensione, in frequenza e priva di buchi di tensione, micro o macro interruzioni.

In caso di assenza della rete di alimentazione a monte, queste devono essere garantite durante tutto il range temporale dell'autonomia nominale della macchina, prevista in >20'.

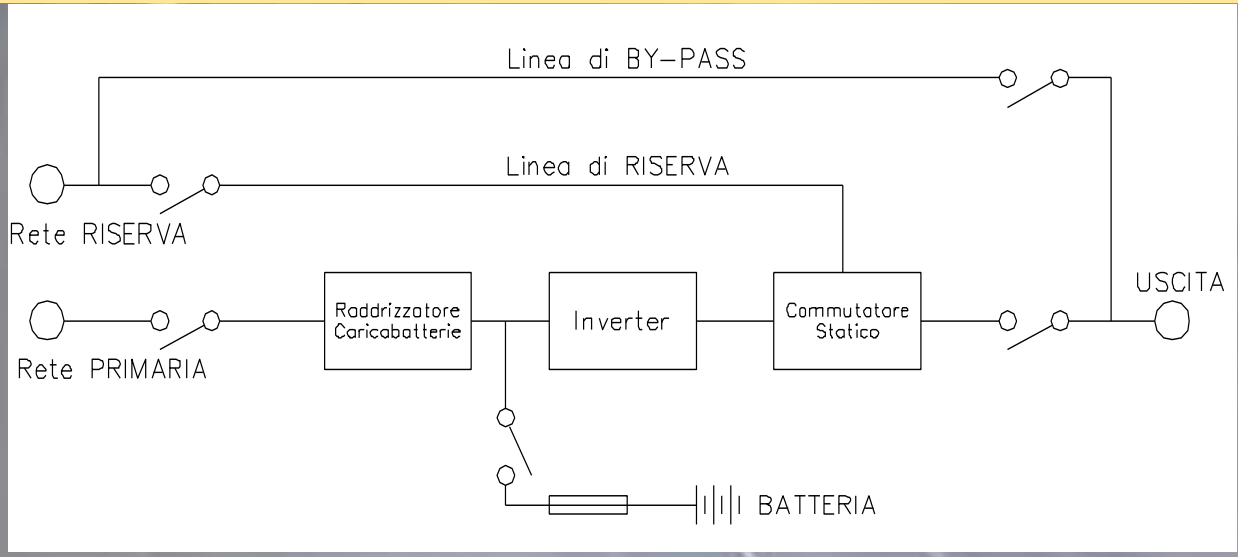
Quando l'alimentazione ritorna entro le tolleranze ammesse, l'UPS provvederà anche a ricaricare in automatico le batterie in modo che esse ricostituiscano il più presto possibile la loro piena capacità per far fronte ad eventuali ulteriori mancanze di tensione.

UPS

Il principio di funzionamento del sistema di alimentazione è riportato nello schema a blocchi e costituito principalmente da:

- Raddrizzatore – Caricabatterie;
- Batteria;
- Inverter;
- commutatore statico su linea di riserva/soccorso;
- interruttore di by-pass per rete normale.

In condizione normali di funzionamento il raddrizzatore caricabatterie provvede alla ricarica automatica delle batterie ed alla contemporanea alimentazione del carico, tramite l'inverter.
In caso di mancanza alimentazione primaria le batterie alimenteranno in continuità il carico.



Caricabatterie: Generalità

I Caricabatterie sono apparecchiature elettriche installate fra la rete di distribuzione (alimentazione normale) e i carichi sensibili (alimentazione emergenza/continuità). Hanno lo scopo di assicurare la continuità di esercizio degli enti MT/bt delle SSE e delle Cabine di Stazione, fornendo inoltre in uscita energia in corrente continua (110 Vcc) per la carica delle batterie e l'alimentazione degli ausiliari degli enti suddetti a 110 Vcc e 24 Vcc.

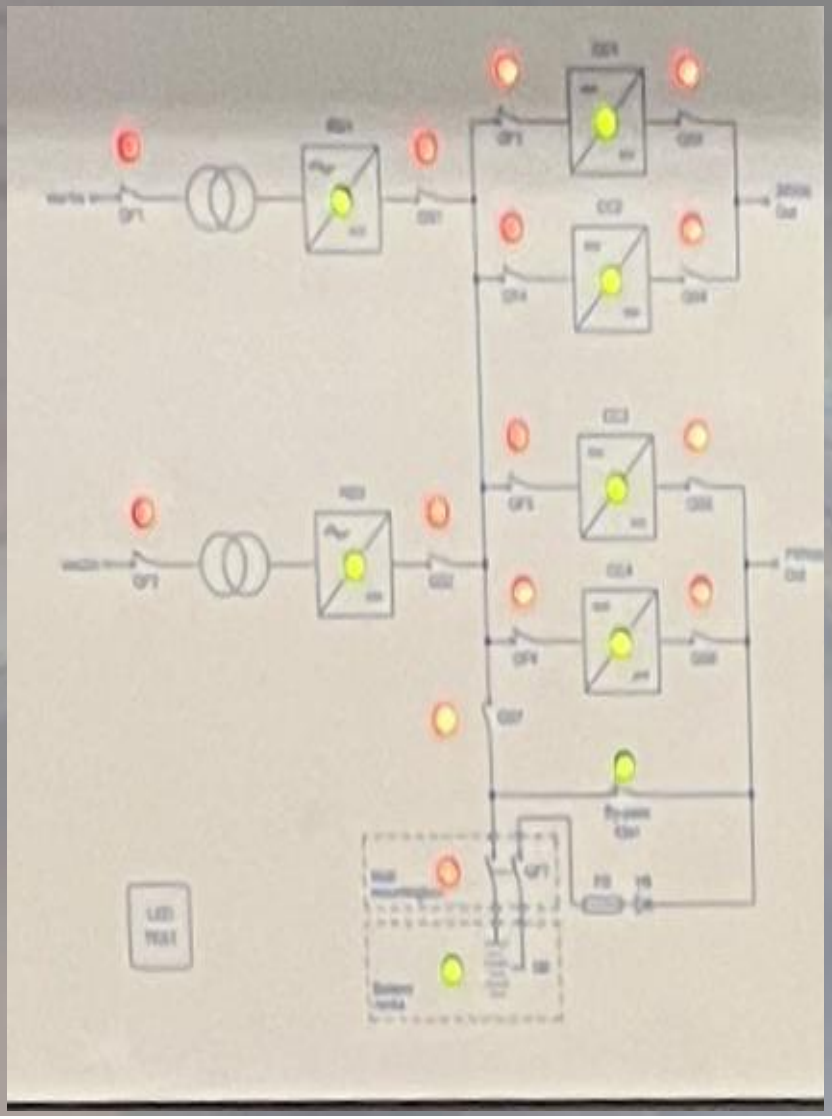
Tra le alimentazioni privilegiate in cc, indispensabili al funzionamento ed al regolare esercizio delle SSE/Cabine MT troviamo: protezioni MT, motorizzazioni degli interruttori con comando a distanza, logiche di comando e controllo, telecomando, telecomunicazioni, sistemi antincendio, ecc.

Come si vede in figura è composto da rack intercambiali e facilmente sostituibili in caso di guasto.

Al pari degli UPS la manutenzione e il mantenimento in efficienza riveste un ruolo importante nella regolarità e continuità dell'esercizio.



Caricabatterie: funzionamento



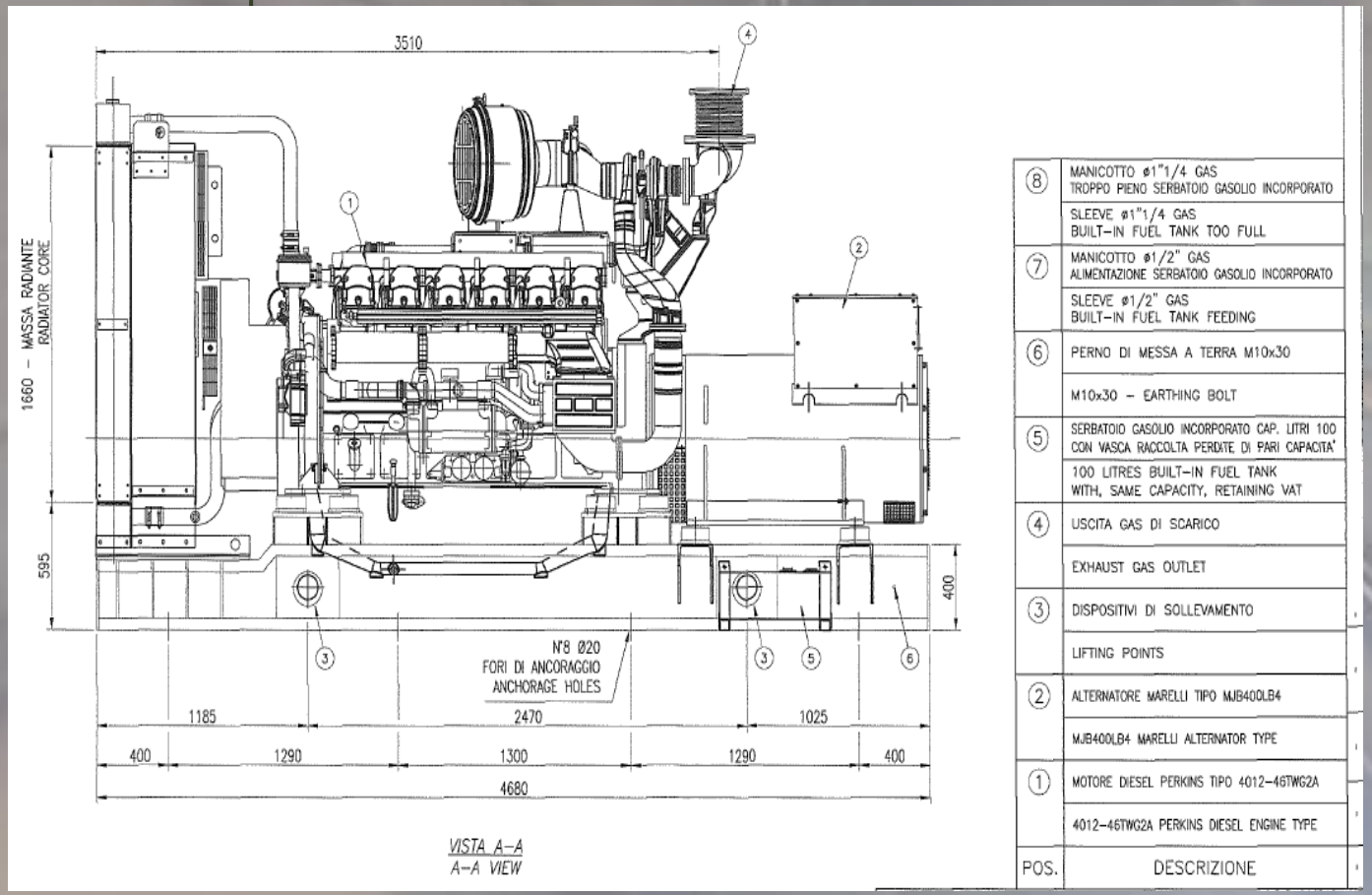
Elettricamente il caricabatterie è composto da due trasformatori abbassatori ai cui capi fanno capo due raddrizzatori in parallelo. All'uscita dei raddrizzatori sono derivati due convertitori 110- 110 Vcc e due convertitori 110- 24 Vcc. I raddrizzatori svolgono anche il compito di mantenere in carica/ricaricare il pacco batterie.

In caso di black out e conseguente perdita di alimentazione in ingresso, le batterie provvedono in continuità delle alimentazioni privilegiate in uscita.

La macchina è dimensionata in modo tale che, in caso di un guasto ad un raddrizzatore e/o ad uno dei convertitori, il carico resta alimentato regolarmente, ovvero è dimensionato in modo tale da mantenere il pieno carico in uscita anche in situazioni di degrado di una o più sue apparecchiature.

Gruppo Elettrogeno: Generalità

Il Gruppo Elettrogeno è una macchina costituita da un motore termico accoppiato ad un generatore elettrico (alternatore).



POS.	DESCRIZIONE
⑧	MANICOTTO ø1"1/4 GAS TROPPO PIENO SERBATOIO GASOLIO INCORPORATO
	SLEEVE ø1"1/4 GAS BUILT–IN FUEL TANK TOO FULL
⑦	MANICOTTO ø1/2" GAS ALIMENTAZIONE SERBATOIO GASOLIO INCORPORATO
	SLEEVE ø1/2" GAS BUILT–IN FUEL TANK FEEDING
⑥	PERNO DI MESSA A TERRA M10x30
	M10x30 – EARTHING BOLT
⑤	SERBATOIO GASOLIO INCORPORATO CAP. LITRI 100 CON VASCA RACCOLTA PERDITE DI PARI CAPACITA'
	100 LITRES BUILT–IN FUEL TANK WITH, SAME CAPACITY, RETAINING VAT
④	USCITA GAS DI SCARICO
	EXHAUST GAS OUTLET
③	DISPOSITIVI DI SOLLEVAMENTO
	LIFTING POINTS
②	ALTERNATORE MARELLI TIPO MJB400LB4
	MJB400LB4 MARELLI ALTERNATOR TYPE
①	MOTORE DIESEL PERKINS TIPO 4012–46TWG2A
	4012–46TWG2A PERKINS DIESEL ENGINE TYPE

I Gruppi Elettrogeni sono utilizzati per fornire energia elettrica, in caso di interruzione della fornitura di energia di rete normale.

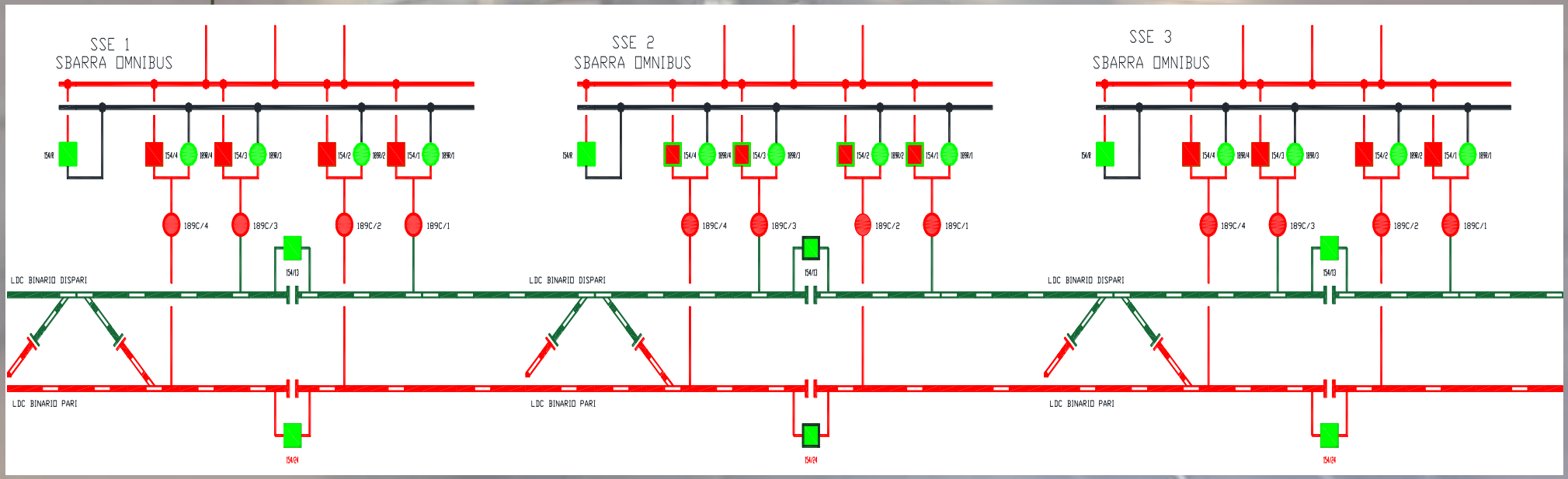
È utilizzato per produrre energia elettrica (alternatore) a partire da energia termica di combustione (motore diesel) attraverso due conversioni: da energia termica ad energia meccanica e da energia meccanica ad energia elettrica.

Sono quindi destinati, al fine di garantire la regolarità e la continuità dell'esercizio, ad alimentare non in continuità carichi elettrici quali: Illuminazione di riserva, parte degli impianti di sollevamento, prese di servizio, ecc.

Alimentazione della linea di contatto - Schema Trazione Elettrica

Il circuito di linea, costituito dalla linea di contatto e dalle rotaie, è suddiviso per ragioni di esercizio, manutenzione e protezione in settori, alimentabili e separabili mediante interruttori e sezionatori. I vari settori sono separati meccanicamente e sezionati elettricamente da zone di sezionamento a "spazio d'aria".

Ogni settore è alimentato in modo bilaterale da due SSE limitrofe, in modo a "sbalzo" se alimentato da una sola SSE. Il settore alimentato ai due estremi o ad un solo estremo, deve essere protetto nei punti di alimentazioni dagli interruttori extrarapidi ubicati nelle SSE. Per ragioni di selettività, un alimentatore di sottostazione non può essere comune a più settori: si hanno perciò tanti alimentatori quanti sono i settori alimentati dalla sbarra positiva delle SSE: due nelle linee a semplice binario senza diramazioni quattro in quelle a doppio binario.



Trazione Elettrica: Generalità

La ferrovia elettrificata è alimentata da una linea di contatto aerea con ritorno attraverso le rotaie di corsa. Le linee aeree di contatto sono alimentate da sottostazioni elettriche dislocate lungo la linea ferroviaria a distanza variabile.

I mezzi di trazione elettrica assorbono l'energia ad essi necessaria dalla Linea aerea di contatto. 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",** composto da una parte a contatto diretto con la linea aerea di contatto **(strisciante)** e da una intelaiatura di sostegno che serve a mantenere lo strisciante ben **aderente** alla linea di contatto stessa.

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.

La LdC è suddivisa in sezioni che all'occorrenza possono essere isolate elettricamente l'una dall'altra tramite appositi dispositivi. In prossimità delle sezioni, la linea di contatto è sezionata a spazio d'aria, per realizzare la separazione elettrica della linea di contatto.



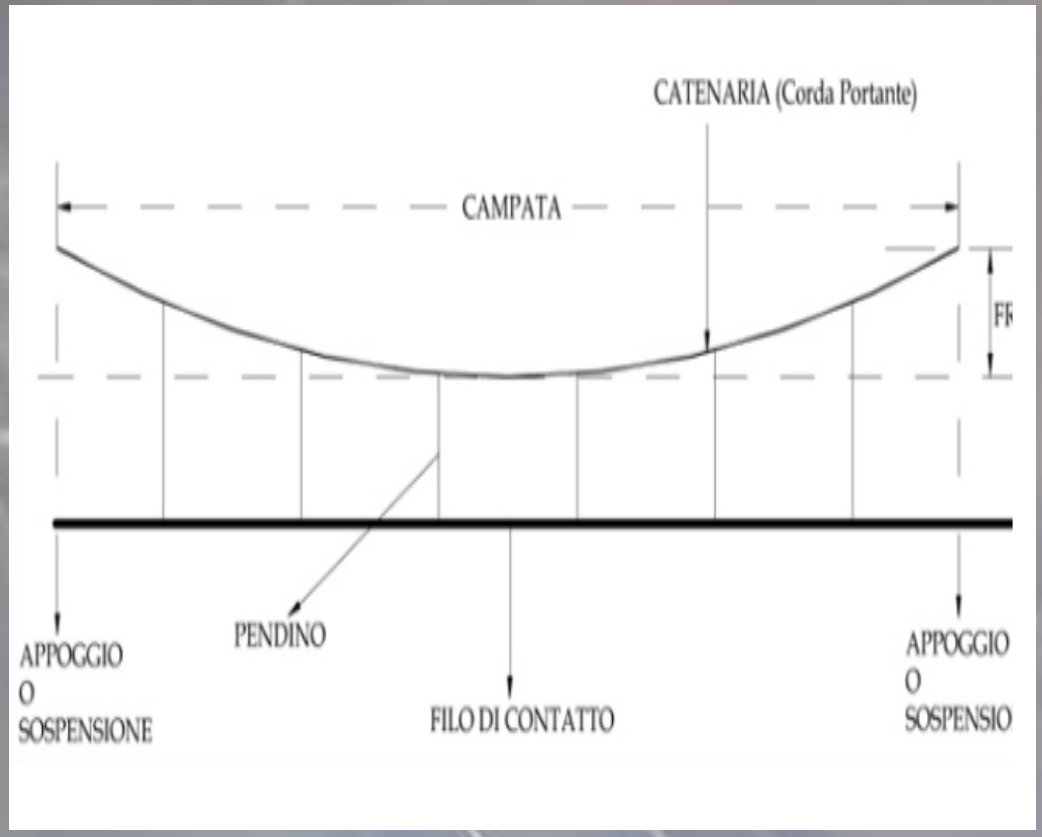
Trazione Elettrica: Sospensione Longitudinale

Sulla rete aerea il filo di contatto è sospeso ad una o due catenarie longitudinali, la linea aerea di contatto è quindi detta con “sospensione mediante catenaria”.

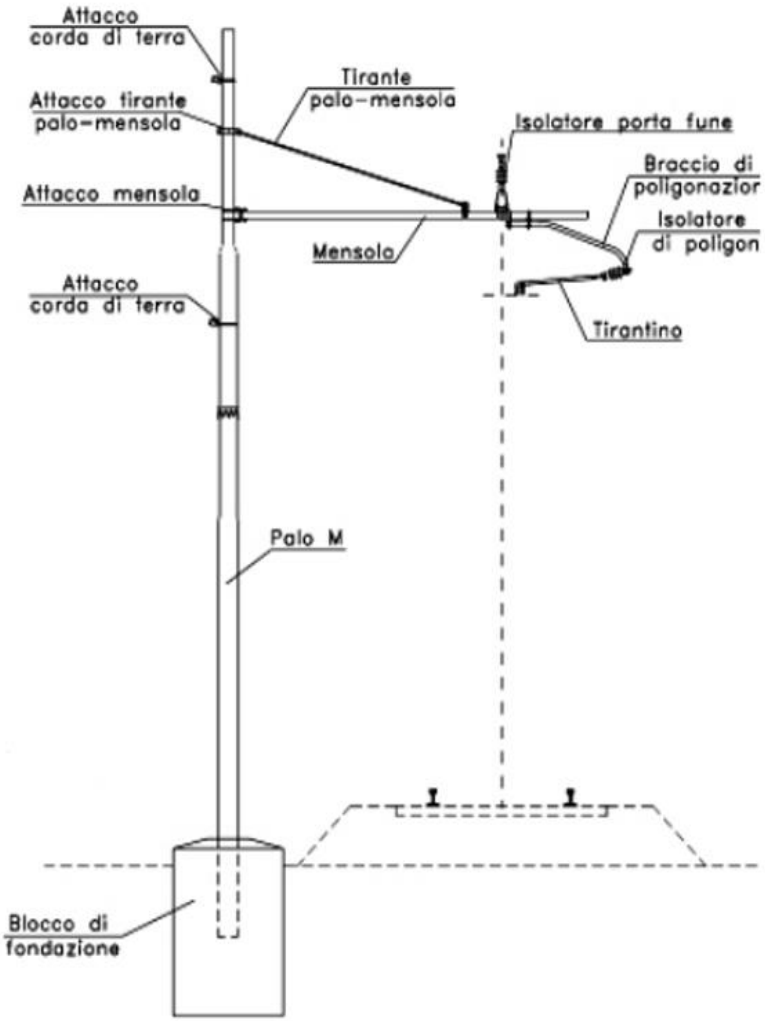
La catenaria è la curva che forma una corda sospesa tra due appoggi.

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;
- **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.



Trazione Elettrica: Elementi dei Pali e delle Sospensioni 1



1) **Mensola;** è l'elemento tubolare collegato al palo, costituisce l'appoggio diretto delle sospensioni. La sua funzione principale è quella di sostenere e posizionare gli elementi della linea di contatto, come: la corda portante, il filo di contatto e il braccio di poligonazione;

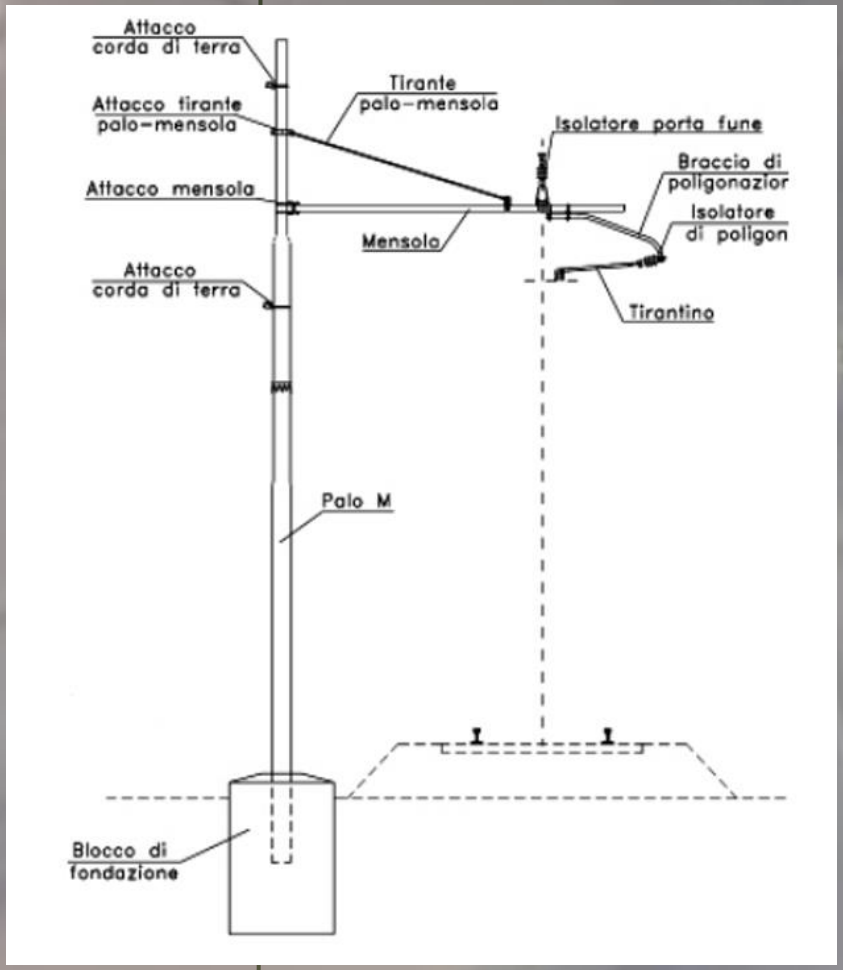
2) **Attacco mensola – palo;** è di tipo a snodo per permettere piccoli spostamenti longitudinali della mensola;

3) **Tirante palo-mensola;** serve a sostenere la mensola che caricata dal peso la porterebbe a inclinarsi;

4) **Braccio di poligonazione:** è collegato alla mensola, può essere fisso o snodato (attraverso un bilanciere) per adattarsi alle dilatazioni termiche del filo, ha la funzione di posizionare il filo di contatto in modo da ottenerne la poligonazione;

5) **Tirantino di poligonazione**; è collegato al braccio di poligonazione, regola la posizione laterale del filo di contatto. Permette di posizionare il filo di contatto per realizzare la poligonazione, compensare le dilatazioni termiche del filo di contatto, permette una rotazione controllata sul piano orizzontale per mantenere la geometria della poligonazione anche in presenza di contrappesatura del filo o della fune portante.

Trazione Elettrica: Elementi dei Pali e delle sospensioni 2



6) **Isolatore porta fune;** ha la funzione di isolare elettricamente la fune portante dal sostegno metallico (palo o mensola), evitando dispersioni di corrente e garantendo la sicurezza dell'impianto.
È un dispositivo in materiale isolante (resina epossidica) che: sostiene meccanicamente la fune portante, interrompe la continuità elettrica tra la fune e la struttura metallica, resiste agli sforzi meccanici e alle sollecitazioni ambientali.

7) **Morsetto di attacco fune;** viene utilizzato per bloccare meccanicamente la fune portante all'isolatore, garantendo stabilità e sicurezza al sistema, in quanto è resistente alle sollecitazioni meccaniche e alle condizioni ambientali. In base alle caratteristiche della linea può essere può essere usato per funi di diametro variabile (es. Ø14/Ø16 mm) e può essere del tipo a Morsetto semplice: per attacco diretto della fune o Morsetto multiplo: per sospensione di due/tre/quattro funi contemporaneamente.

8) **Attacchi per i trefoli di terra:** è il punto di connessione tra il palo e il trefolo di guardia (alluminio o Acciaio). Serve a chiudere il circuito di terra (generalmente è collegato ai VLD) e a convogliate verso terra eventuali correnti o sovratensioni in caso di fulmini o guasti.

Trazione Elettrica: Filo di contatto

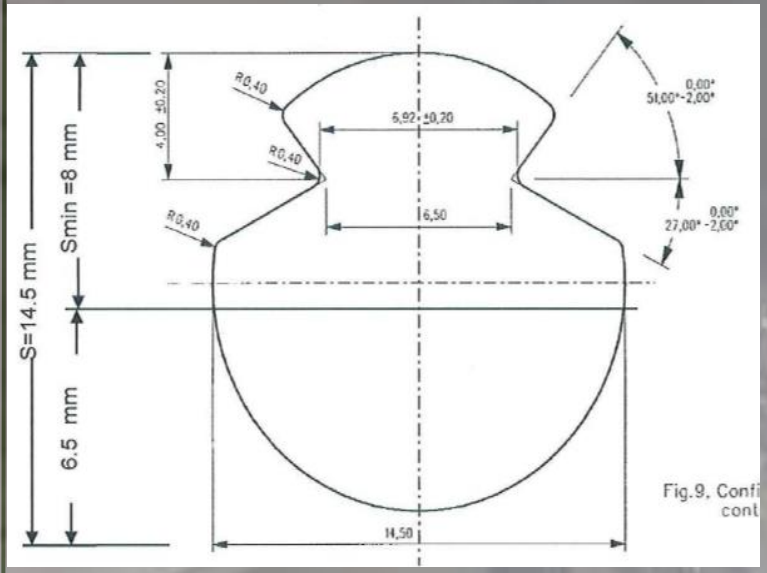


Fig.9. Confi
cont

Specifiche tecniche del filo sagomato di rame elettrolitico crudo da 150 mm²:

- diametro: 14,5 mm;
- sezione: 150 mm2;
- carico massimo ≥ 45,1 kN;
- peso ≈ 1,33 kg/m;
- resistenza elettrica max ≈ 0,122 Ω/km

Uno degli aspetti fondamentali nell'interazione pantografo-linea di contatto è la captazione regolare della corrente. E' necessario che le pressioni esercitate dal pantografo sulla catenaria e le caratteristiche elastiche di quest'ultima siano appropriate. Il filo di contatto, sul quale striscia il pantografo delle macchine di trazione assicura una captazione efficiente e sicura della corrente da parte del pantografo del treno.

Il filo di contatto (sagomato) è un filo di rame elettrolitico crudo trafilato, con sezione e sagomatura specifica che consente l'attacco dei morsetti di sospensione, la resistenza meccanica alle sollecitazioni ed una buona conduttività elettrica. La sagomatura si riferisce alla forma del filo di contatto che presenta un profilo circolare con due scanalature opposte per facilitare l'attacco dei morsetti di sospensione.

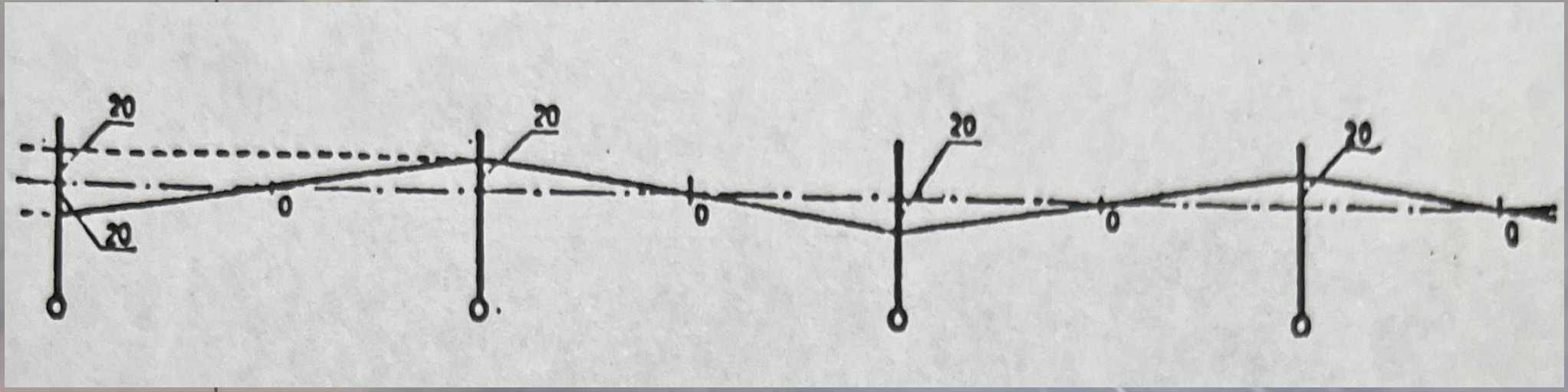
Le sezioni più comuni sono: 100 mm², 120 mm² e 150 mm².

È conforme alle normative europee EN 50149, che regolano i requisiti per i fili di contatto in rame e leghe di rame.

Trazione Elettrica - Poligonazione

Per consentire un uniforme consumo degli striscianti dei pantografi, il filo di contatto viene, in corrispondenza di ogni sospensione, con leggera trazione, poligonato rispetto all'asse del binario per mezzo dei tiranti detti appunto di poligonazione.

In rettifilo la poligonazione del filo di contatto è disposto a zig-zag rispetto alla mezzeria del binario. Tale andamento a zig-zag si ottiene disponendo i tiranti di poligonazione delle sospensioni successive rispettivamente 20 cm a sinistra e 20 cm a destra rispetto all'asse del binario In pratica il filo di contatto è contenuto in una striscia di 40 cm che coincide con la zona di strisciamento del pantografo. Al centro di ogni campata si ha il punto di poligonazione nullo

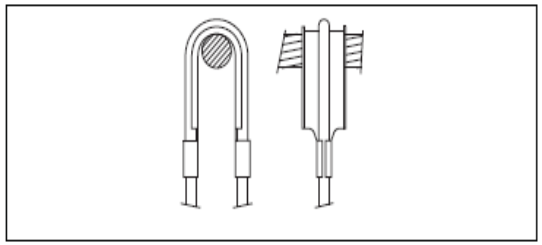


Trazione Elettrica: Pendini e Cavallotti

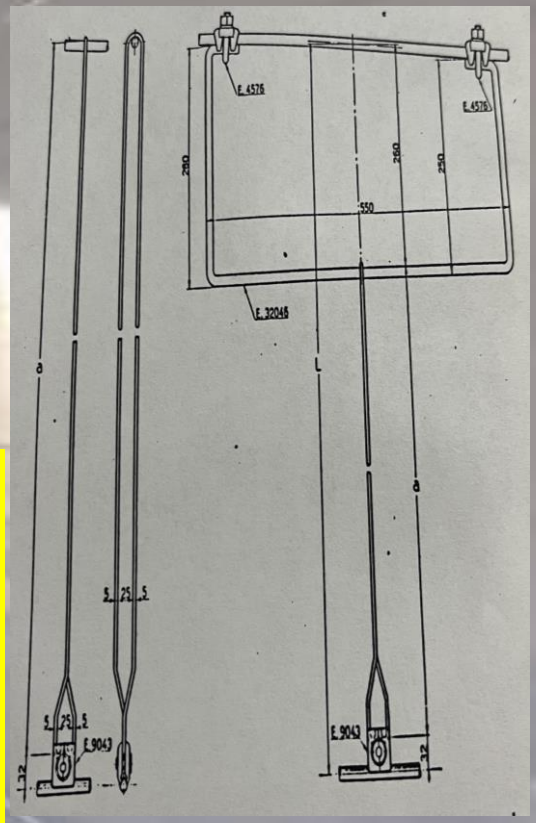
I fili di contatto vengono collegati alla corda portante a mezzo di pendini accavallati direttamente sulla corda portante, oppure in prossimità delle contrappesature con cavallotti di scorrimento orizzontale fissati alla corda portante.

La funzione dei pendini è mantenere il filo di contatto alla giusta altezza e garantire una tensione costante lungo tutta la linea
I pendini sono realizzati con tondino di rame di sezione 5 mm. Per favorire lo scorrimento del pendino sulla corda vengono usate anche delle «sellette» in rame.

SELLETTA PER PENDINO

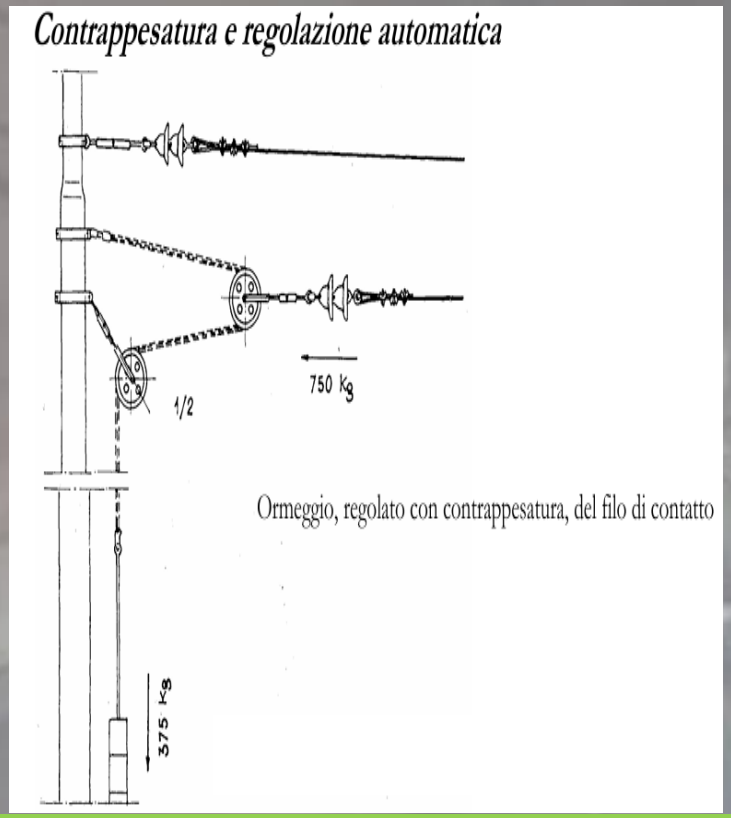


Il cavallotto di scorrimento è un elemento che consente il movimento longitudinale del filo di contatto all'interno della sospensione, compensando le dilatazioni termiche e le variazioni meccaniche dovute al passaggio dei treni o alle condizioni ambientali.



l cavallotto di scorrimento è generalmente installato: nei punti di sospensione della fune portante, in corrispondenza delle mensole o dei bracci di poligonazione, nei tratti dove è necessario compensare il movimento del conduttore.

Trazione Elettrica -Contrappesatura e regolazione automatica



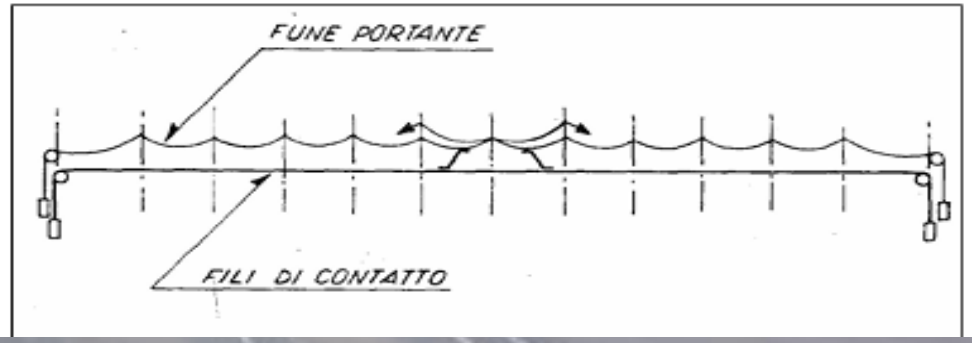


L'escursione termica a cui sono sottoposti i conduttori di rame (mediamente tra --15°C e + 45°C) determina una dilatazione/contrazione dei conduttori stessi nelle diverse stagioni. Ciò avrebbe come conseguenza il fatto che i conduttori di contatto si allontanerebbero eccessivamente dalla condizione ideale di essere ad **altezza costante** sul piano di rotolamento del binario. Per evitare ciò si ricorre alla contrappesatura dei conduttori (solo linea di contatto oppure linea di contatto + fune portante) finalizzata a mantenere pressoché costante il tiro mediante un sistema di masse e carrucole che consenta la necessaria libertà di scorrimento longitudinale.

Trazione Elettrica -Contrappesatura e regolazione automatica

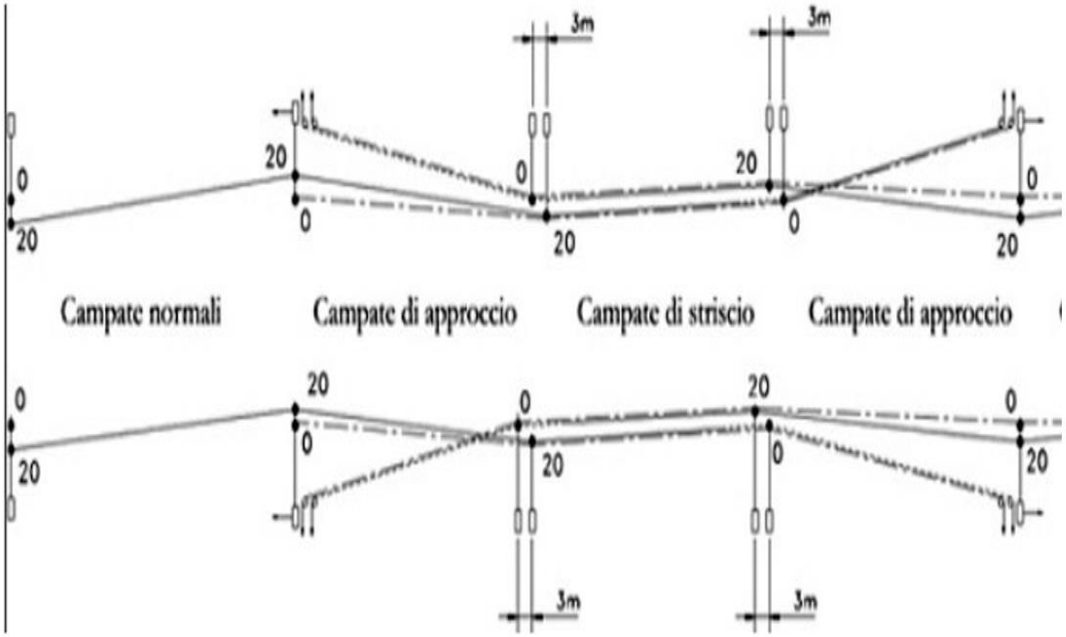


Le escursioni termiche producono nei conduttori di rame una dilatazione massima di un centimetro ogni dieci metri per cui, per contenere le eventuali rotazioni di tirantini e di mensole entro i citati 70 centimetri è necessario che tra il punto fisso ed il punto contrappesato del conduttore non si superi la distanza di 700 metri. **Di qui la necessità di ricorrere a campate di contrappesatura di 1.400 metri con un punto fisso centrale e due contrappesature, una per ogni estremo.**



Trazione Elettrica: Contrappesatura e Regolazione Automatica

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.



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.

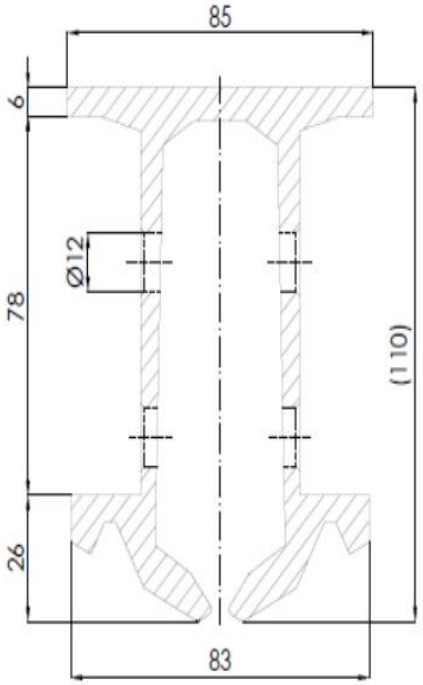
Trazione Elettrica: Catenaria Rigida

La Catenaria rigida consiste in un sistema di linea aerea di contatto di tipo rigido **realizzato tramite un profilato scatolare di alluminio in cui viene alloggiato un filo di contatto standard**. La lunghezza di ogni barra di profilato è di 12m.

Tale tipo di catenaria rispetto a quella tradizionale ha alcuni aspetti migliorativi quali l'installazione in galleria di sezione ridotta in mancanza di spazi sufficienti per l'attrezzaggio della catenaria elastica tradizionale, mancanza del tiro meccanico dei conduttori, assenza di contrappesature, modalità di manutenzione e tempi di manutenzione ridotti.



Profilato catenaria rigida con filo di contatto



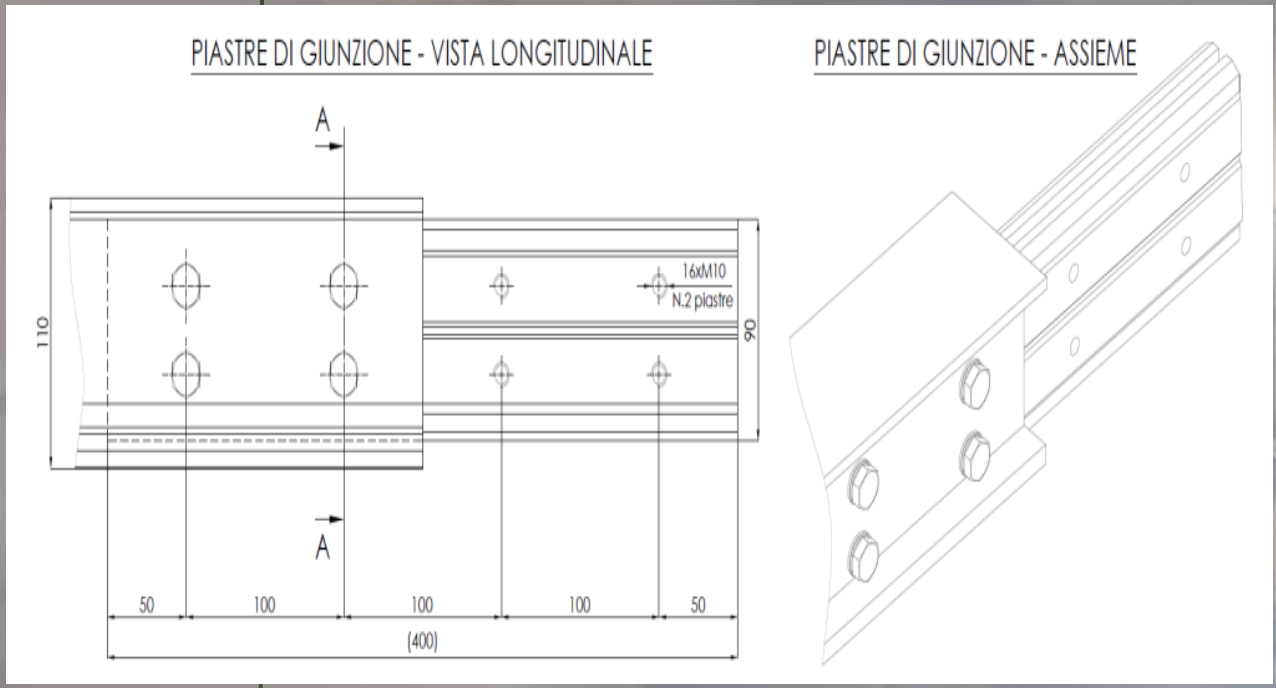
Profilato quotato catenaria rigida

Ad oggi la catenaria rigida trova principale impiego:

- Negli impianti metropolitani
- Nelle officine di manutenzione dei rotabili
- Nelle gallerie ferroviarie di alcuni Gestori dell'Infrastruttura.

Trazione Elettrica: Catenaria Rigida

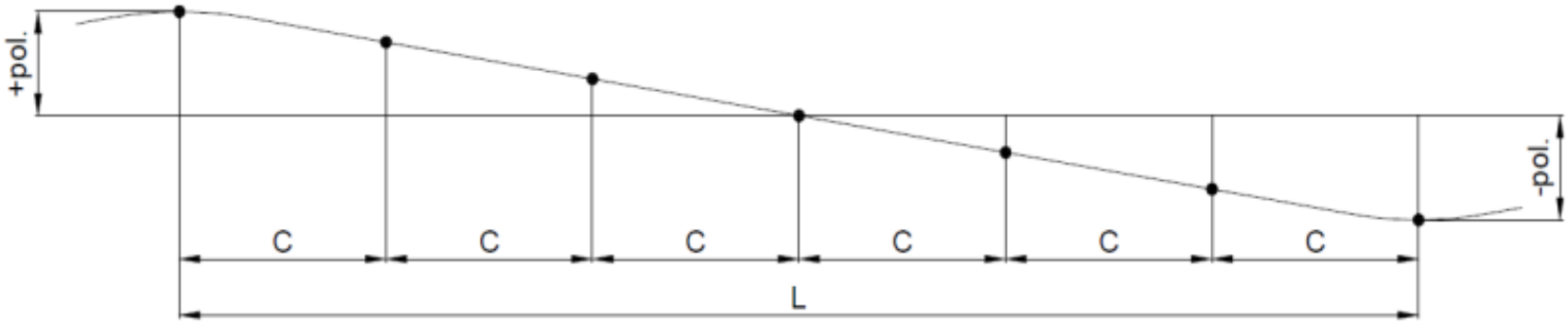
I profilati sono collegati tra loro mediante giunti. La coppia di piastre ha la funzione di garantire la continuità meccanica ed elettrica





Il profilato è ancorato al volto della galleria tramite idonee sospensioni. La tipologia di sospensione da utilizzare generalmente è quella a traversa isolata

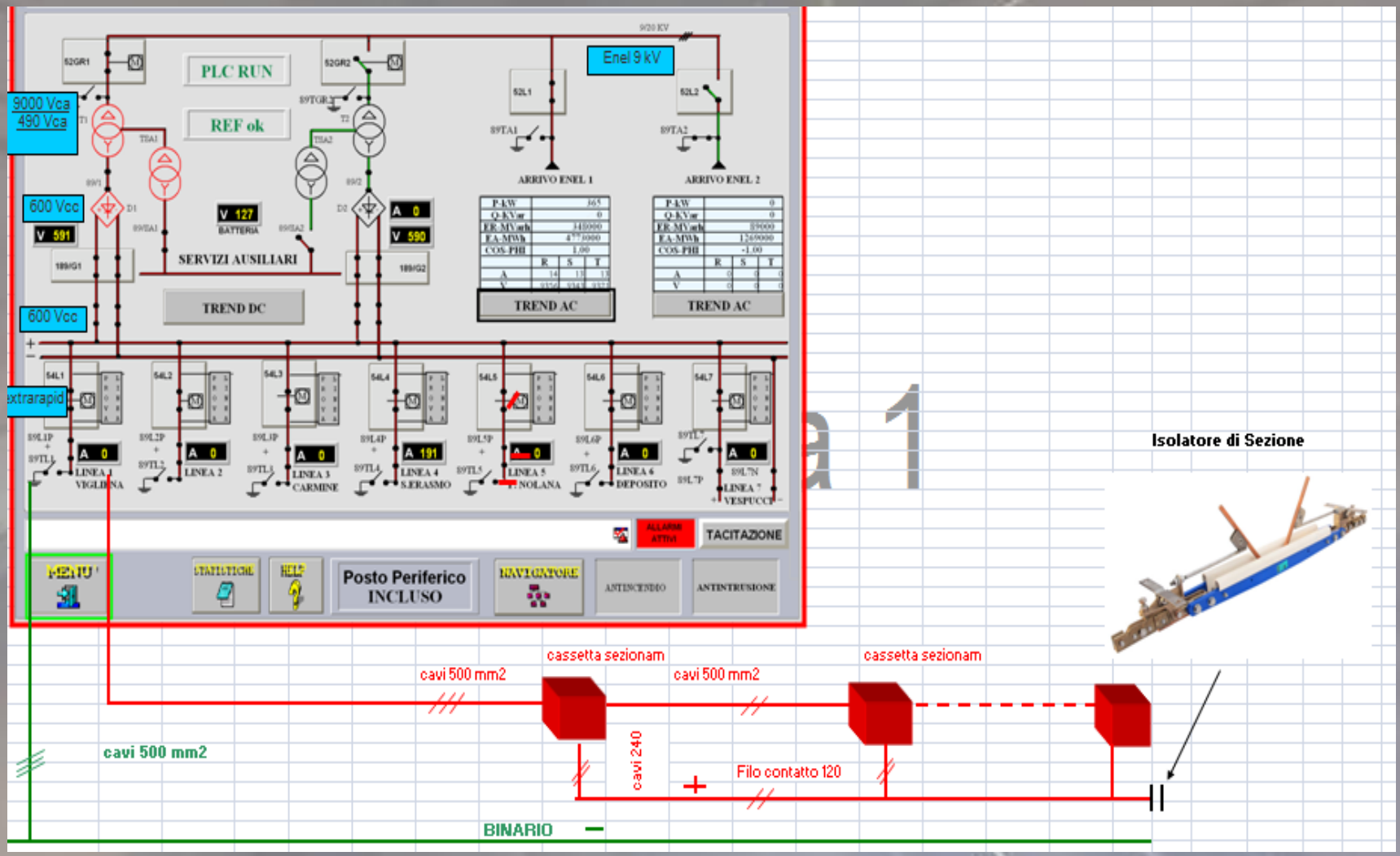
Trazione Elettrica: Catenaria Rigida



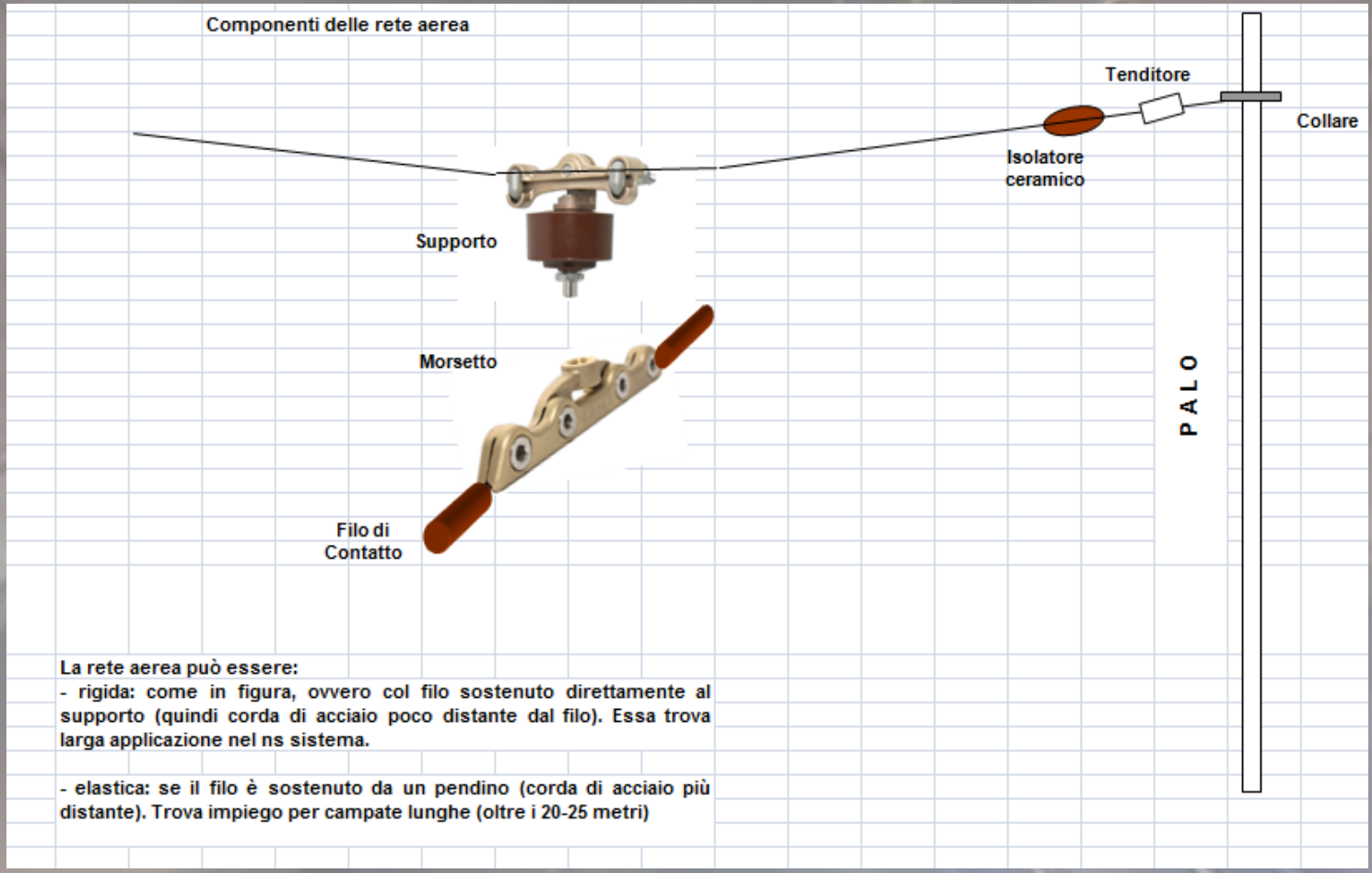
La catenaria rigida, in analogia a quella tradizionale, deve essere poligonata al fine di rendere uniforme l'usura dello strisciante del pantografo.

Velocità linea [km/h]	Campata di riferimento (C) [m]	Poligonazione (±pol.) [cm]
80	12	20
120	10	20
160	8	15

Trazione Elettrica: Cenni Filotramviaria



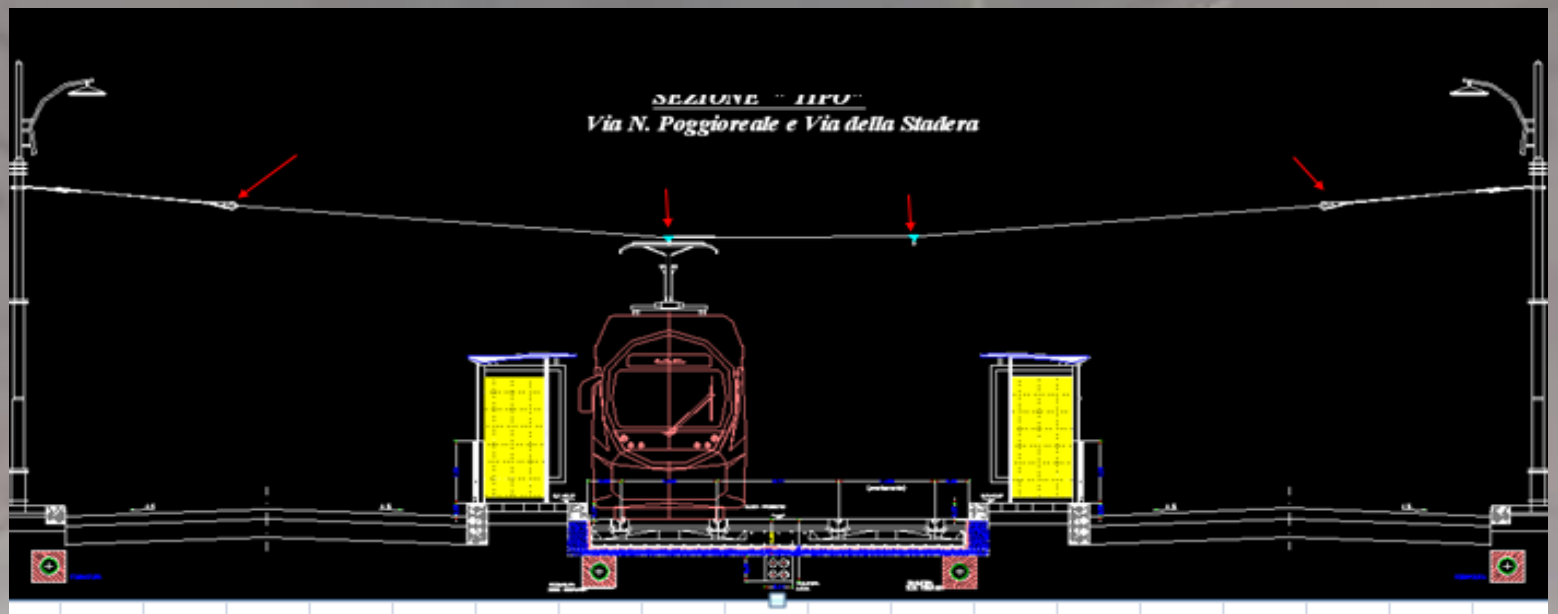
LINEA DI CONTATTO (Rete Aerea)



La rete aerea può essere:
- rigida: come in figura, ovvero col filo sostenuto direttamente al supporto (quindi corda di acciaio poco distante dal filo). Essa trova larga applicazione nel ns sistema.

- elastica: se il filo è sostenuto da un pendino (corda di acciaio più distante). Trova impiego per campate lunghe (oltre i 20-25 metri)

LINEA DI CONTATTO (Rete Aerea)



La rete aerea filotranviaria è costituita da filo sagomato di 120 mm2 sostenuto da una trasversale ormeggiata tra pali

Negli impianti **ANM** ci sono anche applicazioni di corde in parafill (isolante) anziché in acciaio, adottate in casi di installazioni in balconi o spazi abitati.

Il sistema elettrico di TE è a doppio isolamento, ovvero tra la parte in tensione e la parte metallica accessibile alle persone (palo) vi sono 2 gradi d'isolamento: il primo fornito dal supporto isolante del filo verso la corda di acciaio ed il secondo fornito dall'isolatore ceramico verso i pali (vedi freccia in rosso)

Supporto



LINEA DI CONTATTO (Rete Aerea)

Il conducente filotranviario è la prima sentinella dell'impianto. Egli, come recita il regolamento d'esercizio, deve prontamente intervenire avvisando i posti di guardia aziendali riguardo ad eventuali anomalie (rottura del filo, di isolatori, ed altre anomalie).
L'impianto filotranviario è caratterizzato dalla promiscuità delle 2 tipologie di servizio. Per tale ragione sono frequenti eventi di deragliamento (scarrucolamenti) delle aste trolley filoviarie che danneggiano i pezzi speciali, in particolare gli incroci.
Quando un tram transita sotto un incrocio deformato con molta probabilità danneggia il proprio pantografo che nella migliore delle ipotesi provoca il fermo del veicolo e talvolta anche danneggiamento alla rete aerea per lunghi tratti. Il fermo di un tram in strada provoca gravi perturbazioni all'intero servizio tranviario ed alla viabilità
Una buona manutenzione dell'impianto ed una vigile condotta dei conducenti filotranviari consebte di prevenire tali disservizi.





Poligonazione

Il filo di contatto ha un andamento inclinato rispetto alla mezzeria del binario, procedendo di campata in campata nella posizione -20 cm, 0, + 20 cm (vedi linea rossa in figura).
In tal modo il filo scorre sul profilo degli striscianti in uno spazio di 40 cm, consumandoli in maniera più uniforme facendo sì da aumentare la durata degli stessi. Senza la poligonazione il filo solcherebbe lo strisciante in 1 sol punto danneggiandolo in breve tempo.