

LA TRAZIONE ELETTRICA IN FERROVIA



GENERALITA'

I locomotori dei treni elettrici, ad esclusione delle nuove linee ad Alta Velocità che sono alimentati in c.a. a 25 kV 50 Hz monofase, sono alimentati da un sistema di trazione a 3 kV cc, con questo sistema i motori dei locomotori vengono alimentati con il polo positivo dal pantografo che striscia sul filo di contatto e col polo negativo dalle rotaie.

Le linee di contatto vengono alimentate dalle sottostazioni elettriche (SSE) che sono dislocate lungo la linea ferroviaria.

Le SSE hanno il compito di abbassare la tensione primaria trifase generalmente in alta tensione fornita dall'ENEL, di convertirla in c.c. a 3,6 kV e di immetterla nel circuito di trazione.

La distanza fra le sottostazioni dipende dalla potenza da installare per km di linea, e dal non avere un abbassamento di tensione inferiore al 70% rispetto la tensione nominale che di 3 kV. In media questa distanza nelle linee principali è di circa una ogni 20 km.

In genere la potenza installata di una sottostazione è superiore per poter sopperire al "fuori servizio" delle sottostazioni limitrofe.

In caso di "fuori servizio" dei gruppi la sottostazione funziona da "cabina" con la sbarra omnibus e gli interruttori extrarapidi in funzione, svolge la funzione di "impianto di protezione e sezionamento" con le stesse modalità di una SSE.

Le SSE alimentano la linea di contatto tramite una sbarra (omnibus) da cui si dipartono gli alimentatori che vanno ad alimentare le varie sezioni della linea di contatto.

Le rotaie sono collegate elettricamente ai macchinari delle SSE e ai motori delle locomotive attraverso il contatto rotaie-ruote. Le rotaie hanno la stessa funzione dei conduttori di alimentazione e di contatto.

Tra due SSE ed in corrispondenza delle stazioni la linea di contatto è a sua volta sezionabile tramite sezionatori aerei per circoscrivere la mancanza di tensione in caso di guasto o manutenzione.

Le condutture dei binari di piena linea sono alimentati separatamente dai binari di stazione.

I binari di piena linea vengono denominati in: "binario pari" per i treni che marciano da est ad ovest e da sud a nord, "binario dispari" per i treni che marciano da ovest ad est e da nord a sud.

Le apparecchiature delle SSE e dei posti di sezionamento oltre a poter essere comandati da un quadro locale sono telecomandati e telecontrollati da un posto centrale "DOTE" (Direzione Operativa Trazione Elettrica) presenziato 24 ore al giorno, dove pervengono su monitor tutte le segnalazioni di allarmi e di anomalie di tutte le apparecchiature delle SSE e della linea di contatto. Anche le richieste di disalimentazione per manutenzione debbono essere fatte a questo posto centrale.

LINEA DI CONTATTO

Generalità costruttive

La linea di contatto nelle linee principali è formata da due fili di contatto in rame opportunamente sagomati per consentire l'attacco dei morsetti di sospensione, sostenuti da due funi portanti in cordato di rame.

Le funi portanti sostengono i fili di contatto mediante i "pendini" opportunamente distanziati. (in foto)

Le funi portanti sono sorrette da un isolatore in teflon fissato sulla mensola, le mensole sono fissate ai pali tramite dei tiranti.

I pali sono distanziati di 60 m circa uno dall'altro in rettilineo, mentre in curva questa distanza è inferiore.

La linea si dispone secondo una catenaria, la distanza fra la corda portante ed i conduttori di contatto nel punto di sospensione è di 1,40 m.

La lunghezza dei pendini è fatta in modo che i fili della linea di contatto risultano orizzontali.

Nella mezzeria della catenaria sono posti dei cavallotti equipotenziali tra le funi ed i fili in cordato di rame flessibile.

L'altezza dei conduttori dal piano delle rotaie è 5 m ma può scendere fino a 4,65 nel caso di cavalcavia e nelle gallerie.

Per consentire un uniforme consumo degli striscianti dei pantografi le condutture sono disposte a zig-zag rispetto alla mezzeria, ottenuta mediante dei bracci e tiranti di poligonazione fissati alle mensole, permettendo così al pantografo di strisciare su una lunghezza di 40 cm circa; i tiranti di poligonazione sono collegati ai bracci tramite un isolatore in teflon.

Per eliminare le variazioni di freccia delle catenarie che si hanno col variare delle temperature e per avere i fili costantemente tesati, le condutture sono suddivise in tratte della lunghezza 1200-1600 m i cui estremi sono ormeggiati e contrappesati ad un sistema che costituisce il "posto di regolazione" che con un sistema di carrucole vengono tesati con peso meccanico di 750 kg.

La linea di contatto dei binari secondari delle stazioni è formata da una fune portante fissa senza contrappeso e da un filo di contatto con contrappeso fatto in modo che il pantografo dei locomotori possa passare da un binario all'altro senza interruzione dell'alimentazione.

Per circoscrivere al massimo la mancanza di tensione durante la manutenzione o in caso di guasto sono adottati i seguenti accorgimenti:

- Separazione meccanica ed elettrica dei binari dispari da quello dei pari.

- Separazione meccanica ed elettrica delle condutture dei binari di stazione da quelle dei binari della piena linea.
- Suddivisione dei piazzali delle stazioni in zone elettriche separate da isolatori e alimentate da sezionatori.

La linea di contatto è in genere alimentata in modo bilaterale, cioè le SSE alimentano con gli alimentatori le due estremità di una tratta; quando è alimentata da un solo alimentatore si dice alimentazione a sbalzo.

Le sottostazioni alimentano con il positivo attraverso gli alimentatori e i sezionatori la linea di contatto e con il negativo la rotaia.

A monte delle uscite degli alimentatori sono montati gli interruttori extrarapidi, tarati ad un valore opportuno in base alla lunghezza della tratte che devono garantire l'apertura quando si supera il valore di corrente di taratura.

Caratteristiche elettriche

Il calcolo elettrico della linea di contatto si pone lo scopo di determinare la sezione di rame della linea stessa e la distanza tra le sottostazioni, partendo dai seguenti elementi:

- tensione di alimentazione;
- andamento planimetrico di ciascuna tratta;
- tipi di locomotori da usare;
- peso dei convogli da trainare e loro velocità;
- minima distanza fra i convogli;
- cadute di tensione ;

In genere le linee vengono sovradimensionate per poter far fronte ad un maggiore utilizzo futuro.

La linea di contatto nelle linee principali è formata da due fili di contatto in rame del diametro di 11,8 mm e di sezione 100 mm^2 ciascuno, sostenuti da due funi portanti in cordato di rame a 19 fili del diametro di 2,8 ciascuno di sezione 120 mm^2 ciascuna.

La sezione utile complessiva per il passaggio della corrente di trazione risulta quindi di 440 mm^2

La resistenza di 1 km di linea risulta $0,0177 \times 1000/440 = 0,040 \text{ ohm}$.

La resistenza di 1 km di binario (due rotaie in parallelo) è di $0,011 \text{ ohm}$.

La resistenza totale di un km di linea risulta $0,040 + 0,011 = 0,051 \text{ ohm}$

Nell'esercizio si ammette una tensione minima pari al 70% della tensione nominale (3000 V)

La distanza fra le sottostazioni è di circa 20 km.

Gli interruttori extrarapidi sono tarati tra i 1500 e i 3500 A

Il circuito di protezione (messa a terra dei sostegni delle strutture portanti le condutture) è formato da due corde di alluminio da 125 mm² che collegano i pali e ogni palo è collegato ad un picchetto di terra .

La resistenza di terra deve essere inferiore a 5 ohm ed suddiviso in sezioni di circa 3 km

La linea di contatto della piena linea in genere è alimentata in modo bilaterale (è alimentata all'estremità dagli alimentatori delle SSE)

CIRCUITO DI TERRA DI PROTEZIONE

Il " circuito di terra " è costituito dai collegamenti che in territorio elettrificato, connettono stabilmente a terra ai fini protettivi tutte le attrezzature metalliche che per cedimento di isolatori o per cause accidentali, potrebbero trovarsi a contatto con conduttori in tensione

Tutti i pali sono collegati ad un proprio picchetto di terra , e sono collegati tra loro tramite due corde in alluminio del diametro di 120 mm²

Il circuito è suddiviso in sezione di 3 km circa, nelle linee a doppio binario le sezioni sono collegate tra loro e un estremo è collegato alle rotaie tramite delle valvole di tensione, che quando la differenza di potenziale tra il circuito di terra e le rotaie supera un certo valore, chiude il circuito che si riaprirà quando la differenza di potenziale ritornerà ai valori normali.

Nelle linee con " blocco automatico " una sola estremità della sezione del circuito di terra è collegata alle rotaie per evitare lo shuntaggio delle sezioni del blocco per il segnalamento; le linee senza blocco automatico sono collegate le due estremità. (vedi schemi)

La resistenza di terra di ogni sezione deve essere inferiore ai 5 ohm.

Il cedimento di un isolatore della linea di contatto farà intervenire la valvola di tensione che richiamerà una corrente di "guasto" sicuramente superiore al valore di taratura degli extrarapidi che l'alimentano che quindi si apriranno.

Le connessioni induttive servono per sbarrare la c.a. dei circuiti di binario a bassissima tensione e a lasciare passare la corrente di ritorno della trazione.

LINEE PRIMARIE

Le linee primarie alimentano le SSE ad una tensione di 200,132,66 kV, l'alimentazione viene fornita dall'ENEL.(in foto)

Secondo il modo di alimentazione primaria le SSE possono essere in serie o in derivazione.

Le SSE in serie hanno le sbarre in serie sulle primarie, sia in entrata che in uscita vi è un interruttore (I) di linea aprendo il quale si interrompe la continuità della linea primaria.(vedi schema)

Il piazzale AT di alcune SSE in serie svolge servizio di interconnessione tra più linee primarie alla stessa tensione.

Le SSE in derivazione hanno le sbarre in derivazione dalla linea primaria mediante un interruttore o un sezionatore.(vedi schema)

L'apertura di tale interruttore o sezionatore toglie l'alimentazione alla sottostazione, ma non interrompe la continuità della linea primaria.

Alcune SSE vengono alimentate ad anello da un'unica fonte esterna con protezioni ai fini elettrici affidate a relè ampero- cronometrici e a complessi di protezioni distanziometriche a gradini che indipendentemente provocano direttamente il comando automatico di apertura degli interruttori di linea nel caso di sovraccarico o corto circuito tra le fasi compresa fase a terra.

Lo scopo dei dispositivi distanziometrici è di comandare l'apertura dei rispettivi interruttori di linea in caso di anomalie di esercizio, con azione selettiva della distanza e della direzione, basata sui gradini di tempo in modo da escludere dal servizio i tronchi di linea dove si sono manifestati dei guasti sia di natura transitoria (scariche atmosferiche, contatto accidentale, ecc.) che di natura permanente (folgorazione isolatori, caduta conduttori, ecc.)

In tal modo viene mantenuto il regolare servizio nei tronchi di linea non interessati dal guasto.

La protezione selettiva è a quattro gradini di tempo di cui i primi tre sono direzionali ed il quarto è adirezionale, vale a dire che la protezione comanda l'apertura dei rispettivi interruttori nei primi tre gradini di tempo solo per i guasti che avvengono dalla parte dell'uscita della propria linea e non per guasti che avvengono alle spalle cioè sulle linee affluenti alla sottostazione o sulle sbarre A.T. della sottostazione stessa.(vedi schema)

SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE (SSE)

Le SSE hanno il compito di abbassare la tensione primaria (220,132, 66 kV)fornita dall' ENEL, di convertirla in c.c. a 3,6 kV e di immetterla nel circuito di trazione costituito da: sbarra positiva - linea di contatto - pantografi presa corrente - motori dei locomotori – rotaie - sbarra negativa.

Le principali apparecchiature delle SSE sono: (vedi schema)

- i sezionatori tripolari d'ingresso delle linee primarie detti “sezionatori di linea” corredati di lame di terra.*
- gli interruttori tripolari di linea*
- i sezionatori tripolari di sbarra*
- i sezionatori tripolari di gruppo*
- gli interruttori tripolari di gruppo*
- i trasformatori di gruppo*
- i trasformatori dei servizi ausiliari*
- i sezionatori esapolari*
- gli armadi raddrizzatori*
- le sbarre omnibus*
- i filtri delle armoniche gli interruttori extrarapidi*
- i sezionatori di I° e II° fila.*

Tutte le apparecchiature a monte del sezionatore esapolare sono generalmente poste all'aperto e costituiscono il “reparto Alta Tensione”, mentre quelle a valle costituiscono il “reparto a 3kv c.c.” e sono generalmente all'interno di un fabbricato.

Oltre alle parti fondamentali sopra indicate, le SSE sono equipaggiate di apparecchiature necessarie al funzionamento dei servizi ausiliari e strumenti di misura.

Le SSE sono equipaggiate con uno o più gruppi di conversione, in genere i gruppi che attualmente le ferrovie adottano, forniscono una potenza di 3600 e 5400 kW.

L' impianto di terra è magliato con un conduttore di rame nudo della sezione di 120 mm² estesa per tutto il perimetro della sottostazione interrata a circa 70 cm di profondità con aggiunta di picchetti di terra lungo il perimetro e dove ci sono macchinari.

Ad esso vanno collegate tutte le masse metalliche ed il neutro dei trasformatori.

La resistenza di terra deve essere inferiore a 0,2 ohm.

Le tensioni di passo e di contatto devono essere contenute entro i limiti stabiliti dalle norme CEI.

SEZIONATORI AT DI LINEA DI SBARRA E DI GRUPPO

I sezionatori AT come tutti sezionatori servono a separare tratti di un circuito elettrico, pertanto vanno manovrati sia in apertura che in chiusura in assenza di carico, cioè ad interruttore aperto, un blocco elettrico e meccanico ne impedisce l'apertura ad interruttore chiuso.(in foto)

Il sezionatore garantisce di accertare a vista il reale stato del circuito. I sezionatori AT sono in genere a poli affiancati con tre colonnine per ogni fase, quella centrale ruota sul suo asse verticale e porta un braccio rigido orizzontale le cui estremità vanno ad inserirsi nelle rispettive sedi sostenute dalle due colonnine laterali alle quali fanno capo i conduttori dei circuiti da separare.

La manovra dei sezionatori può essere fatta a mano o a motore, condizionata da blocchi elettrici tale da impedirla quando l'interruttore del circuito da separare è chiuso.

I sezionatori lato linea a differenza di quelli di sbarra e di gruppo sono corredati da lame di terra per collegare a terra le tre fasi della linea primaria in arrivo in caso di lavori; la manovra delle lame è meccanicamente bloccata con quella del sezionatore e quindi le lame di terra non possono venir chiuse a sezionatore di linea chiuso.

L'INTERRUTTORE DI LINEA E DI GRUPPO

L'interruttore è un apparecchio atto ad interrompere o stabilire un circuito elettrico percorso da corrente.

Gli interruttori AT sono utilizzati per proteggere le linee primarie dai cortocircuiti e dai sovraccarichi e si possono manovrare sotto carico.

L'interruttore di linea è tripolare, ogni polo interrompe una fase.

Sono costituiti da un involucro in porcellana che garantisce l'isolamento verso terra e contiene i contatti fissi e mobili.

L'interruzione di corrente e lo spegnimento dell'arco elettrico che si sviluppa all'apertura dei contatti avviene in gas SF₆ (esafloruro di zolfo).

Le manovre di apertura e chiusura avvengono tramite una cassa di manovra pneumatica.

L'interruttore di gruppo differisce da quello di linea per avere l'apertura a disaccensione in quanto è legato all'apertura d'emergenza (AG).

Caratteristiche:

- tensione nominale 132 kV-50 Hz,*
- corrente nominale 1250 A,*
- corrente di corto circuito 31,5 kA*

TRASFORMATORI DI MISURA (TA e TV)

L'inserzione degli apparecchi di misura e dei relè destinati a comandare l'apertura degli interruttori posti a protezione delle sottostazioni elettriche (massima corrente e distanziometriche) non viene fatta direttamente sui circuiti di alta tensione ma mediante dei riduttori di corrente T.A. e di tensione T.V.

TRASFORMATORE DI POTENZA

Il trasformatore di potenza è a tre avvolgimenti uno primario a stella e due secondari triangolo/stella muniti di un variatore di rapporto atto ad essere comandato sotto carico.

Il nucleo e gli avvolgimenti sono tenuti nel “cassone” pieno d’olio avente funzione di isolamento e di raffreddamento.

E’ installato sopra un “pozzetto di raccolta dell’olio” esso serve a raccogliere l’olio che fuoriesce dal cassone in caso di perdita o d’incendio.

La protezione del trasformatore è affidata all’interruttore di gruppo.

In particolare una protezione contro i guasti interni che sono sempre accompagnati da sviluppo di gas, è data da un relè a sviluppo di gas (bochhols) posto sul condotto di collegamento tra il vaso di espansione e il trasformatore, il relè a sviluppo di gas è provvisto di due galleggianti con dei contatti a mercurio di cui uno segnala l’allarme gas, l’altro provoca l’apertura dell’interruttore di gruppo.

Il trasformatore è anche protetto da un termometro per la temperatura interna che segnala l’allarme quando la temperatura dell’olio supera i 60° C, è provoca l’apertura dell’interruttore di gruppo quando supera i 70°.

La potenza apparente per i trasformatori utilizzati per i gruppi di conversione fino a 5400 kW cc e di 5400 kVA.

dalla bobina di ritenuta stessa provocato dal superamento di una soglia di corrente tarabile ed intrinseca nell'extrarapido.

L'apertura automatica dell'extrarapido determina l'attivazione di un circuito elettrico chiamato "prova terra" che è in grado di verificare lo stato di isolamento della linea di contatto e di dare, in caso di linea isolata, il comando automatico di richiusura dell'extrarapido.

L'apparecchiatura per la prova di terra automatica è essenzialmente costituita da due relè cronometrici (T1-T2), da un relè di massima tensione (RV) alimentato da un partitore di tensione volumetrico (PV) e da un relè ausiliario RVx.

In sintesi il funzionamento del circuito prova terra è il seguente:

Dopo un tempo regolabile dai 2 ai 10 secondi, il circuito invia alla linea di contatto, attraverso una resistenza da 20 Ω , la tensione della sbarra omnibus positiva.

Se la linea di contatto risulterà isolata, nella resistenza non ci sarà caduta di tensione ed il relè RV si ecciterà avviando la fase di chiusura dell'extrarapido (eccitazione dell'RVx); se invece la linea risulterà a terra, la maggior parte della tensione sarà presente ai morsetti della resistenza stessa determinando la non eccitazione del relè RV e quindi la non chiusura.

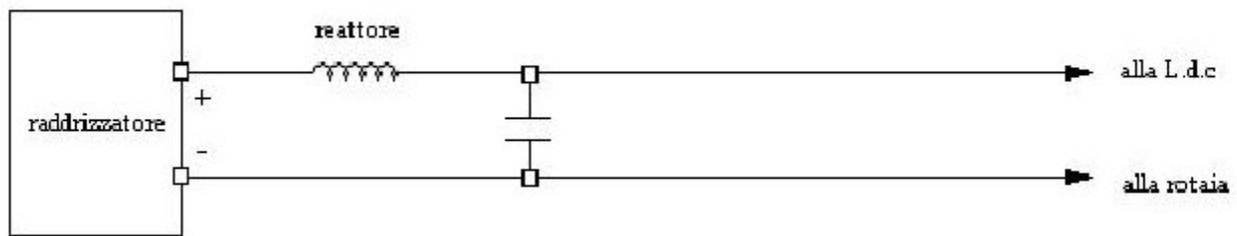
Ogni tronco di linea di contatto compreso fra due SSE è normalmente alimentato da entrambe le SSE che si ripartiscono il carico e funzionano, rispetto ad esso, in parallelo: si parla in questo caso di alimentazione bilaterale. Quando un tronco di linea è alimentato da una sola estremità (da una sola SSE) si parla di alimentazione a sbalzo.

IL FILTRO

Scopo del filtro è quello di impedire alle armoniche presenti nella tensione raddrizzata di uscire dalla sottostazione evitando così disturbi per induzione alle comunicazioni telefoniche sulle linee vicine alla ferrovia.

E' costituito da un grosso reattore (6-9 mH) montato in serie alla sbarra positiva a valle del raddrizzatore e da una batteria di condensatori in derivazione tra la sbarra positiva e la sbarra negativa.

La capacità della batteria dei condensatori viene suddivisa in tre sezioni, ciascuna comprende 4 condensatori da 30 micro farad



CELLA MISURE

La cella misure 3 kv cc comprende gli strumenti di misura sia a lettura diretta che registratori i quali consentono di tenere sotto controllo i livelli di tensione, gli assorbimenti di corrente, la potenza e l'energia erogata dalle SSE.

SCARICATORE A 3KVcc

Lo scaricatore a 3 kVcc, collocato all'esterno a ridosso del fabbricato di SSE, è collegato elettricamente all'uscita di ogni extrarapido

E' utilizzato per proteggere le apparecchiature interne alla sottostazione di conversione dalle sovratensioni (scariche atmosferiche) provenienti dalla linea di contatto

Esso è costituito da uno spinterometro, da un condensatore, da una resistenza e da un collegamento di terra.

Le principali caratteristiche sono:

- tensione nominale 3,0 kVcc*
- tensione massima permanente 3,6 kVcc*
- tensione max a vuoto 5,1 kVcc*
- corrente nominale di scarica 10 kA*

SEZIONATORI A 3 KV

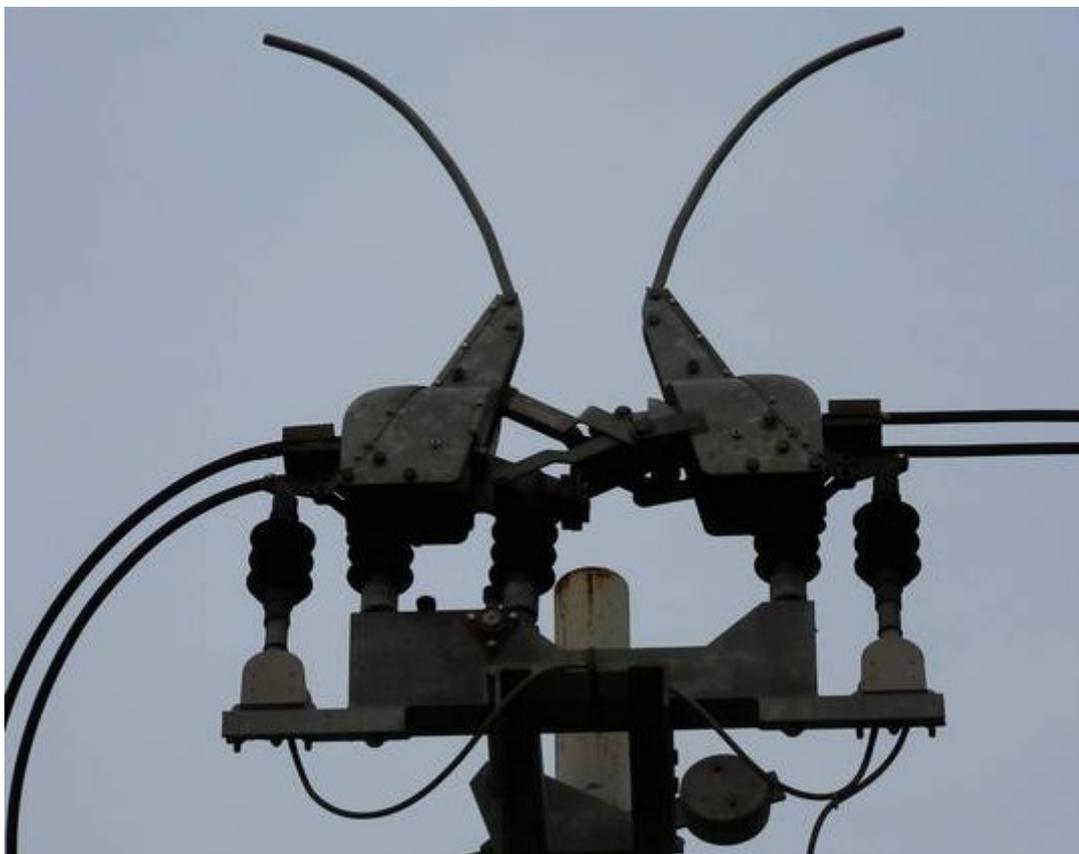
I sezionatori a 3 kV sono composti da tre isolatori portanti, due esterni con a capo i conduttori del circuito da separare, e uno centrale che collegato ad un polo di essi ruota e taglia o chiude il circuito, altri due isolatori esterni servono per i controlli di “aperto” o “chiuso”.

Sono provvisti di corna per un'eventuale spegnimento dell'arco e possono interrompere correnti fino a 6000 A senza subire danni.

Le manovre di apertura e chiusura del sezionatore avvengono tramite una cassa di manovra posta alla base del palo con motore a c.c..

Le manovre possono essere effettuate anche a mano.

I sezionatori a corna posti all'uscita della sottostazione vengono denominati di “1° fila” si differenziano dagli altri per la caratteristica di avere il comando dell'apertura a “diseccitazione” essi si devono aprire per intervento dell'apertura d'emergenza.



sezionatore chiuso

CIRCUITO DI RITORNO

La denominazione di circuito di ritorno ha significato solo nella trazione a c.c.

Si intende per “circuito di ritorno”, il circuito costituito essenzialmente dalle rotaie,(escluse quelle utilizzate per i circuiti di binario che debbono essere tenute isolate dalle altre per il segnalamento) avente lo scopo di convogliare al negativo delle sottostazioni le correnti di ritorno della trazione elettrica.

Le rotaie sono collegate con dei cavi alla sbarra negativa della sottostazione che ha origine nell’armadio raddrizzatore.

Pertanto le rotaie hanno la stessa funzione dei conduttori di alimentazione e di contatto

CIRCUITO DI EMERGENZA (AG)

Il circuito di emergenza serve per limitare i danni derivanti da inversioni di correnti, correnti di corto circuito che si verificano nella SSE. Nel caso di funzionamento anomalo provoca l'apertura generale (AG) di tutte le apparecchiature della SSE (interruttori di gruppo, extrarapidi e sezionatori di 1° fila) determinando il distacco completo della SSE sia lato AT che lato in c.c a 3 kV.

Tali apparecchiatura hanno l'apertura a diseccitazione e la chiusura a lancio di tensione (vedi schema).

L'apertura generale può essere provocata anche per comando manuale tramite pulsanti situati in punti particolari (sala quadri, porta di accesso, cancello d'ingresso ecc.).

SOTTOSTAZIONI MOBILI (SSM)

Le SSM sono delle sottostazioni montate su uno o più carri ferroviari.(in foto e nello schema)

Sono formate da un interruttore di gruppo, dal complesso trasformatore- raddrizzatore, dagli alimentatori extrarapidi e dalle relative apparecchiature di una SSE fissa.

Nelle SSE fisse sono predisposti il binario destinato ad accogliere la SSM , nonché la possibilità dei relativi allacciamenti primari e secondari

Le sottostazione mobili sono impiegate per:

- sostituzione di quelle fisse fuori servizio per guasto o per revisione,*

integrazione della potenza delle fisse per far fronte ad un aumento eccezionale di traffico.