

# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE  
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA DELL'ENERGIA ELETTRICA

**Tesi di Laurea Magistrale in  
Ingegneria dell'Energia Elettrica**

## **STUDIO E PROGETTAZIONE DI UN INTERVENTO DI RINNOVO TECNOLOGICO DI SOTTOSTAZIONE ELETTRICA (SSE) FERROVIARIA DI CONVERSIONE**



**Relatore: Prof. Roberto Turri**

**Correlatori: Andrea Gozzi (RFI SpA)  
Ferdinando Oliviero (RFI SpA)  
Roberto Avesani (RFI SpA)  
Tiziano Benetti (RFI SpA)**

**Laureando: ENRICO MARCAZZAN  
1197573**

ANNO ACCADEMICO 2020/2021







# Premessa

In questa tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria dell'Energia Elettrica si intende studiare e progettare il rinnovo di una Sottostazione Elettrica (SSE) ferroviaria di conversione, struttura cardine della Trazione Elettrica (TE) alla tensione di 3 kV in corrente continua.

L'ubicazione di tale SSE (esistente) e i dati sensibili ad essa collegati non saranno rivelati in questo documento per consentirne la pubblicazione nel pieno rispetto dei vincoli di privacy e segretezza aziendale. L'argomentazione infatti, deriva da informazioni ricavate ed elaborate durante un'esperienza di stage aziendale del laureando presso Rete Ferroviaria Italiana SpA, l'azienda che gestisce l'intera infrastruttura ferroviaria nazionale.

Di particolare importanza per la comprensione degli argomenti trattati e loro successiva elaborazione e stesura è stato il corso di Sistemi Elettrici per l'Industria e Trasporti, che tratta approfonditamente in una sua parte, i fondamenti della TE a 3 kVcc.

La struttura della tesi si compone di:

- ↪ Un'*introduzione*, la quale descrive un *inquadramento generale sull'organigramma aziendale e sulla procedura di affidamento dei lavori pubblici e forniture*;
- ↪ Un *primo capitolo* che fornisce i *fondamenti della TE a 3 kVcc*, focalizzandosi sui criteri di dimensionamento delle linee di contatto, sulla configurazione standard delle SSE e sul comportamento dodecafase dei gruppi di conversione;
- ↪ Un *secondo capitolo* che analizza lo *stato di fatto della SSE* oggetto di intervento, studiando nello specifico tutte le apparecchiature e sistemi elettrici che ne danno forma e funzione;
- ↪ Un *terzo capitolo* che *descrive i problemi riscontrati durante l'esercizio* e che motivano quindi la decisione di rinnovo;
- ↪ Un *quarto capitolo* in cui si *progetta il nuovo impianto* a risoluzione dei problemi;



# Indice

<b>Introduzione .....</b>	<b>1</b>
<b>Fondamenti della TE a 3 kVcc.....</b>	<b>7</b>
1.1 Criteri progettuali per il dimensionamento degli impianti TE a 3 kVcc .....	7
1.2 Configurazione standard delle SSE.....	11
1.3 Comportamento dodecafase del gruppo di trasformazione/conversione .....	32
<b>Stato di fatto della SSE .....</b>	<b>45</b>
2.1 Generalità della SSE .....	45
2.2 Connessione alle Linee Primarie (LP) .....	46
2.3 Schema unifilare di potenza della SSE .....	48
2.4 Architettura del SdG [8] [22].....	83
2.5 Layout generale della SSE .....	85
<b>Problemi e motivi dell'intervento .....</b>	<b>93</b>
3.1 Manutenzione sugli IG [15] .....	93
3.2 Conformità alla tenuta all'arco interno degli armadi 3 kVcc.....	95
3.3 Regolazione sotto-carico dei T <sub>G</sub> .....	96
3.4 Fornitura e malfunzionamento delle centraline RTU a microprocessore .....	96
3.5 Protocolli di comunicazione .....	97
3.6 Cablaggio dei quadri estremamente compatto .....	98
<b>Progettazione definitiva della nuova SSE .....</b>	<b>99</b>
4.1 Progetto dello schema unifilare di potenza .....	99
4.2 Progetto del layout generale.....	139
4.3 Procedura d'intervento .....	145
<b>Conclusioni .....</b>	<b>167</b>
<b>Bibliografia - sitografia.....</b>	<b>169</b>





# Abbreviazioni e acronimi

AG	Apertura Generale	IEC	International
AQ	Accordo Quadro		Electrotechnical
ASDE	Asservimento a		Commission
	Diseccitazione	IG	Interruttore di
AT	Alta Tensione		Gruppo
bt	Bassa Tensione	IL	Interruttore di
CA	Contratti		Linea
	Applicativi	LdC	Linea di Contatto
cc	Corrente continua	LFM	Luce Forza Motrice
cdt	caduta di tensione	LI	Lightning Impulse
CEI	Comitato	LP	Linea Primaria
	Elettrotecnico	MT	Media Tensione
	Italiano	MTBF	Mean Time
CI	Connessioni/Casse		Between Failures
	Induttive	OLTC	On Load Tap
Ctocto	Cortocircuito		Change
DAC	Digital Analogic	ONAN	Olio Naturale Aria
	Converter		Naturale
DOTE	Direzione	PD	Progetto Definitivo
	Operativa Trazione	PE	Progetto Esecutivo
	Elettrica	PPD	Posti di Parallelo
EMU	Unità		Doppio
	Elettromagnetica	PSA	Posti di
FDT	Funzione Di		Sezionamento
	Trasferimento		Automatico
FS	Ferrovie dello Stato	PSDE	Principio di
	Italiane		Sovrapposizione
GV	Generatore di		Degli Effetti
	tensione	PST	Phase Shifting
HP	Ipotesi		Transformer
IAC	Internal Arc	RCE	Registrazione
	Classified		Cronologica di
			Eventi

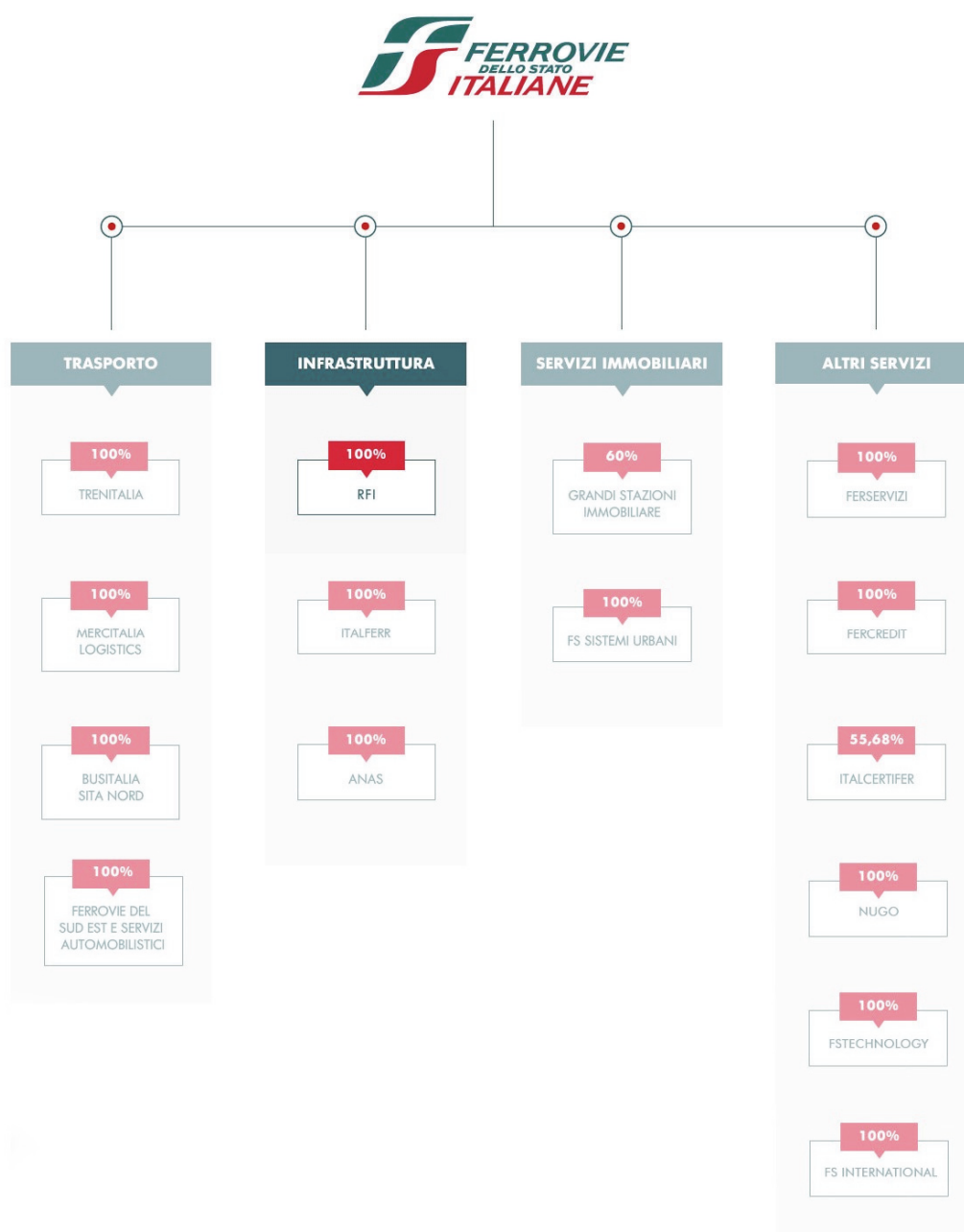
RED	Riscaldamento Elettrico Deviatoi	SW TA	Software Trasformatore
RFI	Rete Ferroviaria Italiana	TAV	Amperometrico Trasformatore
RTI	Raggruppamento Temporaneo di Imprese		Amperometrico Voltmetrico combinato
RTN	Rete di Trasmissione Nazionale	TE TG	Trazione Elettrica Trasformatore di Gruppo
RV	Rilevazione Voltmetrica	THD	Total Harmonic Distorsion
RZ	Raddrizzatore	TSA	Trasformatore
S	Sezionatore		Servizi Ausiliari
SA	Servizi Ausiliari	TV	Trasformatore
SC	Scaricatore		Voltmetrico
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition	UCA	Unità Centrale di controllo e Automazione
SdG	Sistema di Governo	UF	Unità Funzionale
SF <sub>6</sub>	Esafluoruro di Zolfo	UNI	Ente nazionale italiano di
SO	Sbarre Omnibus		unificazione
SPCC	Sistema di Protezione Comando e Controllo	UPA UPC	Unità Periferica di controllo e Automazione Unità Periferica di
SSE	Sottostazione Elettrica	UPP	Controllo Unità Periferica di
SSM	SottoStazione Mobile		Protezione
STC	Specifica Tecnica di Costruzione		
STF	Specifica Tecnica di Fornitura		





# Introduzione

Rete Ferroviaria Italiana (RFI) S.p.A. è un'azienda in forma di Società per Azioni partecipata al 100% da Ferrovie dello Stato Italiane (FSI), con le funzioni di gestore dell'infrastruttura ferroviaria nazionale, coordinando in sicurezza la circolazione ferroviaria, mantenendo in piena efficienza il suo fitto reticolo di linee e stazioni, e facendola evolvere per connettere sempre meglio le diverse aree del Paese. È stata costituita il 1° luglio 2001, per rispondere alle Direttive comunitarie, recepite dal Governo italiano, che hanno decretato la separazione fra il gestore della rete e il produttore dei servizi di trasporto. [1]



La sua struttura è articolata a livello centrale in 7 Direzioni di linee e 12 tra Direzioni e strutture di staff. Sul territorio, alla capillarità della rete ferroviaria, corrisponde una fitta articolazione organizzativa alle dipendenze delle Direzioni centrali. La sede legale è a Roma, mentre le sedi territoriali sono situate a

Torino, Milano, Genova, Venezia, Verona, Trieste, Bologna, Firenze, Roma, Napoli, Reggio Calabria, Bari, Ancona, Palermo, Cagliari, all'interno delle quali trovano sintesi tutti i processi funzionali alla circolazione (attuazione della normativa e delle prescrizioni operative di esercizio, mantenimento in efficienza, terminali e servizi di manovra).

Attualmente, le linee in esercizio si estendono per 16.787 km, dei quali 12.022 elettrificati e 7619 a doppio binario, con 2201 stazioni viaggiatori. [2]

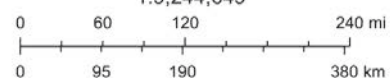


March 11, 2021

Istantanea sulla rete

- |   |                                 |   |                                 |
|---|---------------------------------|---|---------------------------------|
|  | Rete Fondamentale AV/AC (ERTMS) |  | Rete Fondamentale AV/AC (ERTMS) |
|  | Rete Fondamentale Tradizionale  |  | Rete Fondamentale Tradizionale  |
|  | Rete Complementare              |  | Rete Complementare              |
|  | Rete Complementare              |  | Rete Complementare              |
|  | Nodi                            |  | Nodi                            |

1:9,244,649



Esri, HERE, Garmin, FAO, NOAA, USGS

RFI rientra a pieno titolo nella definizione di organismo di diritto pubblico<sup>1</sup> ed è pertanto sottoposta al rispetto del Codice degli Appalti come previsto dall' Art. 1 D.Lgs 50/2016 che regola la materia degli appalti pubblici di lavori, forniture, servizi e concessioni, e dei relativi contratti pubblici. [3]

La procedura di affidamento dei lavori, forniture ecc. per importi di una certa soglia, prevede che RFI, definita stazione appaltante<sup>2</sup>, attua degli appositi bandi di gara. L'aggiudicatario di tali gare, il quale può essere una singola impresa o un

Raggruppamento Temporaneo di Imprese (RTI), molto spesso stipula con la stazione appaltante un Accordo Quadro (AQ), ovvero un accordo concluso tra le parti in cui sono individuate le condizioni alle quali l'Appaltatore si obbliga ad eseguire le prestazioni e forniture in opera oggetto dell'AQ medesimo in un determinato periodo, rimandando a successivi atti (Contratti Applicativi CA) le necessarie specificazioni per il concreto inizio delle attività/prestazioni medesime che di volta in volta verranno richieste.

Questa procedura consente di evitare lo svolgimento ripetitivo di piccoli affidamenti separati (e delle rispettive gare che richiederebbero ancor più tempo e risorse) aventi ad oggetto le stesse prestazioni, affidandole nel rispetto dei principi di economicità, efficacia, imparzialità, parità di trattamento, trasparenza, proporzionalità, pubblicità tutela dell'ambiente ed efficienza energetica.

A livello di progettazione, sempre in materia dei lavori pubblici, essa si articola secondo 3 diversi livelli di successivi approfondimenti tecnici in:

1. **Progetto di fattibilità tecnico economica:** individua tra più soluzioni, quella che presenta il miglior rapporto tra costi e benefici per la collettività, in relazione alle specifiche esigenze da soddisfare e prestazioni da fornire. In questo progetto il progettista sviluppa nel rispetto del quadro esigenziale, tutte le indagini e gli studi necessari, nonché gli elaboratori grafici per l'individuazione delle caratteristiche dimensionali, volumetriche, tipologiche funzionali e tecnologiche dei lavori da realizzare e le relative stime economiche.
2. **Progetto definitivo (PD):** individua compiutamente i lavori da realizzare, nel rispetto delle esigenze, dei criteri, dei vincoli, degli indirizzi e delle indicazioni stabiliti dalla stazione appaltante e, ove presente, dal progetto di fattibilità. Esso contiene, altresì, tutti gli elementi necessari al fine del rilascio delle prescritte autorizzazioni e approvazioni, nonché la quantizzazione definitiva del limite di spesa per la realizzazione e del relativo



<sup>1</sup> Secondo la legge italiana, un organismo di diritto pubblico è un soggetto giuridico collettivo il quale, pur potendo assumere la veste formale di ente di diritto privato (anche societario), presenta indici sostanziali di pubblicità che ne comportano la sottoposizione a un regime differenziato con conseguente applicazione delle regole dell'evidenza pubblica.

<sup>2</sup> Indica una pubblica amministrazione aggiudicatrice o altro soggetto di diritto, che affida appalti pubblici di lavori, forniture o servizi oppure concessioni di lavori pubblici o servizi.

cronoprogramma, attraverso l'utilizzo, ove esistenti, dei prezzi predisposti dalle regioni e dalle provincie autonome territorialmente competenti.

3. **Progetto esecutivo (PE)**: redatto in conformità al progetto definitivo, determina in ogni dettaglio i lavori da realizzare, il relativo costo previsto, il cronoprogramma coerente con quello del PD, e deve essere sviluppato ad un livello di definizione tale che ogni elemento sia identificato in forma, tipologia, qualità, dimensione e prezzo. Il PE deve essere, altresì corredato da apposito piano di manutenzione dell'opera e delle sue parti in relazione al ciclo di vita.

Ad occuparsi dei diversi livelli di progettazione è RFI, che normalmente affida assieme al CA solamente la progettazione esecutiva alle imprese esterne.

Per qualsiasi livello di progettazione, è necessario seguire e rispettare la *normativa interna RFI* che regola e standardizza a livello nazionale tutte le apparecchiature, gli enti, gli apparati e i sistemi, che normalmente compaiono nella Trazione Elettrica; disponibile sul sito [www.epodweb.rfi.it](http://www.epodweb.rfi.it) (es. Specifiche tecniche di fornitura) e comunque basata sulla *normativa CEI, IEC e UNI*.







# Capitolo 1

## Fondamenti della TE a 3 kVcc

In questo capitolo viene presentato in modo sintetico i fondamenti relativi agli impianti di Trazione Elettrica ferroviaria funzionanti alla tensione nominale di 3 kV in corrente continua. [5] [6] [7]

### 1.1 Criteri progettuali per il dimensionamento degli impianti TE a 3 kVcc

L'evoluzione degli standard delle Linee di Contatto (LdC) ha portato alla determinazione, per le linee TE a 3 kV in corrente continua (cc), delle seguenti tipologie standard che possiamo avere oggi:

Sezione [mm <sup>2</sup> ]	Corda/e portante/i [mm <sup>2</sup> ]	Regolazione	Filo/i di contatto [mm <sup>2</sup> ]	Regolazione	Tipo di Sospensione	Impiego
220	1x120	FISSA 1x819 daN (a 15°C)	1x100	REGOLATO 1x750 daN	(1)	Binari secondari di Stazione
220	1x120	FISSA 1x819 daN (a 15°C)	1x100	REGOLATO 1x750 daN (a 15°C)	(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 <sup>2</sup> )
270	1x120	REGOLATA 1x1125 daN	1x150	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 da 540 mm <sup>2</sup> )
320	1x120	REGOLATA 1x1375 daN	2x100	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	2x120	REGOLATE 2x1125 daN	2x100	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(*)	2x120	REGOLATE 2x1500 daN	2x150	REGOLATE 2x1875 daN	(2)	Binari di corsa di stazione, di piena linea allo scoperto e in galleria con velocità fino a 250 km/h
(1) Sospensione a mensola orizzontale tubolare in acciaio (2) Sospensione a mensola orizzontale in profilo di alluminio (*) Per velocità di linea superiore a 200 km/h è comunque necessaria la progettazione dei posti di comunicazione tra binari di corsa e binari di precedenza che dovrà essere sottoposta all'approvazione della struttura competente di RFI.						

Tabella 1.1 Caratteristiche delle LdC 3kVcc

Esistono, tuttavia, anche altre tipologie di LdC<sup>3</sup> installate negli impianti della rete nazionale e sono riportati nella seguente tabella:

Sezione [mm <sup>2</sup> ]	Corda/e portante/i [mm <sup>2</sup> ]	Regolazione	Filo/i di contatto [mm <sup>2</sup> ]	Regolazione	Impiego
320	1x120	FISSA 1x1100 daN (a 15°C)	2x100	REGOLATI 2x900 daN	Piena linea e stazione in galleria con velocità ≤ 150 km/h dove non è possibile regolare la corda
610	2x155	REGOLATE 2x1000 daN	2x150	REGOLATI 2x1125 daN	Piena linea e stazione allo scoperto ed in galleria con velocità fino a 200 km/h per elevati assorbimenti

Tabella 1.1 Ulteriori tipologie di LdC 3kVcc

La potenza derivabile dalla LdC, che determina di fatto il dimensionamento del sistema TE, è limitata dalla necessità di soddisfare contemporaneamente i seguenti CRITERI DI VERIFICA DELLA POTENZIALITA' DI UN IMPIANTO TE:

- 1) La massima corrente di linea che può circolare non deve provocare un superamento della sovratemperatura massima;
- 2) Il carico massimo sostenibile dai raddrizzatori non deve essere superato;
- 3) La minima tensione al pantografo deve mantenersi entro limiti tollerabili;
- 4) L'assorbimento di corrente non deve superare i valori di taratura degli interruttori extrarapidi di linea.

Fino agli anni '70 - 80 le verifiche delle potenzialità degli impianti TE furono eseguite mediante procedimenti analitici e grafici basati su ipotesi semplificative di traffico (treni uguali, equidistanziati e con velocità ed assorbimento costanti). In tal modo si arrivava alla compilazione di tabelle e grafici che fornivano la potenza unitaria limite assorbibile da un convoglio, in funzione:

- del distanziamento e della velocità dei treni;
- del passo tra le SSE;
- della potenza installata nelle SSE;
- della sezione della LdC.

A partire dagli anni '80 iniziarono a prendere piede i programmi di simulazione, in grado di modellizzare il traffico più vicino alla realtà e di eseguire valutazioni più approfondite sulla "situazione elettrica" degli impianti.

<sup>3</sup> Nel Capitolato Tecnico edizione 2008 *Esecuzione di un insieme di lavori autonomi ed a sè stanti di rinnovo e adeguamento delle condutture di contatto, dei pali e delle mensole di sostegno della linea di alimentazione elettrica da eseguirsi su tratti di linea della Rete Ferroviaria Italiana*, sono contemplate le ulteriori tipologie di LdC ancora in essere sulla rete ferroviaria nazionale.

Attualmente le analisi vengono eseguite considerando separatamente le situazioni:

- per l'**esercizio normale**: vengono presi in considerazione i periodi della giornata in cui il traffico è più intenso;
- per l'**esercizio anomalo**: vengono considerati i casi di anomalità alle linee (riavvio di una serie di treni a distanza di blocco, dopo un arresto per interruzione di linea) o di anomalità agli impianti (SSE fuori servizio).

Mentre in situazione normale, il traffico ipotizzato deve essere sostenuto senza superare i limiti, per le situazioni anomale, considerata l'eccezionalità e la breve durata, sono consentiti dei superi (ovvero fissati dei limiti diversi) comportanti maggiori sollecitazioni all'impianto o/e accettabili soggezioni alla marcia dei treni per abbassamenti di tensione.

Analizziamo ora più nel dettaglio i criteri seguiti per il dimensionamento degli impianti TE e i limiti normalmente assunti per le già citate condizioni determinanti da rispettare, sia in situazioni di esercizio normali che anomale.

### 1.1.1 Sovratemperatura della LdC

Un approccio completo sui limiti imposti dal riscaldamento della linea di contatto deve necessariamente considerare la sovraccaricabilità dei conduttori cioè la loro capacità di sopportare per brevi periodi, partendo da condizioni di riposo termico, intensità di corrente maggiori del limite consentito in regime permanente, senza superare la massima sovratemperatura ammissibile. Questa necessità è evidenziata dal fatto che la costante di tempo termica dei conduttori impiegati per la linea di contatto è dell'ordine di diversi minuti, cioè di tempi confrontabili con le percorrenze dei treni da SSE a SSE.

È possibile applicare, entro limiti di accettabile approssimazione, l'equazione differenziale:

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

dove<sup>4</sup>:

- $\vartheta(t)$  è la sovratemperatura assunta dalla linea di contatto in funzione del tempo  $t$ ;
- $\sigma(t)$  è la densità di corrente;
- $\tau$  è la costante di tempo termica del sistema;
- $C$  è una costante dipendente dalle condizioni di trasmissione del calore.

Il valore massimo ammissibile della temperatura della LdC accettato dalle amministrazioni ferroviarie è pari a:

$$T_{max} = 85^{\circ}C$$

e, facendo riferimento alle condizioni ambientali più sfavorevoli ( $45^{\circ}C$ ) si ha una sovratemperatura massima ammissibile della LdC pari a:

$$\vartheta_{max} = 85 - 45 = 40^{\circ}C$$

Quindi, poiché il Cu nelle LdC ha una costante di tempo  $\tau=10$  minuti e il diagramma di carico di una SSE è fortemente variabile in un tempo di 10 minuti c'è un elevato grado di sovraccaricabilità.

Grazie a tutta una serie di considerazioni quindi, si è arrivati a definire una massima densità di corrente da non superare a regime pari a:

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

### 1.1.2 Carico massimo ammissibile per i gruppi raddrizzatori

<sup>4</sup> In genere, per i conduttori in Cu della LdC da 100-150 mm<sup>2</sup>, in condizioni di ventilazione minima, si assume come valori delle costanti da introdurre nell'equazione  $C=2,5$  e  $\tau=10$  minuti

La determinazione dei limiti imposti dalla potenza dei gruppi di conversione viene eseguita, per ciascuna ipotesi di carico, calcolando il valore medio quadratico della corrente assorbita e la punta di corrente relativi ai diagrammi di carico della sottostazione, ottenuti dalla sovrapposizione dei diagrammi di assorbimento di ciascun treno della successione ipotizzata.

La seguente tabella mostra i limiti di ciascun gruppo standard:

Potenza nominale	Corrente nominale	Corrente media quadratica		Corrente di punta per durata non superiore a 5'
		Limite in situazioni normali (+50%)	Limite in situazioni anomale (+100%)	
[kW]	[A]	[A]	[A]	[A]
3600	1000	1500	2000	3000
5400	1500	2250	3000	3500

Tabella 1.2 Prestazioni standard dei gruppi raddrizzatori delle SSE

I limiti di corrente media quadratica sono cautelativi considerando che:

- in situazione normale, un sovraccarico del 50% rispetto al carico nominale può sicuramente essere sopportato da ciascun gruppo continuativamente, mentre è improbabile che le situazioni di massimo carico, sulle quali viene basata la verifica, si prolunghino per tempi superiori alle 2÷3 ore;
- in situazione anomala, un sovraccarico del 100% è sopportabile per 2 ore, tempo sicuramente inferiore alla durata delle situazioni anomale, a meno che non si tratti di guasti di lunga durata (ad es. una SSE fuori servizio per uno o più giorni), nel qual caso potranno essere imposte nella tratta considerata, se necessario, limitazioni all'esercizio.

### 1.1.3 Tensione al pantografo

La tensione al pantografo può variare intorno al valore nominale del sistema purché si mantenga entro valori massimi e minimi fissati dalla normativa nazionale ed internazionale vigente, sia in condizioni di esercizio normali che anomale:

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

Normalmente, per i criteri di progetto, per i nuovi azionamenti e per avere un buon funzionamento si cerca di avere una tensione:

Parametri	Situazioni di esercizio	
	Normali	Anomale
<b>Tensione utile media</b>	≥ 3000 V	≥ 2700 V
<b>Tensione minima assoluta</b>	2500 V	2300 V
<b>Percentuali rilievi di tensione ≤ 2800 V</b>	≤ 10 %	≤ 20 %

Tabella 1.3 Parametri limite connessi con la tensione al pantografo

### 1.1.4 Taratura degli extrarapidi

Questo criterio si era dimostrato, in dipendenza dell'entrata in servizio di mezzi di trazione più potenti, molto critico in alcuni tratti di linea, soprattutto perché, a differenza degli altri, vincola i valori istantanei degli assorbimenti.

Tuttavia, è stato possibile elevarne il relativo limite, puramente basato sul calcolo della massima corrente di linea, realizzando il reciproco asservimento tra le aperture automatiche degli interruttori

extrarapidi delle SSE limitrofe, combinato con il comando automatico di apertura in caso di anomali abbassamenti della tensione lungo la linea rilevati da appositi dispositivi RV<sup>5</sup> dove necessario. Grazie a queste tecnologie, la condizione relativa alla protezione dai corto-circuiti risulta meno critica delle altre e pertanto l'esame sui limiti di potenza derivabile dalla linea di contatto viene focalizzata sulle prime tre condizioni. Tuttavia, nella particolare condizione di assenza o malfunzionamento dei suddetti dispositivi di asservimento, il livello di taratura risulta più basso e ciò comporta ad una piena ripresa in considerazione di questo criterio.

## 1.2 Configurazione standard delle SSE

### 1.2.1 Generalità [4]

Le Sottostazioni Elettriche (SSE) sono delle strutture, di tipo fisso o mobile, con le funzioni principali di **trasformazione, conversione** dell'energia elettrica prelevata dalle Linee Primarie (LP) in Alta Tensione (AT) o Media Tensione (MT) degli Enti elettrici, alla tensione di 3 kVcc per l'**alimentazione** delle linee di Trazione Elettrica (TE).

In relazione alla disposizione delle apparecchiature, esse si distinguono in:

1. **Sottostazioni di tipo chiuso:** in cui tutte le apparecchiature ad alta tensione, a tensione anodica ed a tensione continua<sup>6</sup> servizi ausiliari compresi, sono sistemati entro un fabbricato. Precisamente si tratta delle sottostazioni di tipo più vecchio alimentate a 60 kV o tensioni inferiori.
2. **Sottostazioni di tipo misto:** in cui le apparecchiature ad alta tensione fino alle uscite del secondario del trasformatore gruppo sono sistemate in un piazzale all'aperto; tale reparto AT viene infatti anche comunemente chiamato "reparto all'aperto". Tutte le SSE alimentate a 120, 130 e 150 kV e parte di quelle a 60 kV sono di questo tipo.

Le SSE di tipo misto, in relazione al modo di collegamento alle condutture elettriche primarie di alimentazione, possono classificarsi in:

- *Sottostazioni in serie (fig. 1.1):* in esse le sbarre (o la sbarra) AT della SSE, dalle quali sono derivati i gruppi di conversione, sono in serie con la conduttura primaria ad alta tensione (o anche chiamata configurazione di collegamento entra-esci). Lo schema consente il sezionamento della LP mediante interruttori di linea. Ciascun gruppo viene inserito o disinserito e protetto mediante apposito interruttore di gruppo, indipendente da quelli di linea.

<sup>5</sup> Relè voltmetrici.

<sup>6</sup> Ogni complesso di conversione o gruppo di conversione (trasformatore-raddrizzatore) presenta 3 distinte tensioni: quella AT con la quale viene alimentato il trasformatore di gruppo, quella secondaria di uscita da tale trasformatore (anodica) e quella disponibile fra la sbarra positiva e negativa del raddrizzatore (continua).

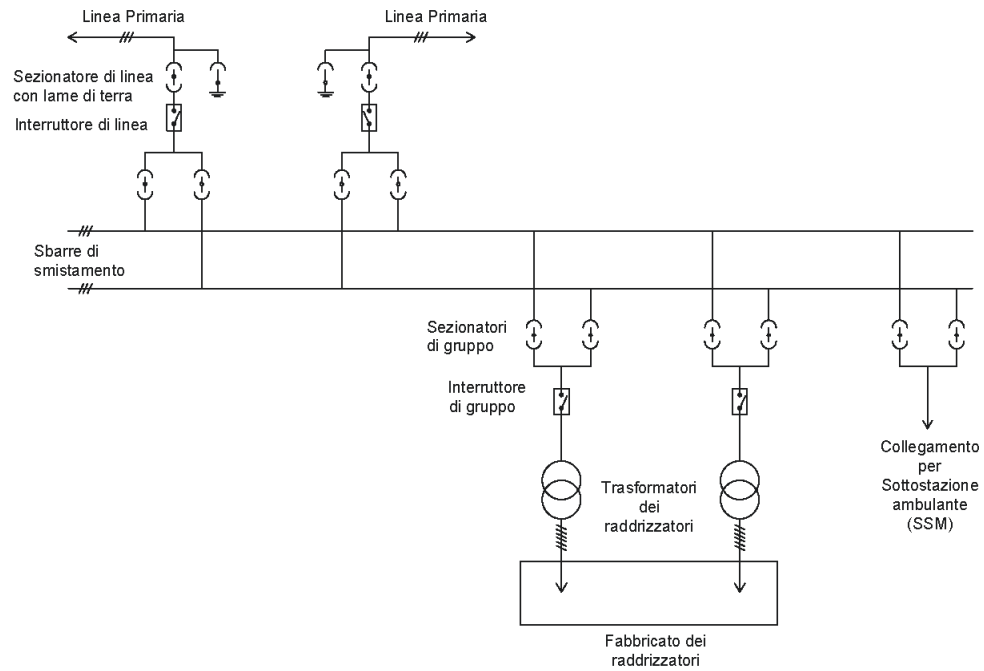


Figura 1.1 Generica SSE alimentata in serie da primaria a semplice terna

- **Sottostazioni in derivazione (fig. 1.2):** le sbarre (o la sbarra) di AT della SSE sono derivate dalle condutture primarie di alimentazione mediante interruttori di linea aventi la funzione di inserire o disinserire la SSE; ciascun gruppo di conversione è protetto da apposito interruttore di gruppo.

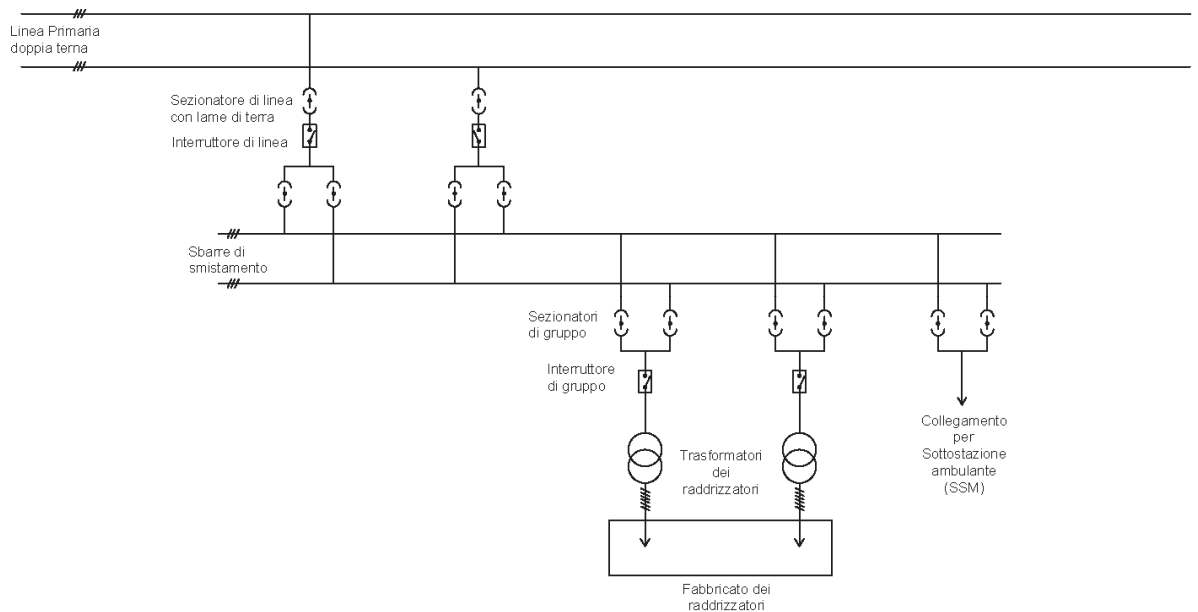


Figura 1.2 Generica SSE alimentata in derivazione da primaria a doppia terna

Ad oggi, tutte le SSE esistenti sono di tipo **non presenti**, ovvero non vi si prestano servizio gli agenti per le necessarie manovre. Quest'ultime vengono fatte a mezzo di impianti di telecomando e telecontrollo e telemisura dal personale dei Dirigenti Operativi di Trazione Elettrica (DOTE) che hanno giurisdizione in quella zona.



Lo schema unifilare di potenza di una tipica SSE (semplificato) illustrato in fig. 1.3, prevede principalmente: un'alimentazione primaria in configurazione entra/esci (realizzata mediante una sbarra AT e due stalli di linea), due gruppi di conversione da 5,4 MW e quattro interruttori extrarapidi. Ogni SSE è suddivisibile in 3 grandi comparti:

1. **Reparto AT in c.a. all'aperto**<sup>7</sup>;
2. **Reparto 3 kV in c.c. al chiuso**;
3. **Reparto 3 kV in c.c. all'aperto**.

Gli impianti di SSE possono essere ripartiti in otto sezioni funzionali, di cui le prime cinque, descrivono il circuito di potenza. Tutte queste parti sono interfacciate con un unico sistema computerizzato che ne consente il governo sia in postazione locale che remota.

Seguendo il percorso dell'energia elettrica sulla fig. 1.3, si individua la sezione di:

- **ALIMENTAZIONE E SMISTAMENTO** in AT/MT e AC
- **TRASFORMAZIONE E ALIMENTAZIONE MT**
- **CONVERSIONE DELL'ENERGIA**
- **PROTEZIONE E DISTRIBUZIONE TE**
- **SMISTAMENTO E ALIMENTAZIONE TE**

Le rimanenti tre sezioni sono:

- **GOVERNO, TELECOMANDO E SERVIZI AUSILIARI**
- **IMPIANTI DI TERRA E RITORNO TE**
- **IMPIANTI ED OPERE ACCESSORIE**

Un'ulteriore sezione fittizia, la nona, relativa a **MEZZI, ATTREZZATURE E STRUMENTAZIONE**, è stata infine introdotta per tener conto di mezzi d'opera, attrezzi di lavoro e strumenti di misura realizzati a standard e necessari in occasione degli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria con la massima sicurezza per gli operatori e per gli impianti.

---

## LEGENDA di fig. 1.3

---

### *Sezioni*

---

Alimentazione e smistamento

Trasformazione e alimentazione MT

Conversione dell'energia

Protezione e distribuzione TE

Smistamento e alimentazione TE

---

### *Enti e componenti*

---

Interruttore ( <b>I</b> ):	<ul style="list-style-type: none"> <li>– di linea (<b>I<sub>L</sub></b>)</li> <li>– di gruppo (<b>I<sub>G</sub></b>)</li> </ul>	
----------------------------	---	---

Sezionatore ( <b>S</b> ):	– di linea ( <b>S<sub>L</sub></b> )
---------------------------	-------------------------------------

---

<sup>7</sup> Nelle SSE alimentate in MT, se le linee di alimentazione sono aeree si può avere un reparto in MT simile a quello in AT. Se invece, più frequentemente, la o le linee di alimentazione sono in cavo, il reparto MT è al chiuso in locali adiacenti a quelli del reparto a 3 kV

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- di sbarra (<b>S<sub>S</sub></b>)</li> <li>- di gruppo (<b>S<sub>G</sub></b>)</li> <li>- con lame di terra (<b>S<sub>LT</sub></b>)</li> <li>- esapolare (<b>S<sub>E</sub></b>)</li> <li>- bipolare (<b>S<sub>B</sub></b>)</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- a corna di 1<sup>a</sup> fila (<b>S<sub>#</sub></b>)</li> <li>- a corna di 2<sup>a</sup> fila (<b>S<sub>#.#</sub></b>)</li> <li>- a corna binario pari (<b>S<sub>p</sub></b>)</li> <li>- a corna binario dispari (<b>S<sub>d</sub></b>)</li> </ul>	
Trasformatore ( <b>T</b> ):	<ul style="list-style-type: none"> <li>- di gruppo A-B (<b>TG<sub>A-B</sub></b>)</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- voltmetrico di linea (<b>TV<sub>L</sub></b>)</li> <li>- volt. media tensione (<b>TV<sub>MT</sub></b>)</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- amperometrico di linea (<b>TA<sub>L</sub></b>)</li> <li>- amp. di gruppo (<b>TA<sub>G</sub></b>)</li> <li>- amp. servizi ausiliari (<b>TA<sub>SA</sub></b>)</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- servizi ausiliari (<b>TSA</b>)</li> </ul>	
Raddrizzatore di gruppo ( <b>RZ</b> )		
Induttanza di filtro ( <b>L</b> )		
Condensatori di filtro ( <b>C</b> )		
Interruttore extrarapido ( <b>IR<sub>#</sub></b> )		
Scaricatore tensione ( <b>SC</b> )		
Relè Tensione ( <b>RV</b> )		
Binario		
Dispositivo cortocircuitatore ( <b>CC</b> )		
Separazione fisica e galvanica		

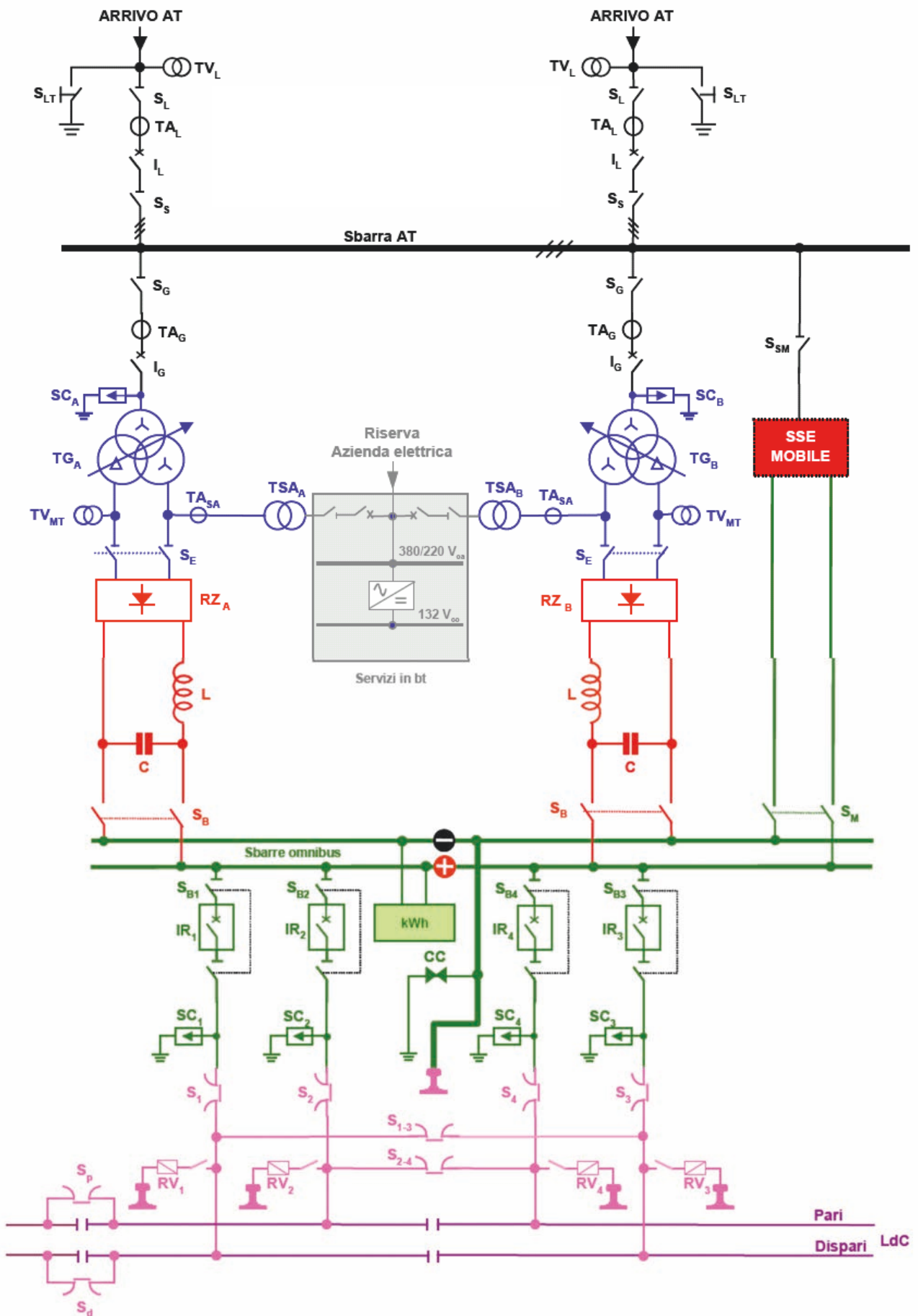


Figura 1.3 Schema unifilare di potenza di una generica SSE tradizionale

## 1.2.2 Sezioni, enti e componenti

Questo sottoparagrafo è dedicato alla descrizione dei sistemi, delle apparecchiature, degli enti e dei componenti principali impiegati nelle SSE (e quindi presenti anche in fig. 1.3).

- **ALIMENTAZIONE E SMISTAMENTO**

Questa sezione si sviluppa quasi esclusivamente all'aperto ed è costituita dall'insieme delle infrastrutture, apparecchiature e dispositivi di controllo e di protezione, installati tra gli arrivi linee e la successiva sezione di "trasformazione e alimentazione MT". A seconda del valore della tensione di alimentazione fornita alla SSE, chiameremo "SSE in AT" quelle alimentate a 66 (tensione ormai non più utilizzata), 132 e 150 kV, e "SSE in MT" quelle alimentate con tensioni generalmente comprese tra 15 e 24 kV. La sua configurazione può essere diversa e complessa a seconda del grado di importanza della SSE, tuttavia una struttura frequente è rappresentata in figura 1.4.

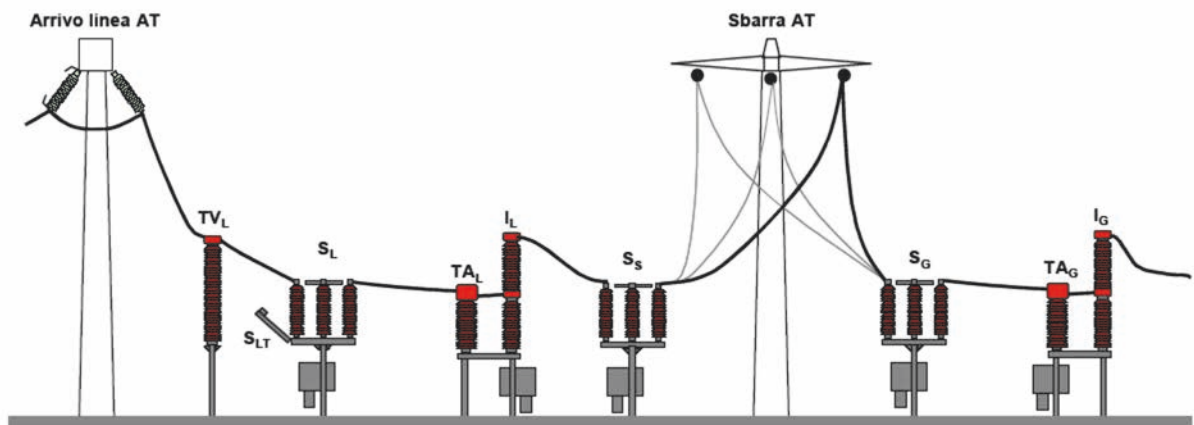


Figura 1.4 Vista schematica dallo stallo di arrivo linea a quello di alimentazione di gruppo

Osservando la suddetta figura, relativa ad un tipico reparto di AT all'aperto di una SSE, ne possiamo osservare partendo da sinistra i seguenti componenti:

### **Arrivi linea AT**

Sono costituiti dalle condutture elettriche aeree in AT che si amarrano ai portali o ai tralicci capolinea di SSE, ovvero delle parti terminali delle cosiddette linee primarie (LP). Esse vengono ancorate ad adeguati sostegni (tralicci, portali, pali, ecc.), mediante amarri spinterometrici e relativi accessori per ormeggi. Un tipico sostegno di arrivo linea che viene utilizzato al posto dei portali è quello tipo "palo gatto" mostrato in fig. 1.5 a cui si amarra una sola terna di conduttori.

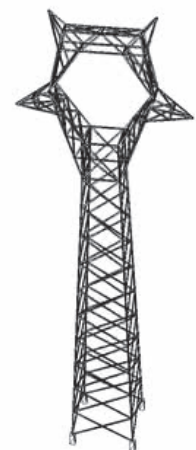


Figura 1.5 Sostegno a traliccio tipo "palo gatto"

### **TVL - Trasformatore di tensione di linea**

Per la misurazione della tensione di linea, viene derivato da ogni fase della linea di arrivo un trasformatore di tensione TVL di tipo induttivo (con elevato rapporto di trasformazione) o capacitivo (in grado di ridurre la tensione sfruttando la reattanza capacitiva a 50 Hz dei condensatori incorporati), necessario per ridurre la tensione a valori idonei per essere misurata dalle apparecchiature di controllo e di governo di tipo digitale e/o a microprocessore. In base al valore rilevato si ha o meno

l'intervento delle protezioni, sia di max-minima tensione che delle selettive distanziometriche.

### **$S_L + S_{LT}$ – Sezionatore di linea con lame di terra**

I sezionatori AT, come tutti i 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).

Sono in genere a poli affiancati con 3 colonnine per ogni fase (fig.1.6), 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 da separare.

Il sezionatore di linea in alta tensione  $S_L$ , a manovra manuale e/o motorizzata, è dedicato al sezionamento della linea stessa e accerta visibilmente il reale stato del circuito; allo stesso è associato il sezionatore  $S_{LT}$ , provvisto di particolari lame per la messa a terra delle condutture elettriche, vincolato nelle manovre a  $S_L$  per rendere impossibile la loro contemporanea chiusura, tramite blocchi meccanici ed elettrici.



Figura 1.6 Sezionatore AT di arrivo linea

### **$TA_L$ – Trasformatore di corrente di linea**

Per la misura delle correnti di linea, ai fini dei consumi energetici e delle esigenze di protezione, si impiega il trasformatore di corrente di linea  $TA_L$ , il quale lo si può trovare come apparecchiatura separata o inserito nel corpo dell'interruttore da proteggere. Tale dispositivo alimenta anche il relè di protezione per massima corrente, normalmente di ricalzo per le protezioni selettive distanziometriche.

### **$I_L$ – Interruttore di linea**

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



Figura 1.7 Interruttore tripolare di linea con TA incorporato

L'interruttore di linea tripolare in alta tensione  $I_L$  (fig. 1.7), è utilizzato per proteggere le LP dai cortocircuiti e dai sovraccarichi e si possono manovrare sottocarico.

Ogni polo interrompe una fase e l'interruzione della corrente/spengimento dell'arco avviene in gas  $SF_6$  (esafluoruro di zolfo). Il comando per la sua manovra (oleodinamico, a molla o ad aria compressa) comprende la trasmissione e le relative apparecchiature, la strumentazione per il controllo dei parametri di funzionamento e la circuitistica relativa ai blocchi elettrici e meccanici, nonché gli indicatori di posizione (aperto/chiuso) e i relativi collegamenti di terra.

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

### **S<sub>s</sub> – Sezionatore di sbarra**

A valle del complesso si trova il sezionatore di sbarra  $S_s$  analogo al sezionatore  $S_L$  ma privo delle lame di terra, la cui funzione è quella di garantire la continuità tra interruttore e sbarra.

### **Sbarra AT**

La sbarra, costituita dalla stessa tipologia di sostegni, conduttori, amari e isolatori degli arrivi linea AT, giungono tutti i conduttori di ogni arrivo AT e ripartono quelli di alimentazione delle successive apparecchiature di gruppo e dell'eventuale SSE mobile. La sua funzione principale è quella di consentire differenti schemi di alimentazione, sia in dipendenza dello stato di funzionamento della stessa SSE che di quelle adiacenti.

### **S<sub>G</sub> T<sub>AG</sub> I<sub>G</sub> – Montante di gruppo**

Dalla sbarra AT vengono derivate le terne di conduttori verso i sezionatori di gruppo  $S_G$  e da questi verso i trasformatori di corrente di gruppo T<sub>AG</sub> e gli interruttori di gruppo  $I_G$ , completi di dispositivi di protezione per massima corrente, tutti aventi circa le stesse caratteristiche elettriche e funzionali degli analoghi  $S_L$ , T<sub>AL</sub> e  $I_L$ .

Per le SSE aventi una ridotta superficie del reparto AT vengono impiegate apparecchiature compatte multifunzione (fig. 1.8) che assolvono alle funzioni di interruzione, misura (corrente), sezionamento e messa a terra (manuali e motorizzati) con grande riduzione dell'impegno di superficie, rispetto a quello che sarebbe stato necessario con l'impegno di apparecchiature singole. Questa particolare strategia tecnologica di compattamento è stata testata negli impianti di R.F.I. agli inizi degli anni 2000 e riunisce tutte le funzioni di alta tensione di uno stallo in un solo modulo.

Ogni fase include:

- un interruttore con il proprio comando (funzionamento sia monofase che trifase);
- due sezionatori con il proprio motore/comando manuale;
- due sezionatori di terra con il proprio motore/comando manuale;



Figura 1.8 Modulo compatto stallo AT

- un trasformatore di corrente;
- un trasformatore di tensione (eventualmente);
- uno scaricatore (eventualmente);
- un armadio di comando locale.

### SC – Scaricatore di tensione

Ogni fase, tra l'IG e il trasformatore di potenza, prevede uno scaricatore in AT SC<sub>A,B</sub>, previsto essenzialmente per una efficace protezione del trasformatore stesso dalle sovratensioni di origine atmosferica e di manovra.

Come si vedrà nei prossimi capitoli, con la cessione delle LP di AT di proprietà di RFI a Terna S.p.A., ovvero al gestore pubblico dell'enorme e complessa rete di trasmissione dell'energia elettrica nazionale, una parte del reparto di AT all'aperto delle SSE di RFI diventa proprietà di Terna con alcune ripercussioni quali:

- ogni SSE di fatto diventa un singolo "utente" che necessita dell'installazione del suo Gruppo di Misura Fiscale (GdM) per il conteggio e la misurazione dell'energia elettrica assorbita per il trasporto ferroviario;
- per eseguire interventi di manutenzioni su particolari punti del reparto AT di proprietà di RFI in vicinanza del reparto AT di proprietà di Terna, se vi è la presenza degli interruttori di tipo compatto è necessaria la richiesta di toltensione dei conduttori di Terna, quindi con conseguente prolungamento dei tempi e di possibili disservizi subiti da Terna. Per tale motivo, questo tipo di interruttori si stanno abbandonando e si stanno sostituendo quelli esistenti, installando interruttore e sezionatore separati, svincolandosi dalle dipendenze da Terna.

## • TRASFORMAZIONE E ALIMENTAZIONE MT

La funzione di questa sezione consiste nella trasformazione dell'energia da AT a MT per la successiva conversione in corrente continua. In essa si trovano due tipi di trasformatori:

### TG - Trasformatore di gruppo

È un trasformatore di potenza a tre avvolgimenti con I° a stella e due II° a triangolo-stella munito di variatore sotto carico lato I°. Il nucleo e gli avvolgimenti sono tenuti nel "cassone" pieno d'olio avente la funzione di isolamento e raffreddamento.

È installato sopra una vasca di raccolta dell'olio che serve a contenerne eventuali perdite e fra i due trasformatori di gruppo vi è interposta una paratoia antifiamma per proteggere l'uno in caso di incendio dell'altro (fig. 1.9).

La sua protezione è affidata all'interruttore di gruppo IG; 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 (Buchhols) posto sul condotto di collegamento tra il vaso di espansione e il trasformatore. Tale relè è provvisto di due



Figura 1.9 Trasformatore di gruppo e relativi scaricatori

galleggianti con dei contatti a mercurio di cui uno segnala l'allarme del gas, l'altro provoca l'apertura dell'I<sub>G</sub>.

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 e provoca l'apertura dell'I<sub>G</sub> quando supera i 70°C.

I trasformatori di gruppo T<sub>GA</sub> e T<sub>GB</sub> consentono l'alimentazione dei gruppi raddrizzatori alla tensione di 2710 V<sub>ac</sub> o 1355 V<sub>ac</sub> (a seconda del tipo di collegamento dei raddrizzatori), inoltre, essendo provvisti di variatori di rapporto a vuoto o sotto carico (prevalentemente installati sui trasformatori di potenza da 5,4 MW), regolano automaticamente la tensione al variare di quella secondaria controllata attraverso appositi TV in MT.

### **TSA – Trasformatore dei servizi ausiliari**

A valle dei TG e alimentati da un secondario degli stessi, vi si trovano i trasformatori a due avvolgimenti MT/bt dei servizi ausiliari T<sub>SA</sub>A e T<sub>SA</sub>B, con isolamento in olio/resina. Sono necessari alla trasformazione e distribuzione dell'energia per tutti i circuiti accessori (ausiliari, LFM, ...).

Anche per tali apparecchiature sono previste opportune protezioni tramite trasformatori di tensione e corrente in MT, rispettivamente per ogni gruppo di conversione TV<sub>SA</sub>, TV<sub>SB</sub> e T<sub>SA</sub>A, T<sub>SA</sub>B.

### **S<sub>E</sub> – Sezionatore esapolare**

A valle del TG e subito a monte del raddrizzatore di gruppo è inserito il sezionatore esapolare S<sub>E</sub> che permette di sezionare il gruppo raddrizzatore (fig. 1.10). Esso, normalmente previsto per manovra manuale, può essere motorizzato con l'applicazione di un apposito dispositivo elettrico di manovra. Nei nuovi armadi blindati raddrizzatori, esso è inglobato al loro interno e la separazione dei contatti avviene mediante estrazione dell'intero raddrizzatore posto su un carrello dall'interno dell'armadio.



Figura 1.10 Sezionatore esapolare

### • **CONVERSIONE DELL'ENERGIA**

Le apparecchiature di questa sezione, generalmente ubicate all'interno del fabbricato, hanno lo scopo di convertire la corrente alternata, fornita dai trasformatori di gruppo, in corrente continua alla tensione di 3,6 kV, tipica della trazione elettrica, e di filtrarne le armoniche.

### **RZ – Raddrizzatori di gruppo**

La tensione di 2710 V<sub>ac</sub> o 1355 V<sub>ac</sub> (a seconda del tipo di collegamento dei raddrizzatori) in uscita dai S<sub>E</sub> alimenta i gruppi raddrizzatori al silicio generalmente da 5,4 MW (R<sub>Z</sub>A e R<sub>Z</sub>B), costituiti da strutture in armadio blindato (fig. 1.11a) in cui il telaio del raddrizzatore vero e proprio con relativi sistemi è estraibile tramite un carrello (fig. 1.11b).





Figura 1.11a Armadi dei raddrizzatori di gruppo



Figura 1.11b Raddrizzatore estraibile dall'armadio mediante carrello

### L + C – Reattori e Condensatori di filtraggio

Per ridurre le armoniche presenti nella corrente appena raddrizzata (ridurre il ripple di tensione) si impiega, per ciascun gruppo, il filtro assorbimento armoniche costituito da un reattore L da 6 mH realizzato in lastre di alluminio e resina e montato in serie alla sbarra



Figura 1.12 Reattore di gruppo

positiva a valle del RZ (fig1.12), e da una batteria di condensatori C della capacità complessiva di 360  $\mu\text{F}$  in derivazione tra la sbarra positiva e negativa. I tre gruppi di 4 condensatori C autocatrizzanti ed antideflagranti, ognuno di capacità di 120  $\mu\text{F}$  (si hanno pertanto banchi da 360  $\mu\text{F}$ ), sono segregati e protetti in tre celle distinte, comprendenti le apparecchiature ausiliarie di allarme e segnalazione, la valvola di protezione ed i sezionatori/commutatori di messa a terra per la scarica dei condensatori stessi ai fini antinfortunistici, prima delle operazioni di manutenzione. Nelle apparecchiature più moderne, i condensatori di filtro sono inglobati nella cella di



Figura 1.12 Armadi di condensatori di gruppo (A e B)

sezionamento (e filtraggio) di gruppo con conseguente risparmio di spazio. Il reattore invece viene isolato in un scompartimento dedicato del fabbricato per evitare interferenze con le altre apparecchiature e l'accesso è consentito esclusivamente previa tolta tensione. Il dimensionamento di L e C mira ad abbattere delle armoniche che vi si possono presentare a valle del RZ ovvero, come si vedrà nel dettaglio nel prossimo paragrafo, le multiple di  $12f^*$  con  $f^*$  frequenza industriale di alimentazione della SSE.

### **S<sub>B</sub> – Sezionatore bipolare**

L'ultimo dispositivo della sezione è il sezionatore bipolare S<sub>B</sub>, il quale ha la funzione di separare ciascun gruppo raddrizzatore dalle sbarre omnibus; può essere azionabile manualmente o comunque motorizzabile con l'apposito dispositivo elettrico. È disposto all'interno di armadi posti accanto alle celle alimentatori e nelle soluzioni più recenti contiene al suo interno anche le batterie di condensatori di filtraggio.

Per la protezione delle apparecchiature di conversione dai guasti interni sono utilizzati i relè di massima corrente a soglia regolabile, mentre da quelli verso terra sono utilizzati i relè di massima corrente a soglia fissa.

### • **PROTEZIONE E DISTRIBUZIONE TE**

Questa sezione è collocata principalmente nella parte interna del fabbricato e comprende le apparecchiature preposte alla distribuzione dell'energia in corrente continua, alla misura di tensione, corrente ed energia a 3 kV erogata dalla sottostazione, all'alimentazione e protezione delle linee TE ed alla protezione delle apparecchiature di SSE da sovratensioni di origine atmosferica lato corrente continua.

Nelle SSE più recenti e di nuova realizzazione, la corrente continua proveniente dai gruppi convertitori percorre le sbarre omnibus realizzate con cavi e non più con barre in rame elettrolitico fissate su isolatori e protette da grate come nelle vecchie SSE tradizionali. Le apparecchiature che svolgono le funzioni di cui sopra, sono realizzate in moduli o scomparti di tipo blindati in carpenteria metallica (fig. 1.18):

### **Scomparti sezionamento di gruppo e filtro (A e B) [9]**

Le unità funzionali di sezionamento di gruppo e filtro (fig. 1.14) sono destinate a sezionare il rispettivo gruppo raddrizzatore rispetto alle sbarre omnibus e inserire/disinserire il condensatore di livellamento.

Esse contengono al loro interno:

- il **sezionatore bipolare S<sub>B</sub>** di gruppo a manovra motorizzata o manuale;
- il sezionatore di terra;
- il condensatore di livellamento;
- sistemi di prescarica e scarica condensatore;
- trasduttori di misura;
- Unità Periferica di Controllo (UPC) e Unità Periferica di Protezione (UPP).

### **Scomparto misure e negativi [9]**



Figura 1.14 Cella sezionamento di gruppo e filtro

Le unità funzionali misure e negativi (fig. 1.15) sono destinate a:

- registrare le misure di tensione, corrente, potenza ed energia;
- realizzare il collegamento alle sbarre di potenza dei cavi provenienti dai binari di linea;
- realizzare il collegamento negativo-terra tramite un dispositivo di limitazione della tensione del negativo (**dispositivo cortocircuitatore CC**)

Esse contengono al loro interno:

- il dispositivo di limitazione della tensione del negativo;
- sezionatore unipolare del positivo per SSE mobili;
- sezionatore unipolare del positivo di misura;
- sezionatori di terra;
- trasduttori di misura
- unità di controllo (UPC) e unità di registrazione (UPP)



Figura 1.15 Scomparto misure e negativi

### Scomparto alimentatori [9]

Le unità funzionali alimentatori sono destinate ad alimentare e proteggere una parte ben definita della linea elettrica.

Esse contengono al loro interno:

- L'**interruttore extrarapido I<sub>#</sub>** (il cui numero dipende dalle LdC alimentate) in corrente continua. È un dispositivo elettromeccanico unipolare dotato di contatto mobile con richiamo mediante molle precaricate, di aggancio meccanico o magnetico con bobina di ritenuta (fig. 1.16), di circuito magnetico in ferro e di caminetto spegni-arco.

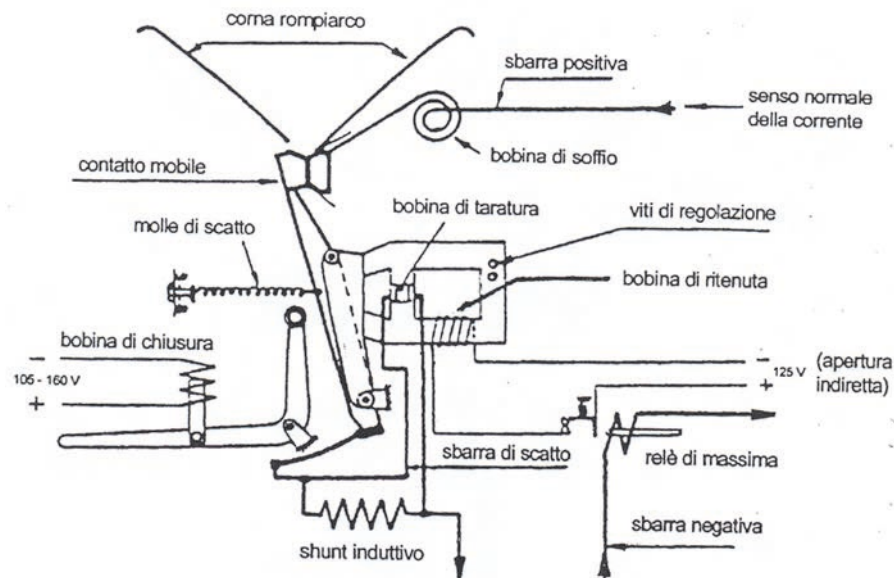


Figura 1.16 Schema di un interruttore extrarapido a ritenuta magnetica

Lo sgancio per massima corrente diretta avviene mediante elettromagnete percorso dalla corrente che libera l'arponimento di aggancio nell'esecuzione con ritenuta meccanica o per smagnetizzazione del magnete di ritenuta da parte della corrente

dell'interruttore nell'esecuzione con ritenuta magnetica. I meccanismi di apertura per massima corrente diretta devono la loro rapidità al fatto di derivare l'energia necessaria al loro funzionamento dalla corrente di guasto. La zona di formazione dell'arco è investita perpendicolarmente da un campo magnetico sostenuto da bobine da soffio percorse permanentemente dalla corrente con conseguente spinta nel caminetto per la sua estinzione.

- un sezionatore tripolare per permettere l'estrazione del carrello;
- un sezionatore di terra per permettere la segregazione dalla maglia di terra del carrello per la sua estrazione;
- Il **sistema prova linea**, il quale controlla che la resistenza della linea non sia inferiore ad un valore minimo dato dalla resistenza di isolamento dei carichi dei rotabili presenti in linea a pantografo sollevato e interruttore di macchina aperto. Il circuito, mostrato in fig. 1.17, è costituito da un reostato, da un contattore e da un relè o da un rilevatore di tensione tarato sul valore di resistenza corrispondente alla linea isolata.

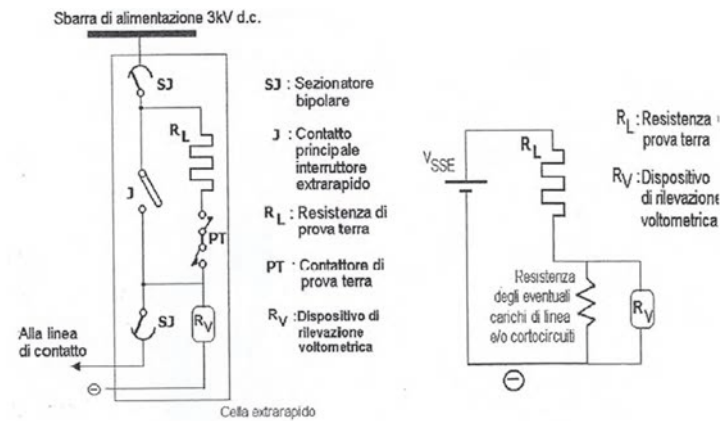


Figura 1.17 Schema di prova linea

A interruttore extrarapido aperto viene chiuso il circuito di prova: se dopo un tempo preimpostato entro una decina di secondi il relè RV si eccita (tensione maggiore al valore di taratura impostata) vuol dire che non si verificano scariche (normale assorbimento di corrente limitata da RL) e viene dato quindi il consenso alla chiusura dell'extrarapido. Contrariamente (assorbimento anomalo per ctocto, resistenza di linea molto bassa, elevata cdt su RL e mancata eccitazione sul relè RV di consenso), si ha l'apertura del contattore PT e la ripetizione di 3 volte della sequenza che, in caso di insistente mancato consenso dell'RV, si conclude il ciclo di prova linea con esito negativo e presenza di ctocto permanente senza dar seguito alla chiusura dell'interruttore extrarapido.



Figura 1.18 Il complesso celle misura e negativo + sezionamento di gruppo e filtro + 4 alimentatori

### Dispositivo di asservimento (ASDE: asservimento a diseccitazione)

Poiché le linee di contatto sono divise in sezioni elettricamente separate (tratte), dell'ordine dei 15-20 km, alimentate agli estremi, tramite gli interruttori extrarapidi, dalle sbarre 3kVcc delle Sottostazioni Elettriche (SSE), ai capi e lungo l'intera tratta sono in generale presenti dispositivi di protezione che provvedono, a seguito della rilevazione di un guasto (da parte di un dispositivo di protezione amperometrico e/o voltmetrico), alla sua disalimentazione mediante il trascinarsi e l'apertura degli interruttori extrarapidi ad essa afferenti.

I dispositivi di protezione implementati sono:

- Protezione di massima corrente;
- Protezione di minima tensione.



Figura 1.19 Quadro ASDE

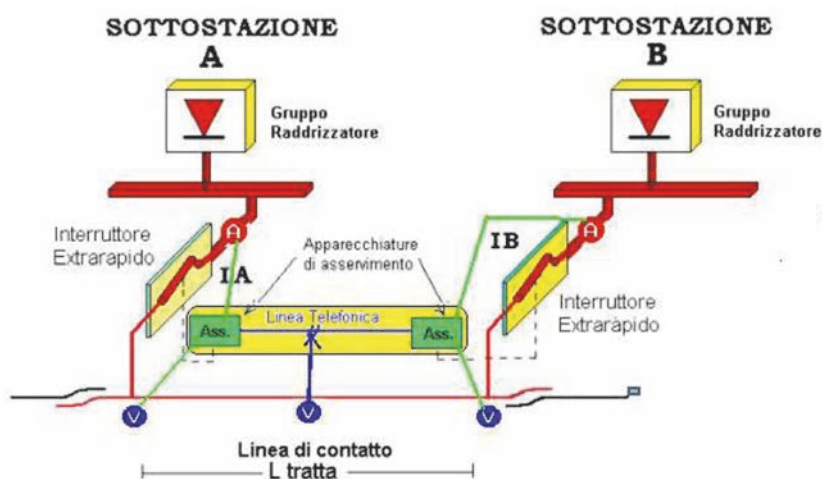


Figura 1.20 Principio di architettura del sistema ASDE

Al fine di aumentare la potenza erogabile da parte della SSE verso la tratta, e nello stesso tempo mantenere le caratteristiche di affidabilità e sicurezza della protezione, viene utilizzato il sistema ASDE (fig. 1.20), che prevede l'utilizzo di apparecchiature di asservimento ASDE in corrispondenza degli organi di interruzione alimentanti le tratte di LdC. Le apparecchiature ASDE sono tra loro comunicanti mediante l'utilizzo di un circuito di relazione costituito da una coppia telefonica percorsa da una corrente continua. Su tale coppia sono inoltre attestati i dispositivi di protezione voltmetrica eventualmente presenti in posizioni intermedie della LdC. L'intervento di uno solo dei dispositivi di protezione

collegati produce l'interruzione della corrente di relazione sulla linea telefonica e, attraverso il sistema di asservimento, la conseguente apertura di tutti gli interruttori extrarapidi alimentanti la tratta oggetto di anomalia.

### SC# - Scaricatori 3 kVcc

Come nella sezione di trasformazione e alimentazione MT vi sono degli scaricatori a 3 kVcc. Essi hanno il compito di proteggere le apparecchiature interne di sottostazione dalle sovratensioni di origine atmosferica, provenienti dalla linea di contatto, per ogni linea TE entrante. La tecnologia impiegata per questi dispositivi consisteva in uno spinterometro e da un gruppo R-C (resistenza e condensatore in olio); nelle soluzioni più recenti risulta più conveniente impiegarne uno ad ossido metallico appositamente omologato da RFI perchè, grazie all'utilizzo di isolatori in materiale composito invece che ceramico e per l'assenza di olio, non risulta più fonte di rischio per la sicurezza del personale in caso di esplosione.

### • SMISTAMENTO E ALIMENTAZIONE TE

In questa sezione, in genere ubicata all'aperto, si effettua lo smistamento dell'energia e l'alimentazione, tramite conduttori aerei (alimentatori o feeder) e sezionatori a 3 kV, delle varie linee di contatto. Essa è costituita da tutte le linee di alimentazione (le quali vanno sotto il nome di condutture aeree a 3 kV di piazzale) situate tra gli interruttori extrarapidi e i sezionatori aerei a 3 kVcc, compresi i relativi isolatori (passanti, di sospensione e di amarro) e le varie derivazioni.

### S# + S## - Sezionatori a corna di 1<sup>a</sup> 2<sup>a</sup> fila

I sezionatori aerei unipolari a corna a 3 kVcc, si distinguono in dispositivi di prima (S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>) o di seconda fila (S<sub>1-3</sub>, S<sub>2-4</sub>). I sezionatori di 1<sup>a</sup> fila si differenziano dagli altri per la caratteristica di avere il comando dell'apertura a "diseccitazione"; essi si devono aprire per intervento dell'AG.

Sono composti da 3 isolatori portanti, 2 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" e "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 cc (le manovre possono anche essere effettuate a mano).

Sono provvisti di quadro di comando e controllo, comprensivo delle segnalazioni luminose e acustiche, dei relé ausiliari e della componentistica elettrica, degli interruttori di comando e del commutatore di telecomando incluso-escluso.



Figura 1.21 Pali di smistamento con i relativi sezionatori di 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> fila, gli argani di manovra e i complessi voltmetrici

## RV – Relè voltmetrici

In questa sezione sono installati, in corrispondenza di ogni sezionatore di prima fila, i complessi voltmetrici alimentati dalla linea, attraverso un apposito sezionatore unipolare. Hanno la funzione principale di realizzare in supporto ai sistemi ASDE la protezione voltmetrica della LdC comunicando se la tensione della stessa nel punto di rilevazione in cui è montato il dispositivo si abbassa al di sotto di un valore di soglia preimpostato. Ha inoltre il compito di acquisire l'andamento della tensione della LdC affinché quest'ultima possa poi essere visualizzata/registrata tramite tradizionali sistemi di misura al variare delle possibili condizioni di esercizio, permettendo così il monitoraggio di situazioni critiche quali sovratensioni, sovraccarichi e transitori dovuti ad eventi di cto-cto. È costituito da un trasduttore AT posto sui pali di smistamento TE e da un ricevitore posto nel fabbricato garantendo la sicurezza mediante separazione galvanica tra il punto di misura e l'area di controllo realizzando la trasmissione dati fra trasduttore AT e ricevitore mediante fibra ottica.

- **GOVERNO, TELECOMANDO E SERVIZI AUSILIARI** [8]

In questa sezione vi sono le apparecchiature di governo e controllo degli impianti di SSE e quelle per l'alimentazione normale e/o di riserva degli impianti ausiliari.

### Sistema di Governo

Le SSE, sono generalmente equipaggiate di un Sistema di Governo (SdG) realizzato su piattaforma SW<sup>8</sup> di tipo SCADA<sup>9</sup> comprendente due livelli: il "livello periferico" (riferito al singolo scomparto o singola apparecchiatura) e il "livello centrale" che assomma e governa tutti i livelli periferici. Esso deve essere in grado di gestire le esigenze di:

- *Comando e controllo locale* attraverso la postazione "PCL<sup>10</sup> Operatore", installata all'interno della sala quadri della SSE;
- *Comunicazione da e verso i sistemi di gerarchia superiore;*
- *Diagnostica e monitoraggio locale.*

Per svolgere tali funzioni, esso è composto dai seguenti sottosistemi:

- Sottosistema Unità Centrale di Automazione (UCA);
- Sottosistema rete di comunicazione;
- Un numero "n" di sottosistemi, operanti su zone funzionali, governati da Unità Periferiche di Automazione (UPA);
- Sottosistema "Gateway DOTE" per la comunicazione da e verso il sistema di telecontrollo della circolazione DOTE<sup>11</sup>;
- Sottosistema "Gateway D&M" per l'interfacciamento verso una probabile postazione di diagnostica e manutenzione remota (è ammesso che l'UCA possa gestire tale collegamento direttamente o tramite opportuno gateway dedicato).

<sup>8</sup> Abbreviazione di software in informatica.

<sup>9</sup> Acronimo di Supervisory Control And Data Acquisition, che nei controlli automatici indica un sistema informatico distribuito per il monitoraggio e la supervisione dei sistemi fisici.

<sup>10</sup> Postazione Comando Locale.

<sup>11</sup> Dirigente Operativo della Trazione Elettrica, sono centri di telecomando e telecontrollo tradizionali o computerizzati atti a comandare e controllare per aree geografiche il sistema elettrico di trazione. In particolare tiene costantemente sotto osservazione lo stato di apparecchiature delle SSE, degli interruttori e dei sezionatori, i quali vengono manovrati a distanza in caso di guasto o per esigenze manutentive pianificate.

L'architettura del SdG si presenta quindi in genere come rappresentato nelle seguenti figure:

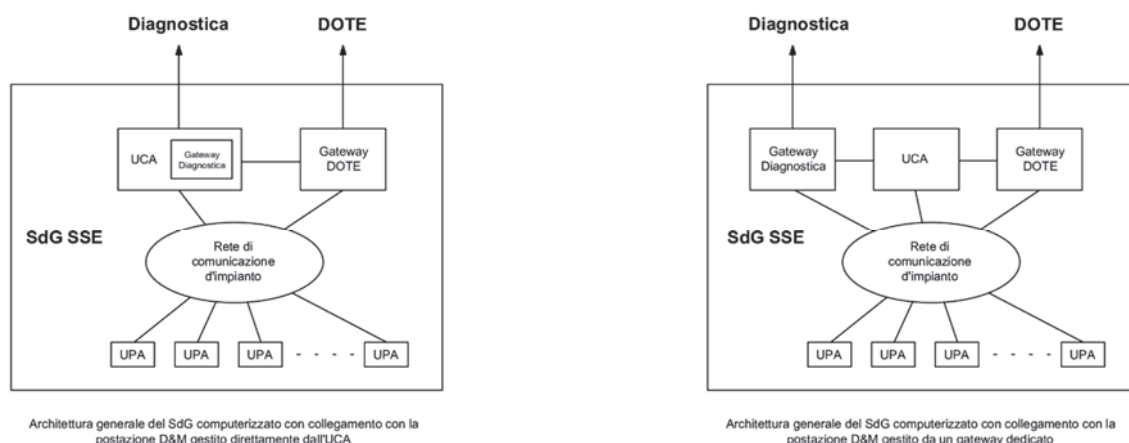


Figura 1.22 Architettura generale del SdG computerizzato di una SSE

### Unità Periferica di Automazione (UPA)

Sono delle apparecchiature integrate per l'acquisizione e la gestione dei segnali digitali ed analogici dal campo, che svolgono le funzioni di protezione, controllo, monitoraggio, diagnostica, misura, Registrazione Cronologica di Eventi (RCE), oscillografia, logica di interblocco e d'automazione e comando locale. Sono progettate per essere gestite sia direttamente, tramite un pannello di controllo sul corpo delle apparecchiature, che da remoto con sistemi di supervisione e controllo installati su PC, con interfacce uomo-macchina semplici e tali da consentire l'analisi e l'identificazione immediata nelle situazioni di anomalia. Gli interblocchi sono tutti implementati a livello SW e alcuni, ritenuti vitali per la sicurezza, ripetuti con cablaggio tradizionale, con grande riduzione dei relè ausiliari e di cavi all'interno degli armadi.

Le UPA vengono disposte in "n" sottosistemi operanti su zone funzionali (come mostrato nell'esempio in tabella 1.5) e collegate secondo un'architettura a stella con il sistema centrale UCA attraverso cavi in fibra ottica (fig. 1.23).

ZONE FUNZIONALI	UPA	PRINCIPALI FUNZIONI SVOLTE
REPARTO AT	UPA <sub>L1</sub>	Protezione delle linee AT, misura, diagnostica, oscillografia, registrazione cronologica degli eventi, invio comandi di manovra delle apparecchiature ed acquisizione del loro stato.
	UPA <sub>L2</sub>	
	UPA <sub>GA</sub>	
	UPA <sub>GB</sub>	
TRASFORMAZIONE e CONVERSIONE	UPA <sub>VSC</sub>	Regolazione della posizione del variatore in funzione della tensione AT rilevata dal TV <sub>L</sub> .
	UPA <sub>RZA</sub> UPA <sub>RZB</sub>	Monitoraggio dello stato dei singoli diodi e della temperatura del reattore.



QUADRO A 3 Kv	UPA <sub>GRA</sub> UPA <sub>GRB</sub>	Scomparto gruppo A Scomparto gruppo B	Protezione contro guasti verso terra interni allo scomparto, consenso di accesso, controllo dello stato dei condensatori del filtro, invio comandi di manovra delle apparecchiature ed acquisizione del loro stato.
	UPA <sub>MI</sub>	Scomparto misure	Protezione contro guasti verso terra interni allo scomparto e nelle celle sbarre di tutti gli scomparti, consenso di acceso nello scomparto e nelle celle sbarre di tutti gli scomparti, monitoraggio del cortocircuitatore e controllo dello stato delle apparecchiature manovrabili.
	UPA <sub>J1</sub> UPA <sub>J2</sub> UPA <sub>J3</sub> UPA <sub>J4</sub>	Scomparto alimentatore 1 Scomparto alimentatore 2 Scomparto alimentatore 3 Scomparto alimentatore 4	Protezione contro guasti verso terra interni allo scomparto, consenso di accesso, protezione contro guasti della linea di contatto, registrazioni oscillografiche, invio comandi di manovra delle apparecchiature e controllo delle procedure di autorichiusura dell'extrarapido.
QUADRO SERVIZI COMUNI	UPA <sub>SACA</sub> UPA <sub>SACC</sub>	Servizi ausiliari in c.a. Servizi ausiliari in c.c.	Controllo impianto antincendio ed antintrusione, avvio procedure di autoripristino del circuito di emergenza, commutazione periodica delle alimentazioni dei servizi ausiliari fra i gruppi A e B, controllo dell'isolamento dei circuiti a 132 Vcc, gestione dell'interconnessione fra i dispositivi di asservimento e interfaccia con DOTE.

Tabella 1.4 Disposizione delle UPA nelle diverse zone funzionali e interfaccia con DOTE.

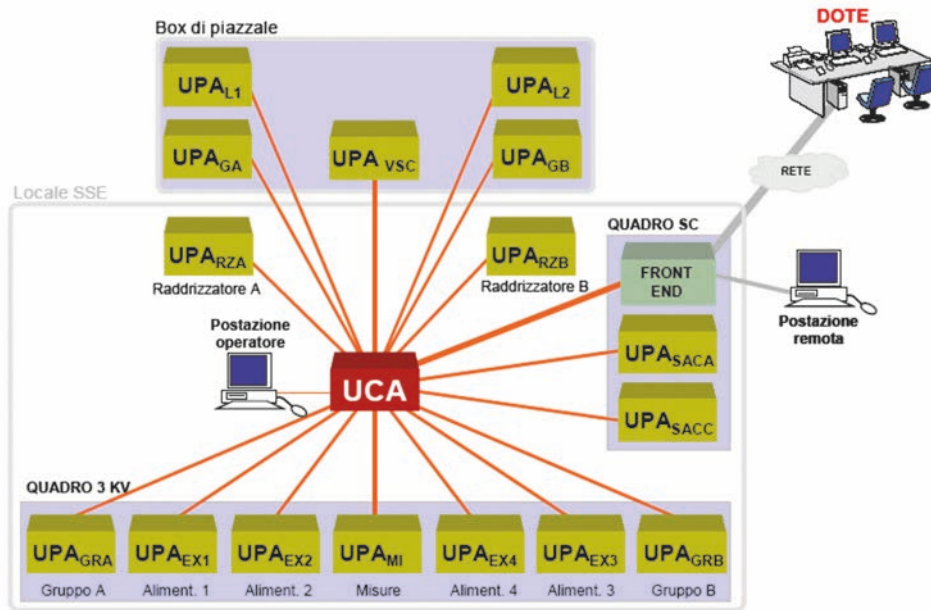


Figura 1.23 Disposizione delle UPA e collegamento.

### Unità Centrale di Automazione (UCA)

Il controllo a livello centrale è svolto dall'Unità Centrale di Automazione (UCA) attraverso un elaboratore industriale ad elevato MTBF<sup>12</sup> con le parti vitali completamente ridondate e dotato di visualizzatori per segnalazioni locali di eventuali avarie allo scopo di facilitare la sostituzione a caldo delle parti guaste.

Le principali funzioni di tale elaboratore sono di interfacciamento con le UPA e con l'operatore per la gestione di eventi/allarmi, dei report/trend, delle comunicazioni e dei tools di programmazione.

Il comando e il controllo avvengono dal DOTE attraverso un sistema digitale di telecontrollo. Ad esso sono correlati la sincronizzazione dei terminali periferici tramite antenna di ricezione GPS, la presenza di stampanti per la stampa di eventi, degli allarmi, della reportistica e della modulistica.

Le funzionalità di protezione rimangono completamente svincolate dal sistema di controllo. Le UPA periferiche mettono a disposizione dell'UCA tutte le informazioni richieste tramite collegamenti in fibra ottica, così come le unità di controllo locale che svolgono funzione di supervisione.

Tra le svariate funzioni dell'UCA si ricorda infine quella di diagnostica utile agli operatori della manutenzione per pianificare gli interventi sulle apparecchiature e sugli impianti.

### Servizi Ausiliari

Sono i componenti elettrici che distribuiscono le alimentazioni ai dispositivi elettrici presenti in stazione (relè, motori, componenti elettrici) del sistema primario e del Sistema di Protezione Comando e Controllo (SPCC). Vengono alimentati attraverso il Quadro SA (fig. 1.24) che comprende i sottoquadri per la distribuzione e la continuità di alimentazione. Vista l'importanza, è necessario assicurare una continuità di servizio resa

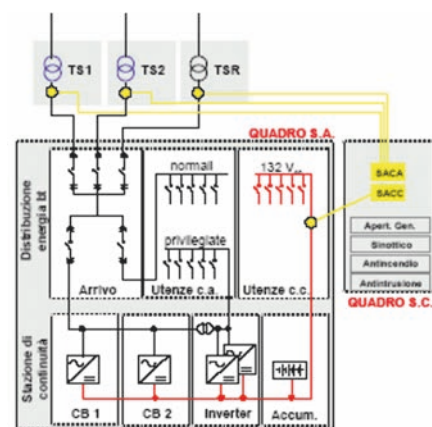


Figura 1.24 Schema di potenza della sezione SA.

<sup>12</sup> Mean Time Between Failures (tempo medio fra guasti) è un parametro di affidabilità applicabile a dispositivi meccanici, elettrici ed elettronici e ad applicazioni SW.

possibile grazie a gruppi statici di continuità e a batterie di accumulatori mantenute normalmente in carica tampone.

Il sottoquadro di “*Distribuzione energia bt*” è essenzialmente suddiviso nei 3 scomparti di:

- *Arrivo linee di alimentazione bt*;
- *Distribuzione verso le utenze in bt ca (380-220 Vac)*;
- *Distribuzione verso le utenze in bt cc (132 Vcc)*.

Il sottoquadro “*Stazioni di continuità*” (fig. 1.24) è in grado di garantire, per un periodo limitato, la continuità di alimentazione a 132 Vcc (tensione impianti bt) e 24 Vcc (tensione impianto di telecomando) e a 220 Vac attraverso batterie tampone.

Esso è suddiviso in:

- *scomparti alimentatori – carica batterie (CB1 e CB2)*, uno di riserva all’altro, per l’alimentazione delle utenze a 132 e 24 Vcc ed al mantenimento in carica tampone della batteria di accumulatori;
- *1 scomparto inverter* per l’alimentazione a 220 Vac di utenze privilegiate fino ad una potenza di 2,5 kVA;
- *1 scomparto batterie* con una serie di 72 accumulatori ermetici al Pb.

Le funzioni di protezione e automazione del quadro SA sono svolte da due UPA specializzate per le alimentazioni in c.a. e in c.c. fisicamente ubicate nel *Quadro dei servizi comuni (SC)*. Quest’ultimo contiene anche le centraline degli impianti di antincendio, antintrusione e videosorveglianza e l’apparecchiatura di interfaccia tra l’UCA e il DOTE.

Fra le varie funzioni svolte si sottolinea:

- La gestione del circuito di AG della SSE;
- La gestione dell’alimentazione dei servizi ausiliari;
- Il controllo dello stato di isolamento dei circuiti alimentati in bt a 132 e 24 Vcc;
- Il comando interconnessione dei dispositivi di asservimento;
- Il comando e controllo dei sezionatori di 2<sup>a</sup> fila della SSE e di stazione;
- Il controllo degli impianti di antincendio e antintrusione;
- L’interfacciamento tra UCA e DOTE.

#### ● **IMPIANTI DI TERRA E RITORNO TE**

Nella realizzazione delle SSE si deve considerare il fatto che vi possono essere due tipi di correnti di ritorno; quella di trazione, che si ha in condizioni di normale funzionamento e che avviene attraverso il negativo dei gruppi raddrizzatori, e quelle di corto circuito. In caso di guasto, l’impianto è provvisto di dispositivi che attivano le varie protezioni, salvaguardando la sicurezza dell’impianto e l’incolumità delle persone che vi operano.

#### **Impianto di terra**

La funzione dell’impianto di terra è quella di impedire che le strutture metalliche accessibili possano portarsi a livelli di tensione pericolosa per le persone (in seguito ad eventi accidentali o a corto circuiti) e di assicurare il corretto funzionamento dei circuiti e delle apparecchiature. Ne fanno parte l’insieme delle corde e dei picchetti che formano la maglia (attraverso la quale viene dispersa nel terreno la corrente di guasto), i conduttori equipotenziali e quelli che collegano le strutture metalliche con l’impianto in questione.

#### **Circuito di ritorno**

Il collegamento del circuito di ritorno TE al negativo di SSE, realizzato con cavi in bt, ha la funzione di convogliare tutta la corrente di ritorno del circuito TE nella sottostazione.

Il collegamento equipotenziale fra conduttore negativo e terra di SSE viene assicurato dal dispositivo cortocircuitatore CC installato all'interno del locale misure, il cui compito è quello di stabilire la continuità fra i due sistemi elettrici (negativo-terra) al manifestarsi di una d.d.p. superiore ad un valore impostato (viene infatti messo in parallelo il binario, in tale modo la resistenza totale si abbassa con conseguente calo della tensione).

- **IMPIANTI ED OPERE ACCESSORIE**

Questa sezione comprende le infrastrutture, gli impianti e le apparecchiature che, pur non rientrando nella funzionalità vera e propria delle SSE stesse, ne favoriscono la gestione in maniera sicura ed efficace o svolgono particolari funzioni accessorie richieste all'occorrenza.

Le opere accessorie ai fabbricati comprendono le opere murarie, gli impianti dei servizi, le scale, i dispositivi e gli impianti video sorveglianza, antincendio e antintrusione, e tutta la segnaletica antinfortunistica esterna ed interna.

Possono essere presenti sia gruppi di misura in AT o in MT dell'energia prelevata da RFI ed eventualmente transitata per conto delle Aziende elettriche interconnesse, che gruppi di misura dell'energia in corrente continua scambiata con altre Ferrovie.

- **MEZZI, ATTREZZATURE E STRUMENTAZIONE**

Questa sezione comprende i mezzi d'opera, le attrezzature speciali e gli strumenti di verifica e misura impiegati per gli interventi di manutenzione e per i lavori all'interno delle SSE e per i quali sono state definite apposite specifiche tecniche di fornitura o emanate speciali disposizioni e documenti tecnici correlati.

Ci si riferisce in particolare alle pedane isolanti in gomma, ai dispositivi di corto circuito per lavori lato primaria e sugli impianti in MT (c.a. e c.c.) interni ed esterni al fabbricato di SSE e all'apparecchiatura per la taratura degli interruttori extrarapidi.

### 1.3 Comportamento dodecafase del gruppo di trasformazione/conversione

I gruppi raddrizzatori rappresentano il cuore delle sottostazioni e le configurazioni adottate si sono evolute nel corso degli anni. La sostituzione dei vecchi gruppi a vapori di mercurio con gruppi raddrizzatori al silicio a ponte di Graetz avviata negli anni '60, prevedeva inizialmente l'impiego di uno schema costituito da un trasformatore con 2 avvolgimenti secondari uguali ed ugualmente connessi (generalmente ambedue a triangolo) alimentanti 2 ponti di Graetz in parallelo (fig. 1.25) che realizzavano una **reazione esafase**.

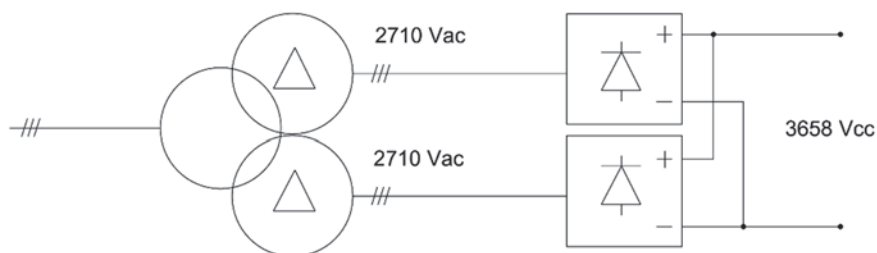


Figura 1.25 Schema gruppo raddrizzatore a ponte di Graetz esafase con ponte doppio parallelo.

Tale schema consentiva un eventuale passaggio ad un sistema a 6 kV mediante semplice trasformazione serie del collegamento dei 2 ponti.

Allo scopo di ridurre il contenuto armonico sia della tensione raddrizzata che della corrente di alimentazione primaria, è stato poi adottato a partire dagli anni '80 uno schema che da luogo ad una **reazione dodecafase** realizzato con un trasformatore a 2 avvolgimenti secondari uguali ma diversamente connessi (uno a stella e l'altro a triangolo) alimentanti con sfasamento di  $30^\circ$  due ponti di Graetz in parallelo (fig. 1.26) o in serie (fig. 1.27). Quest'ultima disposizione (serie) non consente più il passaggio al 6 kV, ma oggi tale trasformazione non costituisce più una prospettiva concreta, mentre risulta standard lo schema con gruppi di conversione a reazione dodecafase e raddrizzatori in parallelo.

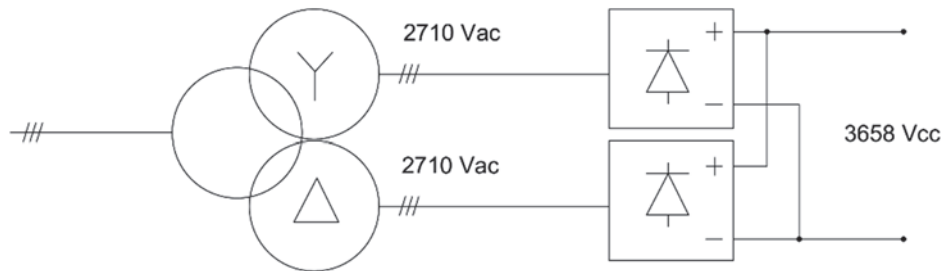


Figura 1.26 Schema gruppo raddrizzatore a ponte di Graetz dodecafase con ponte doppio parallelo.

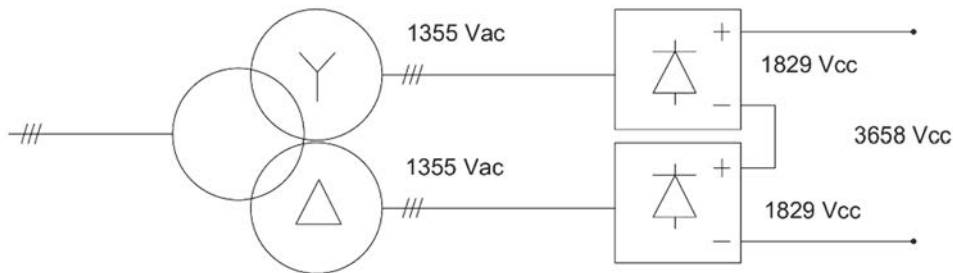


Figura 1.27 Schema gruppo raddrizzatore a ponte di Graetz dodecafase con ponte doppio serie.

Si analizza nel seguito il comportamento, le configurazioni e i benefici della struttura di conversione a reazione dodecafase, studiandone nello specifico prima i componenti principali e poi la struttura nel suo complesso.

### 1.3.1 Raddrizzatore a ponte a diodi trifase [10]

Prendendo singolarmente un raddrizzatore, vi si analizza la sua struttura (fig. 1.28) e la conversione che egli consente:

**HP:**

- Induttanza della rete AC a monte supposta nulla per semplificazione ( $L_s = 0$ );
- Lato DC (carico) ho un generatore di corrente poiché un treno assorbe una corrente costante lungo il suo percorso.

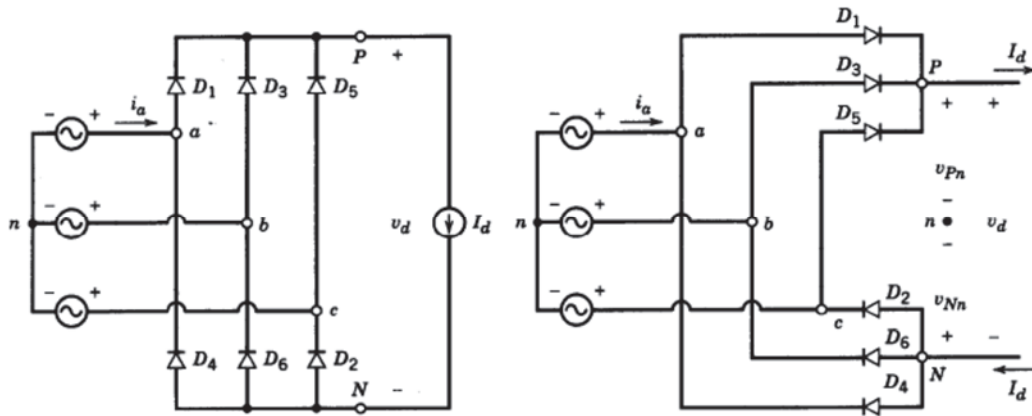


Figura 1.28 Struttura del raddrizzatore a ponte a diodi trifase secondo due punti di vista.

Osservando la struttura del raddrizzatore a ponte a diodi trifase mostrata in figura 1.28, la corrente  $I_d$  circola attraverso un diodo del gruppo superiore e uno del gruppo inferiore:

- nel gruppo superiore conduce il diodo che ha l'anodo al potenziale più alto;
- nel gruppo inferiore conduce il diodo che ha il catodo a potenziale più basso;
- il resto dei diodi sono polarizzati inversamente.

La tensione sul nodo P ( $v_{Pn}$ ) quindi segue le creste positive delle tensioni stellate mentre la tensione sul nodo N ( $v_{Nn}$ ) segue le creste negative delle tensioni stellate come mostrato nella figura 1.29:

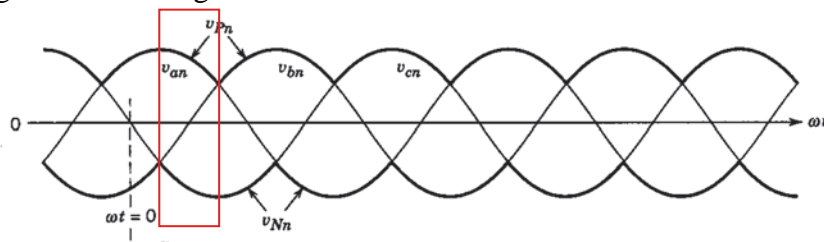


Figura 1.29 Tensioni di alimentazione del raddrizzatore e tensioni sui nodi lato DC ( $v_{Pn}$  e  $v_{Nn}$ ).

Per analizzare il risultato che ne viene fuori lato DC del raddrizzatore, si nota che nell'area evidenziata in rosso di fig. 1.29 conducono:

- $D_1$  sopra per  $60^\circ$ ;
- $D_2$  sotto per  $60^\circ$ ;

successivamente  $D_2$ - $D_3$ ,  $D_3$ - $D_4$ ,  $D_4$ - $D_5$ ,  $D_5$ - $D_6$ ,  $D_6$ - $D_1$  e così via.

Durante questi  $60^\circ$  si ha che:

$$\begin{aligned} v_d &= v_{Pn} - v_{Nn} \\ &= v_{an} - v_{cn} \\ &= v_{ac} \end{aligned}$$

prendendo aiuto dalla fig. 1.30, essendo  $v_{ac}$  in ritardo di  $30^\circ$  rispetto a  $v_{an}$ , poichè nell'istante iniziale dell'area selezionata ho il massimo della  $v_{an}$ , dopo  $30^\circ$  (cioè a metà dell'area selezionata) ho il massimo della  $v_{ac}$ . Per tutte le altre coppie di diodi si dimostra che la cosa è uguale.

Di conseguenza, la tensione  $v_d$  balla ogni  $60^\circ$  tra  $\pm 30^\circ$  il valore massimo delle concatenate: la forma d'onda istantanea di  $v_d$  è composta da 6 segmenti per ogni periodo della frequenza di linea (essendo  $60^\circ = \frac{1}{6}$  del periodo dell'alimentazione  $f^*$ ) come mostrato in fig. 1.31:

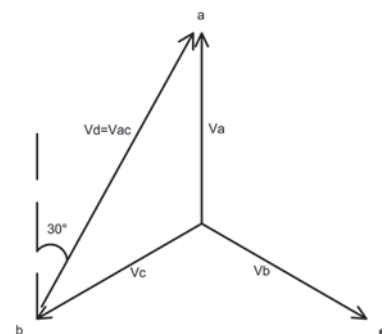


Figura 1.30 Fasori delle tensioni.

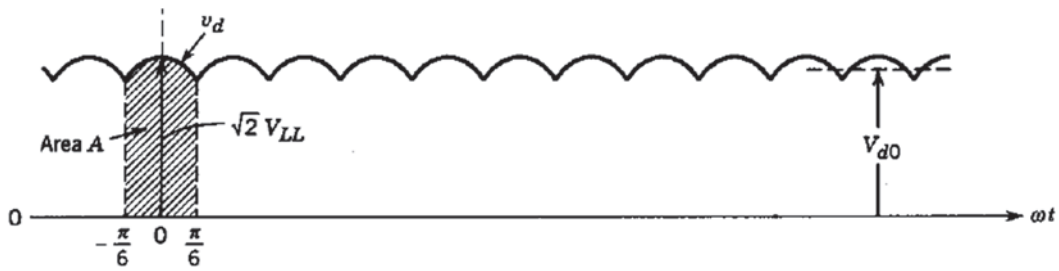


Figura 1.31 Tensione lato DC del raddrizzatore

Per il calcolo del valore medio della tensione di uscita è sufficiente considerare uno solo dei 6 segmenti (riquadro evidenziato in fig. 1.32) e adoperando un cambio variabile nell'integrazione si ottiene:

$$\begin{aligned}
 V_d &= \frac{3}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{6}} \sqrt{2} V_{LL} \cos \theta \, d\theta \\
 &= \frac{3}{\pi} \sqrt{2} V_{LL} 2 \sin \frac{\pi}{6} = \frac{3}{\pi} \sqrt{2} V_{LL} \cong 1,35 V_{LL}
 \end{aligned}$$

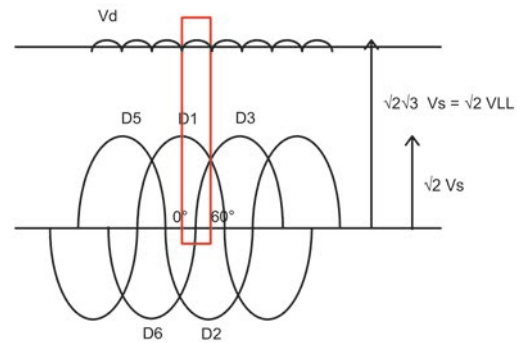


Figura 1.32 Tensioni lato AC e lato DC del raddrizzatore per il calcolo del valore medio  $V_d$ .

cioè la tensione di uscita del raddrizzatore oscilla intorno ad un valore medio di  $1,35V_{LL}$ , cioè tra  $1,41V_{LL}$  e  $1,22V_{LL}$  quindi con un'escursione intorno al 4-13%.

Nell'eventualità che  $L_s \neq 0$  (caso reale) la differenza che si introduce nella tensione raddrizzata è una riduzione del valore medio causata dalla commutazione non istantanea della corrente.

Si può dimostrare che tale riduzione è pari a:

$$\Delta V_d = 6f^* L_s I_d$$

La forma d'onda della corrente assorbita lato AC (poiché lato DC ho un generatore di corrente → corrente costante di valore  $I_d$ ), in particolare della fase A è:

$$i_a = \begin{cases} I_d & \text{quando conduce } D_1 \text{ (120°)} \\ -I_d & \text{quando conduce } D_4 \text{ (120°)} \\ 0 & \text{quando non conducono } D_1 \text{ e } D_4 \text{ (60°)} \end{cases}$$

e analogamente per le altre due fasi, sfasate però tra di loro di 120° come mostrato in fig. 1.33.

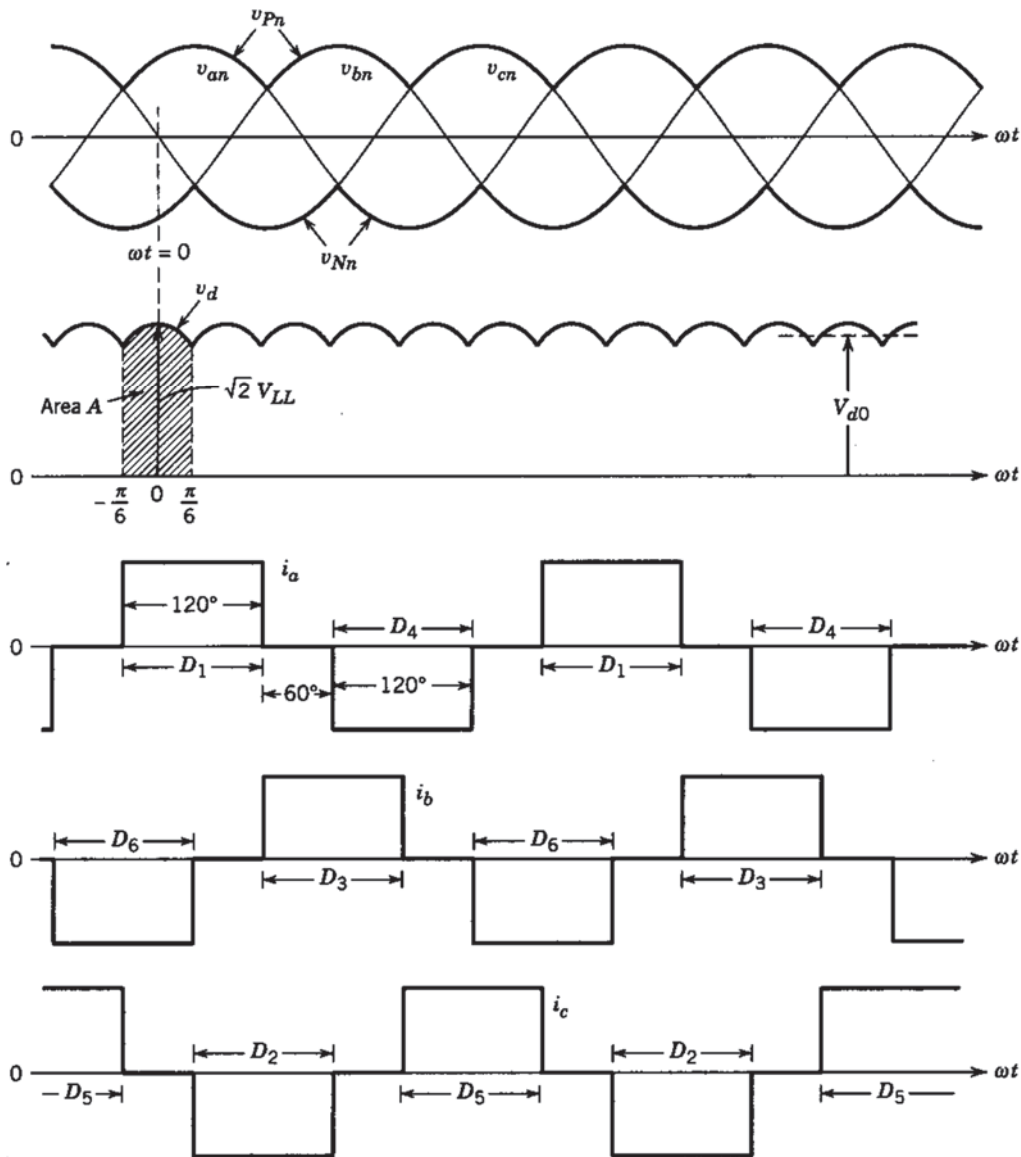


Figura 1.33 Forme d'onda delle grandezze del raddrizzatore a ponte trifase.

La corrente assorbita quindi ha un andamento circa uguale ad un'onda quadra di tipo trasla e ribalta (ho solo armoniche dispari), il cui contenuto armonico può essere calcolato attraverso le formule di simmetria:

$$\begin{aligned}
 I_{sk} &= \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{4}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{3}} I_d \cos(k\theta) d\theta \\
 &= \frac{2\sqrt{2}}{\pi k} I_d \sin\left(k \frac{\pi}{3}\right)
 \end{aligned}$$

con  $k$  ordine di armonicità.

$$\rightarrow k = 1 \quad I_{s_1} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d \cong 0,78 I_d$$

$$\rightarrow k = 3 \quad I_{s_3} = 0$$

$$\rightarrow k = 3n \quad I_{s_{3n}} = 0 \text{ con } n \in \mathbb{N}$$

$$\rightarrow k = 6n \pm 1 \quad I_{s_{6n \pm 1}} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \cdot \frac{I_d}{k}$$

ovvero le armoniche presenti oltre alla fondamentale sono quelle di ordine  $6n \pm 1$  e decadono come  $\frac{1}{k}$  rispetto alla fondamentale.



Il  $THD_{id}$  è<sup>13</sup>:

$$THD_{id} = \frac{\sqrt{I_s^2 - I_{s1}^2}}{I_{s1}} = \frac{\sqrt{\left(I_d \cdot \sqrt{\frac{2}{3}}\right)^2 - \left(\frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d\right)^2}}{\frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d} = \sqrt{\frac{\pi^2}{9} - 1} \cong 31\%$$

### 1.3.2 Trasformatore trifase con doppio avvolgimento secondario a y-d

Anche chiamato *Phase Shifting Transformer (PST)* in conversione statica, è un trasformatore di potenza il quale è dotato di:

- n.1 avvolgimento trifase primario con collegamento a Y;
- n.2 avvolgimenti trifase secondari con collegamenti a y-d;

i quali realizzano un'alimentazione dedicata a ciascun raddrizzatore di gruppo con tensioni di modulo opportuno e sfasamento relativo di  $30^\circ$  (Y/y0-d11 di fig. 1.34) per attenuare le armoniche che introdurrebbero gli apparecchi di conversione statica.

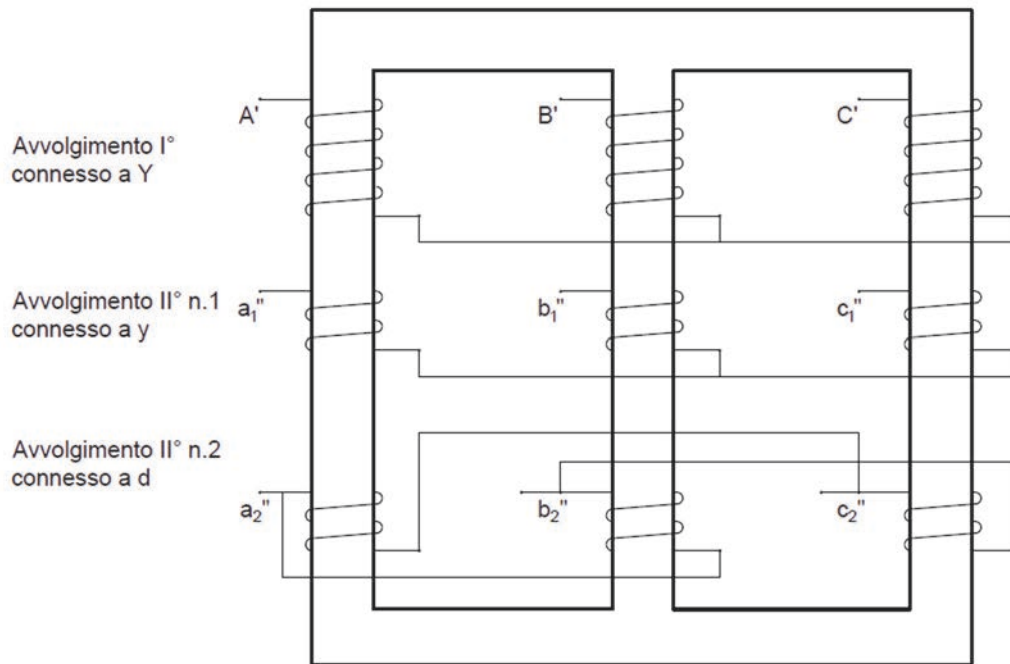


Figura 1.34 Collegamenti degli avvolgimenti del trasformatore di gruppo

La potenza che alimenta il primario viene ripartita metà su un avvolgimento secondario e metà sull'altro. L'isolamento è in olio con raffreddamento ONAN (Olio Naturale Aria Naturale). Le tensioni e correnti sugli avvolgimenti si distribuiscono nel seguente modo di fig. 1.35:

<sup>13</sup> Total Harmonic Distorsion è un parametro che informa della distorsione che un dispositivo introduce nei segnali elettrici che lo attraversano.

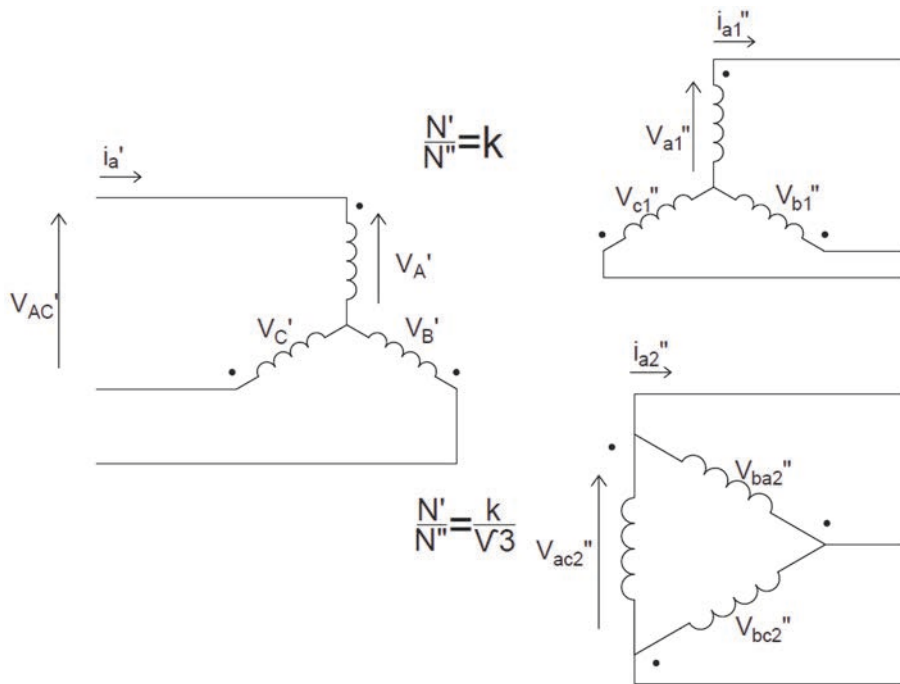


Figura 1.35 Tensioni e correnti sugli avvolgimenti del trasformatore di potenza

### 1.3.3 Gruppo di trasformazione/conversione con raddrizzatori collegati in serie [11]

Adoperando un trasformatore di potenza con due secondari, uno a triangolo e l'altro a stella, e raddrizzando separatamente le uscite dei due secondari mediante ponti di Graetz trifase dedicati come rappresentato in fig. 1.36, si ottengono due uscite di tensioni raddrizzate  $v_{d1}(t)$  e  $v_{d2}(t)$ , che hanno 6 impulsi nel periodo e sono temporalmente sfasate tra loro di  $\frac{T}{12}$  ( $\frac{T}{6}$  in termini di fasi). Ponendo le uscite dei due ponti in serie si ha l'uscita desiderata a 12 impulsi ( $\rightarrow$  **COMPORTAMENTO DODECAFASE DEL GRUPPO RADDRIZZATORE**).

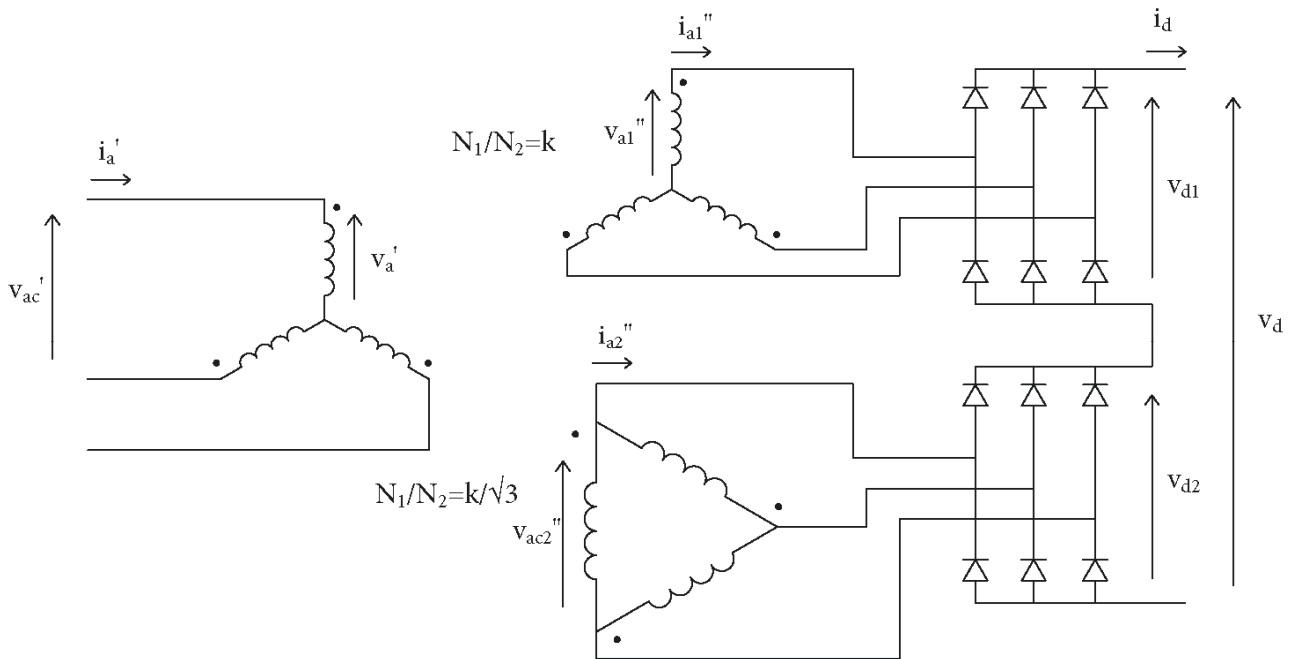


Figura 1.36 Struttura del gruppo di trasformazione/conversione con raddrizzatori collegati in serie

Si analizza ora il beneficio che ne deriva sul contenuto armonico delle grandezze utilizzando questa configurazione di trasformazione/conversione:

### CONTENUTO ARMONICO TENSIONE LATO DC

Il trasformatore a tre avvolgimenti fornisce ai 2 raddrizzatori due terne alternate trifasi di tensioni sfasate tra di loro di  $30^\circ$  (in particolare, la terna dell'avvolgimento connesso a triangolo è in anticipo rispetto a quella dell'avvolgimento a stella) poiché i due secondari hanno diverso indice orario (Y/y0-d11). Il valore efficace della tensione concatenata di ciascuna terna è pari a

$$V_{LL} = 1355 \text{ V}$$

Il raddrizzatore alimentato dal secondario del trasformatore connesso a stella (di seguito raddrizzatore Y), produce una tensione continua  $v_{d1}$  lato DC con frequenza  $6f^*$ , mentre il raddrizzatore connesso all'avvolgimento a triangolo (di seguito raddrizzatore D), essendo alimentato da una terna sfasata di  $30^\circ$  in anticipo, produce anch'esso una tensione continua  $v_{d2}$  con frequenza  $6f^*$  analoga ma sfasata di  $30^\circ$  sempre in anticipo. Il valore medio delle due tensioni raddrizzate è uguale e pari a

$$V_d = 1,35 \cdot 1355 = 1829 \text{ V.}$$

Il risultato ottenuto con una connessione serie tra i due raddrizzatori lato DC è una tensione continua:

$$v_d = v_{d1} + v_{d2}$$

la quale è costituita da un valore medio costante dato dalla somma dei singoli valori medi prodotti dai raddrizzatori + un contenuto armonico con frequenze multiple di  $12f^*$ :

$$\begin{aligned} v_d &= 2 \cdot (1,35V_{LL}) + \text{armoniche multiple di } 12f^* \\ &= \mathbf{3658 \text{ V} + \text{armoniche multiple di } 600} \end{aligned}$$

Rispetto al ponte con reazione esafase sono assenti principalmente la  $6^a$ , la  $9^a$  e la  $18^a$  armonica.

Rimangono invece presenti la  $12^a$  e  $24^a$  (e così via) la cui ampiezza dipende dal grado di carico e dal fattore di accoppiamento dei due secondari del trasformatore  $K^{14}$ .

Inoltre a parità di entità del carico, l'ampiezza delle armoniche, senza interposizione del filtro lato DC, subisce un contenuto aumento al crescere dell'induttanza del carico.

### CONTENUTO ARMONICO CORRENTE ASSORBITA LATO I° TRASFORMATORE [12]

HP:

- si trascurano gli effetti di commutazione;
- si considera come carico un generatore di corrente  $I_d$ .

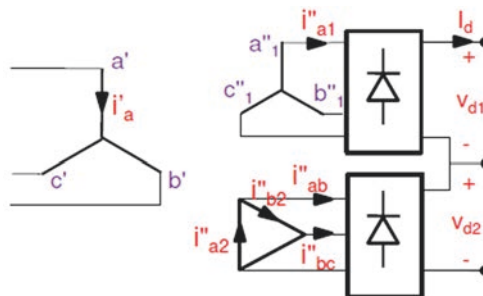


Figura 1.37a Correnti di circolazione nel gruppo di conversione dodecafase serie.

<sup>14</sup>  $K = 0 \div 1$  con  $K = 0$  a secondari completamente disaccoppiati e  $K = 1$  con secondari perfettamente accoppiati tra di loro.

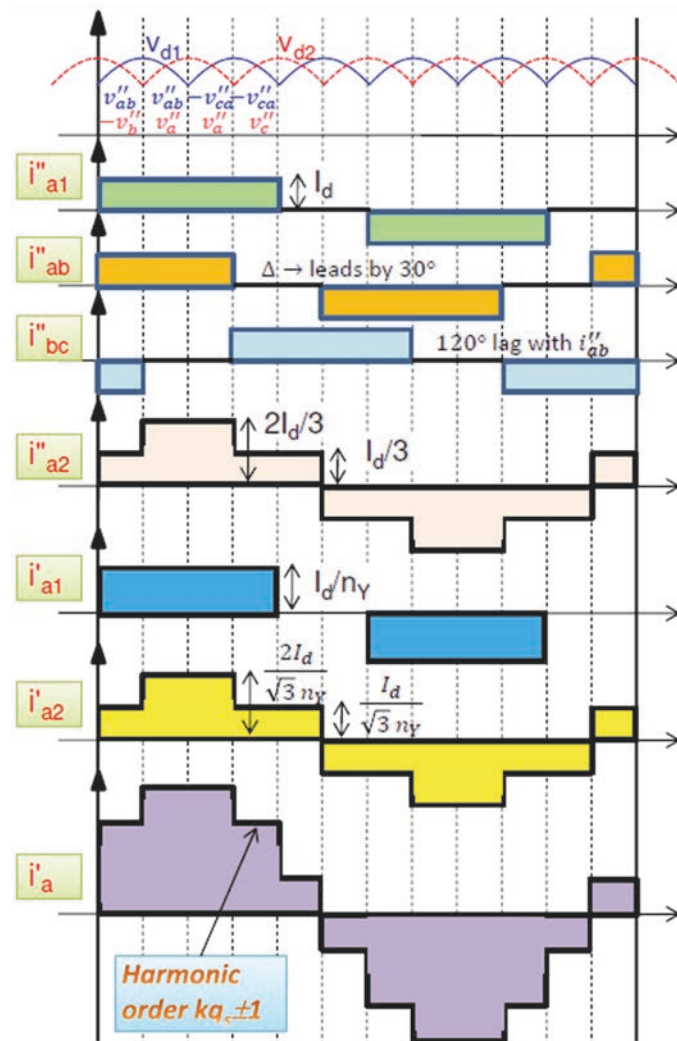


Figura 1.37b Correnti di circolazione nel gruppo di conversione dodecafase serie.

Osservando le figure 1.73a e 1.37b, la corrente di linea  $i_{a1}''$  (coincidente con la corrente di fase) che alimenta il raddrizzatore Y, ha un andamento uguale a quello esaminato nel paragrafo 1.3.1 ed è analoga alla corrente di linea che percorre il secondario connesso a triangolo  $i_{ab}''$  ma sfasata di  $30^\circ$  in ritardo. Come si è già analizzato, queste forme d'onda hanno un contenuto armonico di ordine  $6n \pm 1$ .  $i_{ab}''$  è ottenuta da due correnti di fase  $i_{a2}''$  e  $i_{b2}''$  e si può dimostrare mediante un sistema che  $i_{a2}'' = \frac{2i_{ab}'' + i_{bc}''}{3}$ .

Ottenuto quindi la corrente  $i_{a2}''$  e  $i_{a1}''$ , poiché queste correnti sono su avvolgimenti che si trovano sulla stessa colonna del trasformatore, applicando il rapporto di trasformazione opportuno a ciascuna e sommandole ci si ritrova la corrente di linea (o di fase) assorbita al primario del trasformatore di gruppo, la quale ha un andamento sinusoidale a gradini con contenuto armonico di ordine  $12n \pm 1$ .

$$i_{a1}' = \frac{i_{a1}''}{n_Y}$$

$$i_{a2}' = \frac{i_{a2}''}{n_d} = \frac{i_{a2}'' \sqrt{3}}{n_Y}$$

$$\rightarrow i_a' = i_{a1}' + i_{a2}'$$

Rispetto al ponte a reazione esafase sono assenti principalmente la 5<sup>a</sup>, la 7<sup>a</sup>, la 17<sup>a</sup> e la 19<sup>a</sup> armonica. Anche per le ampiezze del contenuto armonico della corrente assorbita al primario, esse sono funzioni del grado di carico del gruppo e di  $K$ .

Inoltre l'induttanza del carico del raddrizzatore, come la presenza o meno del filtro lato DC sono ininfluenti agli effetti del contenuto armonico della corrente primaria.

Con questa struttura, supponendo una tipica alimentazione a 132 kV dalle LP, i valori di tensione presenti sono mostrate in fig. 1.38.

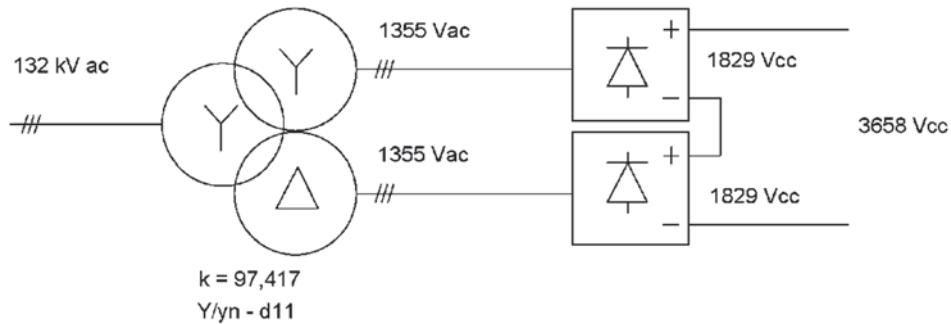


Figura 1.38 Tensioni presenti in un gruppo di conversione con raddrizzatori in serie alimentato a 132 kV.

### 1.3.3 Gruppo di trasformazione/conversione con raddrizzatori collegati in parallelo [11]

La differenza strutturale rispetto alla configurazione del paragrafo precedente prevede che i due raddrizzatori lato DC vengano collegati tra di loro in parallelo e non in serie (fig. 1.39) con conseguente:

- aumento della tensione dei secondari del trasformatore in modo da fornire i nominali 3600 V lato DC;
- aumento della tensione impressa sul raddrizzatore ma diminuzione della corrente erogata (a parità di potenza fornita alla TE);
- Aumento della tensione inversa che i diodi dei rami devono riuscire a sopportare.

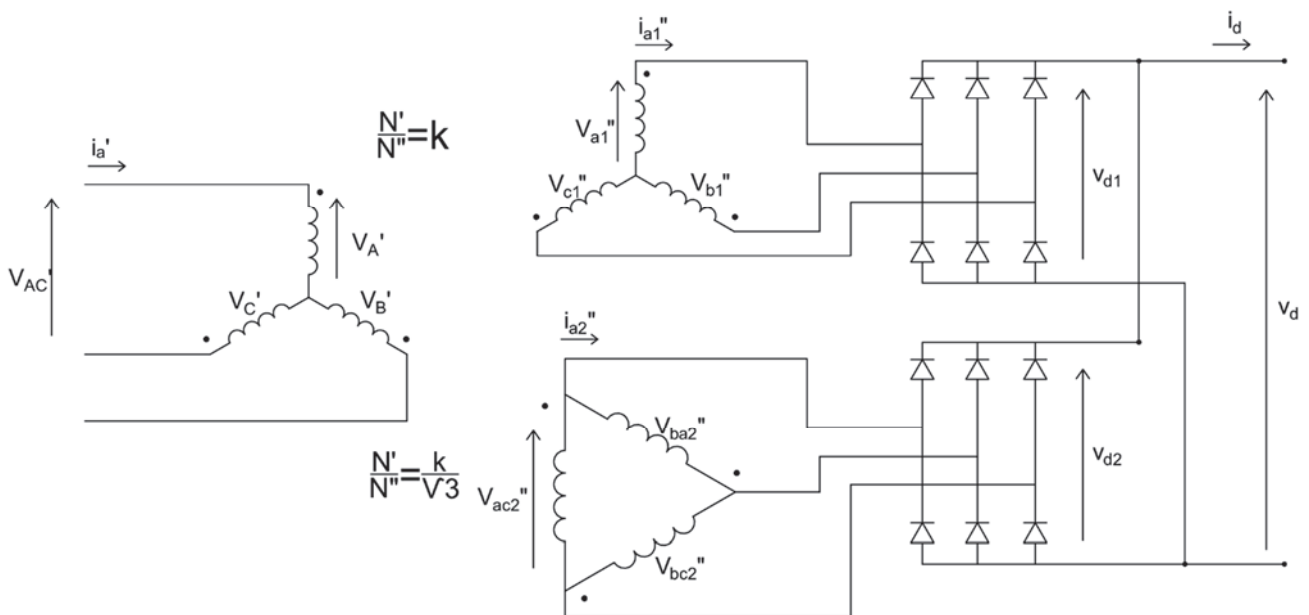


Figura 1.39 Struttura del gruppo di trasformazione/conversione con raddrizzatori collegati in parallelo.

Si ottengono anche qui due uscite di tensioni raddrizzate  $v_{d1}(t)$  e  $v_{d2}(t)$ , che hanno 6 impulsi nel periodo e sono temporalmente sfasate tra loro di  $\frac{T}{12}$  ( $\frac{T}{6}$  in termini di fasi). Ponendo le uscite dei due ponti in parallelo si ha l'uscita desiderata  $v_d(t)$  a 12 impulsi ( $\rightarrow$  **COMPORAMENTO DODECAFASE DEL GRUPPO RADDRIZZATORE**).

Si analizza ora il beneficio che ne deriva sul contenuto armonico delle grandezze utilizzando questa configurazione di trasformazione/conversione:

### CONTENUTO ARMONICO TENSIONE LATO DC

Il trasformatore a tre avvolgimenti fornisce ai 2 raddrizzatori due terne alternate trifasi di tensioni sfasate tra di loro di  $30^\circ$  grazie all'indice orario Y/y0-d11. Il valore efficace della tensione concatenata di ciascuna terna è pari a

$$V_{LL} = 2710 \text{ V}$$

Il raddrizzatore raddrizzatore Y, produce una tensione continua  $v_{d1}$  lato DC con frequenza  $6f^*$ , mentre il raddrizzatore D, alimentato da una terna  $30^\circ$  in anticipo, produce una tensione continua  $v_{d2}$  con frequenza  $6f^*$  uguale ma sfasata di  $30^\circ$  sempre in anticipo. Il valore medio delle due tensioni raddrizzate è uguale e pari a

$$V_d = 1,35 \cdot 2710 = 3658 \text{ V.}$$

Il risultato ottenuto con una connessione parallelo tra i due raddrizzatori lato DC è una tensione continua  $v_d$  costituita da un valore medio  $V_d$  + un contenuto armonico con frequenze multiple di  $12f^*$ . Istantaneamente però, nei nodi di collegamento del parallelo,  $v_{d1}$  e  $v_{d2}$  essendo tra di loro sfasate impongono delle piccole differenze di potenziale che causano una diversa ripartizione della corrente di carico tra i due ponti.

### CONTENUTO ARMONICO CORRENTE ASSORBITA LATO I° TRASFORMATORE

L'analisi di questa configurazione è più complessa in quanto si pone, come già accennato, il problema della ripartizione della corrente tra i due ponti. Tuttavia, tale ripartizione è uguale se si guarda il valore medio, ma durante ciascun ciclo i due ponti si palleggiano, al ritmo di 12 volte per ciclo, una quota della corrente che è funzione del carico e del fattore  $K$ . Queste fluttuazioni non sono però influenzate dalla presenza o meno del filtro lato DC, aumentano evidentemente il cimento dei diodi e sono accompagnate da un'alterazione delle condizioni di funzionamento del ponte parallelo rispetto a quello serie, alterazione che si accentua al crescere di  $K$ .

Per attenuare questa fluttuazione, normalmente nelle ferrovie si cerca di adottare trasformatori con  $K \rightarrow 0$  (nelle specifiche tecniche di fornitura viene infatti indicato che il fattore di avvolgimento tra i due secondari  $K$  deve essere  $< 0,2$ ).

In altri ambiti come nel trasporto tramviario, il sistema impiegato per attenuare tali fluttuazioni è quello di inserire una bobina di assorbimento a presa centrale (fig. 1.40a), la quale è sostanzialmente un autotrasformatore con rapporto 2:1, nel quale l'annullamento della somma delle amperspire impone l'uguaglianza delle correnti creando automaticamente quelle tensioni serie che a tal fine risultano necessarie. Un risultato analogo può essere ottenuto anche mediante lo sdoppiamento del reattore del filtro in due reattori inseriti nell'uscita di ciascuno dei due ponti (fig. 1.40b)  $\rightarrow$  per ottenere la stessa capacità filtrante, l'induttanza dei reattori sdoppiati deve essere doppia ma è attraversata da una corrente metà.

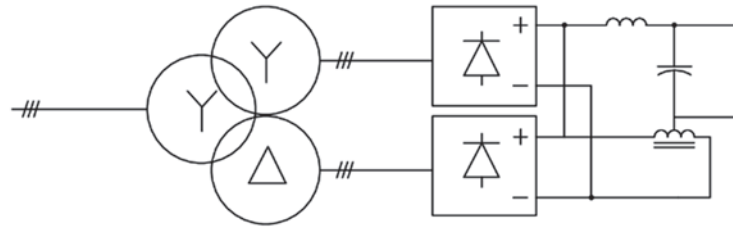


Figura 1.40a Gruppo dodecafase parallelo con bobina di assorbimento.

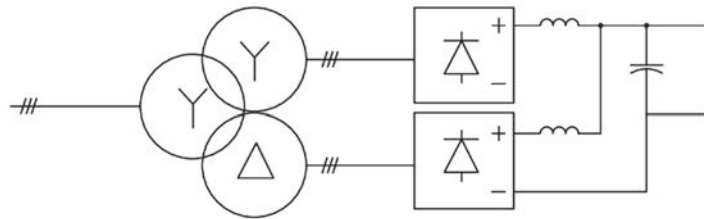


Figura 1.40b Gruppo dodecafase parallelo con sdoppiamento del reattore del filtro inseriti all'uscita di ciascun ponte.

Il comportamento del gruppo dodecafase con raddrizzatori in parallelo con le integrazioni di cui sopra ( $K \rightarrow 0$  o bobina di assorbimento o sdoppiamento del reattore di filtro inseriti nelle uscite) sviluppano un comportamento del tutto analogo a quello del corrispondente ponte a doppio dodecafase serie, per cui ad esso si applicano tutti i risultati del paragrafo 1.3.2, con la ovvia avvertenza che quando si considera un singolo ponte le correnti vanno divise per 2.

La configurazione gruppo di conversione dodecafase con raddrizzatori in parallelo rimane oggi la struttura standard di installazione nelle SSE in tutto il territorio nazionale.

Supponendo una tipica alimentazione a 132 kV dalle LP, i valori di tensione presenti sono mostrate in fig. 1.41:

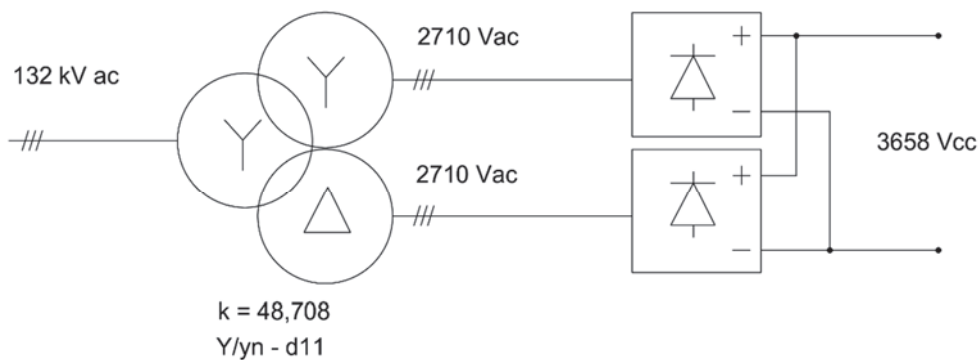


Figura 1.41 Tensioni presenti in un gruppo di conversione con raddrizzatori in parallelo alimentato a 132 kV.





# Capitolo 2

## Stato di fatto della SSE

In questo capitolo viene fatto un inquadramento generale dello stato di fatto della SSE oggetto di studio e di intervento, analizzandone la disposizione delle apparecchiature con le relative funzioni, sia nello schema unifilare di potenza che nel layout generale, e le loro caratteristiche tecniche.

### 2.1 Generalità della SSE

Le informazioni generali che la caratterizzano sono sintetizzate nella tabella 2.1:

*Generalità della SSE*

<i>Tipo di SSE</i>	Misto Non presente Alimentazione LP AT con collegamento serie
<i>Area totale di competenza RFI</i>	2809 m <sup>2</sup>
<i>Area interessata dalle apparecchiature RFI</i>	1244 m <sup>2</sup> (compreso fabbricato)
<i>Area fabbricato</i>	221 m <sup>2</sup>
<i>Tensione di alimentazione LP</i>	132 kVac 50 Hz 3f
<i>Tensione di alimentazione LdC</i>	3,6 kVcc (a vuoto)
<i>Numero sbarre AT</i>	1
<i>Numero gruppi di conversione</i>	2
<i>Potenza erogabile da ogni gruppo</i>	5,4 MW (in servizio continuo)
<i>Numero e sezione LdC da alimentare</i>	LdC da 440 mm <sup>2</sup> binario pari LdC da 440 mm <sup>2</sup> binario dispari
<i>Intensità e tipo di traffico interessato dai binari</i>	Intensità alta con velocità massima 200 km/h Traffico viaggiatori e consistente traffico merci

*Tabella 2.1 Generalità della SSE*

È importante distinguere la SSE dalle standard presenti sul territorio nazionale per la peculiarità di funzionare con numerose tecnologie innovative create durante gli anni '90, alcune delle quali si sono dimostrate efficaci mentre altre hanno portato problemi e ripensamenti. Queste tecnologie, studiate più nel dettaglio nei prossimi paragrafi, sono:

- Moduli compatti sezionatore-interruttore;
- Trasformatori di gruppo con secondari da 1355 V;
- Gruppi di conversione a reazione dodecafase con raddrizzatori collegati in serie;
- Reattore di filtro con induttanza di 3 mH;
- Condensatori di filtro di capacità complessiva di 720 µF;

- Sistema di governo di tipo computerizzato con protocollo proprietario del costruttore;
- Centraline RTU a microprocessore;
- Fabbricato e della sala quadri di dimensioni più compatte.

## 2.2 Connessione alle Linee Primarie (LP)

Gran parte delle SSE presente sul territorio nazionale, sono alimentate dal complesso reticolo di linee di trasmissione AT generalmente aeree, dette Linee Primarie (LP), che collegano le centrali di generazione dell'energia elettrica alle linee di distribuzione e ai carichi utilizzatori più grossi, in questo caso le SSE. La tensione nominale delle linee può essere di:

**66 kV** (tensione ormai scomparsa)

**132 kV** (la più frequente)

**150 kV** (nel sud Italia)

Le LP erano in passato di proprietà RFI, che gestiva quindi anche la generazione e trasmissione dell'energia elettrica necessaria per la trazione (linee dedicate). A seguito poi della loro cessione a Terna, RFI si è liberata dell'onere organizzativo, non essendo in sostanza materia di piena competenza per l'azienda. Questo passaggio di proprietà è recente e presenta tuttora (2021) alcuni passaggi incompleti, come ad esempio l'installazione di Gruppi di Misura fiscali (dato che ogni SSE dopo tale cessione è diventata di fatto un singolo utilizzatore, e quindi necessita di misure per la contabilità fiscale dell'energia).

### 2.1.2 Caratteristiche delle LP che alimentano la SSE

La SSE oggetto di studio è alimentata mediante due LP alla tensione di **132 kV trifase alla frequenza industriale di 50 Hz con connessione di tipo entra-esce** (→ in serie).

Le due LP si collegano alla sbarra di AT mediante due stalli di linea (fig. 2.1) forniti di moduli tipo compatto, i quali consentono tramite gli IL l'apertura della linea in caso di suo guasto, sovraccarico e manutenzione e la chiusura. Un sezionatore di sbarra  $S_s$  consente di suddividere la sbarra in due semi-sbarre riconfigurando lo schema di alimentazione secondo le diverse necessità.

A livello di layout, l'arrivo linea è rappresentato in fig. 2.2 e vi si può notare che le due LP, in forma di doppia terna, arrivano ad ancorarsi mediante isolatori ad amarro ad un unico sostegno a traliccio con tronco piramidale; da qui, le doppie terne (→LP) si diramano per formare i due stalli di linea e i suoi conduttori vengono disposti lungo un piano orizzontale mediante l'aiuto di due sostegni a traliccio di tipo "palo gatto".

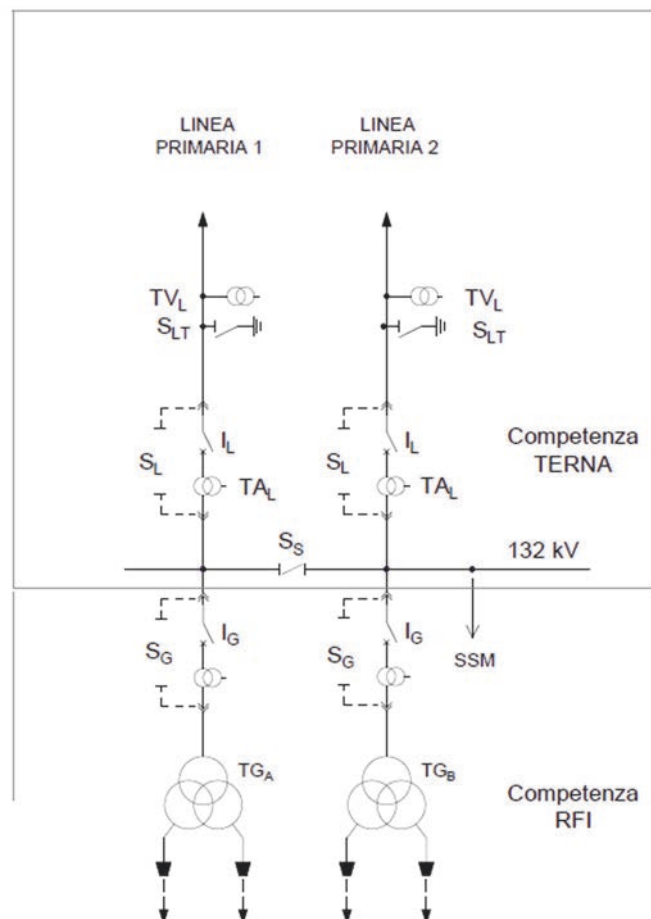


Figura 2.1 Schema di potenza dell'alimentazione AT della SSE.

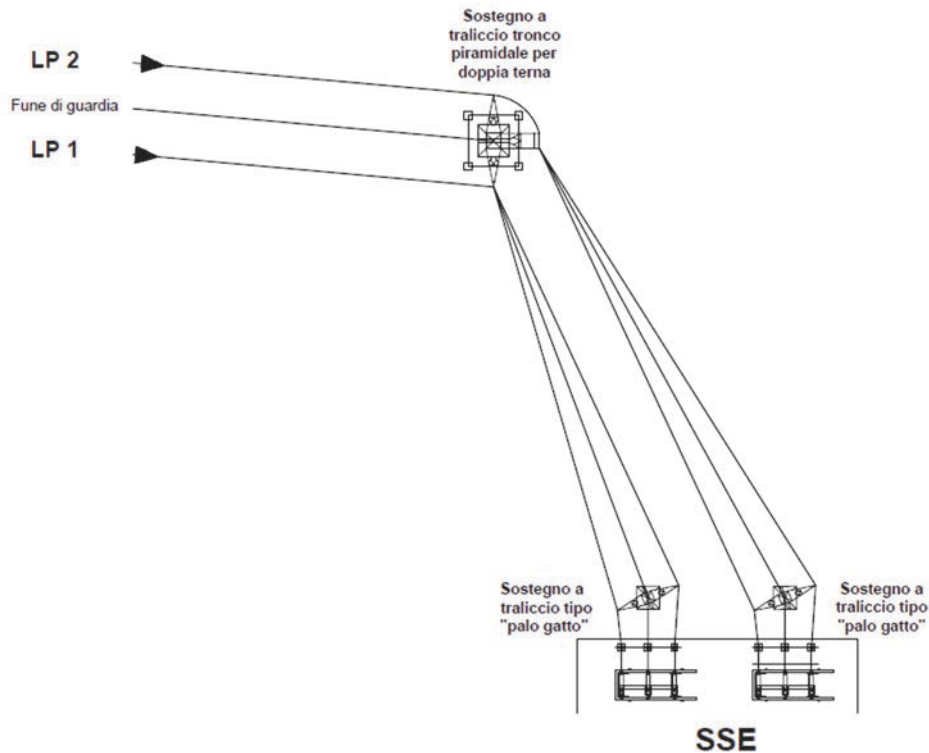


Figura 2.2 Layout LP

Avendo a disposizione due dorsali di LP indipendenti tra loro, le SSE limitrofe sono collegate alle LP in modo alternato, cioè due SSE geograficamente successive non sono connesse con lo stesso tronco di LP come mostrato in fig. 2.3. Il motivo di tale configurazione di alimentazione è stata studiata appositamente per evitare che con il disservizio di un tronco di linea non vadano fuori servizio due SSE consecutive.

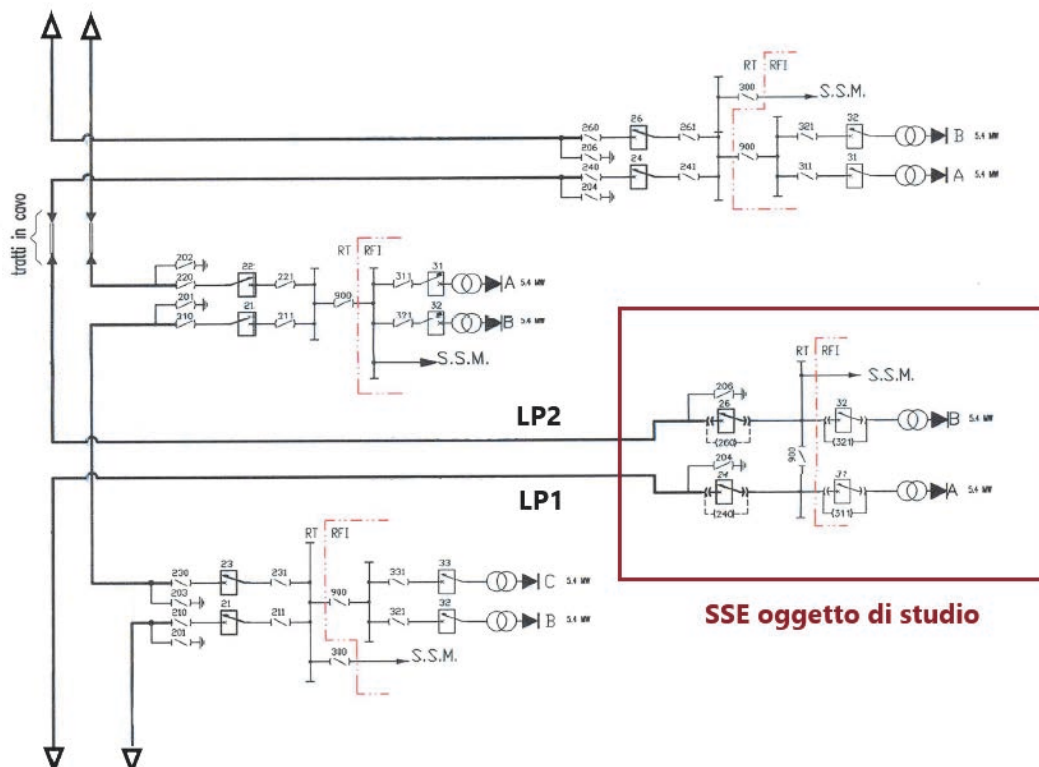


Figura 2.3 Connessione delle LP alle SSE vicine.

## 2.3 Schema unifilare di potenza della SSE

Si analizza ora lo *schema unifilare di potenza* nella *Tavola n. 1*, il quale rappresenta lo stato di fatto della SSE prima dell'intervento. Per eseguire una descrizione precisa e ordinata delle apparecchiature e delle eventuali interazioni tra di esse, si segue l'ordine determinato dal flusso di potenza del gruppo A, tralasciando il gruppo B in quanto speculari.

Le apparecchiature rappresentate nella tavola fanno riferimento alla tabella 2.2 e i colori utilizzati rappresentano:

- In viola i conduttori tubolari AT alla tensione di 132 kV;
- In arancione i conduttori MT alla tensione di 1355 V;
- In rosso i conduttori del positivo a 3600 Vcc;
- In blu i conduttori del negativo;
- In azzurro i conduttori BT a 400/230 V per i servizi ausiliari ac;
- In verde i conduttori al potenziale di terra;
- In nero le apparecchiature e il resto dei conduttori che non fanno parte di quelli sopra.

N.	SIMBOLO	DESCRIZIONE
1		SEZIONATORE
2		SEZIONATORE CON MESSA A TERRA
3		SEZIONATORE DI TERRA
4		INTERRUTTORE AD APERTURA AUTOMATICA
5		INTERRUTTORE AD APERTURA AUTOMATICA MAGNETO-TERMICO
6		CONTATTORE
7		INTERRUTTORE DI MANOVRA-SEZIONATORE
8		FUSIBILE
9		CONNETTORE
10		RICEVITORE (I/V)
11		TRASMETTITORE (I/V)
12		RELE'-APPARECCHIATURA DI CONTROLLO
13		TRASFORMATORE AMPEROMETRICO
14		TRASFORMATORE AMPEROMETRICO DOPPIO SECONDARIO
15		TRASFORMATORE VOLTMETRICO DOPPIO SECONDARIO
16		PONTE RADDRIZZATORE
17		CONVERTITORE
18		TELAIO-MASSA
19		TERRA
20		TERMINALE CAVO
21		SCARICATORE
22		CAVO SCHERMATO

TRASFORMATORI DI MISURA			
SIMBOLO	RAPPORTO	PRESTAZIONE	TIPO
TA1/1	200-400-800/1A	30VA CI 5P20	
TA1/2	200-400-800/1A	15VA CI 5P20	
TA1/3	200-400-800/5A	30VA CI 0.5	
TA2/1	200-400-800/1A	30VA CI 5P20	
TA2/2	200-400-800/1A	15VA CI 5P20	
TA2/3	200-400-800/5A	30VA CI 0.5	
TA3/1	100-200/5A	30VA CI 0.5	
TA3/2	100-200/1A	30VA CI 5P20	
TA4	100/5A	10VA CI 5P15	
TA5	200/5A	10VA CI 0.5	
TA6	200/5A	10VA CI 0.5	
TA7	200/5A	10VA CI 0.5	
TAB/1	100-200/5A	30VA CI 0.5	
TAB/2	100-200/1A	30VA CI 5P20	
TA9	100/5A	10VA CI 5P15	
TV1	132 V3/0.1 V3 kV	75VA CI 0.5	
	132 V3/0.1 V3 kV	100VA CI 3P	
TV2	132 V3/0.1 V3 kV	75VA CI 0.5	
	132 V3/0.1 V3 kV	100VA CI 3P	

SIGLA	LEGENDA
27	RELE' DI MINIMA TENSIONE(c.a.)
50-51	RELE' DI MASSIMA CORRENTE(c.a.)
99 T	MINIMO LIVELLO OLIO TRAFO
97 T	RELE' BUCCHOLZ TRAFO
26 T	INDICATORE TEMPERATURA OLIO TRAFO
23	TERMOSTATO
32	RELE' PER CORRENTE INVERSA
80-180	RELE' DI MINIMA TENSIONE(c.c.)
64-164	RELE' PER CONTATTO A MASSA APPARECC.
71	DISPOSITIVO CORTOCIRCUITATORE ROTAIE TERRA
45-145	RELE' DI MASSIMA TENSIONE (c.c.)
59	RELE' DI MASSIMA TENSIONE (c.a.)
76	RELE' DI MASSIMA CORRENTE(c.c.)
164 C	RELE' PER GUASTO CAVO
RS	RESISTORE SCARICA CONDENSATORI
86	RELE' DI BLOCCO
21	RELE' DI DISTANZA
49G	RELE' IMMAGINE TERMICA TRASFORMATORE

Tabella 2.2 Legenda generale dello schema unifilare di potenza

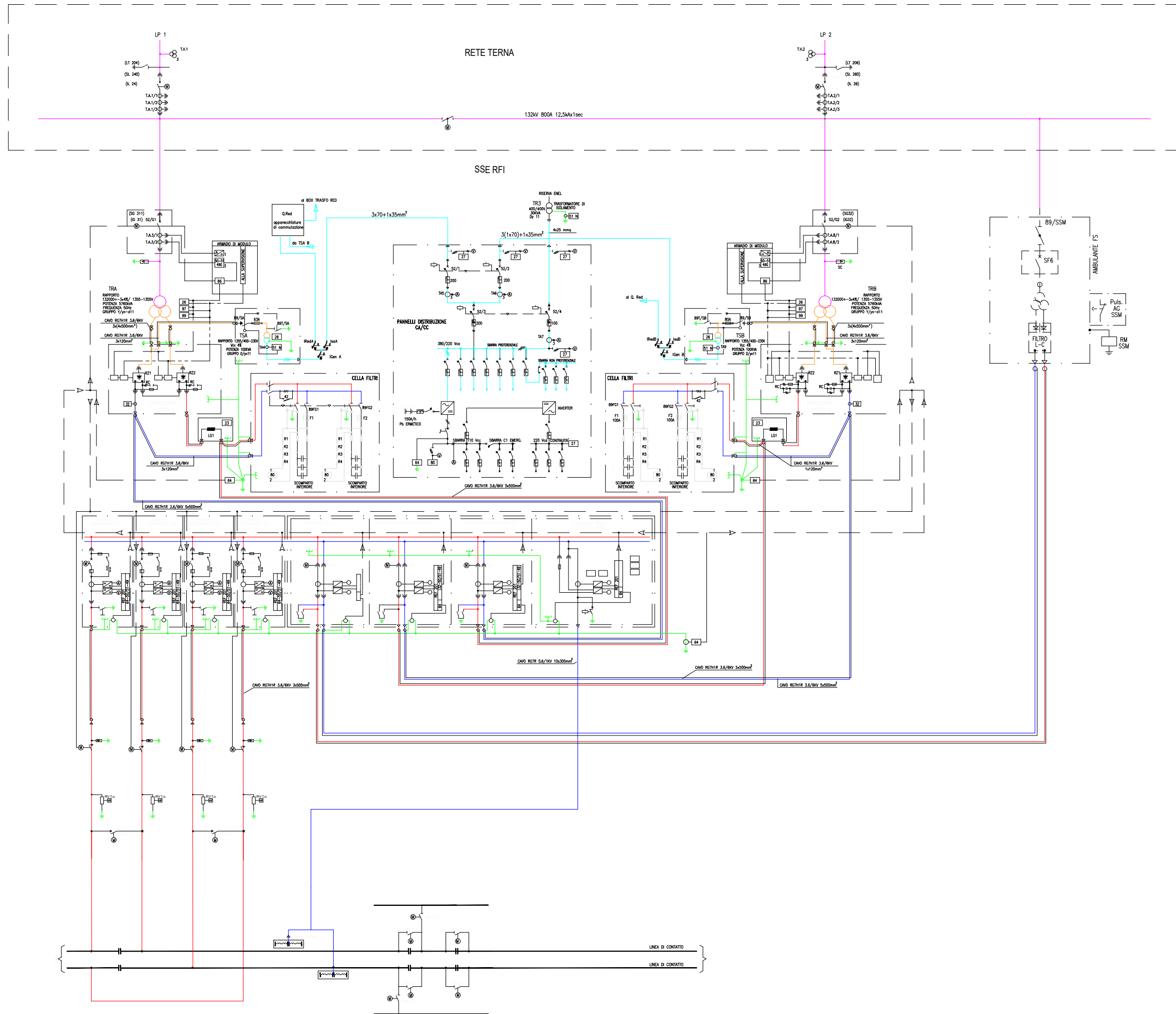


Tavola n.		1
Caratteristiche elaborato	Stato di fatto	
	Scala:	--/--
	Unità di misura	--
Titolo elaborato: SSE di intervento Schema unifilare di potenza		

### 2.3.1 Stalli di linea Terna

L'alimentazione della SSE è assicurata tramite collegamento entra-esci con le LP di trasmissione in AT alla tensione di 132 kV.

Tale collegamento si realizza mediante due stalli<sup>15</sup> e una sbarra di AT sezionabile.

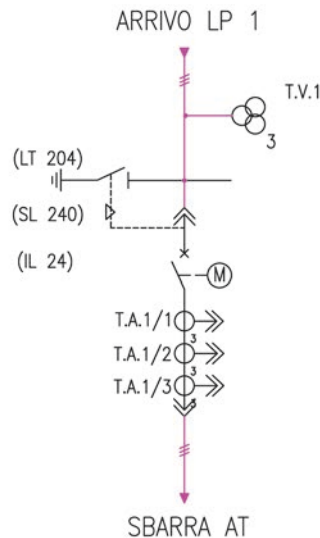


Figura 2.4 Stallo di linea.

In ciascun stallo di linea (fig. 2.4) possiamo riscontrare:

#### N.3 trasformatori di tensione a doppio secondario (T.V.1) [13] [14]

Ogni fase dello stallo di linea è dotata di un *trasformatore di tensione capacitivo* allo scopo di scalare il valore della tensione delle LP AT nel punto di arrivo per:

- consentire la misura della tensione da parte di un voltmetro con finalità di monitoraggio;
- fornire alle protezioni 27 (relè di minima tensione) e 21 (relè di distanza o distanziometriche) il valore di tensione da tenere sotto controllo per l'eventuale apertura degli IL.

Dal disegno tecnico in fig. 2.5 si può individuare i seguenti componenti:

- 1) Terminale primario;
- 2) Morsettiera per morsetti secondari, avvolgimenti di regolazione e terminale di bassa tensione da divisore di tensione del condensatore;
- 3) Flangia terminale FL21;
- 4) Morsetto di terra;
- 5) Centro di gravità;
- 6) Vetro del livello dell'olio;
- 7) Tappo riempimento olio;
- 8) Tappo di scarico dell'olio.

<sup>15</sup> Insieme delle apparecchiature e dei conduttori collegati ad una linea in arrivo o in partenza.

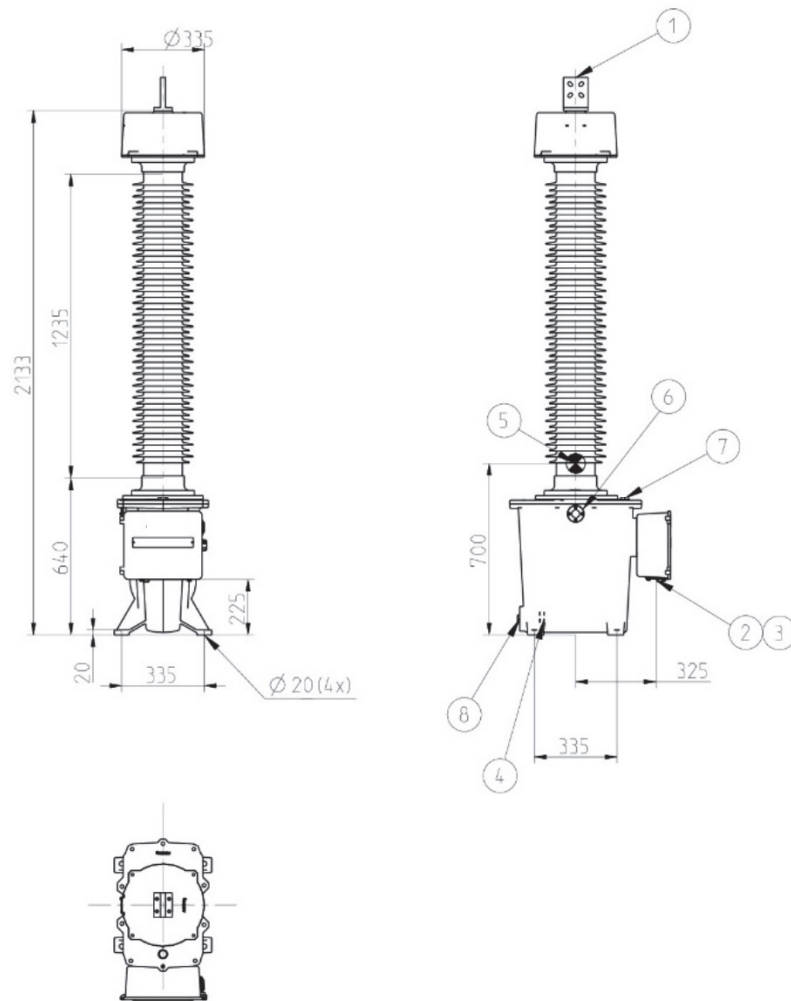


Figura 2.5 Esempio di disegno tecnico del TV.

Nel circuito equivalente di fig. 2.6 possiamo individuare:

- 1) L'Unità Elettromagnetica (EMU), la quale si compone di un trasformatore di tensione intermedia con reattanza di compensazione;
- 2) Avvolgimento primario del trasformatore di tensione intermedia;
- 3) Reattore di compensazione;
- 4) 5 avvolgimenti di regolazione: sono stati dimensionati con un numero di spire tale che il rapporto possa essere regolato  $\pm 6,05\%$  in passi dello  $0,05\%$ . Sono fisicamente accessibili dall'esterno dietro ad una calotta di copertura sigillata nella morsettiera secondaria;
- 5) 2 avvolgimenti secondari ai quali vengono collegate le protezioni e il voltmetro;

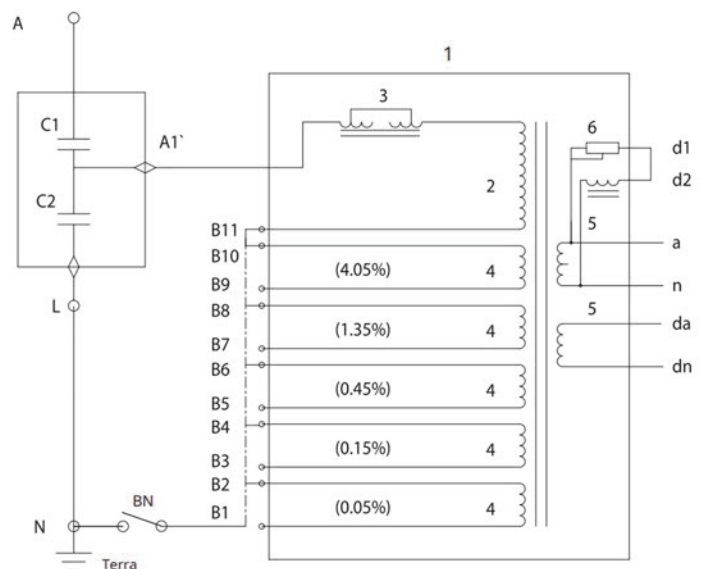


Figura 2.6 Circuito equivalente del TV.



- 6) Circuito di smorzamento della ferro-risonanza: è costituito da un reattore con un nucleo di ferro e un resistore raffreddato ad olio in serie che consente lo smorzamento della ferro-risonanza tra la capacità del partitore in serie con l'induttanza del trasformatore e reattore

I dati tecnici sono riportati nella seguente tabella:

<i>Trasformatore di tensione capacitivo</i>		
<i>Livelli di isolamento</i>		275-650 kV
<i>Tensione nominale</i>		$132/\sqrt{3}$
<i>Tensione massima di esercizio</i>		145 kV
<i>Frequenza</i>		50 Hz
<i>Temperatura</i>		-40 → +40 °C
<i>Norme</i>		IEC 60186 / IEC 60358
<i>Massa</i>		450 Kg (incluso 110 Kg olio)
<i>Divisore di tensione capacitivo</i>		
<i>Tipo</i>		CSA 145
<i>C1/C2</i>		0,0152/0,0760 μF
<i>C1+C2</i>		0,0912 μF
<i>Capacità totale C</i>		0,0127 μF
<i>Rapporto</i>		90/15=6.000
<i>Unità elettromagnetica</i>		
<i>Tensione nominale intermedia</i>		$22000/\sqrt{3}$
<i>Fattore di tensione</i>		1,5/30 s
<i>Intervallo di regolazione</i>		± 121*0,05%
<i>Resistenza d1-d2</i>		2,16 ±5% Ohm
<i>Terminali</i>		
<i>A – N</i>	<i>Tensione</i>	$132000/\sqrt{3}$ V
<i>1a – 1n</i>	<i>Tensione</i>	$100/\sqrt{3}$ V
	<i>Potenza</i>	75 VA
	<i>Classe</i>	0,5
<i>2a – 2n</i>	<i>Tensione</i>	$100/\sqrt{3}$ V
	<i>Potenza</i>	100 VA
	<i>Classe</i>	3P

Tabella 2.3 Dati tecnici TV.

### N.1 Modulo compatto sezionatore-interruttore [15]

Il sistema multifunzionale “Modulo compatto sezionatore-interruttore” è un modulo tripolare innovativo lanciato negli anni ‘90 il quale riunisce quasi tutte le funzioni di uno stallo AT in un solo modulo (fig. 2.7).

Esso infatti include:

- 1) interruttore tripolare di linea (**IL 24/26**)
- 2) sezionatore tripolare di linea (**SL 240/260**) con lame di terra (**LT 204/206**);
- 3) trasformatori di corrente (**T.A.1/1,2,3** e **T.A.2/1,2,3**).

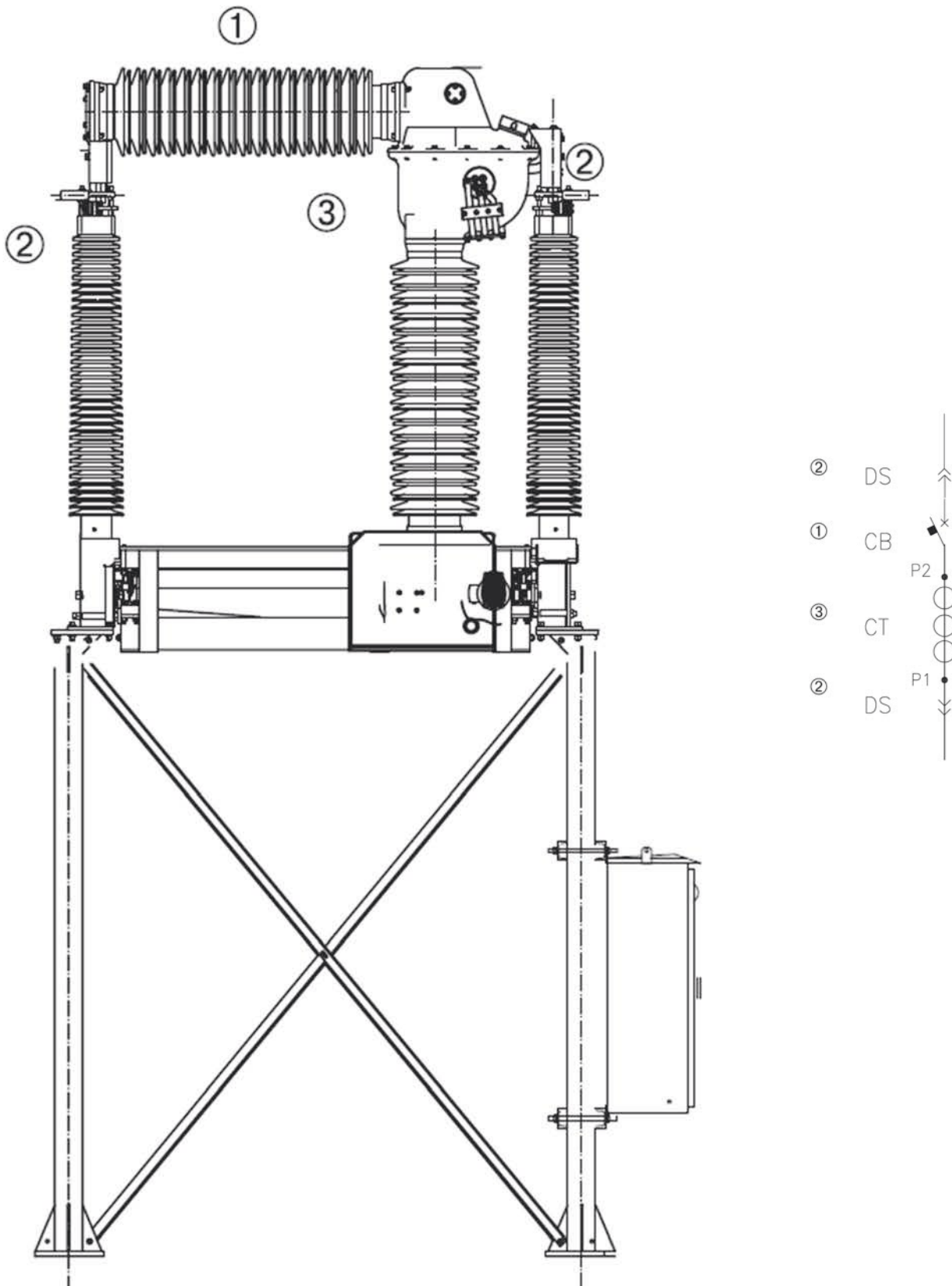


Figura 2.7 Esempio di disegno tecnico e schema unifilare di potenza del modulo compatto sezionatore-interruttore.

La sua compattezza è determinata:

- da un meccanismo di traslazione della struttura mobile (nella quale sono alloggiati gli interruttori AT) rispetto alle sbarre di connessione fisse, su un telaio portante, permettendo così di sezionare e vincolare parte del circuito a terra;
- da un'architettura a gomito degli interruttori;
- dall'incorporamento dei TA negli interruttori.

Da un esempio del disegno tecnico in fig. 2.7 si nota che le apparecchiature in tensione vengono disposte sopra un'apposita struttura di sostegno ancorata ad un basamento di cemento e al quale viene agganciato il quadro di comando. Le apparecchiature possono traslare rispetto alla struttura portante fissa al basamento in direzione di uscita da foglio, consentendo così il sezionamento del circuito. Sulla parte destra del modulo vi si può alloggiare, mediante ancoraggio di un opportuno sostegno, i TV. I dati tecnici e le caratteristiche generali sono riportati nella tabella 2.4:

*Caratteristiche generali "Modulo compatto sezionatore-interruttore"*

<i>Tensione nominale</i>	145 kV
<i>Tensione di tenuta ad impulso atmosferico</i>	650 kV
<i>Tensione di tenuta a freq. Industriale</i>	275 kV
<i>Frequenza nominale</i>	50 Hz
<i>Corrente termica nominale</i>	1250 A
<i>Corrente di breve durata nom. ammissibile</i>	31,5 kA per 1s
<i>Pressione nominale SF6 a 20°C</i>	0,60 MPa
<i>Pressione d'allarme</i>	0,56 MPa
<i>Pressione relativa di blocco</i>	0,54 MPa
<i>Massa di SF6 (per polo)</i>	6 Kg
<i>Resistenza anticondensa</i>	220 Vca – 50 W

*Caratteristiche interruttore*

<i>Potere d'interruzione nom. in cto cto</i>	31,5 kA
<i>Fattore di interruzione</i>	1,5
<i>Corrente d'interruzione linee a vuoto</i>	50 A
<i>Sequenza di operazione nominale</i>	O-0, 3s-CO-1min-CO
<i>Tensione nominale</i>	110 Vcc
<i>Motore tensione nominale - potenza</i>	110 Vcc – 400 W

*Caratteristiche TA*

<i>Rapporto</i>	400-800-1200 / 5-5-5
<i>Corrente max</i>	480-960-1920
<i>Prestazioni:</i>	
<i>1 nucleo</i>	30 VA / CI 0,2
<i>2 nucleo</i>	30 VA / 5P30
<i>3 nucleo</i>	30 VA / 5P30

*Caratteristiche sezionatore di linea*

<i>Tensione motore</i>	400 Vac -15% / +10%
<i>Potenza</i>	1100 W
<i>Resistenze anticondensa</i>	25 W

*Caratteristiche sezionatore di terra*

<i>Comando</i>	Manuale
<i>Resistenze anticondensa</i>	10 W

Tabella 2.4 Caratteristiche tecniche del "Modulo compatto sezionatore-interruttore" e suoi componenti.

IL.24 e IL.26 ricevono il comando di apertura in caso di necessità di manutenzione/esigenze operative oppure tramite le protezioni:

- 21 *Relè a distanza* il quale riceve la tensione scalata dal TV esterno e la corrente di linea scalata dal primo nucleo del TA incorporato;
- 50-51 *Relè di massima corrente ac* il quale riceve la corrente di linea scalata dal secondo nucleo del TA.

Questa apparecchiatura è passata sotto la zona di giurisdizione Terna e di conseguenza anche il suo controllo.

### 2.3.2 Sbarra di AT

La sbarra di AT è formata da *condutture tubolari T100 in alluminio* e ha le seguenti caratteristiche tecniche:

*Tensione nominale: 132 kV*

*Corrente nominale: 800 A*

*Max corrente di ctcto sopportabile per 1s: 12,5 kA*

#### N.1 sezionatore tripolare di sbarra 900 [16]

La sbarra è sezionabile in due semi-sbarre mediante il *sezionatore rotativo tripolare motorizzato di sbarra SS.900*, in modo tale da consentire differenti schemi di alimentazione, sia in dipendenza dello stato di funzionamento della stessa SSE che di quelle adiacenti.

La terna di sezionatori è installata su cavalletto *con poli in fila indiana*, opportunamente ancorato ad un basamento in cemento. Il sezionamento avviene per rotazione delle lame fissate sui poli centrali. Le caratteristiche tecniche e fisiche sono le seguenti:

*Caratteristiche generali SS.900*

<i>Tensione nominale</i>	170 kV
<i>Corrente nominale</i>	1250 A
<i>Tensione di tenuta ad impulso di fulminazione</i>	650 kV
<i>Corrente di breve durata nom. ammissibile</i>	20 kA per 1s
<i>Disposizione poli</i>	A fila indiana

*Tabella 2.4 Caratteristiche generali del sezionatore tripolare di sbarra.*

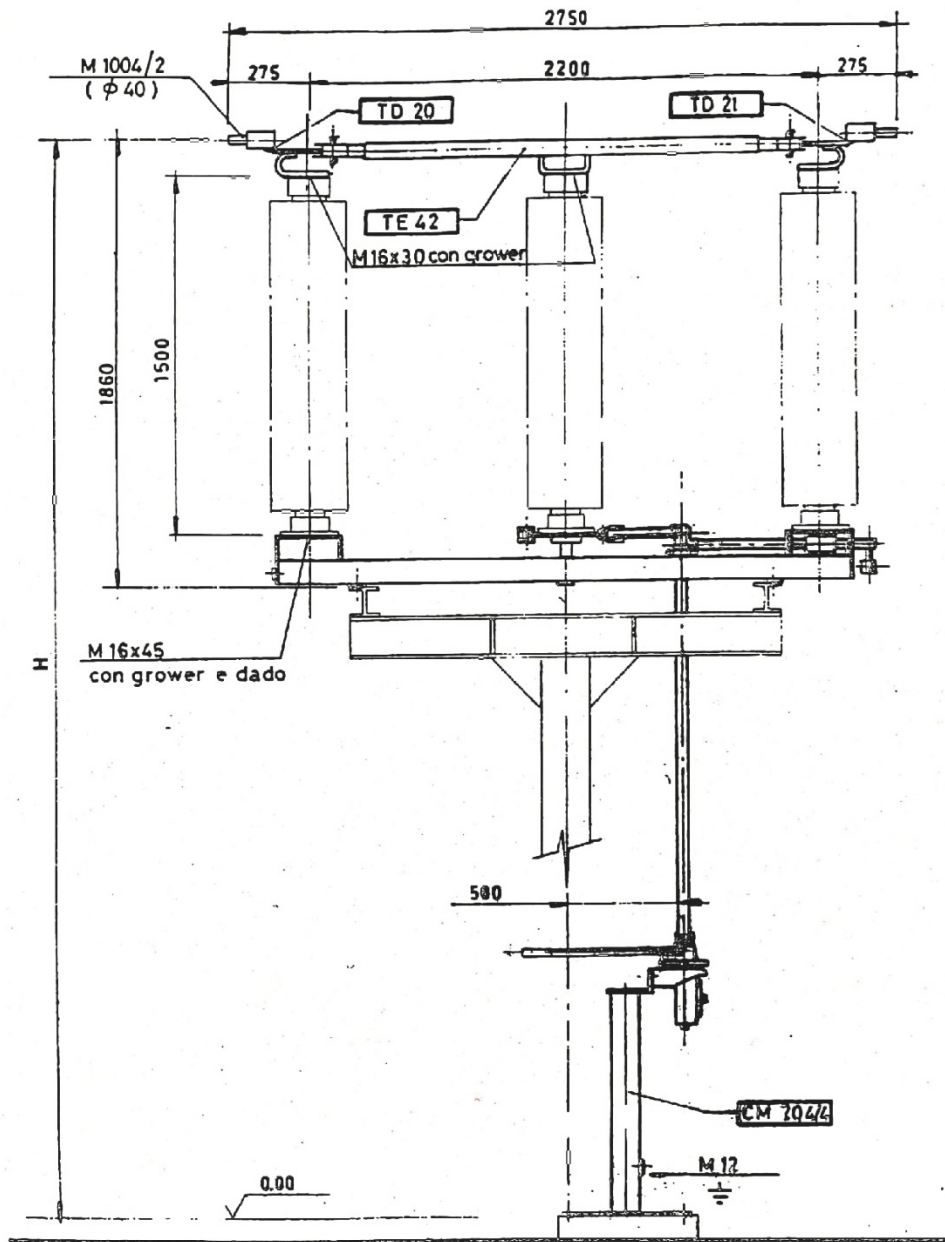


Figura 2.8 Esempio del disegno tecnico del sezionatore tripolare di sbarra.

Questa apparecchiatura è passata sotto la zona di giurisdizione Terna e di conseguenza anche il suo controllo.

### 2.3.3 Stalli di gruppo RFI

In derivazione alla sbarra, sempre mediante condutture tubolari in alluminio T100 si allacciano 2 stalli di competenza di RFI che alimentano i 2 gruppi di conversione.

Analizzando quello che alimenta il gruppo A (fig. 2.9), speculare a quello che alimenta il gruppo B, vi si trovano le seguenti apparecchiature:

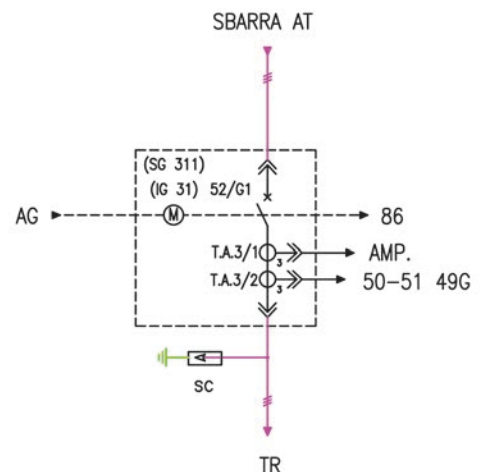


Figura 2.9 Stallo di gruppo.

### N.1 “Modulo compatto sezionatore-interruttore” [15]

Il modulo è dotato delle stesse apparecchiature AT del modulo nello stallo di linea con la differenza che il sezionatore non è dotato di lame di terra.

Esso include:

- 1) interruttore tripolare di gruppo (**IG 31/32**)
- 2) sezionatore tripolare di gruppo (**SG 311/321**);
- 3) trasformatori di corrente (**T.A.3/1,2** e **T.A.8/1,2**).

La necessità di aprire l'IG può nascere per motivi di esigenza (manutentiva e non) comandata sul posto o a distanza oppure per motivi di protezione. In quest'ultima situazione, il relè a cartellino (86 *Relè di blocco*) agisce sul circuito di apertura dell'interruttore nel momento in cui viene eccitato dai seguenti relè a cui è collegato che rilevano le anomalie:

- 50-51 *Relè di massima corrente ac* che individua eventuali cortocircuiti a valle dell'IG che provocano un assorbimento anomalo della corrente di linea di gruppo rilevata mediante apposito TA;
- 49G *Relè immagine termica trasformatore*;
- 26 *Indicatore temperatura olio trasformatore* che individua eventuali sovratemperature anomale del trasformatore;
- 97 *Relè Buchholz trasformatore* che interviene quando all'interno del trasformatore si ha uno sviluppo anomalo di gas che solitamente è indice di un guasto grave;
- 99 *Minimo livello olio trasformatore* che interviene nel caso in cui il livello dell'olio si abbassa oltre ad un certo livello (a causa di perdite) ed incorrere a pericoli di scarica;
- 23 1/1, 2/1 *Termostati raddrizzatori* individuano eventuali sovratemperature anomale e pericolose sui raddrizzatori di gruppo;

L'apertura dell'IG può anche essere comandata dal circuito di Apertura Generale (AG) che attuа l'isolamento della sottostazione lato AT e lato 3kVcc (aprendo gli extrarapidi e i sezionatori di 1ª fila) nel caso in cui:

- viene premuto uno dei pulsanti di apertura disposti nel fabbricato;
- si verifica un guasto a terra delle apparecchiature/quadri all'interno del fabbricato (escluso l'impianto LFM), individuato mediante i *Relè di massa RM o 64*.

La corrente di linea che assorbe il gruppo di conversione è misurata e monitorata mediante un amperometro che riceve la corrente opportunamente scalata dal TA dell'IG.

Questa apparecchiatura risulta il primo dispositivo di proprietà RFI a valle della sbarra AT di Terna e, a causa della sua compattezza, rappresenta un problema qualora vi fosse necessario un intervento del personale di manutenzione sugli interruttori (meglio delineato nel prossimo capitolo).

### N. 3 scaricatori di tensione (SC) [17]

A valle del modulo compatto, per ogni fase è derivato uno scaricatore di tensione a ZnO (fig. 2.10), il quale ha il compito di scaricare a terra eventuali sovratensioni interne (dovute a guasti o a manovre nel circuito) ed esterne (di origine atmosferica) che possono provenire dalle LP. In questo modo, protegge tutta l'apparecchiatura che vi sta a valle, in primis il trasformatore di potenza, il quale senza la sua protezione potrebbe ricevere forti sollecitazioni meccaniche e termiche che porterebbero molto probabilmente alla rottura degli avvolgimenti.

Le caratteristiche tecniche sono le seguenti:

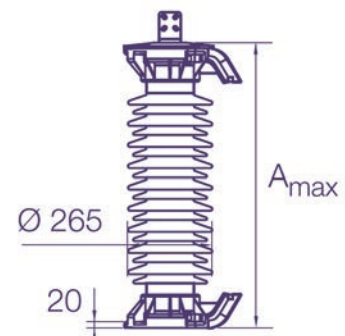


Figura 2.10 Esempio del disegno tecnico dello scaricatore a ZnO

## Scaricatore di sovratensione a ZnO

Massima tensione di sistema	145 kV <sub>rms</sub>
Tensione nominale	108-144 kV <sub>rms</sub>
A <sub>max</sub>	1268

Tabella 2.5 Caratteristiche tecniche dello SC a ZnO

## 2.3.4 Trasformatori di gruppo e SA

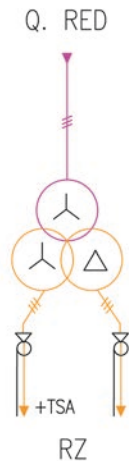


Figura 2.11 Trasformatore di gruppo.

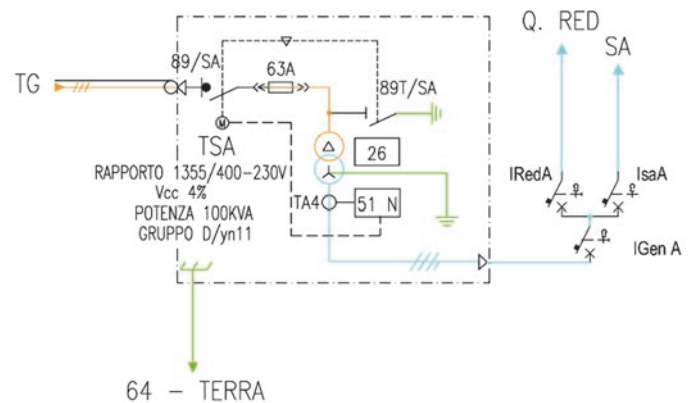


Figura 2.12 Trasformatore servizi ausiliari

N.1 trasformatore di Gruppo (TR<sub>A-B</sub>)

La trasformazione della tensione da 132 kV a 1355 V in c.a. è assicurata tramite un *trasformatore di potenza TR<sub>A-B</sub> a tre avvolgimenti per esterno con raffreddamento ONAN*<sup>16</sup> (fig. 2.11, 2.13a e 2.13b) ubicato tra il fabbricato e gli scaricatori di sovratensione e adagiato sopra una vasca che assicura il contenimento di eventuali perdite di olio nel rispetto dei vincoli ambientali.

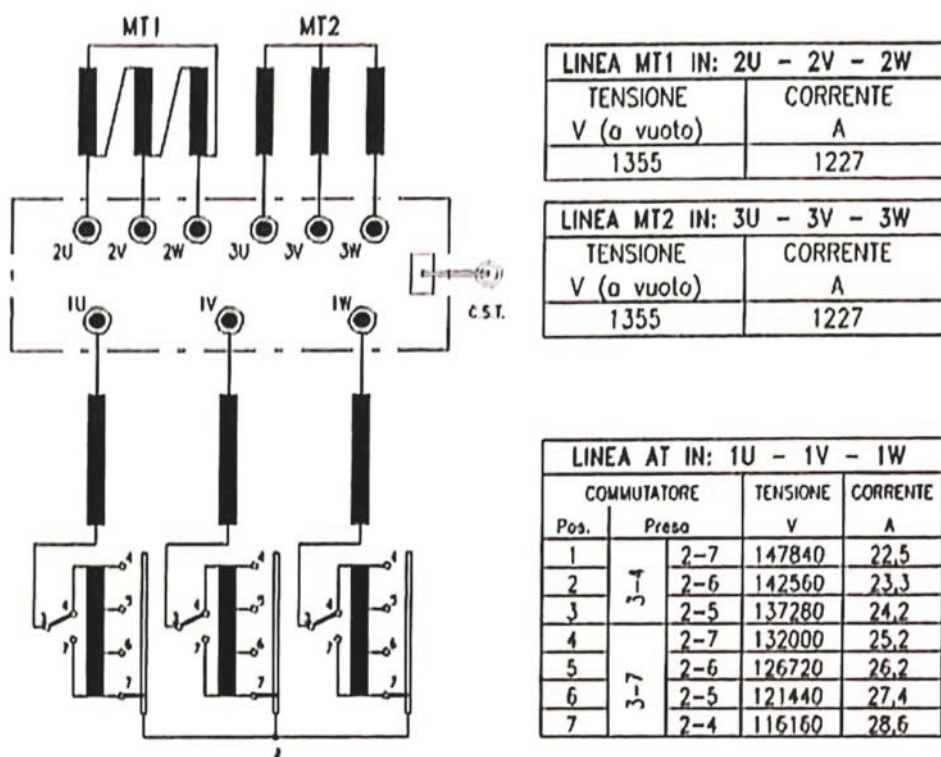
I dati nominali di targa sono i seguenti:

## Dati di targa

## Trasformatore 3f a tre avvolgimenti per esterno

Costruito secondo norme		RE/ST.IE.D TE/115 002 ediz. 1997 CEI '83 f.609	
Raffreddamento		ONAN	
Frequenza nominale		50 Hz	
Potenza nominale	Avv AT	5760 kVA	
	Avv MT1-MT2	2880 kVA	2880 kVA
Tensione nominale	Avv AT	132 ±3x4% kV	
	Avv MT1-MT2	1355 V	1355 V

<sup>16</sup> Olio Naturale Aria Naturale.



Corrente nominale	Avv AT	25,2 A	
	Avv MT1-MT2	1277 A	1277 A
Commutatore	A vuoto 145 kV / 120 A 7 posizioni		
Livello di isolamento	IA650 FI275/IA60 FI20 kV		
Gruppo vettoriale	Yd11		Yy0
Collegamenti	Avv AT	Y	
	Avv MT1-MT2	$\Delta$	Y
Tensione di c.to c.to	Avv AT	12 %	
	Avv MT1-MT2	6 %	6 %
Peso totale del trasformatore	31000 Kg		
Peso olio	11000 Kg		
Peso parte estraibile	12500 Kg		
Cassa atta al sollevamento del trasformatore completo di olio			
Cassa atta al vuoto con pressione assoluta min. interno cassa	3 mm Hg		
Minima altezza gancio gru	7500 mm		
Larghezza (lato lungo)	4600 mm		
Lunghezza (lato corto)	3000 mm		

Tabella 2.6 Dati di targa TG.

Dai dati di targa della tabella 2.6 si può notare che è un trasformatore per gruppi di conversione da 5,4 MW di potenza nominale e con raddrizzatori a valle collegati in serie data la presenza di una tensione di 1355 V nei due secondari. Il primario non è dotato di variatore sotto-carico come nei moderni gruppi di conversione ma di un commutatore a vuoto con 7 posizioni ed è alimentato attraverso tre



(fasi) condutture tubolari in alluminio T100, mentre ciascun secondario si allaccia al rispettivo raddrizzatore mediante 4 cavi RG7H1R 3,7/6kV<sup>17</sup> di 500 mm<sup>2</sup> per ogni fase.

La sua protezione è assicurata, oltre dallo scaricatore a monte contro sovratensioni, dalla sorveglianza delle seguenti apparecchiature:

- 26 “Indicatore temperatura olio trafo”;
- 97 “Relè Buccholz trafo”;
- 99 “Minimo livello olio trafo”;

che eccitano il “Relè di blocco” 86 per l’apertura dell’IG in caso di esigenza e forniscono le informazioni per la supervisione.

Dalle dimensioni riportate in figura 2.13a e 2.13b si nota che rispetto ai trasformatori di gruppo costruiti secondo le nuove specifiche tecniche di fornitura ha delle dimensioni più contenute.

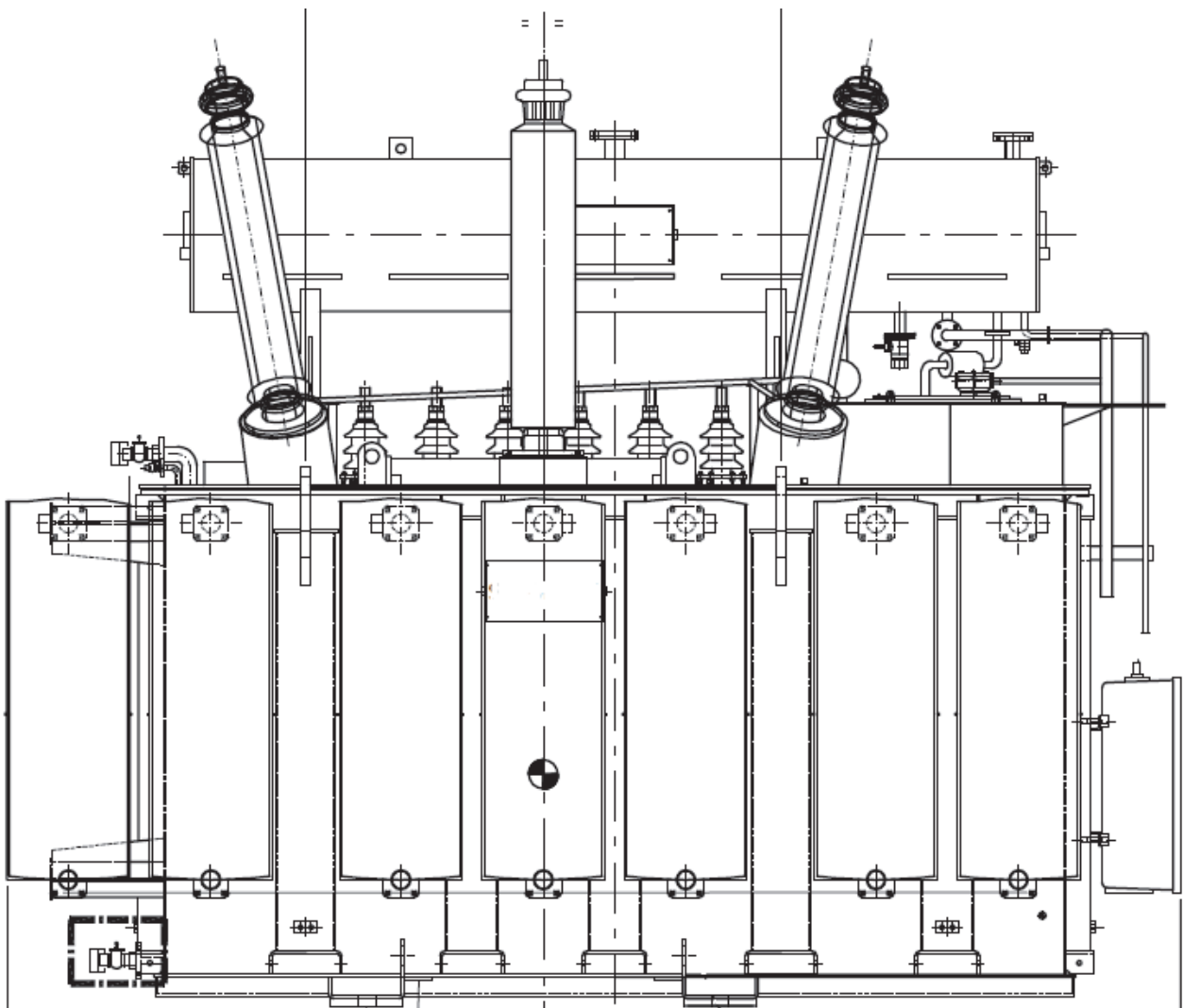


Figura 2.13a Disegno tecnico del trasformatore di gruppo.

<sup>17</sup> È un cavo tipicamente usato in MT nelle SSE e secondo la tabella della norma CEI-UNEL 35011 è un cavo con conduttore in corda rigida rotonda, normale o compatta (R), isolante in gomma EPR ad alto modulo (G7), schermatura a fili o nastri di rame (H1), guaina esterna in polivinilcloruro (R), tensione nominale di esercizio 3,6 kV e tensione massima 6 kV.

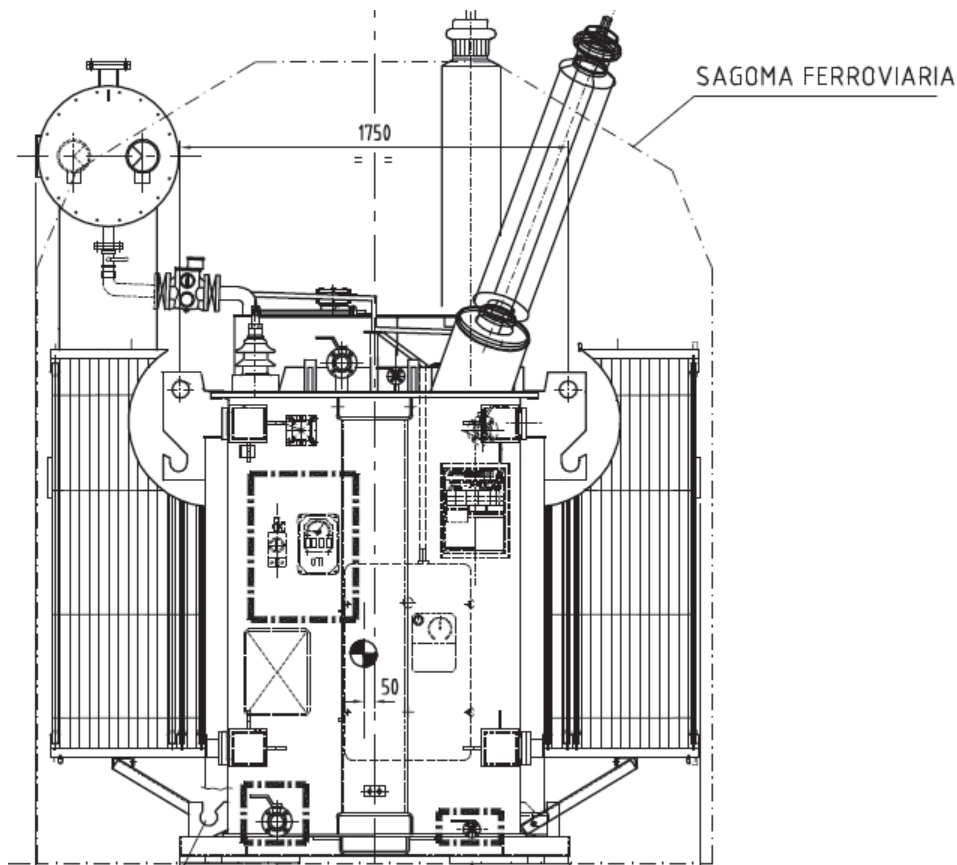


Figura 2.13b Disegno tecnico del trasformatore di gruppo

Al secondario connesso a Y viene derivato a ciascun TG, mediante una terna di cavi RG7H1R 3,6/6kV da 120 mm<sup>2</sup>, un trasformatore per i servizi ausiliari.

### N.1 trasformatore per Servizi Ausiliari (TSA<sub>A-B</sub>)

L'alimentazione dei servizi ausiliari, oltre che dalle batterie e dalla riserva Enel in casi di emergenza, è assicurata mediante allacciamento al secondario connesso a y di ciascun TG di un *trasformatore 3f isolato in resina che attua la trasformazione dei 1355 V a 400/230 V* (fig. 2.12).

I due TSA<sub>A-B</sub> sono predisposti per l'alimentazione contemporanea dei servizi ausiliari, tuttavia data la presenza dell'impianto di Riscaldamento Elettrico Deviatoi (RED)<sup>18</sup> che assorbe una notevole energia, ciò comporta:

- una potenza maggiore rispetto ai tradizionali trasformatori per SA installati nelle altre SSE;
- una configurazione di alimentazione la quale prevede che il primo TSA che viene alimentato fornisce l'alimentazione ai SA mentre il secondo viene dedicato all'alimentazione dell'impianto RED in maniera da distribuire uniformemente il carico sugli stalli di gruppo.

La loro collocazione è nel fabbricato e posti separatamente all'interno di un involucro in carpenteria metallica. I dati tecnici sono riportati in tabella 2.7:

Dati di targa TSA<sub>A-B</sub>

Potenza	250 kVA	
Tensione nominale	I°	1355 V
	II°	400/230 V

<sup>18</sup> Impianto che garantisce il corretto funzionamento degli organi di movimento dei deviatoi anche in condizioni ambientali particolarmente sfavorevoli.

<i>Corrente nominale</i>	<i>I°</i>	106,5 A	
	<i>II°</i>	360,8 A	
<i>Numero di fasi</i>	3		
<i>Vcc</i>	4%		
<i>Gruppo</i>	D/yn11		
<i>Livello di isolamento degli avvolgimenti:</i>	<i>Tensione di isolamento</i>	<i>Tensione di tenuta a f industriale</i>	<i>Tensione di tenuta a LI ad onda piena 1,2/50 μs</i>
<i>I°</i>	3,6 kV <sub>rms</sub>	10 kV <sub>rms</sub>	40 kV <sub>peak</sub>
<i>II°</i>	1,1 kV <sub>rms</sub>	3 kV <sub>rms</sub>	5 kV <sub>peak</sub>

Tabella 2.7 Dati tecnici dei TSA.

Il centro stella del secondario è collegato a terra e la protezione è assicurata mediante:

- 89/SA-B e 89T/SA-B Interruttore di manovra-sezionatore motorizzato IMS;
- Fusibile estraibile da 63 A;
- 26 Indicatore di temperatura;
- 51N “Relè di massima corrente omopolare” il quale comanda l’apertura dell’IMS nel caso di rilevamento di guasti a terra tramite la misura delle correnti omopolari attraverso i trasformatori di corrente TA4-9 con:

Rapporto di trasformazione 100/5A

Prestazioni: 10 VA e classe di precisione 5P15.

Questa protezione mi consente una maggiore selettività dell’impianto nel momento in cui ci dovesse essere un guasto a valle del trasformatore disalimentando solo la zona dei servizi ausiliari e non tutto l’impianto;

- 64 Relè di massa che interviene mediante il circuito di AG sull’apertura degli IG e degli extrarapidi nel caso di dispersioni/guasti verso la carcassa che contiene il trasformatore. Questo poiché nel caso si verificano dispersioni pericolose verso tale carcassa da parte dei cavi MT in arrivo al trafo SA, è necessario disalimentare anche la porzione di impianto a monte di questo.

### 2.3.5 Conversione dell’energia

La sezione conversione dell’energia comprende i raddrizzatori di gruppo e le apparecchiature che realizzano il filtro LC.

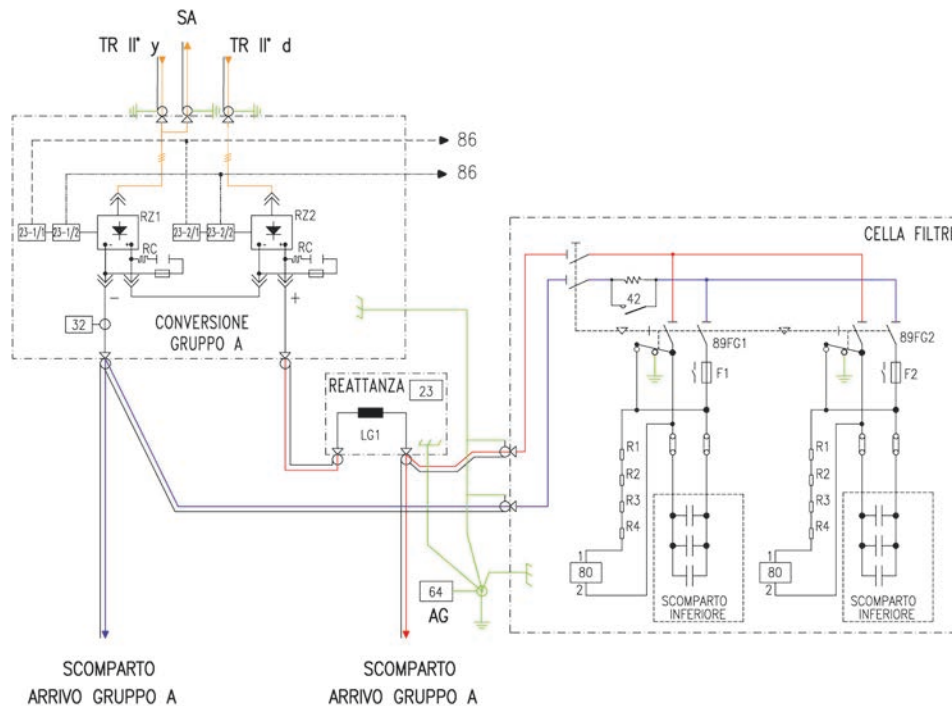


Figura 2.14 Sezione conversione dell'energia.

### N.1 convertitore di gruppo a reazione dodecafase con raddrizzatori in serie (RZ1 + RZ2)

Ogni gruppo è dotato di un *convertitore a reazione dodecafase realizzato con due raddrizzatori a ponte di Graetz* (paragrafo 1.3.3) collegati tra loro in serie e alimentati da *terne trifasi di tensioni sfasate di 30°*. Esso si allaccia al TR mediante 4 terne di cavi RG7H1R ad ogni secondario passando attraverso cavidotti interrati ed è costituito da due armadi contenenti ciascuno un telaio metallico estraibile che accoglie il raddrizzatore a ponte di Graetz esafase RZ1 e RZ2 (fig. 2.15). L'estraibilità del telaio raddrizzatore, novità adottata per la prima volta sui raddrizzatori dalla stessa ditta nell'anno 2000, è rappresentata nello schema di potenza mediante i segni grafici “<< >>” e con essi vi si intende anche la funzione di sezionamento esapolare (nel lato AC del gruppo di conversione) e bipolare (nel lato DC dello stesso). Le uscite dei due telai raddrizzatori sono connesse in serie per ottenere:

- il valore della tensione continua necessaria per la trazione di 3600 kV;
- il comportamento dodecafase.

Gli armadi sono suddivisi in due sezioni, separate da una segregazione (fig. 2.16).

La sezione di ingresso/uscita, situata posteriormente, contiene il gruppo RsCs (costituito appunto da una resistenza di scarica Rs e il condensatore di scarica Cs) di uscita con il relativo fusibile di protezione, le bandelle di collegamento DC e AC.

La sezione anteriore, chiusa da porte, è predisposta per alloggiare il telaio vero e proprio. Esso contiene i leverismi di movimentazione delle segregazioni, il sistema di visualizzazione dei guasti e la morsettiera d'uscita per il monitoraggio remoto.

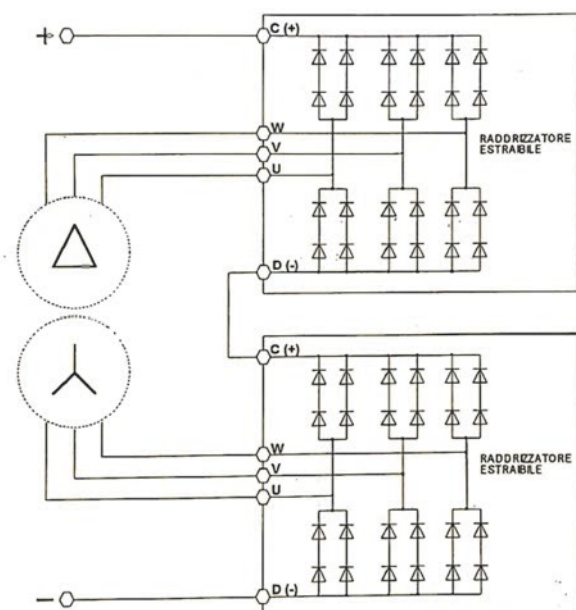


Figura 2.15 Circuito equivalente del convertitore di gruppo.

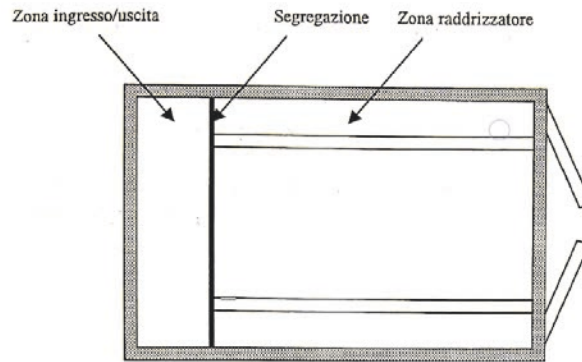


Figura 2.16 Struttura di un armadio RZ.

Il telaio estraibile supporta i diodi raddrizzatori, i gruppi RC individuati con annessi i circuiti di rilevazione guasto, le fibre ottiche di collegamento, la scheda di concentrazione guasti, le bandelle di connessione ed il gruppo meccanico di estrazione/inserzione.

Ogni telaio raddrizzatore impiega 24 diodi in contenitore hockey-puk<sup>19</sup> raffreddati su entrambi i lati mediante dissipatori. I rami del raddrizzatore sono costituiti da una serie di due diodi poste in parallelo, per garantire le correnti nominali e di sovraccarico. Il raffreddamento del sistema viene ottenuto per aria in circolazione naturale, opportunamente convogliata da deflettori posti tra i dissipatori in modo da garantire la massima uniformità delle temperature. Sull'uscita in corrente continua è collegato un gruppo RC per limitazione degli effetti di commutazione, protetto da fusibile. Le bandelle di ingresso e uscita si trovano sul lato posteriore del telaio, e sono munite di pinze ad innesto per la connessione. Il pannello di visualizzazione, posto sulla porta, è un dispositivo a LED che indica lo stato del sistema. Le caratteristiche tecniche del singolo raddrizzatore che compone il convertitore sono riportate in tabella 2.8:

#### Caratteristiche tecniche RZ1 e RZ2

<i>Tensione di uscita nominale a vuoto (valor medio)</i>	1800 V
<i>Tensione massima (non permanente)</i>	1950 V
<i>Frequenza di alimentazione</i>	50 Hz
<i>Collegamento a ponte</i>	Graetz
<i>Numero rami</i>	6
<i>Corrente nominale</i>	1500 A
<i>Corrente di sovraccarico per 2 ore</i>	3000 A
<i>Corrente di sovraccarico per 1 minuto</i>	3500 A
<i>Tensione inversa massima dei diodi (picco)</i>	3000 V
<i>Configurazione</i>	6x2x2
<i>Raffreddamento</i>	Aria naturale
<i>Tensione di alimentazione ausiliario</i>	110 Vcc
<i>Consumo alimentazione ausiliaria</i>	100 W
<i>Tensione alimentazione scaldiglie<sup>20</sup></i>	220 Vcc
<i>Consumo scaldiglie</i>	600 W
<i>Connessioni AC (per fase)</i>	4 cavi RGH7H1R da 500 mm <sup>2</sup>
<i>Connessioni DC (per polarità)</i>	5 cavi RGH7H1R da 500 mm <sup>2</sup>

<sup>19</sup> Disco di gomma utilizzato nell'hockey su ghiaccio.

<sup>20</sup> Nell'armadio sono provviste scaldiglie (resistenze) per il riscaldamento in caso di temperature proibitive,

Umidità relativa di funzionamento	95 %
Temperatura di funzionamento	-25/+35 °C
Dimensioni armadio (lunghezza x profondità x altezza)	1400x1800x2300 mm
Peso approssimativo armadio	390 Kg
Grado di protezione	IP20
Dimensioni telaio (lunghezza x profondità x altezza)	800x1280x2030 mm
Peso approssimativo telaio	515 Kg
Peso approssimativo complessivo	903 Kg

Tabella 2.8 Caratteristiche tecniche del convertitore di gruppo.

La protezione del gruppo di conversione è assicurata tramite:

- 23<sub>1-1, 1-2, 2-1, 2-2</sub> termostati che sorvegliano la temperatura dei raddrizzatori e inviano l'eventuale segnale al relè a cartellino (86 relè di blocco) per l'apertura del relativo IG in caso di sovratemperature anomale all'interno dell'armadio raddrizzatore;
- 64 Relè di massa che interviene mediante il circuito di AG sull'apertura degli IG e degli extrarapidi nel caso di dispersioni/guasti verso la carcassa che contiene il gruppo di conversione.

Si rileva tuttavia una carenza di sicurezza degli armadi, determinata dalla mancata tenuta all'arco interno e quindi potenziale sorgente di rischio di infortunio per gli operatori della manutenzione. Questa mancanza di sicurezza sarà infatti discussa nel prossimo capitolo.

### Filtro LC

Allo scopo di ridurre il contenuto armonico lato DC prodotto dal convertitore che causerebbe un disturbo alle telecomunicazioni, a valle di esso vi è un filtro passa basso<sup>21</sup> del II° ordine (cioè composto da 2 elementi reattivi L e C come in fig. 2.17) con:

Reattore di induttanza 3 mH  
Banco di condensatori da 720 µF

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 108,3 \text{ Hz}$$

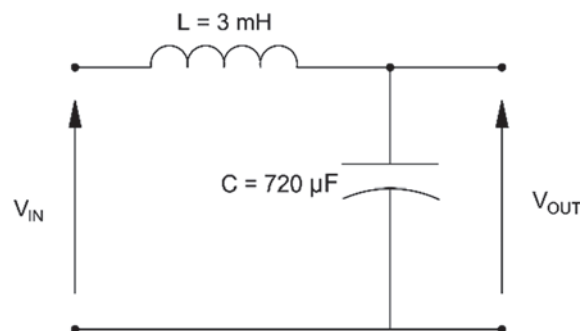


Figura 2.17 Filtro LC passabasso del secondo ordine.

I valori di induttanza e capacità che realizzano il filtro sono diversi dai valori standard presenti sul territorio poiché la resistenza equivalente vista a monte del filtro è funzione di una minor tensione di cortocircuito del trasformatore adatto per gruppi convertitori con raddrizzatori in serie.

<sup>21</sup> Un filtro passa basso è un sistema che permette il passaggio di frequenze al di sotto di una data soglia, detta frequenza di taglio, bloccando le altre frequenze.

## N. 1 reattanza LG1

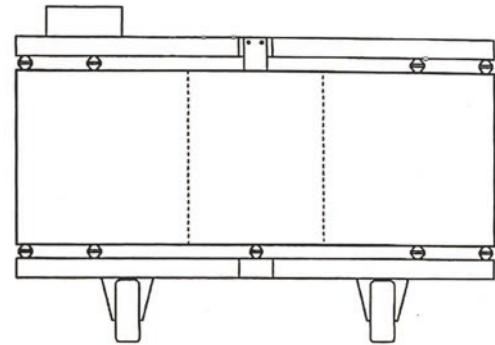
La componente induttiva del filtro è realizzata mediante un *reattore in lastra di alluminio e resina* (fig. 2.18) in serie al positivo in uscita dal gruppo di conversione.

I dati tecnici e geometrici sono i seguenti:

*Dati di targa Reattore LG1*

<i>Materiale lastre</i>	Alluminio
<i>Induttanza (in ca 50 Hz)</i>	3,215 mH
<i>Resistenza (in cc a 20°C)</i>	3,75 mΩ
<i>Diametro esterno</i>	1450 mm
<i>Peso (con cavi)</i>	1790 Kg

*Tabella 2.9 Dati di targa del reattore.*



*Figura 2.18 Esempio di reattore in lastra di alluminio ad asse verticale.*

La sua protezione è assicurata tramite:

- *23 termostato* che sorveglia la temperatura del reattore invia l'eventuale segnale al relè a cartellino (*86 relè di blocco*) per l'apertura del relativo interruttore di gruppo in caso di sovratemperature anomale;
- *64 Relè di massa* che interviene mediante il circuito di AG sull'apertura degli IG e degli extrarapidi nel caso di dispersioni/guasti verso massa.

Esso viene fisicamente isolato in uno scompartimento dedicato del fabbricato per evitare interferenze con le altre apparecchiature e l'accesso è consentito esclusivamente previa toltensione.

## N.1 Cella filtri

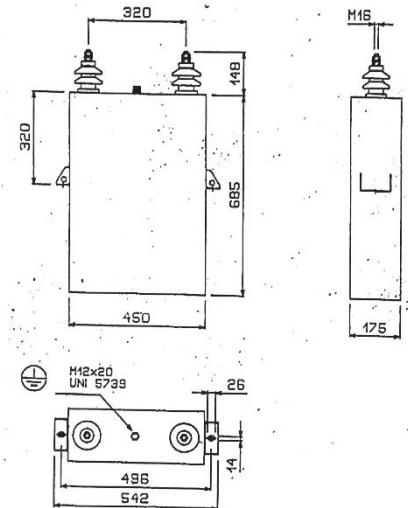
La componente capacitiva del filtro passa basso è ottenuta mediante una *batteria di condensatori della capacità complessiva di 720 μF* in derivazione tra la sbarra positiva (a valle del reattore) e negativa mediante 6 cavi (3 per il negativo e 3 per il positivo) FG7H1R<sup>22</sup> da 120 mm<sup>2</sup>. La sezione e il numero di conduttori è inferiore poiché sul condensatore vengono convogliate solo le armoniche da filtrare.

I 2 gruppi di 3 condensatori C di capacità di 120 μF (si hanno pertanto gruppi da 360 μF), sono segregati e protetti in due celle distinte, comprendenti le apparecchiature ausiliarie di allarme e segnalazione, la valvola di protezione ed i sezionatori/commutatori di messa a terra per la scarica dei condensatori stessi ai fini antinfortunistici, prima delle operazioni di manutenzione.

Ciascun condensatore è del tipo per interno e per corrente continua con i due terminali isolati dal contenitore metallico (fig. 2.19). Sono costituiti da più elementi connessi in serie-parallelo, atti a sostenere la loro intera tensione nominale senza interposizione di fusibili interni.

Il contenitore metallico è in acciaio con all'interno materiale isolante olio sintetico.

I dati tecnici e le caratteristiche geometriche della cella filtri e suoi componenti vengono qui riportati/e:



*Figura 2.19 Condensatore da 120 μF.*

<sup>22</sup> Secondo la tabella della norma CEI-UNEL 35011 è un cavo con conduttore in corda flessibile (F), isolante in gomma EPR ad alto modulo (G7), schermatura a fili o nastri di rame (H1) e guaina esterna in polivinilcloruro (R).

*Caratteristiche cella filtri*

<i>Numero gruppi di condensatori</i>	2
<i>Capacità gruppo condensatori</i>	360 $\mu$ F
<i>Numero condensatori per ogni gruppo</i>	3 da 120 $\mu$ F – 6 kV

*Caratteristiche condensatore C livellatore da 120 $\eta$ F – 6 kV*

<i>Capacità nominale</i>	120 $\mu$ F	
<i>Tensione nominale</i>	6 kVcc	
<i>Tensione di isolamento</i>	<i>fra le armature</i>	15 kVcc
	<i>Fra le armature collegate assieme e il contenitore metallico</i>	22 kVca eff.
<i>Corrente nominale</i>	25 A	
<i>Banda di frequenza funzionamento</i>	50 Hz – 1500 Hz	
<i>Peso</i>	80 Kg	
<i>Altezza massima contenitore</i>	850 mm	

Tabella 2.10 Dati tecnici dei condensatori di filtro.

La protezione della cella filtri è assicurata tramite:

- l'inserimento di un resistore in serie al banco di condensatori, il quale consente di ridurre la piena tensione che sarebbe applicata al banco (scarico) senza la sua presenza a seguito della chiusura del sezionatore ed evitare quindi pericoli di guasto. Dopo l'avvenuta carica dei condensatori, tale resistore viene cortocircuitato mediante il *teleruttore 42*;
- la sorveglianza da parte del *Relè di minima tensione cc 80*. In caso di guasto di un condensatore infatti ( $\rightarrow$  cortocircuito e assorbimento della corrente di guasto) interviene un *fusibile F2* disposto su ogni gruppo di condensatori aprendo il circuito che lo alimenta. Di conseguenza i condensatori afferenti si scaricano e il relè 80 individua un valore di tensione troppo basso e segnala tale anomalia con un segnale luminoso sul quadro e segnale al DOTE.  
Il relè rileva la tensione avvalendosi di un partitore voltmetrico resistivo formato da 4 resistenze per scalare la tensione.

Nel caso in cui si necessita di un intervento di manutenzione sulla cella filtri, è necessario per la sicurezza degli operatori assicurarsi che i condensatori siano scarichi. A fornire l'informazione sulla loro effettiva scarica è un segnale luminoso posto sul quadro della cella filtri che riceve il segnale dal relè di minima tensione 80.



## 2.3.6 Protezione e distribuzione

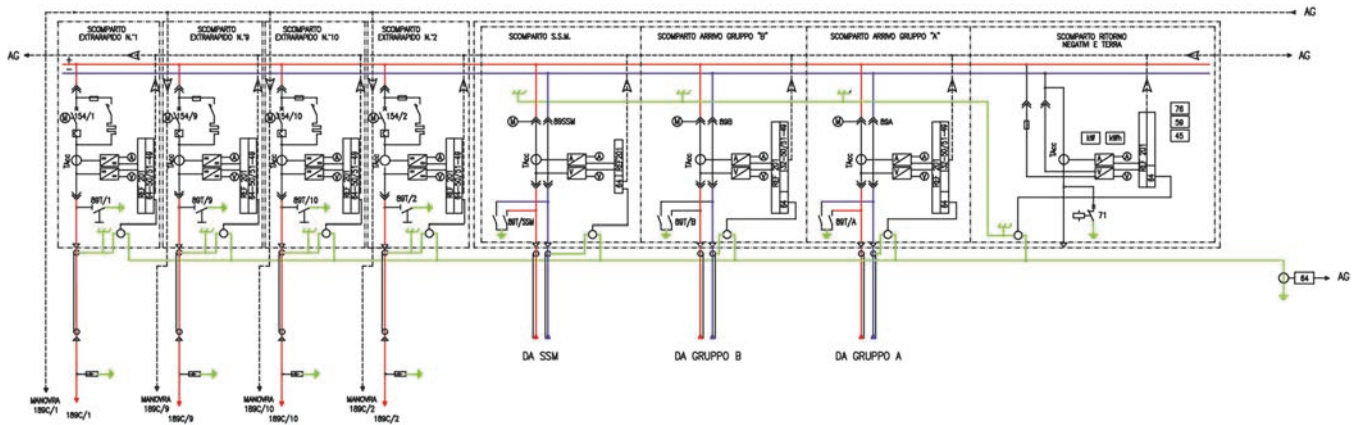


Figura 2.20 Sezione protezione e distribuzione TE.

### N.1 scomparto di arrivo gruppo A/B

Sia il positivo che il negativo in arrivo dal complesso gruppo raddrizzatore + filtro vengono collegati tramite 5 cavi FG7H1R 3,6/6 kV da 500 mm<sup>2</sup> allo scomparto di arrivo gruppo A/B. Questo scomparto realizzato in carpenteria metallica:

- racchiude un carrello estraibile (indicato con il simbolismo << >>) che nell'operazione di estrazione consente il sezionamento del rispettivo gruppo dalle sbarre omnibus e la messa a terra della parte di impianto di arrivo gruppo mediante le lame di terra **89T<sub>A/B</sub>**. Tale meccanismo opera con lo stesso principio dei "moduli compatti sezionatore-interruttore", ovvero la traslazione di una parte mobile rispetto a dei contatti fissi e contemporanea separazione fisica delle due parti (contatti fissi e carrello) mediante una serranda che cala durante l'estrazione del carrello.
- racchiude le apparecchiature di misura della tensione e corrente che forniscono il relativo valore all'ampmetro, voltmetro e protezioni:
  - 32 Relè per corrente inversa individua eventuali guasti che si verificherebbero a monte di tale comparto (→ gruppo) con conseguente percorso inverso della corrente poiché tale guasto verrebbe alimentato dall'altro gruppo tramite le sbarre omnibus e comanda quindi l'AG;
  - 50/51 Relè di massima corrente cc individua eventuali guasti a valle di questo scomparto che porterebbero all'assorbimento anomalo della corrente e comanda quindi l'AG;
  - 49 Relè ad immagine termica individua eventuali sovratemperature anomale dell'apparecchiatura che possono essere principio o motivo di guasto o dispersione e comanda quindi l'AG;
  - 64 Relè di massa individua eventuali dispersioni o guasti verso massa e comanda l'AG;

I dati tecnici sono i seguenti:

#### Caratteristiche tecniche scomparto arrivo gruppo A/B

Tensione	3,6 kVcc
Tensione massima permanente	3,6 kVcc
Tensione massima non permanente	3,6 kVcc
Livello di isolamento	Tensione di tenuta a 50 Hz per 1 min 20 kV

	<i>fra il circuito principale e massa</i>	
	<i>Tensione di tenuta ad LI 1,2/50 ηs</i>	40 kV
	<i>fra il circuito principale e massa</i>	
	<i>Tensione di tenuta a 50 Hz per 1 min</i>	15 kV
	<i>fra i contatti principali aperti</i>	
	<i>Tensione di tenuta ad impulso LI 1,2/50 ηs</i>	40 kV
	<i>fra contatti principali aperti</i>	
	<i>Tensione di tenuta dei circuiti ausiliari</i>	2,5 kV
	<i>verso massa a 50 Hz per 1 min</i>	
	<i>Corrente sbarre principali</i>	3000 Acc
	<i>Corrente sbarre di riserva</i>	3000 Acc
	<i>Corrente termica ammissibile dei circuiti principali</i>	40 kA
	<i>Corrente di picco ammissibile dei circuiti principali</i>	100 kA
	<i>Durata del cortocircuito</i>	1 s
<i>Caratteristiche del sezionatore bipolare di gruppo 89<sub>A/B</sub></i>		
	<i>Costruttore</i>	Secheron
	<i>Designazione</i>	SWI
	<i>Corrente di tenuta al cto-cto per 1 s</i>	75 kAcc
	<i>Tensione di prova a 50 Hz per 1 min</i>	15 kVcc
	<i>Corrente</i>	3000 Acc

Tabella 2.11 Caratteristiche tecniche dello scomparto di arrivo gruppo.

Dal punto di vista tecnico è importante sottolineare che tale scomparto non possiede una tenuta all'arco interno, e questo problema verrà infatti analizzato più nel dettaglio nel prossimo capitolo. Gli scomparti di arrivo gruppo A e B forniscono l'alimentazione alle sbarre omnibus realizzate in Cu dalle quali si aggrappa l'intero circuito per la trazione elettrica e lo scomparto riservato alla Sottostazione Mobile (SSM).

#### **N. 4 scomparti extrarapidi (o alimentatori) 1 – 9 – 10 – 2**

La SSE deve alimentare una linea a due binari, di conseguenza l'architettura di alimentazione (e protezione) prevede di regola un numero di scomparti alimentatori pari a:

$$\#_{\text{alimentatori}} = \#_{\text{binari}} \cdot 2$$

Di conseguenza, dalla sbarra omnibus positiva (anodica) per ogni linea di contatto si diramano due linee visto che la continuità elettrica in corrispondenza della SSE è interrotta al fine di garantire la continuità del servizio in caso di SSE fuori servizio. Sono quindi previsti 4 scomparti alimentatori numerati secondo una certa regola<sup>23</sup> che racchiudono le apparecchiature all'interno di una carpenteria

<sup>23</sup> Gli alimentatori vengono numerati secondo la seguente convenzione nel caso di alimentazione di una linea a doppio binario:

- se la SSE non si trova vicino ad una "zona stazione", le LdC che alimentano la tratta verso nord/ovest ha 1 (binario dispari) e 2 (pari) mentre per la tratta lato sud/est 3 (dispari) e 4 (pari);

metallica che ha le stesse caratteristiche degli scomparti di arrivo gruppo (il costruttore è lo stesso) riportati in tabella 2.11.

Contengono ciascuno, un carrello estraibile con funzione di sezionamento e raccoglie le seguenti apparecchiature:

- *N.1 interruttore extrarapido 1541/9/10/2* [15] [19]

È un interruttore extrarapido in corrente continua per la limitazione della corrente a raffreddamento naturale (fig 2.23). È a sgancio libero, unipolare, bidirezionale e dotato di estinzione elettromagnetica, circuiti elettrici di controllo e sganciatore diretto istantaneo di massima corrente.

Il principio di interruzione della corrente consiste nell'introdurre in serie al circuito una cdt di valore uguale a circa il doppio della tensione a vuoto della rete così da provocare una rampa di discesa del valore almeno pari alla rampa di salita, definita dalla costante di tempo del circuito.

Si analizza ora il fenomeno di interruzione (fig. 2.21) per meglio comprendere le grandezze che ne definiscono le caratteristiche tecniche dell'apparecchiatura:

HP: - assorbimento nullo prima del gusto;  
-  $t = 0$  cto-cto.

Il valore e il gradiente in fase transitoria della corrente di cto-cto dipende dalle resistenze e dalle induttanze della linea e dei circuiti interni della SSE. Nel caso di cto-cti vicini alla SSE, che comportano un brusco abbassamento della tensione di sbarra 3 kV, interviene una componente oscillatoria dovuta alle ripetute scariche e ricariche dei condensatori di filtro. Per l'analisi si forniscono le seguenti definizioni e andamenti:

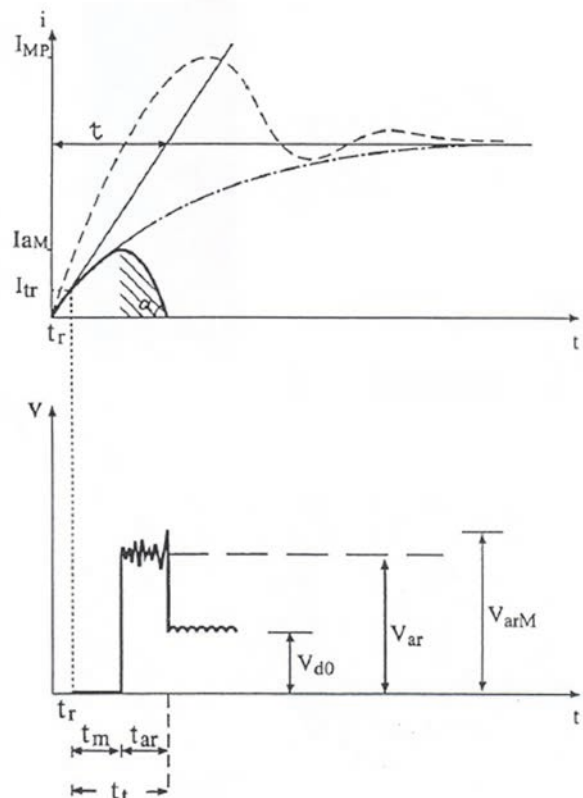


Figura 2.21 Andamento delle grandezze nel fenomeno di interruzione.

$I_M$	corrente permanente di ctocto presunta;
$I_{Mp}$	corrente di picco transitoria;
$I_{tr}$	corrente di taratura;
$(di/dt)$	rapidità di accrescimento iniziale della corrente;
$I_{aM}$	valore massimo della corrente passante o corrente massima di apertura;
$V_{ar}$	tensione d'arco stabilizzata;
$V_{arM}$	tensione d'arco di picco;
$t_r$	istante in cui la corrente raggiunge un valore di taratura;
$t_m$	tempo di reazione meccanica <sup>24</sup> ;
$t_{ar}$	tempo d'arco;
$t_t$	durata dell'interruzione;
$\tau$	costante di tempo del circuito;
$E_{ar}$	lavoro di interruzione.

- se invece la SSE ha una parte della LdC in "zona stazione" (come nel caso di studio), gli alimentatori che alimentano tale LdC sono sempre 9 (dispari) e 10 (pari) mentre l'altro lato segue la regola di cui sopra.

<sup>24</sup> È il tempo intercorso tra il superamento della corrente di taratura e l'inizio della separazione dei contatti.

Osservando la figura 2.21, la tensione al momento del cortocircuito si porta a  $V=0$  e resta tale fintanto che non interviene l'extrarapido. La corrente, a partire dall'istante di cortocircuito, inizia a salire e se non vi fosse l'intervento dell'interruttore descriverebbe un andamento dato dall'insieme della componente transitoria e stazionaria, portandosi esponenzialmente prima ad un picco massimo di cto-cto  $I_{Mp}$  per poi assestarsi con una certa attorno ad un valore di regime presunto  $I_M$ . Con l'intervento invece dell'interruttore, il comando di apertura viene determinato dopo un istante  $t_r$  in cui la corrente raggiunge il valore di taratura  $I_{tr}$ . Nella durata dell'arco  $t_{ar}$  la corrente transitoria di cto-cto è funzione esponenziale del tempo e decresce fino allo strappamento dell'arco. Contemporaneamente si instaura la tensione d'arco fino ad una rampa. Il potere di interruzione, definito come il più elevato valore di corrente stazionaria di cto-cto che l'interruttore può interrompere regolarmente alla tensione nominale, per una data costante di tempo e con una data taratura dello scatto, è affidato alla rapidità d'intervento quando la corrente superi il valore di taratura. Per evitare danni alle apparecchiature occorre che l'interruttore apra entro alcuni ms dall'inizio della anomalia e che sia capace di estinguere l'arco entro un tempo di 20-30 ms. Il processo di interruzione è sensibile alla rapidità di variazione iniziale della corrente, e il costruttore del modello in questione fornisce il parametro  $t_m = f(di/dt)$  come mostrato in figura 2.22:

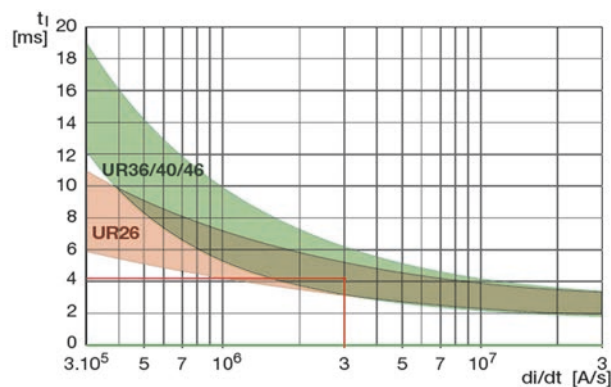


Figura 2.22 Tabella di esempio del tempo di apertura in funzione della velocità di variazione iniziale della corrente di ctocto e del modello.

I dati tecnici e geometrici invece sono i seguenti:

#### Caratteristiche interruttore extrarapido

Corrente convenzionale termica in aria libera		4000 A
Tensione nominale di esercizio		4000 V
Capacità di interruzione		55 kA a $\tau = 15$ ms
Sovratensione di interruzione		6000 – 8000 V
Tempo di reazione meccanica	Sovracorrenti dirette ( $di/dt > 5$ kA/ms)	4 ms
	Diseccitazione della bobina di ritenuta	40 – 90 ms
Tensione di tenuta alla frequenza-potenza nominale	Tra i contatti principali	15 kV
	Tra il circuito principale e terra	15 kV

Resistenza meccanica di vita

4 x 50'000 operazioni

Tabella 2.12 Caratteristiche interruttore extrarapido.

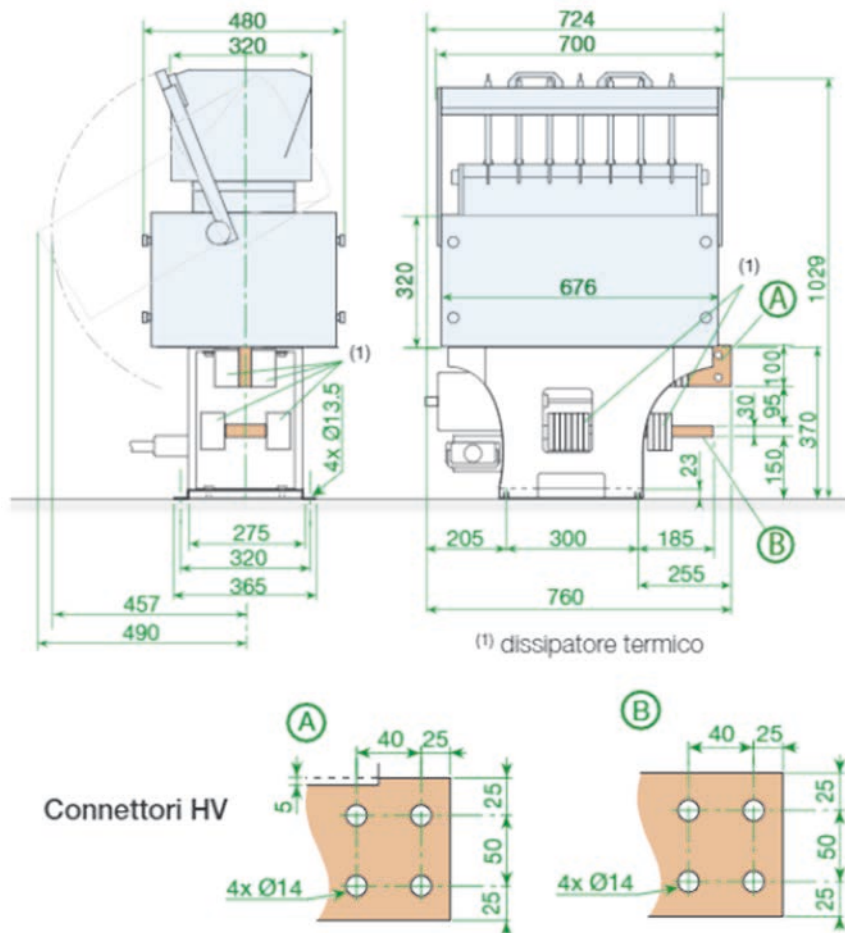


Figura 2.23 Esempio del disegno tecnico dell'interruttore extrarapido.

#### - Circuito prova linea

Il tentativo di richiusura della linea in seguito a una apertura per intervento della protezione diretta potrebbe trovare la linea in corto o predisposta a una nuova scarica se il primo corto ha lasciato tracce conduttrici sul percorso dell'arco.

Viene quindi associato un dispositivo di prova linea generalmente montato sullo stesso telaio, il quale controlla che la resistenza della linea non sia inferiore a un valore minimo dato dalla resistenza di isolamento dei carichi dei rotabili presenti in linea a pantografo sollevato e interruttore di macchina aperto.

È costituito da un reostato  $R_L$  e da un contattore in grado di aprire una corrente di 20-25 A alla tensione di linea, e da un relè o da un rilevatore di tensione tarato sul valore della resistenza corrispondente a linea sana.

A interruttore aperto viene chiuso il circuito di prova: polo positivo – reostato – contattore – linea. Se dopo un tempo dell'ordine delle decine di secondi non si verificano scariche (condizione di normale assorbimento della corrente, limitata cdt su  $R_L$ ), viene dato il consenso sulla chiusura dell'interruttore; contrariamente (assorbimento anomalo per cto-cto, resistenza di linea molto bassa, elevata cdt su  $R_L$  e mancata eccitazione del relè di consenso) si ha l'apertura del contattore e successiva procedura di prova.

La sequenza viene ripetuta 2-3 volte e infine, mancando ancora il consenso, viene segnalato il cto-cto permanente in linea.

- Racchiude le apparecchiature di misura della tensione e corrente che forniscono il relativo valore all' amperometro, voltmetro e protezioni:

*50/51 Relè di massima corrente cc* individua eventuali guasti a valle di questo scomparto che porterebbero all'assorbimento anomalo della corrente e comanda quindi l'apertura dell'interruttore;

*49 Relè ad immagine termica* individua eventuali sovratemperature anomale dell'apparecchiatura che possono essere principio o motivo di guasto o dispersione e comanda quindi l'AG;

*64 Relè di massa* individua eventuali dispersioni o guasti verso massa e comanda l'AG;

Negli scomparti alimentatori, sono emerse nel corso dell'esercizio e con l'evolversi della normativa, due carenze importanti che hanno dato consistente contributo alla decisione di rinnovo; esse verranno delineate più esaurientemente nel prossimo capitolo e riguardano la mancata tenuta all'arco interno degli scomparti e al governo di tipo computerizzato.

### **Sistema ASDE3 [20]**

Gli scomparti alimentatori sono equipaggiati con un sistema di asservimento di terza generazione ASDE3 installato di recente. Gli aspetti principali sono:

- Compatibilità meccanica, elettrica e funzionale con le apparecchiature ASDE2;
- Eliminazione della logica principale cablata a relè;
- Elevata autodiagnostica del sistema;
- Eliminazione della necessità di taratura periodica della coppia telefonica di asservimento (autotaratura della corrente sulla coppia telefonica);
- Implementazione di algoritmi che rendono il sistema meno sensibile alle caratteristiche (variabili) delle coppie telefoniche di collegamento (determinazione del degrado della coppia telefonica);
- Isolamento galvanico degli impianti di SSE da quelli di TLC (separazione tramite fibra ottica della parte di elaborazione dalla parte di trasmissione su doppino telefonico).

Per garantire le caratteristiche di isolamento galvanico, il sistema ASDE3 è realizzato in due apparati distinti:

*ASDE3-SE* (fig. 2.24) costituisce il corpo principale ed è ubicato in un apposito quadro all'interno del fabbricato. Implementa le seguenti funzioni:

1. Evolve, in base allo stato interno e a quello degli ingressi acquisiti, gli automi che realizzano sia le logiche di asservimento standard che le nuove funzioni introdotte con il sistema ASDE3;
2. Acquisisce dal campo esterno gli ingressi digitali (con interfaccia optoisolata) ed impone verso l'esterno le uscite digitali (si interfaccia con: interruttore extrarapido, relè RV, centraline RTU e il sistema di protezione digitale);
3. Gestisce il pannello comandi (PSC) che costituisce l'interfaccia uomo-macchina principale dell'apparato;
4. Implementa l'interfaccia seriale di comunicazione (PGL) per la comunicazione tramite PC;
5. Gestisce colloquio su fibra ottica con *ASDE3-LT* acquisendo le sue informazioni e le elabora al fine di attuare le funzioni implementate;
6. Predisporre l'allocazione di una interfaccia di comunicazione (ICR) per il collegamento ai sistemi di automazione.

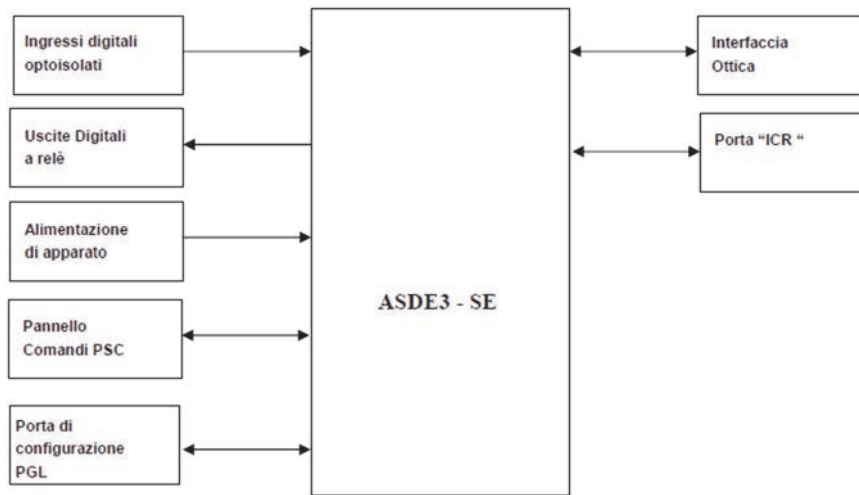


Figura 2.24 Apparato ASDE3-SE

ASDE3-LT (fig. 2.25) realizza l'interfaccia verso la linea telefonica ed è posto in un apposito quadro vicino al fabbricato viaggiatori. Realizza la separazione galvanica dall'ASDE3-SE tramite un collegamento in fibra ottica. Implementa le seguenti funzioni:

1. Pilotaggio della coppia telefonica mediante un generatore a corrente costante controllato dalle logiche di gestione;
2. Acquisizione periodica delle grandezze presenti sul doppino e loro conversione A/D;
3. Acquisizione degli ingressi digitali in esso presenti;
4. Colloquio bidirezionale ad alta velocità su fibra ottica con ASDE3-SE.

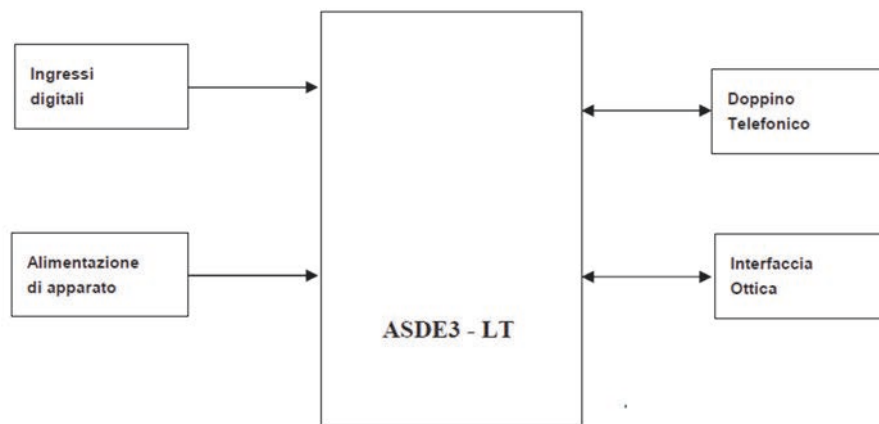


Figura 2.25 Apparato ASDE3-LT

#### N. 4 Scaricatori 3 kVcc [4]

Gli scaricatori 3 kVcc esistenti sono del tipo a condensatore con spinterometro. Sono installati all'interno di una gabbia metallica posta sopra un'apposita mensola ancorata ai pali dei sezionatori di 1<sup>a</sup> fila.

Ciascuno è costituito da un condensatore antinduttivo della capacità di 4  $\mu\text{F}$  riempito di Apirolio<sup>25</sup> racchiuso in cassa metallica stagna. In derivazione al condensatore è inserita una resistenza di scarica  $R_2$  di circa 200 kOhm montata internamente alla cassa.

Il circuito equivalente è rappresentato in fig. 2.26:

<sup>25</sup> Particolare olio isolante ignifugo.

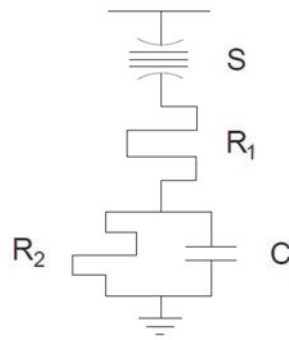


Figura 2.26 Circuito equivalente dello scaricatore 3 kVcc del tipo a condensatore con spinterometro.

### 2.3.7 Smistamento e alimentazione TE

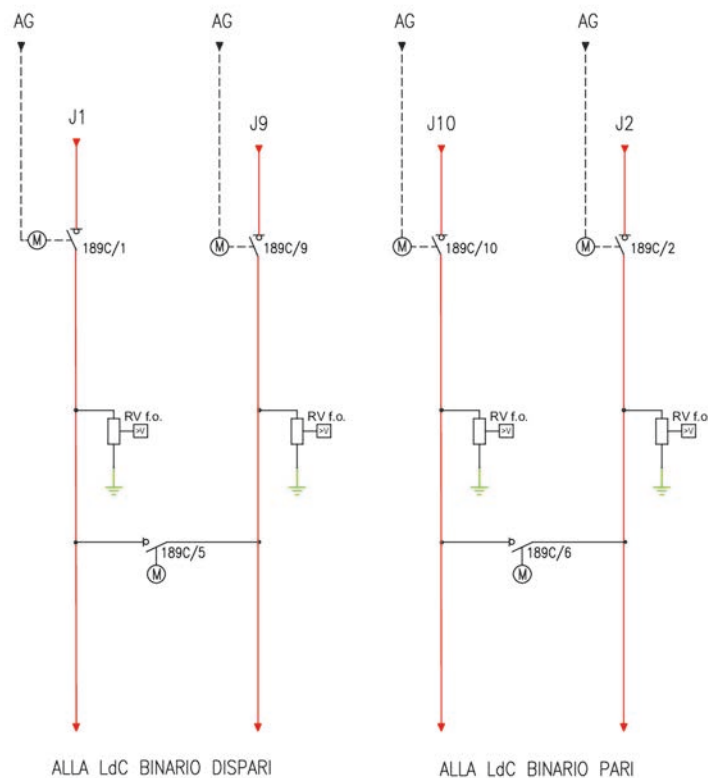


Figura 2.27 Sezione smistamento e alimentazione TE.

La sezione smistamento e alimentazione TE (fig. 2.27) è composta dalle seguenti apparecchiature:

#### N. 4 Sezionatori di 1ª fila 189C<sub>1/9/10/2</sub> [21]

I sezionatori 3 kVcc sono del tipo unipolare a corna completi di contrappeso e contatti ausiliari (cat. 794/357) e sono composti ciascuno da:

- un telaio di base in materiale ferroso;
- un contatto fisso;
- due isolatori porta contatti fissi;
- un isolatore porta contatto mobile;
- un isolatore per contatto ausiliario;
- una piastra porta microinterruttori per controllo di posizione;
- uno spegniarco;
- due corni rompiarco;

che realizzano la struttura d'insieme mostrata nel disegno tecnico in fig. 2.28:



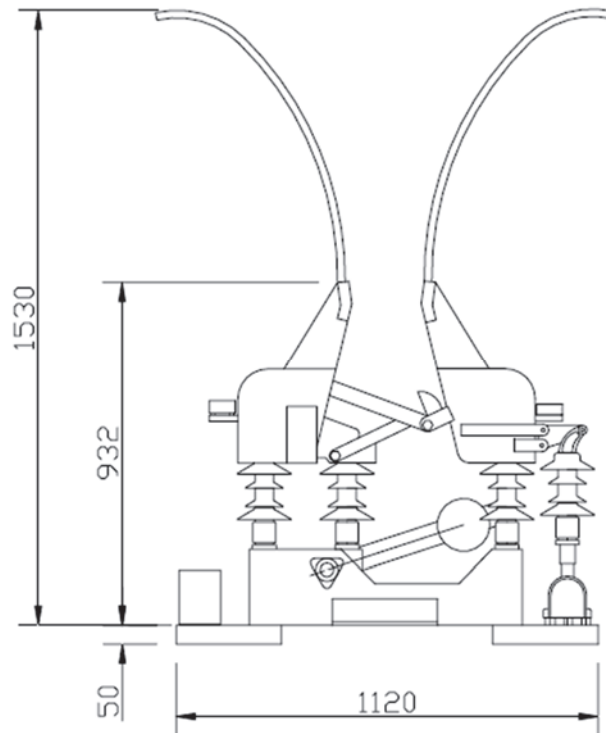


Figura 2.28 Esempio del disegno tecnico del sezionatore a corna cat. 794/357

I dati tecnici sono riportati nella seguente tabella:

*Caratteristiche sezionatore a corna cat. 794/357*

<i>Categoria</i>	FS 794/357
<i>Tensione nominale</i>	3 kVcc
<i>Tensione continuativa</i>	3,6 kVcc
<i>Tensione massima del sistema</i>	3,9 kVcc
<i>Tensione di tenuta per 1' a 50 Hz sulla distanza tra la pinza e il telaio (massa), tra il contatto mobile ed il telaio (massa)</i>	40 kV
<i>Tensione di tenuta per 1' a 50 Hz sulla distanza di sezionamento tra la pinza e il contatto mobile</i>	50 kV
<i>Tensione di tenuta per 1' a 50 Hz tra i contatti ausiliari e la massa</i>	4,5 kV
<i>Corrente nominale termica</i>	1,8 kA
<i>Corrente di sovraccarico per 5'</i>	3 kA
<i>Peso (mensola esclusa)</i>	115 Kg

Tabella 2.13 Dati tecnici del sezionatore a corna cat. 794/357.

**N. 4 RV**

Il sistema di rilevazione voltmetrica dispone di:

- n. 4 trasduttori AT montati sui pali dei sezionatori di 1<sup>a</sup> fila per la necessaria riduzione del valore di tensione da misurare, e un opportuno box AT contenente un trasmettitore avente la funzione di acquisire il valore di tensione nel punto di misura e trasmetterlo al ricevitore mediante segnale in fibra ottica;
- n. 4 ricevitori che acquisiscono il valore di tensione inviato dal trasduttore AT e lo confrontano con il valore di soglia impostato inviando la segnalazione di presenza tensione e forniscono ciascuno almeno un'uscita analogica in corrente impiegabile per visualizzare/registrare la tensione del punto di misura.

I valori di soglia attualmente impostati sono i seguenti e sono stati calcolati in base alle caratteristiche delle LdC che sorvegliano (sezione, lunghezza, ...):

RVLJ1	RVLJ9	RVLJ2	RVLJ10
2300 V	2200 V	2300 V	2200 V

Si nota la diversità del valore di tensione di soglia impostata tra le LdC che alimentano lato stazione e quelle che alimentano lato nord della SSE.

**N. 2 Sezionatori di 2<sup>a</sup> fila 189C<sub>5/6</sub>**

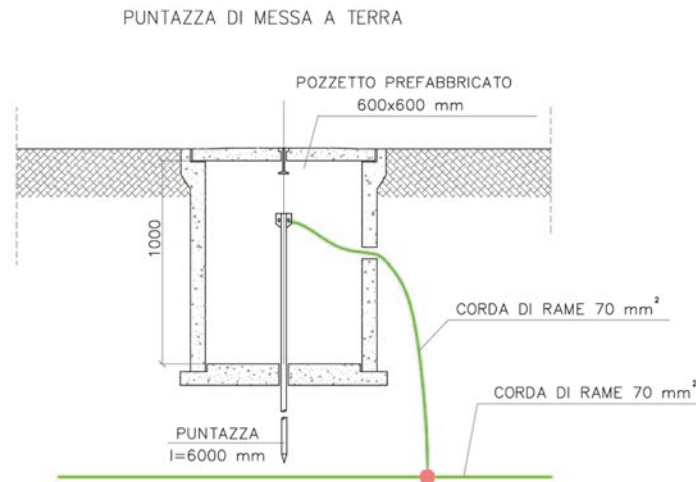
Le caratteristiche dei sezionatori di 2<sup>a</sup> fila sono analoghe a quelle dei 1<sup>a</sup> fila e la loro funzione si rimanda al paragrafo successivo.

**2.3.8 Impianto di terra e ritorno TE****Impianto di terra**

Ai fini della sicurezza, è stato realizzato un adeguato impianto di terra (Tavola 2) che, in tutta l'area interessata dalla dispersione della corrente a terra, mantiene le tensioni pericolose (di contatto e di passo) a valori inferiori ai limiti stabiliti dalle norme, in dipendenza del tempo di intervento del dispositivo di protezione. L'efficacia dell'impianto di terra nel contenere le tensioni pericolose è tanto più elevata quanto minore è la resistenza di terra e quanto più il dispersore è in grado di realizzare un elevato grado di equipotenzialità sulla superficie del terreno.

Per soddisfare tali necessità, l'impianto di terra è composto:

- da una rete primaria in corda nuda di Cu di sezione 70 mm<sup>2</sup> che ha la funzione di realizzare il più elevato grado di equipotenzialità sulla superficie del terreno;
- da una rete secondaria in corda nuda di Cu di sezione 120 mm<sup>2</sup> interrata che ha la funzione di collegare tutte le apparecchiature alla rete primaria mediante opportuni morsetti a compressione;
- da diversi dispersori di terra componibili in acciaio rivestito in rame (puntazze di altezza 6m e diametro 25 mm) ispezionabili in pozzetti, interrati verticalmente nel terreno e collegati alla maglia di terra mediante opportuni morsetti a compressione lungo il perimetro e all'interno della rete primaria (fig. 2.29)



- Diversi pozzetti per ispezione e misure.

### Ritorno TE

Il ritorno della corrente in SSE nello scomparto “Ritorno negativi e terra” (con caratteristiche date dalla tabella 2.11) è realizzato tramite 10 cavi RG7R<sup>26</sup> 0,6/1kV da 300 mm<sup>2</sup> collegati ai binari per mezzo delle connessioni induttive (CI), necessarie nelle linee dotate di Blocco Automatico (BA) per il bilanciamento della corrente di ritorno nelle due rotaie (fig. 2.30) e per bloccare la propagazione dei segnali in SSE.

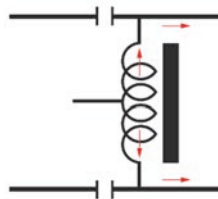


Figura 2.30 Bilanciamento delle correnti nelle due rotaie per mezzo delle CI.

<sup>26</sup> Secondo la tabella della norma CEI-UNEL 35011 è un cavo con conduttore in corda rigida (F), isolante in gomma EPR ad alto modulo (G7), senza schermatura e guaina esterna in polivinilcloruro (R).



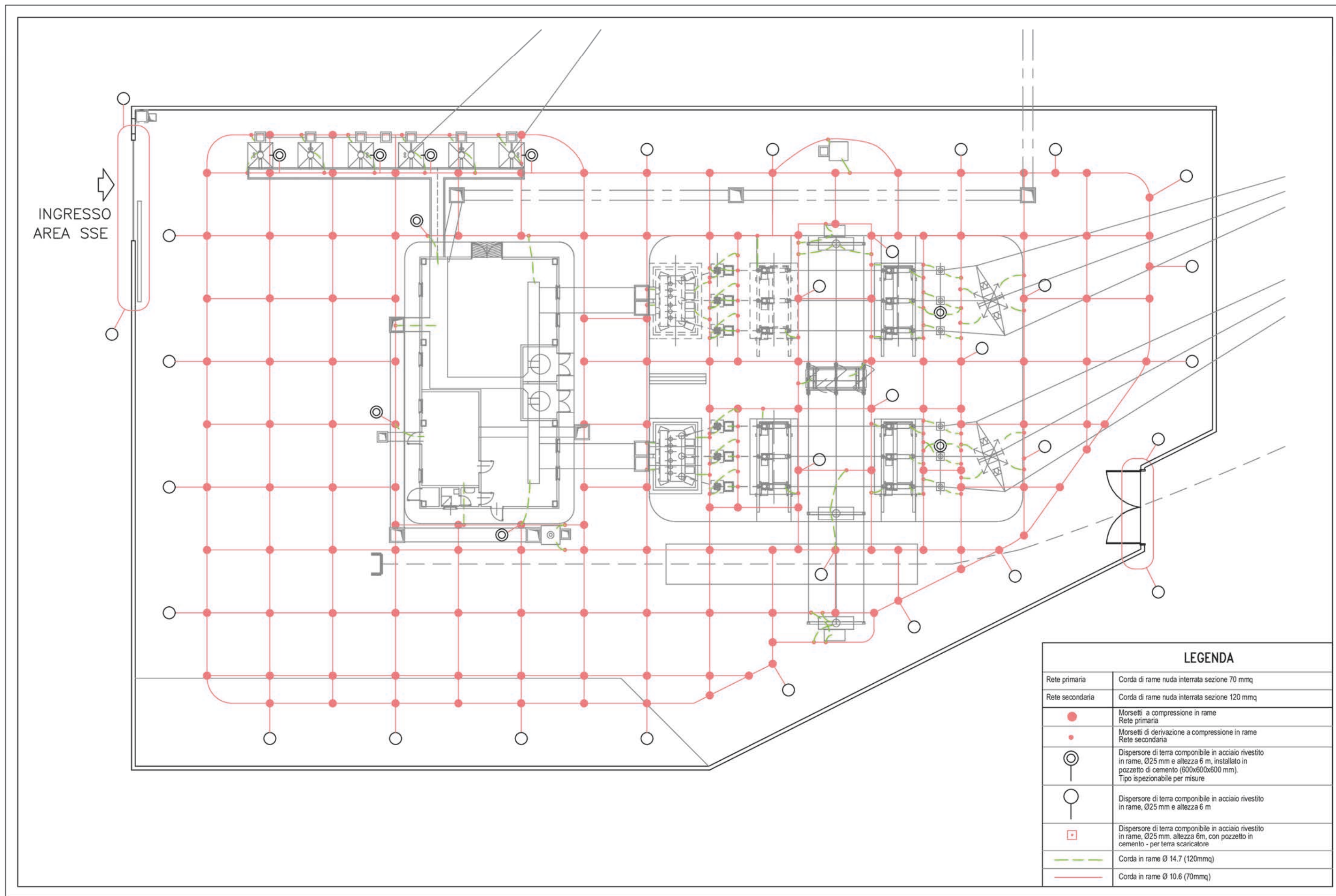


Tavola n.		2
Caratteristiche elaborato	Stato di fatto	
	Scala:	--/--
	Unità di misura	--
Titolo elaborato: SSE di intervento Impianto di terra		

## 2.4 Architettura del SdG [8] [22]

La SSE è dotata di un sistema di governo innovativo e sperimentale al tempo, *realizzato su piattaforma SW<sup>27</sup> di tipo SCADA<sup>28</sup>*, la quale comprende due livelli: il "livello periferico" (riferito al singolo scomparto o singola apparecchiatura) e il "livello centrale" che assomma e governa tutti i livelli periferici. Esso prevede di gestire le diverse esigenze di comando, controllo e diagnostica di tutte le zone funzionali previste per l'impianto.

**A livello centrale**, opera la UCA (Unità Centrale di Automazione), la quale si compone di apparati, moduli hardware e software opportunamente integrati ed interconnessi destinati a svolgere le seguenti funzioni:

- *interfaccia uomo-macchina* per tutte le funzioni centralizzate di cui ai punti successivi;
- *comando e controllo* centralizzato di tutte le apparecchiature;
- *teleallarme*;
- *telemisura*;
- *diagnostica* di tutte le apparecchiature d'impianto;
- *autodiagnostica* del SdG;
- *interfaccia verso il sistema di gerarchia superiore di Diagnostica e manutenzione*;
- *configurazione e taratura* delle UPA;
- *acquisizione diretta e cablata della posizione del selettore delle TE/TI per la modalità di gestione Locale/Remoto dell'impianto*;
- *gestione del database globale della RCE*;
- *sincronizzazione dell'orario di sistema*;
- *funzione di oscillografia*.

L'apparecchiatura impiegata per le funzioni di UCA è una centralina RTU a microprocessore con alimentazione a 110 Vcc.

**A livello periferico**, operano le UPA (Unità Periferiche di Protezione ed Automazione) e sono costituite da apparati di tipo numerico a microprocessore a cui è previsto delegare una o più delle seguenti funzioni:

- *automazione comando e controllo*;
- *protezione*;
- *misura*;
- *oscillografia*;
- *monitoraggio e diagnostica*;
- *RCE*.

Si è classificato le UPA in base alla funzione primaria svolta, di conseguenza vi possono essere all'interno di ciascuna zona funzionale:

- Le UPP: Unità Periferica con funzione primaria di Protezione;
- Le UPC: Unità Periferica con funzione primaria di controllo e Automazione.

L'apparecchiatura impiegata per le funzioni di UPA è una centralina RTU a microprocessore con alimentazione a 110 Vcc.

L'architettura del SdG è mostrata in fig. 2.31 nella quale si possono fare le seguenti considerazioni:

- a livello periferico alcune zone funzionali non possiedono UPP ma sempre e comunque l'UPC;

<sup>27</sup> Abbreviazione di software in informatica.

<sup>28</sup> Acronimo di Supervisory Control And Data Acquisition, che nei controlli automatici indica un sistema informatico distribuito per il monitoraggio e la supervisione dei sistemi fisici.

- i dispositivi che compongono il SdG della SSE dialogano secondo protocollo proprietario (del costruttore);
- il telecontrollo della SSE, allo scopo di eliminare la necessità di presenziarla, è attuato grazie all'installazione di due armadi particolari:
  - la “morsettiera Z” la quale contiene delle RTU particolari (DAC<sup>29</sup>) che eseguono una conversione dei segnali digitali provenienti dalla UCA della SSE in analogici (e viceversa) per le connessioni cablate nella morsettiera “fisica” presente a fianco delle suddette RTU.
  - Un “armadio telecomando” che riceve da un lato i cablaggi provenienti dalla morsettiera Z e dall'altro i cablaggi provenienti dal DOTE, il tutto interconnesso mediante i convertitori DAC per il dialogo con il DOTE secondo protocollo IEC 60870-5-101 o IEC 60870-5-104.

Il motivo dell'esigenza di installare questi due armadi nasce dalla necessità di riuscire a far dialogare il SdG della SSE, il quale si basa su protocollo proprietario, con l'incompatibile protocollo di comunicazione che utilizza il SdG del DOTE ovvero IEC 60870-5-101 o IEC 60870-5-104. La soluzione che si è adottata quindi è di interporre tra i due sistemi una comunicazione con logica cablata a relè, la quale richiede gli armadi di cui sopra.

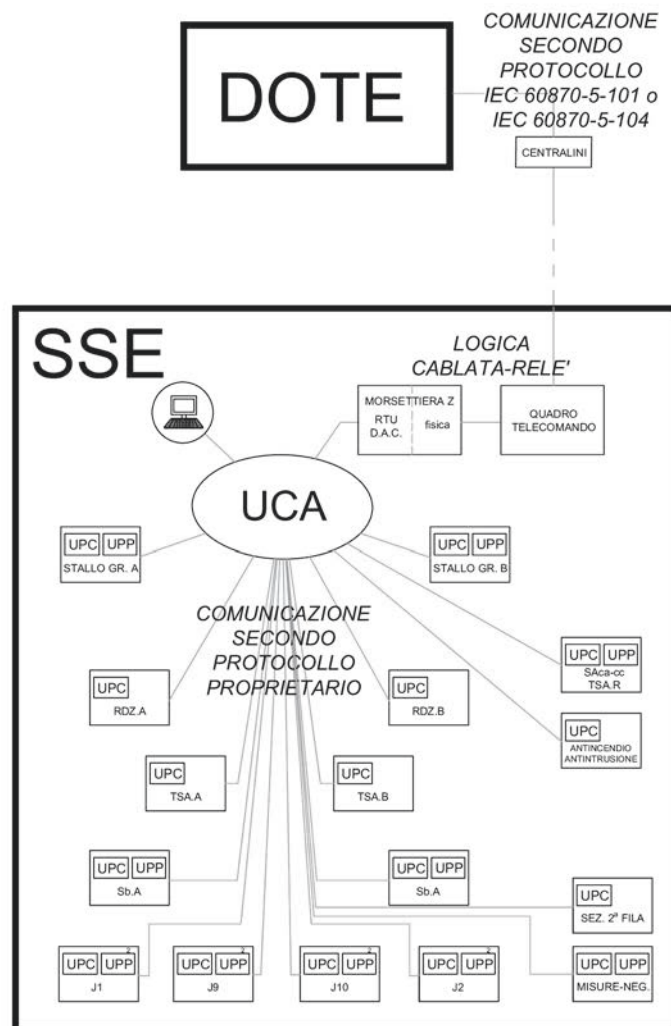


Figura 2.31 Architettura del SdG della SSE.

<sup>29</sup> Digital Analogic Converter.



## 2.5 Layout generale della SSE

### 2.5.1 Caratteristiche dell'area sulla disposizione degli enti, apparecchiature e fabbricato.

In questo paragrafo si descrive il layout generale della SSE, ovvero una rappresentazione in piano degli spazi interessati completi di apparecchiature, enti, collegamenti e relative descrizioni.

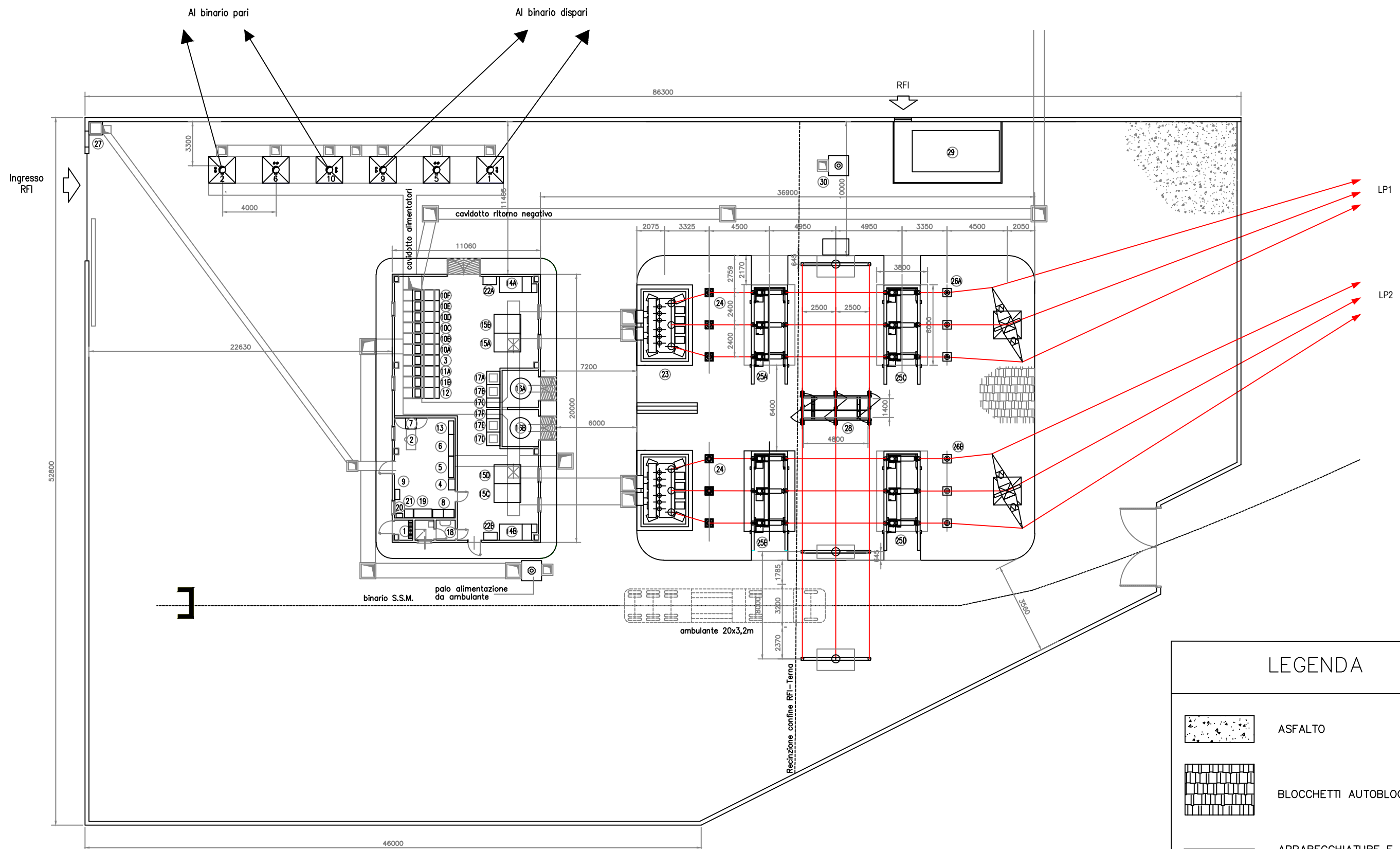
L'area interessata di proprietà RFI comprende una superficie di circa 2800 m<sup>2</sup>, dei quali 1250 m<sup>2</sup> (compreso il fabbricato) vi sono concentrate le apparecchiature e gli enti. Il resto dello spazio è necessario per esigenze di: viabilità dei mezzi di manutenzione, disposizione della SSM, eventuali impianti provvisori, ecc.

Trascurando in un primo momento la separazione con Terna del reparto AT, la struttura pre-intervento della SSE è rappresentata nella Tavola 3, quotata in millimetri e in riferimento al seguente elenco numerato di apparecchiature ed enti:

ITEM	SIGLA	DESCRIZIONE	DIMENSIONI mm	PESO Kg	FORNITORE	NOTE
1	BATT 1	Batteria al Pb da 110 V 150 A/h, per S.S.E.	920x860x1600	300		
2		Scrivania porta computer per S.S.E.				
3	QSSA	Quadro arrivo ambulante 3kV	800x2000x2300	800		
4	QCB	Carica batterie a 2 rami 110 Vcc	800x500x1800	400		
5	QDSA/cc	Quadro distribuzione 110 Vcc	1600x400x2000	600		
6	QDSA/ca	Quadro distribuzione 380 Vca	1600x400x2000	600		
7	URG/Aux	Quadro supervisione	800x800x2000	300		
8	QMORS.	Quadro morsettiera Z interf. DOTE	2x800x600x2000	600		
9	TELEF.	Interfaccia telefonica	770x350x1130	300		
10A	Qalim70	Quadro alimentatore 3kV n° 1	800x2000x2300	800		
10B	Qalim72	Quadro alimentatore 3kV n° 9	800x2000x2300	800		
10C	Qalim9	Quadro alimentatore 3kV n° 10	800x2000x2300	800		
10D	Qalim10	Quadro alimentatore 3kV n° 2	800x2000x2300	800		
10E		Spazio				
10F		Spazio				
11A	QGR1	Quadro Arrivo Gruppo A	800x2000x2300	600		
11B	QGR2	Quadro Arrivo Gruppo B	800x2000x2300	600		
12	Qmis	Quadro Misure e ritorno negativi	800x2000x2300	600		
13		Quadro Comando sezionatori esterni	1000x400x2000	300		
14A	QSA1	Quadro alim. serv. aux+trafo 100 kVA	2800x1200x2300	1300		
14B	QSA2	Quadro alim. serv. aux+trafo 100 kVA	2800x1200x2300	1300		
15A	Qradd1/1	Quadro raddrizz. stella GrA	1400x2000x2300	800		
15B	Qradd2/1	Quadro raddrizz. stella GrA	1400x2000x2300	800		
15C	Qradd1/2	Quadro raddrizz. stella GrB	1400x2000x2300	800		
15D	Qradd2/2	Quadro raddrizz. stella GrB	1400x2000x2300	800		
16A	Reatt. 1	Reattanza 3 mH GrA	dia 1600x1300h	1800		
16B	Reatt. 2	Reattanza 3 mH GrB	dia 1600x1300h	1800		
17A	Qcond1/1	Quadro Condensatori 1 GrA	1000x1000x2500	500		
17B	Qcond1/2	Quadro Condensatori 1 GrA	1000x1000x2500	500		
17C	Qcond1/3	Quadro Condensatori 1 GrA	700x1000x2500	500		
17D	Qcond2/1	Quadro Condensatori 1 GrB	1000x1000x2500	500		
17E	Qcond2/2	Quadro Condensatori 1 GrB	1000x1000x2500	500		
17F	Qcond2/3	Quadro Condensatori 1 GrB	700x1000x2500	500		
18		Servizi igienici				
19		Quadro telecomando	2000x800x2000	300		
20		Cassetta protezione batteria	500x500x250	30		
21		Quadro attestazione fibre ottiche	650x650x2000			
22A		Quadro URG convertitori	1000x600x585			
22B		Quadro URG convertitori	1000x600x585			
23A	TR1	Trasformatore di potenza 5,76 MVA	4700x3150x4210	31000		
23B	TR2	Trasformatore di potenza 5,76 MVA	4700x3150x4210	31000		
24A	SC/1	Scaricatore 132 kV				
24B	SC/2	Scaricatore 132 kV				
25A	52 G1	Modulo compatto sezionatore-interruttore		3000		
25B	52 G2	Modulo compatto sezionatore-interruttore		3000		
25C	52 L1	Modulo compatto sezionatore-interruttore		3000		
25D	52 L2	Modulo compatto sezionatore-interruttore		3000		
26A-B	TV	Trasformatore di tensione 132kV				
27		Arrivo ausiliari emergenza				
28	89 B	Sezionatore di sbarra 132kV		2000		
29		Box trasformatore RED				
30		Torre faro				

Tavola 3 Elenco numerato delle apparecchiature ed enti presenti nella Tavola 3.





### LEGENDA


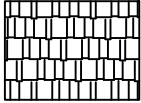



-  ASFALTO
-  BLOCCHETTI AUTOBLOCCANTI
-  APPARECCHIATURE E QUADRI
-  OPERE INTERRATE/SERRAMENTI
-  CONDUTTORI 132 kV

Tavola n.		3
Caratteristiche elaborato	Stato di fatto	
	Scala:	--/--
	Unità di misura	mm
Titolo elaborato: SSE di intervento Layout generale		

Osservando la Tavola 3, partendo da in alto a destra, si notano le due LP in arrivo in configurazione di doppia terna provenienti da un unico sostegno a traliccio con tronco piramidale, le quali si diramano per formare i due stalli di linea. I conduttori vengono disposti lungo un piano orizzontale mediante l'aiuto di due sostegni a traliccio di tipo "palo gatto" mantenendo una distanza fra i conduttori di 2500 mm ad un'altezza di circa 7000 mm da terra. A partire dagli stalli di linea si è cercato di mantenere una disposizione delle apparecchiature pressochè simmetrica rispetto all'asse fra i due gruppi di conversione, trascurando visivamente la zona dedicata alla SSM. Vi è un'unica sbarra AT formata da conduttori tubolari in alluminio T100 e di lunghezza approssimativa di 30 m che viene sostenuta mediante 3 appositi sostegni. È sezionabile mediante  $S_s$  ( $\rightarrow$  2 semi-sbarre) e si dispone in maniera trasversale rispetto agli stalli di linea e di gruppo. La connessione tra la sbarra e quest'ultimi è realizzata rigidamente mediante condutture tubolari in alluminio T40, utilizzate fino ai primari dei TG.

I due stalli di gruppo si aggrappano alla sbarra AT mantenendosi alto in maniera da concedere uno spazio vuoto in basso riservato all'eventuale SSM che andrà a collegarsi alla sbarra AT mediante collegamenti provvisori.

I TR sono alloggiati sopra le vasche di raccolta dell'olio le quali hanno dimensioni ridotte rispetto a quelle di nuova realizzazione poiché i trasformatori che accolgono hanno dimensioni inferiori alle nuove standard e disposizione del conservatore dell'olio parallelamente al lato più corto. Fra i due è inoltre ubicato un muro parafiamma che protegge un trasformatore in caso di incendio dell'altro e la loro distanza dal fabbricato assicura i 3 metri minimi richiesti dal D.M. 15/7 2014<sup>30</sup>.

A valle dei secondari dei TG, tutti i collegamenti (in MT) sono realizzati con cavi e interrati in opportuni cavidotti che entrano nel fabbricato e si dirigono verso le apparecchiature secondo lo schema di potenza.

Il fabbricato, di pianta rettangolare e dimensioni 11060x20000 mm<sup>2</sup>, originariamente è stato studiato per sperimentare una struttura civile che fosse il più possibile contenuta. Vi si può accedere ad esso da due porte e l'ingresso di apparecchiature e macchinari di trasporto di dimensioni notevoli è consentito grazie ad un portone lato ovest.

Viene mantenuta all'incirca una certa simmetria per le disposizioni delle apparecchiature, unita a esigenze di modularità e di agevolazione dei collegamenti.

Le reattanze di gruppo sono confinate individualmente in appositi locali segregati e accessibili esclusivamente dall'esterno previa toltà tensione.

La sala quadri raggruppa tutti i quadri di comando delle apparecchiature sia interne che esterne del fabbricato ed è provvista di:

- un pavimento flottante sotto la quale sono confinati tutti i cavi BT in arrivo/partenza per permettere la massima versatilità agli operatori in casi di manutenzione e rinnovo;
- impianto di condizionamento per il mantenimento della temperatura a livelli adeguati.

I cavidotti interni al fabbricato formano percorsi che rispecchiano lo schema di potenza realizzati con una disposizione tale da rendere i collegamenti più semplici e corti.

I cavidotti:

- per i collegamenti fra alimentatori e i pali di distribuzione TE;
- per i collegamenti fra gli scomparti di arrivo gruppo e la SSM;
- per il ritorno del negativo;

<sup>30</sup> Decreto Ministeriale del 15 luglio 2014 "Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, l'installazione e l'esercizio delle macchine elettriche fisse con presenza di liquidi isolanti combustibili in quantità superiore ad 1 m<sup>2</sup>"

- per l'alimentazione dei SA da parte della riserva Enel;  
sono interrati e ispezionabili.

Il trasformatore di isolamento per la riserva BT Enel è posizionato in un apposito quadro all'esterno sul piazzale in alto a sinistra.

L'alimentazione dei due binari di corsa di stazione (pari e dispari) prevede 4 scomparti alimentatori numerati secondo la numerazione dei sezionatori di 1<sup>a</sup> fila a cui si collegano. Quest'ultimi, sono installati su apposite mensole ancorate alla sommità di 4 pali tipo Mannesmann, mentre i 2 sezionatori di 2<sup>a</sup> fila sono anch'essi sorretti su mensole ancorate a due pali dello stesso tipo che sono disposti fra i pali dei sezionatori di 1<sup>a</sup> fila.

### 2.5.2 Separazione del reparto AT a seguito della cessione delle LP a Terna

Come già precedentemente accennato, il reparto AT originariamente di esclusiva proprietà R.F.I. S.p.A. assieme alle LP, a seguito della cessione di quest'ultime è stato necessario anche il passaggio degli arrivi linea con i rispettivi stalli di linea e la sbarra AT, in maniera da assicurare al gestore della RTN<sup>31</sup> gli enti necessari. Di conseguenza, il reparto AT della SSE è stato suddiviso in due zone appartenenti a proprietari diversi (RFI e Terna) e il confine fisico è delimitato da una recinzione in materiale isolante posta in corrispondenza con l'ultimo conduttore della sbarra AT più vicino al fabbricato.

La separazione è meglio compresa nella Tavola 4 e vi si possono fare le seguenti considerazioni e deduzioni:

- Le apparecchiature che si trovano nell'*area Terna* sono diventate di sua proprietà e controllo e sono:
  - N.6 TV;
  - N. 2 "Moduli compatti sezionatore-interruttore";
  - N. 1 sezionatore di sbarra;

I relativi cavi di alimentazione, comando, telecomando e controllo che partivano/arrivavano dal/al fabbricato di SSE sono stati dismessi. Sono diventate di Terna anche:

- tutte le condutture tubolari che collegano le apparecchiature di cui sopra e che formano la sbarra AT;
- N.2 sostegni a traliccio tipo "palo gatto";
- la torre faro che forniva l'illuminazione al piazzale AT in caso di interventi notturni → è necessario provvedere l'installazione di un nuovo impianto di illuminazione per RFI;
- Sono previste delle *aree Terna con servitù a favore di RFI* per:
  - Consentire il passaggio dei cavidotti del ritorno negativo e dell'alimentazione di una cabina per il trasformatore del sistema RED;
  - Consentire il transito della SSM su binario dedicato in casi di necessità.

Tutti i problemi conseguenti a tale cessione verranno esaminati più nel dettaglio nel prossimo capitolo.

---

<sup>31</sup> Rete di Trasmissione Nazionale.

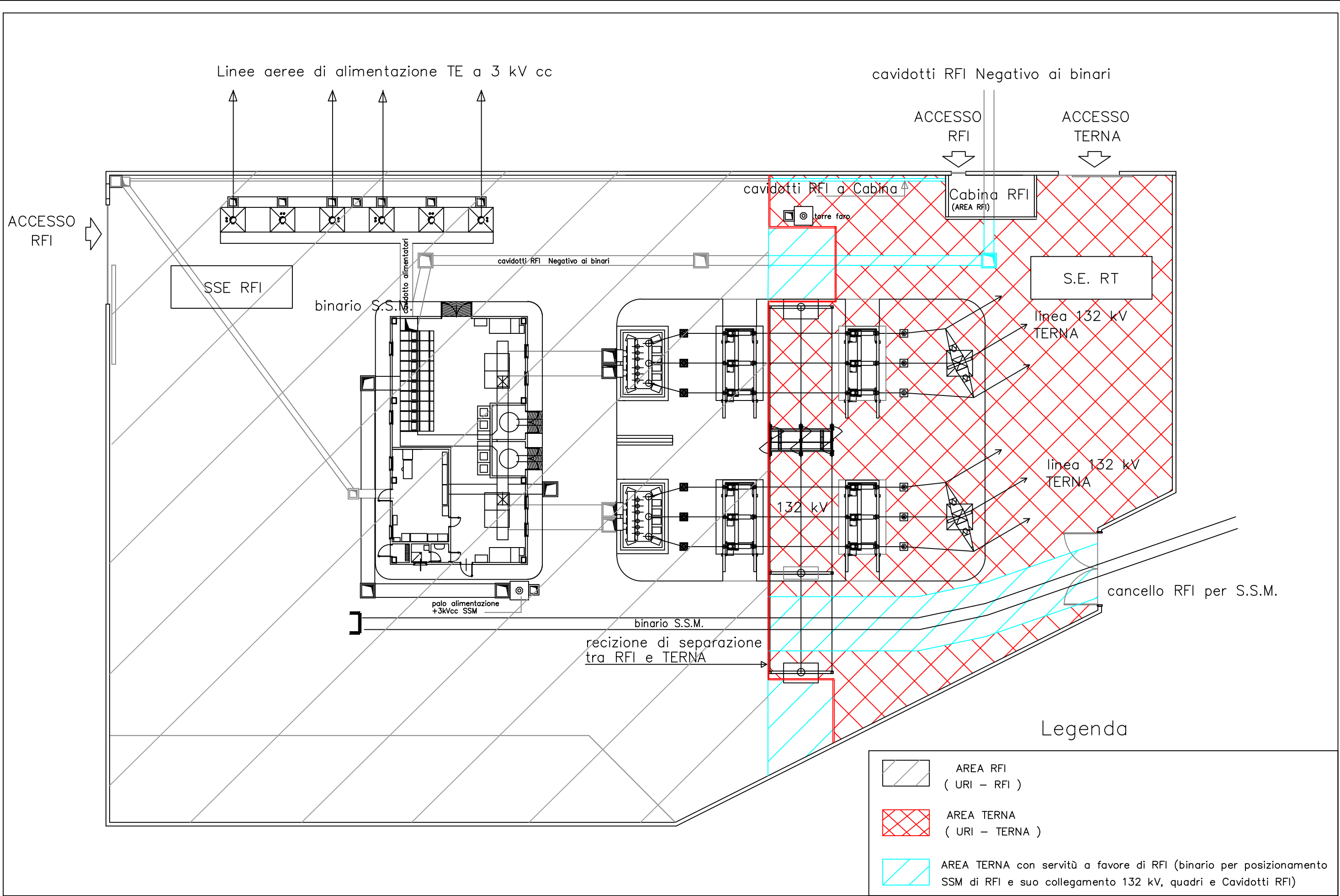


Tavola n.		4
Caratteristiche elaborato	Stato di fatto	
	Scala:	--/--
	Unità di misura	--
Titolo elaborato: SSE di intervento Separazione RFI-Terna		



# Capitolo 3

## Problemi e motivi dell'intervento

In questo capitolo vengono analizzati i problemi emersi nella SSE durante il suo esercizio per motivare la scelta dell'intervento di rinnovo tecnologico.

La particolarità di questo impianto riguarda la sua progettazione originale degli anni '90, la quale aveva come scopo la sperimentazione di tecnologie e di sistemi innovativi (al tempo), e la finalità, in caso di riscontri positivi, di estenderle gradualmente in maniera standardizzata su tutto il territorio nazionale.

Questo sta a significare che RFI, sempre in aggiornamento ed ascolto sull'evoluzione delle nuove tecnologie proposte dall'ingegneria moderna, una volta che ha acquisito interesse su un'apparecchiatura/sistema di tipo innovativo, prima di estenderla e standardizzarla sull'intero territorio nazionale, realizza singoli impianti sperimentali con lo scopo di verificare che i vantaggi studiati si realizzano in maniera concreta durante l'esercizio senza ripercussioni negative.

I **PROBLEMI** che principalmente sono emersi durante l'esercizio sono legati:

- ↪ **ALLA MANUTENZIONE;**
- ↪ **ALLA FORNITURA;**
- ↪ **ALLA SICUREZZA;**

e vengono esaminati nel dettaglio nei seguenti paragrafi.

### 3.1 Manutenzione sugli IG [15]

Con la cessione delle LP a Terna, il reparto AT è stato suddiviso in due zone di competenza e il confine fisico è determinato da una recinzione di materiale plastico isolante posta in corrispondenza dell'ultimo conduttore di sbarra più vicino al fabbricato. Di conseguenza la prima apparecchiatura di proprietà RFI a valle della zona di competenza Terna è il sezionatore di gruppo, ma poiché la SSE è dotata di "Moduli compatti sezionatore-interruttore", esso è parte integrante dell'interruttore e il sezionamento del gruppo avviene mediante traslazione degli interruttori rispetto alle barre dei conduttori come mostrato nelle figure di esempio 3.1a e 3.1b:



Figura 3.1a Esempio di "modulo compatto sezionatore-interruttore" con sezionatore chiuso

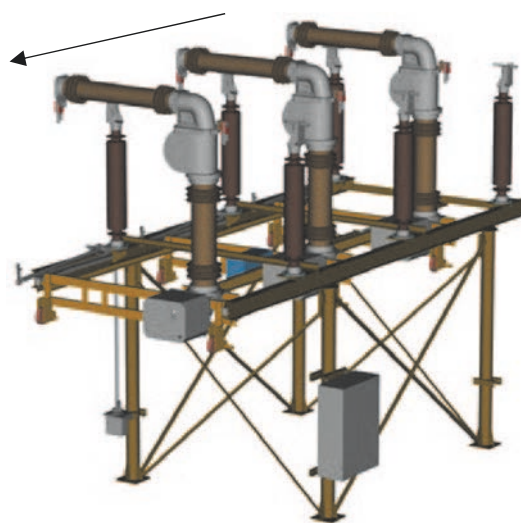


Figura 3.1b Esempio di "modulo compatto sezionatore-interruttore" con sezionatore (e interruttore) aperto

Sapendo che la distanza di sicurezza che un operatore addetto alla manutenzione deve mantenere (secondo la normativa RFI) rispetto ai conduttori in tensione tra i 25÷220 kV è di 3m, se vi fosse la necessità di eseguire *interventi di manutenzione nell'IG*, escludendo le manovre di toltta tensione della sbarra AT mediante apertura degli IL causa competenza Terna, non si può assicurare la distanza minima di sicurezza in quanto i poli del sezionatore rimangono in tensione e troppo vicino all'interruttore. La fonte di rischio è più chiara nel layout seguente:

*Esempio: intervento di manutenzione su IG.31 - fase R. (fig. 3.2a e 3.2b)*

*IL.24 + SL.240 → chiusi;*

*IL.26 + SL.260 → chiusi;*

*SS.900 → chiuso;*

*IG.31 + SG.311 → aperti (in manutenzione);*

*IG.32 + SG.321 → chiusi.*

*L'operatore che esegue l'intervento sull'interruttore della fase R (in arancione in figura 3.2b), non può intervenire in quanto è disponibile solamente una distanza di 2,20 m dal polo in tensione a 132 kV della fase R proveniente dalla sbarra AT (fig. 3.2a e fig. 3.2b). È necessario quindi aprire l'interruttore di linea di Terna IL.24 e il sezionatore di sbarra SS.900 (previa manovra di IL.26) per realizzare il fuori servizio della semi-sbarra a cui è aggrappato IG.31.*

## LAYOUT ZONA D'INTERVENTO

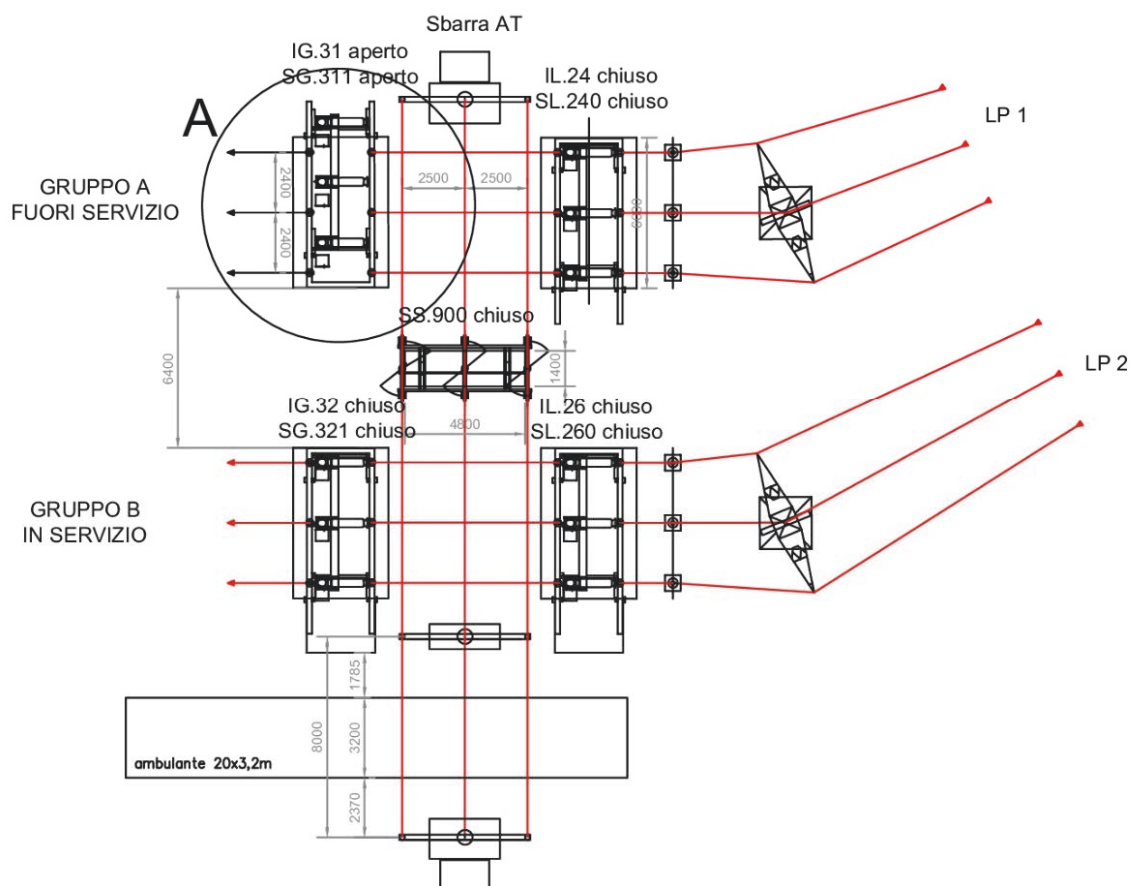


Figura 3.2a Layout zona di intervento.

## DETTAGLIO A

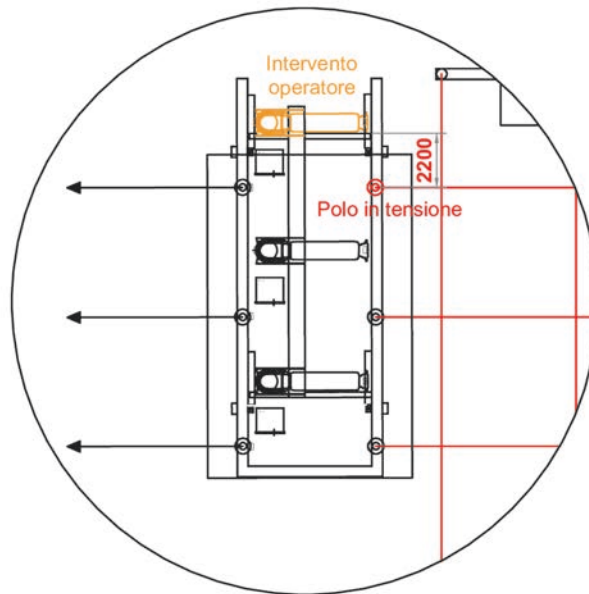


Figura 3.2b Dettaglio intervento sul “modulo compatto sezionatore-interruttore”.

La **soluzione** prevede di considerare in fase di progettazione l’inserimento di sezionatori e interruttori fisicamente separati con distanze tali da garantire interventi del personale in sicurezza sugli IG senza necessità di toltensione della sbarra AT da parte di Terna.

### 3.2 Conformità alla tenuta all’arco interno degli armadi 3 kVcc

La *tenuta all’arco interno* è un requisito richiesto e regolamentato abbastanza recentemente per le apparecchiature sezionabili ed estraibili prefabbricate e protette in involucro metallico dalle specifiche:

*RFI DTC STS ENE SP IFS SS 404A – “Raddrizzatore 5,4 MW – 3 kVcc con telai in parallelo e apparecchiatura blindata”;*

*RFI DMA IM LA STC SSE 400 Ed. 2009 – “Unità funzionali di tipo prefabbricato in carpenteria metallica per reparti a 3 kVcc in corrente continua – Parte I Generalità e Parte II caratteristiche costruttive generali ed. 2009”;*

*RFI DPRIM ST IFS SS 022 Sper – “Disposizioni per la prova ad arco elettrico interno per apparecchiature sezionabili ed estraibili prefabbricate e protette in involucro metallico del sistema di trazione a 3 kVcc”*

e costituisce un’importante precauzione di sicurezza contro le fonti di rischio che possono derivare da un eventuale arco interno, quali:

- investimento da pannelli, porte, finestre di ispezione, aperture di ventilazione, ecc. provocati dalla sovrappressione interna creata dall’arco;
- scottature sull’involucro a causa degli effetti termici prodotti dall’arco o dai suoi punti di innesco;
- esposizione a gas caldi e particelle incandescenti emessi dall’involucro.

Al fine della sicurezza degli operatori RFI, ogni unità a 3 kVcc e i gruppi raddrizzatori devono quindi consentire l'effettuazione di qualunque tipo di manovra e/o operazione, in particolare:

- apertura/chiusura manuale e/o elettrica;
- eventuale messa in manuale delle manovre elettriche;
- connessione/disconnessione delle parti mobili a 3 kVcc da quelle fisse;
- mantenere le parti estraibili/estratte sul fronte del quadro;

rispettando il grado di protezione contro l'arco interno.

Le apparecchiature esistenti che sono racchiuse in involucri metallici all'interno del fabbricato (il gruppo raddrizzatore, le unità 3 kVcc alimentatore, arrivo gruppo, misure e negativi, ...) sono purtroppo di costruzione abbastanza datata (anni '90) e non sono state omologate a tale requisito. Non essendo inoltre possibile per il costruttore dichiarare la loro omologazione in quanto la procedura richiederebbe la realizzazione di un nuovo prototipo, è necessario procedere all'adeguamento sulla sicurezza dell'impianto sostituendo le apparecchiature non conformi con quelle nuove classificate "IAC" (Internal Arc Classified).

### 3.3 Regolazione sotto-carico dei TG

La tensione nominale delle LP che alimentano la SSE è normalmente mantenuta all'interno di una fascia di tolleranza pari a  $\pm 10\%$  del valore nominale.

Possono sussistere infatti *variazioni lente del valore efficace della tensione* causate ad esempio dai dinamici flussi di potenza o al fuori servizio programmato o non di altri carichi (non essendo le LP dedicate alle sole SSE in quanto parte della RTN il cui assetto è gestito da Terna).

I TG esistenti in SSE non sono dotati di commutatore sotto carico, di conseguenza può accadere che in occasioni di variazioni lente della tensione la LdC presenta un valore più alto/basso ai nominali 3 kV con ripercussioni sulle prestazioni delle macchine rotanti dei rotabili.

Uno dei più importanti sistemi per la regolazione della tensione consiste di usare TP dotati di un dispositivo in grado di variare il rapporto di spire primarie e secondarie, quindi, il rapporto delle tensioni primaria e secondaria. Il dispositivo è noto come "variante di rapporto" o "commutatore" (in inglese, "Tap Changer") e ha la funzione di inserire o escludere una o più spire poste nell'avvolgimento di regolazione (AT), permettendo la modulazione della tensione entro un certo intervallo col trasformatore "energizzato" → commutatori/variatori sotto carico (VSC/CSC), in inglese "On Load Tap Changer" (OLTC).

Vista l'occorrenza di nuovi TG per fornire 2710 V ai nuovi gruppi di conversione con telai in parallelo classificati IAC, si prevede l'installazione di modelli dotati di commutatore sottocarico del tipo trifase a resistori con comando motorizzato agente sull'avvolgimento primario conforme alla norma CEI EN 60214-1 e con campo di regolazione rispetto alla  $V_{1n}$  di  $\pm 12 \times 1,67\%$ , in maniera da compensare le eventuali variazioni lente di tensione che si possono presentare sull'alimentazione AT.

### 3.4 Fornitura e malfunzionamento delle centraline RTU a microprocessore

Il sistema di governo della SSE è stato realizzato con dispositivi elettronici a microprocessore degli anni 90. Il *modello della centralina RTU utilizzato* per varie funzionalità e attività di UCA/UPC/UPP ha tuttavia *arrecato alcune importanti criticità* durante l'esercizio quali:

- il malfunzionamento frequente, il quale creava eventi di fuori servizio di uno stallo (uno dei guasti tipici è il congelamento di una situazione e la mancata riattivazione);
- la paralisi frequente della RTU dedicata al telecontrollo, con conseguente perdita del controllo da remoto da parte del DOTE della SSE e la necessità di presenziare l'impianto;

- la cessata produzione del modello da parte del costruttore dovuta alla migrazione verso nuovi modelli più performanti e affidabili con conseguenti problemi per la fornitura del modello in caso di guasto.

Poiché RFI sta sviluppando nuovi SdG di tipo computerizzati ad oggi non ancora omologati, nell'attesa, la **soluzione** è di realizzare un SdG con logica cablata a relè (tradizionale), installando nelle apparecchiature (gruppi raddrizzatori, celle 3 kV, ecc..) le UPP a microprocessore omologate da RFI.

### 3.5 Protocolli di comunicazione

L'architettura del sistema di governo della SSE (fig. 3.4) come già accennato comprende due livelli: il "livello periferico" (riferito al singolo scomparto o singola apparecchiatura) e il "livello centrale" che assomma e governa tutti i livelli periferici. In tale struttura innovativa del tempo, si nota che:

- il dialogo fra i dispositivi elettronici a microprocessore del SdG di SSE (UCA, UPP e UPC) è previsto mediante una rete di comunicazione in cui le informazioni viaggiano secondo protocollo proprietario (costruttore dei dispositivi);
- il Posto Centrale di Telecomando (DOTE) invece comunica attraverso protocollo IEC 60870-5-101 o IEC 60870-5-104.

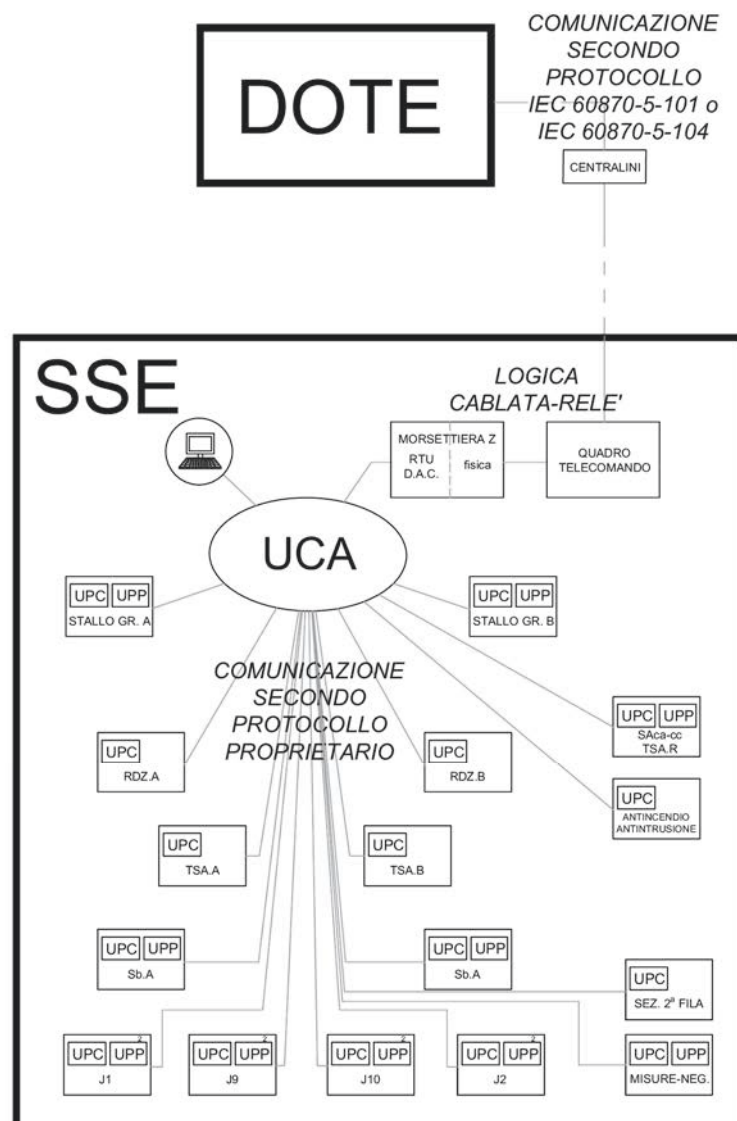


Figura 3.4 Architettura del SdG.

Per rendere attuabile quindi il dialogo tra i due (SdG di SSE e DOTE) si è ricorsi ad una interconnessione con logica cablata a relè che ha richiesto l'installazione in SSE di:

- una morsettiera particolare, denominata "Morsettiera Z che contiene, oltre alla morsetteria fisica per l'interfacciamento, le RTU DAC per la conversione analogica-digitale dei segnali dello SCADA di SSE;
- un "Quadro Telecomando" per l'interfacciamento verso il DOTE;

che creano situazioni di stallo con conseguente perdita del telecontrollo da parte del DOTE.

### **3.6 Cablaggio dei quadri estremamente compatto**

La struttura del fabbricato è stata studiata per ridurre al minimo le sue dimensioni. La sala quadri, è di pianta rettangolare con superficie di 738x454 cm<sup>2</sup>, relativamente ridotta visto il numero di quadri che essa deve contenere. Per poter guadagnare il più possibile spazio sono stati realizzati dei cablaggi dei quadri dei SA CA e CC estremamente compatti, ciononostante in situazioni di manutenzione sugli stessi risulta particolarmente difficoltoso l'intervento degli operatori.

È necessario dunque provvedere ad una realizzazione più accessibile dei cablaggi, studiando una disposizione migliore dei quadri.

# Capitolo 4

## Progettazione definitiva della nuova SSE

La progettazione che viene fatta in questo capitolo ha come scopo la stesura di un “Progetto Definitivo” il quale individua compiutamente i lavori da realizzare, nel rispetto delle esigenze, dei criteri, dei vincoli, degli indirizzi, delle indicazioni e sulla base di ragionamenti risolutivi contro i problemi esaminati nel capitolo precedente.

Il capitolo si compone di:

- un **primo paragrafo** in cui si costruisce l'*architettura del nuovo schema unifilare di potenza*;
- un **secondo paragrafo** in cui si progetta la *disposizione delle apparecchiature* a livello di layout;
- un **terzo paragrafo** che descrive la *procedura di intervento dei lavori*.

### 4.1 Progetto dello schema unifilare di potenza

#### 4.1.1 Adeguamento degli stalli di gruppo

Si prevede una nuova architettura degli stalli di gruppo in derivazione alla sbarra AT di Terna costituita da:

#### Sezionatore tripolare di gruppo SG.311/321 [23]

La funzione di sezionamento degli stalli di gruppo deve essere realizzata da un ente fisicamente dedicato in modo da realizzare una segregazione tra sbarra AT in tensione e lo stallo di gruppo tale da garantire le distanze di sicurezza per gli operatori addetti a interventi di manutenzione sugli IG. Vi si inserisce dunque negli stalli di gruppo in posizione immediatamente a valle delle sbarre AT un *sezionatore tripolare motorizzato con poli affiancati a tre colonne per polo con funzionamento rotativo e senza sezionatore di terra associato*, rispondente a:

<u>Specifica di fornitura n. 175 ed. 1979</u>	“Norme tecniche per la fornitura ed il collaudo dei sezionatori tripolari con poli a fila indiana o poli affiancati per tensioni nominali 66 kV, 132 kV e 150 kV (più foglio aggiuntivo IE 3211/1/1987”	
<u>Norma CEI 17-4 ed. 1990 cor. 1992</u>	“Sezionatori e sezionatori di terra a corrente alternata e a tensione superiore a 1000 V”	
<u>Caratteristiche elettriche:</u> <i>(Confronto SG in sostituzione)</i>	<i>Tensione nominale</i>	132 kV (145 kV)
	<i>Tensione di prova ad impulso verso massa</i>	650 kV
	<i>Corrente nominale</i>	800 A (1250 A)
	<i>Corrente nominale di breve durata</i>	20 kA <sub>eff</sub> (31,5 kA) 50 kA (n.n.)

	<i>Frequenza nominale</i>	50 Hz
	<i>Tensione nominale del comando elettrico</i>	132 Vcc (400 Vac)

Tabella 4.1 Requisiti dei SG.311/321

**Interruttore di gruppo IG.31/32** [24] [25] [26]

L'interruzione dell'alimentazione dei gruppi per motivi di protezione o altre esigenze viene assicurata da un *interruttore AT* che per il nuovo impianto è previsto di *tipo tripolare ad esafluoruro di zolfo (SF<sub>6</sub>) per AT da esterno con manovra a comando unico tripolare a molla*, installato immediatamente a valle del sezionatore tripolare di gruppo e rispondente a:

<u>Specifica di fornitura n. IE.TE/183 ed. 1974 e successive integrazioni:</u>	“Norme tecniche del servizio IE delle FS per la fornitura di interruttori tripolari a volume d'olio ridotto o in esafluoruro di zolfo per AT”	
TC/IT/E.OS/00590	“Basamento per interruttori AT per l'installazione a raso senza rotaie di appoggio”	
RFI DMA IM LA A0011 P 2009 0000029	“Specifiche di riferimento per interruttori tripolari AT”	
RFI DPR IMA TE A0011 P 2009 0000050	“GPN DGQ1 9749 del 22/07/2009. Fornitura interruttori tripolari AT”	
<u>Norma CEI EN 62271-100 e s.m.i. (classificazione CEI 17-1)</u>	“Apparecchiatura ad alta tensione – Parte 100: Interruttori a corrente alternata”	
<u>Caratteristiche elettriche:</u> (Confronto IG in sostituzione)	<i>Tensione nominale</i>	132 kV (145 kV)
	<i>Corrente nominale</i>	1250 A
	<i>Potere di interruzione nominale</i>	31,5 kA
	<i>Impiego</i>	Di Gruppo
	<i>Tipo</i> <sup>32</sup>	C
	<i>Ciclo di operazione nominale</i>	0 – 0,3 s – CO – 3 m – CO (0 – 0,3 s – CO – 1 m – CO)
	<i>Tensione di alimentazione ausiliari</i>	132 Vcc (110 Vcc)

Tabella 4.2 Requisiti degli IG.31/32

<sup>32</sup> Il tipo di interruttore viene classificato in base alla tabella allegata al documento RFI DMA IM LA A0011 P 2009 0000029 che classifica gli interruttori AT in base all'impiego, tensione, corrente e potere di interruzione nominale.



Il potere di interruzione nominale<sup>33</sup> è un valore che deve essere scelto maggiore della corrente presunta di cortocircuito che si presenta in caso di un guasto in corrispondenza del punto di installazione dell'interruttore. Le correnti di corto circuito nei singoli punti delle reti dipendono dalle caratteristiche delle reti e dalle condizioni di esercizio delle stesse. I criteri e le procedure generali di calcolo sono quelli indicati dalla norma CEI EN 60909-0 con le seguenti precisazioni:

- le correnti di corto circuito sono calcolate e presentate nel loro valore efficace simmetrico;
- sono trascurati gli effetti del carico;
- i variatori di tensione dei trasformatori sono considerati nella posizione centrale (posizione relativa alle tensioni nominali);
- non sono considerate le capacità del sistema;
- la resistenza di guasto è considerata nulla con alcune eccezioni;
- la reattanza alla sequenza diretta di tutti i generatori è quella sub transitoria non satura;
- nei calcoli la rete europea a 380 e 220 kV è rappresentata in maniera completa per un certo numero di impianti prossimi al confine e, oltre questi, mediante un multipolo equivalente interconnesso ai nodi reali.

Il valore di corrente di corto circuito da utilizzare come riferimento per il calcolo dei nuovi impianti di potenza ed in particolare nella definizione del potere di interruzione degli interruttori corrisponde al maggiore tra i valori di corrente massima di corto circuito attuale (trifase oppure monofase a terra) e di corrente massima di corto circuito previsionale (trifase oppure monofase a terra).

In base all'allegato n.8 del Codice di Rete del Gestore della RTN nazionale è richiesto che il dimensionamento delle apparecchiature e dei componenti d'impianto avvenga, con un adeguato margine di sicurezza, nel rispetto dei livelli standard, di seguito riportati, in modo da ridurre al minimo la necessità di adeguamenti in caso di incrementi della potenza di corto circuito durante la vita dell'impianto:

- 20 kA oppure 31.5 kA oppure 40 kA per gli impianti delle reti a 132 - 150 kV;
- 31.5 kA oppure 40 kA oppure 50 kA per gli impianti delle reti a 220 kV;
- 50 kA oppure 63 kA per gli impianti delle reti a 380 kV

Essendo la SSE alimentata a 132 kV, RFI ha definito nel documento RFI DMA IM LA A0011 P 2009 0000029 integrante alla specifica tecnica di fornitura n. IE.TE/183 ed. 1974 un potere di interruzione di 31,5 kA per gli interruttori alimentati a 132-150 kV, valore congruo con quello definito dal suddetto allegato del Codice di Rete.

### **Gruppi di Misura fiscali (GdM) – TAV**

Prima della cessione delle LP a Terna, RFI contabilizzava l'energia venduta da un fornitore terzo (nel caso in cui non era lei stessa a produrla) mediante un unico Gruppo di Misura Fiscale (GdM) ubicato nel punto di consegna del fornitore e cioè in partenza delle sue LP; in questa maniera l'energia che veniva utilizzata da tutte le SSE era contabilizzata mediante un unico GdM. A seguito della cessione invece, ogni SSE diventa di fatto un singolo utente che necessita quindi di un proprio GdM e, dato che nel contratto di compravendita delle LP RFI è responsabile dell'installazione e dell'adeguamento dei propri punti di misura (ivi inclusi eventuali opere civili e adeguamenti impiantistici) è necessario realizzare una predisposizione per l'installazione delle apparecchiature per la contabilizzazione in SSE quali:

<sup>33</sup> Definito come l'attitudine di un interruttore a interrompere il circuito in condizioni specificate, si esprime mediante il valore efficace della più elevata corrente di interruzione simmetrica che l'interruttore può interrompere, essendo inteso che tale corrente può essere interrotta qualunque sia la componente unidirezionale inerente.

- n. 3 apparecchiature unipolari TAV combinati per ogni gruppo di conversione per la misura delle grandezze in AT (una per ogni fase), sostenute mediante appositi sostegni ancorati a opportuni basamenti ubicati fra gli IG e gli SC;
- n.1 chiosco di caratteristiche e basamento adeguato al cui interno sono ubicati i contatori fiscali per la misura e la contabilizzazione dell'energia elettrica assorbita dalla SSE;
- canalizzazioni e collegamenti.

L'appaltatore a cui è affidata la progettazione esecutiva e la realizzazione dei GdM è Terna (la quale a sua volta può avvalersi di un sub-appaltatore per l'esecuzione dei lavori) e può iniziare il cantiere in un momento contemporaneo o successivo al cantiere che si occupa invece del rinnovo (il cui appaltatore e subappaltatore è diverso). Essendo quindi le due figure diverse ma su aree di intervento circa uguali, l'appaltatore che ha la progettazione esecutiva rivolta al rinnovo della SSE deve quindi prevedere in essa gli idonei spazi e di realizzare eventualmente già i basamenti per i TVA, il chiosco e le canalizzazioni, in modo che l'intervento di Terna consista solamente in posa e installazione di apparecchiature, sostegni, cavi, chiosco e contatori.

In questa ottica di direzione lavori, Terna, nel caso in cui inizi il cantiere a rinnovo ultimato, non deve realizzare opere civili e scavi su una zona appena rinnovata.

Si inserisce quindi nello schema unifilare di potenza a scopo di completezza a valle di ciascun IG e per ogni fase, i *previsti trasformatori monofasi di tensione e di corrente di misura combinati TAV 145 kV* caratterizzati da 2 secondari per la misura della tensione (fiscale e non) e 3 secondari per la misura della corrente (fiscale, non fiscale e di protezione), rispondenti al *“Capitolato tecnico per la progettazione, fornitura, installazione, messa in servizio e certificazione dei gruppi di misura fiscali nelle SSE di RFI”*.

### Scaricatori di tensione AT – SC

Secondo la Specifica tecnica di fornitura n. TE 607<sup>34</sup>, gli SC a ossido metallico (ZnO) vengono ancora utilizzati nelle nuove SSE, di conseguenza essendo gli esistenti basati su tale tecnologia e ancora funzionanti si decide di non sostituirli.

### Trasformatori di gruppo TG<sub>A-B</sub> [27]

La sostituzione degli esistenti trasformatori di potenza è finalizzata per:

- avere una tensione ai secondari pari a 2710 V per poter fornire il corretto valore ai nuovi gruppi di conversione con telai in parallelo;
- avere un VSC che regola il rapporto spire del trasformatore agendo sul primario per compensare le eventuali variazioni lente della tensione di alimentazione.

Si prevede dunque l'installazione di *2 trasformatori abbassatori trifase di AT da esterno isolati in olio con due secondari e con commutatore di rapporto posto sull'avvolgimento di AT da 5,76 MW per l'alimentazione di raddrizzatori da 5,4 MW con telai collegati in parallelo* rispondenti a:

<u>STF n.</u> <u>RFI DTC ST E SP IFS SS</u> <u>193A</u>	<i>“Trasformatore 3f in AT per l'alimentazione di raddrizzatori da 3,6/5,4 MW a 3 kVcc con telai in parallelo”</i>
<u>Norma CEI EN 50329/A1</u>	<i>“Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane – Impianti fissi – Trasformatori di trazione”</i>
<u>Norma CEI EN 60076-1</u>	<i>“Trasformatori di potenza. Parte 1: Generalità”</i>

<sup>34</sup> “Specifica tecnica di fornitura per scaricatori ad ossido metallico senza spinterometri per reti elettriche 132-150 kV”

<u>Norma CEI EN 60076-2</u>	<i>“Trasformatori di potenza. Parte 2: Sovratemperature in trasformatori immersi in liquidi”</i>		
<u>Norma CEI EN 60076-3</u>	<i>“Trasformatori di potenza. Parte 3: Livelli di isolamento, prove dielettriche e distanze isolanti in aria”</i>		
<u>Norma CEI EN 60076-4</u>	<i>“Trasformatori di potenza. Parte 4: Guida per l’esecuzione di prove con impulsi atmosferici e di manovra – Trasformatori di potenza e reattori”</i>		
<u>Norma CEI EN 60076-5</u>	<i>“Trasformatori di potenza. Parte 5: Capacità di tenuta al cortocircuito”</i>		
<u>Norma CEI EN 60076-10</u>	<i>“Trasformatori di potenza. Parte 10: Determinazione dei livelli di rumore”</i>		
<u>Norma CEI EN 50216-1</u>	<i>“Accessori per trasformatori di potenza e reattori. Parte 1: Generalità”</i>		
<u>Norma CEI EN 50216-2</u>	<i>“Accessori per trasformatori di potenza e reattori. Parte 2: Relè Buchholz per trasformatori immersi in liquido isolante e reattori con conservatori”</i>		
<u>Norma CEI EN 50216-3</u>	<i>“Accessori per trasformatori di potenza e reattori. Parte 3: Relè di protezione per trasformatori e reattori immersi in liquido isolante, sigillati ermeticamente, senza cuscinio di gas”</i>		
<u>Norma CEI EN 50216-4</u>	<i>“Accessori per trasformatori di potenza e reattori. Parte 4: Accessori di base (terminale di terra, dispositivi di svuotamento, tappi di riempimento, pozzetto termometrico, rulli di scorrimento”</i>		
<u>Norma CEI EN 50216-5</u>	<i>“Accessori per trasformatori di potenza e reattori. Parte 5: Indicatori di livello del liquido isolante, manometri e indicatori del flusso di circolazione del liquido isolante, valvole per il controllo della pressione e deumidificatori d’aria”</i>		
<u>Norma CEI EN 50216-6</u>	<i>“Accessori per trasformatori di potenza e reattori. Parte 6: Apparecchi refrigeranti – Radiatori rimovibili per trasformatori immersi in olio”</i>		
<u>Norma CEI EN 50216-8</u>	<i>“Accessori per trasformatori di potenza e reattori. Parte 8: Valvole a farfalla per circuiti di circolazione dei liquidi isolanti”</i>		
<u>Norma CEI EN 50216-11</u>	<i>“Accessori per trasformatori di potenza e reattori. Parte 11: Indicatori della temperatura dell’olio e degli avvolgimenti”</i>		
<u>Norma CEI EN 60529</u>	<i>“Gradi di protezione degli involucri (Codice IP)”</i>		
<u>Norma CEI EN 60137</u>	<i>“Isolatori passanti per tensioni alternate oltre 1000 V”</i>		
<u>Norma CEI EN 61099</u>	<i>“Liquidi isolanti – Specifiche per esteri organici di sintesi nuovi per usi elettrici”</i>		
<u>Norma CEI EN 60214-1</u>	<i>“Commutatori - Parte 1: Prescrizioni relative alle prestazioni e ai metodi di prova”</i>		
<u>D.M. 15 luglio 2014</u>	<i>“Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, installazione e l’esercizio delle macchine elettriche fisse con presenza di liquidi isolanti combustibili in quantità superiore ad 1 m<sup>3</sup>”</i>		
<u>Caratteristiche elettriche:</u> <i>(Confronto TG in sostituzione)</i>	Potenza	Potenza nominale avv. I° A <sub>1n</sub>	5,76 MVA
		Potenza nominale avvolgimenti II° A <sub>2n</sub> A <sub>3n</sub>	2,88 MVA

	<i>Potenza al carico (in cc) erogabile per 2h</i>		10,8 MW (n.n.)	
	<i>Potenza al carico (in cc) erogabile per 5m</i>		12,6 MW (n.n.)	
<i>Numero avvolgimenti secondari:</i>	2			
<i>Tensioni avvolgimenti</i>	<i>Tensione nominale (kV rms)</i>	<i>Tensione di isolamento (kV rms)</i>	<i>Tensione di tenuta a f industriale (kV rms)</i>	<i>Tensione di tenuta a LI<sup>35</sup> onda piena 1,2/50 μs (kV di picco)</i>
<i>I°</i>	66 132 150 (132)	72,5 145 170 (145)	140 275 325 (275)	325 650 750 (650)
<i>II°</i>	2,71 (1,355)	7,2	20	60
<i>Gruppo Vettoriale</i>	Yd11y0			
<i>Stato del neutro</i>	Isolato			
<i>Frequenza nominale</i>	50 Hz			
<i>Regolazione della tensione sul I°</i>	A flusso costante (A vuoto)			
<i>Regolazione della tensione sul II°</i>	Assente			
<i>Tipo di commutatore</i>	Sottocarico (A vuoto)			
<i>Campo di regolazione rispetto a V<sub>In</sub></i>	± 12 x 1,67% (A vuoto ± 3 x 4%)			
<i>Fattore di accoppiamento tra i due avvolgimenti secondari</i>	<0,2 (n.n.)			
<i>Schermo tra avv. I° e i 2 II°</i>	Presente (n.n.)			
<i>Tensione di cortocircuito</i>	<i>V<sub>ccy-d11%</sub> con y0 aperto riferito alla tensione di presa nominale e alla potenza A<sub>1n/2</sub></i>		12 % (6 %)	
	<i>V<sub>ccy-y0%</sub> con d11 aperto riferito alla tensione di presa nominale e alla potenza A<sub>1n/2</sub></i>		12 % (6 %)	

---

<sup>35</sup> Lightning Impulse.

		$V_{cc_{y0-d11}}\%$ con Y aperto riferito alla tensione di presa nominale e alla potenza $A_{2n}$	24 % (12 %)
	<i>Perdite</i>	A vuoto	$\leq 9$ kW (n.n.)
		A carico (75°C)	$\leq 35$ kW (n.n.)
<u>Condizioni elettriche di carico:</u>	n. 2 ponti di Graetz 3f da 2,7 MW nominale ciascuno		
	n. 1 trasformatore 3f da 250 kVA connesso a un secondario		
	Ciclo di carico/sovraccarico sopportabile nelle 24h:		
	<p> <math>A=5</math> ore 55 minuti  <math>B=2</math> ore  <math>C=5</math> minuti  <math>A+B+C=8</math> ore                 </p>		
<u>Caratteristiche costruttive:</u>	<i>Peso</i>		$< 40000$ kg (31000 kg)
	<i>Larghezza</i>		3200 mm (3000 mm)
	<i>Lunghezza</i>		5500 mm (4600 mm)
	<i>Altezza</i>		5000 mm
	<i>Altezza privo di isolatori AT, conservatore e carelli</i>		3200 mm (n.n.)
	<i>Raffreddamento</i>		ONAN

Tabella 4.3 Requisiti dei TG.A/B

Dalle caratteristiche riportate in tabella si possono fare le seguenti considerazioni:

1. I limiti dimensionali permessi per i nuovi trasformatori sono leggermente superiori alle dimensioni dei trasformatori esistenti, di conseguenza si ritiene opportuno valutare l'intervento di rifacimento delle vasche di raccolta olio esistenti, oltre che per esigenze di spostamento, anche per realizzare una più ampia superficie di raccolta del trasformatore (studiato nei prossimi paragrafi).
2. Il commutatore sottocarico deve essere del tipo 3f a resistori con comando motorizzato agente sull'avvolgimento primario, isolato in olio, e conforme alla Norma CEI EN 60214-1 e provvisto di 25 tacche per una regolazione fine della tensione con  $\Delta V_{tacca} = 1,67\%$ . Deve

essere montato internamente alla cassa del trasformatore in un compartimento stagno che garantisca la separazione tra olio del commutatore e olio principale del trasformatore.

L'interruttore di commutazione delle prese deve essere del tipo a vuoto.

Le variazioni di posizione del cursore devono essere coordinate dal dispositivo regolatore che esegue il confronto della tensione misurata sui secondari con quella di riferimento pari a 2710 V: se la differenza tra le due tensioni  $\Delta V$  rimane all'interno della banda morta di  $\pm 20\%$  di 2710 V il regolatore non deve intervenire; contrariamente il regolatore deve cambiare tacca dopo un ritardo regolabile tra 0÷600.

#### 4.1.2 Adeguamento dei raddrizzatori di gruppo

L'architettura dei gruppi di conversione deve essere completamente riadeguata in quanto si prevede la sostituzione degli armadi dei gruppi raddrizzatori (modello telai in serie) con un modello blindato a telai in parallelo e che soddisfa la tenuta all'arco interno. La scelta di utilizzare i raddrizzatori connessi in parallelo è dettata da RFI come standardizzazione a livello nazionale, e ciò comporta la sostituzione anche del sistema di filtraggio, dei trasformatori (come precedentemente accennato) e dei trasformatori per i SA poiché adatti alla configurazione serie.

#### Gruppi raddrizzatori RZ<sub>A-B</sub> [28]

Si prevede l'installazione su ogni gruppo di un raddrizzatore a diodi a reazione dodecafase da 5,4 MW-3 kVcc con telai in parallelo estraibili e apparecchiatura blindata<sup>36</sup> per interno classificata IAC (o anche chiamata unità funzionale raddrizzatore) rispondente a:

<u>STF n. RFI DTC STS</u> <u>ENE SP IFS SS 404 A</u>	<i>“Raddrizzatore 5,4 MW – 3 kVcc con telai in parallelo in apparecchiatura blindata”</i>
<u>STF n. RFI DPRIM ST</u> <u>IFS SS 022 Sper</u>	<i>“Disposizione per prove ad arco elettrico interno per apparecchiature sezionabili ed estraibili prefabbricate protette in involucro metallico del Sistema di Trazione a 3 kVcc”</i>
<u>STF n. RFI DPRIM</u> <u>STF IFS TE 143A</u>	<i>“Relè elettrici a tutto o niente per impianti di energia e TE”</i>
<u>STF n.</u> <u>RFI.DMA/IM.LA/SSE</u> <u>360A</u>	<i>Unità periferiche di Protezione ed Automazione – Specifica Generale”</i>
<u>Norma CEI EN 50123</u>	<i>“Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane – Impianti fissi. Apparecchiature in cc”</i>
<u>Norma CEI EN 50123-</u> <u>1</u>	<i>“Parte 1: Generalità”</i>
<u>Norma CEI EN 50123-</u> <u>3</u>	<i>“Parte 3: Interruttori di manovra sezionatori e sezionatori a corrente continua per interno”</i>
<u>Norma CEI EN 50123-</u> <u>6</u>	<i>“Apparecchiatura preassemblata a cc”</i>
<u>Norma CEI EN 50123-</u> <u>7</u>	<i>“Apparecchi di misura, comando e protezione per uso specifico in sistemi di trazione a cc”</i>
<u>Norma CEI EN 50328</u>	<i>“Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane – Impianti fissi. Convertitori elettronici di potenza per sottostazioni”</i>

<sup>36</sup> Apparecchiatura con involucro metallico nella quale i componenti sono disposti in compartimenti separati aventi diaframmi metallici destinati ad essere messi a terra.

<u>Norma CEI EN 60529</u>	“Gradi di protezione degli involucri (Codice IP)”			
<u>Norma CEI EN 62271-102</u>	“Apparecchiatura di manovra e di comando ad AT. Sezionatori e sezionatori di terra a ca”			
<u>Norma UNI ISO 2081</u>	“Rivestimenti metallici. Rivestimenti elettrolitici di Zn su Fe o acciaio”			
<u>Caratteristiche elettriche:</u> <i>(Confronto RZ in sostituzione)</i>	<i>Tensione nominale lato ca</i>	2710 V (1355 V)		
	<i>Tensione massima lato ca</i>	3 kV (2800 V)		
	<i>Livello di isolamento circuiti 2,710 kVca</i>	<i>Tensione di tenuta a 50 Hz per 1' verso terra e tra le fasi</i>	18,5 kV (15 kV)	
		<i>Tensione di tenuta ad impulso atmosferico 1,2/50 μs</i>	40 kV	
	<i>Distanza di isolamento in aria minima tra le parti in tensione e le parti metalliche dello scomparto</i>	≥ 40 mm		
	<i>Condizione del neutro rispetto a terra</i>	Isolato		
	<i>Frequenza nominale</i>	50 Hz		
	<i>Corrente in servizio continuo lato ca</i>	1250 A (n.n.)		
	<i>Corrente ammissibile di breve durata (I") lato ca</i>	13,5 kA (n.n.)		
	<i>Corrente limite dinamica (picco) lato ca</i>	35 kA (n.n.)		
	<i>Tensione nominale lato cc</i>	3,0 kV (1800 + 1800 V)		
	<i>Tensione massima permanente lato cc</i>	3,6 kV (1950 + 1950 V)		
	<i>Tensione massima non permanente lato cc</i>	3,9 kV (> 1950 su singolo telaio RZ)		
	<i>Tensione massima transitoria a vuoto</i>	≤ 5,1 kV (n.n.) <sup>37</sup>		
	<i>Livello di isolamento circuiti 3 kVcc</i>	<i>Tenuta a 50 Hz per 1' tra le fasi verso terra</i>	18,5 kV (15 kV)	
		<i>Tenuta a 50 Hz per 1' sulle distanze di sezionamento</i>	22,5 kV (n.n.)	

<sup>37</sup> Non nota

		<i>Tenuta all'impulso atm 1,2/50 ηs tra le fasi verso terra</i>	40 kV
		<i>Tenuta all'impulso 1,2/50 ηs sulle distanze di sezionamento</i>	48 kV (n.n.)
	<i>Corrente nominale (Tamb=40°C)</i>	1500 A	
	<i>Corrente di sovraccarico per 120' (Tamb=40°C)</i>	3000 A	
	<i>Corrente di sovraccarico per 5' (Tamb=40°C)</i>	3500 A	
	<i>Ciclo di carico/sovraccarico nelle 24h</i>		
	<p>A=5 ore 55 minuti B=2 ore C=5 minuti A+B+C=8 ore</p> <p>1° ciclo      2° ciclo      3° ciclo</p>		
	<i>Corrente nominale ammissibile di breve durata (250 ms) circuiti principali cc</i>	35 kA (n.n.)	
	<i>Corrente limite dinamica circuiti principali cc</i>	50 kA picco (n.n.)	
	<i>Corrente nominale ammissibile di breve durata (250 ms) circuiti di terra</i>	35 kA (n.n.)	
	<i>Tenuta all'arco elettrico interno per 100 ms (Requisito non soddisfatto)</i>	<i>Lato ac: nominale/picco</i>	13,5/35 kA
		<i>Lato cc: nominale/picco</i>	35/50 kA



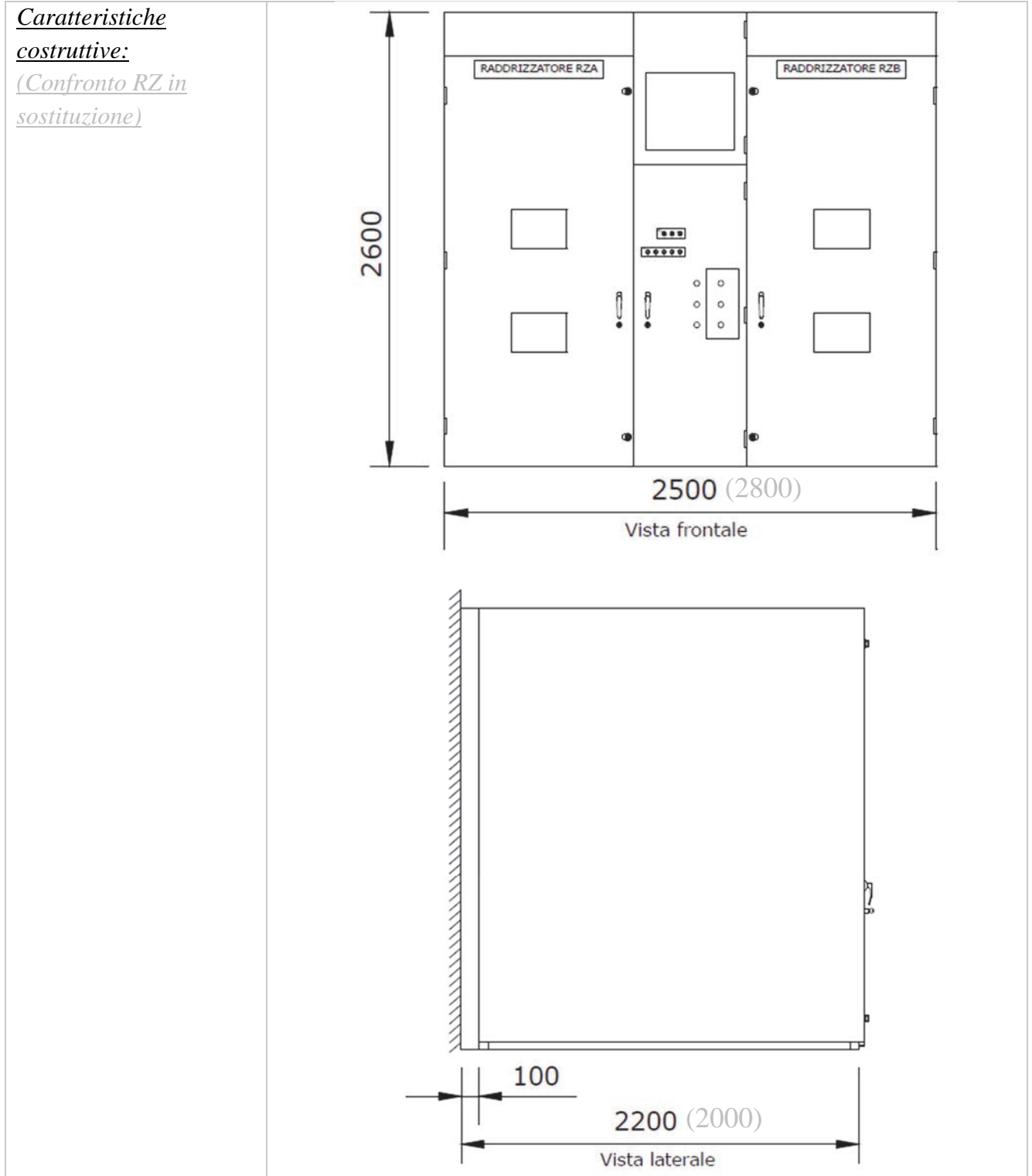


Tabella 4.4 Requisiti dei RZ.A/B

Costruttivamente, il raddrizzatore deve essere suddiviso in 3 scompartimenti principali affiancati: un compartimento centrale comune e n° 2 compartimenti laterali ciascuno contenente un telaio metallico estraibile con pinze su cui devono essere assemblati i diodi al silicio da collegare in modo tale da realizzare, ognuno, un ponte di Graetz trifase. La suddivisione degli scomparti è mostrata nelle figure 4.1 ed è realizzata con i seguenti compartimenti:

- A. Parte fissa che costituisce la sede entro la quale viene inserito il telaio carrellato estraibile B; deve contenere, inoltre, le sbarre 2710 Vca a valle del sezionatore esapolare e le sbarre a 3 kVcc;

- B. Telaio carrellato estraibile, mediante delle opportune pinze, equipaggiato con tutte le apparecchiature che compongono il ponte raddrizzatore;
- C. Comparto ausiliari e morsettiera;
- D. Comparto arrivo cavi 2710 Vca dal trasformatore di alimentazione TG;
- E. Comparto sbarre in cc ed uscita cavi 3 kVcc;
- F. Eventuale parete metallica imbullonata dall'interno;
- G. Comparto ponte raddrizzatore (A e B);
- H. Quadro Sinottico (trafo TG, 89T-TG, 89E, 89T-Rz, Rz1, Rz2);
- I. Distributori chiavi;
- L. Manovre sezionatori 89T-TG, 89E, 89T-Rz; commutatore manovre elettriche/manuali sezionatore 89E; pulsanti per lo sblocco dell'inserimento delle relative leve;
- M. Finestre di ispezione visiva per centralina guasto diodi;
- N. Eventuali finestre per ispezione visiva.

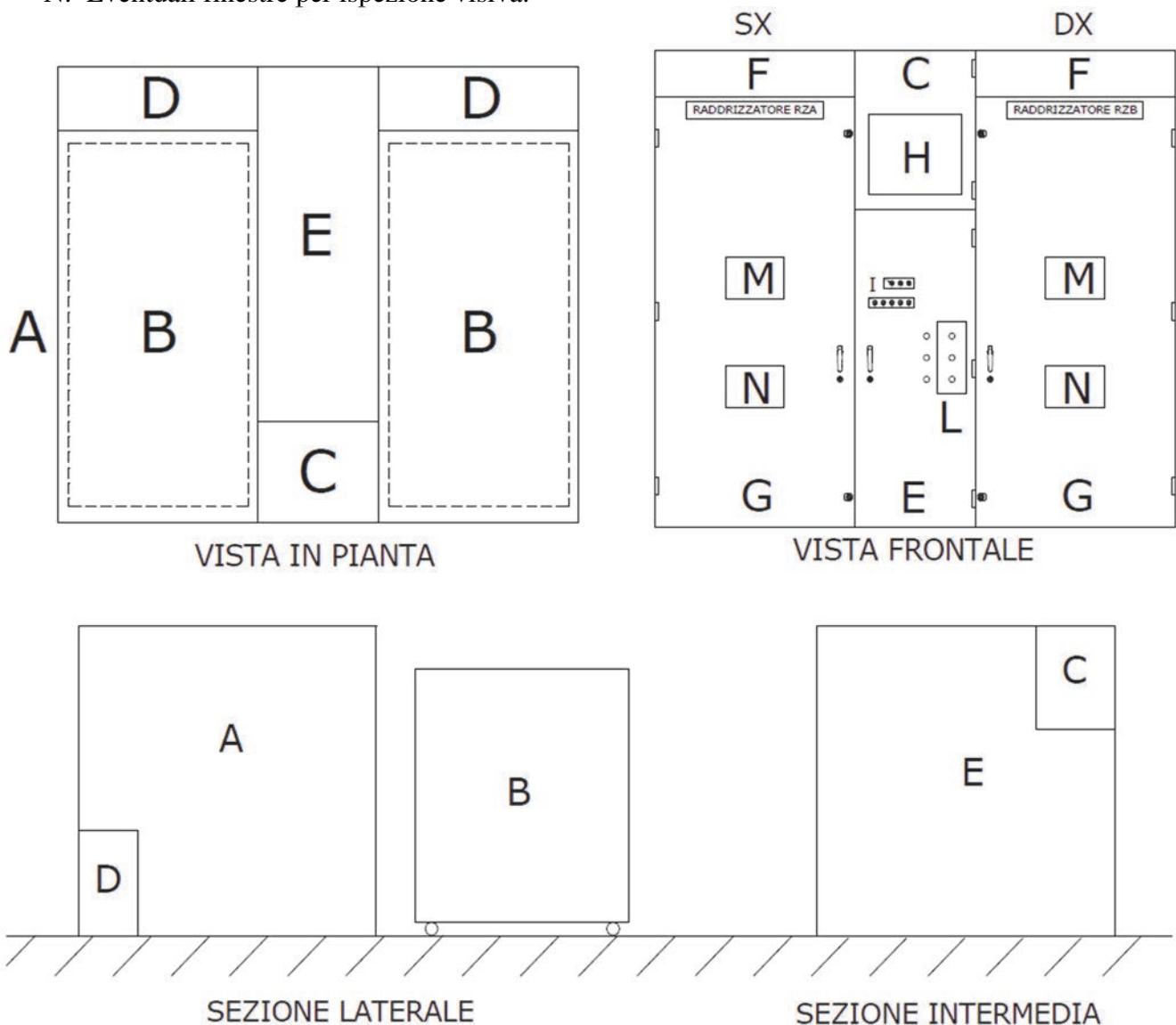


Figure 4.1 Suddivisione del gruppo raddrizzatore in scomparti.

I dispositivi e le apparecchiature che costituiscono il gruppo raddrizzatore vengono inserite con l'architettura mostrata nello schema di potenza della fig. 4.2 e i loro relativi dati tecnici vengono esaurientemente delineati nella STF n. RFI DTC STS ENE SP IFS SS 404 A.



### 4.1.3 Adeguamento del filtro LC

Il sistema di filtraggio posto a valle dei gruppi raddrizzatori ha lo scopo di:

- bloccare le armoniche generate dal gruppo raddrizzatore lato DC per evitare disturbi nelle linee di telecomunicazione e negli impianti di sicurezza;
- realizzare la cosiddetta “maschera dei disturbi” verso le armoniche indesiderate prodotte dai treni.

L’architettura elettromagnetica predisposta a tale compito prende il nome di *filtro passa-basso tipo LC del 2° ordine*, cioè composto da 2 elementi reattivi L e C (fig. 4.3)

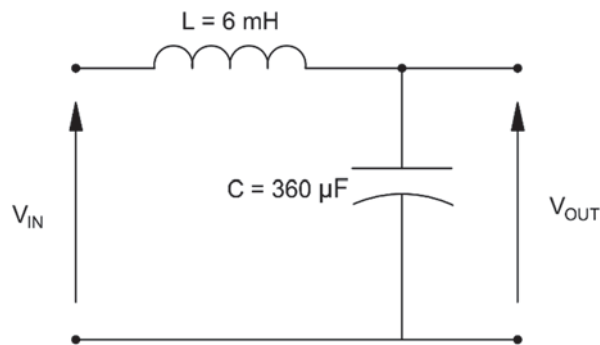


Figura 4.3 Circuito elettrico del filtro passa-basso tipo LC del II° ordine.

Rappresentando la SSE a monte del filtro mediante il teorema di Thevenin e il Principio di Sovrapposizione Degli Effetti (PSDE) come:

- una resistenza  $R_{SSE}$ ;
- un generatore di tensione (GV) da 3600 Vcc;
- dei GV in corrente alternata rappresentanti le armoniche multiple di  $12f^*$  (con  $f^*=50$  Hz) prodotte lato DC del raddrizzatore di gruppo

si ottiene nel complesso il circuito equivalente di fig. 4.4:

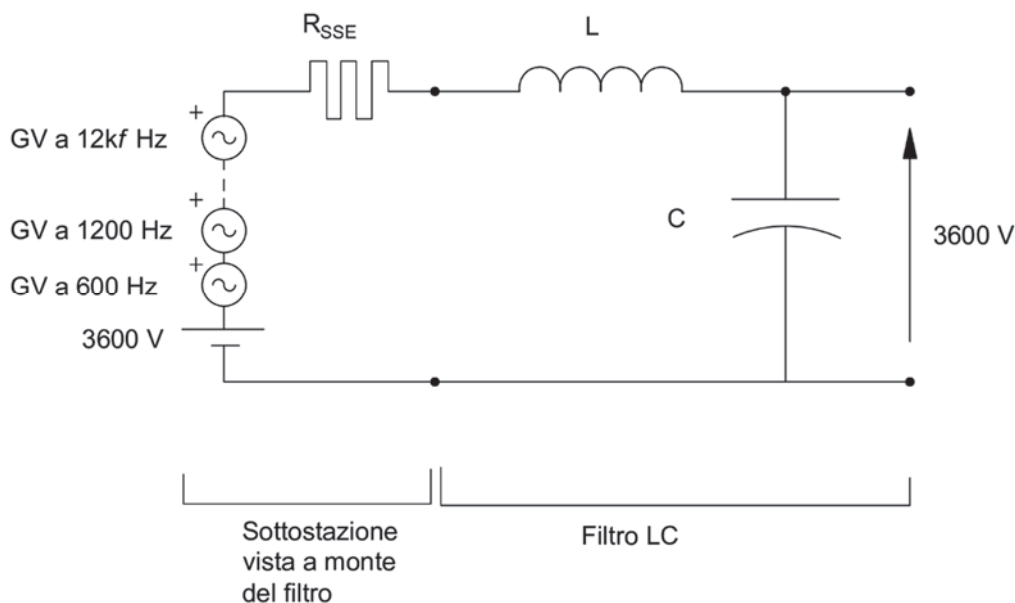


Figura 4.4 Circuito equivalente della SSE + filtro LC.

ovvero un circuito RLC il quale realizza nel dominio della frequenza una Funzione Di Trasferimento (FDT) che ha due poli complessi coniugati e priva di zeri del tipo:

$$H(j\omega) = \frac{1}{j\omega C} \frac{1}{R_{SSE} + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}}$$

$$= \frac{K}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2} + j \frac{\omega}{Q\omega_0}}$$

con  $K = 1$  guadagno statico

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{6 \cdot 10^{-3} \cdot 360 \cdot 10^{-6}}} = 680,4 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \text{ pulsazione naturale}$$

$$Q = \frac{1}{R_{SSE}} \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{\omega_0 L}{R_{SSE}} \text{ fattore di merito}$$

Il modulo  $|H(j\omega)|$  nel diagramma di Bode asintotico<sup>38</sup>:

- per  $\omega < \omega_0$  ha un asintoto orizzontale di ordinata  $20 \log_{10} |K| = 20 \log_{10} 1 = 0 \text{ dB}$ , ovvero tutti i segnali in ingresso al filtro che hanno una frequenza  $f < f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = 108,3 \text{ Hz}$  (GV da 3600 V) non ne viene alterato il modulo;
- per  $\omega > \omega_0$  ha un asintoto con pendenza  $-40 \frac{\text{dB}}{\text{decade}}$  a partire da  $\omega = \omega_0$ , ovvero tutti i segnali in ingresso al filtro che hanno una frequenza  $f > 108,3 \text{ Hz}$  (GV delle armoniche multiple di 12f\*) ne viene attenuato il modulo con intensità data dalla pendenza dell'asintoto.

Il valore della frequenza di taglio  $f_0$  di 108,3 Hz deriva dai filtri utilizzati nei primi raddrizzatori esafase, e i valori di induttanza e capacità:

$$L = 6 \text{ mH}$$

$$C = 360 \mu\text{F}$$

derivano da criteri di scelta economica e per la realizzazione della suddetta “maschera dei disturbi”. L e C sono diversi da quelli del reattore e del banco di condensatori dello stato di fatto, invece

$f_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{3 \cdot 10^{-3} \cdot 720 \cdot 10^{-12}}} = 108,3 \text{ Hz}$  rimane uguale. Il motivo della discordanza dei valori di L e C potrebbe essere determinato dal diverso valore della  $R_{SSE}$  a monte, causata ad esempio da:

- dalle tensioni di cortocircuito dei trasformatori diverse (vedi tabella 4.3);
- fattori d'accoppiamento fra i due secondari dei trasformatori diverse;
- dall'architettura diversa dei raddrizzatori (collegamento parallelo/serie e formazione dei diodi/rami diversa).

Si esamina ora nel dettaglio il reattore e i condensatori.

### Reattore di filtro L [29]

Con la nuova architettura del sistema di conversione con raddrizzatori in parallelo, si prevede la sostituzione dei reattori in lastra di alluminio con induttanza di 3 mH esistenti con nuovi *reattori di induttanza 6 mH a nastri laminati in Al a spigoli raggiati e avvolgimento concentrico ad asse verticale privo di effetto telescopico (cat. 785/687)*, i quali devono attenersi a:

<sup>38</sup> Sono grafici che descrivono come varia il modulo e la fase di una FDT al variare della frequenza.

<u>STF n. E 006</u>	“Norme tecniche per la fornitura di reattori in lastra di Al per i filtri delle SSE di conversione, con induttanza nominale 6 mH e cc nominale di 1800 A (cat. 785/686) e di 2500 A (cat. 785/687) per tensione nominale di esercizio di 3,6 kVcc”	
<u>Norma CEI EN 60076-6</u> <u>Norma CEI EN 60076-22-7</u>	“Trasformatori di potenza – Parte 6: Reattori” “Trasformatori di potenza – Parte 22-7: Accessori per trasformatori di potenza e reattori – Accessori”	
<u>Caratteristiche elettriche:</u> <i>(Confronto con reattore in sostituzione)</i>	<i>Induttanza nominale</i>	6 mH (3 mH)
	<i>Resistenza nominale in cc a 20°C</i>	max 6 mΩ (3,75 mΩ)
	<i>Tensione nominale di esercizio</i>	3,6 kV
	<i>Tensione massima di riferimento per l'isolamento</i>	7,2 kV (n.n.)
	<i>Corrente continua nominale</i>	2500 A
	<i>Corrente armonica</i>	Ia 5% (n.n.)
	<i>Corrente di breve durata (1 s)</i>	20 kA cc (n.n.)
	<i>Banda f di funzionamento</i>	50 ÷ 1500 Hz (n.n.)
	<i>Ciclo di funzionamento ripetitivo</i>	1500 A per 360'
		3000 A per 115'
		3500 A per 5'
	<i>Raffreddamento</i>	Ventilazione naturale
	<i>Sovratemperature medie</i>	100 °C
<u>Caratteristiche costruttive:</u>	<i>Diametro massimo di ingombro</i>	1800 mm (1540 mm)
	<i>Altezza massima</i>	1650 mm
	<i>Peso</i>	3000 kg (1790 kg)

Tabella 4.5 Requisiti dei reattori.

Le dimensioni costruttive delle bobine da 6 mH indicano un diametro di ingombro massimo di 1800 mm, relativamente superiore rispetto ai reattori da 3 mH con ingombro di 1540 mm. La differenza, potrebbe causare problemi in sede di installazione in quanto non potrebbe essere garantita la larghezza necessaria del serramento di accesso ai locali reattori. A seguito di rilievo in SSE si è riscontrata una larghezza del serramento di 1970 mm, appena sufficiente a consentire il passaggio.

### Condensatori di filtro CF

I condensatori di filtraggio devono essere sostituiti per:

- avere una capacità di 360  $\mu\text{F}$ ;
- essere installati all'interno di armadi blindati conformi alla tenuta all'arco interno.

Nelle nuove SSE non vengono più installati in compartimenti a se stanti, ma vengono inglobati nelle unità funzionali "Sezionamento di Gruppo e Filtro", ovvero negli stessi armadi 3 kVcc che eseguono il sezionamento bipolare del gruppo dalle sbarre omnibus. Si rimanda quindi al sottoparagrafo successivo le considerazioni tecniche a cui devono attenersi.

#### 4.1.3 Adeguamento delle unità funzionali 3 kVcc

La sostituzione delle unità funzionali (UF) 3 kVcc è necessaria per la conformità alla tenuta all'arco elettrico interno. Le nuove UF previste sono di tipo prefabbricato in carpenteria metallica e le caratteristiche fisiche ed elettriche comuni a tutte sono delineate dalla Specifica Tecnica di Costruzione (STC) RFI DMA IM LA STC SSE 400 Ed.2009 e riportate in tabella 4.6 [30]. Le singole apparecchiature contenute all'interno delle diverse unità funzionali vengono invece rimandate alle ST di competenza e/o alle categorie e progressivi dei materiali di RFI.

<u>Caratteristiche elettriche comuni:</u> (Confronto con UF in sostituzione)	Tensione nominale	3000 Vcc (3600 Vcc)		
	Tensione permanente massima	3600 Vcc (3600 Vcc)		
	Tensione non permanente massima	3900 Vcc (3600 Vcc)		
	Tensione di isolamento di targa	4,8 kVcc		
	Tensione di targa di tenuta ad impulso	Verso terra e tra le fasi	40 kV	
		Sulla distanza di sezionamento	48 kV (n.n.)	
	Livello di tensione di tenuta a frequenza industriale	Verso terra e tra le fasi	18,5 kV (15 kV)	
		Sulla distanza di sezionamento	22,2 kV (15 kV)	
		Circuiti ausiliari	2 kV (2,5 kV)	
	Corrente nominale sbarre principali	3150 A (3000 A)		
	Corrente di sovraccarico per 2h sbarre principali	6000 A (n.n.)		
	Corrente di sovraccarico per 5' sbarre principali	7000 A (n.n.)		

	<i>Corrente ammissibile di breve durata (0,25s)</i>	53 kA (40 kA)
	<i>Valore di picco della corrente di cto-cto</i>	75 kA (100 kA)
	<i>Tensione di isolamento tra UF</i>	≥ 2 kV (50 Hz per 60'') (n.n.)
	<i>Tensione ausiliari</i>	132/110 Vcc
<u>Caratteristiche costruttive:</u>	<i>Larghezza</i>	1500 oppure 800 mm (1540 mm)
	<i>Altezza</i>	≤ 3000 mm
	<i>Profondità</i>	≤ 2500 mm (1790 kg)

Tabella 4.6 Requisiti generali delle UF.

Tutte le UF devono essere suddivise in compartimenti, unità elettricamente segregate e funzionalmente distinte, come di seguito specificato:

- *Compartimento sbarre omnibus (SO)* atto a contenere le sbarre di distribuzione primaria dell'energia e la sbarra principale di terra;
- *Compartimento apparecchiature in media tensione (MT)* atto a contenere le apparecchiature operanti in MT a 3 kVcc;
- *Compartimento in bassa tensione (BT)* atto a contenere (e segregare) le apparecchiature e sistemi di controllo;
- *Compartimento (eventuale) di distribuzione negativo per le misure (NM)*.

I comandi attuabili sugli enti delle varie unità funzionali debbono essere condizionati al regime di funzionamento (REMOTO, LOCALE e MANUTENZIONE) impostato sull'unità funzionale stessa ed al regime di funzionamento generale dell'impianto ("telecomando incluso" / "telecomando escluso").

I comandi devono poter essere impartiti da:

- Locale: pannelli di comando dell'unità funzionale;
- Quadro generale: quadro generale di comando dell'impianto (computerizzato o sinottico).
- Telecomando: Posto centrale di telecomando.

L'allocazione ed il posizionamento delle UF è previsto avvenire su pavimentazione (in cemento livellato o sistema equivalente) opportunamente predisposta con due canalizzazioni distinte per il passaggio cavi MT e bt /Terra.

Si analizza nel seguito le caratteristiche.

### **Unità funzionale "Sezionamento di Gruppo e Filtro" - U.F. SEZ. GRUPPO A/B [31]**

L'unità funzionale sezionamento di gruppo e filtro viene sostituita per:

- Garantire una migliore sicurezza grazie alla tenuta all'arco interno;
- Munirsi di un comando con logica a relè per il nuovo sistema di governo di tipo cablato;
- Inglobare i nuovi condensatori di 360 µF richiesti per il nuovo gruppo raddrizzatore.

Essa deve svolgere le seguenti azioni:

- Sezionare il singolo gruppo raddrizzatore rispetto alle sbarre omnibus 3 kVcc;
- inserire/disinserire un condensatore di capacità totale 360 µF;
- implementare la funzione di protezione del gruppo raddrizzatore tramite la misura della tensione e della corrente di gruppo e l'individuazione di correnti anomale



dirette in direzione opposta a quella prevista nel normale funzionamento dell'impianto (corrente di ritorno);

- rendere disponibile il collegamento all'impianto di terra di eventuali masse provenienti dal gruppo raddrizzatore.

Deve attenersi a:

<u>STC RFI DPRIM STC IFS SS403 A</u>	"Unità funzionali di tipo prefabbricato in carpenteria metallica per reparti a 3 kV in cc – Parte V: Sezionamento di Gruppo e Filtro"
<u>STC RFI DMA IM LA STC SSE 400</u>	"Unità funzionali di tipo prefabbricato in carpenteria metallica per reparti a 3 kV in cc – Parte I e II"
<u>STF RFI DMA IM LA SSE 360</u>	"Unità periferiche di protezione ed automazione – Specifica generale"
<u>STF RFI DPRIM STF IFS SS018 Sper</u>	"Condensatori livellatori da 360 $\mu$ F per unità funzionali sezionamento di gruppo e filtro per reparti 3 kVcc di SSE"

Tabella 4.7 Requisiti dell'UF Sezionamento e filtro.

e al seguente schema unifilare di potenza:

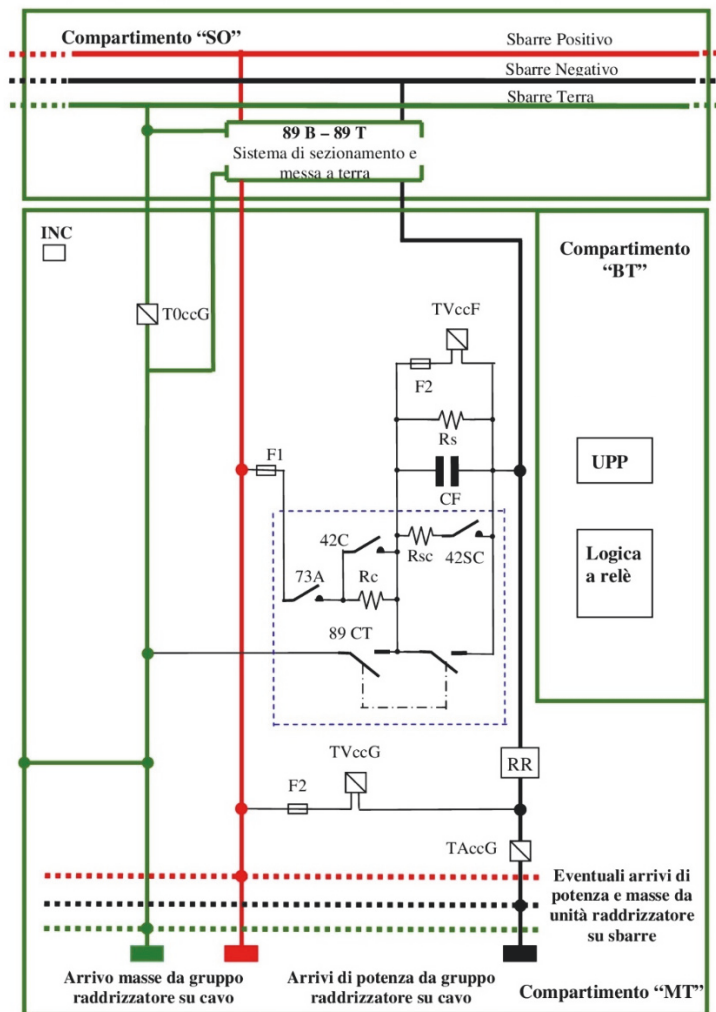


Figura 4.5 Schema unifilare di potenza dell'UF "Sezionamento e filtro"

Il compartimento sbarre omnibus (SO) è deputato a contenere:

- le sbarre di potenza “polo positivo”;
- le sbarre di potenza “polo negativo”;
- le sbarre di potenza “collegamento principale di terra”;
- il dispositivo/sistema di sezionamento e messa a terra 89B-89T<sub>2</sub> con caratteristiche elettriche definite ad inizio paragrafo 4.1.3 e corrente nominale di targa di 3000 A.

Il compartimento apparecchiature MT deve contenere:

- Il condensatore di filtro CF di capacità nominale 360 µF;
- Il sezionatore 89CT di cortocircuito e messa a terra del condensatore CF;
- Il contattore 73A con funzione di inserimento/disinserimento del CF sul circuito di potenza;
- Il contattore 42C con la funzione di cortocircuitare la resistenza di carica Rc una volta terminato il processo di carica del CF;
- Il contattore 42SC con la funzione di permettere, una volta chiuso e nella condizione di 73° aperto, la scarica del CF per mezzo della resistenza Rsc;
- Resistenza di scarica Rc e di scarica Rsc realizzate ciascuna mediante due resistori da 1000 Ω in parallelo;
- Resistenza di scarica Rs realizzata con resistore di 470 kΩ con funzione di riserva per la scarica del CF qualora si verifichi una condizione per cui non sia possibile per mezzo della resistenza Rsc;
- Canali di misura di corrente/tensione TAccG/TVccG;
- Canale di misura della corrente verso terra T0ccG;
- Canale di misura di tensione TVccF;
- Fusibile F1, F2;
- Relè di ritorno RR (relè direzionale di massima corrente e riarmo manuale);
- Sonda per rilevamento fumi/incendio INC.

Il compartimento BT deve contenere le apparecchiature, i circuiti e i componenti finalizzati al controllo, protezione ed interfacciamento con accessibilità non vincolata dall’apertura della porta di accesso al compartimento MT.

### **Unità funzionali alimentatori – J1 J2 J9 J10 [32]**

L’UF alimentatore viene sostituita per:

- garantire una migliore sicurezza grazie alla tenuta all’arco interno;
- munirsi di un comando con logica a relè per il nuovo sistema di governo di tipo cablato;

Essa deve svolgere le seguenti funzioni:

- alimentare e proteggere una determinata tratta di linea per trazione elettrica;
- asservire altri punti di alimentazione e/o posti di sezionamento (P.S.A.) sulla stessa tratta;
- effettuare test di “prova linea” propedeutico alla richiusura dell’interruttore extrarapido.

Deve attenersi a:

<u>STC RFI DPRIM STC IFS SS401 Ed.2009</u>	“Unità funzionali di tipo prefabbricato in carpenteria metallica per reparti a 3 kV in cc – Parte III: Alimentatore”
<u>STC RFI DMA IM LA STC SSE 400</u>	“Unità funzionali di tipo prefabbricato in carpenteria metallica per reparti a 3 kV in cc – Parte I e II”
<u>STF RFI DMA IM LA SSE 360</u>	“Unità periferiche di protezione ed automazione – Specifica generale”



- Relè di tensione RVu;
- Fusibili;
- Canale di misura con sonda esterna all'impianto per rilevamento della temperatura esterno Tte.

Il compartimento BT deve contenere le apparecchiature, i circuiti e i componenti finalizzati al controllo, protezione ed interfacciamento con accessibilità non vincolata dall'apertura della porta di accesso al compartimento MT. In sostanza si ha:

- l'UPP;
- il dispositivo ASDE;
- componenti per l'interfacciamento verso il campo e per la parte di logica prevista cablata;
- interruttori magnetotermici e contattori;
- morsettiere.

### Unità funzionali Ritorno negativo e misure – U.F. Misure Negativo SSM [33]

L'UF Ritorno negativo, misure e SSM viene sostituita per:

- Garantire una migliore sicurezza grazie alla tenuta all'arco interno;
- Munirsi di un comando con logica a relè per il nuovo sistema di governo di tipo cablato;

Essa deve svolgere le seguenti funzioni:

- rilevare, registrare e rendere disponibili le misure (e il relativo andamento nel tempo) di tensione, corrente e potenza/energia del reparto a 3 kVcc dell'impianto;
- realizzare l'attestazione ed il collegamento (continuo, ovvero senza dispositivi di sezionamento) alle sbarre di potenza del "polo negativo" dei cavi relativi al circuito di ritorno TE provenienti dai binari di linea;
- realizzare l'attestazione ed il sezionamento dei cavi di alimentazione ("polo positivo" e "polo negativo") provenienti dalla SSM;
- realizzare il collegamento all'impianto di terra della sbarra di terra principale presente nei compartimenti delle Sbarre Omnibus delle altre unità funzionali al fine di garantire la protezione generale di quest'ultime da guasti verso terra;
- realizzare il collegamento negativo-terra tramite apposito dispositivo cortocircuitatore contenuto nell'unità.

Deve attenersi a:

<u>STC RFI DPRIM STC IFS SS402 A</u>	<i>“Unità funzionali di tipo prefabbricato in carpenteria metallica per reparti a 3 kV in cc – Parte IV: Misure e Negativi”</i>
<u>STC RFI DMA IM LA STC SSE 400</u>	<i>“Unità funzionali di tipo prefabbricato in carpenteria metallica per reparti a 3 kV in cc – Parte I e II”</i>
<u>STF RFI DMA IM LA SSE 360</u>	<i>“Unità periferiche di protezione ed automazione – Specifica generale”</i>
<u>STF RFI DMA IM LA SP IFS 362 A</u>	<i>“Sistema di misurazione e registrazione di energia per SSE”</i>
<u>STF RFI DMA IM LA SP IFS 370 A</u>	<i>“Dispositivo di collegamento del negativo 3 kVcc all'impianto di terra di SSE e cabine TE”</i>
<u>STF RFI DMA IM LA SP IFS 371 A</u>	<i>“Relè monostabile di massima corrente a sogli a fissa adirezionale ad inserzione diretta a 3 kVcc”</i>

Tabella 4.9 Requisiti dell'UF "Ritorno negativo e SSM".

e al seguente schema generale:

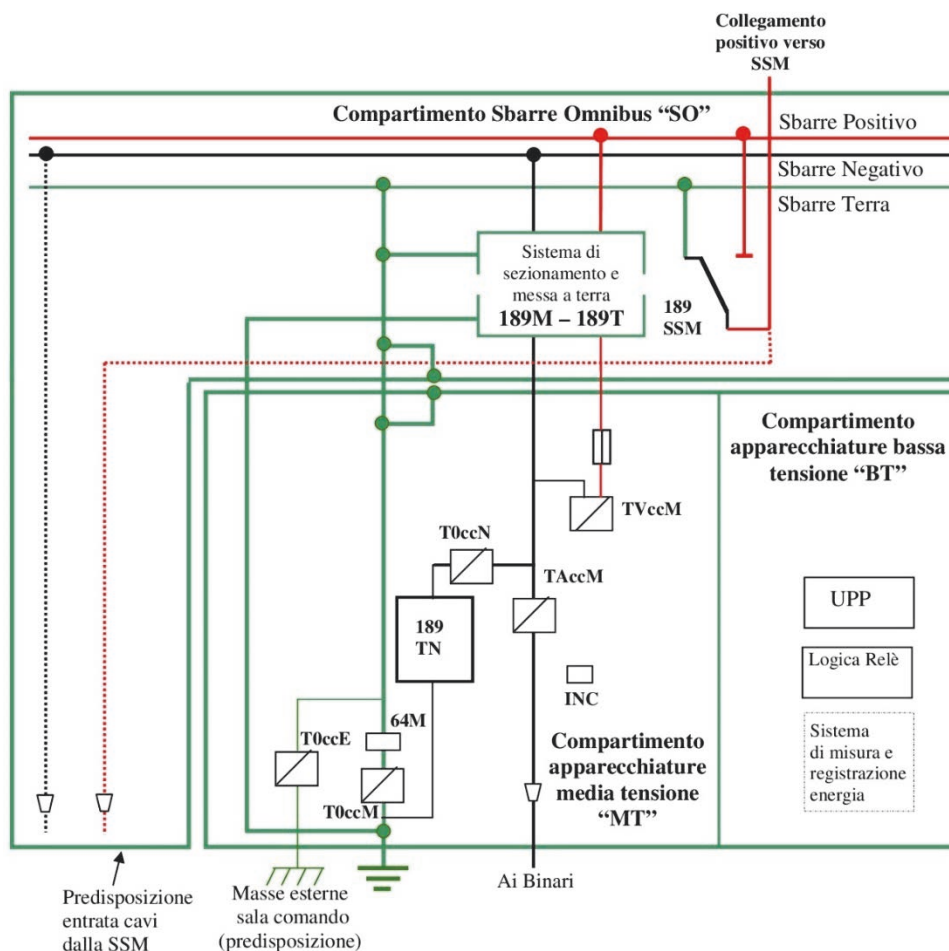


Figura 4.7 Schema unifilare di potenza dell'UF "Misure negativo SSM"

Il compartimento sbarre omnibus (SO) è deputato a contenere:

- le sbarre di potenza "polo positivo";
- le sbarre di potenza "polo negativo";
- le sbarre di potenza "collegamento principale di terra";
- il dispositivo/sistema di sezionamento 189M-189T delegato a effettuare il sezionamento del collegamento positivo di misura verso il compartimento MT, la messa in sicurezza del compartimento MT tramite messa a terra e la messa a terra del polo negativo 3 kVcc;
- il sezionatore unipolare 189SSM con comando manuale per il sezionamento del collegamento positivo di potenza 3 kVcc proveniente dalla SSM e per la sua messa a terra in caso di SSM fuori servizio.

Il compartimento apparecchiature MT deve contenere:

- l'apparecchiatura per il collegamento (negativo-terra) tra l'impianto di terra di SSE e la sbarra omnibus del negativo 3 kVcc;
- la sonda per rilevamento fumi/incendio INC;
- il fusibile;
- i canali di misura di corrente/tensione TAccM/TVccM conformi a svolgere la funzione di misura;
- il canale di misura della corrente verso terra T0ccM con sola conformità a svolgere la funzione di misura;

- il canale di misura della corrente tra il polo negativo 3 kVcc e terra con conformità a svolgere la sola funzione di misura;
- il relè di massa 64M ad intervento diretto sul circuito di apertura generale

Analogamente alle altre UF, il compartimento BT deve contenere le apparecchiature, i circuiti e i componenti finalizzati al controllo, protezione ed interfacciamento con accessibilità non vincolata dall'apertura della porta di accesso al compartimento MT. In sostanza si ha:

- l'UPP;
- l'apparecchiatura per la misurazione e la registrazione di energia;
- componenti per l'interfacciamento verso il campo e per la parte di logica prevista cablata;
- interruttori magnetotermici e contattori;
- morsettiere e connettori.

#### 4.1.4 Taratura degli extrarapidi per la protezione [34]

Per evitare dannose conseguenze alla linea di contatto ed il verificarsi di situazioni di potenziale pericolo, un eventuale corto circuito sulla linea stessa deve poter essere rilevato ed eliminato nel più breve tempo possibile mediante l'apertura degli interruttori extrarapidi o dei sezionatori automatici che alimentano la tratta interessata dal guasto. È necessario quindi che l'esercizio degli impianti TE e le tarature dei diversi enti di protezione siano tali da garantire l'intervento tempestivo e coordinato dalle protezioni in caso di corto circuito ovunque localizzato. Tali criteri non possono e non devono ammettere eccezioni, anche quando il loro rispetto comportasse soggezioni alla circolazione dei treni a causa di anormali d'impianto quali, per esempio, la messa fuori servizio di uno o più alimentatori, di una intera SSE o tarature amperometriche necessariamente più basse alle reali esigenze di carico. La scelta del sistema di protezione da adottare deve essere fatta in base a valutazioni che tengano conto delle reali esigenze di esercizio e con l'ottica di limitare al massimo le suddette soggezioni.

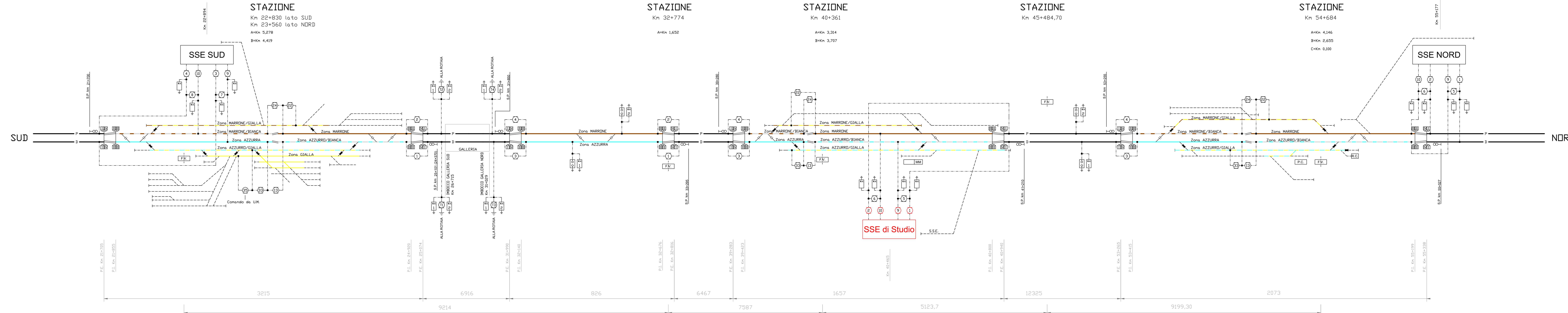
Analizzando la Tavola 5 riguardante il Piano Schematico TE<sup>39</sup> della tratta compresa tra le SSE afferenti alla SSE di intervento, le LdC sono divise in sezioni elettricamente separate (tratte), i cui estremi fanno capo a sezionatori motorizzati e telecomandati e in corrispondenza delle SSE gli interruttori extrarapidi che alimentano le tratte.

---

<sup>39</sup> Rappresentazione non in scala dei binari e di tutti gli enti di piazzale, sulla base della planimetria di stazione. Vi sono anche rappresentati il Fabbricato Viaggiatori (FV) e altri edifici di servizio.

Tavola n.	5
Caratteristiche elaborato	Stato di fatto
	Scala: ---/---
	Unità di misura ---
Titolo elaborato: Piano Schematico TE Tratta SSE <sub>SUD</sub> -SSE <sub>NORD</sub>	

- LEGENDA**
- Isolatore di sezione
  - Sezionamento a spazio d'aria nelle comunicazioni pari-dispari
  - Sezionamento ai portali estremi di stazione
  - Sezionamento intermedio di stazione
  - Sezionatori manuali
  - Sezionatori motorizzati
  - Sezionatori automatici motorizzati
  - Sezionatori automatici telecomandati
  - 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
  - Numerazione portali in entrata
  - Numerazione portali in uscita



Ai capi e lungo ciascuna tratta sono presenti dei dispositivi di protezione che provvedono, a seguito della rilevazione di un guasto (da parte di un dispositivo di protezione amperometrico e/o voltmetrico), alla sua disalimentazione mediante il trascinarsi e l'apertura degli interruttori extrarapidi ad essa afferenti in modo da evitare dannose conseguenze alla linea di contatto ed il verificarsi di situazioni di potenziale pericolo.

I dispositivi di protezione implementati sono:

- PROTEZIONI DI MASSIMA CORRENTE 50-51 (o protezione amperometrica);
- PROTEZIONI DI MINIMA TENSIONE IN CC 80 (o protezione voltmetrica RV);
- SISTEMA ASDE3 (o asservimento).

che sorvegliano e proteggono il binario pari di corsa secondo l'architettura semplificata di fig. 4.8 mentre il binario dispari di corsa secondo l'architettura semplificata di fig. 4.9.

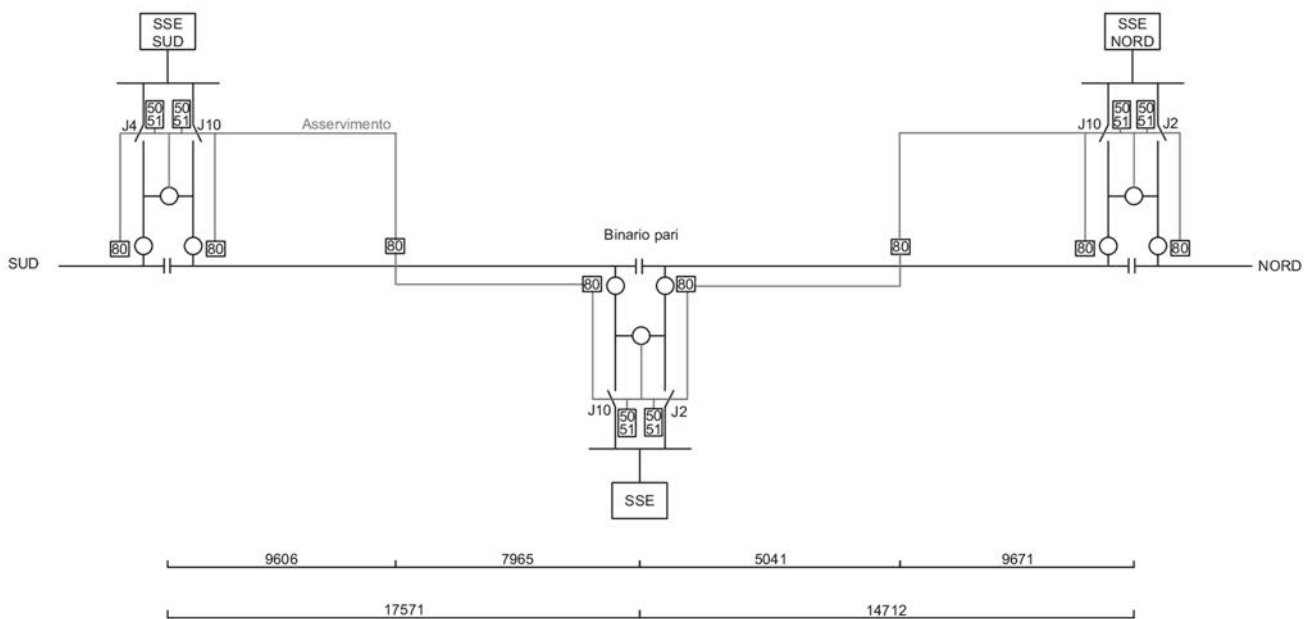


Figura 4.8 Dispositivi di protezione del binario pari nella tratta SSE<sub>SUD</sub>-SSE<sub>NORD</sub>.

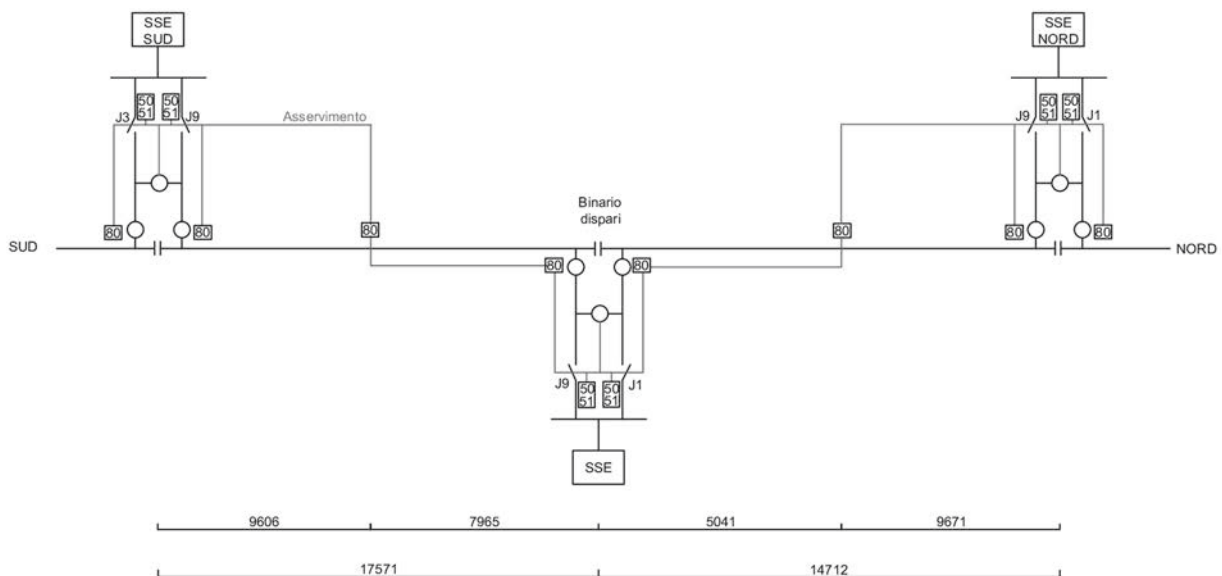


Figura 4.9 Dispositivi di protezione del binario dispari nella tratta SSE<sub>SUD</sub>-SSE<sub>NORD</sub>.



L'apparecchiatura ASDE3, tramite il suo contatto di uscita AT viene collegata al circuito di taratura dell'interruttore extrarapido ad esso associato ed impone una dei due valori predeterminati di taratura della corrente di scatto. Tali soglie sono denominate:

<i>Taratura ALTA</i>	<i>Taratura BASSA</i>
Impostata in caso di contatto AT del sistema ASDE3 chiuso	Impostata in caso di contatto AT del sistema ASDE3 aperto
Sussiste quando il dispositivo ASDE ha presenti contemporaneamente le seguenti condizioni: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Correttamente funzionante (relè WD eccitato)</li> <li>2. Regime di funzionamento ad "asservimento incluso"</li> <li>3. Corrente di relazione telefonica correttamente instaurata</li> </ol>	Sussiste in mancanza di una sola delle condizioni affianco.
Consente un'erogazione maggiore di corrente senza scatti intempestivi degli extrarapidi in casi di carichi che richiedono maggiori potenze	Permette una taratura delle protezioni in condizioni anomale
Si basa sulla protezione voltamperometrica asservita	Si basa sulla protezione puramente amperometrica

Tabella 4.10 Caratteristiche dell'alta e bassa taratura degli extrarapidi

Esiste tuttavia un altro valore di taratura impostabile sugli interruttori extrarapidi, definita come **taratura DI EMERGENZA** e impostata per tutti gli extrarapidi ad un valore di

$$T_{Emergenza} = 5000 A$$

come definito nella STF RFI DMA IM LA SP IFS 364 A, la quale ha lo scopo di assicurare sempre e comunque l'apertura dell'extrarapido qual ora l'UPP dello stesso non funzioni correttamente.

### Tipologia di cortocircuito

I tipi di corto circuito che si possono verificare sulla linea di contatto sono:

- A. franco a rotaia (contatto diretto tra la LdC e la rotaia);
- B. franco a circuito di protezione (contatto diretto tra la LdC e circuito di protezione);
- C. cedimento dell'isolamento (scarica elettrica su di un isolatore della LdC).

Poiché il guasto tipo C è quello più sfavorevole dal punto di vista delle protezioni, essendo le correnti di ctocto più basse per la presenza della cdt sull'arco elettrico e di resistenza tra sostegno e binario, *nel seguito si farà sempre riferimento a questo tipo di guasto.*

### Parametri elettrici e geometrici che intervengono nel cortocircuito

Con riferimento alla figura 4.8, nel caso di cortocircuito della tratta SSE<sub>SUD</sub>-SSE del binario pari, si ottiene lo schema elettrico semplificato di fig. 4.10 valido per tutte le tratte elementari alimentate da due SSE tramite interruttori extrarapidi.

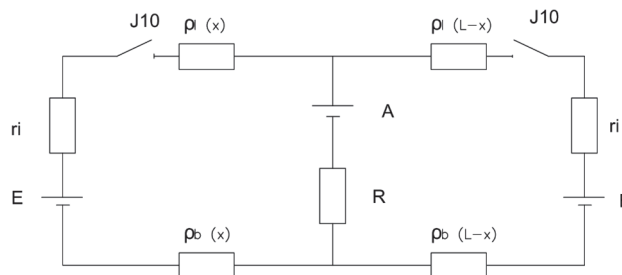


Figura 4.10 Circuito equivalente semplificato con guasto tipo C nella tratta SSE<sub>SUD</sub>-SSE del binario pari.

Nel circuito non compaiono né le SSE adiacenti alla limitrofa né i binari attigui in quanto nei calcoli verranno trascurati tutti gli eventuali apporti di corrente da essi provenienti. Tale approssimazione è in linea con la sicurezza di intervento delle protezioni in quanto le correnti in gioco sarebbero senz'altro più elevate.

I parametri elettrici del circuito di fig. 4.9 sono:

- La minima tensione a vuoto fornita dalla SSE

$$E = 3600 \text{ V};$$

- La massima resistenza interna della SSE corrispondente al funzionamento di un solo gruppo (poiché è più alta e quindi limita di più la corrente di guasto)

$$r_i = 0,2 \Omega;$$

- La resistenza del guasto (resistenza tra sostegno e binario con sostegno collegato al circuito di ritorno attraverso trefolo di terra)

$$R = 0,15 \Omega$$

- La tensione d'arco nel punto di guasto (valore trovato sperimentalmente)

$$A = 400 \text{ V}$$

- La resistenza per km di condutture di contatto da 440 mm<sup>2</sup> in Cu alla temperatura di esercizio di 80°C:

$$\begin{aligned} \rho_l &= \frac{\rho_{Cu(80^\circ C)}}{S_{Cu} \cdot \%usura} \cdot 10^9 \\ &= \frac{1,8 \cdot 10^{-8} \cdot [1 + 4,3 \cdot 10^{-3} \cdot (80 - 30)]}{440 \cdot 85\%} \cdot 10^9 \\ &= 0,0585 \Omega/km \end{aligned}$$

- La resistenza per km di binari UNI60:

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{1}{m} \left( \frac{1,29}{p} + \frac{0,2}{l} \right) \\ &= \frac{1}{2} \left( \frac{1,29}{60} + \frac{0,2}{100} \right) \\ &= 0,01175 \Omega/km \end{aligned}$$

- La distanza del punto di guasto dalla SSE<sub>SUD</sub>  $x$
- Gli Interruttori extrarapidi **J10**;
- La lunghezza della linea da proteggere **L**;

### Calcolo della corrente di taratura bassa dell'extrarapido J1

La taratura bassa sussiste in mancanza di una sola delle 3 condizioni definite in tabella 4.10 e si ha una protezione di tipo amperometrica senza asservimento.

L'interruttore extrarapido J1 alimenta il binario dispari della tratta SSE-SSE<sub>NORD</sub> (fig. 4.8) con le seguenti caratteristiche:

- LdC da 440 mm<sup>2</sup> in Cu;
- lunghezza L di circa 14712 m;
- rotaie tipo UNI 60;
- nessun PPD<sup>40</sup> o cabine TE intermedie.

Affinchè la protezione sia garantita occorre che scattino ambedue gli interruttori:

- J1 della SSE di studio;
- J9 della SSE<sub>NORD</sub>.

Questa condizione comprende in effetti le seguenti due condizioni, da soddisfare separatamente per qualsiasi posizione del guasto:

<sup>40</sup> Posto di Parallelo Doppio:

- a) Che al verificarsi del guasto scatti almeno uno dei due J. La situazione più sfavorevole la si ha quando il guasto è al centro tratta con gli ambedue interruttori J che alimentano il guasto stesso (fig. 4.11), pertanto:

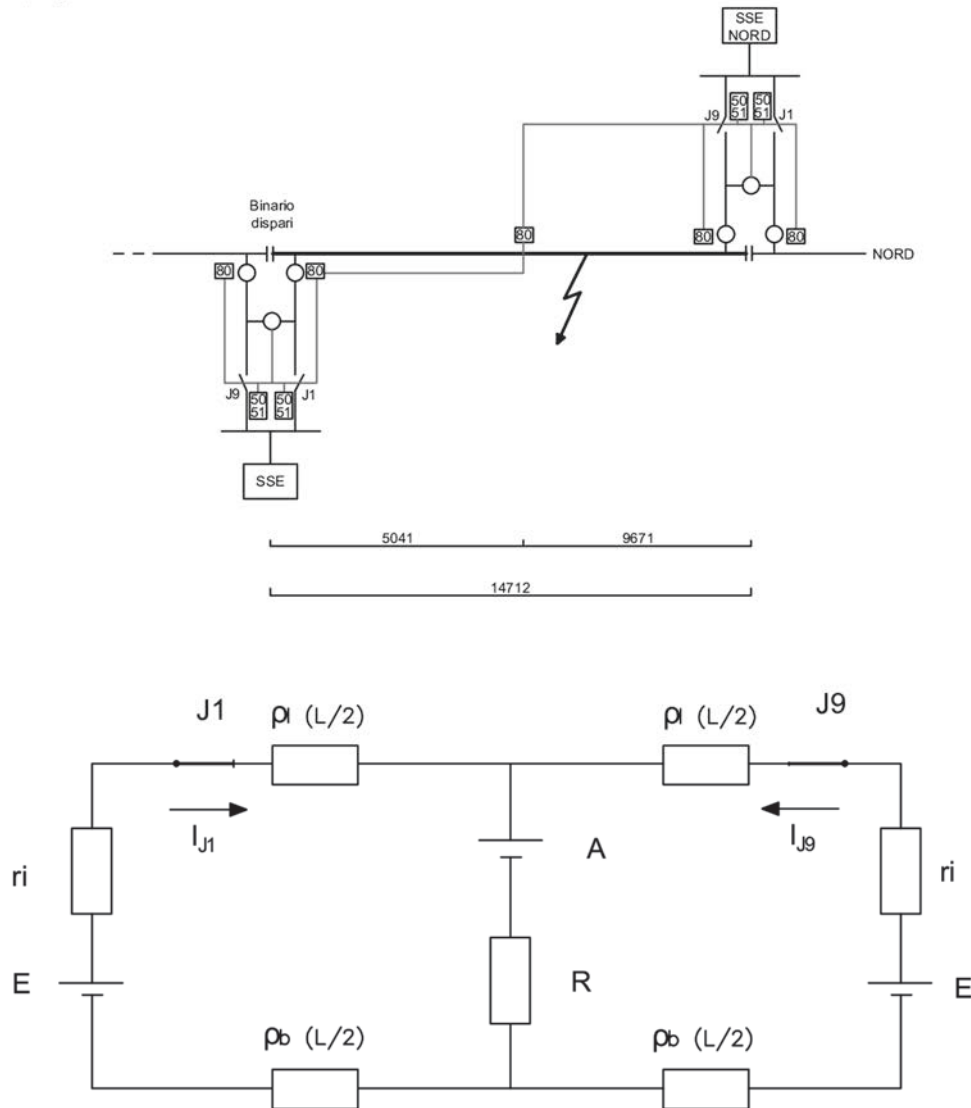


Figura 4.11 Guasto a centro tratta SSE-SSE<sub>NORD</sub> del binario dispari con entrambi extrarapidi chiusi: schema TE e circuito equivalente corrispondenti.

$$I_{J1} = I_{J9} = \frac{E - A}{r_i + \rho_l(L/2) + \rho_b(L/2) + 2R}$$

- b) Che dopo scattato il primo J scatti anche l'altro. La posizione più sfavorevole si ha quando il guasto è ad un estremo della tratta e quindi con uno dei due interruttori sicuramente aperto, pertanto:

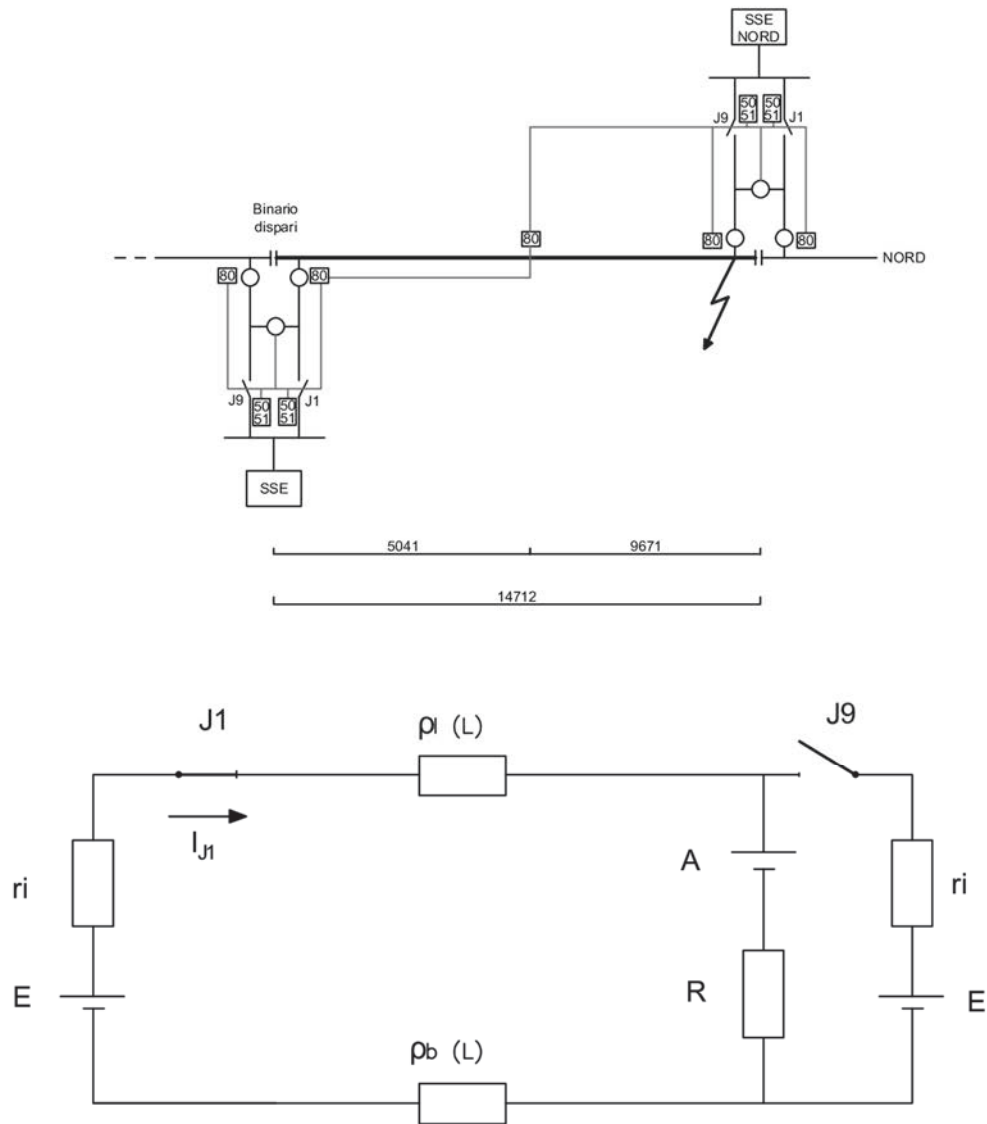


Figura 4.12 Guasto all'estremo della tratta SSE-SSE<sub>NORD</sub> del binario dispari con J9 aperto: schema TE e circuito equivalente corrispondenti.

$$I_{J1} = \frac{E - A}{ri + \rho_l(L) + \rho_b(L) + R}$$

Quindi, la taratura bassa massima che si può assegnare all'extrarapido è vincolata alla condizione più limitativa delle condizioni e precisamente quella relativa alla condizione b) per cui la *taratura bassa dell'extrarapido J1* risulta:

$$\begin{aligned} T \downarrow_{J1} &= \frac{E - A}{ri + \rho_l(L) + \rho_b(L) + R} \\ &= \frac{3600 - 400}{0,2 + 0,0585 \cdot 14,712 + 0,01175 \cdot 14,712 + 0,15} \\ &= 2312,0 \cong \mathbf{2300 A} \end{aligned}$$

### Calcolo della corrente di taratura bassa dell'extrarapido J2

L'extrarapido J2 sorveglia la tratta SSE-SSE<sub>NORD</sub> del binario pari di caratteristiche geometriche, fisiche ed elettriche analoghe a quelle della tratta del binario dispari sorvegliato da J1, pertanto il livello di bassa taratura è uguale:

$$T \downarrow_{J2} = T \downarrow_{J1} = \mathbf{2300 A}$$

**Calcolo della corrente di taratura bassa dell'extrarapido J9**

L'interruttore J9 sorveglia la tratta SSE-SSE<sub>SUD</sub> del binario dispari.

La procedura di calcolo è analoga a quanto fatto per la taratura bassa di J1; ciò che varia è solamente la lunghezza della tratta da sorvegliare ( $L=17571$ ) in quanto i parametri elettrici e fisici rimangono invariati, pertanto:

$$\begin{aligned} T \downarrow_{J9} &= \frac{E - A}{ri + \rho_l(L) + \rho_b(L) + R} \\ &= \frac{3600 - 400}{0,2 + 0,0585 \cdot 17,571 + 0,01175 \cdot 17,571 + 0,15} \\ &= 2019,7 \cong \mathbf{2000 A} \end{aligned}$$

**Calcolo della corrente di taratura bassa dell'extrarapido J10**

L'extrarapido J10 sorveglia la tratta SSE-SSE<sub>SUD</sub> del binario pari di caratteristiche geometriche, fisiche ed elettriche analoghe a quelle della tratta del binario dispari sorvegliato da J9, pertanto il livello di bassa taratura è uguale:

$$T \downarrow_{J10} = T \downarrow_{J9} = \mathbf{2000 A}$$

**Calcolo della corrente di taratura alta dell'extrarapido J1**

Attraverso l'integrazione dei sistemi di protezione: amperometrica, voltmetrica e asservimento, si possono ottenere delle elevate tarature degli extrarapidi.

L'asservimento consente che una volta individuato il guasto mediante la protezione amperometrica o voltmetrica, entrambi gli extrarapidi vengano aperti.

Per quanto riguarda la protezione voltmetrica, è determinata dal fatto che un ctocto sulla LdC è caratterizzato, oltre che da una corrente di guasto, da una caduta di tensione sulla linea provocata dalla corrente stessa. Mediante quindi i relè di minima tensione esistenti dislocati a circa metà tratte, misurando la tensione tra le condutture di contatto e un corrispondente punto del binario è possibile rilevare il guasto e provocare l'intervento degli extrarapidi afferenti tramite l'ASDE3.

Grazie all'asservimento quindi la condizione più limitativa risulta ora essere la a) con la differenza che la tratta che J1 deve sorvegliare risulta poco prima dell'RV posto a circa metà tratta asservito, pertanto:

$$\begin{aligned} T \uparrow_{J1} &= \frac{E - A}{ri + \rho_l(L_{SSE-RV}) + \rho_b(L_{SSE-RV}) + 2R} \\ &= \frac{3600 - 400}{0,2 + 0,0585 \cdot (5,000) + 0,01175 \cdot (5,000) + 2 \cdot 0,15} \\ &= 3994,1 \cong \mathbf{3900 A} \end{aligned}$$

**Calcolo della corrente di taratura alta dell'extrarapido J2**

L'extrarapido J2 sorveglia la tratta SSE-SSE<sub>NORD</sub> del binario pari di caratteristiche geometriche, fisiche ed elettriche analoghe a quelle della tratta del binario dispari sorvegliato da J1, pertanto il livello di alta taratura è uguale:

$$T \uparrow_{J2} = T \uparrow_{J1} = \mathbf{3900 A}$$

**Calcolo della corrente di taratura alta dell'extrarapido J9**

L'interruttore J9 sorveglia la tratta SSE-SSE<sub>SUD</sub> del binario dispari.

La procedura di calcolo è analoga a quanto fatto per la taratura alta di J1; ciò che varia è solamente la lunghezza della tratta da sorvegliare ( $L_{SSE-RV} \cong 7,900 \text{ km}$ ) in quanto i parametri elettrici e fisici rimangono invariati, pertanto:

$$T \uparrow_{J9} = \frac{E - A}{ri + \rho_l(L_{SSE-RV}) + \rho_b(L_{SSE-RV}) + 2R}$$

$$= \frac{3600 - 400}{0,2 + 0,0585 \cdot (7,900) + 0,01175 \cdot (7,900) + 2 \cdot 0,15}$$

$$= 3033 \cong \mathbf{3000 A}$$

**Calcolo della corrente di taratura alta dell’extrarapido J10**

L’extrarapido J10 sorveglia la tratta SSE-SSE<sub>SUD</sub> del binario pari di caratteristiche geometriche, fisiche ed elettriche analoghe a quelle della tratta del binario dispari sorvegliato da J9, pertanto il livello di alta taratura è uguale:

$$T \uparrow_{J10} = T \uparrow_{J9} = \mathbf{3000 A}$$

**4.1.5 Adeguamento reparto 3 kVcc all’aperto**

Nel reparto 3 kVcc si prevede la sostituzione degli scaricatori di tensione in quanto nelle nuove realizzazioni si installano quelli a ZnO, mentre il resto dell’apparecchiatura risulta correttamente funzionante.

**Scaricatori di sovratensione 3 kVcc [35]**

Si prevede l’installazione di *scaricatori* idonei per limitare le scariche elettriche che si manifestano negli impianti a 3 kVcc, *realizzati con dischi in ossido di metallo (Zn) incapsulati in una struttura rinforzata in fibra sigillata, con mastice termofusibile, al rivestimento esterno realizzato con materiale polimerico.* Devono essere di tipo antideflagrante e adatti per essere utilizzati all’esterno in presenza di qualsiasi condizione ambientale.

La struttura polimerica esterna deve avere alette tali da garantire le caratteristiche di tenuta esterna in ambienti molto inquinati mentre quella interna deve essere rinforzata con anelli di supporto in fibra di vetro al fine di garantire le caratteristiche di tenuta in condizioni di corto circuito, fornendo nel contempo robustezza meccanica ed un’appropriata capacità di aiuto nel sopportare la pressione. La struttura elettrica attiva deve essere costituita da blocchi di varistori a base di ZnO.

Essi devono attenersi a:

<u>STF RFI DTC ST E SP IFS SS 144 A</u>	“Scaricatori di sovratensione per gli impianti a 3 kVcc”	
<u>Norma CEI EN 50526-1</u>	“Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane – Impianti fissi – Scaricatori di sovratensione e limitatori di tensione in cc. Parte 1: Scaricatori di sovratensione”	
<u>Caratteristiche elettriche:</u>	Tensione di funzionamento continuativa $U_c$	$\geq 4,5$ kVcc
	Corrente nominale di scarica $I_n$ (8/20 $\mu$ s)	20 kA
	Massima corrente di impulso (4/10 $\mu$ s)	$\geq 150$ kA
	Corrente di cto-cto (per 0,2 s)	40 kAcc

	<i>Isolamento dell'involucro</i>	<i>Tensione di tenuta a secco a LI 1,2/50 <math>\mu</math>s</i>	$\geq 40$ kV
		<i>Tensione di tenuta sotto pioggia in cc per l'</i>	$\geq 40$ kV
	<i>Corrente assorbita durante il normale funzionamento</i>	$< 1$ ms	
	<i>Tensione restante ad impulso di corrente a fronte ripido alla <math>I_n</math> con fronte di salita <math>1\mu</math>s</i>	$\leq 14$ kV	
	<i>Caratteristica tensione restante – Corrente di scarica per LI</i>	<i>Tensione residua a 10 kA (50% <math>I_n</math>), 8/20 <math>\mu</math>s</i>	$\leq 12$ kV
		<i>Tensione residua a 10 kA (100% <math>I_n</math>), 8/20 <math>\mu</math>s</i>	$\leq 13$ kV
		<i>Tensione residua a 10 kA (200% <math>I_n</math>), 8/20 <math>\mu</math>s</i>	$\leq 14$ kV
	<i>Tensione restante ad SI</i>	<i>Impulso di corrente di manovra <math>I_{SW}</math></i>	$>1000$ A
		<i>Tensione residua alla <math>I_{SW}</math></i>	$\leq 10,5$ kV
	<i>Scariche parziali con scaricatore a <math>1,05 U_c</math></i>	$\leq 10$ pC	
	<i>Capacità di scarica alla <math>I_n</math></i>	$\geq 5,5$ As	
<u><i>Caratteristiche costruttive</i></u>	<i>Altezza</i>	$\leq 340$ mm	
	<i>Linea di fuga</i>	$\geq 315$ mm	
	<i>Peso</i>	$\leq 10$ kg	





<u>Norma CEI EN 50588-1</u>	“Trasformatori di media potenza a 50 Hz con tensione massima per l'apparecchiatura non superiore a 36 kV. Parte 1: Prescrizioni generali”			
<u>Norma CEI EN 60076-1</u>	“Trasformatori di potenza. Parte 1: Generalità”			
<u>Norma CEI EN 60076-2</u>	“Trasformatori di potenza. Parte 2: Sovratemperature in trasformatori immersi in liquidi”			
<u>Norma CEI EN 60076-3</u>	“Trasformatori di potenza. Parte 3: Livelli di isolamento, prove dielettriche e distanze isolanti in aria”			
<u>Norma CEI EN 60076-4</u>	“Trasformatori di potenza. Parte 4: Guida per l'esecuzione di prove con impulsi atmosferici e di manovra – Trasformatori di potenza e reattori”			
<u>Norma CEI EN 60076-5</u>	“Trasformatori di potenza. Parte 5: Capacità di tenuta al cortocircuito”			
<u>Norma CEI EN 60076-10</u>	“Trasformatori di potenza. Parte 10: Determinazione dei livelli di rumore”			
<u>Norma CEI EN 60076-11</u>	“Trasformatori di potenza. Parte 11: Trasformatori tipo a secco”			
<u>Norma CEI EN 50216-1</u>	“Accessori per trasformatori di potenza e reattori. Parte 1: Generalità.”			
<u>Norma CEI EN 50216-4</u>	“Accessori per trasformatori di potenza e reattori. Parte 4: Accessori di base.”			
<u>Norma CEI EN 60137</u>	“Isolatori passanti per tensioni alternate oltre 1000 V”			
<u>CEI EN 60214-1</u>	Commutatori. Parte 1: Prescrizioni relative alle prestazioni e ai metodi di prova.”			
<u>Caratteristiche elettriche:</u> (Confronto con TR SA in sostituzione)	Potenza nominale	250 kVA		
	Tensione nominale I°	2,71 kV (1355 V)		
	Tensione nominale II°	0,4 kV		
	Campo di regolazione rispetto alla $V_{1n}$	± 3 x 2,5 % (n.n.)		
	Frequenza nominale	50 Hz		
	Gruppo vettoriale	Dyn11		
	Stato del neutro	Disponibile		
	Livello di isolamento degli avvolgimenti:	Tensione di isolamento	Tensione di tenuta a $f$ industriale	Tensione di tenuta a LI ad onda piena 1,2/50 $\mu$ s
		7,2 kV <sub>rms</sub> (3,6 kV <sub>rms</sub> )	20 kV <sub>rms</sub> (10 kV <sub>rms</sub> )	60 kV <sub>peak</sub> (40kV <sub>rms</sub> )
		1,1 kV <sub>rms</sub>	3 kV <sub>rms</sub>	5 kV <sub>peak</sub>
Tensione alimentazione ausiliaria	132 Vcc			
<u>Caratteristiche costruttive</u>	Raffreddamento	AN		

	<i>Classe isolamento materiali isolanti</i>	≥ F
	<i>Avvolgimenti</i>	Concentrici in nastro di Al esente da bave e spigoli
	<i>Nucleo</i>	In lamierini a bassa cifra di perdita a cristalli orientati con giunti a 45° tipo Step-Laps o Cross-Laps

Tabella 4.12 Requisiti dei trasformatori per i SA.

**Trasformatore BT riserva Enel – TSA.R [38]**

La sostituzione del trasformatore di isolamento per l'alimentazione dalla riserva Enel dei SA è necessaria per garantire un isolamento superiore e pari a 15 kV.

Si prevede quindi l'installazione di *n. 1 trasformatore trifase di isolamento con n. 1 avvolgimento primario a 400 V e n.1 avvolgimento secondario a 400 V e raffreddamento AN*. Primario e secondario devono essere elettricamente separati tra loro e la costruzione deve essere tale per cui non vi sia alcuna possibilità di connessione diretta o indiretta tra questi circuiti attraverso altre parti metalliche.

L'isolamento tra gli avvolgimenti e la massa (e lo schermo di protezione<sup>42</sup>) deve essere un isolamento pari a 15 kV, superiore all'isolamento normalmente richiesto dalle specifiche.

Esso deve rispondere ai seguenti requisiti:

<u>STF RFI DTCDNSSSTB SF IS 06 365 A</u>	“Trasformatori d'isolamento 1f e 3f a raffreddamento naturale in aria destinati agli impianti di sicurezza e segnalamento”	
<u>Norma CEI EN 61588-1</u>	“Sicurezza nei trasformatori, delle unità di alimentazione, dei reattori e prodotti simili. Parte 1: prescrizioni generali e prove” “Sicurezza nei trasformatori, delle unità di alimentazione, dei reattori e prodotti simili. Parte 2-4: prescrizioni particolari per trasformatori d'isolamento per uso generale”	
<u>Norma CEI EN 61588-2,4</u>		
<u>Caratteristiche elettriche:</u> (Confronto con TSA.R in sostituzione)	<i>Potenza nominale</i>	30 kVA
	<i>Tensione nominale I°</i>	400 V
	<i>Tensione nominale II°</i>	400 V
	<i>Tipo</i>	II <sup>43</sup> (n.n.)
	<i>Frequenza nominale</i>	50 Hz
	<i>Gruppo vettoriale</i>	Dyn11
	<i>Tensione di isolamento</i>	<i>Tenuta a f industriale</i>
	<i>Tenuta ad impulso</i>	15 kV (12 kV)
<u>Caratteristiche costruttive</u>	<i>Raffreddamento</i>	AN
	<i>Classe isolamento materiali isolanti</i>	F (n.n.)

Tabella 4.13 Requisiti dei Trasformatore di riserva bt.

<sup>42</sup> Lamina di rame interposta tra I° e II° connessa alla massa insieme al nucleo.

<sup>43</sup> Trasformatore in cui la protezione contro la scossa elettrica non si basa unicamente sull'isolamento principale ma anche su misure di sicurezza supplementari come l'isolamento doppio o rinforzato, non essendoci a disposizione misure quali la messa a terra di protezione né potendo fare affidamento sulle condizioni di installazione.

#### 4.1.6 Disposizione dei RM, PAG e RR per l'AP

La collocazione dei Relè di Massa RM (codice ANSI 64cc e 64ca), dei Pulsanti di Apertura Generale PAG e dei Relè Direzionali RR per l'Apertura Generale AG è mostrata in fig. 4.13:

*DISPOSIZIONE NEL FABBRICATO RADDRIZZATORI  
DEI PULSANTI PER L'APERTURA GENERALE (P.A.G.) DA USARE  
IN CASO DI EMERGENZA,  
DEI RELE' DI MASSA (RM) E DEI RELE' DIREZIONALI (RR)*

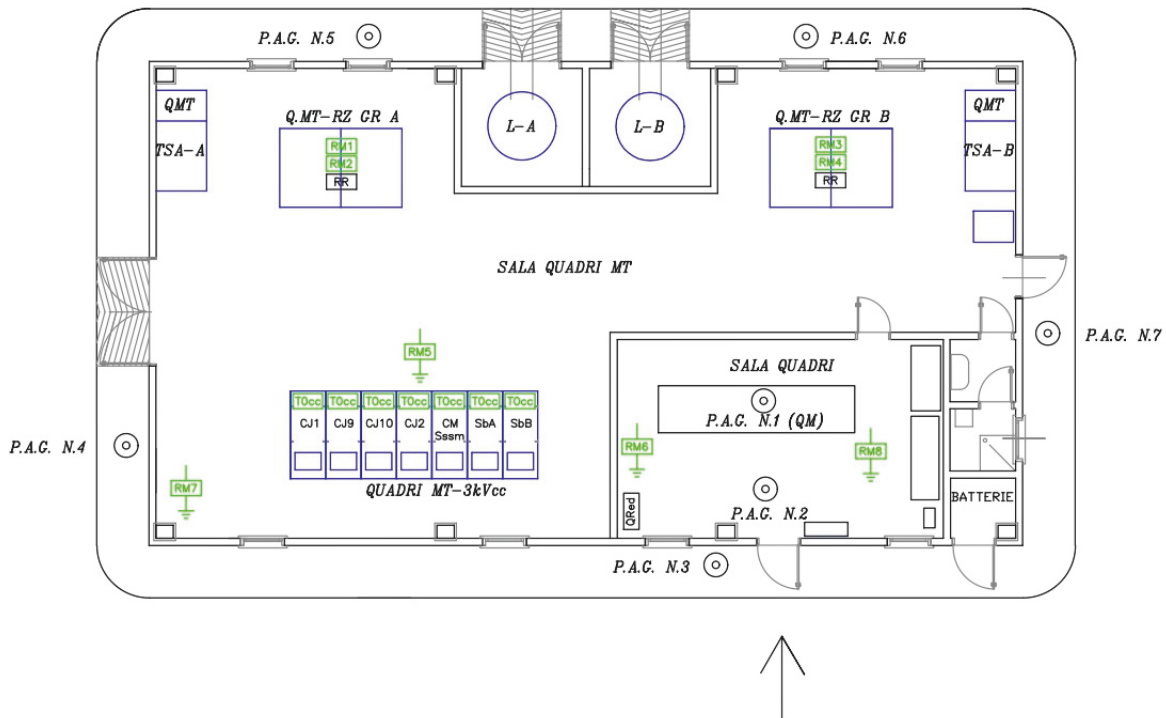
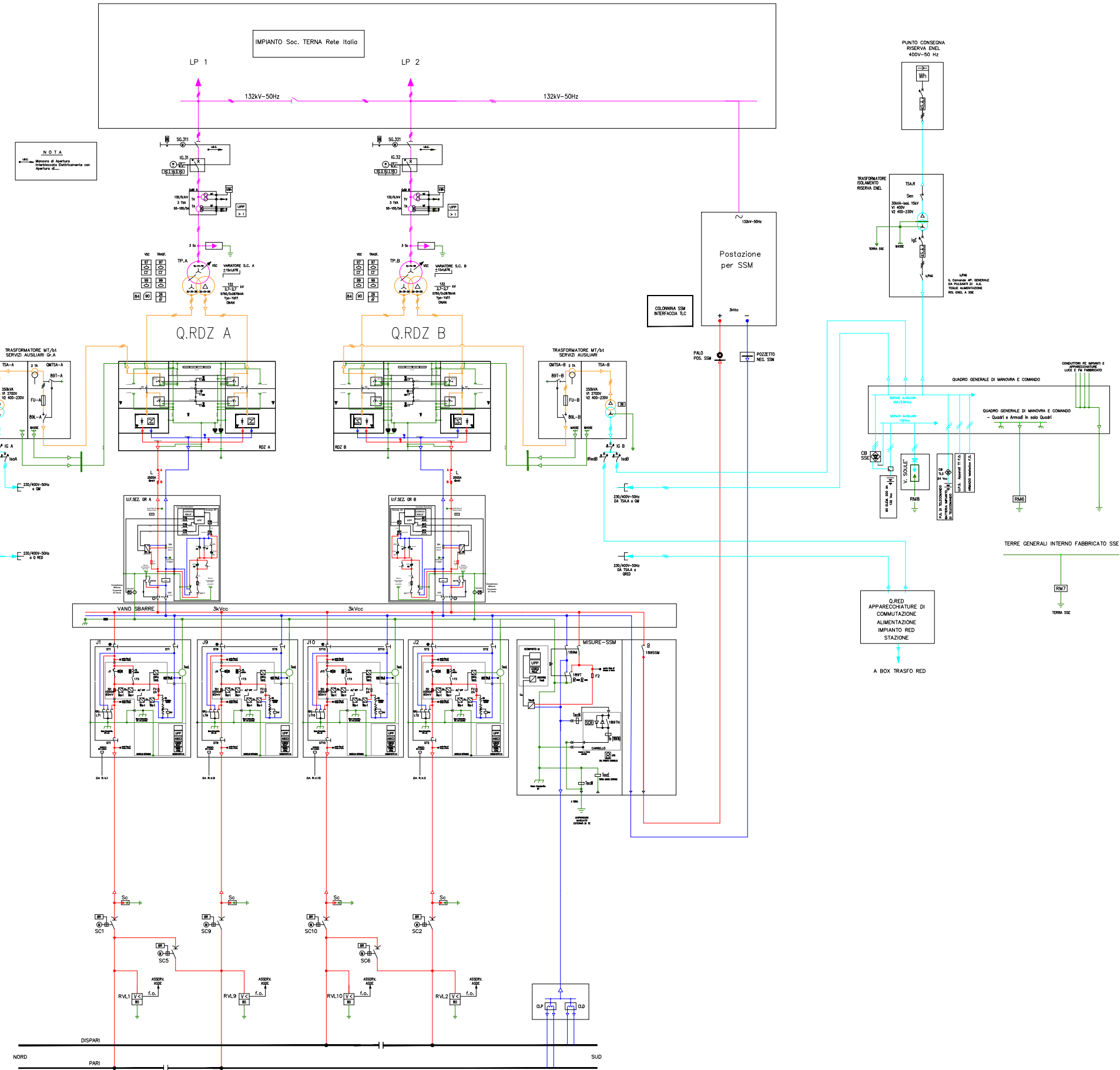


Figura 4.13 Disposizione dei RM, PAG e RR nel fabbricato.

#### 4.1.6 Schema unifilare di potenza completo

Il progetto definitivo quindi si sintetizza a livello circuitale nello schema unifilare di potenza della Tavola 6 dove si è utilizzato:

- il viola per indicare i conduttori in AT a 132 kV;
- l'arancione per indicare i conduttori in MT alla tensione di 2710 V;
- il verde per indicare i conduttori di terra;
- il rosso per indicare il conduttore positivo del 3 kVcc;
- il blu per indicare il conduttore negativo del 3 kVcc;
- l'azzurro per indicare i conduttori per i SA.



**N O T A**  
 - - - - - Manovra di Apertura  
 - - - - - Manovra di Chiusura  
 - - - - - Apertura S.C.

PUNTO CONSEGNA  
 RISERVA ENEL  
 400V-50 Hz

Postazione  
 per SSM

TRASFORMATORE  
 SOLLEVAMENTO  
 RISERVA ENEL

QUADRO GENERALE DI MANOVRA E COMANDO  
 - Quasi e Armato in solo Quasi

Q. RED  
 APPARECCHIATURE DI  
 COMUTAZIONE  
 ALIMENTAZIONE  
 IMPIANTO RED  
 STAZIONE

A BOX TRASFO RED

TERRE GENERALI INTERNO FABBRICATO SSE

DISPARI  
 NORD  
 PARI  
 SUD

Tavola n.		6
Caratteristiche elaborato	Stato di progetto	
	Scala:	--/--
	Unità di misura	--
Titolo elaborato: SSE di intervento Schema unifilare di potenza		

## 4.2 Progetto del layout generale

Ciò che è stato rappresentato nello schema unifilare di potenza deve essere ora implementato anche a livello di layout nella planimetria generale di progetto inserendo le apparecchiature in scala cercando di rispettare le distanze minime tali da garantire il coordinamento all'isolamento come definito dalla norma CEI EN 50124-1 “*Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filotranviarie, metropolitane – Coordinamento degli isolamenti – Parte 1: Requisiti base – Distanze in aria e distanze superficiali per tutta l'apparecchiatura elettrica ed elettronica*” e consentire alcune funzionalità importanti quali ad esempio:

- l'accessibilità massima verso tutte le apparecchiature del reparto AT per interventi di manutenzione anche con veicoli speciali (autocarro, autocarro con gru, sollevatori ecc.);
- lo sfruttamento dello spazio in sala quadri il migliore possibile;
- la predisposizione dello spazio riservato per le apparecchiature di futura installazione (GdM).

Per adempire alle necessità di cui sopra risulta ragionevole la soluzione mostrata nel progetto della Tavola 7 (in rosso ciò che si è definito) in cui si è attuato:

- A. L'installazione di un sezionatore e di un interruttore AT per ogni stallo di gruppo opportunamente distanziati in maniera da permettere eventuali interventi di manutenzione su uno degli interruttori senza necessità di toltensione della sbarra AT di competenza Terna e mantenendo anche in servizio l'altro gruppo. La procedura di intervento è più intuibile con l'esempio mostrato in fig. 4.14:

*Esempio: necessario intervento di manutenzione sull'IG.31 della fase R (in arancione)*

*IG.31 → aperto (in manutenzione);*

*SG.311 → aperto;*

*IG.32 → chiuso;*

*SG.321 → chiuso;*

*IL.24 → chiuso;*

*IL.26 → chiuso;*

*SS.900 → chiuso;*

*Con questa disposizione delle apparecchiature, un operatore riesce ad eseguire interventi di manutenzione sugli interruttori di gruppo:*

- *mantenendosi ad una distanza di sicurezza di quasi 6,5 m dai conduttori in tensione a 132 kV (in rosso);*
- *senza necessaria apertura della sbarra AT di Terna;*
- *mantenendo in esercizio l'altro gruppo.*

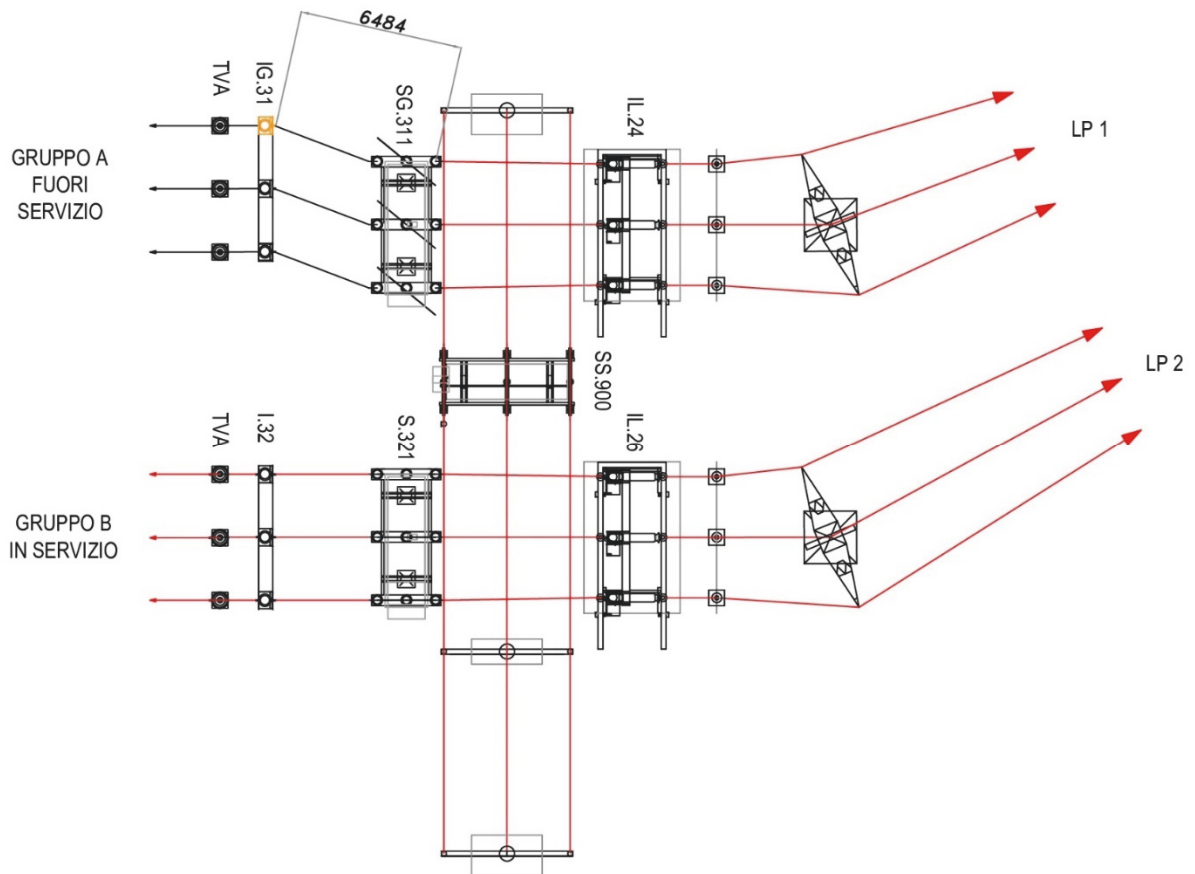


Figura 4.14 Intervento di manutenzione sull'interruttore IG.31

- B. La predisposizione di basamenti in calcestruzzo armato necessari per la futura installazione dei GdM per ogni stallo di gruppo e del chiosco contatori, in modo da eliminare del tutto la necessità di scavi e demolizioni nel prossimo cantiere con Terna;
- C. La demolizione e ricostruzione delle vasche dei TR per esigenze di ridimensionamento e spostamento, in quanto i TR di potenza definiti dalla nuova STF RFI DTC ST E SP IFS SS 193A sono dimensionalmente più grandi (*Larghezza*  $\leq 5500$  mm e *Lunghezza*  $\geq 3200$  mm) e pertanto le attuali vasche non sarebbero di misure adeguate per il contenimento dei nuovi TP come mostrato nella figura 4.15:

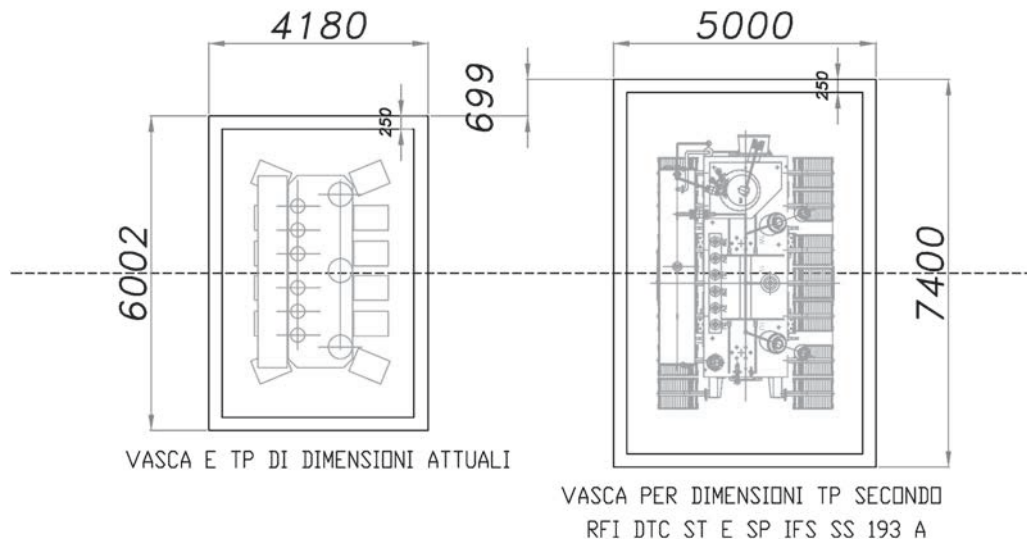


Figura 4.15 Confronto delle dimensioni delle vasche dei TP.

Inoltre, se la nuova vasca fosse costruita nella stessa posizione di quelle esistenti, non si avrebbe:

- una sufficiente disponibilità di spazio fra la sbarra AT e i TP per l'installazione di SG, IG, TVA e SC;
- un adeguato passaggio per i veicoli necessari alla manutenzione fra i due stalli di gruppo.

Per risolvere questi ulteriori problemi si attuano le soluzioni di cui al punto successivo.

D. Lo spostamento verso il fabbricato delle vasche dei TP (a 4300 mm dal muro), il disassamento dello stalli di gruppo A rispetto alla mezzaria del fabbricato di 1400 mm e lo spostamento del muro parafiamma a ridosso della vasca del TP.A (fig. 4.16) in maniera tale da:

- garantire un opportuno passaggio per la manovra di entrata/uscita degli autocarri nel corridoio fra i due stalli di gruppo necessario in caso di interventi di manutenzione;
- allungare la distanza lineare tra sbarra AT e vasche TP per permettere l'installazione di un numero di apparecchiature maggiore (SG, IG, TVA e SC);
- garantire la distanza minima di 3 m dal fabbricato dei trasformatori di potenza isolati in olio come richiesto dal D.M. del 15 luglio 2014 (motivi di sicurezza e antincendio).

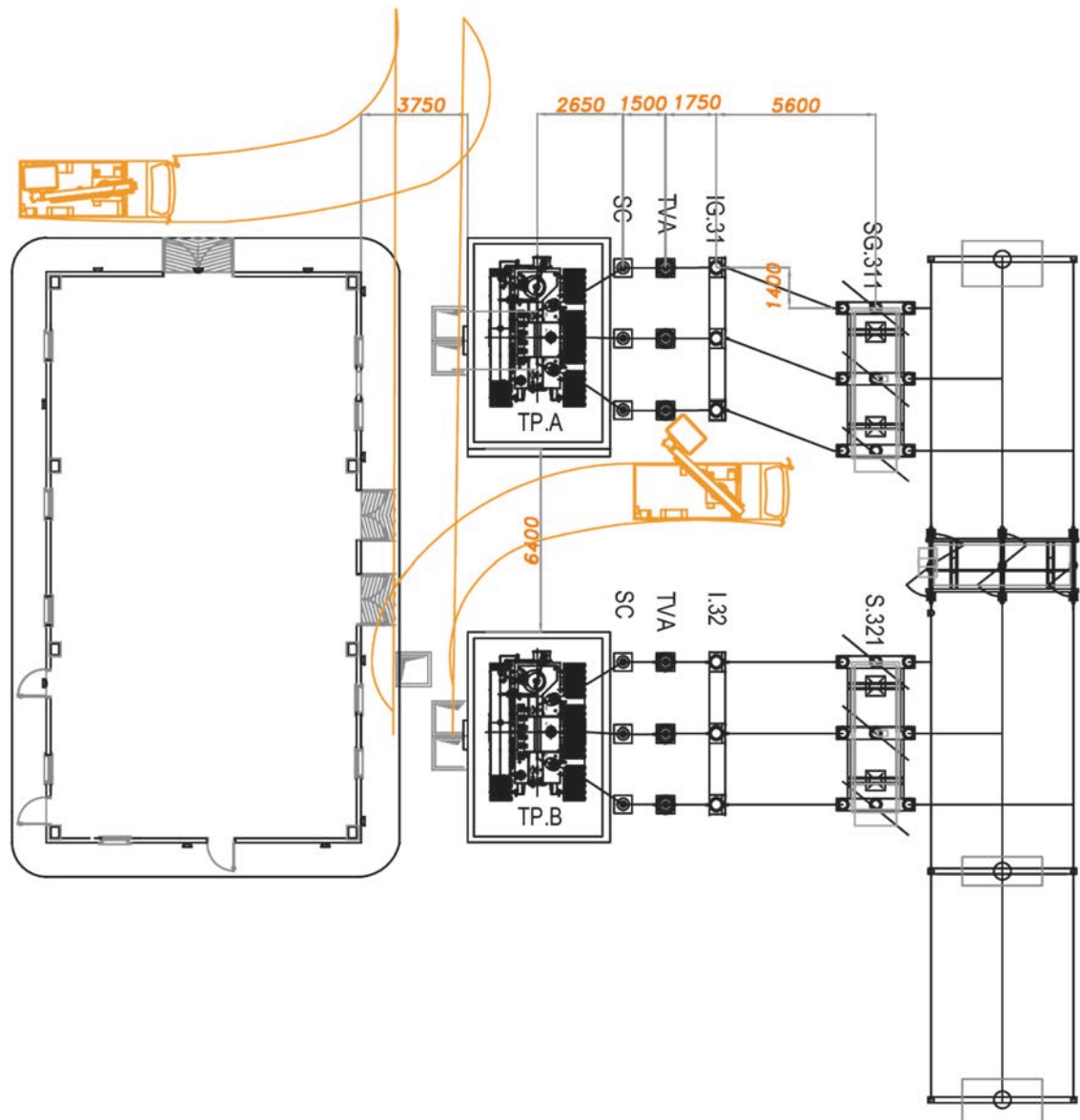


Figura 4.16 Interventi nel piazzale AT.



Questo spostamento richiede però la demolizione e ricostruzione della canalizzazione per i conduttori MT in uscita dal TR<sub>A</sub>;

- E. L'installazione di un impianto di illuminazione esterno (fig. 4.17) necessario per eventuali interventi di manutenzione spesso notturni sul piazzale;

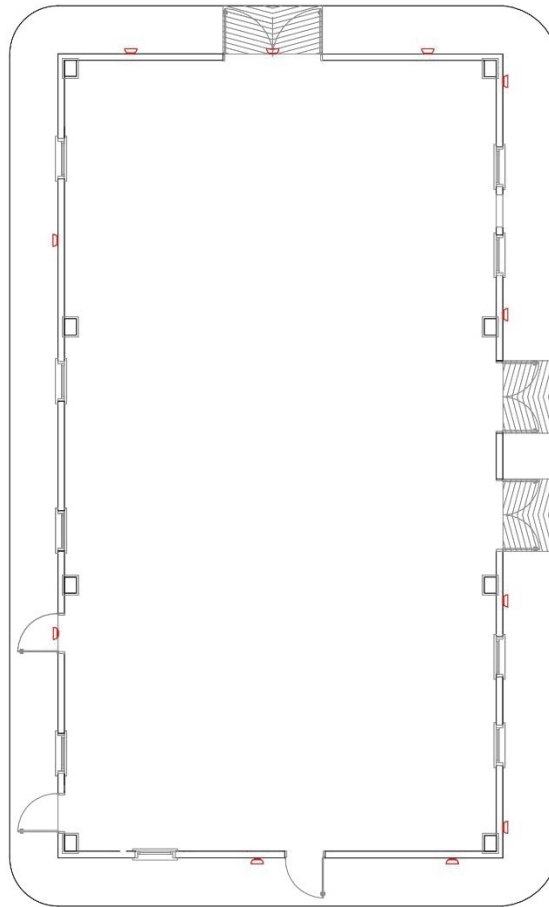


Figura 4.17 Disposizione dell'impianto di illuminazione esterno.

- F. Il posizionamento degli armadi blindati RZ di dimensioni superiori (2200x2500) nella stessa collocazione degli esistenti in modo da:
- riutilizzare le canalizzazioni per i cavi MT;
  - avere un'accessibilità disponibile anche sul retro per la manutenzione degli armadi;
  - lasciare libera la parete interna del fabbricato lato TP;
- G. L'installazione delle celle 3 kVcc nella stessa posizione di quelle esistenti tenendo conto che:
- le dimensioni sono superiori e pari a 800x2200 mm;
  - non si ha più l'accesso dall'alto ma dal basso dei cavi BT per il collegamento con i quadri di comando, con conseguente necessità di costruire una canalizzazione che si collega al cavidotto del positivo come mostrato nella figura 4.18:

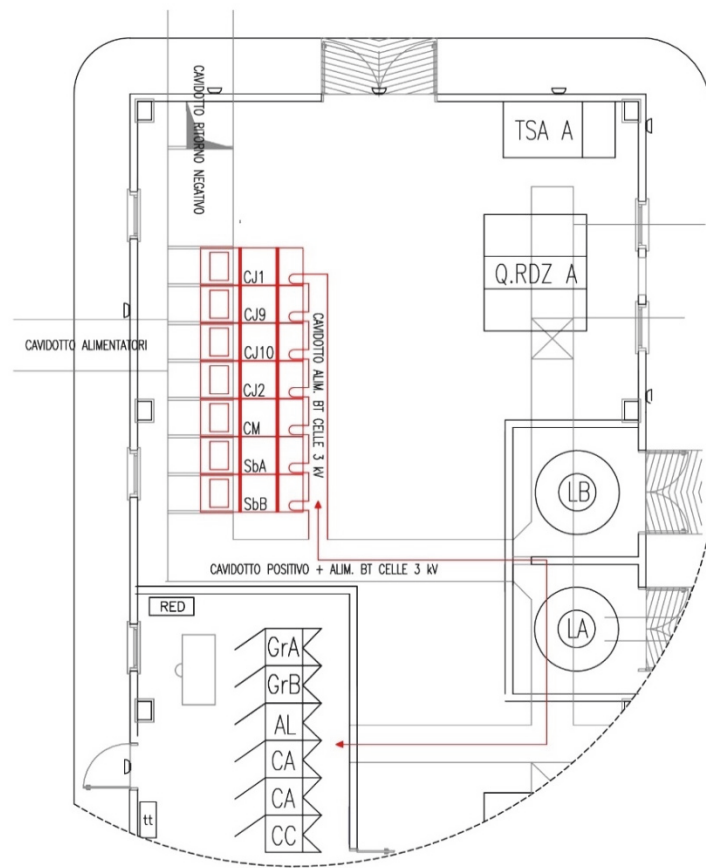


Figura 4.18 Posizionamento delle unità 3 kVcc e costruzione di un cavidotto per i cavi bt.

Tavola n.		7
Caratteristiche elaborato	Stato di progetto	
	Scala:	--/--
	Unità di misura	--
Titolo elaborato: SSE di intervento Layout generale		

- H. Il posizionamento dell'armadio caricabatterie nella sala apparecchiature 3 kVcc in modo da:
- fornire più spazio alla sala quadri;
  - eliminare dalla sala quadri il rumore prodotto.
- I. La nuova disposizione dei quadri di comando è mostrata in fig. 4.19 dove si è realizzato un miglior sfruttamento dello spazio realizzando i quadri GrA, GrB, AL, CA, CA e CC con accessibilità sia frontale che posteriore.

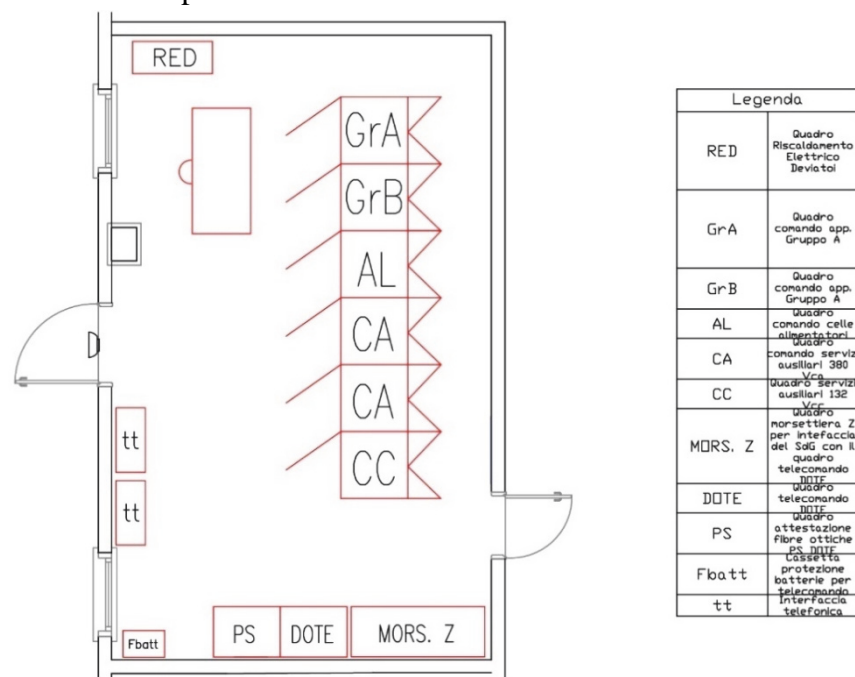
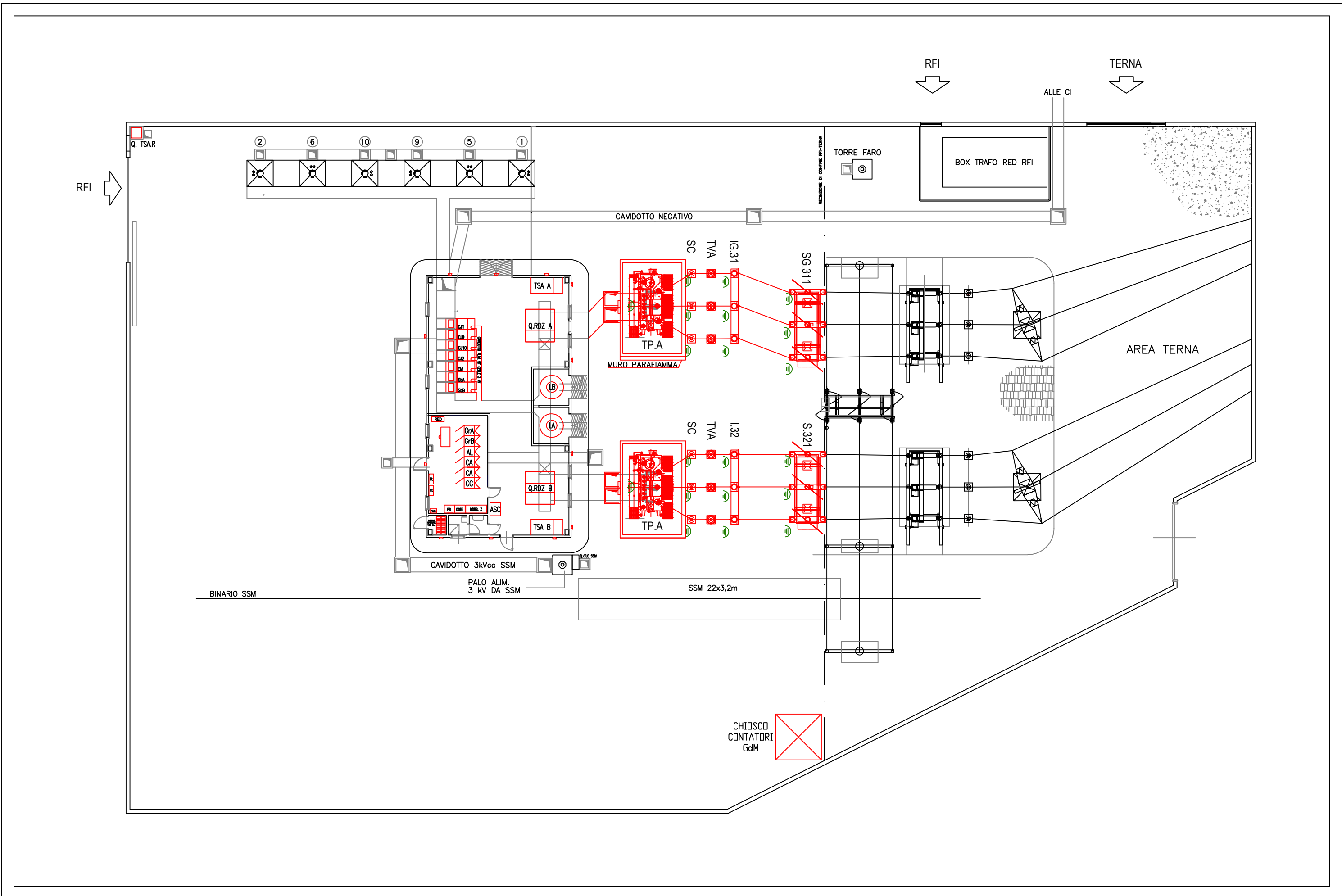


Figura 4.19 Disposizione dei quadri di comando nella sala quadri.



### 4.3 Procedura d'intervento

La SSE fornisce alimentazione ad una tratta ferroviaria fortemente frequentata (soprattutto da traffico merci il quale richiede un consistente assorbimento di potenza). Il fuori servizio totale della SSE nel periodo di lavori di rinnovo costituirebbe un allungamento della tratta di LdC che le SSE adiacenti dovrebbero alimentare (mediante apertura dei sezionatori di prima fila 1, 2, 9, 10 e chiusura dei sezionatori di seconda fila 5 e 6).

Come risultato si ha un abbassamento della tensione fornita al pantografo che andrebbe a determinare una minore prestazione dei rotabili e nel caso peggiore l'apertura degli extrarapidi.

A livello di calcoli, la tensione al pantografo è garantita sempre al di sopra dei livelli minimi grazie al ridotto passo tra le SSE, senza necessità quindi di ridurre il normale traffico ferroviario (nella tratta SSE<sub>SUD</sub>-SSE<sub>NORD</sub> normalmente non si ha la circolazione contemporanea di più di 1 treno).

*Esempio: SSE fuori servizio (fig. 4.20)*

*I binari pari e dispari continuano ad essere alimentati dalla SSE<sub>NORD</sub> e SSE<sub>SUD</sub>, ciascuno con alimentazione bilaterale grazie alla chiusura dei sezionatori 5 e 6 di seconda fila della SSE fuori servizio (continuità metallica esterna).*

*In ipotesi di:*

- SSE<sub>NORD</sub> e SSE<sub>SUD</sub> funzionanti alla stessa tensione  $E = V_N = V_S = 3600 \text{ V}$ ;
- Carico concentrato di  $J = 1000 \text{ A}$  (treno in avviamento) che percorre la tratta SSE<sub>SUD</sub>-SSE<sub>NORD</sub> del binario pari;

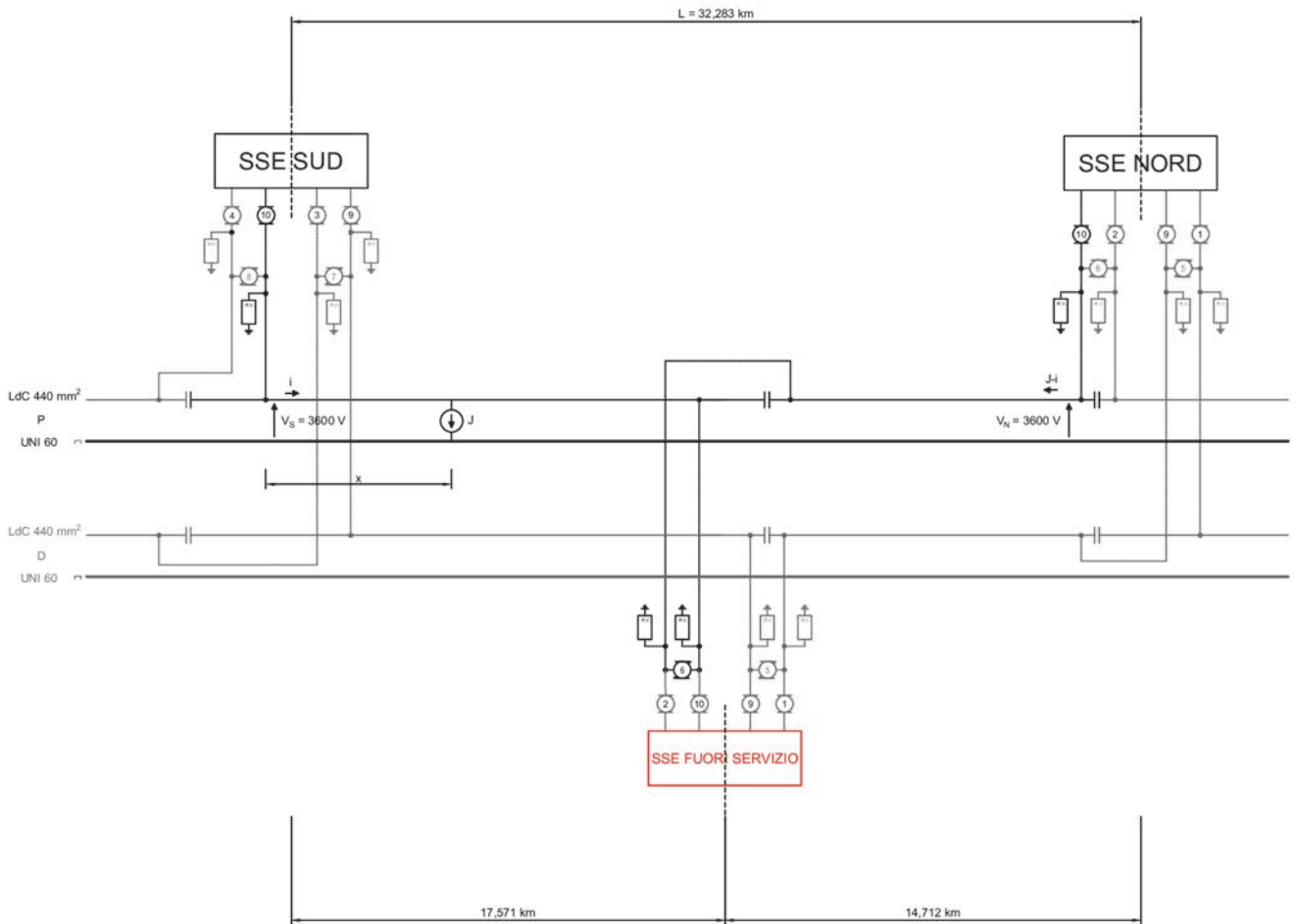


Figura 4.20 Alimentazione bilaterale della tratta SSE<sub>SUD</sub>-SSE<sub>NORD</sub> mediante SSE<sub>SUD</sub> e SSE<sub>NORD</sub>

Nella tratta del binario pari (analogamente accadrebbe per il binario dispari), non essendoci feeder o PPD<sup>44</sup> lungo la tratta, la caduta di tensione  $\Delta V_x$  varia con legge quadratica lungo la LdC (ascissa  $x$ ):

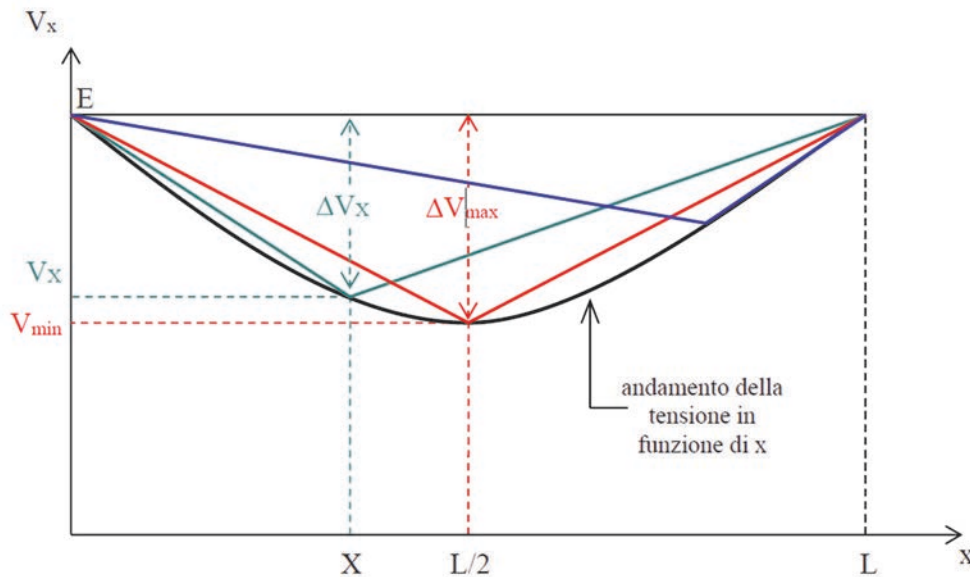


Figura 4.21 Andamento della caduta di tensione lungo la LdC.

$$\Delta V_x = r \cdot J \cdot \frac{(L - x)}{L} \cdot x$$

e il punto in cui si ha cdt massima il treno si trova nella posizione:

$$x = \frac{L}{2} = 16,141 \text{ km}$$

ovvero appena a sinistra della SSE fuori servizio.

Essa è pari a:

$$\Delta V_{max} = \frac{r \cdot L \cdot J}{4} = \frac{(0,0585 + 0,01175) \cdot 32,283 \cdot 1000}{4} \cong 567 \text{ V}$$

e mi determina quindi una tensione minima al pantografo di:

$$V_{L/2} = E - \Delta V_{max} = 3033 \text{ V}$$

valore ben superiore ai 2500 V di tensione minima assoluta concessa in condizioni di normale esercizio.

L'esempio dimostra che in condizioni di intervento di rinnovo ( $\rightarrow$  necessario fuori servizio della SSE), il normale traffico ferroviario viene comunque garantito. Tuttavia per prevedere eventuali situazioni indesiderate di aggravamento (esempio: guasto o intervento di manutenzione nelle SSE vicine) e garantire un buon livello del servizio, la SSE verrà bypassata da una Sottostazione Mobile (SSM), ovvero un apparato formato da apparecchiature elettromeccaniche di caratteristiche analoghe a quelle in SSE fisse disposto su un supporto mobile, che può essere un carrello ferroviario o un box trasportabile si rimorchi gommati (fig. 4.22), il cui compito è quello di eseguire le stesse funzioni della

<sup>44</sup> Posti di Parallelo Doppio.

SSE fissa (ma con un solo gruppo) durante il periodo di intervento in maniera tale da garantire una più ottimale e sicura tensione sulla LdC della tratta interessata.



Figura 4.22 Sottostazione mobile.

Tale apparato non è tuttavia dotato di celle alimentatori, di conseguenza è necessario provvedere al posizionamento di un box provvisorio che contiene gli alimentatori necessari per la protezione TE chiamato “Box Alimentatori ONAE<sup>45</sup>” (fig. 4.23). Senza quest’ultimo apparato sarebbe necessario l’utilizzo delle celle alimentatori interne alla SSE e quindi di fatto dei vincoli nelle lavorazioni all’interno del fabbricato.

La procedura di intervento dei lavori si compone principalmente di 6 fasi:



Figura 4.23 Box alimentatori ONAE.

#### FASE 1. Collegamento della SSM alla sbarra AT Terna + misure e verifiche delle grandezze.

Questa fase prevede la temporanea disalimentazione della semi-sbarra AT Terna lato SSM con conseguente temporaneo fuori servizio del gruppo B per attuare il collegamento delle corde nude ai tubolari della sbarra mediante morsetti sull’apposito spazio previsto per la SSM. Al termine del collegamento AT della SSM verrà ripristinata l’alimentazione della semi-sbarra (chiusura di IL.26, SL.260 e SS.900). A seguito di ciò si avrà:

- la SSE in normale servizio con i due gruppi;
- la SSM in tensione, così da poter eseguire opportune misure e prove sulle grandezze e individuare subito eventuali malfunzionamenti.

<sup>45</sup> Officina Nazionale Apparecchiature Elettriche.

FASE 2. Collegamento dell'impianto provvisorio alle LdC e prova del servizio contemporaneo di SSE + SSM per qualche settimana.

L'impianto provvisorio si compone di:

- SSM;
- Box Alimentatori ONAE dotata di 4 celle alimentatori;
- Cavi di collegamento tipo RG7H1R;
- Collettore del negativo per gestire le connessioni dei cavi del negativo;
- Box servizi ausiliari.

La procedura di collegamento prevede la temporanea apertura degli extrarapidi J1, J2, J9 e J10 e relativi sezionatori di 1<sup>a</sup> fila SC1, SC2, SC9 e SC10, degli interruttori di gruppo della SSE IG.31 e IG.32 (e relativi SG.311 e SG.321) e dell'interruttore di gruppo (e relativo sezionatore) della SSM in modo che SSE e SSM siano entrambe fuori servizio e a terra. L'architettura dell'impianto provvisorio in questa fase è mostrata a livello di layout nella Tavola 8 e anche a livello di schema di potenza nella Tavola 9 in cui si può notare che:

- Il Box Alimentatori, viene alimentato mediante 5 cavi unipolari da 500 mm<sup>2</sup> tipo RG7H1R 8,7/15 kV del positivo proveniente dalla SSM, e contiene al suo interno n. 4 celle alimentatori analoghe a quelle installate nel fabbricato e loro numerazione riprende la stessa logica. Il suo scopo è di escludere totalmente la SSE per la fase dei lavori interni al fabbricato;
- Il collettore del negativo è installato in prossimità del fabbricato e del cavidotto del negativo proveniente dai binari e ad esso sono attestati:
  1. n. 5 cavi unipolari da 500 mm<sup>2</sup> tipo RG7H1R del negativo proveniente dalla SSM;
  2. n. 1 cavo unipolari da 500 mm<sup>2</sup> tipo RG7H1R del negativo che si collega al Box alimentatori, il quale ha l'unico scopo di fornire il potenziale del negativo per le misure;
  3. n. 5 cavi unipolari da 500 mm<sup>2</sup> tipo RG7H1R che vanno a collegarsi alla sbarra del negativo all'interno dello scompartimento SO della cella misure e negativi.

Il vantaggio del collettore è di riuscire a salvaguardare i cavi del negativo esistenti tra CI e celle 3 kV.

Al termine del collegamento del provvisorio si ristabilisce l'alimentazione chiudendo tutti gli interruttori e sezionatori di cui sopra. A seguito di ciò, SSE e SSM (salvo anomalie) sono in servizio contemporaneo e viene mantenuto tale per una settimana in maniera da essere sicuri sul corretto funzionamento della SSM che dovrà poi funzionare da sola per un periodo relativamente lungo.

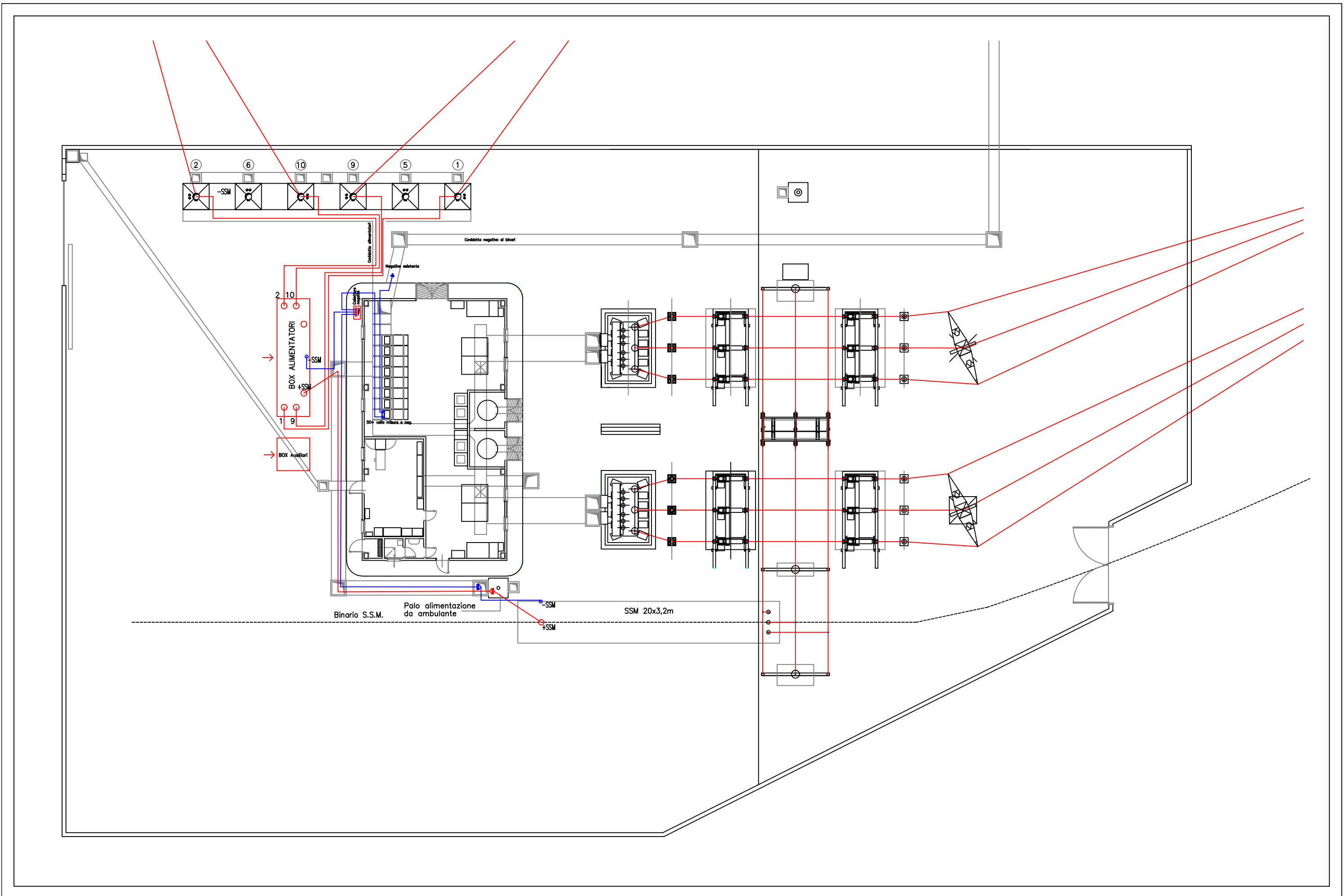




Tavola n.		8
Caratteristiche elaborato	Stato di progetto	
	Scala:	--/--
	Unità di misura	--
Titolo elaborato: SSE di intervento Layout generale Fase 2: disposizione del provvisorio		



Tavola n.		9
Caratteristiche elaborato	Stato di progetto	
	Scala:	--/--
	Unità di misura	--
Titolo elaborato: SSE di intervento Schema unifilare di potenza Fase 2: disposizione del provvisorio		

FASE 3. Scollegamento della SSE lato AT e lato 3 kV, funzionamento della sola SSM e avvio dei lavori di rinnovo. In questa fase si richiede nuovamente l'apertura degli IL.24 e IL.26 (e rispettivi SL.240 e SL.260), degli extrarapidi J1, J2, J9 e J10 e relativi sezionatori di 1<sup>a</sup> fila SC1, SC2, SC9 e SC10, dei 4 extrarapidi J del Box alimentatori.

La disalimentazione della sbarra AT è necessaria per:

- scollegare i tubolari T40 tra sbarra AT e i “moduli compatti sezionatore-interruttore” degli stalli di gruppo;
- scollegare i cavi alimentatori in uscita dalle celle 3 kV del fabbricato fino ai pali TE;
- scollegare il negativo proveniente dalle CI e attestarne al collettore provvisorio.

A seguito di ciò vengono chiusi gli interruttori e sezionatori di linea (IL.24, IL.26, SL240 e SL.260) e la sbarra AT fornisce ora solo l'alimentazione alla SSM, la quale, mediante il Box alimentatori con extrarapidi chiusi, fornisce l'alimentazione alla TE. La SSE ora risulta isolata sia lato AT che lato 3 kV ed è possibile avviare tutti i lavori di rinnovo come mostrato a livello di layout nella Tavola 10 e a livello di schema di potenza nella Tavola 11.



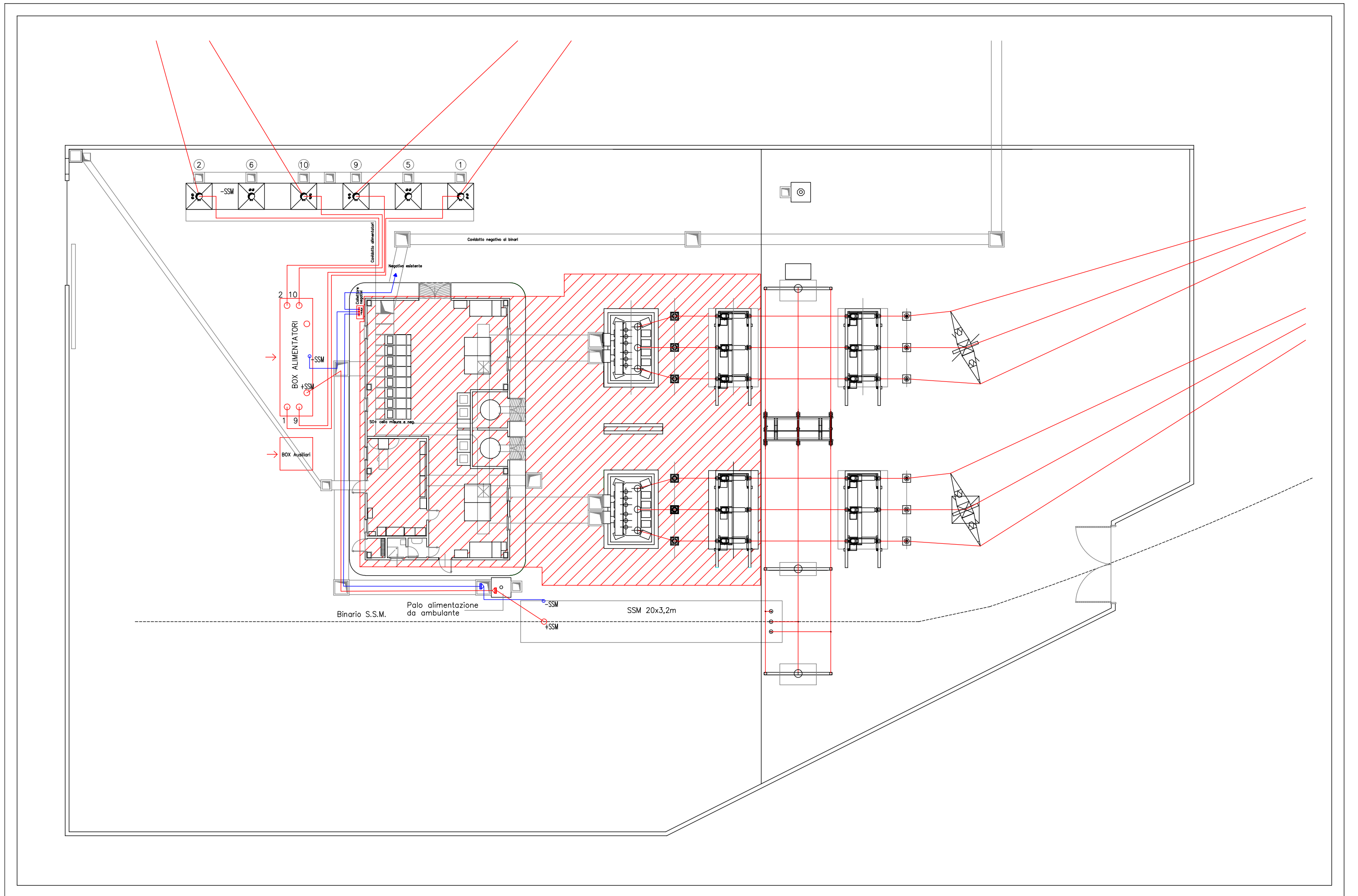


Tavola n.		10
Caratteristiche elaborato	Stato di progetto	
	Scala:	--/--
	Unità di misura	--
Titolo elaborato: SSE di intervento Layout generale Fase 4: funzionamento della sola SSM		





Tavola n.		11
Caratteristiche elaborato	Stato di progetto	
	Scala:	--/--
	Unità di misura	--
Titolo elaborato: SSE di intervento Schema unifilare di potenza Fase 4: funzionamento della sola SSM		

FASE 4. Alimentazione della nuova SSE lato AT per verifiche e prove. Al termine dei lavori di rinnovo della SSE in piazzale e in fabbricato, dopo aver eseguito opportune prove e collaudi sulle apparecchiature non alimentate dalla sbarra AT, si procede con il collegamento della SSE lato AT previa apertura degli IL.24, IL.26 (e SL.240, SL.260) e successiva chiusura. In questa situazione la nuova SSE riceve solo l'alimentazione dalla sbarra AT (mentre l'energia per la TE è ancora assicurata dalla SSM) ed è possibile eseguire prove e verifiche sul corretto funzionamento delle apparecchiature, enti, SdG e il complesso nel suo insieme.

FASE 5. Collegamento della SSE lato 3 kV e prova di funzionamento in esercizio normale in parallelo alla SSM per una settimana. A seguito di riscontri positivi o eventuali aggiustamenti nella fase 5, la SSE viene collegata anche lato 3 kV previa apertura degli IG.31 e IG.32 (e rispettivi SG.311 e SG321), dell'impianto provvisorio e dei sezionatori di 1<sup>a</sup> fila. Per un periodo di circa una settimana la SSE, salvo situazioni particolari che si possono verificare, funzionerà in parallelo alla SSM in modo da poter effettuare misure e verifiche sul corretto funzionamento. Questa situazione è mostrata a livello di layout nella Tavola 12 e a livello di schema di potenza nella Tavola 13.



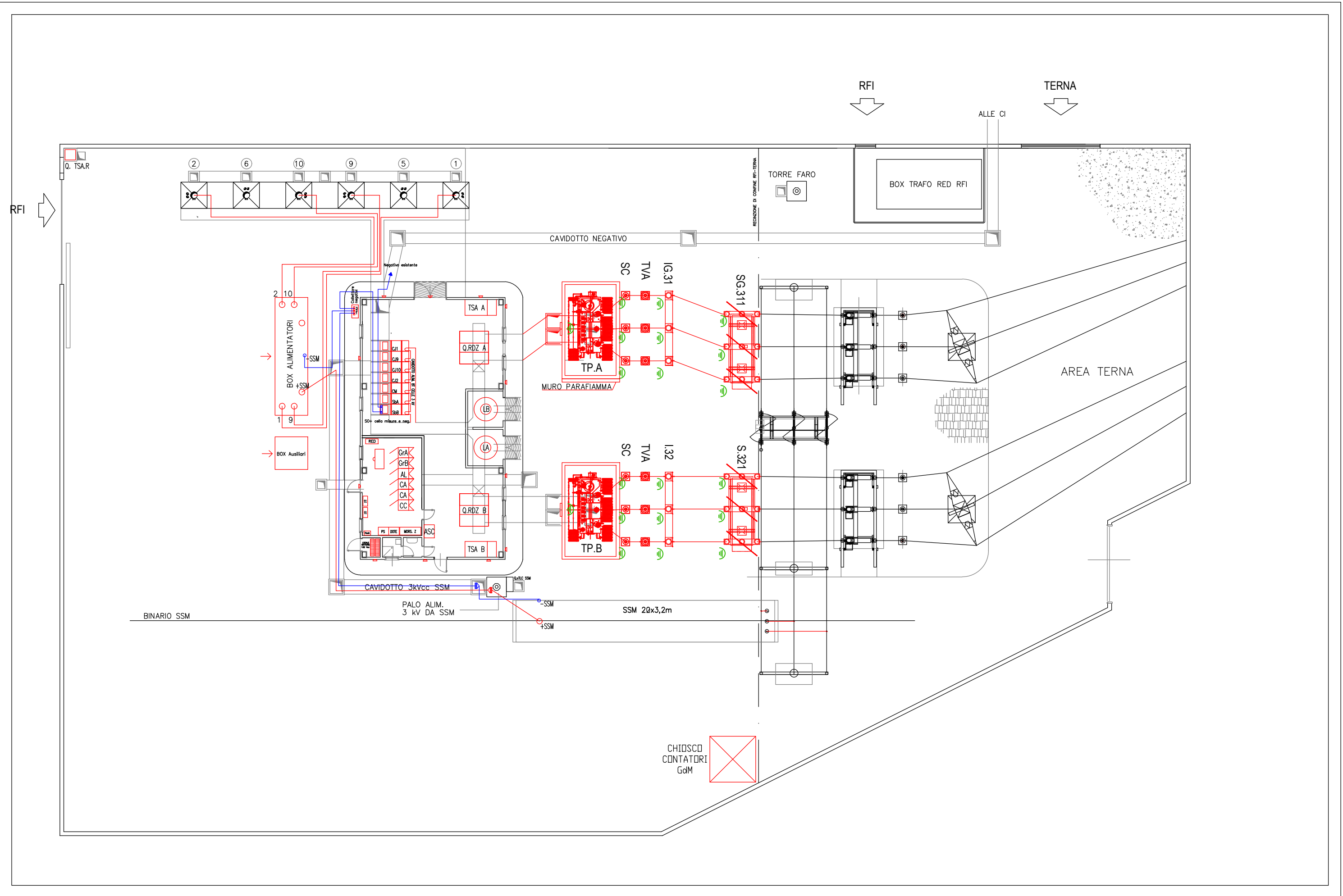


Tavola n.		12
Caratteristiche elaborato	Stato di progetto	
	Scala:	--/--
	Unità di misura	--
Titolo elaborato: SSE di intervento Layout generale Fase 5: collegamento della nuova SSE + SSM		

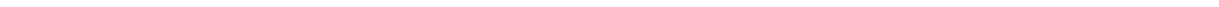




Tavola n.		13
Caratteristiche elaborato	Stato di progetto	
	Scala:	--/--
	Unità di misura	--
Titolo elaborato: SSE di intervento Schema unifilare di potenza Fase 5: collegamento della nuova SSE + SSM		

FASE 6. Scollegamento dell'impianto provvisorio e funzionamento della sola SSE. A seguito del superamento di tutte le verifiche della fase 5, a questo punto si è sufficientemente sicuri per scollegare l'impianto provvisorio e lasciare che la nuova SSE funzioni senza supporto.





# Conclusioni

Il motivo dell'intervento di rinnovo risiede nella necessità di adeguare la sottostazione alle attuali esigenze gestionali e manutentive in ottemperanza alle leggi e normative ad oggi vigenti, come:

- il miglioramento dei livelli di sicurezza richiesti nei luoghi di lavoro (es: quadri MT a tenuta arco interno);
- i cambiamenti delle politiche dell'azienda RFI (cessione a TERNA delle linee primarie di alta tensione e quota parte dei piazzali AT delle SSE);
- il miglioramento dell'affidabilità e manutenibilità degli impianti di Trazione Elettrica;
- la standardizzazione delle apparecchiature e macchinari di SSE in servizio sulla rete ferroviaria.

Ciò evidenzia che la società RFI è impegnata nell'attuazione di scelte mirate al recepimento del progresso tecnologico dell'ingegneria moderna con i miglioramenti impiantistici ad oggi realizzabili per la sicurezza degli operatori addetti alla manutenzione dell'infrastruttura e per garantire la massima affidabilità possibile degli impianti della rete ferroviaria al servizio della collettività.



# Bibliografia - sitografia

- [1] *Governance*, [www.rfi.it](http://www.rfi.it)
- [2] *La rete oggi*, [www.rfi.it](http://www.rfi.it)
- [3] Oliviero F., “*Valutazione degli investimenti tecnologici con metodologia Life Cycle Costing nella realtà di Rete Ferroviaria Italiana S.p.A.*”, Universitas Mercatorum
- [4] Muzio A., “*Le sottostazioni di conversione 3,4 kVcc per la trazione ferroviaria*”, C.I.F.I., 1975
- [5] Turri R., “*Appunti: Sottostazioni elettriche per l'alimentazione di impianti TE in corrente continua*”, Università degli studi di Padova, 2006
- [6] Turri R., “*Appunti: Dimensionamento delle linee di contatto*”, Università degli studi di Padova, 2016
- [7] *Trazione elettrica in ferrovia*, [www.mit.gov.it](http://www.mit.gov.it)
- [8] *Contratto istituzionale di sviluppo per la realizzazione della direttrice ferroviaria Napoli-Bari-Lecce-Taranto – Specifica tecnica del sistema di governo*, [va.minambiente.it](http://va.minambiente.it)
- [9] *Quadri in corrente continua per sistemi di trazione elettrica a 3000 V omologati RFI*, [www.mile.it](http://www.mile.it)
- [10] N. Mohan, T.M. Underland, W.P. Robbins, “*Elettronica di potenza*”, HOEPLI 2005
- [11] Giuseppe. G. Buffarini, Guido. G. Buffarini; *Analisi funzionale di gruppi raddrizzatori 3 kVc.c. mediante programmi dedicati di simulazione*”, L'ingegneria ferroviaria, luglio 1996
- [12] A. Tortella, “*Generazione ed accumulo di Energia Elettrica da fonti rinnovabili*”, Università degli studi di Padova
- [13] ABB, “*Outdoor Instrument Transformer – Buyer's guide*”, [library.abb.com](http://library.abb.com)
- [14] ABB, “*Capacitor voltage transformer CPB 145*”, [library.abb.com](http://library.abb.com)
- [15] ABB, “*abb, Stazioni isolate in aria prefabbricate compatte*”, [search.abb.com](http://search.abb.com)
- [16] Coelme-Egic, “*TCB 72,5-300 kV Double-break disconnecter*”, [www.coelme-egic.com](http://www.coelme-egic.com)
- [17] ABB, “*Zinc Oxide Surge Arrester EXLIM R*”, [library.abb.com](http://library.abb.com)
- [18] Sècheron, “*Interruttori extrarapidi in corrente continua per materiale rotabile 3 kVcc di tipo UR26, UR36 e UR40*”, [www.secheron.com](http://www.secheron.com)
- [19] R. Turri, E. Trentin, F. Guarda, “*Guasti di cortocircuito nei sistemi di trazione a corrente continua*”, Università degli Studi di Padova 2005
- [20] “*RFI DPRIM STF IFS SS361 A – Unità periferiche di protezione ed automazione, dispositivo di asservimento tipo ASDE3*”, [epodweb.rfi.it](http://epodweb.rfi.it)
- [21] “*Sezionatore unipolare a corna da palo per installazione esterna 3 kV 1,8 kA*”, [www.comecel.it](http://www.comecel.it)
- [22] “*RFI DMA IM LA SSE 360 Ed. 2005 – Unità periferiche di Protezione e Automazione (UPA)*”, [epodweb.rfi.it](http://epodweb.rfi.it)

- [23] “*Norme Tecniche T.E. 175 Ed. 1979 – Norme tecniche per la fornitura ed il collaudo di sezionatori tripolari con poli a fila indiana o poli affiancati per tensioni nominali 66 kV, 132 kV e 150 kV*”, [epodweb.rfi.it](http://epodweb.rfi.it)
- [24] “*Norme Tecniche IE.TE/183 Ed. 1974 – Norme tecniche del servizio impianti elettrici delle F.S. per la fornitura di interruttori tripolari a volume di olio ridotto o in esafluoruro di zolfo per AT*”, [epodweb.rfi.it](http://epodweb.rfi.it)
- [25] “*CEI EN 60909 – Correnti di cortocircuito nei sistemi trifase in corrente alternata*”, [mycatalogo.ceinorme.it](http://mycatalogo.ceinorme.it)
- [26] “*CODICE DI RETE ITALIANO - Allegato A.8: Correnti di cortocircuito e tempo di eliminazione dei guasti negli impianti delle reti a tensione uguale o superiore a 120 kV*”, [www.terna.it](http://www.terna.it)
- [27] “*RFI DTC ST E SP IFS SS 193 A – Trasformatore trifase in AT per l'alimentazione di raddrizzatori da 3,6/5,4 MW a 3 kVcc con telai in parallelo*”, [epodweb.rfi.it](http://epodweb.rfi.it)
- [28] “*RFI DTC STS ENE SP IFS SS 404 A – Raddrizzatore 5,4 MW – 3 kVcc con telai in parallelo in apparecchiatura blindata*”, [epodweb.rfi.it](http://epodweb.rfi.it)
- [29] “*Norma tecnica E.006 Ed. 1989 – Norme tecniche per la fornitura di reattori elettrici in lastra di alluminio per i filtri delle SSE di conversione, con induttanza nominale 6 mH e corrente continua nominale di 1800 A (cat. 785/686) e di 2500 A (cat. 785/687) per tensione nominale di esercizio di 3,6 kVcc*”, [epodweb.rfi.it](http://epodweb.rfi.it)
- [30] “*RFI DMA IM LA STC SSE 400 Ed. 2009 – Unità funzionali di tipo prefabbricato in carpenteria metallica per reparti a 3 kV in corrente continua: Parte I e II*”, [epodweb.rfi.it](http://epodweb.rfi.it)
- [31] “*RFI DPRIM STC IFS SS403 A – Unità funzionali di tipo prefabbricato in carpenteria metallica per reparti a 3 kV in corrente continua: Parte V*”, [epodweb.rfi.it](http://epodweb.rfi.it)
- [32] “*RFI DMA IM LA STC SSE 401 Ed. 2009 – Unità funzionali di tipo prefabbricato in carpenteria metallica per reparti a 3 kV in corrente continua: Parte III*”, [epodweb.rfi.it](http://epodweb.rfi.it)
- [33] “*RFI DPRIM STC IFS SS402 A – Unità funzionali di tipo prefabbricato in carpenteria metallica per reparti a 3 kV in corrente continua: Parte IV*”, [epodweb.rfi.it](http://epodweb.rfi.it)
- [34] E. Carbonari, “*Protezione della linea di contatto*”, Gruppo FS – Area Ingegneria e Costruzioni
- [35] “*RFI DTC ST E SP IFS SS 144 A – Scaricatore di sovratensione per gli impianti a 3 kVcc*”, [epodweb.rfi.it](http://epodweb.rfi.it)
- [36] “*RFI DTC ST E SP IFS SS 114 A – Trasformatore trifase in MT in resina epossidica per l'alimentazione dei servizi ausiliari delle SSE a 3 kVcc*”, [epodweb.rfi.it](http://epodweb.rfi.it)
- [37] “*RFI DTCDNSSSTB SF IS 06 365 A – Trasformatori d'isolamento monofasi e trifasi a raffreddamento naturale in aria destinati agli impianti di sicurezza e segnalamento*”, [epodweb.rfi.it](http://epodweb.rfi.it)