



**LA SPEZIA  
CONTAINER TERMINAL**



Autorità di Sistema Portuale  
del Mar Ligure Orientale  
Porti di La Spezia e  
Marina di Carrara



**PORTO DI LA SPEZIA  
AMPLIAMENTO TERMINAL RAVANO**

## PROGETTO ESECUTIVO

TITOLO ELABORATO

**STUDI DI RETE - LOAD-FLOW E CORTOCIRCUITO**

CODICE ELABORATO

**21 08 PE R505 01**

Rev.	Data	Causale
0	05/05/2023	Emissione finale per verificatore
1	08/01/2024	Aggiornamento elaborato
2		
3		

IL COMMITTENTE



LSCT S.p.a.  
Viale San Bartolomeo, 20  
19126 - La Spezia (SP)  
C.F.00072960115 - P.IVA 00859620114

IL PROGETTISTA



Modimar Project S.r.l.  
Via Asmara, 72 - 00199 Roma (RM)  
P. IVA 16016151009



GES - Geotechnical Engineering Service S.r.l.  
Via Sandro Totti, 7/A - 60131 Ancona (AN)  
P. IVA 02528430420



GeoEquipe - Studio Tecnico Associato  
Via Sandro Pertini, 55 - 62029 Tolentino (MC)  
P. IVA 00817500432

Dimensioni foglio:

**A4**

Redatto:

Controllato:

Approvato:

e-Engineering

Sanzone

Tartaglino

Note:

## SOMMARIO

<b>1</b>	<b>SCOPO</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>NORME E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>3</b>
2.1	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>3</b>
2.2	<b>NORME DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>MODELLO DI RETE</b> .....	<b>4</b>
3.1	<b>RETE SORGENTE</b> .....	<b>4</b>
3.2	<b>MODELLO RETE SORGENTE</b> .....	<b>5</b>
3.3	<b>MODELLO TRASFORMATORE AT/MT (ADSP)</b> .....	<b>5</b>
3.4	<b>MODELLO TRASFORMATORE MT/BT (LSCT)</b> .....	<b>6</b>
3.5	<b>MODELLO CAVI</b> .....	<b>8</b>
3.6	<b>CARICHI MT (15kV)</b> .....	<b>8</b>
3.7	<b>CARICHI BT</b> .....	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>CALCOLO DI CORTO CIRCUITO</b> .....	<b>10</b>
4.1	<b>IPOTESI DI CALCOLO</b> .....	<b>10</b>
4.2	<b>METODO DI CALCOLO E MODELLO DI RETE</b> .....	<b>10</b>
4.2.1	Cortocircuito trifase.....	12
4.2.2	Cortocircuito bifase .....	13
4.2.3	Cortocircuito bifase a terra .....	14
4.2.4	Cortocircuito monofase .....	14
4.2.5	Guasto trifase.....	15
4.2.6	Guasto fase-terra .....	15
4.2.7	Guasto bifase .....	15
4.2.8	Guasto bifase a terra .....	15
4.3	<b>RISULTATI</b> .....	<b>16</b>
4.3.1	Singola Radiale - Condizione di massimo .....	16
4.3.2	Doppia Radiale – Condizione di minimo .....	17
4.4	<b>CONCLUSIONI</b> .....	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>RIFASAMENTO</b> .....	<b>19</b>
<b>6</b>	<b>LOAD FLOW</b> .....	<b>20</b>
6.1	<b>IPOTESI DI CALCOLO</b> .....	<b>20</b>



<b>6.2</b>	<b>METODO DI CALCOLO E MODELLO DI RETE .....</b>	<b>21</b>
<b>6.3</b>	<b>RISULTATI .....</b>	<b>22</b>
6.3.1	Doppia Radiale.....	22
6.3.2	Singola Radiale .....	24
<b>6.4</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>25</b>
6.4.1	Rifasamento.....	25

## 1 SCOPO

La presente relazione ha per scopo lo studio del comportamento del sistema elettrico del nuovo terminale marino “Ravano” del porto di La Spezia sotto guasto dovuto a situazioni di corto circuito e in condizioni normali di esercizio.

Lo studio della tenuta del sistema elettrico in condizioni di guasto per corto circuito ha la finalità di fornire informazioni utili per il dimensionamento (configurazione massima) delle apparecchiature elettriche (trasformatori, quadri, interruttori) e per la taratura delle protezioni (configurazione minima).

Lo studio del normale funzionamento è eseguito mediante calcolo di load flow e ha come fine la valutazione della correttezza di dimensionamento delle apparecchiature elettriche e la verifica che tutti i parametri di rete siano entro limiti ammissibili.

È altresì condotta una valutazione sulla opportunità di integrare il sistema elettrico con banchi di rifasamento con caratteristiche tali da contenere il fattore di potenza nel punto di allaccio con la rete sorgente entro i limiti stabiliti ( $\geq 0.95$  ind.).

## 2 NORME E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- 21\_08\_PE\_R501 – Descrizione dei sistemi elettrici e criteri generali di progettazione;
- 21\_08\_PE\_R504 – Elenco carichi e bilancio elettrico;
- 21\_08\_PE\_R508 - Dimensionamento cavi elettrici;
- 21\_08\_PE\_TP02 – Schema elettrico unifilare generale.

### 2.2 NORME DI RIFERIMENTO

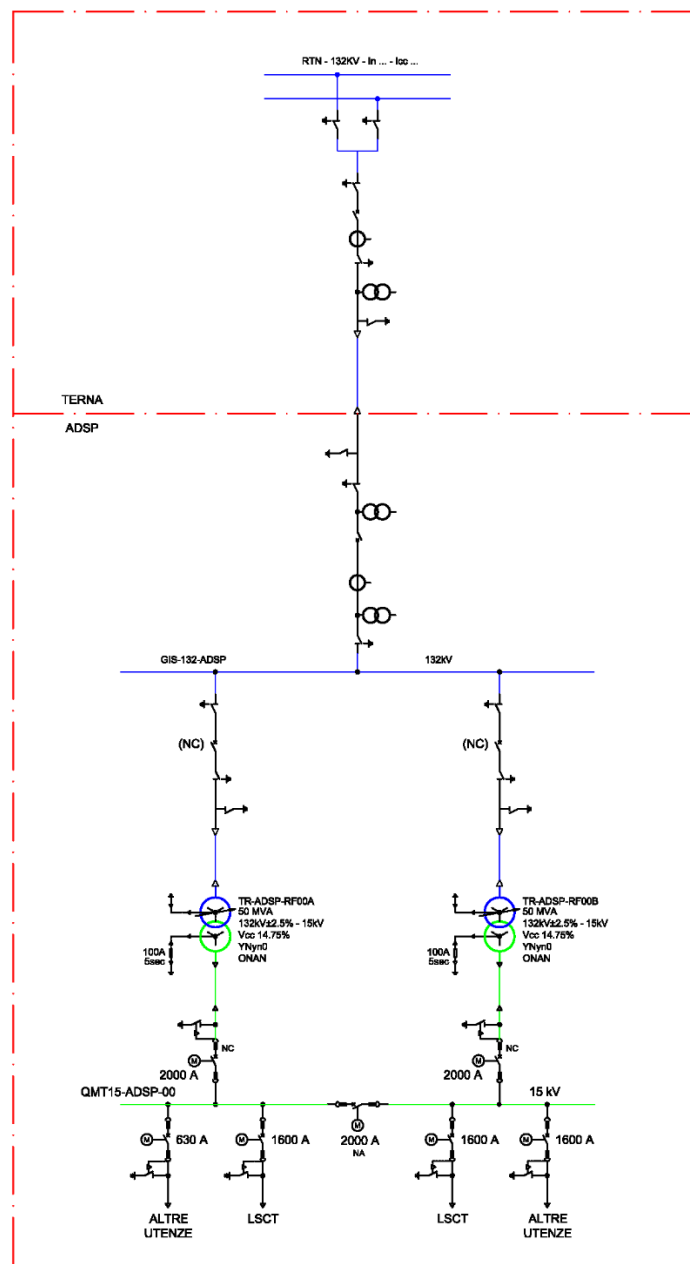
- CEI EN 60909-0 Correnti di cortocircuito nei sistemi trifase in corrente alternate – Parte 0: Calcolo delle correnti.
- IEC 60909-0 Short circuit currents in three phase A.C. Systems – Part 0: Calculation of currents.

### 3 MODELLO DI RETE

I dati principali della rete e delle apparecchiature considerati nel presente studio sono riportati nelle seguenti tabelle. I carichi sono quelli indicati nel doc. n. 21\_08\_PE\_R504. Il dimensionamento delle apparecchiature è eseguito considerando una contingency del 25% per tenere conto di possibili ampliamenti futuri.

Lo schema di rete del sistema elettrico è rappresentato nel doc. n. 21\_08\_PE\_TP02.

#### 3.1 RETE SORGENTE



La rete elettrica dell'impianto LSCT Ravano sarà alimentata dalla sottostazione elettrica ADSP Ravano dell'autorità portuale di La Spezia con una linea nuova a 15kV da realizzare in cavo. La sottostazione ADSP sarà a sua volta alimentata da rete Terna a 132kV.

La trasformazione da 132kV a 15kV sarà realizzata nella sottostazione ADSP Ravano dell'autorità portuale con trasformatori AT/MT da 50MVA. Per la rete Terna si assume un potere di cortocircuito di 4500MVA. Si assume inoltre che la tensione del nodo SS 132kV ADSP dell'autorità portuale sia regolata a 132kV costanti (nodo di saldo).

### 3.2 MODELLO RETE SORGENTE

In accordo alla norma CEI EN 60909 il modello della rete sorgente è rappresentato dalle seguenti relazioni:

$$Z_s = c \frac{V_s^2}{A_s} \cdot \frac{1}{t^2}$$

con:

$$X_s = 0.995Z_s$$

$$R_s = 0.1X_s$$

dove:

- "t" è il rapporto di trasformazione per il riporto del valore dell'impedenza alla tensione di riferimento;
- "c" è il fattore di tensione;
- $V_s$  e  $A_s$  sono rispettivamente tensione di rete e potenza di c.to c.to di rete;
- $Z_s$ ,  $X_s$  e  $R_s$  sono rispettivamente impedenza, reattanza e resistenza di rete.

### 3.3 MODELLO TRASFORMATORI AT/MT (ADSP)

La rappresentazione del modello dei trasformatori è fornita dalle seguenti espressioni della norma CEI EN 60909:

$$Z_{TR} = \frac{V_n^2 \cdot V_{cc} \%}{100 \cdot A_{nTR}}$$

con:

$$\varphi_{cc} = \tan^{-1}\left(\frac{X}{R}\right)$$

$$R_{TR} = Z_{TR} \cdot \cos\varphi_{cc}$$

$$X_{TR} = Z_{TR} \cdot \sin\varphi_{cc}$$

dove:

- $V_n$  è la tensione nominale del trasformatore;
- $V_{cc}\%$  è la tensione di c.to c.to percentuale;
- $A_{nTR}$  è la potenza nominale del trasformatore;
- $Z_{tr}$ ,  $X_{tr}$  e  $R_{tr}$  sono rispettivamente impedenza, reattanza e resistenza del trasformatore.

Si riportano di seguito le caratteristiche dei trasformatori AT/MT dell'ADSP.

Si assume:

$$\frac{X_{TR}}{R_{TR}} = 45$$

	Tensione AT - MT	Sn	Gruppo	X/R	Z <sub>T</sub>	Z <sub>0</sub>
Trasformatore	kV - kV	MVA	-	(p.u.)	(%)	(%)
TRA-ADSP	132±2x2,5% - 15	50	YNyn0	45	13,5	13,5
TRB-ADSP	132±2x2,5% - 15	50	YNyn0	45	13,5	13,5

Il neutro dei trasformatori AT/MT lato AT è franco a terra. Il neutro lato MT è collegato a terra mediante resistore da 100Ax5sec.

La regolazione è prevista con variazione della tensione primaria a vuoto dei trasformatori.

Si applica il fattore di correzione:

$$X_{TR} = 0.95 \cdot \frac{c_{max}}{1 + 0.6 \cdot v_{xcc}}$$

dove:

- $c_{max}$  è il fattore di tensione massimo;
- $v_{xcc}$  è la reattanza relativa del trasformatore;

### 3.4 MODELLO TRASFORMATORI MT/BT (LSCT)

La norma CEI EN 60909 fornisce le seguenti espressioni per la modellizzazione dei trasformatori:

$$Z_{tr} = \frac{V_n^2 \cdot V_{cc} \%}{100 \cdot A_{ntr}}$$

con:

$$\varphi_{cc} = \tan^{-1}\left(\frac{X}{R}\right)$$

$$R_{TR} = Z_{TR} \cdot \cos\varphi_{cc}$$

$$X_{TR} = Z_{TR} \cdot \sin\varphi_{cc}$$

dove:

- $V_n$  è la tensione nominale del trasformatore;
- $V_{cc}\%$  è la tensione di c.to c.to percentuale;
- $A_{ntr}$  è la potenza nominale del trasformatore;
- $Z_{tr}$ ,  $X_{tr}$  e  $R_{tr}$  sono rispettivamente impedenza, reattanza e resistenza del trasformatore.

Con riferimento allo schema elettrico unifilare generale 21\_08\_PE\_TP02 si riportano di seguito le caratteristiche dei trasformatori MT/BT della LSCT.

Si assume:

$$X_{tr}/R_{tr} = 1,5 \text{ (per i trasformatori 630 kVA)}$$

$$X_{tr}/R_{tr} = 3,5 \text{ (per i trasformatori 1250 kVA)}$$

	Tensione MT – BT (kV - kV)	Sn (MVA)	Gruppo	X/R (p.u.)	Z <sub>T</sub> (%)	Z <sub>0</sub> (%)
TR-00A	15 ± 2 x 2,5 % - 0,4	0.63	Dyn11	1,5	6	6
TR-00B	15 ± 2 x 2,5 % / 0,4	0.63	Dyn11	1,5	6	6
TR-01A	15 ± 2 x 2,5 % / 0,4	1.25	Dyn11	3,5	6	6
TR-01B	15 ± 2 x 2,5 % / 0,4	1.25	Dyn11	3,5	6	6
TR-02A	15 ± 2 x 2,5 % / 0,4	1.25	Dyn11	3,5	6	6
TR-02B	15 ± 2 x 2,5 % / 0,4	1.25	Dyn11	3,5	6	6
TR-03A	15 ± 2 x 2,5 % / 0,4	1.25	Dyn11	3,5	6	6
TR-03B	15 ± 2 x 2,5 % / 0,4	1.25	Dyn11	3,5	6	6
TR-04A	15 ± 2 x 2,5 % / 0,4	1.25	Dyn11	3,5	6	6
TR-04B	15 ± 2 x 2,5 % / 0,4	1.25	Dyn11	3,5	6	6

Il neutro dei trasformatori MT/BT lato BT è franco a terra.



La regolazione è prevista con variazione della tensione primaria a vuoto dei trasformatori.

Si applica il fattore di correzione:

$$X_{TR} = 0.95 \cdot \frac{c_{max}}{1 + 0.6 \cdot v_{xcc}}$$

dove:

- $c_{max}$  è il fattore di tensione massimo;
- $v_{xcc}$  è la reattanza relativa del trasformatore;

### 3.5 MODELLO CAVI

Dalla norma CEI EN 60909 il modello dei cavi è il seguente:

$$Z_c = \sqrt{R_c^2 + X_c^2}$$

dove:

- $Z_c$ ,  $X_c$  e  $R_c$  sono rispettivamente impedenza, reattanza e resistenza del cavo.

Il valore della resistenza  $R_c$  è riferito a 20°C. Le caratteristiche dei cavi sono riportate nel doc. 21\_08\_PE\_R508.

### 3.6 CARICHI MT (15kV)

Il dettaglio dei carichi MT del molo Ravano è riportato nel doc. n. 21\_08\_PE\_R504.

Per ogni sbarra, i carichi motore sono rappresentati raggruppando questi in un carico motore equivalente con potenza pari alla somma delle singole potenze.

Ai fini della valutazione del contributo al corto circuito al guasto, i motori delle gru, essendo azionati da gruppi inverter, sono assimilabili a motori asincroni a conversione statica reversibile, classificati, secondo la norma CEI EN 60909, con impedenza:

$$Z_M = \frac{1}{I_{LR}/I_{rM}} \cdot \frac{V_{rM}^2}{S_{rM}}$$

dove:

- $V_{rM}$  è la tensione nominale del motore;
- $S_{rM}$  è la potenza apparente del motore equivalente:  $S_{rM} = \Sigma P_{rM} / (\eta_{rM} \cdot \cos \varphi_{rM})$ ;
- $I_{LR}/I_{rM}$  è il rapporto tra la corrente a rotore bloccato e la corrente nominale del motore;

con:



$$R_M/X_M = 0.15 \quad - \quad X_M = 0.989Z_M$$

e

$$I_{LR}/I_{rM} = 3$$

considerando che i motori stiano funzionando in recupero di energia (funzionamento transitorio invertito) al momento del c.to c.to.

### 3.7 CARICHI BT

Il dettaglio dei carichi BT del molo Ravano è riportato nel doc. n. 21\_08\_PE\_R504.

Per ogni sbarra, i carichi sono rappresentati raggruppando questi in un carico equivalente con potenza pari alla somma delle singole potenze.

Non sono presenti carichi motore in BT.

## 4 CALCOLO DI CORTO CIRCUITO

### 4.1 IPOTESI DI CALCOLO

Il calcolo del corto circuito è studiato in conformità alla Norma CEI EN 60909, in assenza di generatori, con fattore di tensione “c” pari a 1,1 per i nodi a 15kV e 1,05 per i nodi a 400V. La rete è studiata nelle seguenti configurazioni:

1. Singola Radiale: con tutti i congiuntori di sbarra chiusi e tutte le utenze rotanti e fisse in servizio. Questa configurazione corrisponde alla condizione di massimo contributo, motori inclusi.
2. Doppia Radiale: con tutti i congiuntori di sbarra aperti e le macchine rotanti fuori servizio (condizione di minimo contributo, motori esclusi).

Le situazioni di guasto studiate sono le seguenti:

- corto circuito trifase netto (3F);
- cortocircuito monofase a terra (F-T);
- cortocircuito bifase (F-F);
- cortocircuito bifase con contatto a terra (F-F-T).

Ai fini del calcolo delle correnti di corto circuito i regolatori di tensione dei trasformatori sono lasciati nella posizione di “0”, i condensatori sono esclusi.

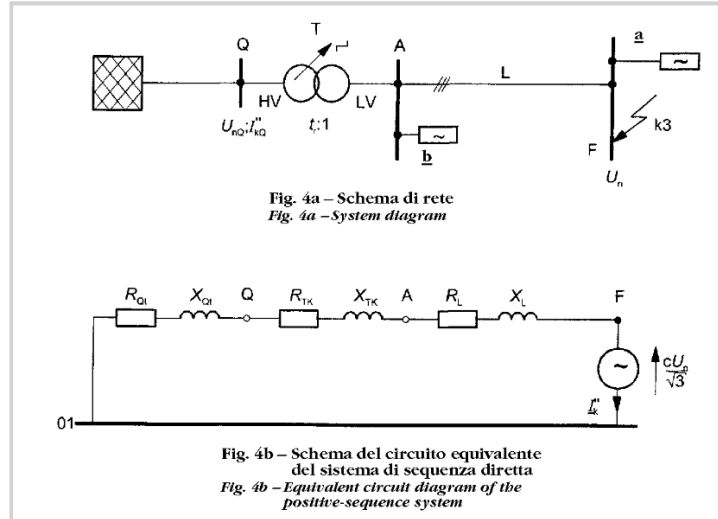
### 4.2 METODO DI CALCOLO E MODELLO DI RETE

Il metodo di calcolo si basa sul principio che un generico sistema trifase dissimmetrico e squilibrato può ricondursi allo studio separato di tre circuiti monofase corrispondenti, rispettivamente alla sequenza diretta, alla sequenza inversa, alla sequenza omopolare .

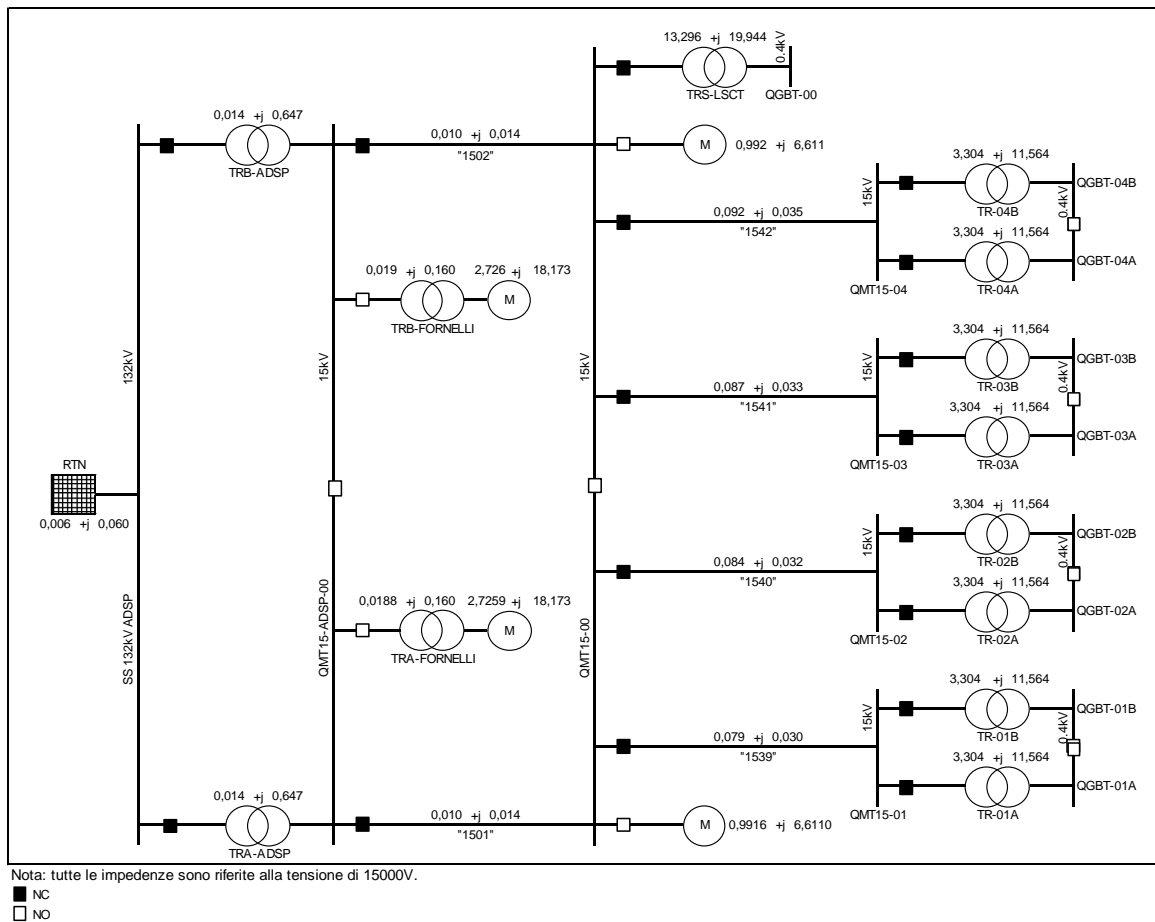
Le impedenze di sequenza  $Z_d$ ,  $Z_i$ ,  $Z_o$  si ricavano sostituendo ai componenti di rete i circuiti equivalenti per quella sequenza definiti nel §3.

Possono ritenersi valide le seguenti ipotesi: a) lontananza da generatori; b) simmetria del sistema delle tensioni; c) sistema delle correnti equilibrato; che portano alle seguenti semplificazioni: a') assenza della componente aperiodica continua; b') correnti d'interruzione uguali alle correnti iniziali; c') impedenze di sequenza diretta e inversa uguali all'impedenza di fase ( $Z_d = Z_i = Z$ ); d') impedenza di sequenza omopolare pari all'impedenza di neutro ( $Z_n$ ).

Lo schema di rete è riconducibile a circuiti radiali con elementi in serie alimentati da una singola sorgente (circuiti equivalenti di Thevenin).



Si riporta di seguito il modello della rete equivalente alla sequenza diretta.



Modello di rete per calcolo correnti di cortocircuito MT



Il contributo al valore di cresta della corrente di cortocircuito di ciascun ramo va calcolata utilizzando l'espressione:

$$i_p = k \cdot \sqrt{2} \cdot I_k''$$

con:

$$k = 1.02 + 0.98e^{-3R/X}$$

#### Corrente di cortocircuito d'interruzione

Per guasti lontani da generatori, la corrente di cortocircuito d'interruzione è uguale alla corrente di cortocircuito iniziale:

$$I_b = I_k''$$

#### **4.2.2 Cortocircuito bifase**

##### Corrente di cortocircuito iniziale

La corrente di cortocircuito simmetrica iniziale va calcolata con l'equazione:

$$I_{k2}'' = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_k''$$

dove:

- $R_k$  è la resistenza equivalente tra il punto di guasto e la rete sorgente;
- $X_k$  è la reattanza equivalente tra il punto di guasto e la rete sorgente;

##### Valore di cresta

Il contributo al valore di cresta della corrente di cortocircuito di ciascun ramo va calcolata utilizzando l'espressione:

$$i_{p2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot i_p$$

##### Corrente di cortocircuito d'interruzione

Per guasti lontani da generatori, la corrente di cortocircuito d'interruzione è uguale alla corrente di cortocircuito iniziale:

$$I_{b2} = I_{k2}''$$

#### 4.2.3 Cortocircuito bifase a terra

##### Corrente di cortocircuito iniziale

La corrente di cortocircuito simmetrica iniziale va calcolata con l'espressione:

$$I_{k2E}'' = \frac{3}{|Z_d + 2 \cdot Z_o|} \cdot \frac{c \cdot V_n}{\sqrt{3}}$$

dove:

- c è il fattore di tensione;
- $Z_d$  è l'impedenza equivalente di sequenza diretta;
- $Z_o$  è l'impedenza equivalente di sequenza omopolare;

##### Valore di cresta

Il contributo al valore di cresta della corrente di cortocircuito di ciascun ramo va calcolato utilizzando l'espressione:

$$i_{p2E} = k \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k2E}''$$

##### Corrente di cortocircuito d'interruzione

Per guasti lontani da generatori, la corrente di cortocircuito d'interruzione è uguale alla corrente di cortocircuito iniziale:

$$I_{b2E} = I_{k2E}''$$

#### 4.2.4 Cortocircuito monofase

##### Corrente di cortocircuito iniziale

La corrente di cortocircuito simmetrica iniziale va calcolata con l'espressione:

$$I_{k1}'' = \frac{3}{|2 \cdot Z_d + Z_o|} \cdot \frac{c \cdot V_n}{\sqrt{3}}$$

dove:

- c è il fattore di tensione;
- $Z_d$  è l'impedenza equivalente di sequenza diretta;
- $Z_o$  è l'impedenza equivalente di sequenza omopolare;

### Valore di cresta

Il contributo al valore di cresta della corrente di cortocircuito di ciascun ramo va calcolata utilizzando l'espressione:

$$i_{p1} = k \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1}''$$

### Corrente di cortocircuito d'interruzione

Per guasti lontani da generatori, la corrente di cortocircuito d'interruzione è uguale alla corrente di cortocircuito iniziale:

$$I_{b1} = I_{k1}''$$

#### 4.2.5 Guasto trifase

$$I_d = \frac{E_d}{Z_d}$$
$$I_k'' = \frac{V_n}{\sqrt{3} \cdot Z}$$

con  $E_d = V_n/\sqrt{3}$ ;  $Z_d = Z$

#### 4.2.6 Guasto fase-terra

$$I_d = \frac{E_d}{Z_d + Z_i + Z_o}$$
$$I_k'' = \frac{\sqrt{3} \cdot V_n}{Z_d + Z_i + Z_o}$$

#### 4.2.7 Guasto bifase

$$I_d = \frac{E_d}{Z_d + Z_i}$$
$$I_k'' = \frac{V_n}{Z_d + Z_i}$$

#### 4.2.8 Guasto bifase a terra

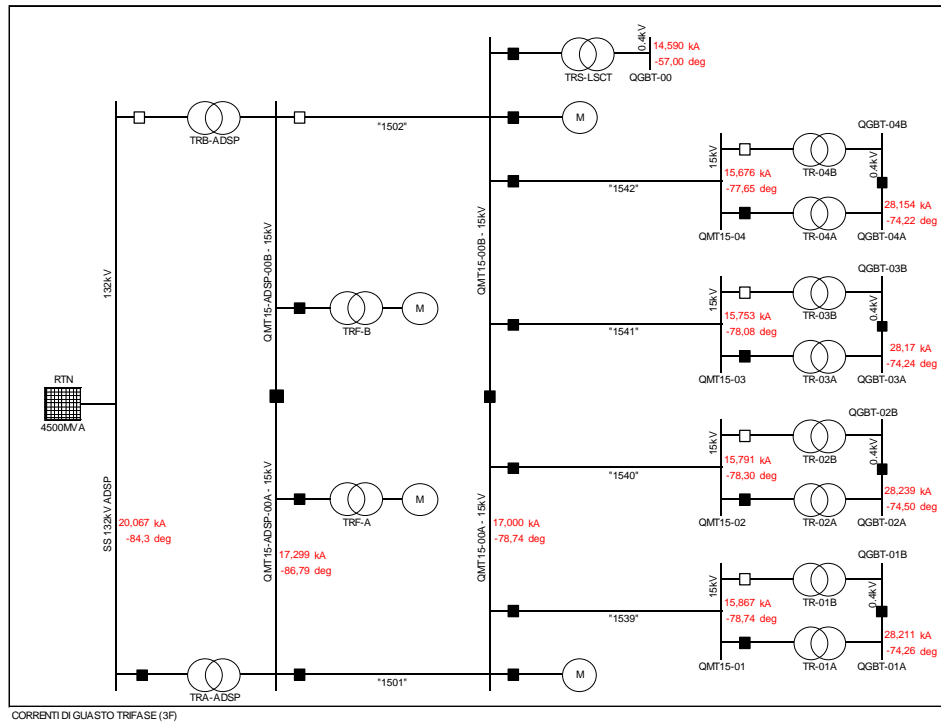
$$I_d = \frac{E_d}{Z_d + Z_i}$$
$$I_k'' = \frac{V_n}{Z_d + Z_i}$$



### 4.3 RISULTATI

#### 4.3.1 Singola Radiale - Condizione di massimo

##### Assetto di rete



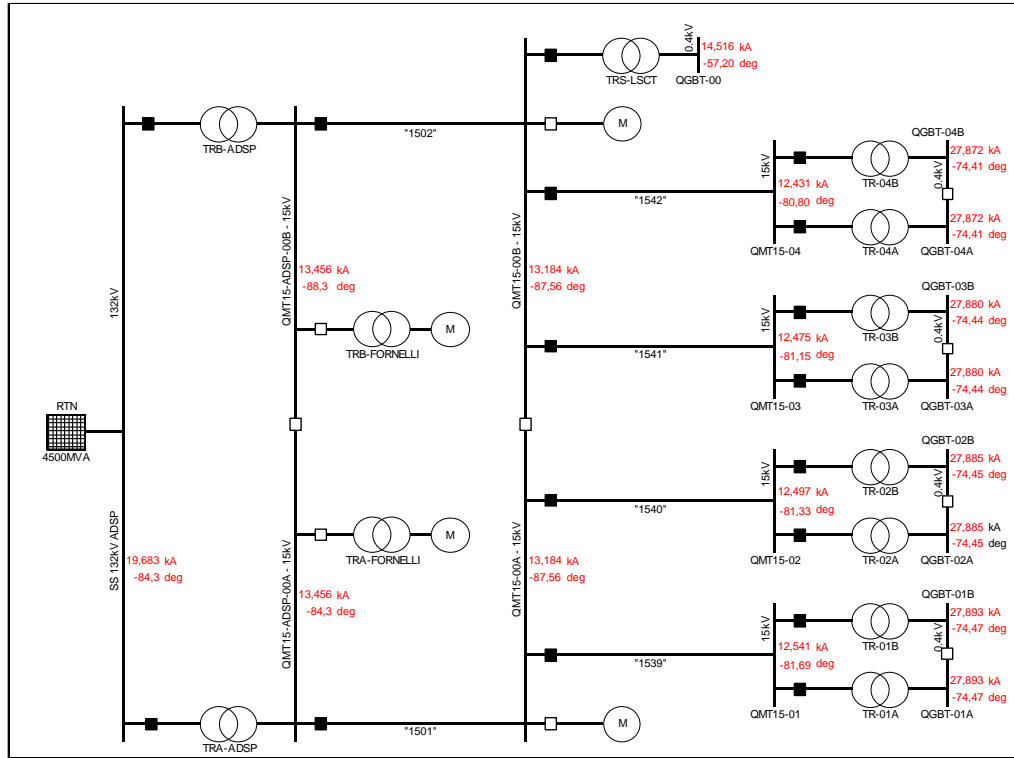
CORRENTI DI GUASTO TRIFASE (3F)

##### Riassunto dati

Sbarra	Guasto trifase 3F		Guasto fase-terra F-T		Guasto bifase F-F		G. bifase-terra F-F-T	
	I"k	ip	I"k	ip	I"k	ip	I"k	ip
GIS-132-ADSP	20,067	49,522	20,061	49,507	17,379	42,887	18,931	46,719
QMT15-ADSP-A	17,299	45,486	0,105	0,275	14,981	39,392	16,319	42,911
QMT15-ADSP-B	17,299	45,486	0,105	0,275	14,981	39,392	16,319	42,911
QMT15-00A	17,000	43,850	0,105	0,270	14,722	37,975	16,038	41,368
QMT15-00B	17,000	43,850	0,105	0,270	14,722	37,975	16,038	41,368
QMT15-01	15,867	34,991	0,105	0,231	13,741	30,303	14,969	33,010
QMT15-02	15,791	34,538	0,105	0,229	13,675	29,911	14,897	32,583
QMT15-03	15,753	34,315	0,105	0,228	13,642	29,718	14,554	31,704
QMT15-04	15,676	33,878	0,105	0,226	13,576	29,340	14,789	31,961
QGBT-00	14,590	23,927	14,693	24,097	12,635	20,722	14,798	24,268
QGBT-01A	28,211	57,478	28,692	58,458	24,431	49,777	29,189	59,471
QGBT-01B	28,211	57,478	28,692	58,458	24,431	49,777	29,189	59,471
QGBT-02A	28,239	57,766	28,711	58,732	24,456	50,027	29,199	59,730
QGBT-02B	28,239	57,766	28,711	58,732	24,456	50,027	29,199	59,730
QGBT-03A	28,165	57,370	28,660	58,379	24,392	49,684	29,173	59,423
QGBT-03B	28,165	57,370	28,660	58,379	24,392	49,684	29,173	59,423
QGBT-04A	28,154	57,328	28,653	58,343	24,382	49,647	29,169	59,394
QGBT-04B	28,154	57,328	28,653	58,343	24,382	49,647	29,169	59,394

### 4.3.2 Doppia Radiale – Condizione di minimo

#### Assetto di rete



#### Riassunto dati

Sbarra	Guasto trifase 3F		Guasto fase-terra F-T		Guasto bifase F-F		G. bifase-terra F-F-T	
	I"k	ip	I"k	ip	I"k	ip	I"k	ip
GIS-132-ADSP	19,683	48,602	19,677	48,587	17,046	42,091	18,569	45,851
QMT15-ADSP-A	12,485	33,901	0,105	0,284	10,812	29,359	11,778	31,982
QMT15-ADSP-B	12,485	33,901	0,105	0,284	10,812	29,359	11,778	31,982
QMT15-00A	12,485	33,066	0,105	0,277	10,812	28,636	11,616	30,764
QMT15-00B	12,485	33,066	0,105	0,277	10,812	28,636	11,616	30,764
QMT15-01	11,826	29,769	0,105	0,264	10,242	25,781	11,157	28,084
QMT15-02	11,795	29,578	0,105	0,263	10,215	25,615	11,128	27,903
QMT15-03	11,780	29,483	0,105	0,262	10,202	25,533	11,113	27,814
QMT15-04	11,749	29,294	0,105	0,261	10,175	25,370	11,084	27,636
QGBT-00	14,465	23,795	14,497	23,848	12,527	20,607	14,529	23,900
QGBT-01A	27,701	56,945	27,701	56,945	23,989	49,316	27,730	57,005
QGBT-01B	27,701	56,945	27,701	56,945	23,989	49,316	27,730	57,005
QGBT-02A	27,694	56,923	27,694	56,923	23,984	49,296	27,725	56,985
QGBT-02B	27,694	56,923	27,694	56,923	23,984	49,296	27,725	56,985
QGBT-03A	27,691	56,911	27,691	56,911	23,981	49,287	27,722	56,975
QGBT-03B	27,694	56,911	27,692	56,906	23,984	49,287	27,724	56,972
QGBT-04A	27,685	56,889	27,685	56,889	23,976	49,267	27,717	56,955
QGBT-04B	27,685	56,889	27,686	56,890	23,976	49,267	27,717	56,955

#### 4.4 CONCLUSIONI

I risultati ottenuti forniscono i dati delle massime correnti di guasto presunte riassunte nella tabella seguente.

Bus bar	Correnti massime presunte di guasto		
	Ik" / ip		
	Vn (kV)	I'' <sub>k</sub> (kA)	i <sub>peak</sub> (kA)
GIS-132 ADSP	132	20,067	49,522
QMT15-ADSP	15	17,299	45,486
QMT15-00	15	17,000	43,850
QMT15-01	15	15,867	34,991
QMT15-02	15	15,791	34,538
QMT15-03	15	15,753	34,315
QMT15-04	15	15,676	33,878
QGBT-00	0.4	14,590	23,927
QGBT-01	0.4	28,211	57,478
QGBT-02	0.4	28,239	57,766
QGBT-03	0.4	28,165	57,370
QGBT-04	0.4	29,154	59,328

Le correnti di guasto massime sono necessarie per definire il rating dei quadri elettrici che risulta essere quello di seguito riportato:

Bus bar	Rating dei quadri elettrici		
	Ik" / Ip		
	Vn (kV)	I'' <sub>k</sub> (kA)	i <sub>peak</sub> (kA)
QMT15-00	15	20	50
QMT15-01	15	16	40
QMT15-02	15	16	40
QMT15-03	15	16	40
QMT15-04	15	16	40
QGBT-00	0.4	16	33.6
QGBT-01	0.4	31.5	66.15
QGBT-02	0.4	31.5	66.15
QGBT-03	0.4	31.5	66.15
QGBT-04	0.4	31.5	66.15

Nota: la selezione dei rating dei quadri elettrici (Ik'') è basata su valori di design standard dei costruttori.

I valori di picco (I<sub>pk</sub>) sono stabiliti dalle norme IEC 61439 per i quadri BT e IEC 60694 per i quadri MT come di seguito:

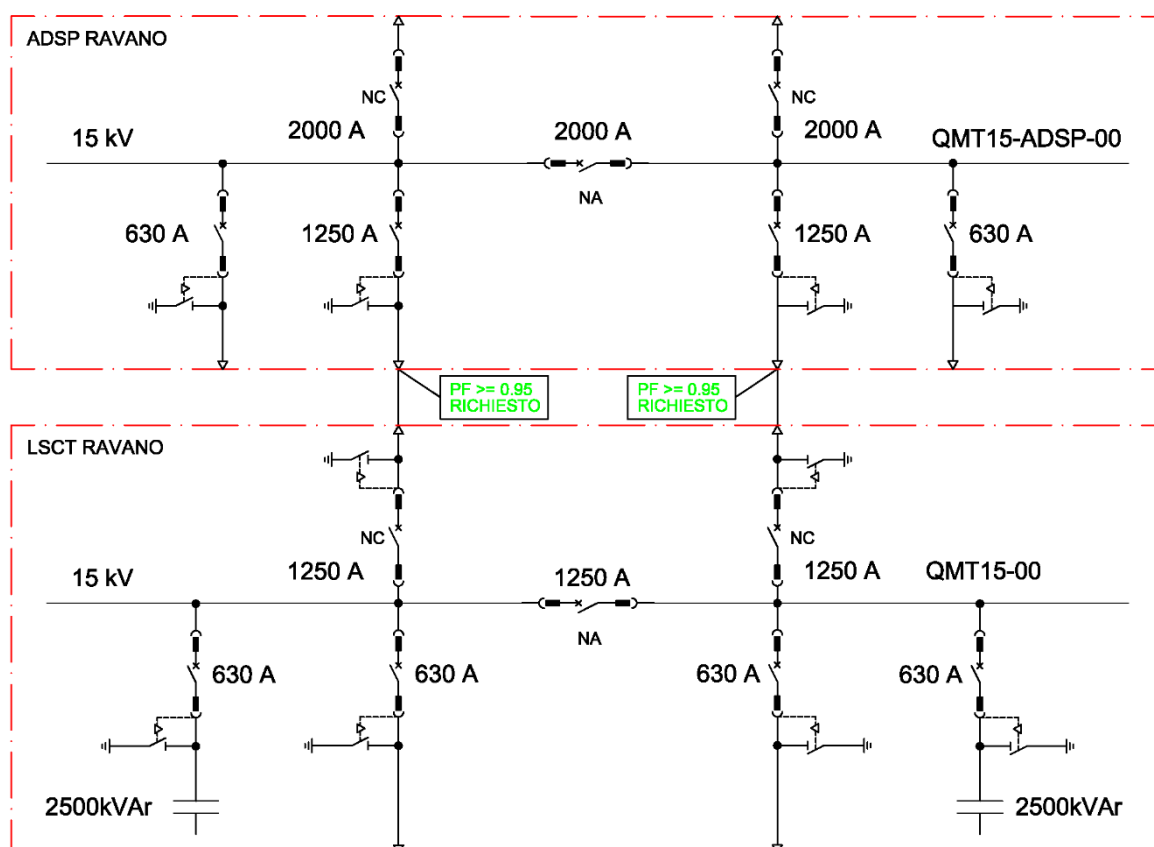
- MV:  $I_p = 2.5 \times I_k''$

- LV:  $I_p = 2 \times I_k''$  ( $10\text{kA} < I_k'' \leq 20\text{kA}$ )
- LV:  $I_p = 2.1 \times I_k''$  ( $20\text{kA} < I_k'' \leq 50\text{kA}$ )
- LV:  $I_p = 2.2 \times I_k''$  ( $I_k'' > 50\text{kA}$ )

## 5 RIFASAMENTO

In accordo a quanto indicato nel doc. n. 21\_08\_PE\_R501 è previsto che nel punto in cui la rete di impianto riceve l'alimentazione dal quadro QMT15-ADSP-00 (15kV) sia garantito un fattore di potenza complessivo non inferiore a 0.95.

Al fine di garantire questo requisito è stata verificata la necessità di potenziare la rete con due unità di rifasamento  $\geq 2000$  kVAR in MT sulle sbarre 15kV del quadro Ravano QMT15-00.



La verifica del dimensionamento del sistema di rifasamento è eseguita in entrambe le configurazioni di rete, doppia e in singola radiale, considerando tutti i carichi del molo Ravano attivi e una contingency del 25% per possibili ampliamenti futuri (vedi 21\_08\_PE\_R504).

## 6 LOAD FLOW

Sono stati elaborati i seguenti dati:

- tensione per ogni quadro;
- carico in transito sui cavi;
- carico in transito sui trasformatori;
- fattore di potenza per ogni nodo della rete.

### 6.1 IPOTESI DI CALCOLO

Il sistema è stato studiato nelle seguenti configurazioni:

1. Doppia Radiale, con tutte le utenze in servizio e tutti i congiuntori di sbarra aperti;
2. Singola Radiale, con tutte le utenze in servizio, i congiuntori di sbarra chiusi, uno dei due montanti per ciascun feeder fuori servizio ed un congiuntore di soccorso dell'anello containers chiuso.

In entrambe le configurazioni, sono stati considerati:

- tensione sulle sbarre dei quadri (nodi) pari al valore nominale;
- carico costante;

Le grandezze calcolate sono le seguenti:

- flussi di potenza in kW e KVA<sub>r</sub> e fattore di potenza per ogni ramo;
- tensione e corrente nelle sbarre dei quadri MT e BT.

E' assunto come nodo di saldo la sbarra 132kV del quadro GIS-132-ADSP.

## 6.2 METODO DI CALCOLO E MODELLO DI RETE

Il metodo di calcolo si basa sulla condizione che i carichi sono tutti prevalentemente induttivi.

Essendo lo schema di rete riconducibile a circuiti radiali con elementi in serie alimentati da una singola sorgente, l'espressione della caduta di tensione nei vari tratti può essere applicata nella seguente forma.

$$\Delta V = \sqrt{3} \cdot \left( \sum R_i \cos\varphi + \sum X_i \sin\varphi \right) \cdot I$$

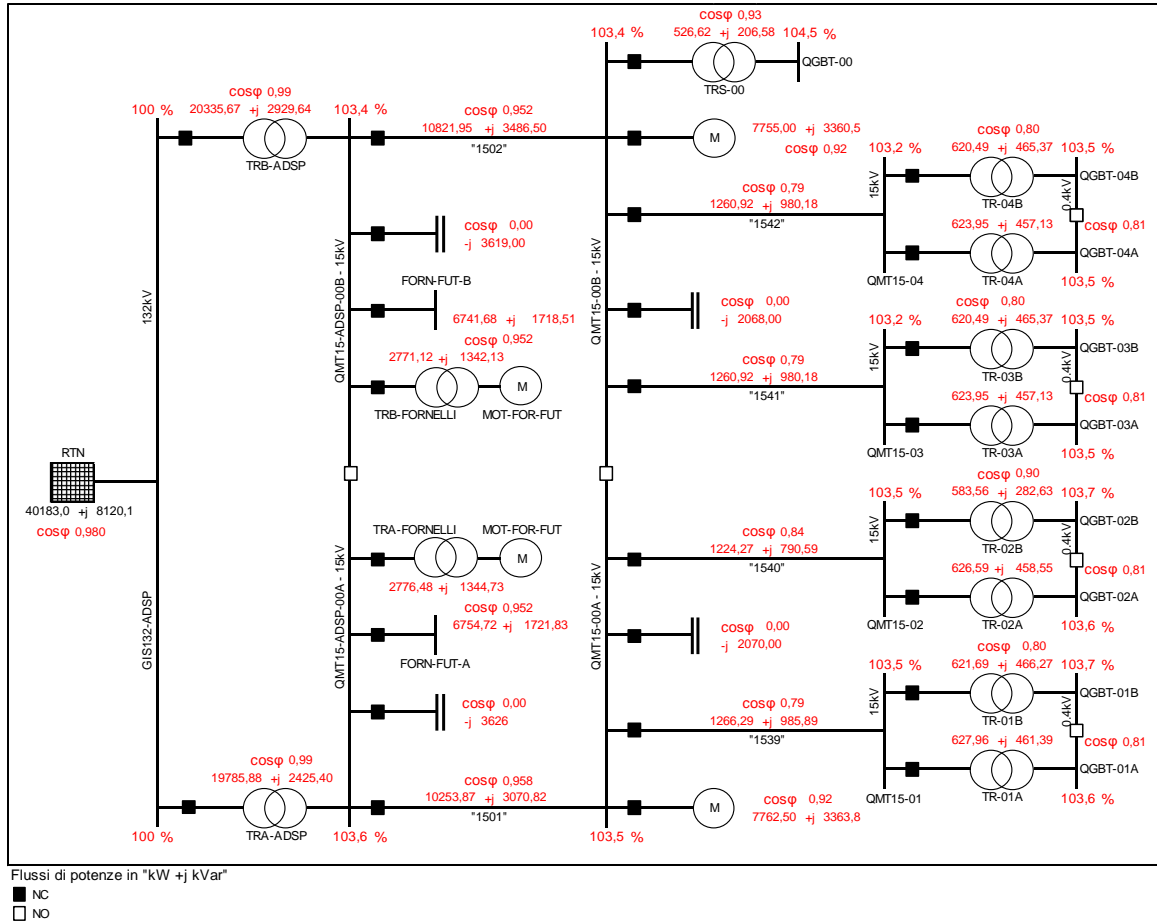
dove:

- $\sum R_i$  è la somma delle resistenze degli elementi circuitali serie;
- $\sum X_i$  è la somma delle reattanze degli elementi circuitali serie;
- $I$  è la corrente del carico in fondo al tratto di linea;
- $\cos\varphi$  è il fattore di potenza del carico in fondo al tratto di linea.

## 6.3 RISULTATI

### 6.3.1 Doppia Radiale

I risultati sono riportati di seguito.



### Montanti trasformatori

Sigla	TAP (%)	Vn (kV)	Rating (kVA)	P (kW)	Q (kVAr)	S (kVA)	Carico (%)
TRA-ADSP	0	15	50000	19785,9	2425,4	19934,0	39,87
TRB-ADSP	0	15	50000	20335,7	2929,6	20545,6	41,09
TRS-00/AB	0	0,4	630	526,6	206,6	565,7	89,79
TR-01A	+2,5	0,4	1250 (*)	628,0	461,4	779,2	62,34
TR-01B	+2,5	0,4	1250 (*)	621,7	466,3	777,1	62,17
TR-02A	+2,5	0,4	1250 (*)	626,6	458,6	776,5	62,12
TR-02B	+2,5	0,4	1250 (*)	583,6	282,6	648,4	51,87
TR-03A	+2,5	0,4	1250 (*)	623,9	457,1	773,5	61,88
TR-03B	+2,5	0,4	1250 (*)	620,5	465,4	775,6	62,05
TR-04A	+2,5	0,4	1250 (*)	623,9	457,1	773,5	61,88
TR-04B	+2,5	0,4	1250 (*)	620,5	465,4	775,6	62,05

(\*) AN



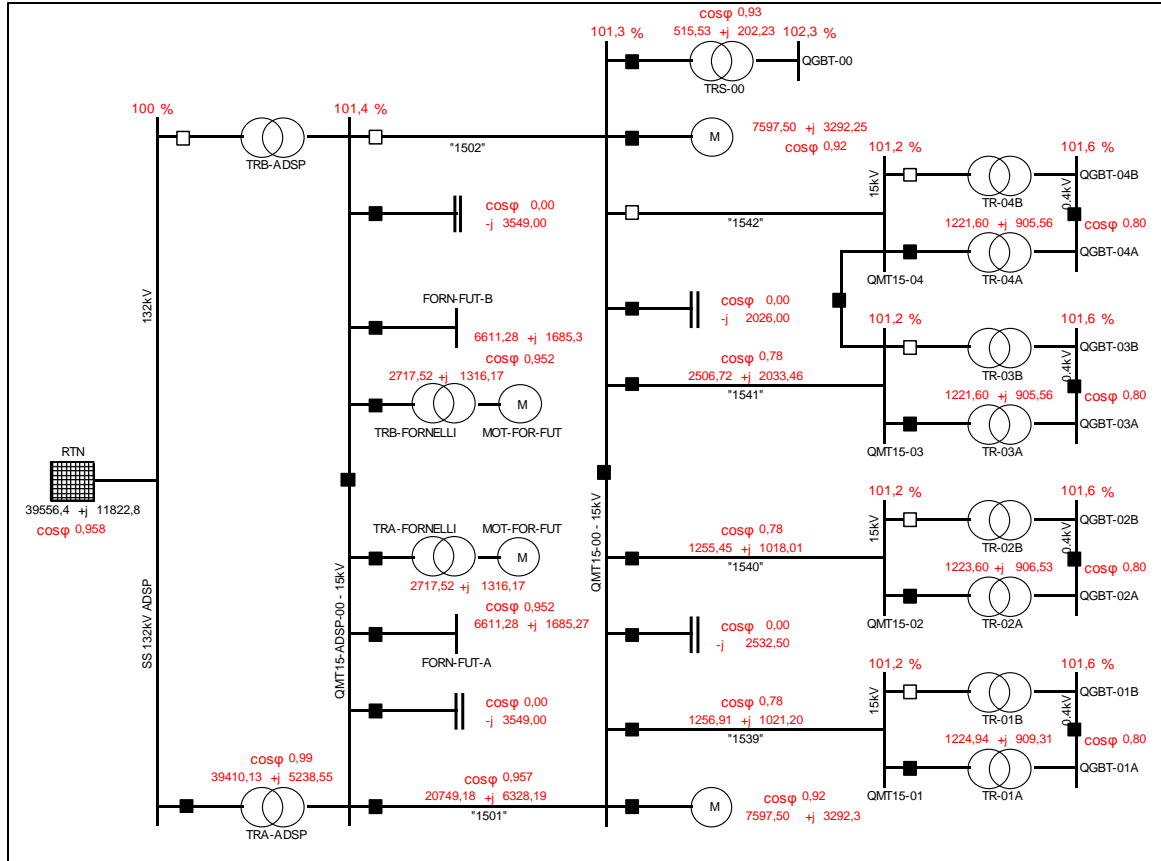
Quadri MT e BT

Sigla	Vn (kV)	V (%)	Rating (A)	Corrente (A)	FP
GIS-132-ADSP	132	100,0	1250	179,3	<b>0,980</b>
QMT15-ADSP-00A	15	103,6	2000	437,6	0,958
QMT15-ADSP-00B	15	103,4	2000	412,0	0,952
QMT15-00A	15	103,5	1250	412,0	<b>0,958</b>
QMT15-00B	15	103,4	1250	437,6	<b>0,952</b>
QMT15-01	15	103,5	630	61,8	0,789
QMT15-02	15	103,5	630	56,1	0,840
QMT15-03	15	103,2	630	61,5	0,790
QMT15-04	15	103,2	630	61,5	0,790
QGBT-00	0,4	104,5	1000	21,8	0,931
QGBT-01A	0,4	103,6	2500	1124,7	0,806
QGBT-01B	0,4	103,7	2500	1121,7	0,800
QGBT-02A	0,4	103,6	2500	1120,7	0,807
QGBT-02B	0,4	103,7	2500	935,9	0,900
QGBT-03A	0,4	103,5	2500	1116,4	0,807
QGBT-03B	0,4	103,5	2500	1119,5	0,800
QGBT-04A	0,4	103,5	2500	1116,4	0,807
QGBT-04B	0,4	103,5	2500	1119,5	0,800



### 6.3.2 Singola Radiale

I risultati sono riportati nelle seguenti tabelle.



Flussi di potenze in "kW +j kVar"

■ NC  
□ NO

### Montanti trasformatori

Sigla	TAP (%)	Vn (kV)	Rating (kVA)	P (kW)	Q (kVAr)	S (kVA)	Carico (%)
TRA-ADSP	0	15	50000	39410,1	5238,5	39756,8	79,51
TRB-ADSP	0	15	50000	0,0	0,0	0,0	0,00
TRS-00/AB	0	0,4	630	515,5	202,2	553,8	87,90
TR-01A	0	0,4	1600 (*)	1224,9	909,3	1525,6	95,35
TR-01B	0	0,4	1600 (*)	-	-	-	-
TR-02A	0	0,4	1600 (*)	1223,6	906,5	1522,8	95,18
TR-02B	0	0,4	1600 (*)	-	-	-	-
TR-03A	0	0,4	1600 (*)	1221,6	905,6	1520,6	95,04
TR-03B	0	0,4	1600 (*)	-	-	-	-
TR-04A	0	0,4	1600 (*)	1221,6	905,6	1520,6	95,04
TR-04B	0	0,4	1600 (*)	-	-	-	-

(\*) AF

## Quadri MT e BT

Sigla	Vn (kV)	V (%)	Rating (A)	Corrente (A)	FP
GIS-132-ADSP	132	100,0	1250	180,6	<b>0,958</b>
QMT15-ADSP-00A/B	15	101,4	2000	835,0	0,991
QMT15-00A/B	15	101,3	1250	835,0	<b>0,957</b>
QMT15-01	15	101,2	630	62,3	0,776
QMT15-02	15	101,2	630	62,2	0,777
QMT15-03	15	101,2	630	124,2	0,777
QMT15-04	15	101,2	630	-	-
QGBT-00	0,4	102,3	1000	799,3	0,931
QGBT-01	0,4	101,6	2500	2202,0	0,803
QGBT-02	0,4	101,6	2500	2198,0	0,804
QGBT-03	0,4	101,6	2500	2194,9	0,803
QGBT-04	0,4	101,6	2500	2194,9	0,803

## 6.4 CONCLUSIONI

Dal quadro ottenuto è possibile dedurre le seguenti conclusioni di carattere generale:

- in nessun caso sono state riscontrate condizioni di sovraccarico dei quadri e dei trasformatori;
- la rete risulta bilanciata dal punto di vista delle tensioni con i regolatori di tensione dei trasformatori MT/BT dei cabinati containers (TR... ) in posizione di “+2,5% in condizioni normali di esercizio (doppia radiale); ciò al fine di compensare le modeste sovratensioni generate in rete dai condensatori di rifasamento.  
Questo effetto viene assorbito per i TR... (regolatori a “0”) quando la rete si trova in configurazione di emergenza (singola radiale) per via delle maggiori c.d.t. cui sono soggetti i vari rami della rete;
- le tensioni dei quadri elettrici rimangono tutte nei limiti ammissibili ( $\leq 5\%$ ).

### 6.4.1 Rifasamento

Il risultato del calcolo del load flow dimostra che al fine di garantire un valore del PF  $\geq 0.95$  nel punto di allaccio al quadro QMT15-ADSP-00 della cabina ADSP Ravano la rete deve essere dotata di unità di rifasamento in MT sulle sbarre 15kV del quadro Ravano QMT15-00 costituiti dai due banchi condensatore:



- HF-00A – 15kV –  $\geq 2000\text{kVAr}$  – alimentato dalla semi-sbarra A del quadro QMT15-00;
- HF-00B – 15kV –  $\geq 2000\text{kVAr}$  – alimentato dalla semi-sbarra B del quadro QMT15-00;

I banchi saranno da frazionare in unità parzializzate per adeguare la compensazione capacitiva alle varie condizioni di carico della rete elettrica.

Il fattore di potenza nelle condizioni di pieno carico ottenuto nel punto di allaccio in ADSP Ravano è non inferiore a 0,95 tanto nel montante A quanto nel montante B del quadro QMT15-00, nella configurazione normale (doppia radiale), e nel montante A (o B) del QMT15-00 nella configurazione di emergenza (singola radiale).

Un ulteriore livello di compensazione della potenza reattiva sarà da prevedere sul quadro QMT15-ADSP al fine di garantire un valore del  $\text{PF} \geq 0.95$  nel punto di allaccio con la rete nazionale (RTN), da realizzare con coppia di banchi condensatore  $\geq 3500\text{kVAr}$ .

I futuri carichi Fornelli sono già stimati con  $\text{PF} \geq 0.95$ .