

**MINISTERO
DELLE INFRASTRUTTURE E DELLA MOBILITÀ SOSTENIBILI
STRUTTURA TECNICA DI MISSIONE**



COMUNE DI TORINO



**METROPOLITANA AUTOMATICA DI TORINO
LINEA 2 – TRATTA POLITECNICO – REBAUDENGO**

**PROGETTAZIONE DEFINITIVA
Lotto Generale: Politecnico - Rebaudengo**

PROGETTO DEFINITIVO		 												
DIRETTORE PROGETTAZIONE Responsabile integrazione discipline specialistiche	IL PROGETTISTA													
Ing. R. Crova Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 60385	Ing. F. Azzarone Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 12287J	INTERFACCIA OPERE CIVILI SISTEMA DI ALIMENTAZIONE ELETTRICA RELAZIONE SUL SISTEMA PROTETTIVO DELLA RETE MT												
		ELABORATO								REV.		SCALA	DATA	
		MT	L2	T1	A0	D	SIS	GEN	R	007	Int.	Est.	-	07/12/2022
BIM MANAGER Geom. L. D'Accardi											0	0		

AGGIORNAMENTI

Fg. 1 di 1

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	VISTO
0	EMISSIONE	07/12/22	SINT Srl	F. Azzarone	F. Azzarone	R. Crova
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

<table border="1"> <tr> <td>LOTTO 0</td> <td>CARTELLA</td> <td>13.5</td> <td>1</td> <td>MTL2T1A0D</td> <td>SISGENR007</td> </tr> </table>						LOTTO 0	CARTELLA	13.5	1	MTL2T1A0D	SISGENR007	<p align="center">STAZIONE APPALTANTE</p> <p align="center">DIRETTORE DI DIVISIONE INFRASTRUTTURE E MOBILITÀ Ing. R. Bertasio</p> <p align="center">RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. A. Strozziro</p>						
LOTTO 0	CARTELLA	13.5	1	MTL2T1A0D	SISGENR007													

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
SISTEMA DI ALIMENTAZIONE ELETTRICA – RELAZIONE SUL SISTEMA PROTETTIVO DELLA RETE MT	MTL2T1A0DSISGENR007-0-0.DOCX

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
SISTEMA DI ALIMENTAZIONE ELETTRICA – RELAZIONE SUL SISTEMA PROTETTIVO DELLA RETE MT	MTL2T1A0DSISGENR007-0-0.DOCX

INDICE

1.	PREMESSA	4
2.	SIGLE ED ABBREVIAZIONI	4
3.	DESCRIZIONE DELLA RETE	5
4.	SISTEMA DI PROTEZIONE DA SOVRACORRENTI PER LA RETE MT	8
4.1	QUADRO RICEZIONE DA ENTE DISTRIBUTORE PUBBLICO QMT-RIC	8
4.2	QUADRO DI SMISTAMENTO QMT-SM	9
4.3	QUADRO DI MT PER STAZIONI E POZZI DI VENTILAZIONE	10

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Schema a blocchi della rete	5
Figura 2 - Rappresentazione del modello della rete con software NEPLAN®	7
Figura 3 - Dorsale di alimentazione a 22kV – Definizione della direzione di intervento dei rivelatori di guasto e comportamento in caso di guasto a terra su linea	12

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
SISTEMA DI ALIMENTAZIONE ELETTRICA – RELAZIONE SUL SISTEMA PROTETTIVO DELLA RETE MT	MTL2T1A0DSISGENR007-0-0.DOCX

1. PREMESSA

La presente relazione si inserisce nell'ambito dell'affidamento dei servizi di ingegneria relativi alla Progettazione Definitiva della Tratta Politecnico-Rebaudengo della Linea 2 della Metropolitana, disciplinato dal Contratto tra la Città di Torino e la società Infratrasporti.TO s.r.l., ed ha per oggetto il sistema di alimentazione elettrica in media tensione a 22kV, asservito alle cabine delle stazioni passeggeri e alle sottostazioni del sistema di trazione elettrica.

In particolare, la presente relazione presenta il sistema protettivo proposto per la rete.

Si faccia riferimento anche all'elaborato grafico MLT2T1A0DSISGENK003 – Schema protezioni rete MT.

2. SIGLE ED ABBREVIAZIONI

Le sigle ed abbreviazioni utilizzate nella presente relazione sono di seguito elencate (in ordine alfabetico):

- ac / AC: Corrente alternata
- ARERA: Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente
- bt: Bassa Tensione (230/400 Vac)
- dc / DC: Corrente continua
- kc: coefficiente di contemporaneità
- ku: coefficiente di utilizzazione
- IMS: Interruttore di Manovra Sezionatore sotto carico
- IRETI: ente di distribuzione pubblica per l'area di Torino
- LTP: Limited Time running Power. Potenza ottenibile da un gruppo elettrogeno per un tempo limitato e senza possibilità di sovraccarico
- MT: Media Tensione (nel caso di specie 22 kV)
- PdC: Punto di Connessione
- PdV: Pozzo di Ventilazione
- PFTE: Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica
- PRP: Prime (Running) Power. Potenza ottenibile da un gruppo elettrogeno per un tempo illimitato (carico variabile con fattore di carico non superiore a 70 %) e con possibilità di sovraccarico per 1h ogni 12
- P: Potenza Attiva (kW)
- Q: Potenza Reattiva (kvar)
- S: Potenza apparente (kVA)

Eventuali altri acronimi potranno essere introdotti solo dopo che siano stati definiti, tra parentesi, accanto alla definizione estesa del proprio significato.

3. DESCRIZIONE DELLA RETE

La rete oggetto di analisi è rappresentata con lo schema a blocchi di 0.

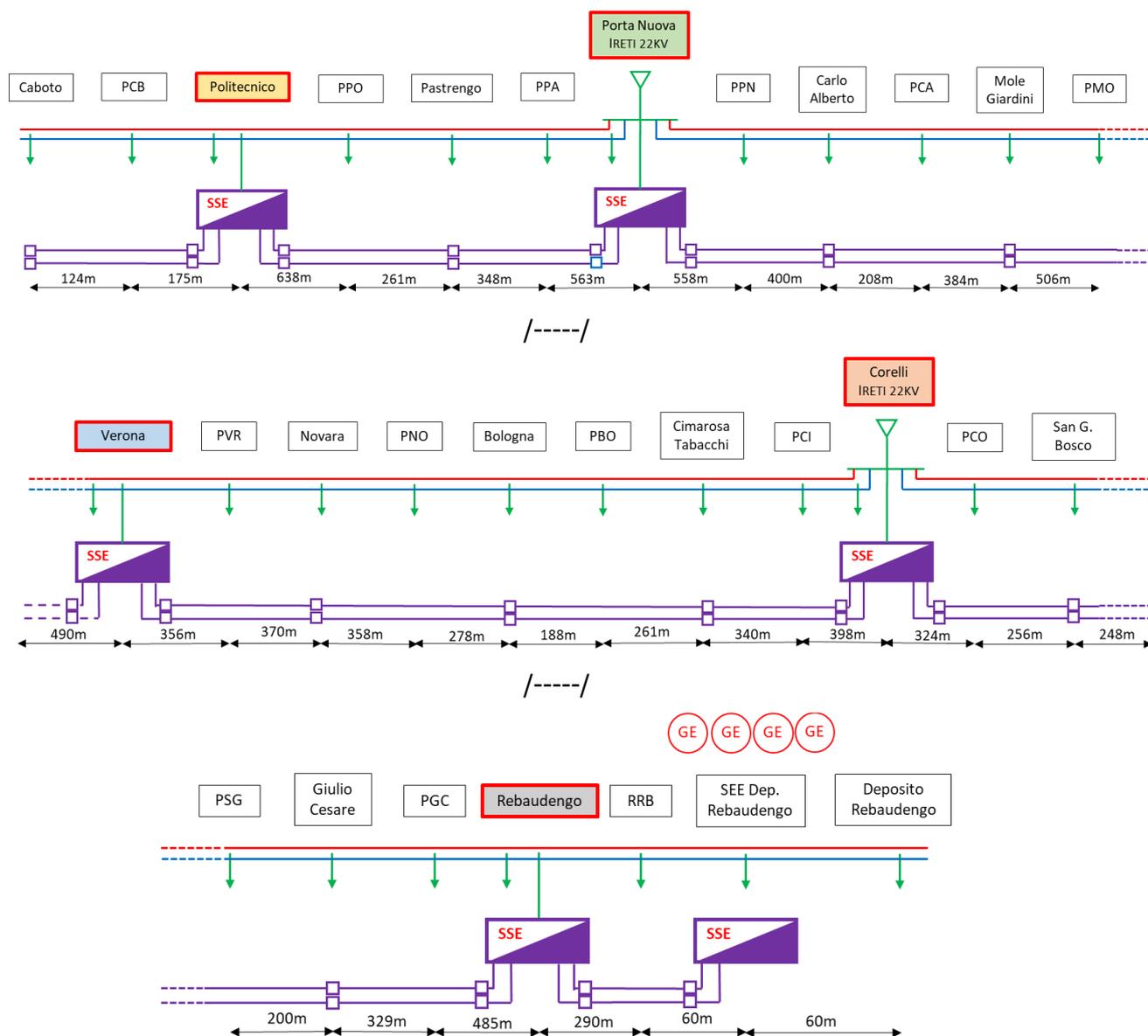


Figura 1 - Schema a blocchi della rete

Presso Porta Nuova e Corelli sono presenti le connessioni alla rete a 22kVac di distribuzione pubblica di IRETI. La rete a 22kVac interna è invece costituita da due dorsali 1 e 2 (Rossa e Blu nello schema) sezionabile in ogni punto di derivazione, costituito da cabine MT/bt in

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
SISTEMA DI ALIMENTAZIONE ELETTRICA – RELAZIONE SUL SISTEMA PROTETTIVO DELLA RETE MT	MTL2T1A0DSISGENR007-0-0.DOCX

corrispondenza alle stazioni e ai pozzi di ventilazione. I carichi MT in corrente alternata sono rappresentati con frecce verdi.

Presso Politecnico, Porta Nuova, Verona, Corelli e Rebaudengo sono indicate le SSE per la trazione. La rete in corrente continua che alimenta i treni è indicata dalle linee viola. Sono anche indicati i sezionatori della rete in corrente continua: sostanzialmente, il sezionamento della rete dc è possibile in corrispondenza alle stazioni.

Nel Deposito Rebaudengo sono simbolicamente rappresentati 4 gruppi elettrogeni, la cui taglia è di 1250kVA - PRP è stata verificata, nei casi illustrati nella Relazione Generale, in una condizione di funzionamento in emergenza.

La rete in corrente alternata, rappresentata schematicamente in 0, è stata inoltre rappresentata dettagliatamente nel modello del software NEPLAN[®], con il quale sono stati effettuati tutti i calcoli di load flow e corto circuito. Il modello così ottenuto è illustrato in 0.

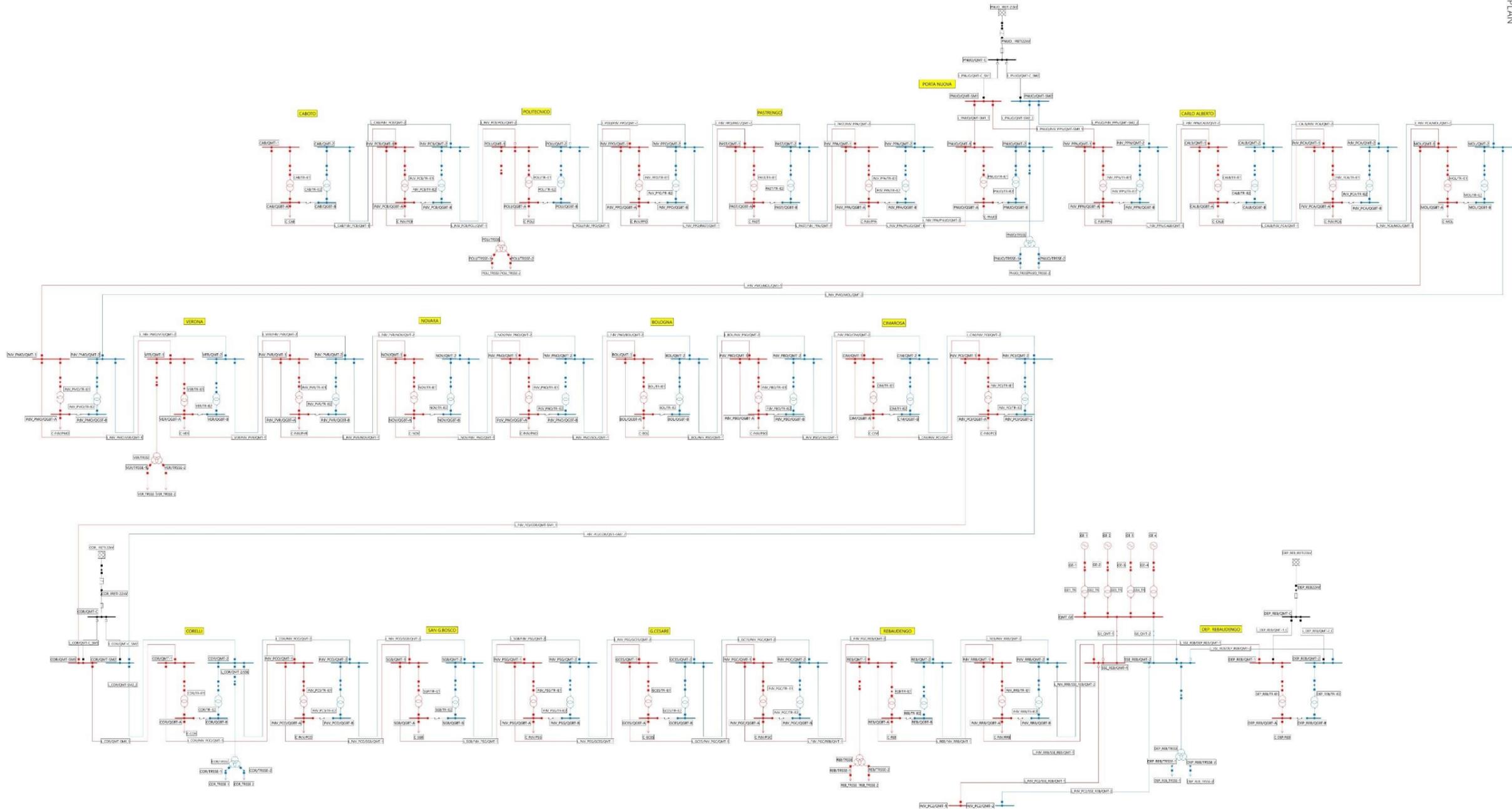


CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 -
Tratta funzionale 1: Politecnico –
Rebaudengo

SISTEMA DI ALIMENTAZIONE ELETTRICA – RELAZIONE
SUL SISTEMA PROTETTIVO DELLA RETE MT

MTL2T1A0DSISGENR007-0-0.DOCX



© NEPLAN

Figura 2 - Rappresentazione del modello della rete con software NEPLAN®

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
SISTEMA DI ALIMENTAZIONE ELETTRICA – RELAZIONE SUL SISTEMA PROTETTIVO DELLA RETE MT	MTL2T1A0DSISGENR007-0-0.DOCX

4. SISTEMA DI PROTEZIONE DA SOVRACORRENTI PER LA RETE MT

Le protezioni di massima corrente per guasti polifase e monofase a terra previste per la rete MT di alimentazione dell'intero sistema sono di seguito elencate per ciascuna tipologia di quadro presente nello schema unifilare.

In particolare si distinguono:

- Quadro di ricezione da ente distributore pubblico QMT-RIC, che verrà utilizzato nei punti di alimentazione dalla rete MT a 22kV pubblica, ovvero, nella fattispecie, a Porta Nuova e Corelli
- Quadro di smistamento QMT-SM: questo è previsto a valle del precedente quadro di ricezione e consente l'alimentazione alle due dorsali 1 e 2 che si diramano nelle due direzioni rispetto al punto di fornitura
- Quadro di stazione e di pozzo di ventilazione: quadro presente nelle stazioni, nella versione a 4 unità funzionali per i pozzi di ventilazione e le stazioni in cui non è presente il trasformatore per il gruppo raddrizzatore del sistema di trazione, o a 5 unità funzionali nelle stazioni in cui è presente quest'ultimo

4.1 Quadro ricezione da ente distributore pubblico QMT-RIC

Nei nodi di ricezione da rete pubblica, ovvero in questa prima fase Porta Nuova e Corelli, con alimentazione a 22kV dall'ente gestore IReti, le protezioni da prevedere sui quadri di MT saranno le seguenti:

- Sistema di Protezione Generale (SPG) associato al Dispositivo Generale (DG) nelle cabine di ricezione da rete di distribuzione pubblica, in ottemperanza alla CEI 0-16. Questo prevede quindi:
 - protezione a due soglie 50/51 per guasto polifase;
 - protezione 51N per guasto monofase a terra, nel caso di estensione limitata della rete MT di utente e per doppio guasto monofase a terra;
 - protezione direzionale di terra 67N, per guasto monofase a terra nel caso di rete MT di estensione tale da superare il contributo in corrente per guasto esterno indicato nella CEI 0-16 (80% di 2 A). Nel caso di specie, questa condizione è verificata e pertanto la protezione 67N diventa necessaria;
 - n. 3 TA sulle tre fasi e n. 1 TA toroidale sull'intera linea in cavo, per la lettura rispettivamente delle correnti di fase I_{L1} , I_{L2} , I_{L3} e della corrente residua $3I_0$;

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
SISTEMA DI ALIMENTAZIONE ELETTRICA – RELAZIONE SUL SISTEMA PROTETTIVO DELLA RETE MT	MTL2T1A0DSISGENR007-0-0.DOCX

- unità funzionale con n. 3 TV collegati fase-terra e dotati di avvolgimento secondario a triangolo aperto per la misura della tensione residua $3V_0$.
- Protezione di partenza linea verso Quadro di Smistamento:
 - protezione a due soglie 50/51 per guasto polifase
 - protezione direzionale di terra 67N, per guasto monofase a terra

La protezione direzionale di terra 67N è sempre da preferire ad una protezione adirezionale 51N, in quanto il contributo proveniente dalla linea sana in caso di guasto sull'altra linea in partenza dal quadro può essere di valore tale da superare le normali soglie di taratura. Ciò determinerebbe quindi un intervento intempestivo, su guasto a terra esterno sulla rete di distribuzione pubblica, se la protezione non fosse in grado di discriminare anche la direzione del guasto.

4.2 Quadro di smistamento QMT-SM

Il quadro di smistamento riceve le linee dalla cabina di ricezione dall'ente distributore e da esso si staccano le dorsali in ambo le direzioni (monte, valle) rispetto al punto di fornitura e per entrambi i sistemi che alimentano rispettivamente le cabine 1 e le cabine 2 delle diverse utenze.

Non si prevede una protezione sulle unità funzionali delle linee in ingresso dal QMT-RIC, dotate di interruttore di manovra sezionatore sotto carico, in quanto presenti a monte, mentre invece sulle unità funzionali a servizio delle dorsali in partenza si prevedono protezioni con le seguenti funzioni di protezione:

- protezione a due soglie 50/51 per guasto polifase
- protezione direzionale di terra 67N, per guasto monofase a terra

Anche in questo caso, la protezione direzionale di terra 67N permette di evitare interventi intempestivi su linee sane nel caso di guasto lungo una delle dorsali sopra menzionate.

A valle delle protezioni menzionate, come dettagliato nel seguito, è previsto l'utilizzo di rivelatori di guasto e non di protezioni che possano determinare l'apertura di un interruttore. Ciò per permettere l'uso di più semplici unità funzionali dotate di interruttore di manovra sezionatore motorizzato.

Pertanto, le protezioni sopra indicate sono quelle che determinano, in caso di guasto, l'apertura dell'intera dorsale, con successiva riconfigurazione della rete per permettere la separazione del tratto guasto e la successiva rialimentazione come dettagliato nel seguito.

Le protezioni sulle partenze linea nel quadro di smistamento saranno in selettività rispetto alle protezioni a monte in quadro ricezione, permettendo quindi di mantenere in servizio tutte le

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
SISTEMA DI ALIMENTAZIONE ELETTRICA – RELAZIONE SUL SISTEMA PROTETTIVO DELLA RETE MT	MTL2T1A0DSISGENR007-0-0.DOCX

dorsali non guaste. La selettività applicata sarà di tipo logico, attraverso la rete Ethernet alla quale tutte le protezioni sono collegate come di seguito descritto.

Per implementare le funzioni protettive sopra elencate, saranno necessari i seguenti trasformatori di misura di tensione e corrente:

- per ciascuna partenza n. 3 TA sulle tre fasi e n. 1 TA toroidale sull'intera linea in cavo, per la lettura rispettivamente delle correnti di fase I_{L1} , I_{L2} , I_{L3} e della corrente residua $3I_0$;
- per ciascuna sezione del quadro di MT, separate dal congiuntore, unità funzionale con n. 3 TV collegati fase-terra e dotati di avvolgimento secondario a triangolo aperto per la misura della tensione residua $3V_0$, necessaria per la funzione 67N.

4.3 Quadro di MT per Stazioni e Pozzi di Ventilazione

L'architettura prevista per i quadri di MT a servizio delle Stazioni e dei Pozzi di Ventilazione è del tutto analoga, per cui viene descritta qui per entrambe le situazioni.

I quadri di MT, per entrambe le dorsali sono costituiti da:

- n. 1 unità funzionale di arrivo della dorsale MT, dotata di interruttore di manovra sezionatore sotto carico motorizzati
- n. 1 unità funzionale di partenza della dorsale MT, dotata di interruttore di manovra sezionatore sotto carico motorizzati
- n.1 o, per le stazioni in cui sia previsto anche il trasformatore per il sistema di trazione, n. 2 unità funzionali dotate di interruttore motorizzato

Stante l'architettura sopra illustrata, il sistema protettivo previsto è il seguente:

- nelle unità funzionali di entra-esce della dorsale in cavo MT è prevista una protezione che agisca da rivelatore di guasto. Il suo ruolo non è quindi quello di determinare l'apertura di un interruttore (sull'unità funzionale è montato infatti un sezionatore), bensì quello di determinare se il guasto sia a monte o a valle nella direzione di alimentazione rispetto al rivelatore stesso.

Le funzioni di protezione in essa implementate sono:

- 27/59: presenza tensione
- 50/51: massima corrente di fase
- 67N: direzionale di terra
- 59N: massima tensione residua

Per implementare le funzioni protettive sopra elencate, saranno necessari i seguenti trasformatori di misura di tensione e corrente:

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
SISTEMA DI ALIMENTAZIONE ELETTRICA – RELAZIONE SUL SISTEMA PROTETTIVO DELLA RETE MT	MTL2T1A0DSISGENR007-0-0.DOCX

- per ciascuna unità funzionale di entra-esci, n. 3 TA toroidali sulle tre fasi e n. 1 TA toroidale sull'intera linea in cavo, per la lettura rispettivamente delle correnti di fase I_{L1} , I_{L2} , I_{L3} e della corrente residua $3I_0$. L'utilizzo di TA toroidali ne consente l'installazione sui cavi al di fuori dello scomparto di MT, il quale può avere una larghezza non compatibile con l'installazione di TA tradizionali;
- unità funzionale con n. 3 TV collegati fase-terra e dotati di avvolgimento secondario a triangolo aperto per la misura della tensione residua $3V_0$, necessaria per la determinazione della direzione del guasto.

In tale modo, è possibile avere una segnalazione locale e a distanza della presenza di guasti di corto circuito e di guasti a terra che possono verificarsi nelle dorsali di distribuzione a media tensione, consentendo di localizzare il tronco di rete affetto dal guasto.

Questi dispositivi vengono previsti in entrambi gli scomparti di entra-esci, così da coprire sia il caso in cui la dorsale sia alimentata dal punto di fornitura a monte come da quello a valle.

Il comportamento dell'intero sistema in caso di guasto (sia di fase che a terra) sarà pertanto il seguente:

- intervento della protezione installata sull'unità funzionale di partenza dorsale sul quadro di smistamento, descritta in 4.2, con apertura dell'interruttore della stessa e messa fuori servizio della sola dorsale guasta;
- ricezione, da parte del sistema di supervisione, delle informazioni provenienti dai rivelatori di guasto, i quali si saranno avviati se percorsi da una corrente superiore alle soglie in essi impostate;
- elaborazione della procedura di separazione del tratto guasto sulla base delle informazioni ricevute ed attuazione della stessa, con:
 - apertura dei sezionatori a monte e a valle del guasto
 - richiusura dell'interruttore di dorsale in cabina di smistamento
 - chiusura dell'interruttore di dorsale normalmente aperto sul quadro di smistamento del nodo successivo di connessione alla rete pubblica per alimentare la parte rimasta a valle del tratto guasto

In tale modo, risultano, nel caso di guasto in linea, rialimentate tutte le cabine derivate sulla dorsale. Nel caso invece di guasto sulla sbarra di uno dei quadri di cabina (in una Stazione o in un Pozzo di Ventilazione), la separazione del guasto includerà ovviamente anche quella della cabina stessa.

I tempi di riconfigurazione della rete possono essere limitati a non più di 1 minuto, tempo nel quale gli UPS sono in grado di mantenere la continuità del servizio ai carichi che momentaneamente risultano disalimentati per effetto dell'apertura dell'interruttore in partenza alla dorsale.



Nel caso di guasto a terra, è necessario ancora il ricorso a protezioni direzionali di terra (67N) per i motivi di seguito illustrati.

La direzione di intervento è fissata per tutti i rivelatori verso linea, come illustrato in Figura 3. Va ricordato poi che la dorsale sarà alimentata in modo radiale da un solo punto di fornitura e non potranno esserci richiuse rispetto ad altri punti di fornitura. Questo significa che in un punto della dorsale vi sarà un organo di sezionamento aperto.

Al verificarsi di un guasto a terra in linea, vi sarà un contributo non solo da monte, dal punto di fornitura e dalla rete di distribuzione, ma anche dalle linee MT a valle. Infatti, in presenza di lunghe linee in cavo, queste contribuiscono alla corrente di guasto con una corrente capacitiva che, nel caso specifico, può valere anche qualche decina di A.

Questa condizione è illustrata in Figura 3, dove sono evidenziate anche le protezioni direzionali che si attivano per effetto delle correnti di contributo al guasto che le attraversano. In questo modo, la posizione del guasto è determinata da quale protezione di dorsale è intervenuta in quadro della cabina di smistamento e da quali protezioni 67N si sono attivate. La linea guasta è l'unica in cui entrambe le protezioni agli estremi sono attivate. Con lo stesso criterio è possibile discriminare dei guasti in cabina.

Se per caso il guasto avviene in prossimità del punto di sezionamento della dorsale, il contributo da valle al guasto potrebbe anche essere tale da non permettere il superamento della soglia su cui le protezioni che agiscono da rivelatori di guasto sono impostate. Anche in questo caso, tuttavia, la discriminazione del punto di guasto è inequivocabile, in quanto questo sarà localizzato nel ramo o nella cabina immediatamente a valle dell'ultima protezione che si è attivata. Nel caso si può anche attivare la soglia 51N sulle protezioni per avere una indicazione più chiara del punto di guasto, sempre in abbinamento alle 67N.

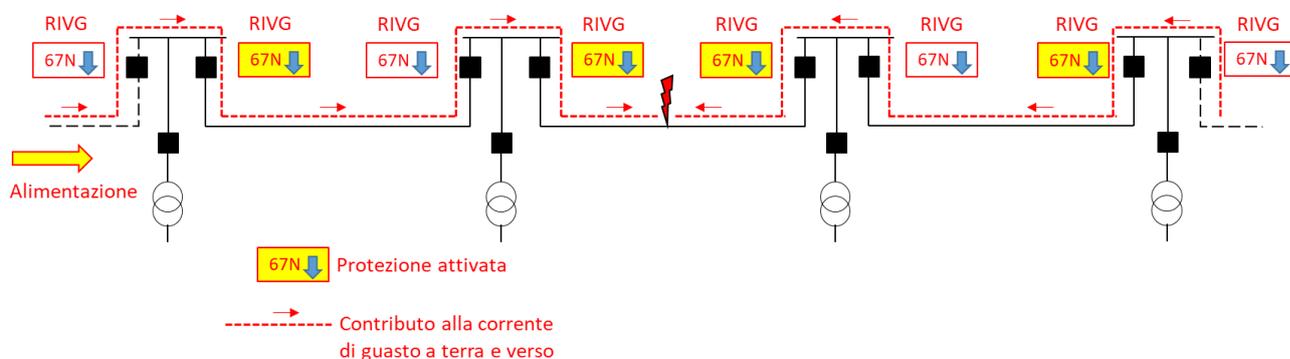


Figura 3 - Dorsale di alimentazione a 22kV – Definizione della direzione di intervento dei rivelatori di guasto e comportamento in caso di guasto a terra su linea

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta funzionale 1: Politecnico – Rebaudengo
SISTEMA DI ALIMENTAZIONE ELETTRICA – RELAZIONE SUL SISTEMA PROTETTIVO DELLA RETE MT	MTL2T1A0DSISGENR007-0-0.DOCX

Dalla figura appare chiaro che, essendoci protezioni sia a monte che a valle del guasto che possono attivarsi per guasto a terra in quanto interessate da una corrente di contributo, una protezione adirezionale di terra 51N non permetterebbe di discriminare il punto di guasto, da cui la necessità del ricorso alla direzionale di terra 67N.

Nel caso di guasto di fase, invece, l'unico contributo al guasto potrà venire solo dal punto di fornitura, per cui solo le protezioni comprese tra questo ed il punto di guasto saranno le uniche ad attivarsi. Il guasto sarà quindi compreso tra l'ultima protezione attivata e la prima non attivata.

Le informazioni ed i criteri sopra esposti, saranno elaborati dalla logica implementata nel sistema di supervisione, il quale poi agirà di conseguenza per inviare i comandi di riconfigurazione della rete con apertura e chiusura degli organi di manovra motorizzati previsti.

La dotazione di questi quadri è completata poi con le protezioni dei feeder di alimentazione ai trasformatori MT/bt, siano essi asserviti a carichi delle Stazioni o dei Pozzi di Ventilazione o a gruppi di conversione per la trazione ferroviaria.

Su queste si prevedono quindi le seguenti funzioni di protezione:

- 50/51: massima corrente di fase
- 51N: protezione per guasto a terra (adirezionale)

Tali protezioni agiranno sull'interruttore previsto per l'unità funzionale, determinandone l'apertura.

Queste andranno messe in selettività logica con le protezioni di dorsale nel quadro di smistamento a monte, quanto meno per coprire il caso di guasti a terra, per i quali i tempi di taratura richiesti dall'ente distributore pubblico sulla protezione generale possono essere compatibili. Ciò significa che verrà messo fuori servizio solo il trasformatore guasto e non anche tutta la dorsale.

Per i guasti di fase è anche possibile concordare con il distributore pubblico la possibilità di incrementare i tempi di taratura per renderli compatibili con l'implementazione della selettività logica. Questo, comunque, nei limiti di quanto prescritto dalla CEI 0-16 e delle condizioni descritte al cap. 8.5.12.7 della Norma stessa.