



Comune di Bologna



Sostenibilità
è Bologna



PUMS
BOLOGNA
METROPOLITANA

RTI Progettisti:

SYSTRA SOTECNI
SYSTRA GROUP



STUDIO MATTIOLI
Ambiente - Ingegneria - Energia



PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA DELLA SECONDA LINEA TRANVIARIA DI BOLOGNA (TRATTO NORD LINEA VERDE - DIRETTRICE CORTICELLA-CASTEL MAGGIORE)

FSC

Fondo per lo Sviluppo
e la Coesione

Intervento finanziato con risorse
FSC 2014-2020 - Piano operativo della Città
metropolitana di Bologna
Delibera CIPE n.75/2017



IMPIANTI ELETTROFERROVIARI Relazione Tecnica Impianti Elettroferroviari

COMUNE DI BOLOGNA
SETTORE MOBILITA' SOSTENIBILE E INFRASTRUTTURE

IL DIRETTORE DEL SETTORE

ING. CLETO CARLINI

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

ING. GIANCARLO SGUBBI

IL DIRETTORE DELL'ESECUZIONE DEL CONTRATTO

ING. MIRKA RIVOLA

SEGRETERIA TECNICA

ING. BARBARA BARALDI

GEOM. AGNESE FERO

Aech. VIRGINIA BORRELLO

RESPONSABILE DI COMMESSA

ING. PAOLO MARCHETTI

RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

ING. SANTI CAMINITI

Gruppo di Progettazione:

Ing. Alessandro Piazza (Coordinatore Tecnico)
Ing. Santi Caminiti (Progetto sistemi tranviari)
Ing. Andrea Spinosa (Studi Trasportistici)
Arch. Sebastiano Fulci De Sarno (Prog. Architettonico e Inser. Urbanistico)
Ing. Sergio Di Nicola (Sovrastruttura Tranviaria)
Ing. Jeremie Wajs (Impianti Tecnologici)
Ing. Maurizio Falzea (Esperto Armamento)
Ing. Giorgio Coletti (Progettazione Funzionale Depositi)
Ing. Pietro Caminiti (Viabilità Interferente)
Ing. Stefano Tortella (Opere Strutturali)
Ing. Andrea Carlucci (Esperto Impianti Elettro-ferroviari)
Ing. Domenico D'Apollonio (Impianti di Trazione Elettrica)
Ing. Matteo Mariotti (Impianti Meccanici)
Arch. Sergio Moscheo (Prime Disposizioni per la Sicurezza)
Ing. Boris. Rowenczyn (Piani Economici e Finanziari)
Prof. Matteo Mattioli (Valutazione impatto ambientale e impatto acustico)

COMMESSA	FASE	DISCIPLINA	TIPO/NUMERO	REV.	SCALA	NOME FILE
B381-C	SF	ITC	RT001	B		B381-C-SF-ITC-RT001B

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	Dic. 2018	EMISSIONE	CARLUCCI	D'APOLLONIO	S. CAMINITI
1	Lug. 2022	AGGIORNAMENTO PER ITER SCREENING AMBIENTALE	CARLUCCI	D'APOLLONIO	S. CAMINITI
2					

Indice

1. PREMESSA.....	5
2. SISTEMA DI ALIMENTAZIONE DELLA TRAZIONE ELETTRICA.....	6
2.1 ALIMENTAZIONE ELETTRICA	6
2.1.1 PREMESSA	6
2.1.2 PRESCRIZIONI TECNICHE E NORME DI RIFERIMENTO	6
2.1.3 DESCRIZIONE FUNZIONALE DEL SISTEMA DI ALIMENTAZIONE MT	7
2.1.4 DESCRIZIONE TECNICA DELLE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE	8
2.1.5 ALIMENTAZIONE DELLA LINEA DI CONTATTO.....	9
2.1.6 ALIMENTAZIONE IN BASSA TENSIONE DELLE UTENZE DI SSE E DELLE FERMATE	10
2.1.7 PRE-DIMENSIONAMENTO ELETTRICO	11
2.1.8 DIMENSIONAMENTO ELETTRICO PRELIMINARE DEL GRUPPO TRASFORMATORE/RADDRIZZATORE DI SSE	11
2.1.9 CALCOLO PRELIMINARE DELLA POTENZA ELETTRICA ALLE RESE ENEL	13
2.2 LINEA DI CONTATTO	15
2.2.1 PRESCRIZIONI TECNICHE E NORME DI RIFERIMENTO	15
2.2.2 ASPETTI GENERALI DELLA LINEA DI CONTATTO.....	19
2.2.3 CARATTERISTICHE TECNICHE DELLA LINEA DI CONTATTO.....	20
2.2.4 TENSIONE DI ESERCIZIO	20
2.2.5 FORMAZIONE DELLA LINEA DI CONTATTO	21
2.2.6 SOSTEGNI.....	21
2.2.7 TRASVERSALI	21
2.2.8 POLIGONAZIONE	21
2.2.9 SEZIONAMENTI.....	22
2.2.10 COLLEGAMENTI EQUIPOTENZIALI E PROTEZIONE DALLE SOVRATENSIONI	22

2.2.11	CAVI DI ALIMENTAZIONE	22
2.2.12	BLOCCHI DI FONDAZIONE	22
2.2.13	TIPOLOGIE DELLE SOSPENSIONI	22
2.2.14	ALTEZZA SUL PIANO DEL FERRO.....	23
2.2.15	DISTANZE DI SICUREZZA	23
2.2.16	DISTANZA DEI SOSTEGNI DAI CONVOGLI IN RETTIFILO E CURVE	23
2.2.17	PROTEZIONE CONTRO I CONTATTI DIRETTI	24
2.2.18	SCAMBI AEREI	24
2.2.19	FRECCIA MASSIMA.....	24
2.2.20	REGOLAZIONE DEL FILO DI CONTATTO.....	24
3.	SISTEMA DI SEGNALAMENTO, LOCALIZZAZIONE, PRIORITÀ SEMAFORICA.....	26
3.1	PREMESSA.....	26
3.2	SISTEMA DI SEGNALAMENTO/COMANDO SCAMBI	27
3.2.1	COMPONENTI DEL SISTEMA DI SEGNALAMENTO/COMANDO SCAMBI	28
3.2.2	UNITÀ DI BORDO.....	28
3.2.3	SISTEMA DI TRASMISSIONE BORDO/TERRA	29
3.2.4	UNITÀ DI RICEZIONE E TRASMISSIONE	29
3.2.5	UNITÀ DI COMANDO SCAMBI	29
3.2.6	SEGNALAMENTO DEL DEPOSITO AUSILIARIO "CAPOLINEA NORD"	30
3.3	SISTEMA DI LOCALIZZAZIONE.....	31
3.3.1	UNITÀ DI BORDO.....	31
3.3.2	PROTOCOLLI DI COMUNICAZIONE DEL SISTEMA AVM CON TERZE PARTI	32
3.3.3	SIRI	33
3.3.4	INFORMATION TECHNOLOGY FOR PUBLIC TRANSPORT (ITXPT) MQTT PROTOCOL.....	33
3.4	PRIORITÀ SEMAFORICA.....	33

3.4.1	REQUISITI MINIMI FUNZIONALI DI LOCALIZZAZIONE PER L'ATTUAZIONE DELLA PRIORITÀ SEMAFOCIA	35
3.5	SISTEMA DI GESTIONE DEI PASSI CARRABILI.....	35
4.	IMPIANTI SEMAFORICI.....	37
4.1	GENERALITA'	37
4.2	SISTEMA DI CONTROLLO SEMAFORICO CENTRALIZZATO	38
4.3	SISTEMA DI ASSERVIMENTO SEMAFORICO	39
4.4	COMPONENTI DEGLI IMPIANTI SEMAFORICI	40
4.4.1	LANTERNE.....	40
4.4.2	PALI	40
4.4.3	CABLAGGI	40
4.4.4	CENTRALINO	40
4.4.5	SEGNALETICA.....	41
5.	TELECOMUNICAZIONI.....	42
5.1	PREMESSA.....	42
5.2	SISTEMA DI TRASMISSIONE A FIBRE OTTICHE	42
5.3	TELEVISIONE A CIRCUITO CHIUSO (TVCC)	43
5.4	IMPIANTO DI DIFFUSIONE SONORA.....	43
5.5	SISTEMA TELEFONICO/TELEFONICO D'EMERGENZA.....	44
5.6	SISTEMA DI INFORMAZIONE AL PUBBLICO.....	44
5.7	SISTEMA DI COMUNICAZIONE TERRA-TRENO	45
5.8	SISTEMA DI TARIFFAZIONE.....	46
5.9	SISTEMA DI SINCRONIZZAZIONE ORARIA	47
6.	SISTEMA DI TELECOMANDO/TELECONTROLLO (SCADA).....	48
6.1	PREMESSA.....	48
6.2	NORME DI RIFERIMENTO	48
6.3	GENERALITA'	49

6.4	ARCHITETTURA DEL SISTEMA SCADA.....	51
6.4.1	POSTAZIONE CENTRALE DI CONTROLLO E COMANDO	52
6.4.2	POSTO PERIFERICO DI SSE.....	52
6.4.3	POSTO PERIFERICO DI FERMATA	53

1. PREMESSA

Nell'ambito del servizio di Progettazione di Fattibilità Tecnica ed Economica della Diramazione della Linea Rossa per Corticella, la presente Relazione Tecnica descrive gli Impianti Elettro-Ferroviani necessari per la circolazione dei veicoli tramviari a trazione elettrica, e per il corretto svolgimento dell'Esercizio.

Tali impianti e sistemi sono diffusamente descritti nei seguenti capitoli e sono di seguito elencati:

- Sistema di Alimentazione della Trazione Elettrica
 - Alimentazione Elettrica
 - Linea di Contatto
- Sistema di Segnalamento, Localizzazione, Priorità e Impianti Semaforici
 - Segnalamento e comando scambi
 - Sistema di Localizzazione
 - Sistema di Priorità semaforica
 - Sistemi per la gestione dei Passi carrabili
 - Impianti Semaforici
- Telecomunicazioni e Sistema di Telecomando/Telecontrollo
 - Sistemi di Telecomunicazione
 - Sistema di Telecomando/Telecontrollo
- Controllo Centralizzato dell'Esercizio

2. SISTEMA DI ALIMENTAZIONE DELLA TRAZIONE ELETTRICA

2.1 ALIMENTAZIONE ELETTRICA

2.1.1PREMESSA

Scopo del presente capitolo è quello di illustrare le caratteristiche generali del Sistema di Alimentazione della Trazione Elettrica (TE) e le principali apparecchiature delle Sottostazioni Elettriche di Alimentazione a 750 Vcc della Linea di Contatto della Diramazione della Linea Rossa per Corticella.

2.1.2PRESCRIZIONI TECNICHE E NORME DI RIFERIMENTO

Per la definizione delle caratteristiche tecniche degli impianti, anche ove non specificato, si deve fare riferimento specifico a tutta la normativa di legge ed alle prescrizioni degli Enti preposti in vigore. In particolare, a scopo esemplificativo, si elencano:

- DPR 547, 27 aprile 1955: Norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro;
- Legge 186, 1 marzo 1968: Disposizioni concernenti la produzione dei materiali e l'installazione degli impianti elettrici;
- DM 22 gennaio 2008, n. 37 Regolamento concernente l'attuazione dell'articolo 11-quaterdecies, comma 13, lettera a) della legge n. 248 del 2 dicembre 2005, recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici;
- Disposizioni della locale azienda distributrice dell'energia elettrica;
- CEI 11-1 "Impianti di produzione, trasporto e distribuzione di energia elettrica. Norme generali"
- CEI 11-8 "Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica Impianti di terra"
- CEI 64-8 "Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua"
- CEI EN 50163 "applicazioni ferroviarie – Tensione di alimentazione dei sistemi ferroviari"

- CEI EN 60146 1-1 "Convertitori a semiconduttori - Prescrizioni generali e convertitori commutati dalla linea - Parte 1-1: Specifiche per le prescrizioni fondamentali"
- CEI EN50122-1 "Applicazioni ferroviarie - installazioni fisse Parte 1: Provvedimenti di protezione concernenti la sicurezza elettrica e la messa a terra"
- CEI EN50122-2 "Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane – Impianti fissi Parte 2: Protezione contro gli effetti delle correnti vaganti causate da sistemi di trazione in corrente continua" nonché le Norme di unificazione UNI.

2.1.3 DESCRIZIONE FUNZIONALE DEL SISTEMA DI ALIMENTAZIONE MT

Il sistema di alimentazione elettrica ha la funzione di ricevere energia elettrica dall'esterno e di alimentare tutte le relative utenze elettriche.

Esso sarà costituito da:

- sistema media tensione costituito da: punti di prelievo dall'ente fornitore, cavi di distribuzione MT e relativi accessori, quadri ed apparecchiature MT;
- sistema di trazione costituito da sottostazioni elettriche e linea di contatto con relativi sezionamenti ed organi di manovra;
- sistema di distribuzione BT delle utenze di fermata;
- sistema di terra e correnti vaganti in cui vengono attuati i provvedimenti al fine della sicurezza elettrica per le persone e per la mitigazione degli effetti delle correnti vaganti generate dal sistema di trazione.

Il sistema di alimentazione della trazione elettrica della diramazione per Corticella sarà costituito da 3 sottostazioni elettriche di conversione.

E' previsto un punto di consegna dalla rete ENEL da 9,9 MW in media tensione a 15 KV, nella sottostazione SSE 03 – Capolinea Nord.

Dal punto di fornitura sopra indicato l'energia sarà distribuita alle altre sottostazioni tramite una linea in media tensione in cavo tripolare elicordato per Media Tensione, avente grado di isolamento 12/20 KV e sezione di 240 mmq, tipo RG7H1M1X - 12/20 KV, che si richiude sulla SSE 06 già prevista per la Linea Rossa.

In questo modo, le SSE della diramazione per Corticella risultano alimentate da due Rese di alimentazione primaria (Resa ENEL presso la SSE 03 – Capolinea NORD e Resa ENEL presso la SSE 07 della Linea Rossa– Capolinea MICHELINO), di modo che anche il “fuori servizio” di una di esse non comporterà alcun disservizio della linea tranviaria.

Le SSE di conversione sono state previste per garantire l’energia di trazione a 750 V cc e l’energia in bassa tensione per gli impianti di linea.

L’impianto in questione risponderà a tre esigenze principali:

- assicurare la potenza necessaria seguendo precisi criteri di disponibilità e razionalità;
- essere concepito con la massima economia di esercizio;
- garantire livelli di distorsioni armoniche accettabili, anche in relazione alle caratteristiche delle forniture.

2.1.4 DESCRIZIONE TECNICA DELLE SOTTOSTAZIONI ELETTRICHE

Le sottostazioni elettriche di alimentazione della linea di contatto dovranno fornire l’energia necessaria per i rotabili alla tensione di 750 Vcc.

Per la conversione ed alimentazione in c.c. sono previsti due monogruppi in ciascuna sottostazione lungo linea (uno di riserva all’altro), della potenza di 1600 kW con sovraccaricabilità in classe VI, norma CEI EN 60146.1.1.

Ciascuno dei quadri MT previsti in sottostazione é composto di un sistema di sbarre da cui sono derivate le alimentazioni per i trasformatori di gruppo, il trasformatore dei servizi ausiliari, e le linee di alimentazione che garantiscono la distribuzione della MT.

Si indica di seguito la composizione delle SSE previste:

- quadro blindato MT, costituito da uno scomparto misure, un’unità di interconnessione MT con il punto di Resa ENEL o con la SSE precedente, un’unità di interconnessione MT con la SSE successiva, un’unità di protezione per ciascun trasformatore di potenza ed un’unità di protezione del trasformatore dei servizi ausiliari;
- trasformatore in resina per servizi ausiliari da 160 KVA, 15KV/400 V;

- quadro generale di distribuzione in bassa tensione;
- UPS 60KVA con doppia centralina ed autonomia di funzionamento di 30 min. del tipo a cassette;
- caricabatterie 110V cc e convertitore 24V cc;
- n. 2 trasformatori di potenza in resina da 1800 KVA, con doppio secondario, 15KV/590–590 V;
- n. 2 gruppi di conversione monoblocco da 1600 KW;
- quadro blindato c.c., con n. 2 interruttori extrarapidi;
- armadio di sezionatori di 1° e 2° fila.

Le S.S.E. sono previste normalmente impresenziate, comandate e controllate dal Posto Centrale di Controllo, o attraverso i posti di controllo computerizzati in S.S.E..

Ogni S.S.E. nel suo complesso avrà un'emissione in termini di livello acustico compatibili con i livelli consentiti e relativi alla zonizzazione acustica.

In tutte le S.S.E. sono previsti sistemi antintrusione, di rilevamento fumi e incendio.

Le S.S.E. lungo linea saranno ubicate in idoneo fabbricato fuori terra da realizzarsi ex novo.

2.1.5 ALIMENTAZIONE DELLA LINEA DI CONTATTO

Il Sistema di alimentazione della Trazione Elettrica prevede la suddivisione della Linea di Contatto della diramazione per Corticella in sezioni elettricamente separate per mezzo di isolatori di sezione. Ciascuna zona sarà alimentata in bilaterale da due SSE adiacenti. In corrispondenza di ogni isolatore di sezione, i sezionatori motorizzati di 1° e 2° fila saranno in grado di riconfigurare il sistema di alimentazione in caso di fuori servizio e/o manutenzione di ciascuna SSE, in modo tale che le SSE adiacenti possano sobbarcarsi l'intero carico di trazione.

E' questa la condizione più gravosa dal punto di vista elettrico sia per quanto riguarda il dimensionamento del gruppo trasformatore/raddrizzatore di ciascuna SSE (deve poter sostenere il carico di un'intera tratta normalmente alimentata in bilaterale) sia per la

Linea di Contatto (la caduta di tensione deve essere contenuta entro i limiti previsti dalle norme considerando il numero totale dei veicoli presenti in linea).

2.1.6 ALIMENTAZIONE IN BASSA TENSIONE DELLE UTENZE DI SSE E DELLE FERMATE

In ogni sottostazione tutte le utenze di bassa tensione sono alimentate da un trasformatore MT/BT. La sezione di distribuzione BT è costituita da un quadro di distribuzione generale al quale sono collegati gli impianti BT, sia per la stessa sottostazione, sia quelli relativi alle utenze di linea (QEF Quadri elettrici di fermata).

Il quadro di distribuzione generale è diviso in due sezioni: la prima sezione, detta sezione normale, collegata al trasformatore dei servizi ausiliari, alimenta tutte le utenze che in caso di mancanza tensione MT possono essere senza tensione (illuminazione e forza motrice non necessaria per situazioni di emergenza) ed i quadri elettrici di fermata (sezione normale); la seconda sezione, detta sezione di emergenza, è alimentata da UPS con autonomia 30 min (gruppo di continuità con uscita in corrente alternata) per l'alimentazione in continuità degli impianti non di sistema che necessitano l'alimentazione senza soluzione di continuità, per esempio illuminazione di emergenza, rilevazione incendi, antintrusione, nonché per l'alimentazione in continuità della relativa sezione dei quadri elettrici di fermata e dei posti periferici del sistema SCADA.

La sezione di emergenza per ogni sottostazione alimenta anche un carica batterie (gruppo di continuità con uscita in corrente continua) per l'alimentazione in continuità delle logiche di funzionamento, delle protezioni e delle segnalazioni delle cabine di stazione e delle sottostazioni.

In caso di mancanza della rete di fornitura, con la riconfigurazione della linea MT di interconnessione si garantisce il ripristino dell'alimentazione in tempi contenuti. La sezione di emergenza del QGBT è anche alimentata da una fornitura ENEL in bassa tensione, che subentra in caso di fuori servizio del trafo AUX, per garantire la continuità del servizio tramviario.

2.1.7 PRE-DIMENSIONAMENTO ELETTRICO

Nella presente sezione è riportato il pre-dimensionamento del sistema di alimentazione della trazione elettrica della diramazione per Corticella, che dovrà essere confermato nelle successive fasi progettuali, con adatti strumenti di verifica e sulla base di dati di impianto e di esercizio definitivi.

2.1.8 DIMENSIONAMENTO ELETTRICO PRELIMINARE DEL GRUPPO TRASFORMATORE/RADDRIZZATORE DI SSE

Il dimensionamento elettrico preliminare del gruppo trasformatore/raddrizzatore di ciascuna SSE è eseguito con riferimento ai seguenti parametri:

- Potenze assorbite dal materiale rotabile
- Frequenza massima dei convogli
- Tensione di alimentazione della linea di contatto
- Ubicazione SSE

Ciascuna SSE sarà dimensionata in modo da poter sopperire al fuori servizio di una delle SSE adiacenti.

In particolare sono stati assunti i seguenti parametri:

Veicolo tipo

- Corrente media assorbita per trazione: $I_m=340$ A
- Corrente media assorbita per servizi ausiliari di bordo: $I_{aux}=140$ A

Frequenza massima dei veicoli

- Frequenza dei veicoli all'ora di punta: 5 min

Con velocità commerciale 18km/h (5m/s), all'ora di punta si avrebbe un veicolo ogni 1500m.

Tensione di alimentazione della linea di contatto

- Tensione linea di contatto: 750 Vcc

Ubicazione SSE

- Distanza media fra le SSE: 2 km

Recupero dell'Energia di frenatura non considerato

Dai dati sopra riportati discende che la potenza totale richiesta ad ogni SSE è pari a :

$$P_{tot} = P_{traz} + P_{aux}$$

In cui:

$$P_{traz} = 2N \times V \times I_m$$

$$P_{aux} = 2N \times V \times I_{aux}$$

dove:

- N è il numero di veicoli per senso di marcia ricadenti nella sezione di competenza di ogni SSE. Considerando che tale sezione è lunga 2000m (1000m prima della SSE e 1000m dopo la SSE) e che i veicoli sono distanziati 1500m, per N si ha: $2000/1500 = 1,3$ veicoli per sezione, approssimabile per eccesso a 2.
- $V = 750V_{cc}$
- $I_m = 340A$
- $I_{aux} = 140A$

Da cui discende:

$$P_{traz} = 2N \times V \times I_m = 2 \times 2 \times 750V_{cc} \times 340A = 1.020kW$$

$$P_{aux} = 2N \times V \times I_{aux} = 2 \times 2 \times 750V_{cc} \times 140A = 420kW$$

Da cui la potenza totale richiesta ad ogni SSE:

$$P_{tot} = P_{traz} + P_{aux} = 1.020 + 420 = 1.440 \text{ kW}$$

In base ai calcoli sopra riportati, si decide di prevedere in ogni SSE un gruppo Trasformatore/Raddrizzatore da 1.600 kW, a cui è affiancato un gruppo Trasformatore/Raddrizzatore di riserva di pari potenza.

In caso di fuori servizio di una SSE, il sezionatore di 2° fila in corrispondenza del sezionamento prossimo alla SSE fuori servizio sarà chiuso e la potenza richiesta alle SSE adiacenti è pari a:

$$P_{tot} = P_{traz} + P_{aux}$$

In cui:

$$P_{traz} = 2N \times V \times I_m$$

$$P_{aux} = 2N \times V \times I_{aux}$$

dove:

- N è il numero di veicoli per senso di marcia ricadenti nella sezione di competenza di ogni SSE. Considerando che tale sezione, in caso di fuori servizio di una SSE, diventa lunga 3000m (1000m prima della SSE e 2000m dopo la SSE) e che i veicoli sono distanziati 1500m, per N si ha: $3000/1500 = 2$ veicoli per sezione.
- $V = 750V_{cc}$
- $I_m = 340A$
- $I_{aux} = 140A$

Da cui discende:

$$P_{traz} = 2N \times V \times I_m = 2 \times 2 \times 750V_{cc} \times 340A = 1.020kW$$

$$P_{aux} = 2N \times V \times I_{aux} = 2 \times 2 \times 750V_{cc} \times 140A = 420kW$$

Da cui la potenza totale richiesta ad ogni SSE:

$$P_{tot} = P_{traz} + P_{aux} = 1.020 + 420 = 1.440 kW$$

In base ai calcoli sopra riportati, in caso di fuori servizio di una SSE, le SSE adiacenti sono in grado di fornire la potenza necezzaria per continuare l'esercizio tramviario con un solo gruppo Trasformatore/Raddrizzatore da 1.600 kW.

2.1.9 CALCOLO PRELIMINARE DELLA POTENZA ELETTRICA ALLE RESE ENEL

Con riferimento agli elaborati grafici facenti parte della documentazione progettuale, per alimentare in Media Tensione (15 kV) il sistema di Alimentazione della Trazione Elettrica della diramazione per Corticella si propone uno schema elettrico caratterizzato da:

- Alimentazione delle SSE 1, 2, 3 e della Cabina MT/BT del Deposito Ausiliario al Capolinea Nord mer mezzo di una Resa ENEL dedicata e prevista nella SSE 3;
- Alimentazione di riserva derivata dalla Resa ENEL prevista nella SSE 07 – Capolinea MICHELINO della Linea Rossa, mediante richiusura dell'Anello MT in corrispondenza della SSE 06 della stessa Linea Rossa.

Nel seguito è riportata la valutazione preliminare della Potenza Elettrica da richiedere all'ENEL all'estremo della Diramazione per Corticella.

	Potenza per Trazione [kW]	Potenza ausiliari di SSE e utenze di Fermata/Linea/Deposit o [kW]	Totale [kW]
Cabina MT/BT deposito aux	-	100	100
SSE 1	1.440	60	1.500
SSE 2	1.440	60	1.500
SSE 3	720	30	750
Totale Potenza Resa ENEL in SSE 03- Capolinea NORD			3.850

Stante la tabella di calcolo precedente, si ritiene opportuno avviare già da questa fase le consultazioni con ENEL per ottenere una Resa di Potenza elettrica pari a 4 MW in corrispondenza della SSE 03 – Capolinea NORD.

Stante poi la necessità di dover continuare ad esercire la Linea anche in caso di indisponibilità della Resa ENEL, si prevede di interconnettere le SSE della diramazione per Corticella con la SSE 06 della Linea Rossa, mediante un cavo MT in grado di permettere l'alimentazione della diramazione anche dalla Resa ENEL presso la SSE 07 – Capolinea MICHELINO, che già alimenta le SSE 05, SSE 06 e SSE 07 della Linea Rossa.

Nella seguente tabella si riporta il calcolo della potenza che la Resa ENEL presso la SSE 03 – Capolinea MICHELINO dovrebbe fornire in caso di fuori servizio della Resa ENEL prevista nella SSE 03 – Capolinea NORD della diramazione per Corticella.

	Potenza per Trazione	Potenza ausiliari di SSE e utenze di Fermata/Linea/Deposit	Totale [kW]
--	-------------------------	--	----------------

	[kW]	o [kW]	
Cabina MT/BT deposito aux	-	100	100
SSE 1	1.440	60	1.500
SSE 2	1.440	60	1.500
SSE 3	720	30	750
SSE5–LineaRossa	720	30	750
SSE6–LineaRossa	1.440	60	1.500
SSE7–LineaRossa	720	30	750
Totale Potenza Resa ENEL in SSE 07- Capolinea MICHELINO			6.850

In tal senso, in corrispondenza di ciascuna Resa ENEL (SSE 03 – Capolinea NORD e SSE 07 – Capolinea MICHELINO) si ritiene opportuno prevedere la diponibilità di potenza pari a 7 MW.

2.2 LINEA DI CONTATTO

La presente relazione ha lo scopo di descrivere le caratteristiche generali della Linea di Contatto della Diramazione per Corticella.

Il sistema proposto è un sistema integrato a basso impatto ambientale, che coniuga la necessità dell'inserimento architettonico dell'infrastruttura nell'ambito cittadino con innovazione tecnica ed abbattimento dell'impatto ambientale dei componenti utilizzati.

2.2.1 PRESCRIZIONI TECNICHE E NORME DI RIFERIMENTO

Per il progetto e la costruzione degli impianti del sistema Linea di Contatto sono applicabili le norme e gli standard di seguito elencati:

- CEI EN 50122-1 Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane – Impianti fissi - Sicurezza elettrica, messa a terra e circuito di ritorno Parte 1: Provvedimenti di protezione contro lo shock elettrico
- CEI EN 50122-2 Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane – Impianti fissi - Sicurezza elettrica, messa a terra e circuito di ritorno Parte 1: Provvedimenti contro le correnti vaganti causate dai sistemi di trazione a corrente continua.
- CEI EN 50163 Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane -
- Tensioni di alimentazione dei sistemi di trazione
- CEI EN 50388 Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane - Alimentazione elettrica e materiale rotabile - Criteri tecnici per il coordinamento tra alimentazione elettrica (sottostazione) e materiale rotabile per ottenere l'interoperabilità
- CEI EN 50119 Applicazioni ferroviarie, tranviarie, filoviarie e metropolitane – Impianti fissi - Linee aeree di contatto per trazione elettrica
- D.Lgs. 30 aprile 1992, n. 285 nuovo Codice della strada
- D.P.R. 16 dicembre 1992, n. 495 Regolamento di esecuzione e di attuazione del nuovo Codice della strada
- ISO 9001:2000 Sistemi di Gestione per la qualità – Requisiti
- UNI 7156-2008 - Tranvie urbane ed extraurbane. Distanze minime degli ostacoli fissi dal materiale rotabile e interbinario – Altezza della linea di aerea di contatto
- UNI EN 40-4 Pali per illuminazione - Protezione della superficie dei pali metallici
- CEI EN 61000-3-2 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 3-2: Limiti - Limiti per le emissioni di corrente armonica (apparecchiature con corrente di ingresso ≤ 16 A per fase). (Data Pubblicazione: 01/04/2007).
- CEI EN 61000-3-3 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 3-3: Limiti - Limitazione delle fluttuazioni di tensione e del flicker in sistemi di alimentazione in

bassa tensione per apparecchiature con corrente nominale ≤ 16 A e non soggette ad allacciamento su condizione. (Data Pubblicazione: 01/07/2014).

- CEI EN 61000-4-2 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4: Tecniche di prova e di misura Sezione 2: Prove di immunità a scarica elettrostatica Pubblicazione Base EMC. (Data Pubblicazione: 01/04/2011).
- CEI EN 61000-4-3 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4: Tecniche di prova e di misura - Sezione 3: Prova d'immunità sui campi irradiati a radiofrequenza. (Data Pubblicazione: 01/04/2007)
- CEI EN 61000-4-4 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4: Tecniche di prova e di misura Sezione 4: Prova di immunità a transitori/treni elettrici veloci Pubblicazione Base EMC. (Data Pubblicazione: 01/07/2013)
- CEI EN 61000-4-5 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4: Tecniche di prova e di misura Sezione 5: Prova di immunità ad impulso. (Data Pubblicazione: 01/10/2007).
- CEI EN 61000-4-6 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 4: Tecniche di prova e di misura Sezione 6: Immunità ai disturbi condotti, indotti da campi a radiofrequenza. (Data Pubblicazione: 01/09/2014).
- CEI EN 61000-6-1 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 6-1: Norme generiche - Immunità per gli ambienti residenziali, commerciali e dell'industria leggera (Data Pubblicazione: 01/10/2007)
- CEI EN 61000-6-2 Compatibilità elettromagnetica (EMC) - Parte 6-2: Norme generiche - Immunità per gli ambienti industriali (Data Pubblicazione: 01/10/2006)
- CEI EN 61000-6-3 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 6-3: Norme generiche - Emissione per gli ambienti residenziali, commerciali e dell'industria leggera (Data Pubblicazione: 01/11/2007)
- CEI EN 61000-6-4 Compatibilità elettromagnetica (EMC) Parte 6-4: Norme generiche - Emissione per gli ambienti industriali (Data Pubblicazione: 01/11/2007)

- CEI EN 55011 Apparecchi a radiofrequenza industriali, scientifici e medicali (ISM) Caratteristiche di radiodisturbo Limiti e metodi di misura (Data Pubblicazione: 01/06/2013).
- CEI EN 55022 Apparecchi per la tecnologia dell'informazione Caratteristiche di radiodisturbo Limiti e metodi di misura (Data Pubblicazione: 01/02/2014).
- CEI EN 50293 Compatibilità elettromagnetica - Impianti semaforici - Norma di prodotto (Data Pubblicazione: 01/05/2013)
- CEI EN 60529 Gradi di protezione degli involucri (Codice IP). 1997-06.
- CEI EN 60529/A1 Gradi di protezione degli involucri (Codice IP). 2000-06
- CEI 20-67 Guida per l'uso dei cavi 0,6/1 KW. 2001-01.
- CEI 20-67;V1 Guida per l'uso dei cavi 0,6/1 KW. 2009-04
- CEI 20-67;V2 Guida per l'uso dei cavi 0,6/1 KW. 2013-09
- CEI EN 60947-1 Apparecchiature a bassa tensione Parte 1: Regole generali. 2008-02.
- CEI EN 60947-2 Apparecchiature a bassa tensione Parte 2: Interruttori automatici.
- CEI EN 60947-3 Apparecchiatura a bassa tensione Parte 3: Interruttori di manovra, sezionatori, interruttori di manovra-sezionatori e unità combinate con fusibili. 2010-11.
- CEI EN 60947-7-1 Apparecchiature a bassa tensione Parte 7-1: Apparecchiature ausiliarie - Morsetti componibili per conduttori di rame. 2010-04.
- CEI EN 61439-1 Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) Parte 1: Regole generali 2012-02
- CEI EN 61439-3 Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT) Parte 3: Quadri di distribuzione destinati ad essere utilizzati da persone comuni (DBO) 2012-11
- CEI 64-8/1 Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua - Parte 1: Oggetto, scopo e principi fondamentali. 2012-06.

- CEI 64-8/2 Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua - Parte 2: Definizioni. 2012-06.
- CEI 64-8/3 Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua – Parte 3: Caratteristiche generali. 2012-06.
- CEI 64-8/4 Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua - Parte 4: Prescrizioni per la sicurezza. 2012-06.
- CEI 64-8/5 Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua - Parte 5: Scelta ed installazione dei componenti elettrici. 2012-06.
- CEI 64-8/6 Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua - Parte 6: Verifiche. 2012-06.
- CEI 64-8/7 Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua - Parte 7: Ambienti ed applicazioni particolari. 2012-06.

2.2.2 ASPETTI GENERALI DELLA LINEA DI CONTATTO

Per l'alimentazione elettrica dei veicoli tramviari è prevista una linea di contatto composta da un solo filo sagomato, della sezione di 120 mmq per ciascun senso di marcia, progettata nel rispetto della norma EN 50122-2, e supportata, per il trasporto dell'energia occorrente, da due cavi a posa interrata (feeder) della sezione complessiva di 600 mmq collegati in parallelo.

Per il sostegno della linea di contatto è stata prevista, in funzione dei vincoli dettati dal tracciato, dalla viabilità connessa e dalla situazione urbanistica, la sospensione trasversale con funi trasversali isolate e ancoraggi a muro con appositi ganci, oppure sostegni in fregio a strade e piazze.

La posa del filo di contatto è prevista regolata ed i sostegni sono stati posizionati prevedendo campate di 40 metri circa.

In analogia alla Linea Rossa, è stata prevista una famiglia di pali in acciaio, realizzati attraverso la combinazione di profilati del tipo L e HEA:

- pali 2L, costituiti da profilati ad L disposti a coppia in modo simmetrico rispetto all'asse longitudinale, svolgono un lavoro strutturale principalmente lungo una direzione e previsti per tratti rettilinei;
- pali 4 HEA, costituiti da profilati HEA saldati in croce e previsti per ancoraggi di trasversali con maggiori sollecitazioni.

L'altezza della LdC è prevista sotto sospensione di mt. 5,60 dal piano del ferro per permettere il transito in tutta sicurezza dei mezzi su gomma, sia sulla sede tramviaria promiscua, sia in corrispondenza degli incroci stradali.

Il circuito di ritorno di linea è del tipo con binario ad isolamento di terra ridotto, come previsto dalle norme CEI 50122-2, per limitare le correnti vaganti. A tale proposito si evidenzia che la conduttanza di dispersione complessiva verso terra dei binari di corsa sarà inferiore a 5/100S per ogni Km. Per raggiungere i valori di conduttanza sopra indicati, in fase di realizzazione del binario è prevista la posa di una guaina isolante in grado di garantire detti valori nel tempo.

Per la sicurezza delle persone contro i pericoli di tensionamento in caso di cedimento degli isolamenti, è previsto un impianto di messa a terra conforme a quanto previsto dalle norme vigenti, composto da una corda di rame da 120mmq per il collegamento di tutte le strutture metalliche collocate nella zona della linea aerea di contatto e del pantografo, da una presa di terra per ogni sostegno e da un collegamento, in ogni fermata del circuito di terra descritto, al circuito di ritorno con interposizione di apposito diodo.

2.2.3 CARATTERISTICHE TECNICHE DELLA LINEA DI CONTATTO

2.2.4 TENSIONE DI ESERCIZIO

Tensione nominale dei gruppi raddrizzatori: 750 V c.c.

2.2.5 FORMAZIONE DELLA LINEA DI CONTATTO

N° 1 filo sagomato da 120 mmq, tipo 120/A UNEL 70611/71 regolato automaticamente al tiro di 1200 daN.

2.2.6 SOSTEGNI

È stata prevista una famiglia di pali in acciaio, realizzati attraverso la combinazione di profilati del tipo L e HEA:

- pali 2L, costituiti da profilati ad L disposti a coppia in modo simmetrico rispetto all'asse longitudinale, svolgono un lavoro strutturale principalmente lungo una direzione e previsti per tratti rettilinei;
- pali 4 HEA, costituiti da profilati HEA saldati in croce e previsti per ancoraggi di trasversali con maggiori sollecitazioni.

Accessori (collari, ganci a muro ed ormeggi dei fili e funi) in acciaio inox.

2.2.7 TRASVERSALI

Trasversali realizzati con tiranti in materiale sintetico tipo Parafil e polietilene classificazione CEI-UNEL 79825/86 tipo A del diametro 13,5 mm (corrispondente a carichi di rottura 3500 daN) ancorati ai sostegni o a ganci per mezzo di appositi terminali in acciaio inox.

L'inclinazione dei trasversali sarà compreso tra 6% e il 10% a linea assestata.

2.2.8 POLIGONAZIONE

La poligonazione normale è stata prevista nei limiti di 20 cm, cadenza tra i due sostegni con campata superiore a 25 m, al disotto verrà effettuato un passaggio sullo zero per non slineare troppo la LdC in corrispondenza delle sospensioni quindi avremo una poligonazione +20 0 -20 .

Nelle curve la poligonazione può raggiungere i limiti di 25 cm. esterno curva e 15 cm. interno curva e in corrispondenza degli scambi aerei è stato previsto un limite massimo di 25 cm.

2.2.9 SEZIONAMENTI

Sezionamenti realizzati con isolatori di sezione percorribili dal pantografo alla velocità di 80 km/h secondo CEI-UNEL 79826/89. I sezionatori di linea sono provvisti di sezionatori motorizzati manovrabili sotto carico del tipo 1000 V, 2500 A.

2.2.10 COLLEGAMENTI EQUIPOTENZIALI E PROTEZIONE DALLE SOVRATENSIONI

Sono previsti fra i fili di contatto ed il feeder ad una interdistanza massima di 400 m e comunque in prossimità dei punti di sezionamento.

I collegamenti sono realizzati con un cavo da 300 mmq per ciascun binario.

In corrispondenza di ogni collegamento del feeder con la linea di contatto è prevista la posa di scaricatori di tensione per la protezione delle apparecchiature e del Feeder delle sovratensioni di origine automatica e di manovra.

2.2.11 CAVI DI ALIMENTAZIONE

Feeder di 600 mmq. con formazione di n° 2 cavi 1x300 mm² tipo RG71R 1,8/3 kV in rame armati, saranno posati per tutta la lunghezza del tracciato in modo da collegare fra loro tutti i tratti della linea di contatto dove è presente la catenaria.

Cavi negativi della sezione complessiva di 1.500 mmq tipo RG70R 0,6/1 kV in rame senza armatura.

2.2.12 BLOCCHI DI FONDAZIONE

I blocchi di fondazione dei pali sono realizzati in calcestruzzo con resistenza alla compressione non inferiore a 300 kg/cm².

I blocchi saranno dimensionati per le massime sollecitazioni ammesse per i sostegno occorrenti e con le indicazioni riportate nelle tavole relative.

2.2.13 TIPOLOGIE DELLE SOSPENSIONI

Le sospensioni trasversali sono realizzate con cavo sintetico Parafil e polietilene che sostiene la linea di contatto attraverso una sospensione a delta in Parafil e polietilene.

Nelle curve ed in rettilineo ove occorre le sospensioni sono provviste di tirantini di poligonazione in materiale isolante per garantire l'assetto del filo di contatto.

Nelle curve di piccolo raggio, dove lo sforzo radiale è elevato, la linea di contatto è sostenuta da tirantini di poligonazione in materiale isolante collegati al sostegno o al tirante longitudinale con cavo sintetico Parafil, senza sospensione a delta.

2.2.14 ALTEZZA SUL PIANO DEL FERRO

L'altezza normale della linea di contatto sotto sospensione è di 5,60 m. dal piano del ferro. L'altezza massima realizzabile è pari a 5,80 m coerentemente con l'altezza massima di lavoro del pantografo.

L'altezza minima, in corrispondenza di sotto attraversamenti è fissata in 4,40 m, coerentemente con la dimensione del manufatto, lasciando una distanza di sicurezza conforme alle Norme EN 50122-1.

Tale altezza minima dovrà essere mantenuta anche in corrispondenza delle intersezioni stradali.

La lunghezza massima delle campate in rettilineo è di 40 m (solo con linea regolata), in curva è calcolata per una freccia massima di cm. 40.

I raccordi di altezza sono previsti secondo le modalità indicate in tabella 8 delle norme EN 50119 a seconda della velocità massima di percorrenza del tratto interessato.

2.2.15 DISTANZE DI SICUREZZA

Le distanze di sicurezza delle parti in tensione della linea di contatto verso massa, come parti metalliche o manufatti murari, saranno conformi a quanto previsto dalla Norma CEI EN 50119 che prevede, per un sistema a 750Vcc.

Le seguenti distanze elettriche :

- Distanza statica 100 mm;
- Distanza dinamica 50 mm

2.2.16 DISTANZA DEI SOSTEGNI DAI CONVOGLI IN RETTIFILO E CURVE

Le distanze previste fra i sostegni tubolari ed i veicoli posti sul binario nella posizione più sfavorevole mt. 0,50 per i sostegni tubolari posti all'esterno della linea.

In curva di raggio inferiore a mt. 100 sono state adottate distanze maggiori per garantire la funzionalità dei sistemi a “ tirante longitudinale e tirante radiale di poligonazione”.

2.2.17 PROTEZIONE CONTRO I CONTATTI DIRETTI

Sono normalmente rispettate le distanze minime dalle parti attive della linea aerea e dei veicoli previste dalla norma CEI EN 50119 e CEI EN 50122-1.

Nel caso in cui non fosse possibile rispettare tali distanze saranno previste protezioni conformi alle Norme sopra citate.

2.2.18 SCAMBI AEREI

La linea aerea di contatto è realizzata sopra gli scambi in modo da assicurare il corretto scorrimento del pantografo, senza pericoli di impigliamento per il percorso principale e per il deviato nei due sensi di marcia. A tal fine è stata prevista la soluzione senza incrocio tra il filo di contatto del corretto tracciato ed il filo del ramo deviato.

Per un corretto mantenimento della medesima quota dei due fili di contatto al variare della temperatura anche il filo del ramo deviato è regolato.

La poligonazione nella zona degli scambi è realizzata in modo da consentire al pantografo una inclinazione adeguata nel punto ove esso prende contatto con il filo non in presa, per una corretta funzionalità dello scambio aereo stesso.

2.2.19 FRECCIA MASSIMA

Sia nelle tratte con filo regolato che in quelle a filo fisso la freccia massima prevista per una regolare captazione è di 40 cm.

2.2.20 REGOLAZIONE DEL FILO DI CONTATTO

La regolazione del filo di contatto è assicurata da taglie e contrappesi posti agli estremi delle tratte di RA, e da un punto fisso del filo posto al centro della tratta RA stessa.

La lunghezza massima di una tratta RA è di 1250 m.

I contrappesi sono previsti all'interno dei sostegni di ormeggio.

3. SISTEMA DI SEGNALAMENTO, LOCALIZZAZIONE, PRIORITÀ SEMAFORICA

3.1 PREMESSA

Nel presente Capitolo sono descritti i sistemi e gli apparati utilizzati per la realizzazione delle seguenti funzioni per la diramazione per Corticella:

- sistema di comando e di controllo degli scambi
- sistema di localizzazione del veicolo
- sistema di asservimento semaforico

Tutte queste funzionalità faranno capo al “Posto di Controllo Centralizzato (PCC)” già previsto fra le opere della Linea Rossa che è ubicato in appositi locali siti nel Deposito Borgo Panigale. Esso avrà la funzione di supervisionare il regolare svolgimento dell’esercizio lungo la linea, consentendo una gestione centralizzata ed ottimizzata di tutte le principali funzionalità e garantendo il necessario coordinamento fra gli operatori delle diverse discipline in caso di intervento di emergenza.

In analogia alla Linea Rossa, il segnalamento della diramazione per Corticella è fondamentalmente basato sul principio della marcia a vista: il conducente del tram è responsabile dell’osservanza dei segnali disposti lungo il tracciato e della distanza tra il proprio veicolo e quello che lo precede. I segnali quindi aiutano il conducente nella marcia a vista ma ciò non solleva il conducente stesso dalle proprie responsabilità.

Il sistema di localizzazione è legato all'uso dei sistemi AVM, cioè di Automatic vehicle monitoring, in uso su numerose realtà del trasporto pubblico locale e che utilizzano la localizzazione come elemento principale del monitoraggio. La geolocalizzazione del veicolo è effettuata con il GPS, ed il meccanismo di trasmissione è garantito da una connessione dati via rete cellulare. Altre possibilità per determinare la posizione, ad esempio dove il segnale GPS non è di qualità apprezzabile, sono la navigazione stimata (dead reckoning), la guida inerziale o l'uso di odometri a bordo.

Il sistema di localizzazione non prevede l’installazione di boe lungo il tracciato.

Il sistema di priorità semaforica ha il l'obiettivo di garantire la possibilità per il tram di non dover fermarsi e ripartire agli incroci, in modo da salvaguardare il rispetto dell'orario teorico, al fine di fornire un servizio regolare agli utenti.

Il Comune di Bologna è dotato del sistema di centralizzazione degli impianti semaforici OMNIA fornito dalla ditta SWARCO-MIZAR. Il sistema attualmente in uso funziona ad attuazione di piano e, tramite il sistema AVM delle linee del trasporto pubblico, fornisce già un sistema di priorità. Per conseguire i voluti obiettivi di velocità e regolarità (e, conseguentemente, anche di contenimento del costo della capacità), anche la diramazione per Corticella dovrà integrarsi con tale sistema di priorità semaforica, da estendersi successivamente all'intera futura rete tranviaria.

3.2 SISTEMA DI SEGNALAMENTO/COMANDO SCAMBI

In analogia a quanto già previsto per la Linea Rossa, il sistema di segnalamento/comando scambi garantisce la corretta gestione dei movimenti dei veicoli e assicura la opportuna predisposizione della linea ai transiti in tutti i punti interessati da "itinerari", la cui attuazione contemporanea espone i convogli al rischio di collisione.

Il segnalamento per la tramvia è basato sul principio di "marcia a vista": il conducente del tram è responsabile dell'osservanza dei segnali disposti lungo il tracciato e della distanza tra il proprio veicolo e quello che lo precede: i segnali quindi aiutano il conducente nella "marcia a vista" ma ciò non solleva il conducente dalla propria responsabilità.

E' da evidenziare che il comando scambi in linea viene realizzato solo ed esclusivamente a livello "locale", ossia ogni singolo scambio, ovvero insieme di scambi da comandare contemporaneamente, viene comandato direttamente dal veicolo che si approssima ad esso; nella postazione di segnalamento del PCC è prevista la rappresentazione grafica della posizione degli scambi di linea, ma non è prevista nessuna funzione di comando degli scambi.

3.2.1 COMPONENTI DEL SISTEMA DI SEGNALAMENTO/COMANDO SCAMBI

Con riferimento agli elaborati grafici facenti parte della documentazione progettuale, il sistema è costituito da:

- Unità di Bordo di bordo dei futuri veicoli che, oltre alle funzioni di comunicazione per le funzioni di Localizzazione, permetterà di inviare, per mezzo dello stesso canale di comunicazione costituito dall'accoppiamento tra antenna di bordo e loop a terra, i comandi utili alla formazione dell'itinerario che il tram deve seguire.
- sistema di trasmissione che realizza il trasferimento del comando da bordo a terra basato su accoppiamento induttivo tra antenna a bordo e loop a terra
- unità di ricezione comando e trasmissione alla unità di attuazione
- unità di attuazione, controllo e gestione delle condizioni di sicurezza
- circuiti di binario, che realizzano il controllo di occupazione generando l'eventuale inibizione alla formazione dell'itinerario
- segnale laterale lungo linea di ausilio alla condotta del manovratore che visualizza la posizione del deviatore

3.2.2 UNITÀ DI BORDO

Ai fini del segnalamento/comando scambi, l'Unità di Bordo ha la funzione di:

- trasmettere, per mezzo del canale di comunicazione costituito dall'accoppiamento tra antenna e loop, l'identificativo del veicolo agli apparati di terra
- ricevere, per mezzo del canale di comunicazione costituito dall'accoppiamento tra antenna e loop, l'identificativo del loop
- elaborare l'itinerario previsto sulla base dell'identificativo del loop e delle tabelle di percorrenza, se previsto l'invio del comando automatico
- trasmettere, per mezzo del canale di comunicazione costituito dall'accoppiamento tra antenna e loop, il comando agli apparati di terra
- In caso di invio del comando automatico, l'Unità di Bordo determina l'invio del comando dell'itinerario all'Unità Comando Scambi di terra alla ricezione dell'identificativo del loop

Date le previste condizioni di “marcia a vista”, la priorità di azionamento dello scambio è comunque lasciata al macchinista del veicolo. A tale scopo è prevista la possibilità di comando manuale del deviatore attraverso la consolle di bordo.

3.2.3 SISTEMA DI TRASMISSIONE BORDO/TERRA

Ai fini del segnalamento/comando scambi, il sistema di trasmissione bordo/terra ha la funzione di:

- realizzare il trasferimento dell'identificativo del veicolo da bordo a terra tramite accoppiamento induttivo tra antenna a bordo e loop a terra
- realizzare il trasferimento dell'identificativo del loop da terra a bordo tramite accoppiamento induttivo tra antenna a bordo e loop a terra
- realizzare il trasferimento del comando scambio da bordo a terra tramite accoppiamento induttivo tra antenna a bordo e loop a terra, sia esso generato automaticamente che manualmente dall'operatore

3.2.4 UNITÀ DI RICEZIONE E TRASMISSIONE

Ai fini del segnalamento/comando scambi, la funzione di trasmissione a terra delle informazioni di comando scambio è normalmente realizzata dall'Unità di Comunicazione terra/bordo localizzata nella fermata più vicina allo scambio interessato.

3.2.5 UNITÀ DI COMANDO SCAMBI

L'Unità di Comando Scambi è responsabile del controllo della movimentazione delle casse di manovra e garantisce l'attuazione in sequenza delle seguenti funzioni:

- ricezione delle richieste di attuazione attraverso loop di comunicazione
- verifica, attraverso i circuiti di binario di eventuali incongruenze tra itinerario richiesto e stato degli enti, abilitando la formazione dell'itinerario solo in assenza di incongruenze (o a seguito della liberazione dei cdb stessi)
- controllo e predisposizione dei segnali tranviari (costituiti da due o più luci) e indicazione al conducente della posizione degli aghi dello scambio mediante segnali luminosi
- blocco degli itinerari conflittuali

- attuazione sequenziale degli itinerari richiesti (dopo il transito del veicolo sullo scambio e la successiva liberazione “di coda”, i sistemi di gestione dello scambio si predispongono a “via libera” in modo da consentire l’accesso di un secondo veicolo).
- rilevamento dei treni attraverso i circuiti di binario

In caso di guasto di un c.d.b. l’informazione trasmessa all’apparato sarà quella di occupazione.

Ogni singolo deviatore può essere comandato solo dal veicolo che si approssima ad esso senza alcuna possibilità di intervento da parte dell’operatore del PCC.

3.2.6 SEGNALAMENTO DEL DEPOSITO AUSILIARIO “CAPOLINEA NORD”

Per le ridotte dimensioni del Deposito Ausiliario “Capolinea NORD”, non si è ritenuto necessario predisporre una postazione a disposizione del Dirigente Movimento per la gestione dei movimenti dei tram all’interno del deposito stesso.

In questo senso, il sistema di segnalamento del deposito ausiliario sarà analogo a quello della piena linea e gestito da un’unica Unità di attuazione, controllo e gestione delle condizioni di sicurezza. I movimenti di ingresso e uscita dal deposito avverranno con l’intervento diretto del conducente.

Con riferimento agli elaborati grafici facenti parte della documentazione progettuale, il sistema di segnalamento del Deposito Ausiliario è costituito da:

- Unità di attuazione, controllo e gestione delle condizioni di sicurezza
- circuiti di binario, che opportunamente posizionati in relazione alle esigenze di esercizio, realizzano il controllo di occupazione generando l’eventuale inibizione alla formazione degli itinerari o liberando gli scambi rendendo possibile l’attuazione di nuovi itinerari;
- segnali laterali o di ausilio alla condotta del manovratore che visualizza lo stato di stop and go
- pulsantiera da palo per la selezione manuale degli itinerari di ingresso in caso di necessità.

3.3 SISTEMA DI LOCALIZZAZIONE

Il sistema di localizzazione dei veicoli lungo la diramazione per Corticella ha lo scopo di segnalare al Posto di Controllo Centrale (PCC), già strutturato con le opere della Linea Rossa, la posizione di ciascun veicolo lungo il tracciato, in un determinato istante di tempo.

Il Sistema di Localizzazione (anche detto Sistema di Localizzazione Automatica dei Veicoli - AVLS) è costituito da un modulo software residente su un Server del PCC che consente la realizzazione a livello centrale di tutte le funzionalità previste per questa applicazione.

Il sistema prevede la modalità di localizzazione di tipo “continuo” ovvero i mezzi trasmettono periodicamente al sistema la loro posizione sulla rete e una serie di informazioni diagnostiche sul funzionamento dei dispositivi di bordo, quali il GPS e l’odometro mediante il quale viene calcolata la posizione.

La trasmissione avviene con un criterio misto, ad eventi ed a tempo: viene inviata la posizione quando si verifica l’apertura delle porte, oppure quando siano passati 5 s dall’ultima trasmissione.

Il sistema di Localizzazione assicura le funzionalità tipiche del “Train Describer” ossia la visualizzazione della posizione del veicolo e degli elementi di linea che la caratterizzano (Deviatoi, Fermate, Segnali) su di una rappresentazione schematica della linea tranviaria, consentendo di affrontare con visione globale della linea un eventuale stato di estrema perturbazione dell’esercizio.

Esso inoltre implementa anche le funzionalità tipiche del ‘Train Graph’ calcolando e rappresentando il ritardo o l’anticipo del tram rispetto alla tabella oraria di riferimento.

3.3.1 UNITÀ DI BORDO

L’apparato di bordo, presente su ciascun mezzo della flotta di trasporto, in ciascuna cabina, comprende i seguenti dispositivi, connessi ad un elaboratore centrale:

- almeno due modem 3G/4G, destinati al traffico dati con la centrale AVM, in cui è previsto vengano inserite SIM di operatori telefonici differenti, al fine di garantire

una ridondanza di mezzi di comunicazione per una maggior affidabilità della connessione bordo- terra;

- antenne:
 - o due 3G/4G, per la comunicazione di dati e VoiceOverIP;
 - o GPS, utilizzato per la localizzazione;
 - o Wi-Fi, utilizzato per scambio dati in deposito;
- sensori di bordo:
 - o apparato GPS
 - o odometro, con funzioni di affinamento nella localizzazione;
 - o giroscopio, con funzioni di affinamento nella localizzazione;
 - o sensore di apertura porte;
 - o sensore di accensione chiave;
- interfaccia touchscreen, utilizzata dal personale viaggiante per interagire con il sistema;
- microfono ed altoparlante, utilizzati dal personale per la comunicazione con la centrale, connessi con l'elaboratore mediante una junction box;
- pulsante di emergenza che accende una spia in centrale operativa ed attiva automaticamente la comunicazione vocale nella direzione da bordo a centrale (pensato per la gestione di aggressioni al personale);
- router per connettere l'elaboratore centrale agli altri dispositivi di bordo:
 - o dispositivi di informazione alla clientela (vocali e grafici);
 - o dispositivi di tariffazione elettronica (BIP).

3.3.2 PROTOCOLLI DI COMUNICAZIONE DEL SISTEMA AVM CON TERZE PARTI

Il sistema AVM deve essere in grado di comunicare con terze parti per consumare o generare informazioni di localizzazione e previsione di arrivo. A tal fine si prevede di utilizzare esclusivamente protocolli di tipo standard quali quelli definiti all'interno del modello di riferimento europeo per lo scambio dati Transmodel (in particolare SIRI) o dal consorzio ITxPT (Information Technology for Public Transport).

3.3.3 SIRI

L'interfaccia di servizio per informazioni in tempo reale SIRI è un protocollo XML che consente ai computer distribuiti di scambiare informazioni in tempo reale sui servizi di trasporto pubblico e sui veicoli.

Laddove viene utilizzato il protocollo SIRI, la comunicazione con i sistemi esterni avviene tramite un Web Service SOAP / WDSL.

Il protocollo SIRI è pubblicato come CEN / TS 15531: 2012.

SIRI identifica tre attori in un processo di consegna diretta: Richiedente, Servizio, Consumatore.

Il sistema UTC del Comune di Bologna, ad esempio, svolge il ruolo di Consumatore e il sistema AVL / AVM della Tramvia è il Servizio.

Dove l'interfaccia SIRI è già disponibile con l'interfaccia utente / editore, l'interfaccia può essere inizializzata impostando opportunamente la chiamata manuale per un abbonamento permanente.

3.3.4 INFORMATION TECHNOLOGY FOR PUBLIC TRANSPORT (ITXPT) MQTT PROTOCOL

Information Technology for Public Transport (ITxPT) è un'associazione che mira a cooperare ulteriormente nell'implementazione di standard per sistemi IT plug-and-play applicati al trasporto pubblico.

ITxPT ha adottato il protocollo di messaggistica basato su pubblicazione-sottoscrizione MQTT, definendo modelli di dati specifici per consentire ai computer distribuiti di scambiare informazioni in tempo reale sui servizi di trasporto pubblico e sui veicoli.

Il protocollo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) è uno standard ISO (ISO / IEC PRF 20922) che funziona sul protocollo TCP / IP.

3.4 PRIORITÀ SEMAFORICA

Il sistema di priorità semaforica ha il l'obiettivo di garantire la possibilità per il tram di non dover fermarsi e ripartire agli incroci, in modo da salvaguardare il rispetto dell'orario teorico, al fine di fornire un servizio regolare agli utenti.

Il Comune di Bologna è dotato del sistema di centralizzazione degli impianti semaforici OMNIA fornito dalla ditta SWARCO-MIZAR. Il sistema attualmente in uso funziona ad attuazione di piano e, tramite il sistema AVM delle linee del trasporto pubblico, fornisce già un sistema di preferenziamento.

Per conseguire i voluti obiettivi di velocità e regolarità (e, conseguentemente, anche di contenimento del costo della capacità), così come la Linea Rossa, anche la diramazione per Corticella dovrà essere integrata in tale sistema di priorità semaforica, da estendersi successivamente all'intera futura rete tranviaria.

Il sistema attualmente in uso presso la centrale semaforica del Comune di Bologna consente la modifica dinamica delle fasi in funzione della previsione del tempo di arrivo dei tram all'intersezione, con inizio sufficientemente anticipato rispetto al momento di arrivo all'intersezione. Il sistema offre pertanto un'elevatissima probabilità di via libera ai tram, contenendo la penalizzazione dei flussi di traffico ordinario in conflitto con la fase tranviaria.

Contribuirà inoltre alla regolazione della circolazione tranviaria, graduando la priorità in relazione allo stato di anticipo o ritardo di ciascun tram. Potrebbe inoltre essere necessario attuare una particolare forma di priorità tranviaria all'inizio di tratte promiscue libere.

In condizioni di normale svolgimento dell'esercizio, il tram che approccia un incrocio regolato da semaforo invia, per mezzo della unità AVM integrata di bordo, alla centrale di localizzazione, la previsione di arrivo all'incrocio semaforico e la conseguente richiesta di asservimento semaforico.

Il Server di Localizzazione del PCC, tramite collegamento su VPN dedicato, inoltra tale richiesta alla Centrale di Gestione della rete semaforica della Città di Bologna. Sarà responsabilità della Centrale di Gestione della rete semaforica della Città di Bologna la verifica della possibilità di concedere il "via libera" al tram in approccio al dato incrocio semaforizzato e, in caso positivo, l'attuazione del comando. Superato l'incrocio

semaforizzato, il Server di localizzazione, conoscendo la posizione del tram, invierà la richiesta di liberazione.

3.4.1 REQUISITI MINIMI FUNZIONALI DI LOCALIZZAZIONE PER L'ATTUAZIONE DELLA PRIORITÀ SEMAFOCIA

Al fine di garantire che il Sistema di priorità semaforica in essere presso il Comune di Bologna sia in grado concedere il “via libera” al tram in approccio al dato incrocio semaforizzato della diramazione per Corticella, i seguenti requisiti minimi devono essere soddisfatti:

- L'invio delle informazioni di localizzazione deve essere effettuato con un criterio misto, ad eventi ed a tempo: viene inviata la posizione quando si verifica l'apertura e la chiusura delle porte, oppure quando siano passati 5 s dall'ultima trasmissione.
- Il Server di localizzazione deve essere in grado di elaborare le previsioni di arrivo ai target con una precisione di +/-10 secondi
- Il server di localizzazione deve avere un orizzonte temporale delle previsioni almeno pari a 180 secondi, per permettere alla centrale di priorità semaforica di tarare la fasatura degli impianti semaforici lungo la linea
- Il server di localizzazione e l'intera programmazione del servizio deve avere essere basata su un grafo della linea che preveda come nodi sia le fermate che gli incroci semaforici, oltre ai punti singolari della linea quali scambi, deviatori e zone a velocità controllata.
- Il server di localizzazione deve essere in grado di comunicare con la Centrale di priorità secondo fissate regole di comunicazione.
- Il server di localizzazione dovrà essere in grado di consumare notifiche di priorità acquisita al fine di presentare nell'interfaccia AVM lo stato dei semafori e della prenotazione della priorità.

3.5 SISTEMA DI GESTIONE DEI PASSI CARRABILI

La particolarità di queste intersezioni risiede nel fatto che il principio di funzionamento dell'asservimento semaforico è di tipo locale.

In condizioni di normale svolgimento dell'esercizio, il tram che approccia un passo carraio regolato da semaforo invia, per mezzo della unità integrata di bordo, al centralino semaforico, attraverso un ricevitore di terra, la richiesta di asservimento semaforico.

Un'altra differenza è costituita dalla necessità di rilevare la presenza di un veicolo privato in stazionamento sulla sede tranviaria, tramite una spira opportunamente posizionata e connessa direttamente al centralino semaforico.

E' il caso di un veicolo che ha impegnato l'incrocio con il tram prima del sopraggiungere di questo, ma che, a causa del traffico sulla sede stradale, tarda ad immettersi su di essa. Tale informazione deve inibire la possibilità di concedere il via libera al tram. In questo caso, quindi, nonostante la richiesta di priorità semaforica avanzata dal mezzo pubblico, il sistema di controllo e comando impone la segnalazione di via impedita al tram sino a che l'intersezione non è stata liberata.

4. IMPIANTI SEMAFORICI

4.1 GENERALITA'

La diramazione per Corticella si caratterizza per:

- n. 38 intersezioni promiscue della sede tramviaria (stradali e pedonali)
- frequenza dell'esercizio tramviario: 5min

Il livello di servizio ipotizzato per la diramazione Corticella è raggiungibile solo nel caso in cui i tempi di attesa agli incroci, nelle tratte in sede propria, siano nulli o estremamente ridotti.

E' necessario pertanto prevedere:

- l'adeguamento della segnaletica orizzontale, verticale e luminosa presso ogni incrocio;
- la centralizzazione semaforica di tutte le intersezioni con la linea tramviaria, mediante un sistema predisposto per la priorità al mezzo tramviario;
- la realizzazione di Piani Particolareggiati del Traffico per i comparti urbani adiacenti alla nuova linea.

L'inserimento della tramvia nell'attuale viabilità ha comportato, già in fase di progettazione della linea di corsa, modifiche all'architettura di nodi e di strade.

Questa nuova organizzazione degli spazi è stata finalizzata al mantenimento, per quanto possibile, delle capacità di deflusso dei singoli incroci, almeno rispetto alle direttrici principali.

La progettazione della regolamentazione della circolazione pedonale, tramviaria e veicolare nei nodi ha quindi la finalità di razionalizzare quanto già previsto in sede di progettazione generale in termini di sicurezza e di efficienza, privilegiando le esigenze dei pedoni e della tramvia.

In particolare si è ipotizzato di prevedere fasi semaforiche dedicate per il tram secondo i criteri generali di progettazione di seguito richiamati:

- per ridurre la perturbazione nel controllo semaforico, in presenza di un sistema di priorità per la tramvia, sarà opportuno dimensionare il ciclo su un tempo uguale ad un sottomultiplo intero della frequenza di passaggio;
- per aumentare le condizioni di sicurezza, dovrà essere attribuito alla fase di priorità tramviaria un tempo di verde di sicurezza.
- per dimensionare la fase di priorità della tramvia sarà necessario considerare:
 - i tempi di sicurezza;
 - i tempi di attraversamento dell'incrocio;
 - i tempi di percorrenza degli itinerari pedonali di servizio;
 - i tempi di sosta alle fermate.

4.2 SISTEMA DI CONTROLLO SEMAFORICO CENTRALIZZATO

Con le opere per la realizzazione della Linea Rossa è stato pianificato che il sistema di controllo semaforico a livello centrale sarà realizzato tramite un sistema UTC (Urban Traffic Controller) Tramvia con lo specifico compito di realizzare un coordinamento funzionale nella regolazione delle intersezioni stradali lungo la tramvia, una gestione centralizzata di tutti i parametri, e consentire inoltre una visione globale del traffico pubblico e privato.

Tali funzionalità saranno estese anche alla diramazione per Corticella con lo scopo di:

- attuare i criteri di preferenziamento del trasporto su ferro come sotto descritti
- effettuare la regolazione dei piani semaforici in funzione dei dati di traffico
- colloquiare con il sottosistema di localizzazione
- trasmettere e gestire le informazioni riguardanti i flussi di traffico verso l'UTC comunale

Sarà così possibile implementare gli algoritmi per generare "onde verde" semaforiche con variazioni dinamiche in funzione dei dati di localizzazione dei tram in modo tale da consentire a quest'ultimi l'attraversamento degli incroci senza fermata.

In particolare l'impianto di localizzazione realizzato con AVM su reti di telefonia pubblica invierà al sistema UTC i dati di localizzazione dei veicoli (anticipo, orario, ritardo, in

prossimità dell'incrocio) che, in modalità centralizzata, agirà sui regolatori periferici di ogni impianto per adeguarne il funzionamento, compatibilmente alla situazione, alla necessità di regolarità del servizio. Secondo quanto sopra descritto il sistema di controllo semaforico avrà il compito di garantire il preferenziamento dei tram agli incroci per consentirne una adeguata velocità commerciale.

4.3 SISTEMA DI ASSERVIMENTO SEMAFORICO

Gli elementi che compongono il sistema di asservimento semaforico sono:

- un sistema di localizzazione del veicolo mediante trasmissione sub-continua con AVM via telefonia pubblica;
- un sistema di richiesta di attuazione per il preferenziamento semaforico;
- una unità di elaborazione che svolge attività di sincronizzazione semaforica, richiesta di attuazione e comando dei segnali semaforici tramviari dell'incrocio;
- semaforo a barre per il tram e il semaforo a tre luci per i veicoli gommati

Durante il funzionamento normale il posto centrale monitorizza in tempo reale l'evolversi della posizione di ogni tram. Ogni scostamento rispetto all'orario di servizio determina il ricalcolo da parte del PCC di tutti i piani semaforici. Sul ciclo di ogni influiscono le informazioni provenienti da tutti i tram circolanti in linea, ciascuna pesate tramite un opportuno coefficiente che tiene conto della distanza rispetto all'incrocio e del livello di priorità associato a ciascun tram determinato in base al tipo di regolazione che può essere scelta (regolazione ad orario, regolazione ad intervallo di orario).

Quando un tram sopraggiunge ad una intersezione stradale trova già i cicli semaforici regolati per il suo attraversamento senza fermata; tuttavia sono frequenti gli imprevisti nella circolazione (ad esempio una fermata) che possono ritardare o anticipare la marcia di pochi secondi e non permettono al tram di raggiungere nel tempo previsto dal sistema di macroregolazione.

4.4 COMPONENTI DEGLI IMPIANTI SEMAFORICI

4.4.1 LANTERNE

Per la realizzazione degli impianti semaforici verranno utilizzate lanterne a doppio isolamento con lampade a LED di diametro opportuno secondo la destinazione d'uso.

Per esempio verranno utilizzate lanterne con diametro 200 mm per la regolazione veicolare, pedonale/ciclabile e veicolare di trasporto pubblico.

Nel caso di lanterne sospese su pali a sbraccio verranno usate quelle con 3 luci da 200 mm di diametro con pannello di contrasto.

Negli attraversamenti pedonali saranno installati a seconda del caso:

- Pulsanti chiamata pedonale non vedenti
- Pulsanti chiamata pedonale vedenti e per chiamata non vedenti (completo di LED per conferma prenotazione)

Entrambi corredati di avvisatore acustico per non vedenti, tutti a norma CEI 214-7.

4.4.2 PALI

Le lanterne, a seconda della tipologia, verranno installate su paline semaforiche in acciaio zincato a caldo, altezza fuori terra mt. 3,00 oppure su palo semaforico a sbraccio di mt.4, mt.5 o mt.6, in acciaio zincato a caldo, altezza fuori terra mt. 6,50, e dotati di un sistema anti-rotazione del braccio.

4.4.3 CABLAGGI

Gli impianti semaforici saranno realizzati posando tubazioni di tipo PEAD da 100 di diametro interno ed usando:

- per le lanterne semaforiche, pulsanti di chiamata/avvisatori acustici e cavi isolati cavi flessibili tipo CPR sez. 5x1,5 mm²,
- per la messa a terra dei regolatori, cavi flessibili tipo CPR sez. 1x16 mm²,
- per l'alimentazione dei regolatori semaforici cavi flessibili tipo CPS sez. 2x6 mm².

4.4.4 CENTRALINO

Ogni incrocio sarà regolato attraverso una centralina con adeguate uscite di potenza in funzione della dimensione e della complessità dell'intersezione regolata. Ogni impianto

sarà protetto al punto di alimentazione con adeguato interruttore differenziale riarmabile per la protezione dai contatti indiretti.

I regolatori semaforici per interfacciarsi in maniera adeguata con il sistema esistente dovranno essere dotati del protocollo di comunicazione esteso di Livello 2.

4.4.5 SEGNALETICA

A corredo dell'impianto semaforico verrà fornita la relativa cartellonistica stradale adeguata al tipo di secondo quanto prescritto da vigente C.d.S.

5. TELECOMUNICAZIONI

5.1 PREMESSA

Il presente capitolo descrive i Sistemi di Telecomunicazione necessari al corretto svolgimento dell'esercizio della diramazione per Corticella.

Tali impianti e sistemi sono di seguito elencati e più diffusamente descritti nei successivi paragrafi:

- Sistema di Trasmissione a Fibre Ottiche
- Impianto TVcc
- Impianto Diffusione Sonora
- Impianto Telefonico e Telefonico d'emergenza
- Pannelli Informativi di Informazione al Pubblico
- Sistema di Comunicazione Treno-Terra
- Sistema di Tariffazione
- Sistema di Sincronizzazione Oraria

5.2 SISTEMA DI TRASMISSIONE A FIBRE OTTICHE

Il sistema di trasmissione proposto per la diramazione per Corticella è analogo a quanto previsto per la Linea Rossa ed è costituito da una rete Gigabit Ethernet IEEE 802.3z con struttura ad anello; essa trasporta, mediante dispositivi switch di tipo L3 e L2+, i servizi di comunicazione dati e fonia tra le fermate ed il Posto Centrale di comando e Controllo (PCC). Ogni switch è collegato in anello realizzando una protezione da singolo guasto e garantendo così il reinstradamento del traffico dati in caso di guasto o rottura di un link; i tempi di riconfigurazione di ogni anello saranno inferiori al secondo. La connessione tra utenze dati/fonia e apparati in campo verrà realizzata con interfacce Ethernet 10/100 Mb, ed ogni fermata e Sotto Stazione Elettrica verrà equipaggiata con un numero di switch necessari a coprire le esigenze di accesso alla rete.

5.3 TELEVISIONE A CIRCUITO CHIUSO (TVCC)

L'impianto TeleVisione a Circuito Chiuso (TVCC) ha lo scopo di consentire, 24 ore su 24, la videosorveglianza delle fermate dislocate lungo la linea tranviaria da parte del personale operante presso il Posto di Controllo Centrale, al fine di:

- verificare il corretto svolgimento del servizio di trasporto passeggeri
- agevolare il personale operativo ad effettuare le opportune richieste di intervento presso le stesse fermate in caso di necessità
- permettere di effettuare, da parte degli enti competenti, analisi di particolari eventi avvenuti nelle fermate, utilizzando la registrazione che il sistema TVCC effettua delle immagini selezionate dagli operatori del PCC

Il sistema si basa su un'architettura periferia-centro, dove:

- il centro è costituito dall'insieme delle apparecchiature di supervisione del sistema stesso già predisposte al Posto di Controllo Centrale (PCC) con gli interventi per la realizzazione della Linea Rossa;
- la periferia è costituita dall'insieme delle apparecchiature TVCC dislocate nelle fermate lungo il percorso tranviario.

La comunicazione tra centro e periferia è garantita dal protocollo IP della rete multiservizio Gigabit Ethernet.

5.4 IMPIANTO DI DIFFUSIONE SONORA

L'impianto di diffusione sonora avrà lo scopo di consentire l'invio di annunci sonori registrati o dal vivo, da parte del personale operante presso il Posto di Controllo Centrale PCC, già predisposto con gli interventi per la realizzazione della Linea Rossa, verso le banchine di fermata, al fine di fornire all'utenza informazioni sia sullo stato dell'esercizio della linea, sia l'annuncio di arrivo treno, qualora previsto. Il sistema di diffusione sonora si basa su un'architettura periferia-centro dove la comunicazione avviene tramite protocollo TCP-IP su di una rete multiservizio di tipo Gigabit Ethernet.

Il centro sarà costituito dall'insieme postazioni operatore, localizzate al Posto di Controllo Centrale (PCC) munite di microfono e tastiera di chiamata, da cui saranno eseguiti gli annunci dal vivo o registrati. La periferia, ovvero l'insieme delle

apparecchiature di diffusione sonora dislocate nelle fermate, è costituita esclusivamente da diffusori sonori ad incasso fissati nella struttura della pensilina.

5.5 SISTEMA TELEFONICO/TELEFONICO D'EMERGENZA

Al pari di quanto già previsto per la Linea Rossa, il sistema telefonico/telefonico d'emergenza provvederà a fornire il servizio di comunicazione voce nei seguenti punti:

- SSE
- Posto Centrale Operativo PCC
- Fermate (solo in caso d' emergenza)

Presso il PCC sono già stati predisposti apparecchi telefonici VoIP, nell'ambito delle opere previste per la realizzazione della Linea Rossa.

Presso le SSE sarà presente un telefono VoIP per comunicazioni verso il PCC. Infine, presso le fermate sarà installato (incassato nel Totem di banchina) un citofono stagno (VoIP) per consentire ai passeggeri comunicazioni d' emergenza con il PCC.

Tutti gli apparecchi (ad esclusione di quelli installati presso le SSE ed i citofoni d'emergenza) saranno utilizzati per chiamate sia interne che verso la rete pubblica attraverso il PABX centrale già predisposto nell'ambito delle opere previste per la realizzazione della Linea Rossa.

Tutte le comunicazioni saranno gestite da tale centralino PABX opportunamente equipaggiato.

I telefoni VoIP di linea utilizzeranno la rete di trasporto Gigabit Ethernet per stabilire le comunicazioni verso il PCC. Gli operatori del centro, avranno a disposizione un telefono digitale in grado di visualizzare il chiamante.

5.6 SISTEMA DI INFORMAZIONE AL PUBBLICO

Nelle fermate sono previsti display per l'informazione al pubblico integrati all'interno dei totem di fermata, con la trasmissione di dati relativi al trasporto pubblico in generale e alla linea tramviaria in particolare.

Sono altresì previsti, seppure non in tutte le fermate, display per la trasmissione di messaggi pubblicitari e/o istituzionali.

Sono inoltre previsti Totem informativi dedicati, al di fuori delle aree di fermata da posizionarsi in aree rilevanti della Città da concordarsi con la Stazione Appaltante.

Il sistema si basa su un'architettura periferia-centro, dove:

- il centro è costituito dall'insieme delle apparecchiature di supervisione del sistema stesso collocate al Posto di Controllo Centrale (PCC)
- la periferia è costituita dai pannelli informativi ubicati nelle fermate lungo il percorso tranviario

La comunicazione tra centro e periferia è garantita dal protocollo IP della rete multiservizio Gigabit Ethernet.

5.7 SISTEMA DI COMUNICAZIONE TERRA-TRENO

Per quanto attiene al sistema di comunicazione TRENO-TERRA, come già fatto per la Linea Rossa, anche per la diramazione a Corticella si è scelto di privilegiare il sistema di comunicazione che garantisca la maggiore quantità di banda e la minore latenza, oltre alle considerazioni economiche e di facilità di manutenzione dell'installazione e gestione di una rete di comunicazione pervasiva e affidabile lungo tutto il tracciato della diramazione.

La valutazione sull'affidabilità, inoltre, beneficia del fatto che, con i moderni protocolli di comunicazione, la disponibilità di una maggiore quantità di banda consente di mettere in campo meccanismi di controllo della trasmissione che garantiscono ritrasmissione, persistenza, consegna ordinata ed eliminazione dei duplicati, risultando quindi adatti alla gestione di comunicazioni critiche.

Così come per la Linea Rossa, il presente progetto non comprende la progettazione del materiale rotabile e quindi degli apparati di bordo, ma si ritiene che gli stessi debbano essere progettati secondo le specifiche e indicazioni del consorzio ITxPT, l'Associazione di Information Technology per il Trasporto Pubblico, la cui missione è di implementare uno standard Europeo operativo per sistemi e componenti IT pensati per il trasporto pubblico che siano plug-and-play.

Pertanto l'intero progetto assume che la progettazione del materiale rotabile preveda una rete LAN di bordo e modem LTE per la comunicazione terra/treno in linea e WiFi in deposito.

Questo presupposto è rilevante in particolar modo per la trasmissione dei dati di localizzazione, necessari per l'attuazione della priorità semaforica e per la previsione di arrivo alla fermata e quindi all'informazione al pubblico, sistema per cui la capacità di trasmettere tempestivamente una relativamente grande quantità di dati in tempo reale è assolutamente dirimente.

In particolar modo, si assume che la rete di bordo disponga di almeno 2 modem di connessione LTE, al fine di aumentare la disponibilità di trasmissione, utilizzando SIM e quindi contratti telefonici di almeno 2 principali operatori pubblici.

Alla luce di quanto detto, anche le comunicazioni conducente/PCC dovranno essere veicolate con applicativi VoIP over LTE.

Si ritiene quindi che l'affidamento delle comunicazioni lungo la diramazione per Corticella, sia la trasmissione dati dal tram al centro di controllo, sia la trasmissione voce tra il conducente e il centro di controllo effettuata con i protocolli VoIP, possano beneficiare dell'uso di sistemi di comunicazioni pubblici di ultima generazione quali LTE.

5.8 SISTEMA DI TARIFFAZIONE

Il sistema di Tariffazione si compone di apparecchiature per la vendita self-service di titoli di viaggio ed apparecchiature per la validazione dei titoli di viaggio stessi. Il sistema di Tariffazione al servizio della diramazione per Corticella sarà interoperabile con il sistema di tariffazione attualmente in uso sulla rete di trasporto pubblico della la Città di Bologna e con quello previsto per la Linea Rossa.

Gli apparati che lo compongono sono quelli destinati alla vendita self-service dei titoli di viaggio e quelli di obliterazione dei titoli di viaggio stessi. Le apparecchiature di emissione dei titoli di viaggio, installate in fermata, operano indipendentemente le une dalle altre (stand-alone), ma saranno anche collegate con il Posto Centrale di Controllo tramite la Rete Ethernet a Fibre Ottiche, per operazioni di controllo centralizzato,

statistiche sulle vendite, ecc. Le macchine validatrici, installate a bordo dei veicoli, saranno in grado di scaricare i dati relativi alle operazioni di validazione ad ogni rientro in deposito, tramite la rete WI-FI in esso installata, per il successivo inoltro al Posto Centrale di Controllo tramite la Rete Ethernet a Fibre Ottiche, per le operazioni di controllo centralizzato, statistiche sulle oblitterazioni, ecc.

5.9 SISTEMA DI SINCRONIZZAZIONE ORARIA

L'impianto Sincronizzazione Oraria ha lo scopo di distribuire l'informazione oraria a tutti gli elementi ad esso collegati.

I dispositivi già previsti al PCC nell'ambito delle opere per la Linea Rossa, che costituiranno il sistema in questione sono i seguenti:

- n°1 Centrale Oraria (Network Master Clock)
- n°1 Antenna GPS

Il sistema si baserà su un'architettura periferia-centro, dove:

- il centro è costituito dagli apparati suddetti, già predisposti nell'ambito della realizzazione della Linea Rossa, che saranno in grado di distribuire l'informazione oraria
- la periferia è costituita dall'insieme dei dispositivi che necessitano di sincronizzazione

La comunicazione tra centro e periferia sarà garantita dalla rete multiservizio Gigabit Ethernet, sulla quale viene implementato protocollo NTP con modalità di tipo client-server.

6. SISTEMA DI TELECOMANDO/TELECONTROLLO (SCADA)

6.1 PREMESSA

Scopo del presente capitolo è descrivere il sottosistema di supervisione e controllo (SCADA) al servizio della diramazione per Corticella.

In particolare il presente capitolo descrive il sistema SCADA per la diagnostica dei seguenti sottosistemi:

- Sottostazioni elettriche
- Impianti luce e forza motrice delle fermate in linea.

6.2 NORME DI RIFERIMENTO

- CEI EN 61000-3-2 Compatibilità elettromagnetica (EMC)
- Parte 3-2: Limiti - Limiti per le emissioni di corrente armonica (apparecchiature con corrente di ingresso ≤ 16 A per fase)
- CEI EN 61000-3-3 Parte 3-3: Limiti - Limitazione delle variazioni di tensioni, delle fluttuazioni di tensione e del flicker in sistemi di alimentazione in bassa tensione per apparecchiature con corrente nominale ≤ 16 A per fase e non soggette ad allacciamento su condizione
- CEI EN 60950 Apparecchiature per la tecnologia dell'informazione - Sicurezza
- CEI EN 60870 Sistemi ed apparecchiature di telecontrollo
- CEI 64-8 Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua
- Legge 186, 1 marzo 1968 Disposizioni concernenti la produzione dei materiali e l'installazione degli impianti elettrici
- D.Lgs. 159/16 Attuazione dell'articolo 1 della legge 18 agosto 2016, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro
- D.M. 22/01/2008 n.37 Regolamento concernente l'attuazione dell'articolo 11-quaterdecies, comma 13, lettera a) della legge n. 248 del 2 dicembre 2005, recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici

- D.Lgs. 86/16 Attuazione della direttiva 214/35/UE concernente l'armonizzazione delle legislazioni degli Stati membri relative alla messa a disposizione sul mercato del materiale elettrico destinato ad essere adoperato entro taluni limiti di tensione
- DPR 24 luglio 1996 n. 503 Disposizioni legislative in materia di abbattimento delle materie architettoniche ed in particolare 73/23/CEE emendata dalla direttiva 93/68/CEE Direttiva Bassa tensione
- Direttiva EMC Compatibilità Elettromagnetica (89/336/CEE) emendata dalle direttive 92/31/CEE, 93/68/CEE e 93/97/CEE Attuazione direttive CEE relative alla compatibilità elettromagnetica
- Disposizioni particolari dei Vigili del Fuoco in materia di impianti elettrici.

6.3 GENERALITA'

Il Sistema di Comando e Controllo degli impianti del sistema tramviario (SCADA), il cui centro è già stato previsto al PCC nell'ambito delle opere previste per la Linea Rossa, ha come obiettivo il conseguimento di un elevato livello di qualità del servizio mettendo a disposizione strumenti e procedure operative che consentano:

- la maggior diagnostica possibile degli impianti per il supporto alla manutenzione al fine di prevenire i guasti o di ridurre al minimo gli effetti degli stessi;
- garantire la maggiore disponibilità per il servizio al pubblico in termini d'informazione (es. fermate) e sicurezza.

Le funzioni dello SCADA sono quelle di mediare ed integrare le funzionalità complesse e specifiche di ogni sottosistema rendendole all'operatore semplificate e fruibili tramite un'interfaccia grafica omogenea ed operativa, dove poter svolgere il proprio esercizio. L'architettura proposta per il servizio di gestione integrata della diramazione per Corticella riprende quella della Linea Rossa e riguarda i seguenti sottosistemi:

- Sottostazioni Elettriche (SSE);
- TVCC;
- Diffusione Sonora;

- Pannelli Informativi;
- Allarmistica in generale in fermata.

In particolare, per quanto riguarda le SSE, il sistema permetterà agli Operatori della Postazione Centrale di Controllo già strutturata nell'ambito delle opere della Linea Rossa di effettuare la supervisione ed il telecontrollo degli apparati per la trazione elettrica (alimentazione, trasformazione e distribuzione) anche relativamente alla diramazione per Corticella.

Per fare ciò al Posto Centrale verranno raccolte le informazioni provenienti dai vari PLC che saranno installati nei diversi siti.

L'interfacciamento tra il sistema di supervisione ed i PLC di controllo sarà realizzato mediante rete Ethernet TCP-IP, mentre l'interfaccia verso dispositivi ausiliari dei vari sottosistemi della SSE ed eventuali protezioni multifunzioni, sarà realizzato mediante protocollo Modbus-TCP.

Le informazioni acquisite saranno trattate e proposte all'utente in tempo reale, tramite rappresentazione grafica e tabellare, e come elaborato storico allarmi per la diagnostica. Il sistema consentirà livelli di accesso diversificati in modo da assegnare responsabilità differenti agli operatori (solo visualizzazione; visualizzazione e comando; visualizzazione, comando e parametrizzazione).

L'acquisizione delle informazioni necessarie dai nuovi sistemi ausiliari (diagnostic generale), sarà realizzata tramite protocollo Modbus-TCP ed i segnali saranno acquisiti direttamente ai sistemi di automazione installati al PCC.

Tramite le postazioni operatore ed un interfaccia Uomo-Macchina (HMI) di tipo grafico, gli operatori potranno gestire in modo integrato tutti i gli apparati appartenenti ai sottosistemi sopra indicati.

Lo SCADA è fisicamente e logicamente suddiviso in client e server. Il software server risiede in un PC server mentre il software client, necessario alla visualizzazione delle pagine video degli operatori, risiede nelle workstation operatore. Il server provvede a

gestire le informazioni provenienti dai sottosistemi e inviarle in forma grafica ai vari client degli operatori.

Lo SCADA condivide le workstation operatore con gli applicativi dei diversi sottosistemi realizzando di fatto una integrazione visiva delle interfacce grafiche.

Grazie all'uso di tecnologie software di mercato, lo SCADA sarà in grado di scambiare dati anche con altri sottosistemi che fanno parte dell'impianto tecnologico della Tranvia.

Il sistema SCADA consentirà inoltre agli operatori del PCC una gestione caratterizzata dalle seguenti funzioni principali per le sottostazioni elettriche:

- Telecomando / telecontrollo SSE
- Rappresentazione dello stato dell'impianto sulla postazione operatore mediante sinottico generale dell'impianto e sinottici particolari per i vari sottosistemi
- Telecomando e telecontrollo delle alimentazioni e monitoraggio della linea MT (Media tensione) ENEL, apparati di trasformazione dell'energia da MT a BT (Bassa Tensione) delle SSE
- Supervisione e controllo dell'alimentazione di trazione elettrica
- Acquisizione dello stato di enti di SSE e degli allarmi associati
- Invio comandi agli enti periferici di SSE
- Acquisizione di misure energetiche delle SSE quali ad esempio qualità della rete e monitoraggio delle oscillo-perturbo-grafie, mediante schede di comunicazione RS 485 interfacciate con i vari strumenti presenti nei quadri elettrici
- Archiviazione degli ultimi allarmi acquisiti dall'impianto.

6.4 ARCHITETTURA DEL SISTEMA SCADA

Il Sistema SCADA è composto principalmente da:

- Postazione Centrale di Controllo e Comando;
- Concentratori Periferici (PLC locali ed apparecchiature varie) installati in ogni singola fermata e nelle SSE.

6.4.1 POSTAZIONE CENTRALE DI CONTROLLO E COMANDO

La Postazione Centrale di Controllo e Comando, interamente strutturata con le opere della Linea Rossa, permette la gestione tecnica centralizzata ed, in particolare, la gestione dell'energia di trazione, supervisione degli impianti fissi di linea e delle sottostazioni di energia.

6.4.2 POSTO PERIFERICO DI SSE

Ogni SSE dispone di un posto periferico dello SCADA. Questo si compone di HW commerciale (armadio RTU), che si interfaccia con gli apparati di campo tramite opportune schede I/O remotate alloggiate negli stessi apparati di campo e inoltre mediante una scheda di comunicazione RS485 che raccoglie tutte le informazioni che i vari apparati in campo rendono disponibili, tramite il protocollo Modbus. Inoltre è fornito di un opportuno SW, che svolge la funzione di gestione, comando e controllo degli enti componenti la SSE:

- Quadro MT
- Quadro generale BT servizi ausiliari
- Centraline termometriche trasformatori di trazione
- Centralina termometrica trasformatore servizi ausiliari
- Raddrizzatori
- Interruttori extrarapidi
- Interruttori di manovra - sezionatori positivi
- Servizi ausiliari ca - cc
- Masse interne
- Sezionatori di linea
- Sezionatori di 1° e 2° fila
- UPS
- Caricabatterie
- Centrale rivelazione incendi
- Centrale Antintrusione.

Negli elaborati di progetto è illustrato lo schema del posto periferico SCADA, in cui sono visibili l'armadio RTU che si interfaccia col PCC tramite collegamento in fibra ottica, i moduli I/O posti negli apparati periferici, la rete di collegamento tra RTU e moduli I/O, il modulo Modbus, con la relativa rete seriale RS485 per la trasmissione delle misure degli apparati periferici, ed il Pannello Operatore che consente di visualizzare su uno schermo touch screen gli stati e gli allarmi del posto periferico e di inviare i comandi agli enti di SSE.

I grafici forniscono una rappresentazione di massima dell'architettura prevista per il governo delle SSE; si distingue l'armadio RTU, le schede di interfaccia verso i dispositivi di campo (Digital Input ed Output e di acquisizione seriale su protocollo Modbus), ed i collegamenti all'interno della SSE per la connessione delle schede I/O remotate e l'armadio RTU.

Si prevede un sistema di controllo ridondante dei PLC della sottostazione elettrica, per garantire continuità di servizio, maggiore disponibilità e affidabilità in caso di guasto. Tutti gli ingressi digitali saranno cablati direttamente a morsettiera, tutte le uscite digitali saranno interfacciate tramite moduli a relè, tutti gli I/O analogici saranno acquisiti direttamente a morsettiera.

Sulla portella di ciascun quadro sarà previsto un Terminale operatore 15".

6.4.3 POSTO PERIFERICO DI FERMATA

Il sottosistema è costituito da una rete di PLC (Programmable logic controller) nelle fermate, dedicata in particolare alla supervisione degli allarmi degli impianti non-TE (Trazione Elettrica) presenti presso le fermate.

La raccolta degli allarmi e della diagnostica delle apparecchiature è realizzata mediante PLC distribuiti nelle fermate; per i PLC nelle fermate una parte degli I/O sono dedicati alla raccolta allarmi degli apparati di fermata e del quadro elettrico.

Il quadro elettrico di alimentazione delle utenze di fermata viene alimentato in bassa tensione dal QGBT della sottostazione elettrica più vicina.

Le utenze di fermata sono costituite dall'impianto di illuminazione e di forza motrice, dalle telecomunicazioni, emettitrici ed obliterate dei biglietti e pannelli informativi.

Il sistema di telecontrollo segnala la presenza di tensione al quadro (in arrivo dalla SSE) e lo stato degli interruttori di distribuzione dell'energia. E' prevista una morsettiera di appoggio per la parte relativa agli allarmi degli apparati di comunicazione nelle fermate. La rete di collegamento utilizzata per l'interconnessione dei PLC è la dorsale di rete in standard Gigabit Ethernet. I PLC sono dotati di porta ethernet e gestiscono il protocollo TCP/IP.