

S.F.T.R.F. S.A.  
Société Française du Tunnel du Fréjus  
S.I.T.A.F. S.p.A.  
Società Italiana Traforo Autostradale Fréjus

**TRAFORO AUTOSTRADALE DEL FREJUS**  
**GALLERIA DI SICUREZZA**  
**TUNNEL ROUTIER DU FREJUS**  
**GALERIE DE SECURITE**

**PROGETTO DEFINITIVO 2006**  
**PROJET 2006**

**ALIMENTAZIONE ELETTRICA / ALIMENTATION**  
**ELECTRIQUE**

**Relazione tecnica / Note technique**

**LOMBARDI SA**  
INGENIEURS-CONSEILS



## INDICE

	pagina
1. INTRODUZIONE	1
1.1 Inquadramento generale	1
1.2 Obiettivi generali	2
1.2.1 Rete Alta Tensione	2
1.2.2 Trasferimento dei PHT verso le nuove ST	3
1.3 Documenti di riferimento	4
1.4 Riferimenti normativi	5
1.4.1 Italiani	5
1.4.2 Francesi	6
1.5 Analisi in seguito all'aumento del diametro della galleria di sicurezza	6
2. PRINCIPI GENERALI	7
2.1 Introduzione	7
2.2 Stato attuale del traforo	7
2.2.1 Rete Alta Tensione	7
2.2.2 Locali tecnici	8
3. PRINCIPI COSTRUTTIVI	8
3.1 Distribuzione Alta Tensione 20 kV	8
3.1.1 Stazioni Tecniche (ST)	8
3.1.2 Rete Alta Tensione 20 kV	13
3.1.3 Modalità di alimentazione della rete HT	14
3.1.4 Percorso cavi delle arterie HT	16
3.1.5 Dimensionamento della rete HT	17
3.2 Trasformazione HT/BT	18
3.2.1 Generalità	18
3.2.2 Trasformatori in Stazioni Tecniche interne	18
3.2.3 Trasformatori in Stazioni Tecniche esterne	19
3.2.4 Trasformatori nei PHT	19
3.2.5 Dimensionamento dei trasformatori	19
3.3 Distribuzione bassa tensione in galleria di sicurezza	20
3.3.1 Concetti	20
3.3.2 Sviluppo della rete BT e quadri elettrici generali	20
3.3.3 Ridondanza della distribuzione BT	21
3.3.4 Gruppi di continuità UPS	23
3.3.5 Quadri elettrici dei rifugi e linee dorsali	23

3.3.6	Ripartizione degli impianti in galleria	24
3.3.7	Dimensionamento delle linee dorsali	25
3.3.8	Percorso cavi BT	28
3.3.9	Rifasamento	28
3.3.10	Messa a terra	30
4.	TRASFERIMENTO DEI PHT VERSO LE NUOVE ST	31
4.1	Oggetto	31
4.2	Limiti dell'intervento	31
4.3	Concetti di base	32
4.4	Trasferimento dei PHT verso le nuove ST	32
4.4.1	Prima fase - Preparazione	33
4.4.2	Seconda fase - Predisposizione rete HT	33
4.4.3	Terza fase - Trasferimento alimentazioni PHT	34
4.4.4	Quarta fase - Predisposizioni BT	35
4.4.5	Quinta fase - Trasferimento	35
4.4.6	Sesta fase - Esercizio	36
4.5	Sostituzione delle componenti elettriche nelle centrali di ventilazione	36
4.5.1	Descrizione	36
4.5.2	Modalità di intervento	37
4.5.3	Interventi particolari	37
4.6	Requisiti di realizzazione	38
5.	INTERFACCE CON GLI ALTRI IMPIANTI	38
5.1	Interfacce sul campo	38
5.2	Interfacce a livello alto	39
5.3	Gestione dati	39
6.	LIMITI DI FORNITURA E DI INTERVENTO	39
6.1	Limiti di fornitura	39
6.1.1	Galleria di sicurezza	39
6.1.2	Traforo	40
6.2	Limiti di intervento	41
7.	CALENDARIO DI REALIZZAZIONE PREVEDIBILE	41
7.1	Galleria di sicurezza	41
7.1.1	Montaggi	41
7.1.2	Messa in servizio	41

7.2	Trasferimento dei PHT verso le ST	41
7.2.1	Preparazione	41
7.2.2	Esecuzione	42
1.	INTRODUCTION	43
1.1	Encadrement général	43
1.2	Objectifs généraux	44
1.2.1	Réseau Haute Tension	44
1.2.2	Basculement des PHT vers les nouvelles ST	45
1.3	Documentation de référence	46
1.4	Références normatives	47
1.4.1	Françaises	47
1.4.2	Italiennes	47
1.5	Analyses en suite de l'augmentation du diamètre de la galerie de sécurité	48
2.	PRINCIPES GENERAUX	48
2.1	Introduction	48
2.2	État actuel du tunnel	49
2.2.1	Réseau Haute Tension	49
2.2.2	Locaux techniques	49
3.	PRINCIPES CONSTRUCTIFS	50
3.1	Distribution Haute Tension 20 kV	50
3.1.1	Stations techniques (ST)	50
3.1.2	Réseau Haute Tension 20 kV	55
3.1.3	Modalités d'alimentation du réseau HT	56
3.1.4	Chemins des artères HT	58
3.1.5	Dimensionnement du réseau HT	59
3.2	Transformation HT/BT	61
3.2.1	Généralités	61
3.2.2	Transformateurs dans les stations techniques intérieures	61
3.2.3	Transformateurs dans les stations techniques extérieures	61
3.2.4	Transformateurs dans les PHT	62
3.2.5	Dimensionnement des transformateurs	62
3.3	Distribution Basse Tension dans la galerie de sécurité	63
3.3.1	Concepts	63
3.3.2	Développement du réseau BT et tableaux électriques généraux	63
3.3.3	Redondance de la distribution BT	64
3.3.4	Onduleurs (UPS)	65

3.3.5	Tableaux électriques des abris et lignes dorsales	65
3.3.6	Répartition des installations en galerie	66
3.3.7	Dimensionnement des lignes dorsales	68
3.3.8	Parcours câbles BT	70
3.3.9	Compensation de phase	70
3.3.10	Mise à la terre	72
4.	BASCULEMENT DES PHT VERS LES NOUVELLES ST	73
4.1	Objet	73
4.2	Limites d'intervention	74
4.3	Concepts de base	74
4.4	Basculement des PHT vers les nouvelles ST	75
4.4.1	Première phase - Préparation	75
4.4.2	Deuxième phase - Prédiposition réseau HT	76
4.4.3	Troisième phase - Basculement alimentations PHT	76
4.4.4	Quatrième phase - Prédiposition BT	77
4.4.5	Cinquième phase - Basculement	78
4.4.6	Sixième phase - Exercice	78
4.5	Substitution des composants électriques dans les usines de ventilation	79
4.5.1	Description	79
4.5.2	Modalités d'intervention	79
4.5.3	Interventions particulières	80
4.6	Conditions requises pour la réalisation	80
5.	INTERFACES AVEC LES AUTRES EQUIPEMENTS	81
5.1	Interfaces sur terrain	81
5.2	Interfaces au niveau supérieur	81
5.3	L'acquisition et gestion des données	81
6.	LIMITE DE FOURNITURE ET D'INTERVENTION	82
6.1	Limites de fourniture	82
6.1.1	Galerie de sécurité	82
6.1.2	Tunnel	83
6.2	Limites d'intervention	83
7.	CALENDRIER DE RÉALISATION PRÉVISIBLE	83
7.1	Galerie de sécurité	83
7.1.1	Général	83

7.1.2	Mise en service	84
7.2	Basculement des PHT vers les ST	84
7.2.1	Préparation	84
7.2.2	Exécution	84

## 1. INTRODUZIONE

### 1.1 Inquadramento generale

Il traforo autostradale del Fréjus collega il Piemonte con la Savoia (Bardonecchia - Modane), sull'asse Torino - Lione. La circolazione si svolge in maniera bi-direzionale su una larghezza carrabile di 9 metri e una lunghezza di 12'868 metri. Il presente progetto costituisce la messa a punto del Progetto definitivo della galleria di sicurezza. Il progetto base, elaborato nel 2005, e precedente all'incendio del 4 giugno 2005 che ha causato la morte di due persone nel traforo, è stato sottoposto ad analisi in materia di sicurezza da parte del Comitato di Sicurezza anche a seguito della lettera dei Ministri concernente la proposta di « un diametro adatto della galleria che dovrà permettere in ogni evenienza la circolazione dei veicoli di soccorso in tutta sicurezza e agio ».

Gli elementi principali, non compresi nel progetto definitivo del 2005, risultanti dallo studio effettuato e che confluiscono nel presente progetto definitivo sono i seguenti:

- Adeguamento del diametro della galleria di sicurezza da 5.50 a 8.00 m;
- Adeguamento del sistema di ventilazione, le SAS ai portali che permettevano la messa in sovrappressione di tutta la galleria di sicurezza, sono sostituite da una serie di acceleratori in volta posati lungo la galleria che garantiscono la sovrappressione. È pure prevista un'estrazione in corrispondenza delle centrali B e C.
- Realizzazione di 5 by-pass per il passaggio dei veicoli di soccorso dalla galleria di sicurezza al traforo.

L'insieme degli altri aspetti progettuali del progetto definitivo del 2005 non sono comunque stati modificati, in particolare;

- Le opere esterne ai portali non vengono modificate;
- Gli impianti, ad esclusione della ventilazione, mantengono lo stesso standard previsto nel progetto definitivo 2005. Vengono unicamente adeguati per rispondere alle modifiche del genio civile;
- Il concetto del trasferimento degli impianti attuali dai locali tecnici del traforo (PHT) alle nuove stazioni tecniche della galleria di sicurezza;

- Il concetto di aggiornamento della GTC non è stato modificato, anche se ha dovuto essere adeguato in seguito alla modifica del concetto di ventilazione della galleria di sicurezza che impone un coordinamento con il sistema del traforo stradale.

La galleria di sicurezza sarà realizzata ad una distanza di ca. 50 m dal traforo principale. Verranno realizzati complessivamente 34 rifugi, in media uno ogni 367 m, nei collegamenti trasversali tra il traforo e la galleria di sicurezza.

Durante i lavori di realizzazione della galleria di sicurezza, che inizieranno nel 2008, la gestione del traforo autostradale non dovrà subire impedimenti. Tutti i lavori, sia di genio civile che di impiantistica, dovranno essere effettuati senza provocare interferenze importanti con il normale funzionamento del traforo autostradale.

La galleria di sicurezza, la cui messa in servizio è prevista a partire dal 2013, dovrà essere gestita congiuntamente con il traforo autostradale. Un unico sistema di supervisione dovrà quindi coordinare la gestione dell'insieme galleria - traforo.

I diversi impianti tecnologici previsti nella galleria di sicurezza necessitano un'alimentazione elettrica che sarà assicurata per mezzo di una nuova rete alta tensione a 20 kV (HT) e da una distribuzione terminale a bassa tensione a 400/230V (BT).

La rete alta tensione sarà dimensionata per la distribuzione dell'energia elettrica sia alle installazioni della galleria di sicurezza, sia alle installazioni esistenti nel traforo. Si sottolinea che la dizione HT (Haute Tension) francese, corrisponde alla dizione (Media Tensione) italiana, in riferimento alla tensione 20kV.

In seguito il riferimento univoco sarà la denominazione "HT".

## **1.2 Obiettivi generali**

### *1.2.1 Rete Alta Tensione*

La galleria di sicurezza verrà equipaggiata con una nuova rete HT impostata sul medesimo concetto della rete esistente. La nuova rete sarà formata da due arterie



a 20 kV destinate ad assicurare sia l'alimentazione delle nuove stazioni tecniche ST, per gli impianti della galleria di sicurezza, che quella dei posti di trasformazione PHT attuali, per gli impianti del traforo. Lo scopo è di mettere fuori servizio le arterie HT esistenti, che attualmente transitano nella condotta di aria fresca del traforo.

La sicurezza della rete alta tensione ha due obiettivi:

- Assicurare un importante livello di disponibilità della distribuzione elettrica per l'insieme traforo-galleria, in particolare a livello degli impianti nei rifugi;
- Assicurare un percorso sicuro, in caso di incendio nel traforo, dei cavi 20 kV destinati all'alimentazione dei PHT nel traforo.
- Pertanto l'installazione è stata definita nel rispetto dei vincoli imposti dalla Circolare Interministeriale francese n.2000-63, ossia:
- Garanzia di servizio della distribuzione elettrica in caso di interruzione della rete di alimentazione;
- Sicurezza di funzionamento in caso di anomalia parziale dei materiali;
- Le arterie HT dovranno funzionare durante un eventuale incendio di livello N3 nel traforo.

Tenendo conto dei livelli di sicurezza necessari per gli impianti del traforo e della galleria di sicurezza, si prevede un'unica rete di distribuzione alta tensione sia per il traforo che per la galleria di sicurezza, in modo da ottenere la massima sicurezza di tutti gli impianti con un sistema ridondante e affidabile.

Questa soluzione è preferibile rispetto ad una soluzione con reti separate, per la quale gli impianti della galleria di sicurezza avrebbero un livello di ridondanza e di sicurezza minore, tenuto conto delle disposizioni impartite dalla normativa.

### *1.2.2 Trasferimento dei PHT verso le nuove ST*

E' previsto il rinnovamento delle installazioni attuali dei PHT mediante il trasferimento verso le nuove ST. Questo intervento, da realizzarsi garantendo la continuità dell'esercizio del traforo, ha i seguenti obiettivi:

- Rinnovare gli impianti sotto l'aspetto tecnologico e funzionale, per elevare lo standard qualitativo e di sicurezza delle installazioni elettriche;

- Eliminare le componenti elettromeccaniche obsolete (vedi: gruppi a tempo zero);
- Utilizzare al meglio le nuove stazioni tecniche della galleria di sicurezza, più ampie e meglio accessibili;
- Ottimizzare la manutenzione degli impianti in modo più razionale ed efficace;
- Mettere in sicurezza i collegamenti (alimentazione elettrica, reti di comunicazione) attraverso la galleria.

### 1.3 Documenti di riferimento

I documenti di riferimento utilizzati sono:

a) Il progetto preliminare per la realizzazione della galleria di sicurezza del traforo del Fréjus, in particolare:

- Relazione esplicativa (gs 96 RG 01) 27/11/2002, MUSI.NET;
- Definizione delle ipotesi di progetto (gs 06 RT 10) 30/09/2002, MUSI.NET;
- Programma generale degli equipaggiamenti correnti forti e correnti deboli (gs 96 RT 11/1) 30/09/2002, MUSI.NET;
- Memorie degli equipaggiamenti correnti forti e correnti deboli (gs 96 RT 11/2) 30/09/2002, MUSI.NET;
- Fascicolo delle architetture sistemi corrente forti (gs 96 FD 02) 30/09/2002, MUSI.NET;
- Fascicolo degli schemi di sistemazione correnti forti (gs 96 FD 02) 30/09/2002, MUSI.NET.

b) Gli elaborati della prima fase del progetto definitivo, in particolare:

- Nota tecnica alimentazione elettrica (6145.0-R-09) 12/07/2004, Lombardi SA;
- Piano architettura del sistema (6145.0-P-50) 12/07/2004, Lombardi SA;
- Piano disposizione in corrispondenza delle stazioni tecniche (6145.0-P-51) 12/07/2004, Lombardi SA.

c) Progetto definitivo della galleria di sicurezza elaborato dallo studio Lombardi SA Ingegneri Consulenti.

- 6145.0-R-46a Relazione tecnica energia;

- 6145.0-R-46a all1 Allegato 1: Bilancio energetico;
  - 6145.0-R-46a all2 Allegato 2: Schemi elettrici tipici;
  - 6145.0-R-47a Disciplinare descrittivo e prestazionale;
  - 6145.0-R-48a Computo metrico estimativo.
- d) Risposte alle domande del Comitato di Sicurezza del giugno 2005 con particolare riferimento alle opere del genio civile, agli impianti come pure alle opere esterne.
- Impianti - Relazione 6145.0-R-103B 06.06.2005 Lombardi SA.
- e) Ottimizzazione del diametro interno della galleria per garantire l'accesso dei veicoli di soccorso in sicurezza e comodità, elaborato dallo studio Lombardi Sa Ingegneri Consulenti nel febbraio 2006.
- Relazione 6145.0-R-112 09.03.2006 Lombardi SA.

#### 1.4 Riferimenti normativi

Le leggi e norme d'applicazione al progetto d'alimentazione elettrica sono di seguito elencate e suddivise per nazionalità.

##### 1.4.1 Italiani

- D.P.R. 24-04-55 n.547 "Norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro";
- Legge 01-03-68 n.186 "Disposizioni concernenti la produzione dei materiali, apparecchiature, macchinari, installazioni ed impianti elettrici ed affini";
- Legge 05-03-90 n.46 "Norme per la sicurezza degli impianti" e successivo D.P.R. 06-12-91 n.447 "Regolamento di attuazione della Legge 5 Marzo 1990 n.46 in materia di sicurezza degli impianti";
- Norma CEI 11-1 "Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata";
- Norma CEI 17-6 "Apparecchiatura prefabbricata con involucro metallico per tensioni da 1 kV a 52 kV";
- Norma CEI 17-13 "Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT)" - Parte 1, 2 e 3;

- Norma CEI 64-8 “Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua”;
- Prescrizioni ENEL DK 5600, IV ediz. (anno 2004) “Criteri di allacciamento di clienti alla rete MT della distribuzione”.

#### 1.4.2 Francesi

- Décret n° 88-1056 du 14 novembre 1988;
- Circulaire interministérielle n° 2000-63 du 25 août 2000 relative à la Sécurité dans les tunnels du réseau routier national, pour les abris et la galerie de sécurité;
- NF C 12.100, relative à la protection des travailleurs dans les établissements qui mettent en œuvre des courants électriques;
- NF C13-100 concernant les postes de livraison haute tension;
- NF C13-200 concernant les installations électriques à haute tension;
- NF C15-100 concernant les installations électriques à basse tension;
- NF C32 et C33 concernant les conducteurs et câbles isolés pour installations et équipements.

#### 1.5 Analisi in seguito all’aumento del diametro della galleria di sicurezza

L’insieme dei concetti previsti nel progetto definitivo 2005 sono confermati, in particolare:

- La potenza dei trasformatori sarà standardizzata in 2 o al massimo 3 grandezze;
- I trasformatori previsti nelle stazioni tecniche saranno alloggiati in appositi box ventilati;
- I due gruppi elettrogeni ai portali saranno mantenuti; la loro eliminazione non sarà possibile senza il consenso del Comitato di Sicurezza;
- I cavi elettrici saranno di tipo flessibile;
- Il rinnovo dei PHT presenti nelle centrali di ventilazione B e C sarà realizzato in loco, senza trasferimento nelle corrispondenti stazioni tecniche, tenuto conto dello spazio disponibile in dette centrali.

L'aumento del diametro della galleria comporta alcune modifiche all'impianto di alimentazione elettrica; le più significative sono:

- Aumento della grandezza dei trasformatori, a causa dell'installazione degli acceleratori dell'impianto di ventilazione;
- Aumento della sezione dei cavi HT 20kV, a causa della maggior potenza installata nella galleria di sicurezza.

## **2. PRINCIPI GENERALI**

### **2.1 Introduzione**

I principi generali dell'alimentazione elettrica, previsti nelle precedenti fasi di progettazione sono confermati ed integrati dall'intervento per il trasferimento dei PHT verso le nuove ST.

In questa fase del progetto definitivo è stata elaborata un'analisi dettagliata delle categorie d'impianto HT e BT e un bilancio energetico necessario al dimensionamento degli impianti.

### **2.2 Stato attuale del traforo**

#### *2.2.1 Rete Alta Tensione*

La rete HT del traforo è costituita da due arterie 20 kV destinate ad alimentare:

- 2 centrali di ventilazione esterne ai portali (A e D);
- 2 centrali di ventilazione sotterranee (a 1/3 e 2/3 del traforo, B e C), realizzate ciascuna in prossimità di un pozzo;
- 20 sotto stazioni elettriche (da PHT01 a PHT20), installate ogni 1450 m circa;
- 2 sotto stazioni elettriche dedicate ciascuna ad un pozzo (PHT27 e PHT28);
- 1 sotto stazione elettrica dedicata al laboratorio sotterraneo IN2P3.

Un'arteria alimenta i PHT dispari (lato Est del traforo), mentre l'altra alimenta i PHT pari (lato Ovest del traforo).

I cavi che costituiscono fisicamente le due arterie sono posati nel canale d'aria fresca, nella parte superiore del traforo.

Ogni arteria è normalmente alimentata da uno dei due distributori EDF o ENEL. EDF fornisce energia lato Francia a 20 kV. L'alimentazione ENEL avviene lato Italia a 15 kV, per poi essere elevata a 20 kV nel punto di allacciamento mediante due trasformatori installati in parallelo.

I piazzali esterni ai portali del traforo sono alimentati a partire dai punti di allacciamento a 20 kV, a monte delle due arterie.

### *2.2.2 Locali tecnici*

I PHT ospitano le apparecchiature destinate all'alimentazione, trasformazione e distribuzione dell'energia elettrica. A livello di bassa tensione sono installati i quadri degli impianti, tra cui illuminazione, pannelli di segnalazione, semafori e ausiliari.

I principali problemi attuali dei PHT è la mancanza di spazio e carico termico. Questo limite non consente la possibilità di rinnovare gli impianti garantendo l'esercizio del traforo. I rilievi effettuati nei PHT hanno dimostrato come unicamente in corrispondenza delle centrali di ventilazione A, B, C e D siano presenti spazi sufficientemente ampi.

## **3. PRINCIPI COSTRUTTIVI**

### **3.1 Distribuzione Alta Tensione 20 kV**

#### *3.1.1 Stazioni Tecniche (ST)*

Nell'ambito della galleria di sicurezza, sono previste 24 nuove ST, numerate con sequenza dispari in modo progressivo dal portale francese a quello italiano (ST01, ST03, ST05....) e con sequenza pari in modo progressivo dal portale italiano a quello francese (ST02, ST04, ST06....).

Otto di esse saranno esterne alla galleria:

- ST01 e ST20 nel nuovo fabbricato al portale lato Francia;
- ST02, ST19 e ST30 nel nuovo fabbricato al portale lato Italia in corrispondenza dell'entrata in galleria di sicurezza;
- ST32 e ST34 nei due nuovi fabbricati esterni adiacenti a quello sopra descritto.

Le rimanenti 16 ST saranno interne alla galleria e realizzate in collegamenti trasversali verso il traforo, dislocate a coppie ogni 1'450 m circa ed ubicate come indicato nel seguente elenco, con sequenza progressiva dal portale francese a quello italiano:

- ST03 - ST18: in prossimità del PHT 03;
- ST05 - ST16: in prossimità del PHT 05;
- ST07 - ST14: in prossimità della centrale di ventilazione B;
- ST09 - ST12: in prossimità del PHT 09;
- ST11 - ST10: in prossimità del PHT 11;
- ST13 - ST08: in prossimità della centrale di ventilazione C;
- ST15 - ST06: in prossimità del PHT 15;
- ST17 - ST04: in prossimità del PHT 17.

Questa disposizione permette di gestire l'alimentazione elettrica della galleria di sicurezza e del traforo in modo territorialmente equilibrato.

Le ST interne gestiranno:

- Gli impianti della galleria di sicurezza posti nel tratto compreso tra circa 750 m a nord e circa 750 m a sud della loro ubicazione;
- Gli impianti di quattro rifugi, due posti a nord e due a sud;
- Gli impianti del traforo, attualmente alimentati dai PHT (esclusi quelli posti nelle centrali di ventilazione A, B, C e D del traforo);
- La ventilazione della galleria di sicurezza.

Per quanto concerne le ST esterne, sarà a loro carico:

- Gli impianti posti nei primi 750 m circa della galleria di sicurezza;
- L'alimentazione dei fabbricati esterni annessi.

La figura 1 rappresenta la disposizione di tutte le nuove stazioni tecniche, quella dei PHT attuali e dei locali tecnici nelle centrali di ventilazione e sulle piattaforme esterne.

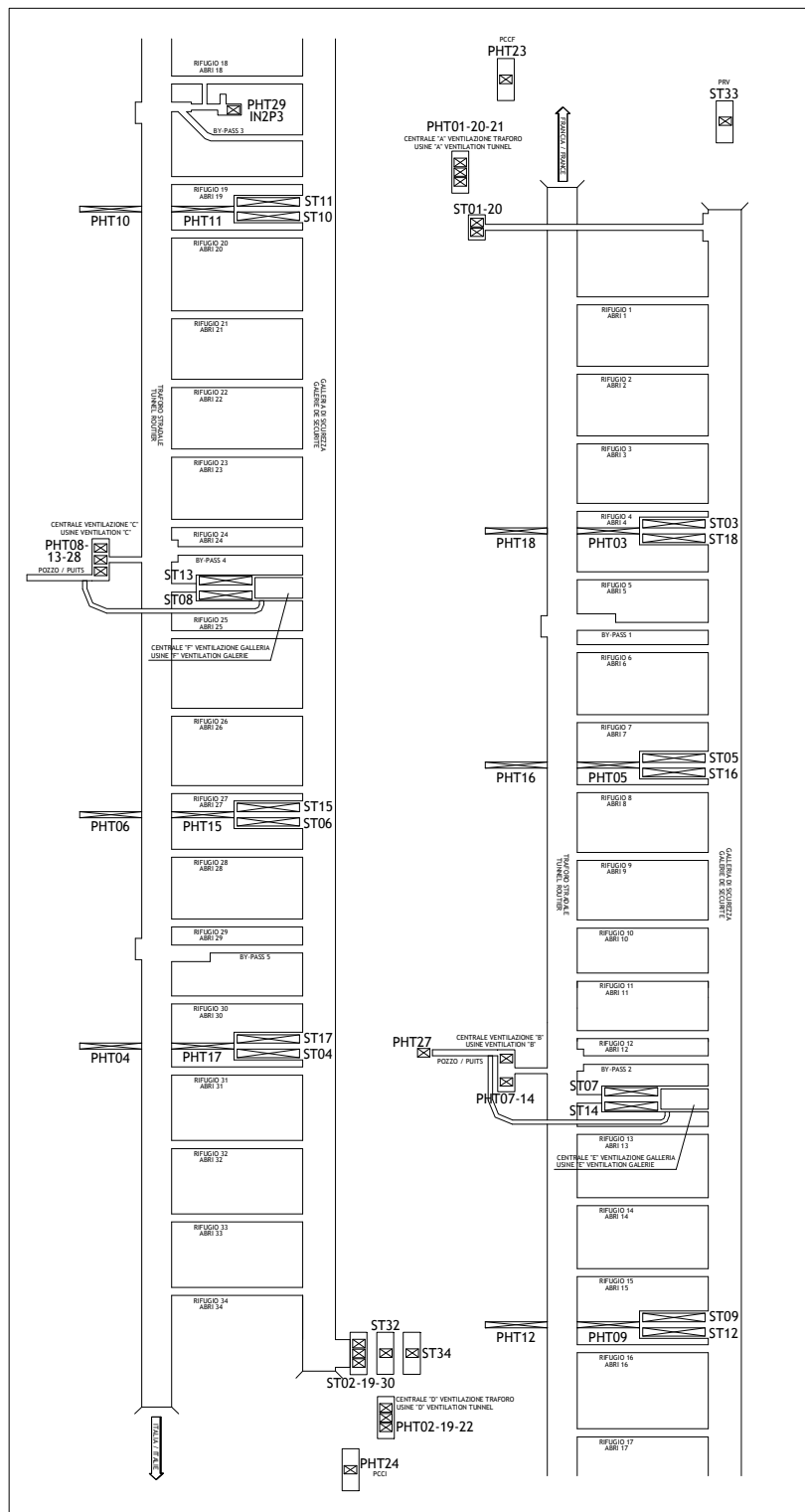


Fig. 1 - Disposizioni dei locali tecnici



Le ST interne alla galleria di sicurezza sono suddivise in più locali; ciascuno di essi è dimensionato per ospitare sia le apparecchiature degli impianti per la galleria che quelle per gli impianti del traforo, secondo il seguente criterio:

- Al piano carreggiata: due locali HT, da 6.70 x 3.20 m, per l'installazione delle celle HT e dei trasformatori 20/0.4 kV;
- Un locale, da 8.80 x 3.20 m, per i dispositivi di sezionamento della rete incendio (eletto-valvole) e per le macchine di ventilazione e climatizzazione dei locali tecnici di entrambe le ST;
- Un locale tecnico da 6.40 x 3.20 m per l'installazione delle batterie dei gruppi di continuità;
- Al piano primo: locale BT da 13.30 x 4.10 m, per i quadri elettrici generali destinati alla distribuzione elettrica principale (TGBT) e di soccorso (TGBTs), per i gruppi di continuità (UPS) e per i quadri elettrici dei diversi impianti (gestione tecnica centralizzata GTC, rete chiamata emergenza RAU, video-sorveglianza DAI, trasmissione dati, controllo accessi, segnalazione luminosa, ecc).

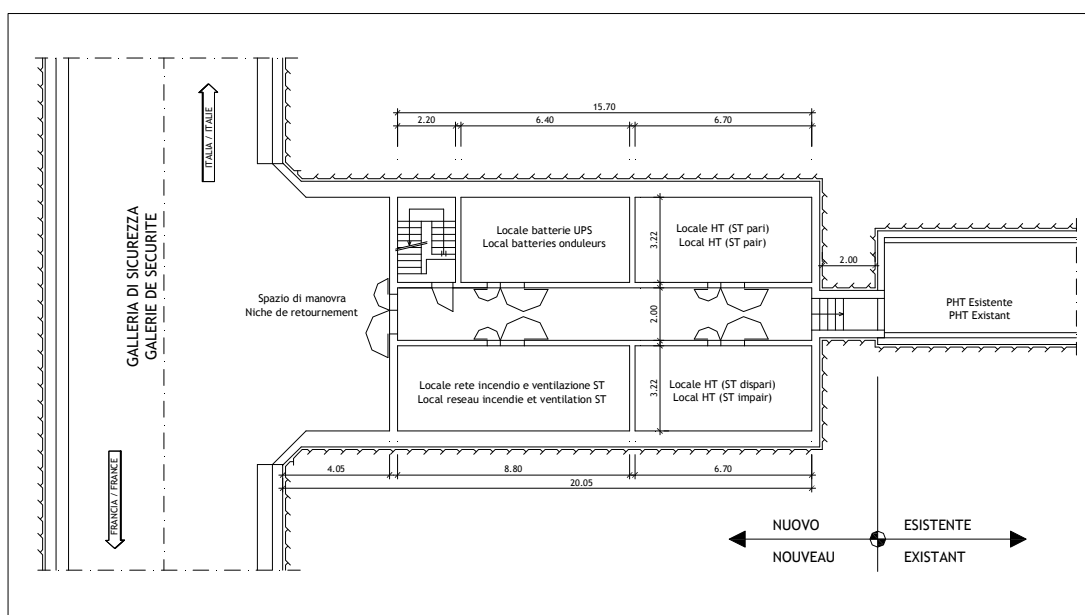


Fig. 2 - Stazione tecnica tipo - Pianta piano carreggiata

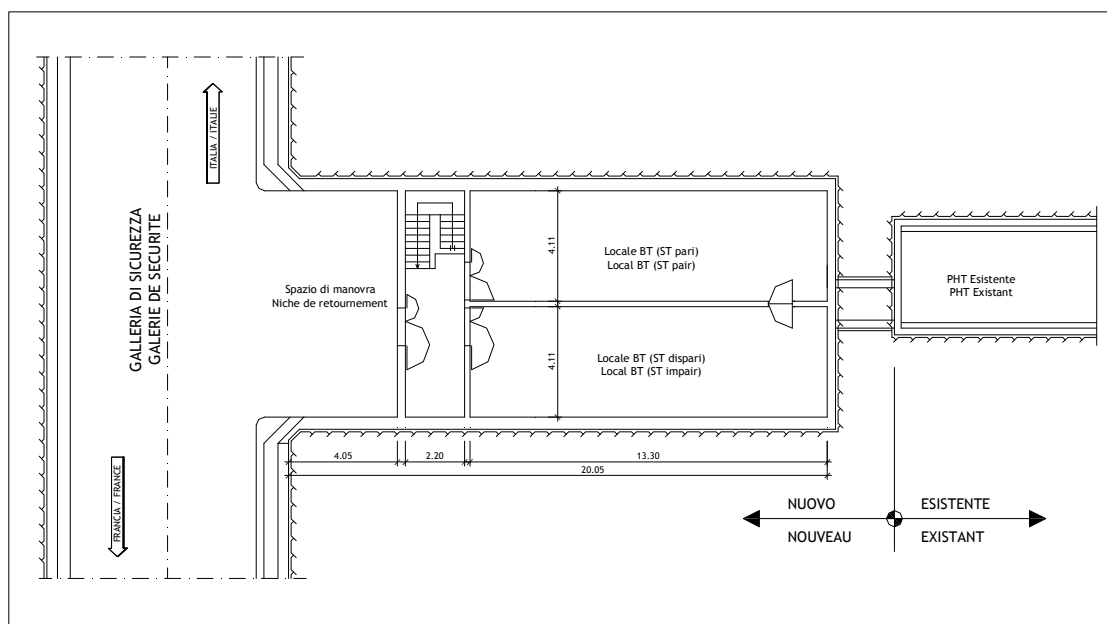


Fig. 3 - Stazione tecnica tipo - Pianta piano primo

Le ST esterne differiscono da quelle interne per dimensioni e caratteristiche (vedi disegni 6145.2-P-220 e 6145.2-P-221).

Parte di esse (ST01 e ST20 lato Francia, ST02 e ST19 lato Italia) saranno inserite all'interno dei nuovi fabbricati predisposti ai portali e verranno destinate ad alloggiare le installazioni relative agli impianti della sola galleria di sicurezza, e più precisamente:

- Celle HT e trasformatori;
- Quadri elettrici generali destinati alla distribuzione elettrica principale (TGBT) e di soccorso (TGBTS);
- Gruppi di continuità (UPS) per l'alimentazione di emergenza agli impianti di soccorso;
- Quadri elettrici degli impianti speciali (GTC, RAU, video DAI, trasmissione dati, controllo accessi, segnalazione luminosa, ecc).

La destinazione delle stazioni tecniche rimanenti esterne sarà la seguente:

- ST30: è prevista nello stesso locale della ST02. Verrà destinata alla trasformazione, alimentazione e distribuzione degli impianti del fabbricato esterno lato Italia; inoltre provvederà all'alimentazione in bassa tensione dei rimanenti due fabbricati vicini;

- ST32 e ST34: saranno semplici locali BT ubicati, rispettivamente, nel secondo e nel terzo fabbricato esterno lato Italia; provvederanno all'alimentazione e distribuzione degli impianti previsti nel relativo fabbricato;
- ST33: è prevista nei locali del PRV lato Francia e verrà destinata alla trasformazione, alimentazione e distribuzione degli impianti di tale fabbricato; questa stazione tecnica è esclusa dal presente progetto: se ne prevede la sola alimentazione 20 kV con cavi HT in derivazione dalla ST01.

### 3.1.2 Rete Alta Tensione 20 kV

Una delle due arterie che costituiscono la nuova rete alta tensione sarà alimentata dal punto di fornitura EDF, lato Francia (arteria 1), mentre l'altra arteria sarà alimentata dal punto di fornitura ENEL, lato Italia (arteria 2).

L'origine di un'arteria corrisponde alla fine dell'altra, e viceversa (vedi disegno 6145.2-P-217): i punti di partenza e di arrivo sono individuati nel PHT21 (lato Francia) e nel PHT22 (lato Italia).

L'arteria 1 è destinata all'alimentazione della metà degli impianti della galleria di sicurezza e della metà degli impianti del traforo, mentre l'arteria 2 alimenterà gli impianti della restante metà.

Con questa architettura si ottiene una suddivisione che, secondo il criterio adottato per i PHT attuali, permette di ripartire i carichi sulle due arterie in modo sufficientemente equilibrato.

Le due linee costituiscono di fatto un anello aperto e saranno interconnesse tramite interruttori motorizzati a comando automatico e manuale dalla GTC.

In corrispondenza di ogni ST, ciascuna delle due arterie sarà connessa a nuove celle HT, con una connessione di tipo "entra-esce" (vedere schema 6145.2-P-217).

Nel caso di mancanza di tensione da uno dei due Distributori (EDF o ENEL), la rete HT avrà una struttura tale da permettere la contro-alimentazione della parte rimasta senza tensione. Questa funzione, di vitale importanza per la continuità

dell'esercizio degli impianti, sarà disponibile per mezzo di un comando sugli interruttori motorizzati delle celle HT previste all'origine delle linee (PHT21 e PHT22). Inoltre, per una completa flessibilità di gestione della rete HT, anche le celle previste in tutte le ST saranno dotate di interruttori motorizzati.

I comandi di commutazione potranno essere gestiti in tre differenti modi:

- Modo automatico (dal sistema GTC);
- Modo manuale;
- Modo manuale a distanza (dal sistema GTC).

Considerando queste scelte progettuali, le due arterie potranno garantire la ridondanza dell'alimentazione elettrica. Tuttavia i gruppi elettrogeni esistenti ai portali del traforo (1'250 kVA) non saranno esclusi dalla rete di alimentazione ma verranno mantenuti come ulteriore approvvigionamento energetico di emergenza in caso di black-out totale.

### *3.1.3 Modalità di alimentazione della rete HT*

La distribuzione elettrica in alta tensione sarà in grado di garantire l'alimentazione di tutti gli impianti del traforo e della galleria di sicurezza, secondo qualsiasi possibile caso di funzionamento o anomalia che si potrebbe verificare nel sistema di alimentazione.

A tal proposito, si prevedono i seguenti 6 scenari possibili:

- **a) Normale:** Il punto di fornitura EDF nel PHT 21 alimenta l'arteria HT 1; il punto di fornitura ENEL nel PHT 22 alimenta l'arteria HT 2. L'arteria 1 alimenta i trasformatori della galleria e del traforo posti nelle ST dispari, mentre l'arteria 2 alimenta i trasformatori della galleria e del traforo posti nelle ST pari. Ogni trasformatore alimenta un TGBT.
- **b) Perdita di un'alimentazione HT:** La perdita di un'alimentazione HT, per esempio da EDF sull'arteria 1, viene risolta con una contro-alimentazione da ENEL di tale arteria, mediante l'apertura automatica dell'interruttore all'origine dell'arteria 1 e la chiusura di quello posto alla sua fine. L'alimentazione degli impianti sensibili e vitali è assicurata, durante la fase di commutazione, dai gruppi di continuità UPS.

- **c) Perdita di un'arteria HT:** Un guasto in un tratto di un'arteria provoca, in un primo momento, la messa fuori servizio del tratto di arteria soggetto al guasto, con l'apertura manuale locale e/o a distanza degli interruttori delle celle HT installate nelle ST a monte e a valle del tratto interessato. Tutta l'arteria a monte del guasto resta in servizio; a valle del guasto l'arteria viene contro-alimentata dal portale opposto con la chiusura manuale locale e/o a distanza dell'interruttore installato alla fine di tale arteria. L'alimentazione degli impianti sensibili e vitali è assicurata, durante la fase di commutazione, dai gruppi di continuità UPS.
  
- **d) Perdita di un trasformatore:** La perdita di un trasformatore provoca una commutazione di tutta la distribuzione bassa tensione alimentata dal trasformatore guasto sul trasformatore in servizio. La commutazione avviene mediante una chiusura manuale locale e/o a distanza degli interruttori BT di accoppiamento previsti a monte delle sbarre dei TGBT. L'alimentazione degli impianti sensibili e vitali sarà assicurata, durante la fase di commutazione, dai gruppi di continuità UPS.
  
- **e) Perdita di un gruppo di continuità:** La perdita di un gruppo di continuità (UPS) non provocherà conseguenze dal punto di vista della distribuzione elettrica, poiché gli UPS saranno dotati di by-pass statico in grado di garantire la continuità di alimentazione delle utenze. La segnalazione di guasto permetterà di gestire rapidamente l'anomalia e di ripristinare l'alimentazione di soccorso.
  
- **f) Perdita totale delle alimentazioni HT:** In caso di una perdita simultanea di alimentazione da ENEL e da EDF, vengono messi in funzione i gruppi elettrogeni esistenti ai portali. La loro attivazione garantisce l'alimentazione di emergenza alle due arterie, ma soltanto per una porzione del carico totale del traforo, poiché, in modo automatico, avviene un alleggerimento di potenza con la riduzione al 40% la ventilazione e l'esclusione di alcune delle utenze non essenziali (60% dell'illuminazione, ventilazione dei locali tecnici, cavi scaldanti della condotta incendio, prese di corrente, ecc.). Durante la fase di avviamento dei gruppi elettrogeni, l'alimentazione degli impianti sensibili e vitali sarà assicurata dai gruppi di continuità UPS.

### 3.1.4 Percorso cavi delle arterie HT

Le due arterie saranno posate lungo la galleria di sicurezza, sotto la carreggiata, in appositi tubi.

Questa soluzione permette di ottenere un elevato livello di sicurezza rispetto al percorso della rete attuale. Infatti, le arterie HT attuali che transitano nel canale aria fresca del traforo, sono soggette a rischi legati alla probabilità d'incendio nel vano di circolazione del traffico.

I tubi destinati ai cavi HT saranno interrotti ogni 50 m circa da pozzetti necessari alla posa ed ispezione. Sono inoltre previsti pozzetti supplementari per effettuare derivazioni a "T" in corrispondenza delle 16 ST ubicate in galleria.

L'attraversamento del vano traffico del traforo, previsto sopra la soletta, per il passaggio dei cavi HT verso i PHT delle centrali di ventilazione B e C, potrebbe rappresentare un punto debole. Per questo motivo, in questi tratti è prevista una protezione supplementare dei cavi mediante rivestimento in materiale resistente al fuoco.

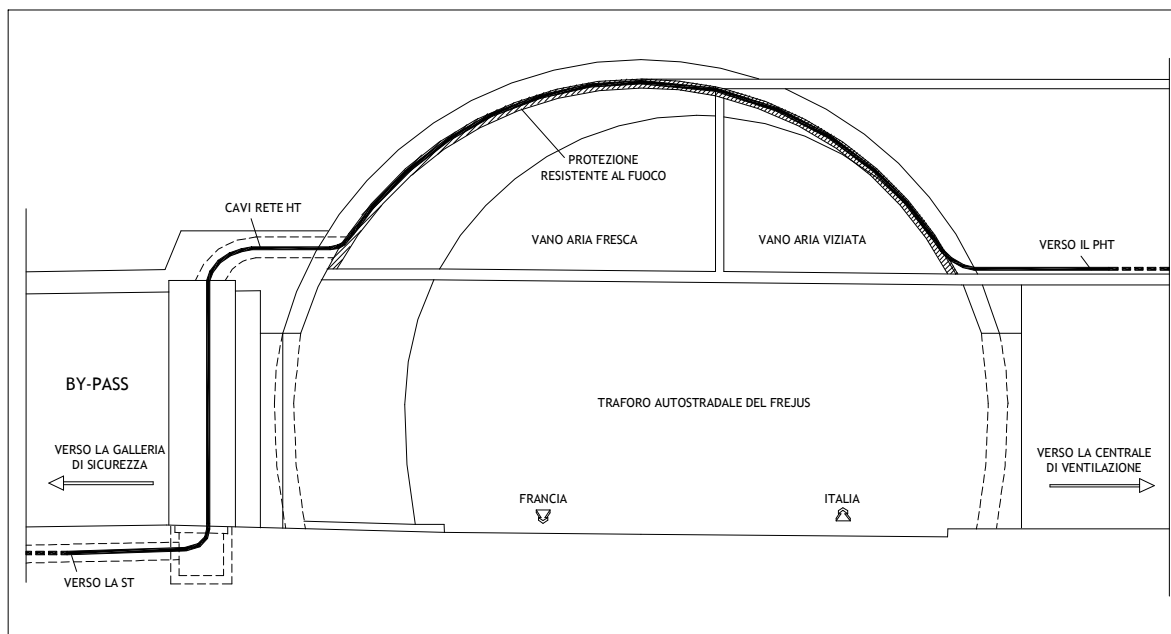


Fig. 4 - Attraversamento cavi HT in corrispondenza delle centrali B e C

### 3.1.5 Dimensionamento della rete HT

Il più elevato valore di corrente che i cavi HT dovrebbero sopportare, si ha nella condizione equivalente allo scenario c) esposto al precedente paragrafo 7.1.3. In questa situazione, il caso più critico si verifica nell'ipotesi di un guasto nel tratto compreso tra l'origine di un'arteria (PHT 21 o PHT22) e il PHT seguente.

Da ciò ne deriva che ciascuna arteria deve essere in grado di sopportare il carico di tutti gli impianti installati nella galleria e nel traforo.

Detto carico corrisponde alla somma delle potenze effettive riportate nella tabella 11 dell'allegato 1 (Bilancio energetico), che equivale a circa 11'200 kVA. A questo valore di potenza risulta una corrente d'impiego di circa 324 A alla tensione di 20 kV.

Le condizioni di posa ed i fattori di correzione dettati dalle norme di dimensionamento dei cavi, portano a considerare necessaria una sezione pari a 300 mm<sup>2</sup>.

Tuttavia, tenuto conto della considerevole lunghezza delle linee, va verificata anche la condizione di assicurare a fondo linea una caduta di tensione entro il 4% della tensione di fase, secondo la formula:

$$\Delta U = I \times L \times 1.73 \times [(R \times \cos\varphi) + (X \times \sin\varphi)] / 1000$$

dove:

- $\Delta U$	=	caduta di tensione a fondo linea	[V]
- $I$	=	corrente di impiego	[A]
- $L$	=	lunghezza della linea (*)	[m]
- $R$	=	resistenza specifica del cavo	[m $\Omega$ /m]
- $X$	=	reattanza specifica del cavo	[m $\Omega$ /m]

(\*) la lunghezza teorica è la somma della lunghezza delle due arterie, pari a circa 26'000 m. Ciò malgrado, la lunghezza di calcolo può essere considerata in approssimazione pari alla metà (13'000 m), poiché si assume una distribuzione simmetrica ed equilibrata dei carichi lungo le arterie.

Applicando i valori dati per I e L e quelli di R e X tratti dalle tabelle UNEL, si ottiene:

$$\Delta U = 324 \times 13'000 \times 1.73 \times [(0.0761 \times 0.90) + (0.0895 \times 0.436)] / 1000 = 785 \text{ V}$$

In conclusione, ogni arteria sarà formata da cavi aventi sezione di  $3 \times 1 \times 300 \text{ mm}^2$ , che ammettono una caduta di tensione a fondo linea pari al 3.9% di 20 kV.

In effetti, va considerato che la corrente che percorre ogni arteria assume, lungo il percorso, valori decrescenti per effetto delle derivazioni alle ST. Tuttavia, considerate le esigenze di ridondanza dell'alimentazione, si ritiene di mantenere la medesima sezione per tutto il tracciato dei cavi HT.

Tale sezione dovrà essere comunque verificata in fase esecutiva, sulla base di una più precisa definizione del bilancio energetico.

## 3.2 Trasformazione HT/BT

### 3.2.1 Generalità

Nei locali HT delle stazioni tecniche, a valle delle celle HT, saranno installati i trasformatori 20/0.4 kV. Essi saranno di tipo a secco ed isolati in resina.

Per una protezione efficace dai contatti diretti, i trasformatori saranno ubicati in appositi box metallici di grandezza adeguata e standardizzata, dotati di ventilazione forzata.

### 3.2.2 Trasformatori in Stazioni Tecniche interne

Ogni ST interna ospiterà due trasformatori: uno per gli impianti della galleria di sicurezza ed uno per gli impianti del traforo (vedi disegno 6145.2-P-217 architettura del sistema). Fanno eccezione le ST 07, 14, 13 e 08, nelle quali il trasformatore per gli impianti del traforo non è previsto poiché resta nel relativo PHT attuale, all'interno delle centrali di ventilazione B e C. Per contro in queste ST saranno installati ulteriori trasformatori per i ventilatori di estrazione fumi dalla galleria.



### 3.2.3 *Trasformatori in Stazioni Tecniche esterne*

Nelle ST esterne, i trasformatori previsti saranno in parte dedicati per gli impianti della galleria di sicurezza ed in parte per gli impianti dei fabbricati esterni. La destinazione d'uso per ogni ST esterna è la seguente:

- ST 01 (lato Francia): - Un trasformatore per gli impianti in galleria;
- ST 20 (lato Francia): - Un trasformatore per gli impianti in galleria;
- ST 19 (lato Italia): - Un trasformatore per gli impianti in galleria;
- ST 02-30 (lato Italia): - Un trasformatore per gli impianti in galleria;  
- Un trasformatore per gli impianti dei fabbricati esterni.

### 3.2.4 *Trasformatori nei PHT*

Tenuto conto di quanto riportato al paragrafo 4.5, nei PHT delle centrali di ventilazione A, B, C e D del traforo è prevista l'installazione di nuovi trasformatori in resina in sostituzione a quelli attuali in olio.

Questo intervento non riguarda i trasformatori degli impianti ausiliari (EX) e di illuminazione (EC): la loro sostituzione è già stata effettuata nell'ambito dei lavori di ventilazione forzata dei rifugi attuali.

La destinazione d'uso dei nuovi trasformatori è la stessa di quella attuale; di conseguenza anche la potenza dei trasformatori rimane invariata.

### 3.2.5 *Dimensionamento dei trasformatori*

La potenza dei trasformatori è stabilita sulla base dei dati riportati nell'allegato 1 (Bilancio energetico) che indica, alle tabelle 12 e 13, l'elenco e la grandezza di tutti i nuovi trasformatori previsti nelle ST e di quelli da sostituire nei PHT delle centrali di ventilazione del traforo.

In considerazione di quanto indicato nello scenario d) citato al paragrafo 7.1.3, i trasformatori sono dimensionati per sopportare il doppio del carico ad essi sotteso.

Dal bilancio energetico della galleria di sicurezza risultano valori di potenze impegnate che variano da una ST all'altra; questi valori porterebbero alla scelta di tra-

sformatori di grandezze diverse tra loro. Tuttavia, per favorire la gestione e la manutenzione degli impianti, la potenza dei trasformatori viene standardizzata in tre grandezze principali:

- 400 kVA per le ST esterne;
- 630 kVA per le ST interne;
- 1'600 kVA per la ventilazione.

### **3.3 Distribuzione bassa tensione in galleria di sicurezza**

#### *3.3.1 Concetti*

Il presente paragrafo tratta la distribuzione in bassa tensione (BT) della galleria di sicurezza, mentre quella del traforo viene considerata nell'ambito del trasferimento degli impianti al successivo capitolo 8.

La rete BT assicura la distribuzione dell'energia elettrica agli impianti previsti nella galleria di sicurezza, nei rifugi, nelle stazioni tecniche e nelle centrali di ventilazione E ed F.

La distribuzione BT dei fabbricati esterni lato Italia è trattata separatamente nella relazione 6145.2-R-50, mentre quella relativa ai fabbricati esterni lato Francia è esclusa dal presente progetto.

#### *3.3.2 Sviluppo della rete BT e quadri elettrici generali*

In ciascuna ST, il trasformatore dedicato alla galleria di sicurezza alimenterà un quadro generale di bassa tensione, dal quale avranno origine tutti i circuiti di alimentazione degli impianti, secondo una suddivisione in *rete normale* ed in *rete di soccorso*. Le reti saranno di tipo 3P+N+T (trifase, neutro e terra).

Il TGBT (quadro generale bassa tensione) alimenterà la rete normale e un UPS (gruppo di continuità).

A valle dell'UPS è previsto il TGBTs (quadro generale bassa tensione di soccorso) per la distribuzione della rete di soccorso. Al mancare della tensione di rete nor-

male, la rete di soccorso permette di garantire la continuità di funzionamento alle utenze sensibili e vitali.

Nelle ST 07-14 e 13-08, oltre al TGBT e al TGBTs, è previsto un ulteriore quadro generale bassa tensione TGVE a servizio dei ventilatori di estrazioni fumi. Il TGVE sarà alimentato direttamente dal trasformatore appositamente previsto.

Nel disegno 6145.2-P-217 (architettura del sistema) sono rappresentati gli schemi a blocchi della distribuzione BT per una ST interna tipica e per le ST in corrispondenza delle centrali di ventilazione E/F.

### *3.3.3 Ridondanza della distribuzione BT*

Per soddisfare le condizioni esposte nello scenario **d)** citato al paragrafo 7.1.3, i TGBT avranno due interruttori generali, di cui uno normalmente chiuso sulle sbarre di distribuzione (DG) ed uno supplementare normalmente aperto (DS), predisposto per l'accoppiamento con il TGBT della ST adiacente.

L'interruttore supplementare del TGBT posto nella ST dispari verrà collegato a quello del TGBT posto nella ST pari corrispondente. In caso di guasto ad un trasformatore, è prevista la chiusura manuale locale e/o a distanza dei due DS, previo consenso dato dall'apertura del dispositivo di protezione posto a monte del trasformatore fuori servizio. Questa manovra permette di alimentare i TGBT di entrambe le ST dal trasformatore rimasto in esercizio, limitando il disservizio agli impianti per un tempo dell'ordine di qualche secondo.

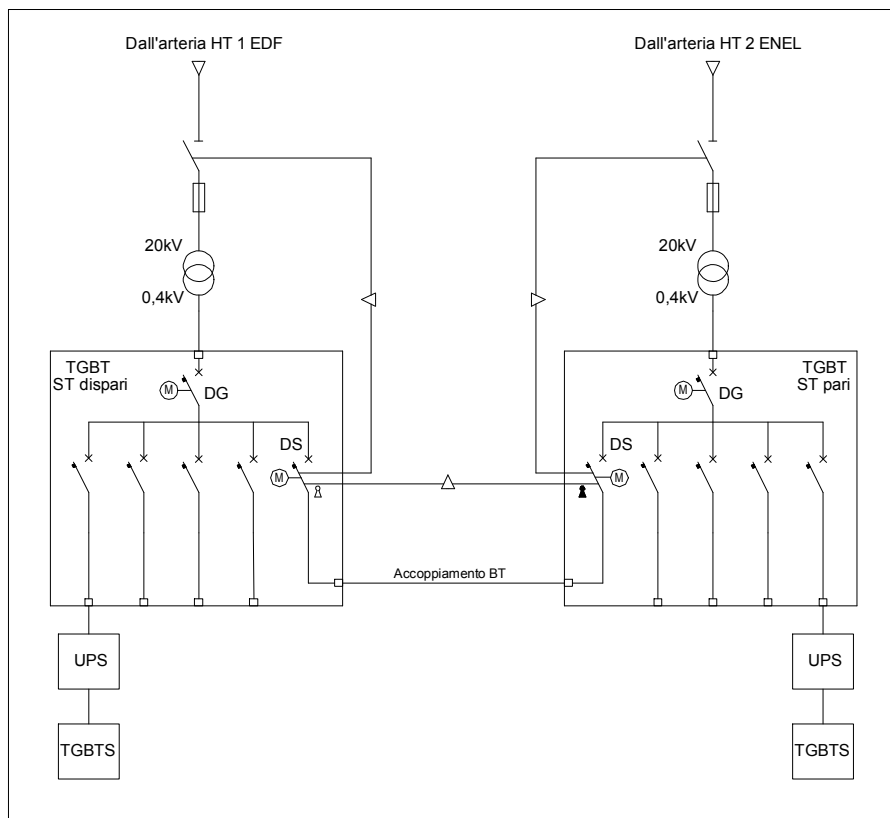


Fig. 5 - Accoppiamento a livello BT - Schema unifilare

I DS saranno elettricamente interbloccati con i relativi dispositivi di protezione lato HT posti immediatamente a monte, al fine di evitare la chiusura in corto circuito tra i secondari dei trasformatori HT/BT.

Un comando manuale degli interruttori supplementari sarà possibile esclusivamente mediante un sistema di manovre con chiavi inanellate, necessario ad evitare la chiusura contemporanea dei DS durante il funzionamento in configurazione normale.

Per garantire un'elevata sicurezza di funzionamento all'impianto di ventilazione della galleria, l'accoppiamento sopra descritto è previsto anche per i TGVE posti nelle ST 07-14 e 13-08 (vedere relazione tecnica 6145.2-R-08 impianto ventilazione galleria).

### *3.3.4 Gruppi di continuità UPS*

I gruppi di continuità UPS garantiranno l'alimentazione di soccorso ai quadri TGBTS, a cui sono allacciate le utenze sensibili e vitali. Per questo motivo gli UPS dovranno intervenire al mancare della tensione di rete normale e dovranno garantire un'autonomia a pieno carico per due ore.

Il dimensionamento dei gruppi di continuità si basa sui dati ricavati dall'allegato 1 (Bilancio energetico). La potenza viene standardizzata in due grandezze principali:

- 30 kVA per le ST esterne;
- 60 kVA per le ST interne.

### *3.3.5 Quadri elettrici dei rifugi e linee dorsali*

Nella galleria, oltre ai quadri generali posti nelle ST, è previsto un quadro elettrico secondario TSR in ogni rifugio, per la distribuzione BT agli impianti in esso installati.

Per garantire una continuità di esercizio alle utenze elettriche dei rifugi, i TSR saranno allacciati alla rete di soccorso. L'alimentazione verrà quindi derivata dai TGBTS delle stazioni tecniche.

Dalle ST esterne è prevista una linea BT per alimentare il TSR del rifugio più vicino al portale.

Da ogni ST interna avranno origine due linee BT: la ST dispari alimenterà i TSR dei due rifugi più vicini verso la Francia, mentre la ST pari alimenterà i TSR dei due rifugi più vicini verso l'Italia.

La seguente tabella mostra la ripartizione delle alimentazioni ai rifugi dalle rispettive stazioni tecniche:

ST	Rifugio	By-pass	ST	Rifugio	By-pass
01	1	//	20	//	//
03	2 - 3	//	18	4 - 5	//
05	6 - 7	//	16	8 - 9	1
07	10 - 11	2	14	12 - 13	//
09	14 - 15	//	12	16 - 17	//
11	18 - 19	3	10	20 - 21	//
13	22 - 23	4	08	24 - 25	//
15	26 - 27	//	06	28 - 29	//
17	30 - 31	//	04	32 - 33	5
19	//	//	02	34	//

### 3.3.6 Ripartizione degli impianti in galleria

La ripartizione degli impianti è strutturata con una suddivisione territoriale e circuitale che permette un elevato grado di selettività, a vantaggio della sicurezza e del regolare esercizio della galleria.

I TGBT alimenteranno gli impianti seguenti:

- Acceleratori in galleria;
- Illuminazione in galleria (50%);
- Illuminazione di rinforzo in corrispondenza imbocchi;
- Illuminazione di rinforzo in corrispondenza delle ST (solo dalle ST interne);
- Cavi scaldanti della condotta incendio (solo dalle ST esterne e dalle prime ST interne prossime ai portali);
- Illuminazione dei locali tecnici delle ST (solo dalle ST interne);
- Ventilazione e condizionamento dei locali tecnici delle ST (solo dalle ST interne);
- Ventilazione del PHT adiacente alle ST (solo dalle ST interne).

I TGBTS alimenteranno gli impianti seguenti:

- Illuminazione in galleria (50%);
- Luci di segnalazione in galleria;
- Segnaletica luminosa in galleria;
- Porte e cancelli motorizzati degli imbocchi;
- Gestione tecnica centralizzata;
- Trasmissione dati;
- Detezione incendi;
- Controllo accessi;
- 1 rifugio (solo dalle ST esterne);
- 4 rifugi (solo dalle ST interne);
- Impianti nel by-pass 2 (solo dalla ST 07);
- Impianti nel by-pass 4 (solo dalla ST 13).

I TSR alimenteranno gli impianti interni ai rifugi e SAS corrispondenti, quali:

- Illuminazione e prese di corrente;
- Ventilazione e serrande motorizzate dei rifugi;
- Gestione tecnica centralizzata;
- Trasmissione dati;
- Detezione incendi;
- Controllo accessi;
- Diffusione sonora;
- Posti di chiamata d'urgenza;
- Video-sorveglianza;
- Segnaletica luminosa;
- Illuminazione di rinforzo in galleria in corrispondenza dei rifugi;
- Illuminazione corridoi di accesso al laboratorio IN2P3 (solo dal rifugio 18);
- Elettro-valvole rete incendio in galleria (solo dal rifugio 18);
- Impianti nei by-pass 1, 3 e 5 (rispettivamente dai rifugi 6, 18 e 32).

### *3.3.7 Dimensionamento delle linee dorsali*

Il dimensionamento delle linee BT che alimentano i TSR è effettuato sulla base delle potenze riportate nell'allegato 1 (Bilancio energetico).

Ipotizzando come base di calcolo la corrente di impiego nel rifugio maggiormente caricato, dell'ordine di circa 35 A a  $\cos\varphi$  0.80, e tenuto conto delle condizioni di posa previste e dei fattori di correzione imposti dalle norme, la sezione minima necessaria risulterebbe di 10 mm<sup>2</sup>.

In merito alle perdite dovute alla lunghezza delle linee, viene calcolata la caduta di tensione a fondo linea, che deve risultare entro il 4% della tensione di fase, secondo la formula:

$$\Delta U = I \times L \times 1.73 \times [(R \times \cos\varphi) + (X \times \sin\varphi)] / 1000$$

dove:

- $\Delta U$  = caduta di tensione a fondo linea [V]
- I = corrente di impiego [A]
- L = lunghezza della linea [m]
- R = resistenza specifica del cavo [m $\Omega$ /m]
- X = reattanza specifica del cavo [m $\Omega$ /m]

Il calcolo porta a considerare differenti casi, a causa delle distanze variabili che si presentano lungo la galleria tra le ST ed i rifugi da esse alimentati. Queste distanze variano da un minimo di 105 m ad un massimo di 1000 m.

Si ritiene quindi di calcolare sezioni di cavo standardizzate per lunghezze di linea fissate in:

- Fino a 400 m;
- Fino a 500 m;
- Fino a 750 m;
- Fino a 1000 m.

Applicando alla formula sopra citata i valori dati per I e L e quelli di R e X tratti dalle tabelle UNEL, tenuto conto di un valore di  $\cos\varphi$  pari a 0.8, le sezioni minime necessarie a limitare la caduta di tensione entro il 4% in funzione della lunghezza della linea, risultano dai seguenti calcoli:

Calcolo per lunghezze fino a 400 m, con sezione di 35 mm<sup>2</sup>:

$$\Delta U = 35 \times 400 \times 1.73 \times [(0.641 \times 0.80) + (0.101 \times 0.6)] / 1000 = 13.9 \text{ V}$$

Il valore ottenuto equivale al 3.5% di 400V.



Calcolo per lunghezze fino a 500 m, con sezione di 50 mm<sup>2</sup>:

$$\Delta U = 35 \times 500 \times 1.73 \times [(0.473 \times 0.80) + (0.101 \times 0.6)] / 1000 = 13.3 \text{ V}$$

Il valore ottenuto equivale al 3.3% di 400V.

Calcolo per lunghezze fino a 750 m, con sezione di 70 mm<sup>2</sup>:

$$\Delta U = 35 \times 750 \times 1.73 \times [(0.328 \times 0.80) + (0.0965 \times 0.6)] / 1000 = 14.5 \text{ V}$$

Il valore ottenuto equivale al 3.6% di 400V.

Calcolo per lunghezze fino a 1'000 m, con sezione di 95 mm<sup>2</sup>:

$$\Delta U = 35 \times 1'000 \times 1.73 \times [(0.236 \times 0.80) + (0.0975 \times 0.6)] / 1000 = 14.9 \text{ V}$$

Il valore ottenuto equivale al 3.7% di 400V.

Sulla base dei risultati ottenuti, un riepilogo delle linee dorsali previste per l'alimentazione dei TSR posti nei rifugi è illustrato nella seguente tabella:

da	a	cavo BT	da	a	Cavo BT
ST 01	Rifugio 1	3.5x50 mm <sup>2</sup> +T	ST 20	//	//
ST 03	Rifugio 2	3.5x95 mm <sup>2</sup> +T	ST 18	Rifugio 4	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T
ST 03	Rifugio 3	3.5x50 mm <sup>2</sup> +T	ST 18	Rifugio 5	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T
ST 05	Rifugio 6	3.5x70 mm <sup>2</sup> +T	ST 16	Rifugio 8	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T
ST 05	Rifugio 7	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T	ST 16	Rifugio 9	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T
ST 07	Rifugio 10	3.5x70 mm <sup>2</sup> +T	ST 14	Rifugio 12	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T
ST 07	Rifugio 11	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T	ST 14	Rifugio 13	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T
ST 09	Rifugio 14	3.5x70 mm <sup>2</sup> +T	ST 12	Rifugio 16	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T
ST 09	Rifugio 15	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T	ST 12	Rifugio 17	3.5x50 mm <sup>2</sup> +T
ST 11	Rifugio 18	3.5x70 mm <sup>2</sup> +T	ST 10	Rifugio 20	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T
ST 11	Rifugio 19	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T	ST 10	Rifugio 21	3.5x50 mm <sup>2</sup> +T
ST 13	Rifugio 22	3.5x95 mm <sup>2</sup> +T	ST 08	Rifugio 24	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T
ST 13	Rifugio 23	3.5x50 mm <sup>2</sup> +T	ST 08	Rifugio 25	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T
ST 15	Rifugio 26	3.5x50 mm <sup>2</sup> +T	ST 06	Rifugio 28	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T
ST 15	Rifugio 27	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T	ST 06	Rifugio 29	3.5x70 mm <sup>2</sup> +T
ST 17	Rifugio 30	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T	ST 04	Rifugio 32	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T
ST 17	Rifugio 31	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T	ST 04	Rifugio 33	3.5x70 mm <sup>2</sup> +T
ST 19	//	//	ST 02	Rifugio 34	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T

La sezione dei cavi dovrà essere comunque verificata in fase esecutiva, in funzione ad una più precisa definizione del bilancio energetico, delle effettive lunghezze dei percorsi ed in base al coordinamento con le caratteristiche di intervento dei dispositivi di protezione posti a monte delle linee.

### *3.3.8 Percorso cavi BT*

Nelle ST interne, i diversi locali tecnici saranno predisposti con cunicoli tubazioni sotto pavimento e pavimenti tecnici, per permettere la posa dei cavi di collegamento dai trasformatori ai TGBT e da questi a tutte le altre apparecchiature ospitate nella ST.

A loro volta, i cunicoli saranno collegati con la rete di tubazioni poste sotto la carreggiata della galleria e con la passerella portacavi prevista in volta.

Le tubazioni e la passerella portacavi saranno inoltre raccordate alle vie cavi predisposte nei rifugi.

Queste predisposizioni, più dettagliate nelle relazioni e nei disegni delle opere di genio civile, permettono di ottimizzare le condizioni di posa dei cavi, a vantaggio di una maggior protezione dal fuoco in caso di incendio.

### *3.3.9 Rifasamento*

Questa fase progettuale prevede un'installazione di condensatori di rifasamento che sia in grado di elevare il fattore di potenza da un valore iniziale presunto di 0.70 ad un valore ideale di 0.95.

Il mantenimento del fattore di potenza  $\cos\varphi$  ad un valore superiore a 0.90, permette di eliminare gli oneri finanziari per le penali che l'Ente Erogatore applica a causa dell'eccessivo consumo di energia reattiva.

Dovendo perseguire tale obiettivo, sono previsti i seguenti interventi:

- Rifasamento della distribuzione BT;
- Rifasamento a vuoto dei trasformatori.

Il rifasamento della distribuzione BT dovrà tener conto delle caratteristiche di ogni singola apparecchiatura che verrà collegata alla rete elettrica. In generale, la maggior parte degli utilizzatori previsti per i diversi impianti si possono ritenere in

prima approssimazione già rifasati, ad eccezione dei motori dei ventilatori o di apparecchiature analoghe che presentano di targa un  $\cos\phi$  relativamente basso.

Pertanto si prevede, per ogni stazione tecnica e per ogni rifugio, l'installazione di un quadro di rifasamento di tipo automatico con inserzione a gradini, dotato di filtri contro le correnti armoniche dovute alle installazioni elettroniche, fortemente presenti tra gli impianti previsti.

La scelta di concentrare delle batterie di condensatori all'origine della distribuzione BT permette una migliore gestione e manutenzione del sistema di rifasamento.

Il dimensionamento del rifasamento porta a considerare un fabbisogno di potenza capacitiva in funzione ai valori di potenza impegnata nelle stazioni tecniche e nei rifugi. Le potenze impegnate di riferimento sono dedotte dall'allegato 1 "Bilancio energetico". Ne segue che per elevare il fattore di potenza da un valore iniziale presunto di 0.70 ad un valore ideale di 0.95, occorre installare i seguenti quadri di rifasamento:

- 1 quadro da 120 kVAR per ogni stazione tecnica interna, a valle del TGBT;
- 1 quadro da 60 kVAR per ogni stazione tecnica esterna, a valle del TGBT;
- 1 quadro da 300 kVAR per ogni stazione tecnica esterna ST 07-14 e 13-08, a valle del TGVE;
- 1 quadro da 15 kVAR per ogni rifugio, a valle del TSR.

L'inserzione delle batterie di condensatori presenti nei quadri previsti avverrà in modo automatico, sulla base di segnali amperometrici e voltmetrici rilevati a valle dei trasformatori HT/BT.

Per il rifasamento a vuoto dei trasformatori sarà installata una batteria fissa di condensatori nel quadro TGBT, dimensionata per l'effettiva taglia del trasformatore da rifasare. In particolare sono previste le seguenti potenze:

- Per trasformatore da 400 kVA: condensatori da 5.9 kVAR;
- Per trasformatore da 630 kVA: condensatori da 8.0 kVAR;
- Per trasformatore da 1'600 kVA: condensatori da 18.9 kVAR.

### 3.3.10 Messa a terra

L'intero impianto di alimentazione elettrica avrà un sistema di distribuzione di tipo TN-S.

Per questo motivo sarà realizzato un impianto di messa a terra costituito da:

- Impianto disperdente sulla piattaforma lato Francia, in corrispondenza del fabbricato ST 01-20;
- Impianto disperdente sulla piattaforma lato Italia, in corrispondenza del fabbricato ST 02-19-30;
- Rete di connessione tra i due impianti disperdenti e tutte le ST.

La messa a terra sulle piattaforme è prevista con un dispersore a maglia, in grado di ridurre il gradiente di potenziale in caso di guasto lato HT e quindi limitare le tensioni di passo e di contatto.

Come dispersore potranno essere utilizzati i ferri di armatura edile annegati nella fondazione del fabbricato.

Intorno al fabbricato sarà posato un anello costituito da corda di rame nudo di sezione pari a  $35 \text{ mm}^2$ , interrato ad una profondità non inferiore a 0.8 m.

L'anello verrà collegato ai dispersori verticali in rame o acciaio zincato, della lunghezza minima di 1.50 m, che dovranno essere infissi in contatto con il terreno agli angoli della fondazione, nonché ai ferri di armatura della struttura del fabbricato in più punti ed ad un collettore di terra predisposto all'interno della stazione tecnica.

Gli impianti disperdenti saranno connessi tra loro da una rete di connessione prevista in corda da  $240 \text{ mm}^2$ , per tutta la lunghezza della galleria.

La rete dovrà connettere tra loro tutte le ST. A questo scopo è previsto, nel locale BT di ogni ST, un collettore di terra, a cui saranno collegati:

- Il centro stella dei trasformatori;
- Il conduttore di protezione PE in arrivo dalla barra di terra dei quadri elettrici di Bassa Tensione;
- I conduttori equipotenziali principali e supplementari.

## 4. TRASFERIMENTO DEI PHT VERSO LE NUOVE ST

### 4.1 Oggetto

Il presente capitolo tratta il trasferimento degli *impianti esistenti* che alimentano le utenze elettriche installate nel traforo stradale.

Con il termine "*impianti*" si vogliono intendere, di seguito, tutte le apparecchiature alloggiare nelle cabine elettriche (PHT) e destinate all'alimentazione, trasformazione e distribuzione dell'energia elettrica, quali:

- Celle 20kV (HT);
- Trasformatori 20/0.4kV;
- Quadri di bassa tensione;
- Gruppi "a tempo zero" e gruppi di continuità.

Gli impianti considerati riguardano in particolare:

- Illuminazione;
- Semafori;
- Pannelli di segnalazione;
- Apparecchiature di rilevazione CO, opacimetri e anemometri.

### 4.2 Limiti dell'intervento

Gli impianti che non vengono presi in considerazione nell'ambito della parte elettrica del presente rapporto sono i seguenti:

- Gli impianti esistenti nei PHT 23 e 24 dei Posti di Controllo e Comando situati sulle piattaforme esterne (PCCF lato Francia e PCCI lato Italia), poiché soggetti ad imminente rinnovamento;
- Gli impianti esistenti nel PHT 27 in testa al pozzo della centrale B, in quanto già rinnovati di recente;
- Gli impianti esistenti nel PHT 29 del laboratorio IN2P3, non pertinente all'esercizio delle Società Concessionarie;
- I quadri elettrici di comando e protezione dell'impianto di ventilazione del traforo, ubicati nelle sale ventilatori delle centrali A, B, C e D;

- Le utenze terminali poste sul campo, vale a dire apparecchi illuminanti, ventilatori, semafori, pannelli di segnalazione, sensori, ecc., nonché le relative linee di alimentazione e segnalazione.

### 4.3 Concetti di base

Tenuto conto degli obiettivi espressi nel capitolo 1.2, la proposta è quella di rinnovare gli impianti mediante la sostituzione di tutte le apparecchiature elettriche con nuove installazioni in grado di migliorarne la sicurezza, la funzionalità e la gestione.

È stata valutata la possibilità di rimpiazzare gli impianti restando all'interno degli attuali PHT. Questa soluzione risulterebbe però un inefficace ripiego per mancanza di spazio, difficoltà di esecuzione, limitazioni importanti all'esercizio del traforo ed alla sicurezza degli impianti.

Pertanto la sostituzione che si intende proporre si articola in due modalità:

- Trasferimento dei PHT verso le nuove ST;
- Sostituzione delle componenti elettriche all'interno dei PHT presenti nelle centrali di ventilazione A, B, C e D.

### 4.4 Trasferimento dei PHT verso le nuove ST

In merito ai PHT presenti all'interno del traforo (esclusi quelli ospitati nelle centrali di ventilazione) la sostituzione degli impianti è da considerarsi come un vero e proprio trasferimento: si tratta infatti di spostare i posti di trasformazione e alimentazione degli impianti dagli attuali PHT alle nuove stazioni tecniche (ST) della galleria di sicurezza.

Nel dettaglio, i PHT considerati sono i seguenti:

- PHT pari: 04, 06, 10, 12, 16 e 18;
- PHT dispari: 03, 05, 09, 11, 15 e 17.

Le nuove ST assumeranno, per praticità, la stessa numerazione dei PHT attuali (vedere figura 1).

La condizione essenziale per consentire il trasferimento degli impianti è la disponibilità della nuova galleria di sicurezza, dei relativi locali tecnici e dei necessari tracciati cavi di collegamento tra le ST e i PHT, compresi gli attraversamenti dei canali d'aria fresca e d'aria viziata del traforo.

#### *4.4.1 Prima fase - Preparazione*

La prima fase rappresenta la preparazione alle operazioni di trasferimento che è dedicata:

- Allo studio dello stato di fatto, necessario a conoscere in dettaglio la situazione esistente degli impianti presenti nel traforo che, rispetto ad oggi, nei prossimi anni potrebbero aver subito cambiamenti e/o modifiche;
- Alla progettazione esecutiva, con il dimensionamento dei nuovi impianti da installare;
- All'interfaccia tra correnti forti e correnti deboli, con particolare riferimento al sistema di comando e controllo (GTC);
- All'approvvigionamento dei materiali, necessario per evitare perdite di tempo nelle successive fasi.

#### *4.4.2 Seconda fase - Predisposizione rete HT*

Questa fase coincide con il periodo dedicato all'installazione degli impianti nella galleria di sicurezza. Infatti, una parte degli interventi (punti 1 e 2) riguardano proprio i lavori previsti dal progetto degli impianti relativi alla galleria stessa.

Le operazioni previste consistono in:

1. Installazione di tutta la nuova rete HT, con posa dei cavi lungo la galleria di sicurezza, dei quadri HT e dei trasformatori nelle ST;
2. Collegamento della rete HT ai punti di allacciamento ENEL e EDF;
3. Connessione della rete HT alla GTC e messa in esercizio; la rete HT esistente del traforo continua a rimanere in esercizio, per garantire la continuità di funzionamento dei PHT;
4. Installazione, nelle ST, di nuovi quadri BT e gruppi di continuità dedicati agli impianti del traforo.

#### 4.4.3 Terza fase - Trasferimento alimentazioni PHT

Sfruttando la nuova rete di alimentazione elettrica predisposta nella galleria di sicurezza, questa terza fase ha lo scopo di ricavare degli spazi liberi all'interno dei PHT, eliminando le celle HT e i trasformatori esistenti.

Gli interventi da effettuare sono i seguenti:

1. Realizzazione di un collegamento provvisorio dal nuovo trasformatore della ST al quadro generale BT esistente nel PHT (quadro EC); il collegamento è previsto con una linea elettrica dimensionata per supportare la potenza complessiva dell'intero PHT;
2. Messa fuori servizio del trasformatore e delle celle HT e relativa rimozione; per garantire la continuità di funzionamento della rete HT esistente e quindi il regolare esercizio dei PHT non ancora soggetti agli interventi in corso, i cavi 20kV provenienti dal PHT precedente e quelli verso il PHT successivo vengono giuntati nel canale aria fresca.

L'intervento descritto al punto 1 di questa fase comporta una breve interruzione dell'alimentazione del singolo PHT.

Il disservizio può essere limitato ad un tempo dell'ordine di 1-2 minuti: prima di scollegare l'alimentazione all'interruttore generale del quadro EC proveniente dal trasformatore esistente, dovrà essere predisposta, fino ai morsetti dell'interruttore generale posto nel quadro EC, la linea per il collegamento provvisorio, derivata dal nuovo trasformatore della ST.

Quando la linea del collegamento provvisorio verrà messa fuori servizio (quinta fase), il relativo interruttore di protezione DS posto nel quadro TGBT della ST sarà impiegato per la funzione di accoppiamento con il TGBT della ST adiacente, come indicato al paragrafo 7.3.3.

L'alimentazione degli impianti sensibili e vitali è assicurata, durante l'intervento di commutazione, dai gruppi di continuità UPS e dal gruppo a tempo zero GTO.



#### *4.4.4 Quarta fase - Predisposizioni BT*

E' la fase preparatoria da eseguire prima del trasferimento degli impianti. Negli spazi lasciati liberi nei PHT vengono installati i "quadri morsettiere" necessari al trasferimento dell'alimentazione, dai vecchi ai nuovi impianti, delle utenze poste nel traforo.

I lavori da eseguire sono:

1. Installazione nel PHT di quadro morsettiere per il collegamento tra i vecchi e i nuovi impianti; la necessità di questo quadro nasce dall'esigenza di poter smantellare in seguito i vecchi quadri BT (EC, FS, PS, ecc.) dei PHT;
2. Posa di "cavi BT di connessione", uno per ogni singola utenza, da ciascuna ST al PHT ad essa legato; i cavi di connessione collegano i nuovi quadri BT ai quadri morsettiere;
3. Test di presenza tensione ad ogni circuito in arrivo al quadro morsettiere;
4. Messa fuori servizio della rete HT del traforo e relativo smantellamento.

#### *4.4.5 Quinta fase - Trasferimento*

Si tratta della fase che riguarda il vero e proprio trasferimento degli impianti, da effettuarsi in modo graduale e progressivo.

I cavi di alimentazione delle utenze del traforo vengono scollegati ad uno ad uno dal vecchio quadro e ricollegati al quadro morsettiere. Questa operazione provoca un'interruzione all'alimentazione delle utenze traforo, ma anche in questo caso il disservizio è limitato, per ciascun circuito, a pochi minuti.

Al termine di questa operazione va rimosso il collegamento provvisorio descritto al punto 1 della terza fase. Di conseguenza i vecchi quadri BT e i gruppi a tempo zero possono essere smantellati e rimossi.

Questa fase prevede inoltre l'installazione di un "quadro servizi" nel PHT, necessario a garantire il funzionamento degli impianti ausiliari interni al PHT, come ad esempio l'illuminazione, le prese di corrente, la ventilazione ausiliaria nei PHT pari, ecc.

#### 4.4.6 Sesta fase - Esercizio

E' la fase conclusiva: tutte le apparecchiature di alimentazione e protezione delle utenze del traforo, prima installate nei PHT, sono ora alloggiare nelle nuove ST della galleria di sicurezza.

La funzione dei PHT, "svuotati" dei vecchi impianti, è limitata al *collegamento* tra il traforo e la galleria di sicurezza.

Dopo la messa in servizio, questa fase termina con le prove globali di funzionamento, con lo scopo di verificare il corretto esercizio degli impianti sia in modo "locale" sia in modo "remoto" dai posti di controllo e comando.

### 4.5 Sostituzione delle componenti elettriche nelle centrali di ventilazione

#### 4.5.1 Descrizione

Nell'ambito della costruzione della galleria di sicurezza, nuovi spazi adibiti a stazioni tecniche sono previsti anche in vicinanza alle quattro centrali di ventilazione A, B, C e D del traforo.

Nel dettaglio di tratta delle seguenti ST:

- ST01 e ST20, poste al portale lato Francia, vicino alla centrale A del traforo;
- ST07 e ST14, poste in galleria, vicino alla centrale B del traforo;
- ST13 e ST08, poste in galleria, vicino alla centrale C del traforo;
- ST19 e ST02, poste al portale lato Italia, vicino alla centrale D del traforo.

Tuttavia per scelte progettuali e di gestione dell'esercizio, queste ST non sono destinate ad accogliere gli impianti HT e BT degli attuali PHT; il rinnovo degli impianti presenti in tali PHT corrisponde di fatto ad una pura sostituzione delle apparecchiature in essi installate, senza prevederne il trasferimento in altri locali.

In particolare si tratta di:

- PHT 01, 20 e 21 (in centrale di ventilazione A);
- PHT 07 e 14 (in centrale di ventilazione B);
- PHT 08, 13 e 28 (in centrale di ventilazione C);
- PHT 02, 19 e 22 (in centrale di ventilazione D).

La sostituzione delle apparecchiature è resa possibile dalla disponibilità di spazi verificata in loco, tenuto conto delle installazioni attuali, riportate negli allegati disegni dal 6145.2-P-223 al 6145.2-P-228, e di quelle previste nel prossimo futuro dovute alla realizzazione del nuovo impianto di ventilazione forzata dei rifugi esistenti.

#### *4.5.2 Modalità di intervento*

La sostituzione delle componenti elettriche sarà possibile intervenendo singolarmente in un solo PHT per volta.

L'intervento richiede una temporanea interruzione dell'alimentazione elettrica al PHT interessato; l'interruzione sarà limitata al minimo indispensabile, per ridurre quanto più possibile il disservizio.

La configurazione della rete HT (anello aperto) permette di gestire l'interruzione temporanea dell'alimentazione mediante:

- L'apertura degli interruttori 20kV posti nei PHT a monte e a valle del PHT soggetto all'intervento;
- L'alimentazione di tutta la parte rimanente della rete HT da un solo fornitore (EDF o ENEL) tramite lo scollegamento dall'altro fornitore e la chiusura dell'interruttore 20kV posto all'origine dell'arteria, nel PHT 21 o nel PHT 22.

In ogni caso sarà necessario assicurare l'alimentazione alle utenze essenziali del PHT interessato (illuminazione della centrale, sistemi di sicurezza, ecc.) che potranno essere allacciate a dei quadri elettrici provvisori, alimentati dapprima dai gruppi a tempo zero e, successivamente, dai gruppi statici di continuità.

#### *4.5.3 Interventi particolari*

Il PHT 21 in centrale A e il PHT 22 in centrale D saranno soggetti agli interventi di sostituzione con le stesse modalità sopra descritte.

Tuttavia è importante considerare che al PHT 21 è collegato il PHT 23, così come al PHT 22 è collegato il PHT 24.

I PHT 23 e 24 alimentano gli impianti dei fabbricati esterni e delle piattaforme presenti ai portali del traforo.

Nel momento in cui sarà effettuata l'interruzione dell'alimentazione ai PHT 21 e 22, è necessario un allacciamento provvisorio HT ai PHT 23 e 24, che potrà essere effettuato dall'alimentazione di cantiere.

#### **4.6 Requisiti di realizzazione**

Alla data del presente progetto, un'analisi dell'evoluzione impiantistica del traforo porta a considerare la realizzazione di adeguamenti, modifiche ed integrazioni ai diversi impianti che le Società Concessionarie hanno appena appaltato o appalteranno a breve e medio termine.

Ciò premesso, è indispensabile che prima di eseguire il trasferimento dei PHT verso le nuove ST, venga elaborata in fase esecutiva una documentazione relativa allo stato di fatto degli impianti esistenti del traforo, che permetta di identificare l'intera rete elettrica e le relative apparecchiature, con schemi elettrici dettagliati dei quadri HT e BT e di tutti i collegamenti esistenti con le utenze e verso la GTC.

La documentazione, che dovrà rispecchiare la situazione impiantistica esistente al momento immediatamente precedente i lavori di trasferimento / sostituzione, costituirà la base necessaria ad una corretta esecuzione degli interventi.

### **5. INTERFACCE CON GLI ALTRI IMPIANTI**

#### **5.1 Interfacce sul campo**

L'impianto in oggetto è interfacciato a livello terreno con tutti gli impianti allacciati ai quadri bassa tensione nelle ST, nei rifugi e nei PHT, verso i quali è fornita l'alimentazione elettrica. Per la trasmissione dei segnali di stato e la ricezione dei segnali di comando, l'impianto è interfacciato con il sistema di Gestione Tecnica Centralizzata GTC.

Nella fase di trasferimento impianti dai PHT verso le ST, è necessario un coordinamento con le operazioni di rinnovamento della GTC, che prevedono una contemporaneità di passaggio delle apparecchiature dai vecchi ai nuovi locali tecnici.

## **5.2 Interfacce a livello alto**

L'impianto di alimentazione elettrica è interfacciato verso il sistema di Gestione Tecnica Centralizzata GTC che dovrà gestire il comando remoto degli interruttori motorizzati della rete HT e dei quadri BT.

## **5.3 Gestione dati**

I dati relativi all'impianto di alimentazione elettrica che la GTC dovrà gestire, sono i seguenti:

- Allarmi, comandi e stato dei dispositivi di sezionamento e protezione dell'HT;
- Allarmi e stati dei dispositivi di sezionamento TGBT/TGBTS/TGVE;
- Allarmi guasti scaricatori di sovratensione;
- Allarmi e stato dispositivi UPS;
- Misure TGBT;
- Misure degli analizzatori di rete.

## **6. LIMITI DI FORNITURA E DI INTERVENTO**

### **6.1 Limiti di fornitura**

#### *6.1.1 Galleria di sicurezza*

Per la galleria di sicurezza, la fornitura comprende tutti i componenti ed accessori necessari al completo funzionamento delle seguenti apparecchiature:

- Celle HT da installare nelle ST;
- Rete di cavi HT;

- Trasformatori HT/BT da installare nelle ST;
- Quadri elettrici generali BT nelle ST (TGBT e TGBTS) e nei rifugi (TSR);
- Gruppi di continuità UPS nelle ST;
- Linee dorsali di distribuzione BT dalle ST ai rifugi.

Sono esclusi i quadri elettrici di regolazione dei ventilatori di aspirazione fumi e i quadri elettrici relativi ai seguenti impianti:

- GTC;
- Trasmissione dati;
- Controllo accessi;
- Radio;
- Video-sorveglianza;
- Detezione incendi;
- Rete di chiamata d'urgenza RAU;
- Diffusione sonora.

#### 6.1.2 Traforo

Per il trasferimento dei PHT verso le ST, la fornitura comprende tutti i componenti ed accessori necessari al completo funzionamento delle seguenti apparecchiature:

- Celle HT nelle centrali di ventilazione del traforo;
- Trasformatori HT/HT e HT/BT nelle centrali di ventilazione del traforo;
- Quadri elettrici generali BT e gruppi di continuità UPS nelle ST e nelle centrali di ventilazione del traforo;
- Quadri morsettiere nei PHT del traforo;
- Cavi di connessione tra i PHT del traforo e le ST della galleria.

E' previsto inoltre lo smantellamento e la rimozione delle apparecchiature esistenti nei PHT e nelle centrali di ventilazione del traforo, così come la rete HT attuale transitante lungo il vano aria fresca.

Sono esclusi dalla fornitura gli impianti elencati al paragrafo 4.2.

## **6.2 Limiti di intervento**

Il limite d'intervento è individuato alla morsettiera di collegamento nei quadri elettrici BT, sui quali saranno attestati i cavi elettrici di alimentazione dei singoli impianti esclusi dal presente progetto (vedi elenco al paragrafo 6.1.1).

## **7. CALENDARIO DI REALIZZAZIONE PREVEDIBILE**

### **7.1 Galleria di sicurezza**

#### *7.1.1 Montaggi*

Il tempo a disposizione per i montaggi è previsto in 14 mesi a partire dalla conclusione dei lavori di genio civile.

Il programma dettagliato dei lavori sarà definito in fase esecutiva in coordinamento con la Direzione Lavori e le imprese esecutrici degli altri impianti.

#### *7.1.2 Messa in servizio*

Al termine dell'installazione sarà effettuata la messa in servizio dell'impianto secondo le modalità definite nel disciplinare in un lasso di tempo di 2 mesi, a decorrere dalla scadenza dei 14 mesi previsti per i montaggi.

L'appaltatore dovrà inoltre collaborare all'esecuzione delle prove globali di funzionamento dell'insieme degli impianti della galleria di sicurezza e del traforo che si svolgeranno durante i 3 mesi successivi alla messa in servizio.

### **7.2 Trasferimento dei PHT verso le ST**

#### *7.2.1 Preparazione*

Questa attività comprende studi, progettazione esecutiva e approvvigionamento dei materiali.

Essa verrà svolta durante la costruzione della galleria di sicurezza, per un periodo di due anni.

### *7.2.2 Esecuzione*

Questa attività riguarda le operazioni di trasferimento degli impianti, le prove, i collaudi e la messa in servizio.

Essa verrà svolta durante l'installazione degli impianti nella galleria di sicurezza.



## 1. INTRODUCTION

### 1.1 Encadrement général

Le Tunnel routier du Fréjus relie le Piémont à la Savoie (Bardonnèche-Modane), sur l'axe Turin - Lyon. La circulation se fait de manière bidirectionnelle sur une largeur de chaussée de 9 mètres et sur une longueur de 12'868 mètres.

Le présent projet constitue la mise à jour du projet définitif de la galerie de sécurité. Le projet de base, élaboré en 2005 et donc avant l'incendie du 5 juin 2005, qui a provoqué le décès de deux personnes dans le tunnel, a été réévalué par rapport aux aspects de sécurité par le comité de sécurité, tenant compte de la lettre des ministres concernant la proposition « d'un diamètre adéquat de la galerie de sécurité afin de permettre en toute hypothèse la circulation des véhicules de secours en toute sécurité et commodité ».

Les éléments principaux non compris dans le projet définitif de 2005, résultant de l'étude effectuée et pris en compte dans le projet définitif présent, sont les suivants:

- Adaptation du diamètre de la galerie de sécurité de 5.50 à 8.00 m;
- Adaptation du système de ventilation, les SAS aux portails pour la mise en suppression de la galerie viennent substituer par une série d'accélérateurs en voûte le long de la galerie. En outre des centrales d'extraction massive sont prévues près des usines B & C;
- Réalisation de 5 by-pass pour le passage des véhicules de secours de la galerie au tunnel.

L'ensemble des autres aspects du projet définitif de 2005 n'a pas été modifié, en particulier:

- Les ouvrages externes aux portails ne sont pas modifiés;
- Les installations, à part la ventilation, maintiennent le même standard prévu dans le projet définitif 2005. Ils viennent seulement adaptés pour répondre aux modifications du génie civil;
- Le concept de mise à jour du GTC n'était pas modifiée, même si il a dû être adapté après les changements du concept de la ventilation de la galerie de

sécurité. La ventilation du tunnel et celle de la galerie de sécurité devront être coordonnée.

La galerie de sécurité sera réalisée parallèlement (à une distance d'environ 50 m) au tunnel routier. Des abris, 34 au total, seront réalisés dans les rameaux réalisés environ tous les 367 m entre la galerie et le tunnel routier.

Pendant les travaux de réalisation de la galerie de sécurité, qui débuteront en 2008, l'exploitation du tunnel routier ne devra pas être mise en cause. Tous les travaux, de génie civil comme d'équipements, devront donc être réalisés sans mettre en danger le fonctionnement du tunnel routier.

L'exploitation de la galerie de sécurité, prévue pour 2013, devra être menée conjointement avec celle du tunnel routier. Un unique système de supervision devra par conséquent coordonner l'exploitation de l'ensemble galerie - tunnel.

Les différents équipements technologiques prévus dans la galerie de sécurité nécessitent une alimentation électrique qui sera assurée au moyen d'un nouveau réseau à haute tension de 20 kV (HT) et d'une distribution terminale à basse tension de 400/230 V (BT).

Le réseau haute tension sera dimensionné pour distribuer l'énergie électrique tant aux installations de la galerie de sécurité, qu'aux installations existantes dans le tunnel. Il faut remarquer que la dénomination HT (Haute Tension) française, correspond à l'appellation MT (Moyenne Tension) italienne, en référence à la tension de 20 kV. Par la suite on adoptera à dénomination "HT".

## **1.2 Objectifs généraux**

### *1.2.1 Réseau Haute Tension*

La galerie de sécurité sera équipée avec un nouveau réseau HT fondé sur le même concept que le réseau existant. Le nouveau réseau sera formé par deux artères de 20 kV destinées à assurer soit l'alimentation des nouvelles stations techniques ST, pour les installations de la galerie de sécurité, soit celle des postes de transformation PHT actuels, pour les équipements du tunnel. Le but est de mettre hors ser-

vice les artères HT existantes qui actuellement passent dans la gaine d'air frais du tunnel.

La sécurisation du réseau haute tension a deux objectifs:

- Assurer un important niveau de disponibilité de la distribution électrique pour l'ensemble tunnel-galerie, en particulier au niveau des équipements dans les abris;
- Assurer un parcours sûr, en cas d'incendie dans le tunnel, des câbles 20 kV destinés à l'alimentation des PHT dans le tunnel;
- L'installation a en conséquence été définie dans le respect des normes imposées par la Circulaire Interministérielle française no 2000-63, c'est-à-dire:
- Garantie de service de la distribution électrique en cas d'interruption du réseau d'alimentation;
- Sûreté de fonctionnement en cas d'anomalie partielle des matériels;
- Les artères HT devront fonctionner pendant un incendie éventuel de niveau N3 dans le tunnel.

En tenant compte des niveaux de sûreté nécessaire pour les installations du tunnel et de la galerie de sécurité, on prévoit un réseau unique de distribution haute tension soit pour le tunnel, soit pour la galerie de sécurité, de façon à obtenir la sûreté maximale de tous les équipements avec un système redondant et fiable.

Cette solution est préférable à une solution avec des réseaux séparés, pour laquelle les équipements de la galerie de sécurité auraient un niveau de redondance et de sûreté plus petite, compte tenu des dispositions données par la norme.

### *1.2.2 Basculement des PHT vers les nouvelles ST*

Il est prévu le renouvellement des installations actuelles des PHT par le basculement vers les nouvelles ST. Cette intervention, qu'il faut réaliser en garantissant la continuité de l'exploitation du tunnel, a les objectifs suivants:

- Renouveler les installations sous l'aspect technologique et fonctionnel, pour élever le standard qualitatif et de sûreté des installations électriques;
- Eliminer les composants électromécaniques obsolètes (voir groupes à temps zéro);
- Utiliser au mieux les nouvelles stations techniques de la galerie de sécurité, plus amples et mieux accessibles;
- Optimiser l'entretien des installations de façon plus rationnelle et efficace;

- Mettre en sûreté les liaisons (alimentation électrique, réseaux de communication) à travers la galerie.

### 1.3 Documentation de référence

Les documents de référence utilisés sont :

a) Le projet préliminaire pour la réalisation de la galerie de sécurité du Tunnel du Fréjus, en particulier :

- Relation explicative (gs 96 RG 01) 27/11/2002, MUSI.NET;
- Définition des hypothèses d'études (gs 06 RT 10) 30/09/2002, MUSI.NET;
- Programme général des équipements courants forts et courants faibles (gs 96 RT 11/1) 30/09/2002, MUSI.NET;
- Mémoires des équipements courants forts et courants faibles (gs 96 RT 11/2) 30/09/2002, MUSI.NET;
- Cahier des architectures système courants forts (gs 96 FD 02) 30/09/2002, MUSI.NET;
- Cahier des schémas d'aménagement courants forts (gs 96 FD 02) 30/09/2002, MUSI.NET.

b) Les documents de l'Avant-Projet, en particulier:

- Note technique alimentation électrique (6145.0-R-09) 12/07/2004, Lombardi SA;
- Plan architecture du système (6145.0-P-50) 12/07/2004, Lombardi SA;
- Plan disposition au droit des stations techniques (6145.0-P-51) 12/07/2004, Lombardi SA.

c) Le dossier "Basculement des PHT vers les stations techniques de la galerie de sécurité" (6145.0-R-24 et annexes) 30/09/2004, Lombardi SA.

d) Observations des sociétés concessionnaires sur l'avant-projet, 20/09/2004, SFTRF et SITAF.

e) Compte-rendu de la réunion « Basculement des PHT », Modane 14/10/2004.

## 1.4 Références normatives

Les lois et normes applicables au projet d'alimentation électrique sont énumérées ci-dessous et subdivisées par nationalité.

### 1.4.1 Françaises

- Décret n° 88-1056 du 14 novembre 1988;
- Circulaire interministérielle n° 2000-63 du 25 août 2000 relative à la Sécurité dans les tunnels du réseau routier national, pour les abris et la galerie de sécurité;
- NF C 12.100, relative à la protection des travailleurs dans les établissements qui mettent en œuvre des courants électriques;
- NF C13-100 concernant les postes de livraison haute tension;
- NF C13-200 concernant les installations électriques à haute tension;
- NF C15-100 concernant les installations électriques à basse tension;
- NF C32 et C33 concernant les conducteurs et câbles isolés pour installations et équipements.

### 1.4.2 Italiennes

- D.P.R. 24-04-55 n.547 "Norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro";
- Legge 01-03-68 n.186 "Disposizioni concernenti la produzione dei materiali, apparecchiature, macchinari, installazioni ed impianti elettrici ed affini";
- Legge 05-03-90 n.46 "Norme per la sicurezza degli impianti" e successivo D.P.R. 06-12-91 n.447 "Regolamento di attuazione della Legge 5 Marzo 1990 n.46 in materia di sicurezza degli impianti";
- Norma CEI 11-1 "Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata";
- Norma CEI 17-6 "Apparecchiatura prefabbricata con involucro metallico per tensioni da 1 kV a 52 kV";
- Norma CEI 17-13 "Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT)" - Parte 1, 2 e 3;

- Norma CEI 64-8 "Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non supérieure a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua";
- Prescriptions ENEL DK 5600, IV ediz. (anno 2004) "Critéri de allacciamento di clienti alla rete MT della distribuzione".

### **1.5 Analyses en suite de l'augmentation du diamètre de la galerie de sécurité**

L'ensemble des concepts prévues dans le projet sont confirmées, en particulier:

- La puissance des transformateurs sera standardisée en 2 ou à la limite 3 grandeurs;
- Les transformateurs prévus dans les stations techniques seront logés en box aérés spéciaux;
- Les deux groupes électrogènes aux têtes seront maintenus; leur élimination ne sera pas possible sans le consentement du Comité de Sécurité;
- Les câbles électriques seront de type flexible;
- Le renouvellement des PHT dans les usines de ventilation B et C sera réalisé sur place, sans basculement dans les stations techniques correspondantes, compte tenu de la place disponible dans les usines mêmes.

L'augmentation du diamètre de la galerie à causé certaines modification au réseau de l'alimentation électrique, les plus significatives sont:

- Augmentation de la grandeur des transformateurs, à cause de l'installation des accélérateurs de la ventilation;
- Augmentation de la section des câbles HT 20 kV, à cause de la puissance plus grande installée dans la galerie de sécurité.

## **2. PRINCIPES GENERAUX**

### **2.1 Introduction**

Les concepts généraux de l'alimentation électrique, prévus dans les précédentes phases de conception sont confirmés et intégrés par l'intervention du basculement des PHT vers les nouvelles ST.

Dans cette phase du projet une analyse détaillée des catégories d'installation HT et BT a été élaborée ainsi qu'un bilan de puissance nécessaire au dimensionnement des équipements.

## 2.2 État actuel du tunnel

### 2.2.1 Réseau Haute Tension

Le réseau HT du tunnel est constitué de deux artères 20 kV alimentant:

- 2 usines de ventilation extérieures aux têtes (A et D);
- 2 usines de ventilation souterraines (à 1/3 et 2/3 du tunnel, B et C), construites chacune à proximité d'un puits;
- 20 sous-stations électriques (depuis PHT 01 jusqu'à PHT 20) implantées tous les 1'450 m environ;
- 2 sous-stations électriques dédiées chacune à un puits (PHT 27 et PHT 28);
- 1 sous-station électrique dédiée au laboratoire souterrain IN2P3.

Une des artères alimente les PHT impairs (côté EST du tunnel), tandis que l'autre alimente les PHT pairs (côté OUEST du tunnel).

Les câbles représentant physiquement les deux artères sont posés dans la gaine d'air frais située dans la partie supérieure du tunnel.

Chacune des artères est normalement alimentée par l'un des deux distributeurs EDF ou ENEL. EDF livre l'énergie pour le côté France en 20 kV. L'alimentation ENEL arrive du côté Italie en 15 kV, élevée par la suite à 20 kV dans le poste de raccordement par deux transformateurs installés en parallèle.

Les plate-formes aux têtes du tunnel sont alimentées à partir des postes de livraison à 20 kV, en amont des deux artères.

### 2.2.2 Locaux techniques

Les PHT abritent les appareils destinés à l'alimentation, la transformation et la distribution de l'énergie électrique. Au niveau de la basse tension sont installés les tableaux des équipements d'éclairage, des panneaux de signalisation, des feux et des auxiliaires.

Actuellement les problèmes principales des PHT sont l'absence d'espace et la charge thermique, ce qui limite la possibilité de renouvellement des équipements pendant l'exploitation du tunnel.

Les reliefs effectués dans les PHT ont montré que des espaces suffisamment larges sont disponibles uniquement à l'emplacement des usines de ventilation A, B, C et D.

### 3. PRINCIPES CONSTRUCTIFS

#### 3.1 Distribution Haute Tension 20 kV

##### 3.1.1 Stations techniques (ST)

Dans le cadre de la galerie de sécurité, sont prévues 24 nouvelles ST, numérotées progressives en séquence impaire depuis la tête française jusqu'à la tête italienne (ST01, ST03, ST05, ..) et numérotées progressives en séquence paire depuis la tête italienne jusqu'à la tête française (ST02, ST04, ST06, ..).

Huit seront extérieures à la galerie:

- ST01 et ST20 dans le nouveau bâtiment au portail côté France;
- ST02, ST19 et ST30 dans le nouveau bâtiment au portail côté Italie près de l'entrée de la galerie de sécurité;
- ST32 et ST34 dans les deux bâtiments extérieurs adjacents à l'usine F.

Les autres 16 ST seront à l'intérieur de la galerie et réalisées dans les liaisons transversales en direction du tunnel, situés en couples environ chaque 1'450 m et situés selon les indications de la liste suivante, avec séquence progressive de la tête française à la tête italienne:

- ST03 - ST18: à proximité du PHT 03;
- ST05 - ST16: à proximité du PHT 05;
- ST07 - ST14: à proximité de l'usine de ventilation B;
- ST09 - ST12: à proximité du PHT 09;
- ST11 - ST10: à proximité du PHT 11;
- ST13 - ST08: à proximité de l'usine de ventilation C;



- ST15 - ST06: à proximité du PHT 15;
- ST17 - ST04: à proximité du PHT 17.

Cette disposition permet de gérer l'alimentation électrique de la galerie de sécurité et du tunnel de façon territorialement équilibrée.

Les ST intérieures géreront:

- Les équipements de la galerie de sécurité situés dans le tronçon compris entre environ 750 m au nord et environ 750 m au sud de leur emplacement;
- Les équipements de quatre abris, deux au nord et deux au sud;
- Les équipements du tunnel, actuellement alimentés par les PHT (sauf ceux qui sont installés dans les usines de ventilation A, B, C et D du tunnel);
- La ventilation de la galerie de sécurité.

En ce qui concerne les ST extérieures, elles auront à leur charge:

- Les équipements situés les premier 750 m environ de la galerie de sécurité;
- L'alimentation des bâtiments extérieurs annexes (PRV).

La figure 1 représente la disposition de toutes les nouvelles stations techniques, celle des PHT actuels et des locaux techniques dans les usines de ventilation et sur les plate-formes extérieures.



Tous les postes ST à l'intérieur de la galerie de sécurité sont subdivisés en plusieurs locaux ; chacun d'entre eux est dimensionné pour abriter soit les appareils des équipements pour la galerie, soit ceux du tunnel, selon le critère suivant:

- Plan rez-de-chaussée: Deux locales HT, de 6.70 x 3.20 m, pour l'installation des cellules HT et des transformateurs 20/0.4 kV;
- Un local, de 8.80 x 3.20 m, pour les dispositifs de sectionnement du réseau incendie (vannes motorisées), pour les dispositifs de ventilation et climatisation des locaux techniques des deux ST;
- Un local, de 6.40 x 3.20 m, pour l'installation des batterie des groupes de continuité;
- Plan premier étage: Deux locales BT, de 13.30 x 4.10 m, pour les tableaux électriques généraux destinés à la distribution électrique principale (TGBT) et de secours (TGBTs), pour les groupes de continuité (UPS) et pour les tableaux électriques de plusieurs équipements (gestion technique centralisée GTC, réseau d'appel d'urgence RAU, vidéosurveillance DAI, transmission des données, contrôle des accès, balisage lumineux, etc.).

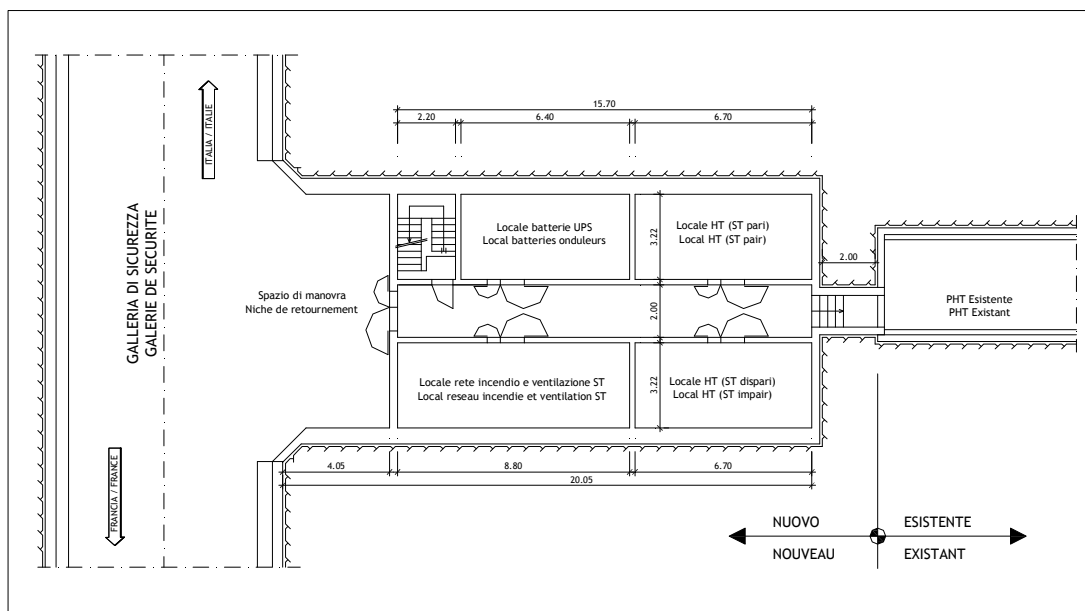


Fig. 2 - Station technique type - Vue en plan rez-de-chaussée

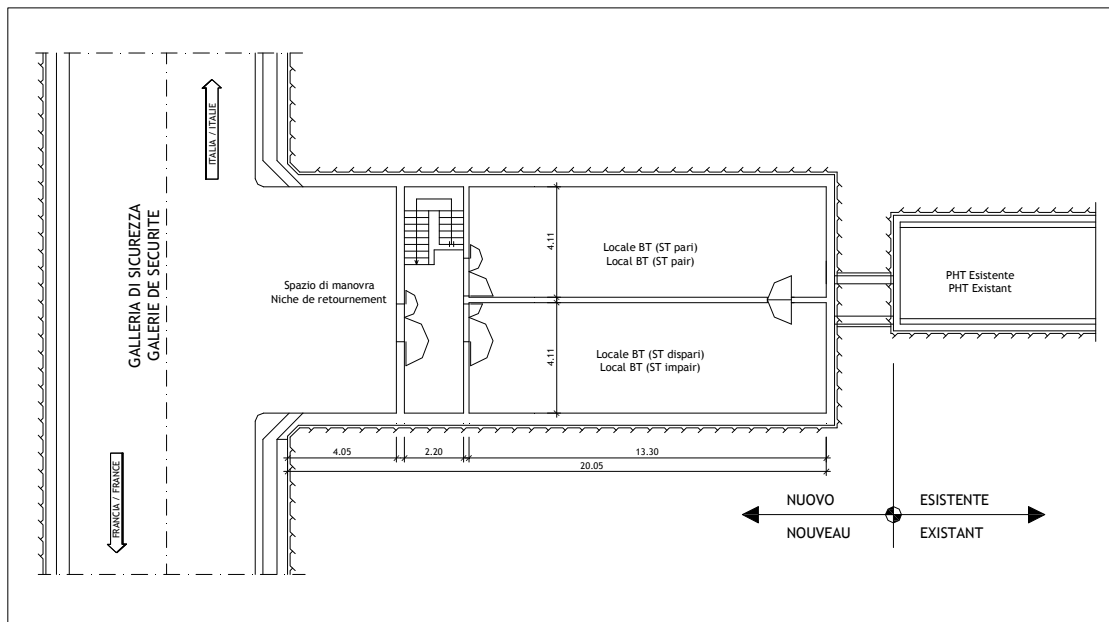


Fig. 3 - Station technique type - Vue en plan première étage

Les ST extérieures diffèrent des intérieures en dimensions et caractéristiques (voir plans 6145.2-P-220 et 6145.2-P-221).

Certaines (ST01 et ST20 côté France, ST02 et ST19 côté Italie) seront insérées à l'intérieur des nouveaux bâtiments construits aux têtes et seront destinées au logement des installations relatives uniquement aux équipements de la galerie de sécurité, notamment:

- Cellules HT et transformateurs;
- Tableaux électriques destinés à la distribution électrique principale (TGBT) et de secours (TGBTS);
- Onduleurs (UPS) pour l'alimentation secourue sans coupure des équipements de sécurité;
- Tableaux électriques de plusieurs installations spéciales (GTC, RAU, vidéo-surveillance DAI, transmission des données, contrôle des accès, balisage lumineux, etc.).

La destination des stations techniques extérieures restantes sera la suivante:

- ST30: elle est prévue dans la même pièce que la ST02. Elle sera destinée pour la transformation, l'alimentation et la distribution des équipements du

bâtiment extérieur côté Italie; en plus il pourvoira à l'alimentation en basse tension des deux bâtiments restants à côté.

- ST32 et ST34: elles seront de simples locaux BT situés, respectivement, dans le deuxième et dans le troisième bâtiment extérieur côté Italie; pourvoiront à l'alimentation et la distribution des équipements prévus dans le bâtiment correspondant;
- ST33: elle est prévue dans les pièces du PRV côté France et elle sera destinée à la transformation, l'alimentation, et la distribution des équipements de ce bâtiment; cette station technique est incluse dans le projet des bâtiments extérieurs: il en prévoit seulement l'alimentation 20 kV par des câbles HT en dérivation de la ST01.

### 3.1.2 Réseau Haute Tension 20 kV

Une des deux artères qui constituent le nouveau réseau haute tension sera alimentée depuis le point de distribution EDF, côté France (artère 1), tandis que l'autre artère sera alimentée depuis le point de distribution ENEL, côté Italie (artère 2). L'origine d'une artère correspond à la fin de l'autre, et vice-versa (voir plan annexe 6145.2-P-217): les points de départ et d'arrivée sont situés dans le PHT21 (coté France) et le PHT22 (coté Italie).

L'artère 1 est destinée à l'alimentation de la moitié des installations de la galerie de sécurité et de la moitié des installations du tunnel, tandis que l'artère 2 alimentera les installations de la moitié qui reste.

Avec cette architecture on obtient une subdivision qui, selon le critère adopté pour les PHT actuels, permet de répartir les charges sur les deux artères de façon suffisamment équilibrée.

Les deux lignes constituent de fait un anneau ouvert et seront interconnectées par des interrupteurs à commande automatique et manuelle depuis la GTC.

En correspondance de chaque ST, chacune des deux artères sera connectée à des nouvelles cellules HT, avec une connexion de type "entrée-sortie" (voir schéma 6145.2-P-217).

Dans le cas de manque de tension d'un des deux Distributeurs, EDF ou ENEL, le réseau HT aura une structure qui permettra le basculement de l'alimentation de la branche hors tension sur l'autre distributeur. Cette fonction, d'importance vitale pour la continuité de l'exploitation des équipements, sera disponible au moyen d'une commande sur les interrupteurs motorisés des cellules HT prévues à l'origine des lignes (PHT21 et PHT22).

En plus, pour une complète souplesse de gestion du réseau HT, toutes les cellules prévues dans les ST seront équipées d'interrupteurs motorisés.

Les commandes de commutation pourront être gérées de trois manières différentes:

- Modalité automatique (via le système de la GTC);
- Modalité manuelle;
- Modalité manuelle à distance (via le système de la GTC).

Étant donné ces choix de projet, les deux artères pourront garantir la redondance de l'alimentation électrique. Cependant les groupes électrogènes existants aux têtes du tunnel (1'250 kVA) ne seront pas exclus par le réseau d'alimentation mais seront maintenus comme approvisionnement énergétique d'urgence supplémentaire en cas de black-out total.

### *3.1.3 Modalités d'alimentation du réseau HT*

La distribution électrique en haute tension sera apte à garantir l'alimentation de toutes les installations du tunnel et de la galerie de sécurité, selon des fonctionnements ou anomalies quelconques qui pourrait s'avérer dans le système d'alimentation.

A ce propos, on prévoit les 6 scénarios suivants:

- **a) Normal:** Le point de fourniture EDF dans le PHT 21 alimente l'artère HT 1; le point de fourniture ENEL dans le PHT 22 alimente l'artère HT 2. L'artère 1 alimente les transformateurs de la galerie et du tunnel installés dans les ST impaires, tandis que l'artère 2 alimente les transformateurs de la galerie et du tunnel installés dans les ST paires. Chaque transformateur alimente un TGBT.

- **b) Perte d'une alimentation HT:** La perte d'une alimentation HT, par exemple d'EDF sur l'artère 1, est résolu avec un basculement d'ENEL sur cette artère, par l'ouverture automatique de l'interrupteur à l'origine de l'artère 1 et la fermeture de celui installé à sa fin. L'alimentation des équipements sensibles et vitaux est assurée, pendant la phase de commutation, par les groupes de continuité UPS.
- **c) Perte d'une artère HT:** Une panne dans un tronçon d'une artère provoque, dans un premier instant, la mise hors service du tronçon d'artère sujet à la panne, avec l'ouverture manuelle locale et/ou à distance des interrupteurs des cellules HT installées dans les ST en amont et en aval du tronçon intéressé. Toute l'artère en amont de la panne reste en service; en aval de la panne l'artère est alimentée par la tête opposée par la fermeture automatique de l'interrupteur installé à la fin de cette artère. L'alimentation des équipements sensibles et vitaux est assurée, pendant la phase de commutation, par les groupes de continuité UPS.
- **d) Perte d'un transformateur:** La perte d'un transformateur provoque une commutation de toute la distribution basse tension alimentée par le transformateur en panne sur le transformateur en service. La commutation arrive par une fermeture manuelle locale et/ou à distance des interrupteurs BT de couplage prévus en amont des barres des TGBT. L'alimentation des équipements sensibles et vitaux sera assurée, pendant la phase de commutation, par les groupes de continuité UPS.
- **e) Perte d'un groupe de continuité:** La perte d'un groupe de continuité (UPS) ne provoquera pas de conséquences du point de vue de la distribution électrique, car les UPS seront dotés de by-pass statique apte à garantir la continuité d'alimentation des besoins. L'information de panne par la GTC permettra de gérer l'anomalie rapidement et de rétablir l'alimentation secourue.
- **f) Perte totale des alimentations HT:** En cas d'une perte simultanée d'alimentation soit ENEL et EDF, seront activés les groupes électrogènes existants aux têtes. Leur activation garantit l'alimentation secourue aux deux artères, mais seulement pour une partie de la charge totale du tunnel, car, en modali-

té automatique, un allégement de puissance arrive avec la réduction à 40% de la ventilation et l'exclusion de quelques-uns des besoins non essentiels (60% de l'éclairage, ventilation des locaux techniques, câbles chauffants de la conduite incendie, prises de courant, etc.). Pendant la phase de démarrage des groupes électrogènes, l'alimentation des installations sensibles et vitales sera assurée par les groupes de continuité UPS.

### *3.1.4 Cheminements des artères HT*

Les deux artères seront posées le long de la galerie de sécurité, sous la chaussée, dans des fourreaux appropriés.

Cette solution permet d'atteindre un niveau de sécurité élevé comparé au parcours du réseau haute tension existant. En fait, les artères HT actuelles qui transitent dans les gaines d'air frais du tunnel, sont sujettes à des risques liés à la probabilité d'incendie dans la voie de circulation.

Les tuyaux destinés aux câbles HT seront interrompus chaque 50 m environ par des regards nécessaires à la pose et l'inspection. Des regards supplémentaires sont aussi prévus pour effectuer les dérivations en "T" en correspondance des 16 ST situées en galerie.

La traversée de la voie du tunnel, prévue sur la dalle, pour le passage des câbles HT vers les PHT des usines de ventilation B et C, pourrait représenter un point faible. Pour cette raison, dans ces tronçons est-il prévu une protection supplémentaire des câbles par revêtement en matériel résistant au feu.



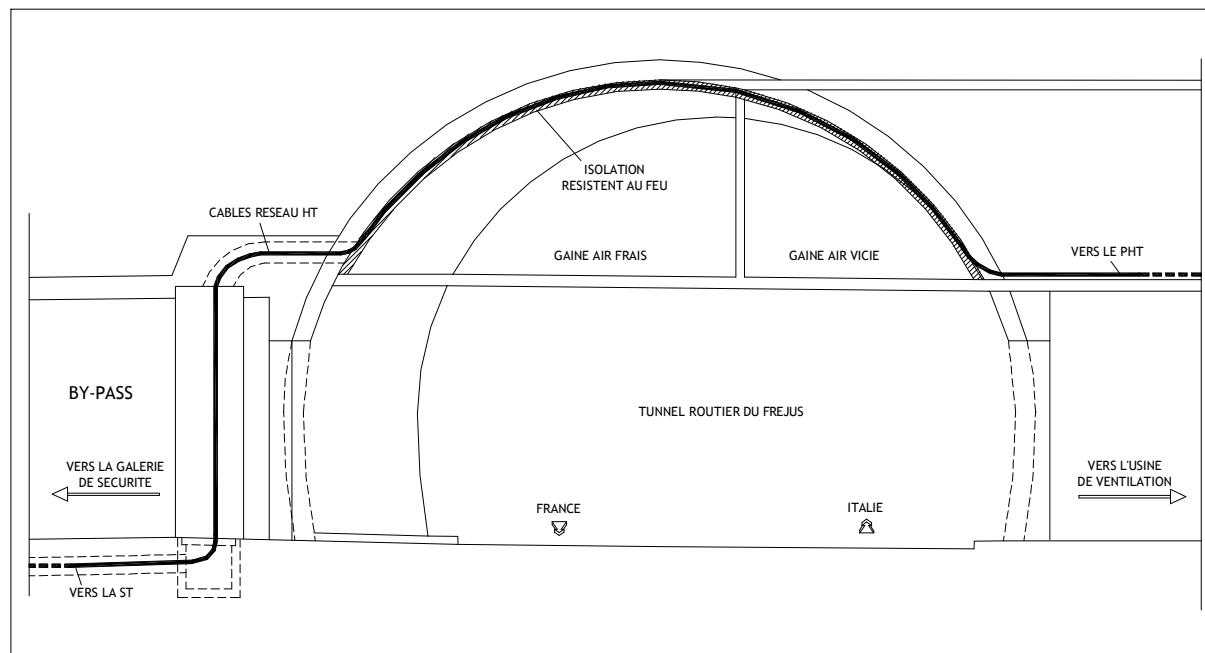


Fig. 4 - traversée des câbles HT au droit des usines B et C

### 3.1.5 Dimensionnement du réseau HT

La valeur la plus élevée de courant que les câbles HT devraient supporter, correspond à la condition scénario c), exposé au paragraphe précédent 7.1.3. Dans cette situation, le cas le plus critique se vérifie dans l'hypothèse d'une panne dans le tronçon compris entre l'origine d'une artère (PHT 21 ou PHT22) et le PHT suivant. De ceci il en dérive que chaque artère doit être apte à supporter la charge de tous les équipements installés dans la galerie et dans le tunnel.

Cette charge correspond à la somme des puissances effectives reportée dans le tableau 11 de l'annexe 1 (Bilan énergétique), qui équivaut à environ 11'200 kVA. À cette valeur de puissance, résulte un courant d'emploi d'environ 324 A pour une tension de 20 kV.

Les conditions de pose et les facteurs de correction dictés par les règles de dimensionnement des câbles, nous amènent à considérer nécessaire une section de 300 mm<sup>2</sup>.

Cependant, compte tenu de la longueur considérable des lignes, il faut vérifier aussi la condition d'assurer à la terminaison de la ligne une chute de tension limitée au maximum de la valeur de 4% de la tension de phase, selon la formule:

$$\Delta U = I \times L \times 1.73 \times [(R \times \cos\varphi, +, X \times \sin\varphi)] / 1000$$

où:

- $\Delta U$  = chute de tension à la terminaison de ligne [V]
- I = courant d'emploi [A]
- L = longueur de la ligne (\*) [m]
- R = résistance spécifique du câble [m $\Omega$ /m]
- X = réactance spécifique du câble [m $\Omega$ /m]

(\*) la longueur théorique est la somme de la longueur des deux artères, correspondant à environ 26'000 m. Malgré ceci, la longueur de calcul peut être considérée en approximation égale à la moitié (13'000 m), car on assume une distribution symétrique et équilibrée des charges le long des artères.

En appliquant les valeurs données pour I et L et ceux de R et X tirés des tableaux UNEL, on obtient:

$$\Delta U = 324 \times 13'000 \times 1.73 \times [(0.0761 \times 0.90) + (0.0895 \times 0.436)] / 1000 = 785 \text{ V}$$

En conclusion, chaque artère sera formée par des câbles ayant une section de 3x1x300 mm<sup>2</sup>, qui admettent une chute de tension à la terminaison de la ligne égale à 3.9% de 20 kV.

En effet, il faut considérer que le courant qui parcourt chaque artère prend, le long du parcours, des valeurs décroissantes à cause des dérivations aux ST. Cependant, en considération des exigences de redondance de l'alimentation, on va maintenir la même section pour tout le tracé des câbles HT.

Cette section devra être de toute façon vérifiée en phase exécutive, sur la base d'une définition plus précise du bilan énergétique.

## 3.2 Transformation HT/BT

### 3.2.1 Généralités

Dans les locaux HT des stations techniques, en aval des cellules HT, seront installés les transformateurs 20/0.4 kV. Les transformateurs seront de type à sec et isolé en résine.

Pour une protection efficace des contacts directs, les transformateurs seront situés en box métalliques spéciaux de grandeur proportionnée et standardisée, équipés de ventilation forcée.

### 3.2.2 Transformateurs dans les stations techniques intérieures

Chaque ST intérieure abritera deux transformateurs: le premier pour les équipements de la galerie de sécurité et le deuxième pour les équipements du tunnel (voir dessin 6145.2-P-217 architecture du système). Font exception les ST 07, 14, 13 et 08 dans lesquelles n'est pas prévu le transformateur pour les équipements du tunnel, car il reste dans le PHT correspondant actuel, situé à l'intérieur des usines de ventilation B et C. Mais dans ces ST seront installée ultérieurs transformateurs pour les ventilateurs d'extraction des fumées de la galerie.

### 3.2.3 Transformateurs dans les stations techniques extérieures

Dans les ST extérieures, les transformateurs prévus seront en partie dédiés pour les équipements de la galerie de sécurité et en partie pour les équipements des bâtiments extérieurs. La destination d'usage pour chaque ST extérieure est la suivante:

- ST 01 (côté France): - Un transformateur pour les équipements galerie;
- ST 20 (côté France): - Un transformateur pour les équipements galerie;
- ST 19 (côté Italie): - Un transformateur pour les équipements galerie;
- ST 02-30 (côté Italie): - Un transformateur pour les équipements galerie;  
- Un transformateur pour les équipements des bâtiments extérieurs.

### *3.2.4 Transformateurs dans les PHT*

Compte tenu de tout ce qui est porté au paragraphe 4.5, dans les PHT des usines de ventilation A, B, C et D du tunnel est prévue l'installation de nouveaux transformateurs en résine en substitution aux actuels à huile.

Cette intervention ne concerne pas les transformateurs des installations auxiliaires (EX) et de l'éclairage (EC): leur substitution est déjà réalisé dans le cadre des travaux de ventilation forcée des abris actuels.

La destination d'usage des nouveaux transformateurs est la même que l'actuelle; par conséquent la puissance des transformateurs reste aussi inchangée.

### *3.2.5 Dimensionnement des transformateurs*

La puissance des transformateurs est établie sur la base des données portées dans l'annexe 1 (Bilan énergétique) qui indique, aux tableaux 12 et 13, la liste et la grandeur de tous les nouveaux transformateurs prévus en ST et de ceux à remplacer dans les PHT des usines de ventilation du tunnel.

En considération de tout ce qui est indiqué dans le scénario **d)** cité au paragraphe 3.1.3, les transformateurs sont dimensionnés pour supporter le double de la charge à supporter.

Du bilan énergétique de la galerie de sécurité résultent les valeurs de puissance engagée qui changent d'une ST à l'autre; ces valeurs pourraient amener au choix de transformateurs de grandeurs différentes entre eux. Cependant, pour favoriser la gestion et l'entretien des installations, la puissance des transformateurs est standardisée en trois grandeurs principales:

- 400 kVA pour les ST extérieurs;
- 630 kVA pour les ST intérieurs;
- 1'600 kVA pour la ventilation.

### 3.3 Distribution Basse Tension dans la galerie de sécurité

#### 3.3.1 Concepts

Ce paragraphe traite la distribution en basse tension (BT) de la galerie de sécurité, tandis que celle du tunnel est considérée dans le cadre du basculement des installations au chapitre 8.

Le réseau BT assure la distribution de l'énergie électrique aux installations prévues dans la galerie de sécurité, dans les abris, dans les stations techniques et dans les usines de ventilation E et F.

La distribution BT des bâtiments extérieurs côté Italie est traitée séparément dans la relation 6145.2-R-50, tandis que celle relative aux bâtiments extérieurs côté France est incluse dans le projet des bâtiments.

#### 3.3.2 Développement du réseau BT et tableaux électriques généraux

En chaque ST, le transformateur dédié à la galerie de sécurité alimentera un tableau général de basse tension, duquel partiront tous les circuits d'alimentation des installations, selon une subdivision en *réseau normal* et en *réseau secouru*. Les réseaux seront de type 3P+N+T (triphases, neutre et terre).

Le TGBT (tableau général basse tension) alimentera le réseau normal et un onduleur (UPS).

En aval de l'UPS est prévu le TGBTs (tableau général basse tension de secours) pour la distribution du réseau secouru. Au manque de tension du réseau normal, le réseau secouru permet de garantir la continuité de fonctionnement aux besoins sensibles et vitaux.

Dans les ST 07-14 et 13-08, au-delà du TGBT et du TGBTs, il est prévu un autre tableau général de basse tension TGVE au service des ventilateurs d'extraction des fumées. Le TGVE sera alimenté directement par le transformateur prévu exprès.

Dans le plan 6145.2-P-217 (architecture du système) sont représentés les schémas de la distribution BT pour une ST intérieure type et pour les ST en correspondance des centrales de ventilation E/F.

### 3.3.3 Redondance de la distribution BT

Pour satisfaire les conditions exposées dans le scénario **d)** cité au paragraphe 3.1.3, les TGBT auront deux interrupteurs généraux, dont un normalement fermé sur les barres de distribution (DG) et un supplémentaire normalement ouvert (DS), prédisposé pour le couplage avec le TGBT de la ST adjacent.

L'interrupteur supplémentaire du TGBT mis en ST impair sera uni à celui du TGBT mis en ST paire correspondante. En cas de hors service d'un transformateur, il est prévu la fermeture manuelle locale et/ou à distance des deux DS, sur l'OK donné par l'ouverture du dispositif de protection en amont du transformateur hors service. Cette manoeuvre permet d'alimenter les TGBT des deux ST par le transformateur resté en exercice, en limitant le manque d'alimentation aux installations pour un laps de temps de quelques secondes.

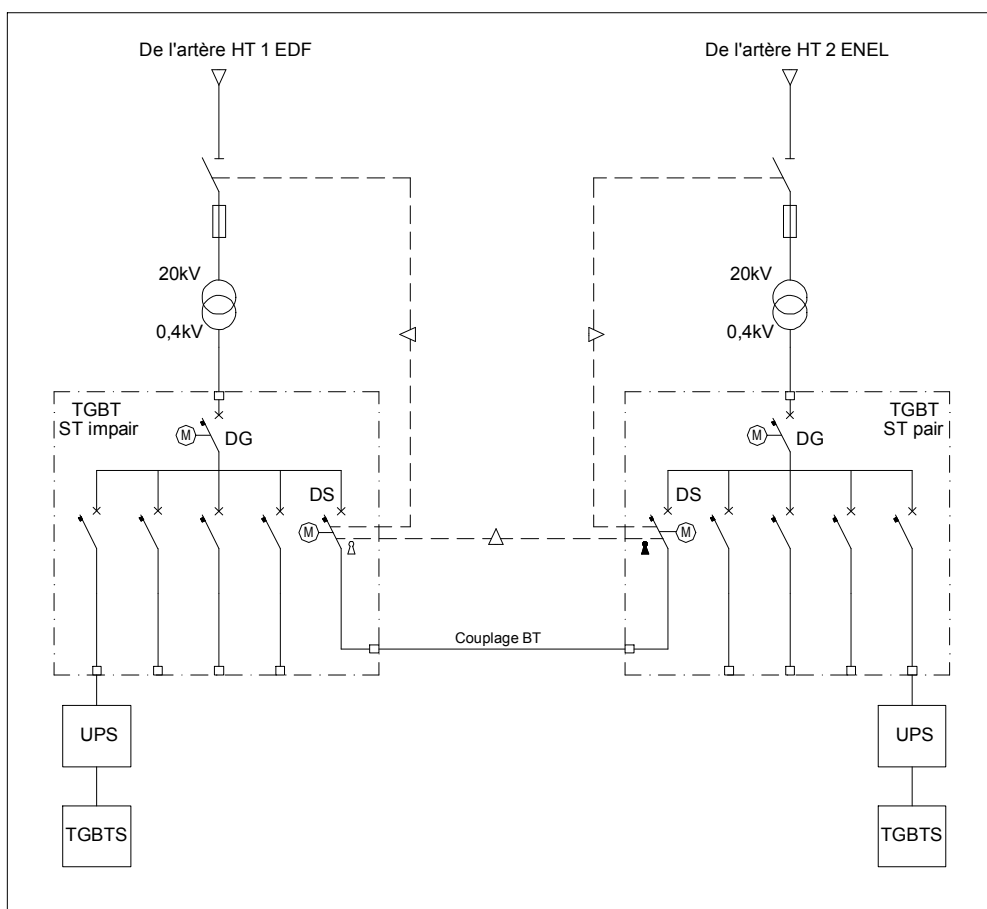


Fig. 5 - Couplage au niveau BT - Schéma unifilaire

Les DS seront électriquement bloqués avec les dispositifs de protection HT correspondants installés immédiatement en amont, afin d'éviter la fermeture en court circuit entre les secondaires des transformateurs HT/BT.

Un commandement manuel des interrupteurs supplémentaires sera possible seulement par un système de manoeuvres avec clés bouclées, nécessaire pour éviter la fermeture simultanée des DS pendant le fonctionnement en configuration normale.

Pour garantir une sécurité élevée de fonctionnement à l'installation de ventilation de la galerie, le couplage décrit ci-dessus est prévu aussi pour les TGVE installés dans les ST 07-14 et 13-08 (voir note technique 6145.2-R08 équipement ventilation galerie).

#### *3.3.4 Onduleurs (UPS)*

Les onduleurs (UPS) garantiront l'alimentation de secours aux tableaux TGBTs, où sont connectés les besoins sensibles et vitaux. Pour cette raison les UPS devront intervenir au manque de la tension du réseau normal et ils devront garantir une autonomie à pleine charge pour deux heures.

Le dimensionnement des groupes de continuité se base sur les données tirées de l'annexe 1 (Bilan de puissance). La puissance est standardisée en deux grandeurs principales:

- 30 kVA pour les ST extérieurs;
- 60 kVA pour les ST intérieurs.

#### *3.3.5 Tableaux électriques des abris et lignes dorsales*

Dans la galerie, au-delà des tableaux généraux installés dans les ST, il est prévu un tableau électrique secondaire TSR dans chaque abri, pour la distribution BT aux installations installées dans l'abri même.

Pour garantir une continuité d'exploitation aux usages électriques des abris, les TSR seront connectés au réseau secouru. L'alimentation sera donc dérivée par les TGBTs des stations techniques.

Depuis les ST extérieures est prévue une ligne BT pour alimenter le TSR de l'abri le plus près de la tête.

Depuis chaque ST intérieure partiront deux lignes BT: la ST impaire alimentera les TSR des deux abris les plus proches côté France, pendant que la ST paire alimentera les TSR des deux les plus proches côté Italie.

Le tableau suivant montre la répartition des alimentations aux abris des stations techniques correspondantes:

ST	Abri	By-pass	ST	Abri	By-pass
01	1	//	20	//	//
03	2 - 3	//	18	4 - 5	//
05	6 - 7	//	16	8 - 9	1
07	10 - 11	2	14	12 - 13	//
09	14 - 15	//	12	16 - 17	//
11	18 - 19	3	10	20 - 21	//
13	22 - 23	4	08	24 - 25	//
15	26 - 27	//	06	28 - 29	//
17	30 - 31	//	04	32 - 33	5
19	//	//	02	34	//

### 3.3.6 Répartition des installations en galerie

La répartition des équipements est structurée par une subdivision territoriale et par circuit ce qui permet un degré élevé de sélectivité, à l'avantage de la sécurité et de l'exploitation normale de la galerie.

Les TGBT alimenteront les équipements suivants:

- Accélérateurs dans la galerie;
- Eclairage dans la galerie (50%);
- Eclairage de renfort dans la galerie en correspondance des entrées;
- Eclairage de renfort en correspondance des ST (seulement depuis les ST intérieures);
- Câbles chauffants de la conduite incendie (seulement depuis les ST extérieures et depuis les premiers ST intérieures proches des têtes);
- Eclairage des locaux techniques des ST (seulement des ST intérieures);



- Ventilation et conditionnement des locaux techniques des ST (seulement des ST intérieurs);
- Ventilation du PHT ou SAS adjacent aux ST (seulement des ST intérieurs).
- Les TGBTs alimenteront les équipements suivants:
- Eclairage dans la galerie (50%);
- Balisage lumineux en galerie;
- Signalisation lumineuse dans la galerie;
- Portes et grilles des entrées de la galerie de sécurité;
- Gestion technique centralisée;
- Transmission des données;
- Détection incendies;
- Contrôle des accès;
- 1 abri (seulement depuis les ST extérieurs);
- 4 abris (seulement depuis les ST intérieurs);
- Installations dans le by-pass 2 (seulement depuis ST 07);
- Installations dans le by-pass 4 (seulement depuis ST 13).

Les TSR alimenteront les installations intérieures aux abris et SAS correspondants, telles que:

- Eclairage et prises de courant;
- Ventilation et rideaux motorisés des abris;
- Gestion technique centralisée;
- Transmission de données;
- Détection incendies;
- Contrôle accès;
- Diffusion sonore;
- Postes d'appel d'urgence;
- Vidéosurveillance;
- Signalétique lumineuse;
- Eclairage de renfort en galerie en correspondance des abris;
- Eclairage couloirs d'accès au laboratoire IN2P3 (seulement depuis l'abri 18);
- Vannes motorisées du réseau incendie en galerie (depuis l'abri 18);
- Installations dans les by-pass 1, 3 et 5 (depuis les abris 6, 18 et 32).

### 3.3.7 Dimensionnement des lignes dorsales

Le dimensionnement des lignes BT qui alimentent les TSR est effectué sur la base des puissances reportée dans l'annexe 1 (Bilan énergétique).

En supposant comme base de calcul le courant d'emploi dans l'abri le plus chargé, de l'ordre d'environ 35A et  $\cos\varphi$  0.80, et compte tenu des conditions de pose prévues et des facteurs de correction imposés par les normes, la section minimum nécessaire serait de 10 mm<sup>2</sup>.

Au sujet des pertes supportées par la longueur des lignes, on calcule la chute de tension à la terminaison de la ligne, qui doit être dans la limite de 4% de la tension de phase, selon la définition:

$$\Delta U = I \times L \times 1.73 \times [(R \times \cos\varphi) + (X \times \sin\varphi)] / 1000$$

où:

- $\Delta U$  = chute de tension à la terminaison de ligne [V]
- I = courant d'emploi [A]
- L = longueur de la ligne (\*) [m]
- R = résistance spécifique du câble [m $\Omega$ /m]
- X = réactance spécifique du câble [m $\Omega$ /m]

Le calcul amène à considérer plusieurs cas, à cause des distances variables entre les ST le long de la galerie et les abris alimentés par celles-ci. Ces distances sont situées dans un domaine compris entre un minimum de 105 m jusqu'à un maximum de 1000 m.

On considère donc de calculer les sections de câble standardisées pour les longueurs de ligne fixées comme il suit:

- Jusqu'à 400 m;
- Jusqu'à 500 m;
- Jusqu'à 750 m;
- Jusqu'à 1'000 m.

En appliquant à la formule citée ci-dessus les valeurs données pour I et L et ceux de R et X tirées des tableaux UNEL, compte tenu d'une valeur de  $\cos\varphi$  égale à 0.8, les sections minimums nécessaires pour limiter la chute de tension à 4%, en fonction de la longueur de la ligne, résultent des calculs suivants:

Calcul pour longueurs jusqu'à 400 m, avec section de 35 mm<sup>2</sup>:

$$\Delta U = 35 \times 400 \times 1.73 \times [(0.641 \times 0.80) + (0.101 \times 0.6)] / 1000 = 13.9 \text{ V}$$

La valeur obtenue équivaut au 3.5% de 400V.

Calcul pour longueurs jusqu'à 500 m, avec section de 50 mm<sup>2</sup>

$$\Delta U = 35 \times 500 \times 1.73 \times [(0.473 \times 0.80) + (0.101 \times 0.6)] / 1000 = 13.3 \text{ V}$$

La valeur obtenue équivaut au 3.3% de 400V.

Calcul pour longueurs jusqu'à 750 m, avec section de 70 mm<sup>2</sup>:

$$\Delta U = 35 \times 750 \times 1.73 \times [(0.328 \times 0.80) + (0.0965 \times 0.6)] / 1000 = 14.5 \text{ V}$$

La valeur obtenue équivaut au 3.6% de 400V.

Calcul pour longueurs jusqu'à 1'000 m, avec section de 95 mm<sup>2</sup>:

$$\Delta U = 35 \times 1'000 \times 1.73 \times [(0.236 \times 0.80) + (0.0975 \times 0.6)] / 1000 = 14.9 \text{ V}$$

La valeur obtenue équivaut au 3.75% de 400V.

Sur la base des résultats obtenus, une récapitulation des lignes dorsales prévues pour l'alimentation des TSR installés dans les abris est illustrée dans le tableau suivant:

depuis	jusqu'à	câble BT	depuis	jusqu'à	câble BT
ST 01	Abri 1	3.5x50 mm <sup>2</sup> +T	ST 20	//	//
ST 03	Abri 2	3.5x95 mm <sup>2</sup> +T	ST 18	Abri 4	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T
ST 03	Abri 3	3.5x50 mm <sup>2</sup> +T	ST 18	Abri 5	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T
ST 05	Abri 6	3.5x70 mm <sup>2</sup> +T	ST 16	Abri 8	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T
ST 05	Abri 7	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T	ST 16	Abri 9	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T
ST 07	Abri 10	3.5x70 mm <sup>2</sup> +T	ST 14	Abri 12	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T
ST 07	Abri 11	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T	ST 14	Abri 13	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T
ST 09	Abri 14	3.5x70 mm <sup>2</sup> +T	ST 12	Abri 16	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T
ST 09	Abri 15	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T	ST 12	Abri 17	3.5x50 mm <sup>2</sup> +T
ST 11	Abri 18	3.5x70 mm <sup>2</sup> +T	ST 10	Abri 20	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T
ST 11	Abri 19	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T	ST 10	Abri 21	3.5x50 mm <sup>2</sup> +T
ST 13	Abri 22	3.5x95 mm <sup>2</sup> +T	ST 08	Abri 24	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T
ST 13	Abri 23	3.5x50 mm <sup>2</sup> +T	ST 08	Abri 25	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T
ST 15	Abri 26	3.5x50 mm <sup>2</sup> +T	ST 06	Abri 28	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T
ST 15	Abri 27	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T	ST 06	Abri 29	3.5x70 mm <sup>2</sup> +T

ST 17	Abri 30	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T	ST 04	Abri 32	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T
ST 17	Abri 31	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T	ST 04	Abri 33	3.5x70 mm <sup>2</sup> +T
ST 19	//	//	ST 02	Abri 34	3.5x35 mm <sup>2</sup> +T

La section des câbles devra être de toute façon vérifiée en phase exécutive, en fonction d'une définition plus précise du bilan énergétique, des longueurs effectives des parcours et en coordination avec les caractéristiques d'intervention des dispositifs de protection installés en amont des lignes.

### 3.3.8 Parcours câbles BT

Dans les ST intérieures, plusieurs locaux techniques seront construits avec des caniveaux, multitubulaires sous le sol et faux plancher, pour permettre la pose des câbles de liaison entre les transformateurs et les TGBT et de ceux-ci à tous les autres appareils abrités dans la ST.

Les caniveaux seront reliés à la fois au réseau de fourreaux construit au dessous de la chaussée de la galerie et au chemin de câbles prévu en voûte.

Les fourreaux et le chemin de câbles seront de plus raccordés aux caniveaux des câbles prévus dans les abris.

Ces prédispositions, plus détaillées dans les dossiers et dans les plans des ouvrages de génie civil, permettent d'optimiser les conditions de pose des câbles, à avantage d'une plus grande protection du feu en cas d'incendie.

### 3.3.9 Compensation de phase

Cette phase du projet prévoit une installation de condensateurs de compensation de phase qui soient aptes à élever le facteur de puissance d'une valeur initiale présumée de 0.70 à une valeur idéale de 0.95.

Le maintien du facteur de puissance  $\cos\varphi$  à une valeur supérieure à 0.90 permet d'éliminer les charges financières pour les amendes que le Distributeur applique à cause de la consommation excessive d'énergie réactive.

Afin atteindre cet objectif, les interventions suivantes sont prévues:

- Compensation de phase de la distribution BT;
- Compensation de phase à vide des transformateurs.

La compensation de phase de la distribution BT devra tenir compte des caractéristiques de chaque appareil qui sera connecté au réseau électrique. En général, la plus grande partie des besoins prévus pour plusieurs équipements, en première approximation peuvent déjà être considérés compensés, à l'exception des moteurs des ventilateurs ou d'appareils analogues qui présentent une valeur de plaque avec  $\cos\varphi$  assez bas.

En conséquence, on prévoit pour chaque station technique et pour chaque abri, l'installation d'un tableau de compensation de phase automatique avec activation à niveaux, équipé de filtres pour les courants harmoniques injectés dans le réseau par les installations électroniques pour la gestion des équipements prévus.

Le choix de concentrer des batteries de condensateurs à l'origine de la distribution BT permet une meilleure gestion et entretien du système de compensation de phase.

Le dimensionnement de la compensation de phase amène à considérer une demande de puissance capacitive en fonction des valeurs de puissance engagées dans les stations techniques et dans les abris. Les puissances engagées de référence sont déduites de l'annexe 1 "Bilan de puissance". Par conséquent il en résulte que pour élever le facteur de puissance d'une valeur initiale supposée de 0.70 jusqu'à une valeur idéale de 0.95, il faut installer les tableaux de compensation de phase suivants:

- 1 tableau de 120 kVAR pour chaque station technique intérieure, en aval du TGBT;
- 1 tableau de 60 kVAR pour chaque station technique extérieure en aval du TGBT;
- 1 tableau de 300 kVAR pour chaque station technique ST 07-14 et 13-08, en aval du TGVE;
- 1 tableau de 15 kVAR pour chaque abri, en aval du TSR.

L'activation des batteries de condensateurs dans les tableaux prévus arrivera de façon automatique, sur la base de signaux de mesure de courant et de tension relevés en aval des transformateurs HT/BT.

Pour la compensation de phase à vide des transformateurs sera installée une batterie fixe de condensateurs dans le tableau TGBT, dimensionnée pour la taille effective du transformateur à compenser. En particulier sont prévues les puissances suivantes:

- Pour transformateur de 400 kVA: condensateurs de 5.9 kVAR;
- Pour transformateur de 630 kVA: condensateurs de 8.0 kVAR;
- Pour transformateur de 1'600 kVA: condensateurs de 18.9 kVAR.

### 3.3.10 Mise à la terre

L'ensemble de l'équipement d'alimentation électrique, aura un système de distribution de type TN-S.

Pour cette raison il sera réalisé une installation de mise à la terre constituée de:

- Installation de dispersion sur la plate-forme côté France, en correspondance du bâtiment ST 01-20;
- Installation de dispersion sur la plate-forme côté Italie, en correspondance du bâtiment ST 02-19-30;
- Réseau de connexion entre les deux installations de dispersion et toutes les ST.

La mise à la terre sur les plate-formes est prévue avec un déperditeur à mailles, apte à réduire le gradient du potentiel en cas de hors service côté HT et limiter donc les tensions de pas et de contact.

Comme déperditeur pourront être utilisés les fers d'armatures de bâtiment noyés dans la fondation du bâtiment.

Autour du bâtiment sera posé un anneau constitué par câble de cuivre nu de section égale à 35 mm<sup>2</sup>, enterré à une profondeur non inférieure aux 0.8 m.

L'anneau sera connecté aux déperditeurs verticaux en cuivre ou acier galvanisé, de longueur minimum de 1.50 m, qui devront être enfoncés en contact avec le terrain aux angles de la fondation, ainsi qu'au maillage d'armature de la structure du bâtiment en plusieurs points et à un collecteur de terre installé à l'intérieur de la station technique.

Les installations de dispersion seront connectées entre elles par un réseau de connexion prévu en corde de cuivre de 240 mm<sup>2</sup>, pour toute la longueur de la galerie.

Le réseau devra joindre entre eux toutes les ST. Dans ce but il est prévu, dans le local BT de chaque ST, un collecteur de terre à qui ils seront connectés:

- Le centre étoile des transformateurs;
- Le conducteur de protection PE qui arrive depuis la barre de terre des tableaux électriques de Basse Tension;
- Les conducteurs principaux d'équipotentiel et ceux supplémentaires.

#### **4. BASCULEMENT DES PHT VERS LES NOUVELLES ST**

##### **4.1 Objet**

Le chapitre en question traite le basculement des équipements existants qui alimentent les appareils électriques installés dans le tunnel routier.

Par la suite, la définition "*équipements*" se réfèrera à toutes les installations logées dans les locaux électriques (PHT), et destinées à l'alimentation, la transformation et la distribution de l'énergie électrique, telles que:

- Oes cellules 20kV (HT);
- Les transformateurs 20/0.4kV;
- Les tableaux basse tension;
- Les groupes "à temps zéro" et onduleurs.

Les équipements considérés concernent en particulier:

- Eclairage;
- Feux;
- Panneaux de communication;
- Appareils de relevé CO, opacité et anémomètres.

## 4.2 Limites d'intervention

Les équipements qui ne sont pas pris en considération dans le cadre de la partie électrique de ce dossier sont:

- Les équipements des PHT 23 et 24 des Postes de Contrôle et Commande situées sur les plate-formes extérieures (PCCF côté France et PCCI côté Italie), parce que sujets à un renouvellement imminent;
- Les équipements du PHT 27 en tête au puits de l'usine B, parce que déjà renouvelés récemment;
- Les équipements existants dans le PHT 29 du laboratoire IN2P3, pour subordonné à l'exploitation des Sociétés Concessionnaires;
- Les tableaux électriques de gestion et de protection de l'équipement de la ventilation du tunnel, situés dans les salles des ventilateurs des usines A, B, C et D;
- Les équipements terminaux, c'est-à-dire les installations d'éclairage, ventilateurs, feux, panneaux de signalisation, capteurs, etc., ainsi que les lignes d'alimentation et signalisations correspondantes.

## 4.3 Concepts de base

Compte tenu des objectifs exprimés dans le chapitre 1.2, la proposition est le renouvellement des équipements par la substitution de tous les appareils électriques avec de nouvelles installations apte à en améliorer la sûreté, la fonctionnalité et la gestion.

La possibilité de remplacer les installations en restant à l'intérieur des actuels PHT a été évaluée. Cette solution resterait de toute façon inefficace cependant par manque de place, difficulté d'exécution, limitations importantes à l'exploitation du tunnel et sûreté des équipements.

En conséquence, la substitution qui est proposée s'articule en deux modalités:

- Basculement des PHT vers les nouvelles ST;
- Substitution des composants électriques à l'intérieur des PHT dans les usines de ventilation A, B, C et D.



#### 4.4 Basculement des PHT vers les nouvelles ST

Au sujet des PHT à l'intérieur du tunnel (exclus ceux abrités dans les usines de ventilation) la substitution des installations est à considérer comme un basculement véritable: il s'agit en fait de déplacer les équipements de transformation et d'alimentation des installations des PHT actuels aux nouvelles stations techniques (ST) de la galerie de sécurité.

Dans le détail, les PHT considérés sont les suivants:

- PHT pairs: 04, 06, 10, 12, 16 et 18;
- PHT impairs: 03, 05, 09, 11, 15 et 17.

Pour utilité pratique, les nouvelles ST prendront la même numérotation que les PHT actuels (voir figure 1).

La condition essentielle pour le basculement des équipements est la disponibilité de la nouvelle galerie de sécurité, des locaux techniques correspondants et des chemins de câbles nécessaires entre les ST et les PHT, y compris les traversées des gaines d'air frais et d'air vicié du tunnel.

##### 4.4.1 Première phase - Préparation

La première phase représente la préparation aux opérations de basculement qui est dédiée:

- A l'étude de l'état actuel, nécessaire pour connaître en détail la situation existante des équipements installés dans le tunnel qui, par rapport à aujourd'hui, pourraient avoir subi des changements et/ou des modifications dans les années à venir;
- Au projet exécutif, avec le dimensionnement des nouveaux équipements à installer;
- A l'interface entre les courants forts et les courants faibles, en particulier en référence au système de commande et contrôle (GTC);
- A l'approvisionnement des matériaux, nécessaires pour éviter des pertes de temps dans les phases successives.

#### 4.4.2 Deuxième phase - Prédistribution réseau HT

Cette phase coïncide avec la période dédiée à l'installation des équipements dans la galerie de sécurité. En fait une partie des interventions (points 1 et 2) concerne exactement les travaux prévus dans le projet des équipements relatifs à la galerie même.

Les opérations prévues sont:

1. installation du nouveau réseau HT, avec pose des câbles le long de la galerie de sécurité, des tableaux HT et des transformateurs dans les ST;
2. liaison du réseau HT aux points de branchement ENEL et EDF;
3. connexion du réseau HT à la GTC et mise en service; le réseau HT existant du tunnel reste en exercice, pour garantir la continuité de fonctionnement des PHT;
4. installation, dans les ST, de nouveaux tableaux BT et des onduleurs dédiés aux équipements du tunnel.

#### 4.4.3 Troisième phase - Basculement alimentations PHT

En utilisant le nouveau réseau d'alimentation électrique prévu dans la galerie de sécurité, cette troisième phase a pour but de libérer de l'espace à l'intérieur des PHT, en éliminant les cellules HT et les transformateurs existants.

Les interventions à effectuer sont les suivantes:

1. réalisation d'une liaison provisoire depuis le nouveau transformateur de la ST jusqu'au tableau BT existant du PHT (tableau EC); la liaison est prévue avec une ligne électrique dimensionnée pour supporter la puissance globale du PHT entier;
2. mise hors-service du transformateur et des cellules HT et basculement correspondant; pour garantir la continuité de fonctionnement du réseau HT existant et donc l'exercice régulier des PHT qui ne sont pas encore sujets aux interventions en cours, les câbles 20kV provenant du PHT précédent et ceux vers le PHT successif sont raccordés dans la gaine d'air frais.

L'intervention décrite au point 1 de cette phase comporte une brève interruption de l'alimentation du seul PHT.

La mise hors service peut être limitée à un temps de l'ordre de 1-2 minutes. Avant de déconnecter l'alimentation à l'interrupteur général du tableau EC provenant du transformateur existant, il faudra que soit prédisposée, jusqu'aux bornes de l'interrupteur général installé dans le tableau EC, la ligne pour la liaison provisoire, dérivée par le nouveau transformateur de la ST.

Quand la ligne de la liaison provisoire sera mise hors service (cinquième phase), l'interrupteur de protection DS correspondant installé dans le tableau TGBT de la ST sera employé pour la fonction d'accouplement avec le TGBT de la ST adjacente, comme indiqué au paragraphe 7.3.3.

L'alimentation des installations sensibles et vitales est assurée, pendant l'intervention de commutation, par les onduleurs et le groupe à temps zéro GTO.

#### *4.4.4 Quatrième phase - Prédiposition BT*

C'est la phase préparatoire à exécuter avant le basculement des équipements. Dans les espaces libérés des PHT, sont installés les « tableaux borniers » nécessaires au basculement de l'alimentation, des anciens vers les nouveaux équipements, des équipements installés dans le tunnel.

Les travaux à exécuter sont les suivants:

1. installation dans le PHT de "tableau bornier" pour la liaison entre les anciens et les nouveaux équipements; la nécessité de ce tableau naît de l'exigence de pouvoir par la suite démanteler les anciens tableaux BT (EC, FS, PS, etc.) des PHT;
2. pose des "câbles BT de connexion", un pour chaque départ, de chaque ST au PHT correspondant; les câbles de connexion relient les nouveaux tableaux BT aux "tableaux bornier";
3. test de tension sur chaque circuit en arrivée au tableau borniers;
4. mise hors service du réseau HT du tunnel et par la suite démantèlement.

#### 4.4.5 Cinquième phase - Basculement

Il s'agit de la phase qui prévoit le basculement proprement dit des équipements, qu'il faut effectuer de façon graduelle et progressive.

Les câbles d'alimentation des équipements du tunnel sont déconnectés, un par un, de l'ancien tableau et reconnectés au "tableau borniers". Cette opération provoque une interruption d'alimentation des équipements du tunnel, mais aussi dans ce cas la mise hors service est limitée, pour chaque circuit, à quelque minute.

Au terme de cette opération la liaison provisoire décrite au point 1 de la troisième phase doit être enlevée. Par conséquent, les anciens tableaux BT et les groupes à temps zéro peuvent être démantelés et déplacés.

Pendant cette phase une "boîte de service" sera installée dans chaque PHT, apte à garantir le fonctionnement des équipements auxiliaires intérieurs au PHT, comme par exemple l'éclairage, les prises de courant, la ventilation auxiliaire dans les PHT pairs, etc.

#### 4.4.6 Sixième phase - Exercice

C'est la phase finale: tous les appareils d'alimentation et de protection des équipements du tunnel, installés auparavant dans les PHT, sont maintenant logés dans les nouvelles ST de la galerie de sécurité.

La fonction des PHT, "vidés" des anciennes installations, se limite à la *liaison* entre le tunnel et la galerie de sécurité.

Après la mise en service, cette phase se termine avec les essais globaux de fonctionnement, dans le but de vérifier le bon fonctionnement des équipements soit en modalité « local » soit en modalité « à distance », depuis les postes de contrôle et commande.

## 4.5 Substitution des composants électriques dans les usines de ventilation

### 4.5.1 Description

Dans le cadre de la construction de la galerie de sécurité sont aussi prévus, auprès des quatre usines de ventilation A, B, C et D du tunnel, de nouveaux emplacements pour la réalisation des stations techniques.

Dans le détail il s'agit des ST suivantes:

- ST01 et ST20, situées à l'entrée côté France, près de l'usine A;
- ST07 et ST14, situées dans la galerie, près de l'usine B;
- ST13 et ST08, situées dans la galerie, près de l'usine C;
- ST19 et ST02, situées à l'entrée côté Italie, près de l'usine D.

Cependant ces ST, par suite des choix de projet et de gestion de l'exploitation, ne sont pas destinées à accueillir les équipements HT et BT des PHT actuels; le renouvellement des équipements installés dans ces PHT correspond en fait à une substitution pure des appareils installés, sans en prévoir le basculement en d'autres locaux. En particulier il s'agit de:

- PHT 01, 20 et 21 (dans l'usine de ventilation A);
- PHT 07 et 14 (dans l'usine de ventilation B);
- PHT 08, 13 et 28 (dans l'usine de ventilation C);
- PHT 02, 19 et 22 (dans l'usine de ventilation D).

La substitution des appareils est possible par la disponibilité d'espace constatée sur place, compte tenu des installations actuelles, reportées dans les plans en annexes de 6145.2-P-223 à 6145.2-P-228, et de celles prévues dans le prochain avenir par la réalisation du nouveau équipement de ventilation forcée des abris existants.

### 4.5.2 Modalités d'intervention

La substitution des composants électriques sera possible en intervenant singulièrement dans un seul PHT par fois.

L'intervention demande une interruption temporaire de l'alimentation électrique au PHT intéressé ; l'interruption sera limitée au minimum indispensable, pour réduire au maximum la défaillance.

La configuration du réseau HT (anneau ouvert) permet de gérer l'interruption temporaire de l'alimentation par :

- L'ouverture des interrupteurs 20kV placés dans les PHT en amont et en aval du PHT sujet à l'intervention ;
- L'alimentation de toute la partie restante du réseau HT par un seul fournisseur (EDF ou ENEL) avec l'interruption de l'alimentation par l'autre fournisseur et la fermeture de l'interrupteur 20kV placé à l'origine de l'artère, dans le PHT 21 ou dans le PHT 22.

De tout façon il sera nécessaire d'assurer l'alimentation aux utilisateurs essentiels du PHT intéressés (éclairage de l'usine, systèmes de sécurité, etc.) qui peuvent être liés à des tableaux provisoires, tout d'abord alimentés par les groupes à temps zéro et en suite par les onduleurs.

#### *4.5.3 Interventions particulières*

Le PHT 21 dans l'usine A et le PHT dans l'usine D seront sujets aux interventions de substitution avec les mêmes modalités sus-mentionnées.

Cependant il est important de considérer que PHT 23 est lié au PHT 21, comme à le PHT 24 est lié au PHT 22.

Les PHT 23 et 24 alimentent les équipements des bâtiments extérieurs et des plateformes aux têtes du tunnel.

Pendant l'interruption de l'alimentation aux PHT 21 et 22, une liaison provisoire à 20kV aux PHT 23 et 24 est nécessaire, qui pourra être effectué par l'alimentation du chantier.

#### **4.6 Conditions requises pour la réalisation**

À la date de ce projet, une analyse de l'évolution des équipements du tunnel amène à considérer la réalisation d'ajustements, modifications et intégrations à plusieurs installations que les Sociétés Concessionnaires ont juste donnée en adjudication ou attribueront par adjudication à bref et moyen délai.

Sur cette base, il est indispensable que avant d'exécution du basculement des PHT vers les nouvelles ST, en phase exécutive soit élaborée une documentation relative

à l'état de fait des équipements existants du tunnel, qui permet d'identifier le réseau électrique entier et les appareils correspondants, avec des schémas électriques détaillés des tableaux HT et BT et de toutes les connexions existantes avec les équipements et avec la GTC.

La documentation qui devra décrire la situation des équipements existants au moment précédant immédiatement les travaux de basculement / substitution, constituera la base nécessaire pour une correcte exécution des interventions.

## **5. INTERFACES AVEC LES AUTRES EQUIPEMENTS**

### **5.1 Interfaces sur terrain**

L'équipement en objet est interfacé au niveau terrain avec tous les équipements connectés aux tableaux basse tension dans les ST, dans les abris et dans les PHT, vers lesquels est fournie l'alimentation électrique. Pour la transmission des signaux d'état et la réception des signaux de commande, l'équipement est interfacé avec le système de Gestion Technique Centralisé GTC.

Pendant la phase de basculement depuis les PHT vers les ST, une coordination avec les opérations de renouvellement de la GTC est nécessaire, et prévoit en même temps le passage des appareils des anciens aux nouveaux locaux techniques.

### **5.2 Interfaces au niveau supérieur**

L'équipement d'alimentation électrique est interfacé avec le système de Gestion Technique Centralisé GTC qui devra gérer les commandes à distance des interrupteurs motorisés du réseau HT et des tableaux BT.

### **5.3 L'acquisition et gestion des données**

Les données du réseau d'alimentation électrique que la GTC devra gérer, sont les suivants:

- Alertes, commandes et état des dispositifs de sectionnement pour la protection de l'HT;
- Alertes et état des dispositifs de sectionnement TGBT/TGBTS/TGVE;
- Alertes pannes aux parafoudres;
- Alertes et état du dispositif UPS;
- Mesures du TGBT;
- Mesures des analyseur du réseau.

## 6. LIMITE DE FOURNITURE ET D'INTERVENTION

### 6.1 Limites de fourniture

#### 6.1.1 Galerie de sécurité

Pour la galerie de sécurité, la fourniture comprend tous les composants et accessoires nécessaires au complet fonctionnement des appareils suivants:

- Cellules HT à installer dans les ST;
- Réseau de câbles HT;
- Transformateurs HT/BT à installer dans les ST;
- Tableaux électriques généraux BT dans les ST (TGBT et TGBTS) et dans les abris (TSR);
- Onduleurs dans les ST;
- Lignes dorsales de distribution BT depuis les ST jusqu'aux abris.

Sont exclus les tableaux électriques de régulation des ventilateurs d'aspiration des fumées et les tableaux électriques qui correspondent aux équipements suivants:

- GTC;
- Transmission de données;
- Contrôle accès;
- Radio;
- Vidéo-surveillance;
- Détection incendie;
- Réseau d'appel d'urgence RAU;
- Diffusion sonore.



### 6.1.2 Tunnel

Pour le déplacement des PHT vers les ST, la fourniture comprend tous les composants et accessoires nécessaires au complet fonctionnement des appareils suivants:

- Cellules HT dans les usines de ventilation du tunnel;
- Transformateurs HT/HT et HT/BT dans les usines de ventilation du tunnel;
- Tableaux électriques généraux BT et onduleurs dans les ST et dans les usines de ventilation du tunnel;
- Tableaux borniers dans les PHT du tunnel;
- Câbles de connexion entre les PHT du tunnel et les ST de la galerie.

Il est de plus prévu le démantèlement et le déplacement des appareils existants dans les PHT et dans les usines de ventilation du tunnel, de la même façon que le réseau HT actuel transitant le long de la gaine d'air frais.

Sont exclus la fourniture les équipements énumérés au paragraphe 4.2.

## 6.2 Limites d'intervention

La limite d'intervention se termine au bornier de connexion dans les tableaux électriques BT, sur lesquels seront reliés les câbles électriques d'alimentation de chaque équipement exclus de ce projet (voir énumération au paragraphe 6.1.1).

## 7. CALENDRIER DE RÉALISATION PRÉVISIBLE

### 7.1 Galerie de sécurité

#### 7.1.1 Général

Le temps disponible pour les installations est de 14 mois à partir de la conclusion des travaux de génie civil prévues dans la deuxième moitié du 2011.

Le programme détaillé des travaux sera défini en phase exécutive en coordination avec la Maitrise d'Oeuvre et les entreprises exécutantes des autres équipements.

Pour l'intégration et la mise en œuvre des neufs équipements de la galerie de sécurité et pour le transfert des équipements des PHT existants vers les neuves ST, il est nécessaire une coordination des singles phases pour éviter des interférences avec la gestion du tunnel.

### *7.1.2 Mise en service*

La mise en service de l'équipement sera effectuée à la fin de l'installation selon les modalités définies dans le cahier des charges dans un délai de 2 mois, après l'échéance des 14 mois prévus pour les installations.

L'entrepreneur devra en plus collaborer à l'exécution des essais globaux de fonctionnement de l'ensemble des équipements de la galerie de sécurité et du tunnel qui se dérouleront pendant les 3 mois suivants la mise en service.

La mise en exercice de la galerie de sécurité est prévue en 2013.

## **7.2 Basculement des PHT vers les ST**

### *7.2.1 Préparation*

Cette activité comprend les études, la réalisation du projet exécutif et l'approvisionnement en matériel.

La préparation se déroulera pendant la construction de la galerie de sécurité, pendant une période de deux ans.

### *7.2.2 Exécution*

Cette activité concerne les opérations de basculement des équipements, les essais et la mise en service.

L'exécution se déroulera pendant l'installation des équipements dans la galerie de sécurité.