

# LIASON LYON - TURIN / COLLEGAMENTO TORINO - LIONE

Partie commune franco-italienne  
Section transfrontalière

Parte comune italo-francese  
Sezione transfrontaliera

## NOUVELLE LIGNE LYON TURIN – NUOVA LINEA TORINO LIONE PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE – PARTE COMUNE ITALO-FRANCESE

REVISION DE L'AVANT-PROJET DE REFERENCE – REVISIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO  
CUP C11J05000030001

### EQUIPEMENTS – IMPIANTI

ÉQUIPEMENTS DE SÉCURITÉ – IMPIANTI DI SICUREZZA  
GÉNÉRALITÉS – GENERALE  
GENERALITES – ELABORATI GENERALI

### CARACTERISTIQUES DES PORTIQUES THERMOGRAPHIQUES – RELAZIONE TECNICA CARATTERISTICHE DEI PORTALI TERMOGRAFICI

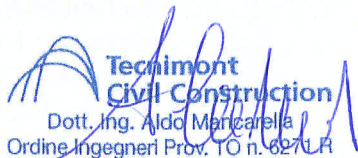
Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérfifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	Novembre 2012	Emission pour vérification C2B et validation C3.0 / Emissione per la verifica C2B e la validazione C3.0	B. PAQUET (SETEC)	M. PIHOUEE C. OGNIBENE	M. FORESTA M. PANTALEO
A	Décembre 2012	Emissione a seguito commenti LTF / CCF	B. PAQUET (SETEC)	M. PIHOUEE C. OGNIBENE	M. FORESTA M. PANTALEO
B	08/02/2013	Emissione a seguito commenti LTF / CCF	B. PAQUET (SETEC) R. DESCLODURE	M. PIHOUEE C. OGNIBENE	M. FORESTA M. PANTALEO

CODE DOC	P	D	2	C	2	B	T	S	3	1	5	9	1	B
	Phase / Fase		Sigle étude / Sigla			Émetteur / Emittente			Numero			Indice		

A	P	N	O	T
Statut / Stato		Type / Tipo		

ADRESSE GED INDIRIZZO GED	C2B	//	//	50	00	00	10	02
------------------------------	-----	----	----	----	----	----	----	----

ECHELLE / SCALA
-

  
Technimont  
Civil Construction  
Dott. Ing. Aldo Mancarella  
Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271/R



LTF sas – 1091 Avenue de la Boisse – BP 80631 – F-73006 CHAMBERY CEDEX (France)  
Tél. : +33 (0)4.79.68.56.50 – Fax : +33 (0)4.79.68.56.75  
RCS Chambéry 439 556 952 – TVA FR 03439556952  
Propriété LTF Tous droits réservés – Proprietà LTF Tutti i diritti riservati

Ce projet est cofinancé par l'Union européenne (DG-TREN)



Questo progetto è cofinanziato dall'Unione europea (TEN-T)



## SOMMAIRE / INDICE

RESUME/RIASSUNTO .....	6
1. INTRODUCTION .....	7
2. GLOSSAIRE .....	8
3. PRESENTATION DU SYSTEME DES PORTIQUES THERMOGRAPHIQUES.....	8
3.1 Généralités .....	8
3.2 Objectif du système .....	8
3.3 Topologie et géométrie des ouvrages .....	8
3.4 Cadre réglementaire.....	9
3.4.1 Directives européennes et normes STI.....	9
3.4.2 Règles CIG.....	9
3.4.3 Autres normes .....	9
3.5 Recensement des contraintes et performances.....	10
3.5.1 Contraintes .....	10
3.5.1.1 Contraintes de sécurité .....	10
3.5.1.2 Contraintes d'environnement.....	10
3.5.1.3 Contraintes d'exploitation et de maintenance.....	10
3.5.1.4 Contraintes de réalisation.....	11
3.5.2 Performances.....	12
4. ANALYSE DES TECHNOLOGIES.....	13
4.1 Senseur infrarouge .....	13
4.1.1 Technologie microbolométrique .....	14
4.1.1.1 Description .....	14
4.1.1.2 Avantages.....	14
4.1.1.3 Inconvénients .....	14
4.1.2 Technologie pyroélectrique.....	14
4.1.2.1 Description .....	15
4.1.2.2 Avantages.....	15
4.1.2.3 Inconvénients .....	15
4.1.3 Technologie photonique.....	15
4.1.3.1 Description .....	15
4.1.3.2 Avantages.....	15
4.1.3.3 Inconvénients .....	15
4.1.4 Synthèse .....	16
5. ETUDE DE L'ARCHITECTURE ET ANALYSE FONCTIONNELLE.....	16
5.1 Architecture .....	16
5.1.1 Sécurité.....	16
5.1.2 Capteurs .....	17
5.1.3 Portiques.....	18
5.1.4 Câbles de transmission et d'alimentation électrique.....	20
5.1.5 Système de traitement .....	20
5.1.6 Interfaces.....	21
5.2 Analyse fonctionnelle .....	22

5.2.1	Equipement de terrain .....	22
5.2.2	Traitement local déporté au PCC .....	22
5.2.3	GTF .....	23
6.	SYNOPTIQUE D'IMPLANTATION DES DETECTEURS, SCHEMA D'ARCHITECTURE, PLAN DE DETAILS .....	23
6.1	Architecture générale .....	23
7.	SYNOPTIQUE D'IMPLANTATION DES DETECTEURS, SCHEMA D'ARCHITECTURE, PLAN DE DETAILS .....	25
7.1	Portiques .....	25
7.2	Senseur thermographique .....	26
8.	ELEMENTS DE MISE EN ŒUVRE ET DE MAINTENANCE .....	26
8.1	Mise en œuvre.....	27
8.1.1	Description .....	27
8.2	Maintenance.....	27
8.2.1	Préventive.....	28
8.2.2	Corrective.....	28
8.2.3	Rénovation ou maintenance extraordinaire.....	28
9.	BILAN DE PUISSANCE.....	28
10.	ANNEXES.....	29
10.1	Annexe 1 .....	30
10.2	Annexe 2 .....	30
10.3	Annexe 3 .....	33
	RIASSUNTO .....	39
1.	INTRODUZIONE .....	40
2.	GLOSSARIO.....	41
3.	PRESENTAZIONE DEL SISTEMA DEI PORTALI TERMOGRAFICI.....	41
3.1	Generalità.....	41
3.2	Obiettivo del sistema .....	41
3.3	Topologia e geometria delle opere.....	41
3.4	Quadro normativo .....	42
3.4.1	Direttive europee e norme STI.....	42
3.4.2	Norme CIG.....	42
3.4.3	Altre norme .....	42
3.5	Verifica dei vincoli e delle prestazioni .....	43
3.5.1	Vincoli.....	43
3.5.1.1	Vincoli di sicurezza.....	43
3.5.1.2	Vincoli ambientali.....	43
3.5.1.3	Vincoli di gestione e manutenzione .....	43
3.5.1.4	Vincoli di realizzazione.....	44
3.5.2	Prestazioni.....	45
4.	ANALISI DELLE TECNOLOGIE .....	46
4.1	Sensore infrarossi.....	46
4.1.1	Tecnologia microbolometrica .....	47
4.1.1.1	Descrizione.....	47
4.1.1.2	Vantaggi.....	47

4.1.1.3	Inconvenienti.....	47
4.1.2	Tecnologia piezoelettrica .....	47
4.1.2.1	Descrizione.....	47
4.1.2.2	Vantaggi.....	48
4.1.2.3	Inconvenienti.....	48
4.1.3	Tecnologia fotonica.....	48
4.1.3.1	Descrizione.....	48
4.1.3.2	Vantaggi.....	48
4.1.3.3	Inconvenienti.....	48
4.1.4	Sintesi.....	48
5.	STUDIO DELL' ARCHITETTURA E ANALISI FUNZIONALE.....	49
5.1	Architettura .....	49
5.1.1	Sicurezza .....	49
5.1.2	Sensori.....	49
5.1.3	Portali .....	51
5.1.4	Cavi di trasmissione e alimentazione elettrica .....	53
5.1.5	Sistema di elaborazione .....	53
5.1.6	Interfaccia.....	53
5.2	Analisi funzionale .....	55
5.2.1	Attrezzature di terra .....	55
5.2.2	Elaborazione locale trasferita sul PCC.....	55
5.2.3	GTF .....	55
6.	SINOTTICO DI INSTALLAZIONE DEI RILEVATORI, SCHEMA DELL' ARCHITETTURA, PIANO DETTAGLI .....	56
6.1	Architettura generale .....	56
7.	SINOTTICO DI INSTALLAZIONE DEI RILEVATORI, SCHEMA DELL' ARCHITETTURA, PIANO DETTAGLI .....	58
7.1	Portali.....	58
7.2	Sensore termografico .....	58
8.	ELEMENTI DI REALIZZAZIONE E MANUTENZIONE .....	59
8.1	Realizzazione .....	60
8.1.1	Descrizione.....	60
8.2	Manutenzione .....	60
8.2.1	Preventiva.....	61
8.2.2	Correttiva .....	61
8.2.3	Rinnovo o manutenzione straordinaria .....	61
9.	BILANCIO DI POTENZA.....	61
10.	ALLEGATI.....	62
10.1	Allegato 1.....	62
10.2	Allegato 2.....	63
10.3	Allegato 3.....	66

### LISTE DES FIGURES / INDICE DELLE FIGURE

<b>Figure 1</b>	– Exemple de profil thermographique .....	16
<b>Figure 2</b>	- Principe d'implantation des capteurs .....	17
<b>Figure 3</b>	- Compréhension du besoin en entraxe minimum .....	19

<b>Figure 4</b> – Exemple de portique avec la mise en place des deux systèmes (Thermographique et gabarit).....	19
<b>Figure 5</b> - Architecture générale par portique .....	24
<b>Figure 6</b> - Schéma d'architecture générale du système thermographique.....	24
<b>Figura 7</b> – Esempio di profilo termografico.....	49
<b>Figura 8</b> - Principio di installazione dei sensori.....	50
<b>Figura 9</b> - Comprendere la necessità di una distanza minima.....	52
<b>Figura 10</b> – Esempio di portale con l'installazione di due sistemi (Termografico e sagoma).....	52
<b>Figura 11</b> - Architettura generale per portale .....	57

## LISTE DES TABLEAUX / INDICE DELLE TABELLE

<b>Tableau 1</b> - Bilan de puissance.....	29
<b>Tableau 2</b> – Technologies retenues .....	30
<b>Tableau 3</b> - Influences externes.....	31
<b>Tableau 4</b> – Conditions d'environnement .....	33
<b>Tabella 5</b> - Bilancio di potenza.....	62
<b>Tabella 6</b> – Tecnologie selezionate .....	63
<b>Tabella 7</b> - Influenze esterne .....	64
<b>Tabella 8</b> – Condizioni ambientali .....	66

## RESUME/RIASSUNTO

La section transfrontalière de la partie commune de la nouvelle ligne ferroviaire Lyon – Turin comprend les ouvrages suivants :

- Les raccordements à la ligne historique de Saint Jean de Maurienne
- La gare internationale de Saint Jean de Maurienne
- Le site de sécurité et de maintenance de Saint Jean de Maurienne
- Le tunnel de base
- La gare internationale de Suse
- Le site de sécurité et de maintenance de Suse
- Le tunnel d'interconnexion
- Les raccordements à la ligne historique de Bussoleno.

Afin d'alerter le PCC pour que des mesures d'exploitation et/ou de sécurité soient prises dans les meilleurs délais, différents systèmes surveillent les parties ferroviaires et non ferroviaires de cette zone.

Les portiques thermographiques ont pour objectif de détecter tout point anormalement chaud sur le matériel roulant afin de pouvoir arrêter le train avant son entrée dans les tunnels.

Ils sont constitués de détecteur de chaleur scrutant toute la périphérie des trains, et ils sont positionnés sur les voies (ligne nouvelle et ligne historique) permettant l'accès aux tunnels de la zone LTF.

Leurs structures métalliques (portique) supportent aussi les détecteurs de gabarit.

La sezione transfrontaliera della parte comune della nuova linea ferroviaria Torino – Lione comprende le opere seguenti :

- I raccordi alla linea storica di Saint Jean de Maurienne
- La stazione internazionale di Saint Jean de Maurienne
- Il sito di Saint Jean de Maurienne
- Il tunnel di base
- La stazione internazionale di Susa
- Il sito di Susa
- Il tunnel di interconnessione
- I raccordi alla linea storica di Bussoleno.

Allo scopo di dare l'allarme alla PCC per che misure di esercizio e/o di sicurezza siano adottate entro i migliori termini, vari sistemi sorvegliano le parti ferroviarie e non ferroviarie di questa zona.

I portici termografici si prefiggono di rilevare ogni punto anormalmente caldo sul materiale rotabile per potere fermare il treno prima della sua entrata nei tunnel.

Sono costituiti da rivelatore di calore che esplora tutta la periferia dei treni, e sono piazzati su binari (linea nuova e linea storica) che permettono l'accesso ai tunnel della zona LTF.

Le loro strutture metalliche (portale) supportano anche i rivelatori di sagoma.

## 1. Introduction

Les gouvernements Italiens et Français ont décidé d'engager la réalisation d'une ligne ferroviaire nouvelle entre Lyon et Turin. Ce projet consiste au premier chef en l'aménagement d'un itinéraire Fret performant pour la traversée des Alpes, destiné notamment à limiter les trafics routiers transitant par ces zones écologiquement sensibles.

Cette nouvelle liaison comportera également une dimension voyageurs importante, dans la mesure où elle reliera les réseaux grande vitesse Français et Italien offrant ainsi des temps de parcours réduits entre deux régions frontalières attractives que sont le Piémont et la Savoie.

Bien que constituée de trois sections distinctes, dont deux nationales, seule la partie commune franco-italienne dite « internationale » entre Saint-Jean de Maurienne et Bussoleno est l'objet de notre étude.

La section ainsi considérée aura une longueur totale d'environ 67km et les principaux ouvrages la constituant seront les suivants :

- Les raccordements à la ligne historique de Saint Jean de Maurienne,
- La gare internationale de Saint Jean de Maurienne,
- Le site de sécurité et de maintenance de Saint Jean de Maurienne,
- Le tunnel de base de 57km, comprenant :
  - La descenderie de Saint Martin la Porte,
  - La descenderie de La Praz,
  - Le site de sécurité souterrain de La Praz,
  - Le puits de ventilation d'Avrieux,
  - La descenderie de Modane,
  - Le site de sécurité souterrain de Modane,
  - Le puits de ventilation de Clarea,
  - Le site de sécurité souterrain de Clarea,
  - La galerie de Maddalena,
- La gare internationale de Suse,
- Le site de sécurité et de maintenance de Suse,
- Le tunnel d'interconnexion d'une longueur de 2km,
- Les raccordements à la ligne historique de Bussoleno.

L'exploitation de la section internationale sera réalisée au moyen de deux Postes de Commande Centralisé (PCC) : 1 PCC à Saint Jean de Maurienne et 1 PCC à Suse. L'un des deux est actif, l'autre en stand-by.



## 2. Glossaire

C2	Câble non propagateur de flammes
CIG	Commission InterGouvernementale franco-italienne
CR1/C1	Câble résistant au feu et non propagateur de l'incendie
GTF	Gestion Technique Ferroviaire
IK	Indice de résistance au chocs mécaniques
IP	Indice de Protection
LTF	Lyon Turin Ferroviaire
MTBF	Mean Time Between Failures
PCC	Poste de Commande Centralisé
RFF	Réseau Ferré de France
RFI	Rete Ferroviaria Italiana
SIL	Security Integrity Level
STI	Spécifications Techniques d'Interopérabilité
TGBT	Tableau Général Basse Tension
UIC	Union Internationale de Chemins de fer

## 3. Présentation du système des portiques thermographiques

Nous présenterons, ici, le portique thermographique installé au titre des équipements de sécurité. Pour cela, après avoir resitué le système dans son contexte, et énoncé ses objectifs, nous porterons attention aux ouvrages et cadres réglementaires l'influençant. Enfin, nous listerons les contraintes auxquelles il est soumis et les performances à atteindre.

### 3.1 Généralités

En transportant les camions par rail, les risques d'échauffements sont au moins identiques à ceux répertoriés par les sociétés d'exploitation d'autoroutes. Ces points chauds peuvent se transformer en incendie entre le chargement des camions et l'entrée du train dans le tunnel.

Les portiques thermographiques viennent compléter les équipements de sécurité mis en œuvre en amont des tunnels. L'étude concerne ici la détection de points anormalement chauds sur le matériel roulant.

Ce type d'équipement n'existe qu'à l'état de prototype, nous essayerons de le définir à partir de technologies existantes sans pouvoir nous baser sur le retour d'expérience d'un système.

### 3.2 Objectif du système

L'objectif du système sera de détecter, suffisamment tôt, tout point anormalement chaud sur le matériel roulant afin de pouvoir arrêter le convoi avant son entrée dans les tunnels.

### 3.3 Topologie et géométrie des ouvrages

Les ouvrages ayant un impact sur les portiques thermographiques seront :

- L'implantation des voies des lignes historiques et nouvelles au niveau des lieux d'installation,

- Les accès possibles des lignes historique et nouvelle à la zone LTF,
- Les ouvrages de Génie Civil (tunnels) présents sur les voies en dehors des tunnels principaux.

### 3.4 Cadre réglementaire

Le présent paragraphe recense les différentes réglementations, normes et standards en Europe, en Italie, en France et à l'international ayant un impact sur l'étude des portiques thermographiques.

La priorité d'application des règles retenues pour ce projet sera conforme à la Soumission 37 relative aux principes du cadre réglementaire de la sécurité (§2.5 Hiérarchie de normes) :

- Les directives européennes et les normes STI s'appliquent prioritairement au projet,
- A défaut, les règles édictées par la CIG priment ensuite sur les règles nationales. La CIG peut édicter des règles plus sévères que les directives européennes et normes STI sauf pour le matériel roulant,
- A défaut de directive européenne, de norme STI ou de règle de la CIG, la norme nationale la plus sévère s'applique, sous réserve du maintien de la cohérence d'ensemble des dispositions.

Les règles sont les mêmes sur l'ensemble de la partie commune (c'est à dire dans les deux tunnels de Base et Interconnexion).

#### 3.4.1 Directives européennes et normes STI

Dans ce paragraphe nous listons l'ensemble des normes et directives européennes ainsi que les spécifications techniques d'interopérabilité.

- Spécifications Techniques d'Interopérabilité reprises par les décisions suivantes du Conseil Européen : 2002/730/CE, 2002/731/CE, 2002/732/CE, 2002/733/CE, 2002/734/CE, et 2002/735/CE,
- Directive du Conseil Européen n°96/48/CE (relative à l'interopérabilité ferroviaire grande vitesse en matière de sécurité),
- Directive du Conseil Européen n° 73/23/EEC : « Directive basse tension ».

#### 3.4.2 Règles CIG

Après avoir listé les règlements européens, qui sont prépondérants sur les autres, nous recensons les critères dictés par la CIG et applicables aux portiques thermographiques.

Aucun critère CIG n'est applicable pour les portiques thermographiques.

#### 3.4.3 Autres normes

Enfin, après les règlements européens et ceux de la CIG, nous listons ici les règles nationales et internationales qui ne rentrent pas dans les deux premières catégories.

- Codes du travail français et italien,
- Code UIC 779-9 : « Sécurité dans les tunnels ferroviaires »,
- CEI 364-3 : "Installations électriques des bâtiments – détermination des caractéristiques générales"
- EN 61587-1 : "essais climatiques, mécaniques et aspects de sécurité",
- EN 61587-3 : "essais de fonctionnement du blindage électromagnétique".
- CEI 61508 : Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/ électroniques et électroniques programmables.

### **3.5 Recensement des contraintes et performances**

Après avoir énoncé les généralités sur les portiques thermographiques et considéré les ouvrages et règlements le contraignant, nous recensons les contraintes physiques auxquelles celui-ci est soumis puis nous listons les performances à atteindre.

#### **3.5.1 Contraintes**

Par soucis de clarté, les contraintes ont été séparées en plusieurs points. Pour commencer, nous analysons les contraintes dictées dans un souci de sécurité, suivies de l'environnement dans lequel est installé le système, puis celles liées à l'exploitation et la maintenance de l'ouvrage et enfin celles de réalisation et d'évolutivité.

##### **3.5.1.1 Contraintes de sécurité**

- Contraintes fonctionnelles

Le lot A2, relatif aux études fonctionnelles de sécurité, stipule, pour les portiques thermographiques, une détection avant l'entrée des tunnels.

- Sécurité des biens et des personnes

Une flamme sera considérée comme un point chaud.

##### **3.5.1.2 Contraintes d'environnement**

- De chaque côté des tunnels, les contraintes d'environnement seront celles d'une vallée alpine à une altitude de 600 m,
- Les vibrations engendrées par le passage du train seront importantes,
- Le tableau des influences externes tiré de la CEI 364-3 est joint en Annexe 2.

##### **3.5.1.3 Contraintes d'exploitation et de maintenance**

- Exploitation
  - o Les vitesses des trains de fret et d'autoroute ferroviaire seront comprises entre 100 et 120 km/h,

- o La vitesse des trains à grande vitesse (TGV et ETR) sera de 220 km/h,
- o Un sens de circulation est affecté par voie mais occasionnellement, les voies pourront être utilisées dans les deux sens,
- o Le pantographe génèrera des arcs électriques,
- o Les matières dangereuses admises au RID, le seront également dans la zone LTF. Ceci impliquera l'admissibilité des matières dangereuses des catégories B à E,
- o Les trains auront besoin au maximum de 3400 m pour s'arrêter,
- o Les camions pouvant être stockés en plein air, certaines parties peuvent capter différemment la chaleur, en fonction de leur couleur et du matériau les constituant, provoquant ainsi des impressions d'échauffement local.

- Maintenance

A des fins de clarification, nous précisons les notions suivantes :

« Par maintenance préventive, on entend un type de maintenance exécuté à des intervalles prédéterminés ou en accord avec des critères prescrits et qui vise à réduire les probabilités de panne ou la dégradation du fonctionnement d'une entité.

Par maintenance corrective on entend la maintenance exécutée suite à la constatation d'une panne et qui vise à remettre une entité dans un état la rendant à nouveau capable d'exécuter la fonction demandée.

Par maintenance exceptionnelle, on entend une action entreprise volontairement pour améliorer la fiabilité et/ou renforcer l'infrastructure au moyen d'interventions qui augmentent la valeur du patrimoine. ».

Pour la ligne nouvelle, la maintenance sera prévue 4h par nuit sur tout ou partie de l'une des deux voies.

La maintenance sera prévue 2h par voie, successivement sur chacune des voies, en période de jour, pour la ligne historique.

- o Corrective :

Toutes les pièces nécessaires à la maintenance devront être disponibles sur 15 ans.

- o Exceptionnelle :

Le système ne pourra être remplacé qu'après au moins 15 années d'exploitation.

### **3.5.1.4 Contraintes de réalisation**

- Installation

- o Sur les portions à l'air libre, les rails seront posés sur ballast. Il est à noter que celui-ci s'affaisse avec le temps et le passage des trains.
- o Les portiques de détection de points chauds par thermographie devront être installés sur les 2 voies. Afin que le système puisse être opérant sur chaque train même lors du croisement de deux trains, l'entraxe, c'est à dire la distance entre les deux voies, est une contrainte pour notre système.

- o Le comportement des trains diffère lors de la prise d'un virage, ou plus généralement d'un dévers de la voie, à cause de différents paramètres tels que la vitesse de passage, état des suspensions, la dissymétrie du train ou de son chargement... La mesure sur le gabarit ne pourra pas s'adapter à tous ces paramètres. Le système sera donc contraint par les dévers et déclivités présents sur le projet.

### 3.5.2 Performances

Après avoir regardé les différentes contraintes auxquelles sont soumis les portiques thermographiques, nous établissons ici les performances que celui-ci doit atteindre. Celles-ci ont été séparées en six points.

Nous verrons d'abord les performances générales puis celles liées à la précision de la mesure suivie de celles d'exploitation, de maintenance, de fiabilité et de disponibilité

- Généralités

Le système de détection de point chaud par portiques thermographiques devra satisfaire à l'ensemble des contraintes énoncées précédemment.

- Précision de la mesure

- o Le système ne sera dimensionné pour détecter les points chauds que sur les trains de fret et d'autoroute ferroviaire,
- o Le système devra pouvoir détecter des points chauds allant de 50 kW à 50 MW,
- o Le système devra pouvoir détecter une flamme (considérée comme un point chaud) avec les mêmes performances que celles exigées pour le détecteur de flammes en tube ferroviaire, à savoir, détecter l'apparition d'une flamme de 5 cm de hauteur et se déplaçant à une vitesse de 160 km/h,
- o Le système devra pouvoir détecter un point chaud sur l'ensemble de la circonférence du train,
- o Le système devra être capable de déterminer si un point chaud est normal ou pas en fonction de son emplacement sur le convoi (par exemple motrice, turbo de refroidissement des camions frigorifiques),
- o Le système devra pouvoir être sensible à des variations de température de 1 K.

- Exploitation

Le système devra déclencher une alarme au plus tard 1 min 30 secondes après qu'un point chaud est été détecté par le portique

- Maintenance

- o Préventive :

Le temps entre deux maintenances préventives ne saura être inférieur à 3 mois.

- o Corrective :

Les pièces changées lors d'une maintenance corrective seront en mesure de fonctionner pendant au moins un an.

- **Fiabilité**
  - Une fois la période d'essais terminée, produire au maximum une fausse alarme toutes les 1 000 alarmes générées,
  - Le système devra être insensible à la chaleur dégagée par des bâches de camions restées au soleil.
  
- **Disponibilité**
  - Les équipements du portique situés sur la ligne nouvelle seront au plus indisponibles 4h la nuit tous les deux jours. Les équipements du portique situés sur la ligne historique seront au plus indisponibles 2h par jour tous les jours,
  - Afin d'assurer la disponibilité du système, les équipements seront redondés,
  - Le système devra pouvoir basculer automatiquement d'une série d'équipements sur la seconde en cas de défaillance de la première.

#### **4. Analyse des technologies**

Afin de sélectionner les technologies disponibles et les plus appropriées pour les portiques thermographiques, nous comparons les différentes technologies du marché. Pour cela nous effectuons une brève description fonctionnelle avant d'en énoncer les avantages et inconvénients.

L'ensemble des technologies retenues sera repris en Annexe 1.

##### **4.1 Senseur infrarouge**

Ce principe est basé sur le fait que chaque objet dont la température est au-dessus du zéro absolu (-273K) émet un rayonnement électromagnétique, dont la distribution des longueurs d'onde est fonction de la température (fonction de Planck).

Par conséquent, en détectant le rayonnement émis, il est possible de cartographier de petites variations de température à la surface du corps et d'identifier les anomalies thermiques.

Dans le spectre infrarouge, seule la bande 1 à 15 microns est utilisée pour les appareils de mesure. Ceci s'explique par la disponibilité, dans cette bande, de détecteurs adaptés à la mesure de température via celle du champ rayonné. Dans la pratique la bande 1 à 15 microns ne peut quasiment jamais être couverte par un seul appareil, elle a donc été découpée en trois sous bandes.

Les senseurs infrarouges ne mesurent pas directement la température de l'objet mais la valeur de la radiation infrarouge reçue lorsqu'elles le regardent. Cette mesure est ensuite convertie en température. La conversion tient compte du milieu dans lequel l'objet a été observé.

En effet, différents éléments comme l'atmosphère, où les objets environnants peuvent induire une différence entre la valeur émise et celle mesurée. Ceci implique également que seul le rayonnement direct est utilisable. On ne pourra donc pas effectuer de détection à travers un autre objet, y compris des vitres.

La différence de qualité d'un même type de senseur permet de proposer des appareils de mesure ayant des applications différentes : imageur ou thermographique. En effet, ces appareils pourront respectivement soit simplement effectuer un relevé de points chauds, soit dresser un portrait thermographique d'une zone et y afficher les températures ponctuelles.

Nous regardons ici les senseurs de très bonne qualité, certains étant communs aux deux types d'appareils de mesure, d'autres n'étant utilisés que pour les appareils de mesure thermographique. Nous commencerons par les senseurs microbolométriques suivis des pyroélectriques et enfin les photoniques.

#### ***4.1.1 Technologie microbolométrique***

Le premier senseur que nous allons étudier est celui qui est actuellement le plus fréquemment utilisé. Nous commencerons par décrire son fonctionnement puis ses avantages et ses inconvénients afin de le comparer aux autres technologies.

##### ***4.1.1.1 Description***

Ces capteurs utilisent de petits éléments sensibles (silicium amorphe ou oxyde de vanadium) pour mesurer directement la température extérieure d'un objet placé dans le champ du capteur. De ce fait, ils n'ont pas besoin d'obturateur. Lorsque le rayonnement vient taper la partie sensible du capteur, il en modifie la résistance interne.

Par mesure de la résistance on est capable de connaître la valeur du rayonnement et donc celle de la température.

##### ***4.1.1.2 Avantages***

Le détecteur microbolométrique apporte une grande précision de mesure. De plus, les matériaux utilisés pour les éléments sensibles du capteur offrent une forte sensibilité permettant ainsi de réduire la taille de la matrice des éléments sensibles donc les coûts, et la consommation.

##### ***4.1.1.3 Inconvénients***

Ces capteurs ont besoin de se ré-étalonner automatiquement et de façon périodique par rapport à un signal de référence, afin d'en connaître la résistance associée. Entre deux mesures, il est nécessaire de laisser un temps de relaxation à la résistance afin de lui permettre de revenir dans son état de référence avant d'effectuer la mesure suivante. Compte tenu de ce temps, avec le capteur microbolométrique, il existe une limite physique de l'ordre de 100 images par secondes. Cette limite n'est pas encore atteinte aujourd'hui.

Enfin de part leur fonctionnement, ces capteurs sont fortement dépendants de la température absolue du système puisqu'ils captent également le rayonnement ambiant.

#### ***4.1.2 Technologie pyroélectrique***

Après avoir étudié le capteur microbolométrique, nous allons regarder le pyroélectrique. Celui-ci est historiquement plus ancien mais est encore utilisé aujourd'hui.

#### **4.1.2.1 Description**

Ce type de capteur est basé sur l'exploitation de la variation de la charge électrique dans une capacité comportant un diélectrique pyroélectrique. Il est nécessaire de moduler le flux infrarouge incident par un moyen mécanique (obturateur) afin d'induire une variation de capacité électrique (due aux changements de polarisation électrique du matériau pyroélectrique sous l'effet des changements de température) et donc une variation de la charge électrique pouvant être mesurée.

#### **4.1.2.2 Avantages**

Ils ne nécessitent pas de ré-étalonnage pendant l'utilisation. Par ailleurs, le détecteur pyroélectrique offre un coût moins élevé que le détecteur microbolométrique. La technologie de capteur est largement maîtrisée.

#### **4.1.2.3 Inconvénients**

L'obturateur est souvent réalisé à l'aide d'une roue percée. Ceci implique des problèmes de synchronisation liés au jeu mécanique, et un risque de cassure et d'usure dans les pièces mécaniques. Enfin, le capteur pyroélectrique est de moins en moins utilisé, ce qui pourrait conduire à sa disparition du marché d'ici la réalisation du projet.

### **4.1.3 Technologie photonique**

Enfin, après avoir étudié les capteurs microbolométriques et pyroélectriques, nous allons regarder le détecteur le plus récent, le photonique. Bien que déjà commercialisé, la recherche continue sur ce type de senseur.

#### **4.1.3.1 Description**

Cette dernière technologie utilise des semi-conducteurs avec des jonctions à faible largeur de bande où l'énergie d'un photon infrarouge est directement convertie en signal électrique. Celle-ci est utilisée entre autre par les militaires. Les semi-conducteurs retenus ont évolué avec les recherches sur ce type de capteurs. Aujourd'hui, on trouve plutôt un capteur en antimoniure d'indium (InSb).

#### **4.1.3.2 Avantages**

Ces capteurs offrent une grande sensibilité et un temps de réponse très court (inférieur à 10 millisecondes) grâce à un transfert d'électrons et à une conversion très rapide. Ceci permet d'avoir une bonne résolution et des fréquences d'acquisition importantes.

#### **4.1.3.3 Inconvénients**

Ces capteurs nécessitent cependant un système de refroidissement important afin d'éviter la génération de porteurs induits thermiquement. Par ailleurs, le bloc optique occupe une place plus importante que celui des deux autres détecteurs. Enfin, ce type de capteur, comme il



fonctionne avec un transfert d'électron, est sensible au champ électromagnétique de la caténaire.

#### 4.1.4 Synthèse

L'objectif étant de trouver des appareils de mesure dont la fréquence d'acquisition est importante et qui ont une bonne résolution, on retiendra la technologie photonique, bien qu'une protection contre le champ électromagnétique rayonné par la caténaire soit à prévoir. Ceci permettra d'apporter une grande précision de mesure et d'obtenir un grand nombre d'image permettant d'envisager éventuellement pour l'avenir des vitesses plus élevées.

## 5. Etude de l'architecture et analyse fonctionnelle

Nous réalisons dans ce paragraphe une description de l'architecture globale et fonctionnelle des portiques thermographiques. Ceci permet d'en décrire précisément les constituants et les lieux où est située l'intelligence du système.

### 5.1 Architecture

Nous commençons par d'écrire l'architecture en nous penchant sur les capteurs, puis les câbles d'alimentation électrique et de transmissions avant de finir par les centrales et les différentes interfaces, notamment électriques et de communication. La description de l'architecture du portique thermographique est basée sur le postulat que le portique est dédié à la détection de points chauds par thermographie. Ponctuellement, des précisions complémentaires seront apportées si nécessaire pour préciser l'impact qu'aurait la mutualisation du portique avec un autre système. On distinguera alors deux cas, celui où seule la détection de points chauds est mise en œuvre et celui où celle-ci est couplée avec la détection de gabarit.

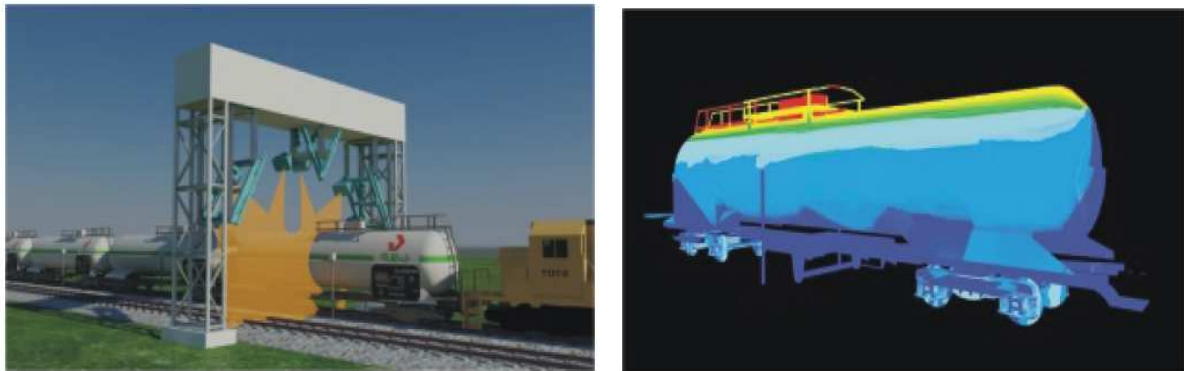


Figure 1 – Exemple de profil thermographique

#### 5.1.1 Sécurité

Selon la norme CEI 61508 sur la sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/ électroniques/ électroniques programmables (E/E/PE) relatifs à la sécurité, nous avons établi que le système devra être homologué SIL 4. Nous préconisons donc que les fonctions de sécurité des équipements mis en place pour la détection thermographique soient de capacité de SIL 4.

### 5.1.2 Capteurs

Pour les portiques thermographiques, nous commençons par présenter l'architecture des différents capteurs à installer.

Le portique sera composé de cinq capteurs répartis sur la circonférence du train et disposés comme l'indique la figure suivante. Ceci permettra de voir le train dans son ensemble. Ces capteurs seront chacun composés de cellules élémentaires sensibles dans le domaine du visible et d'autres dans le domaine de l'infrarouge. Celles sensibles dans l'infrarouge devront pouvoir effectuer des relevés de température. Afin de faciliter l'acquisition de données par les cellules sensibles dans le visible, des rangées de LED, éclairant dans le proche infrarouge (100 lm/W), seront placées dans les montants du portique dont le périmètre est estimé à 35m. Les rangées seront composées de 5 LED lorsque les détections de points chauds et de gabarit sont installées sur le même portique et de 10 LED dans le cas contraire. Les rangées seront distantes de 50cm.

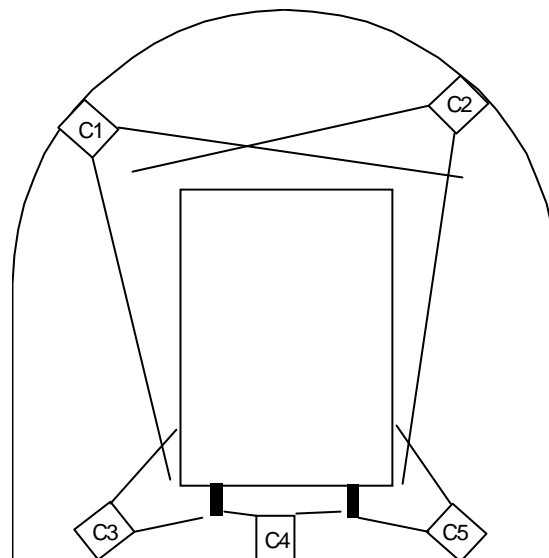


Figure 2 - Principe d'implantation des capteurs

Le nombre de cellules élémentaires est déterminé en tenant compte de la surface à surveiller, de la résolution demandée, du nombre de pixels de chaque cellule, de la fréquence d'acquisition et de la vitesse maximale des trains.

Le système devant être dimensionné dans le cas le plus défavorable, on considèrera une vitesse des trains de 160 km/h soit 44 m/s. En considérant que chaque capteur doit pouvoir voir sur une largeur de train de 50 cm, si on souhaite voir l'ensemble du train, la cellule doit pouvoir acquérir 88 images à la seconde. En prenant une fréquence d'acquisition de 90 Hz, on s'assurera une zone de recouvrement, permettant de garantir une vision complète du train. S'il est impossible d'avoir des cellules ayant une fréquence de 90 Hz, on regardera pour doubler le système.

Différents gabarits de train seront amenés à être inspectés par le portique. Les hauteurs sont comprises entre 4 m et 5,5 m et les largeurs varient de 2,8 m à 3,9 m. Celui-ci devra donc pouvoir avoir une image nette et suffisamment précise pour ces différents types de trains. Lors

de la réalisation, si les capteurs ne permettent pas une aussi grande plage de netteté, on envisagera l'emploi de deux jeux de capteurs.

La communication du capteur vidéo vers le système de traitement et réciproquement se fera via une interface vidéo numérique. On pourra envisager ici l'utilisation d'une fibre dédiée.

Le positionnement exact des capteurs sur le portique sera fonction des focales retenues par l'installateur.

Compte tenu de la proximité des cellules par rapport à la caténaire, une protection contre le champ électromagnétique rayonné par celle-ci sera à prévoir de façon certaine pour les cellules infrarouges et de façon probable pour les cellules du visible. Pour ces dernières le choix sera fait suite à des essais.

En amont du portique, seront placés deux compteurs d'essieux afin de déterminer la vitesse du train et de remonter au système le nombre d'essieux, ces informations étant utiles pour préparer l'analyse des points chauds. Le premier sera placé à 250 m, le second à 200 m du portique. Pour garantir l'utilisation des voies à double sens, on en placera également deux en aval du portique et aux mêmes distances.

L'ensemble des capteurs sera connecté à des serveurs de traitement, situés au PCC.

La communication avec les capteurs d'essieux se fera par l'intermédiaire d'une sortie analogique reliée à la GTF au niveau du portique. La GTF assurera le transfert d'information jusqu'aux ordinateurs de traitement situés au PCC. Le calculateur sera directement relié aux serveurs de la GTF situés au PCC.

Par rapport au souhait sur la disponibilité du portique, les différents capteurs seront redondés grâce à la technologie SIL4 développé. Dans le cas où la détection de points chauds sera indépendante de la détection de gabarit, ceci aura comme conséquence d'augmenter la profondeur du portique. Le portique sera composé de dix capteurs par voie, cinq pour chaque système par voie. Dans le cas contraire, on notera qu'il ne sera plus nécessaire d'augmenter la profondeur du portique et qu'il suffira de disposer le jeu de capteurs de secours sur le second portique de la détection de gabarit.

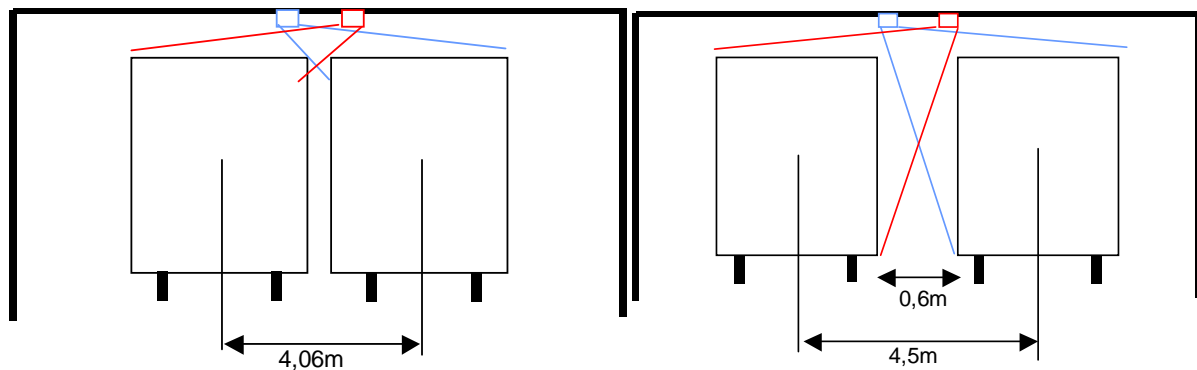
Par ailleurs des portiques seront installés à la sortie des voies de relais afin d'analyser un train repartant vers le tunnel, après arrêt.

### ***5.1.3 Portiques***

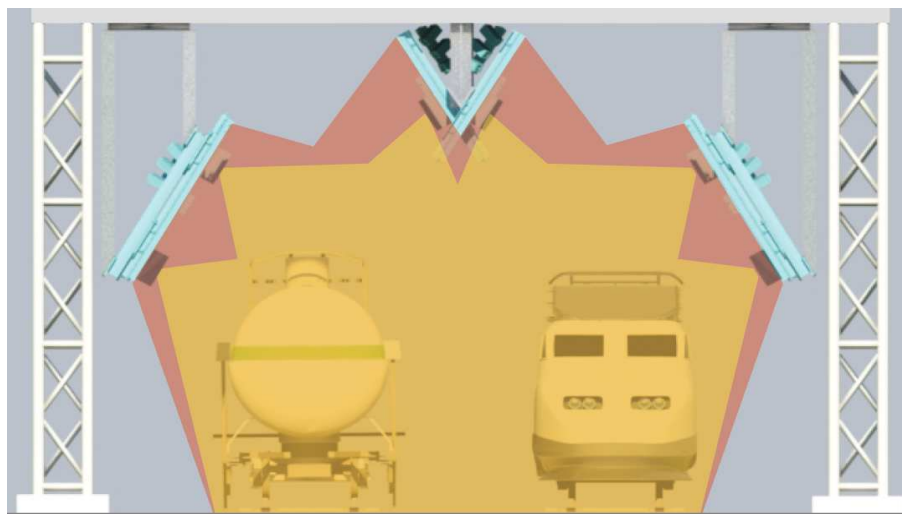
Après avoir décrit les capteurs installés nous regarderons ici les portiques les supportant. Dans le cas où les capteurs de détection de points chauds par thermographie seraient installés avec ceux de détection de gabarit, le portique sera celui décrit pour la détection de gabarit. Lorsque la détection de points chauds sera installée seule sur un portique, c'est à dire sans la détection de gabarit, le portique sera à fournir.

Le bas du capteur sera au minimum à 50 cm au-dessus de la caténaire et à au moins 60 cm du train le plus large à analyser. Les distances de 50 et 60 cm sont imposées pour avoir un capteur capable de voir l'ensemble du dessus et du côté du train. Par ailleurs afin de pouvoir

analyser un train lorsque deux trains se croisent, il est obligatoire d'avoir cette zone de 60 cm vide de tout obstacle. Compte tenu de ceci, à l'endroit où est implanté le portique, l'entraxe devra être au minimum de 4,5 m (en considérant un gabarit de 3,9 m de large). Cette contrainte sur l'entraxe n'est valable que lorsque la détection de points chauds par thermographie est mise en œuvre seule, c'est à dire sans la détection de gabarit. La figure suivante permet de visualiser cette problématique.



*Figure 3 - Compréhension du besoin en entraxe minimum*



*Figure 4 – Exemple de portique avec la mise en place des deux systèmes (Thermographique et gabarit)*

Cependant, dans le cas où la détection de points chauds peut être couplée avec la détection de gabarit, on notera que cette contrainte sur l'entraxe n'est plus nécessaire. Les distances minimales entre le train et les capteurs et entre ceux-ci et la caténaire restent par contre valables. On placera les équipements de détection thermique et hors gabarit sur un seul portique. Grâce à un système de sécurité le plus élevé, le SIL4 installé sur le portique, il ne sera pas nécessaire de redonder les différents capteurs ou bien le portique.

Enfin compte tenu de la distance de freinage maximale pour les trains roulant à 160 km/h (2100 m), du temps de réaction de l'ensemble du système (2min soit 5400 m) et de la longueur maximale d'un train (750 m) les portiques devront être installés au minimum à **8,3**

**km** de l'entrée d'une voie d'évitement sauf pour les trains repartant après un arrêt sur une voie de relais.

Le lieu retenu pour l'implantation du portique devra être en ligne droite pour éviter que le train ne soit penché lors de son passage sous les capteurs. Ceci facilitera la mesure. On retiendra également un lieu d'implantation le plus plat possible.

Les portiques formeront un abri assurant la protection des capteurs et leur isolation aux parasites environnementaux extérieurs (oiseaux, feuilles, intempéries...).

La constitution de chaque portique et l'écartement des montants par rapport aux voies devront respecter les gabarits d'obstacles des normes internationales d'implantation pour l'installation des infrastructures fixes.

L'architecture du portique devra permettre à tout capteur de se situer à au moins la distance d'isolement électrique (fonction de l'électrification de la ligne) de la zone caténaire et du gabarit du pantographe.

#### ***5.1.4 Câbles de transmission et d'alimentation électrique***

Après avoir étudié l'architecture des capteurs, nous voyons ici comment ceux-ci sont reliés aux autres équipements.

Les câbles de transmission assureront la liaison, d'une part, entre le système de traitement et les capteurs, et d'autre part, entre le système de traitement et le point de concentration GTF. Ils pourront être soumis aux conditions atmosphériques d'une vallée alpine à 600 m d'altitude et devront donc résister à une exposition permanente aux radiations solaires, aux intempéries, et à des projections d'eau.

Les câbles assurant l'alimentation des différents organes (centrales, capteurs) seront contraints de la même façon que ceux dédiés à la transmission d'information.

#### ***5.1.5 Système de traitement***

Après les câbles électriques et de transmission et les détecteurs, nous décrivons ici l'architecture des centrales locales.

Le système de traitement sera composé d'ordinateurs de type PC industriel permettant d'effectuer le traitement des données récupérées, d'une base de données contenant les profils thermographiques des différents types de convois, d'un serveur pour analyser le portrait du train en cours de traitement par rapport à ceux de la base de données, d'unités de stockage pour garder en mémoire les profils des trains passés sur les dernières 48 h. Il est à noter qu'il y aura deux ordinateurs par capteur, soit un par cellule (visible et infrarouge) de détection. Ceci est repris sur la figure 3. L'ensemble de ces équipements sera installé au PCC le plus proche du portique.

Par rapport au souhait de disponibilité, les différents ordinateurs assurant le traitement des données ou l'analyse seront redondés. Seules les bases de données et les unités de stockage ne seront pas redondées. La redondance étant assurée par le second ordinateur relié au même capteur, ceci n'aura pour conséquence que d'ajouter un calculateur.

### 5.1.6 Interfaces

Enfin, pour terminer la description de l'architecture, nous regardons ici les différentes interfaces.

Les interfaces sont découpées en interfaces électriques et de communication.

- Electrique

- oAlimentation

Les différents équipements du système de traitement seront alimentés par une alimentation secourue sans coupure en 230 V. Il en sera de même pour les différents capteurs du portique.

L'entreprise responsable des équipements d'alimentation électrique devra assurer la fourniture du matériel pour le raccordement au réseau d'alimentation jusqu'au pied de chaque poste local du système de détection de points chauds par thermographie.

- oCâblage

Les fibres optiques assurant la liaison entre les lieux d'implantation des portiques et les PCC, où sont installés les ordinateurs de traitements devront être posés avant la pose des équipements. Il faudra prévoir deux fibres par capteurs. Une pour le visible et une pour l'infrarouge.

- Communication avec la GTF

Seul un des ordinateurs servant à l'analyse des portraits thermographiques communiquera directement avec la GTF. Par ailleurs, les détecteurs d'essieux seront raccordés au point de concentration GTF (module d'entrées sorties déporté) le plus proche. Le protocole de communication et les interfaces seront définis dans les études sur le PCC et celles sur les réseaux de communications.

L'entreprise responsable des équipements de communication devra assurer la fourniture du matériel pour le raccordement au réseau de télétransmission jusqu'au pied de chaque poste local du système de détection de points chauds par thermographie.

- Détection de gabarit

L'implantation des capteurs pour la détection de points chauds par thermographie sous le portique devra être coordonnée avec celle des capteurs pour la détection de gabarit. La coordination se fera sur les opérations de :

- o Positionnement des capteurs,
  - o Conception de la largeur des portiques,
  - o Passage des câbles d'alimentation électrique et de communication, etc.

De plus, il y aura une interface locale avec la signalisation via des relais de sécurité afin de pouvoir arrêter le train en défaut automatiquement sans l'intervention de l'opérateur.

- Génie Civil

La mise en œuvre des portiques et des équipements liés à la détection de points chauds par thermographie devra être coordonnée avec les opérations de Génie Civil. Les massifs bétons de fondation des portiques et les réservations pour les câbles devront être disponibles avant le montage sur site des portiques et la mise en œuvre des capteurs.

Pour la ligne historique, nous prévoyons d'enlever les rails existants au niveau de chaque site d'implantation des portiques afin d'y mettre en place une dalle de béton monobloc à laquelle seront fixés les montant des portiques. Les rails utilisés pour assurer la continuité du trafic ferroviaire lors de la remise en exploitation de la ligne devront être solidaires de cette dalle.

## 5.2 Analyse fonctionnelle

Après avoir décrit l'architecture nous effectuons une analyse fonctionnelle des portiques thermographiques, afin de regarder comment se répartit l'intelligence entre les équipements de terrain, les unités de traitement local et le système de supervision.

### 5.2.1 Equipement de terrain

Après avoir décrit l'architecture nous effectuons une analyse fonctionnelle des portiques thermographiques, afin de regarder comment se répartit l'intelligence entre les équipements de terrain, les unités de traitement local et le système de supervision.

### 5.2.2 Traitement local déporté au PCC

Après avoir étudié les détecteurs, nous regardons ici les fonctions assurées par les unités de traitement locales (ordinateur d'acquisition, calculateur et base de données).

Après une phase d'apprentissage qui aura permis de constituer la base de données des portraits thermographiques, des vitesses et du nombre d'essieux des différents types de convois, le système sera prêt à fonctionner. La construction de la base de données sera effectuée en faisant rouler sous le portique des convois sains et représentatifs des différents types de trains qui pourraient transiter.

En mode normal de fonctionnement, grâce aux détecteurs électronique de roue, le calculateur sélectionnera dans la base de données en fonction du nombre d'essieux et de la vitesse du train, les profils thermographiques les plus pertinents. Ensuite, les ordinateurs d'acquisition traite les données transmises par les capteurs pour reconstituer, par morceau, le profil thermographique du train. En parallèle le calculateur reconnaît le profil géométrique du train le plus proche. Enfin par une approche statistique il compare les deux profils thermographiques, le capté et celui stocké dans la base de données et déclenche une alarme si nécessaire.

Si le profil mérite d'être gardé en mémoire dans la base de données, le calculateur le décidera et viendra agrandir sa base de référence. La sélection sera basée sur des portraits sains non répertoriés dans la base et qui permettront de renforcer la robustesse du système statistique.

Lors du déclenchement d'une alarme, le système transmettra la voie où est passé le train, l'heure et la date ainsi que le profil thermique du train.

Afin de ne pas faire de l'acquisition inutile et donc d'encombrer l'espace de stockage, celle-ci sera déclenchée par le système lorsque ce dernier recevra un signal de la part du premier détecteur électronique de roue placé à 250 m en amont du portique.

Ceci laisse un peu plus de 5 s au système pour se mettre en marche à 160 km/h. De même le système arrêtera l'acquisition lorsque le dernier essieu aura franchi le détecteur situé en aval du portique. Cette procédure devra fonctionner avec le double sens de circulation des voies.

Le poste central sera aux PCC Saint Jean de Maurienne et Suse. Les serveurs seront redondés à chaque PCC au niveau des postes centraux.

### **5.2.3 GTF**

Enfin nous étudions ici les fonctions assurées par le système de supervision.

Pour les portiques thermographiques, les serveurs GTF seront, d'une part, connectés directement au calculateur pour récupérer les alarmes, et d'autre part, connecté au système de sauvegarde pour pouvoir visionner les portraits des trains.

La GTF aura alors en charge d'afficher sur le tableau synoptique mural et sur le synoptique général des équipements de sécurité contrôlé par la GTF l'état des différents capteurs :

- Normal,
- Défaut,
- Présence point chaud.

Par ailleurs, la GTF devra pouvoir afficher, sur demande, sur un écran, les images enregistrées par le portique lors du dernier passage d'un train.

Enfin, la GTF, en cas de présence d'un signal analogique en sortie d'un détecteur d'essieux acheminera celui-ci jusqu'au calculateur du portique associé.

## **6. Synoptique d'implantation des détecteurs, Schéma d'architecture, Plan de détails**

Sur la base des fonds de plan établis par le génie civil, le présent paragraphe établit les plans d'implantation des systèmes.

### **6.1 Architecture générale**

La figure suivante présente l'architecture du portique thermographique, le nombre d'ordinateurs est représentatif de la description faite au paragraphe 4.



Caractéristiques des portiques thermographiques / Relazione tecnica caratteristiche dei portali termografici

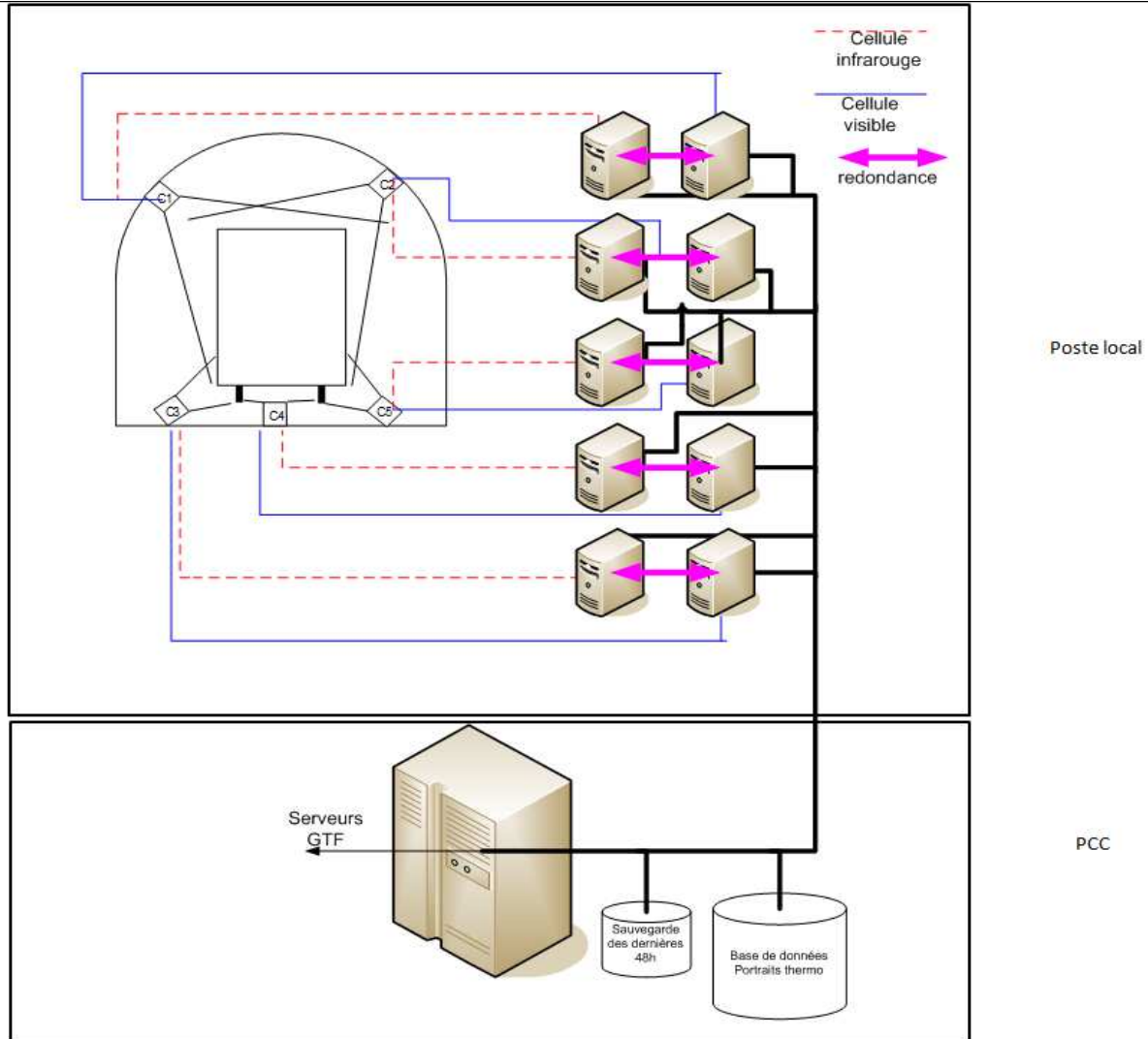


Figure 5 - Architecture générale par portique

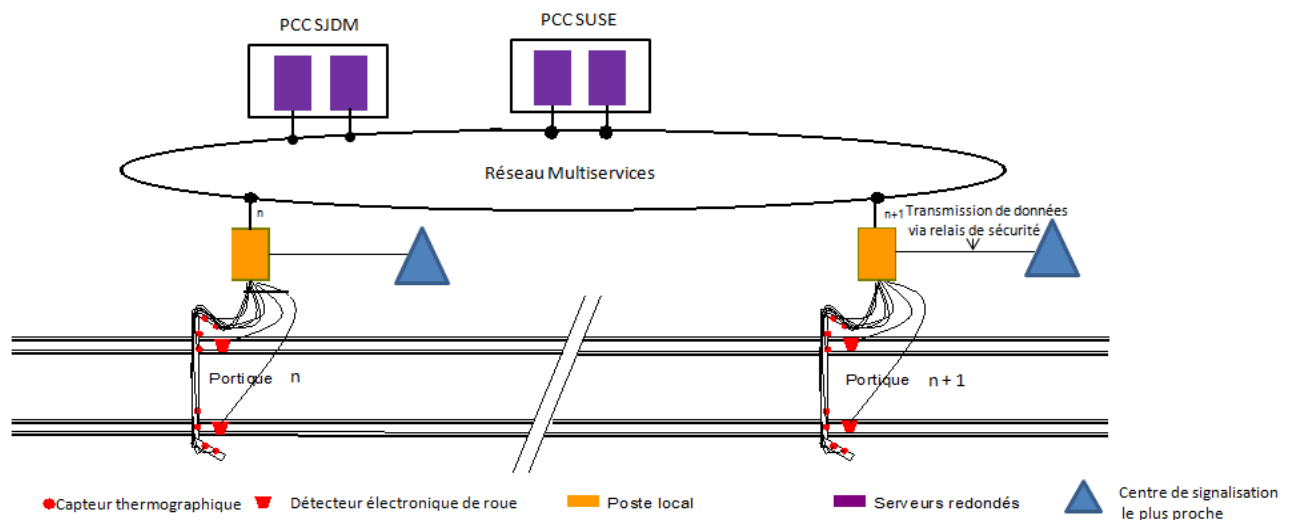


Figure 6 - Schéma d'architecture générale du système thermographique

## 7. Synoptique d'implantation des détecteurs, Schéma d'architecture, Plan de détails

A partir des contraintes, des performances à atteindre et de l'architecture, le présent paragraphe établit les spécifications techniques des différents matériels constituant les portiques thermographiques.

Le synoptique général où seront implantés des portiques thermographique est fourni sur le plan " Synoptique d'implantation des détecteurs".

Le plan d'implantation des portiques thermographiques détaillé est fourni sur le plan " Plans de détails des portiques thermographiques ".

### 7.1 Portiques

- Généralités

- oSpécifications fonctionnelles

- Pour l'application des règles de calcul des portiques on considèrera que la somme de l'ensemble des poids de chaque élément est appliquée à la verticale au milieu de la traverse.
    - Tous les portiques seront équipés d'un système d'accessibilité, placé sur le côté d'un des montants. Cet accès sera protégé par un système anti-intrusion et par un dispositif anti-chute.

- Conception mécanique

- oLes portiques, les crinolines, et autres morceaux de la structure seront réalisés en aluminium d'au moins 4mm d'épaisseur.

- oSur la hauteur des montants, devra être rattrapé le dévers ainsi que la différence de hauteur des massifs de support.

- oL'axe de la traverse devra être positionné de sorte que le bas du capteur soit à au moins à 50cm au-dessus de la caténaire.

- oLes portiques devront ne pas être ébranlés par le passage du train, afin de ne pas perturber la mesure.

- Contraintes de fonctionnement (Température / Humidité )

- oLes portiques seront dimensionnés pour résister aux efforts dus au vent et au poids de la neige, caractéristiques de la région d'implantation des portiques, sans rupture ni déformation. On considèrera que le vent souffle perpendiculairement au portique et on prendra les valeurs maximales constatées sur Saint Jean de Maurienne.

- Divers

- oGarantie

- 3 ans minimum

## 7.2 Senseur thermographique

- Généralités
  - o Spécifications fonctionnelles
    - Fréquence d'acquisition supérieure à 90hz.
    - Résolution de 100mK.
    - Détecter un point chaud à partir de 5kW.
    - Détecter une flamme de 5 cm de hauteur se déplaçant à 160km/h.
    - Senseur à semi-conducteur refroidi.
    - La taille des pixels sera inférieure à 59\*59µm.
    - La taille de la matrice sera au moins de 320\*120 pixels.
  
- Conception électrique
  - o Alimentation en 230Vac ou en 12Vcc (plage de fonctionnement 5 à 24V)
  - o Consommation maximale 6W
  
- Entrées / Sorties
  - o Au moins 1 sortie analogique pour la transmission de la vidéo
  - o Au moins 2 sorties numériques
  - o Au moins 1 entrée numérique
  
- Conception mécanique
  - o Poids maximal : 5kg
  - o Encombrement maximal : 350\*360\*440mm
  
- Contraintes de fonctionnement (Température / Humidité )
  - o Température : -30° à +50°C
  - o Humidité relative : inférieure à 95%
  
- Divers
  - o Certification
    - IP 64
  - o Garantie
    - 3 ans minimum

## 8. Eléments de mise en œuvre et de maintenance

Après avoir décrit les portiques thermographiques en vu de leur conception, nous regardons ici les éléments de leur mise en œuvre et de leur maintenance.

## 8.1 Mise en œuvre

Pour la mise en œuvre nous commencerons par décrire les opérations sur la maintenance du système.

### 8.1.1 Description

L'installation des portiques se fera après la pose des voies et de la caténaire. Cependant, comme les rails, à cause du passage des trains, la hauteur du châssis du portique va évoluer. Afin d'éviter d'avoir à re-calibrer les capteurs, celui-ci pourra être fixé sur un massif en béton sur lequel seront fixés les rails. Le massif béton de fondation des portiques devra être d'une seule pièce afin d'éviter l'affaissement hétérogène des montants du portique.

Les deux systèmes de détection de gabarit et de points chauds par thermographie ont des besoins similaires et les contraintes spécifiées pour chacun d'eux ne sont pas incompatibles. Afin de diminuer les coûts, on pourra envisager d'installer les équipements des deux systèmes sur un même portique. La mise en œuvre de ce support sera confiée à l'entreprise qui aura en charge la détection de gabarit. On rappelle également que deux précisions ont été apportées dans l'architecture sur l'entraxe et la redondance, concernant la mutualisation des portiques de gabarit et thermographiques

On notera que les portiques situés à la sortie des voies de relais seront des portiques dédiés seulement à la détection de points chauds par thermographie. Ils reprendront donc les points de l'architecture où seule la thermographie est installée (entraxe de 4,5m et profondeur plus importante pour assurer la redondance).

On s'assurera que les capteurs et leurs connectiques sont globalement protégés des intempéries.

De plus, pour assurer la conversion entre la valeur du champ mesurée et la température de l'objet, il est nécessaire de fournir à chaque détecteur trois paramètres liés à chaque lieu d'implantation : il s'agit de l'émissivité des trains transitant sous le portique. Si celle-ci n'est pas commune aux différents trains, il sera nécessaire de voir avec le fournisseur des capteurs quelle émissivité retenir. Il faudra également fournir la température réfléchie par l'environnement. Celle-ci sera mesurée par l'installateur lors de la mise en service des capteurs.

Enfin lors de la première mise en fonction, il sera nécessaire d'informer le capteur de la température ambiante afin que, lors de variations de celle-ci, celui-ci soit en mesure d'estimer les variations de la température réfléchie.

Les ordinateurs de traitement pourront être installés une fois que la salle les accueillant sera réalisée.

## 8.2 Maintenance

A partir des éléments disponibles, nous établissons ici, pour les portiques thermographiques, les opérations à effectuer et leurs périodicités en terme de maintenance préventive, corrective et exceptionnelle.

### **8.2.1 Préventive**

Nous définissons ici les besoins en maintenance préventive pour assurer la pérennité du système. La périodicité de la maintenance a été établie à partir des retours d'expériences de fabricants. Le projet ayant de nombreuses spécificités, les valeurs entre deux maintenances seront peut être à ajuster après une année d'exploitation.

Nous préconisons pour la maintenance préventive un contrôle tous les 6 mois. Lors de celui-ci, il sera nécessaire de vérifier que l'émissivité retenue pour les trains et la température réfléchi par l'environnement restent valides. On ajustera les paramètres des capteurs le cas échéant. Un contrôle visuel de l'état des capteurs et un nettoyage des optiques sera également effectué.

Au bout de 25 000 heures de fonctionnement, les capteurs seront entièrement démontés, nettoyés et les pièces usées seront changées.

Compte tenu du nombre d'équipements informatique, tous les ans une administration du parc sera assurée.

### **8.2.2 Corrective**

Le système étant redondé grâce au système de sécurité SIL4 mis en place, ceci a pour but d'assurer une disponibilité maximale. Lorsqu'une panne est identifiée, il conviendra de la réparer au plus tôt afin de ne pas perdre le bénéfice de la redondance. La maintenance sera effectuée pendant les heures dédiées et avec une limitation de la vitesse des trains à l'approche du lieu de l'intervention.

### **8.2.3 Rénovation ou maintenance extraordinaire**

La durée de vie du système est de 15 années. Cependant les composants suivant pourront être changés à la fréquence indiquée : les serveurs informatiques et les unités de stockage devront être changées tous les 4 ans. Les ordinateurs industriels de traitement pourront être remplacés à partir de 10 ans d'utilisation.

## **9. Bilan de puissance**

Le présent paragraphe présente un bilan de puissance propre au système de détection de points chauds par thermographie. Il fait apparaître les équipements qui se situent dans les tubes ferroviaires et ceux localisés en extérieur, leur source d'alimentation électrique Basse Tension étant considérée comme distincte.

Le présent bilan de puissance a été établi en considérant que les équipements fonctionnent simultanément et sont tous alimentés par une alimentation normale et par une alimentation secourue. Le tableau suivant reprend les besoins par portique.

Désignation	Puissance unitaire (VA)	Quantité	Consommation nominale (VA)
Système complet SIL4 portique thermographique sur voies double	4000	4	16 000
Système complet SIL4 portique thermographique sur voie unique	2000	1	2000
Système détecteur d'essieux avec 2 points de comptage (détection sens circulation & vitesse train)	80	24	1920
Poste local	1000	5	5000
Réserve	20%		5000
<b>Total</b>			<b>30 000</b>

*Tableau 1 - Bilan de puissance*

Pour chaque TGBT alimentant un portique sur un site d'implantation de détection thermographique, les besoins en énergie sont donc de **5kVA** maximum.

Nous estimons que la totalité du système de détection de gabarit, compte tenu des 5 sites d'implantation des portiques, consommera **30 kVA**.

Nous estimons que la totalité du système de détection thermographique en ajoutant les deux postes centraux, compte tenu des 5 sites d'implantation, consommera **33,6 kVA**.

Un poste central consomme **1,8 kVA**.

## 10. Annexes

## 10.1 Annexe 1

Besoin	Technologie recommandée
Cellule infrarouge	photonique
Senseurs des appareils de mesure thermographiques	InSb

Tableau 2 – Technologies retenues

## 10.2 Annexe 2

CODE	DESIGNATION	CLASSE INFLUENCE EXTERNE	CARACTERISTIQUES
AA	Température ambiante	1	-60° + 5°
		2	-40° + 5°
		3	-25° + 5°
		4	- 5° + 40°
		5	+ 5° + 40°
		6	+ 5° + 60°
AB	Humidité *		
AC	Altitude(m)	1	≤2000
		2	>2000
AD	Présence d'eau	1	Négligeable
		2	Chutes de gouttes d'eau
		3	Aspersion d'eau
		4	Projection d'eau
		5	Jets d'eau
		6	Paquets d'eau
		7	Immersion
		8	Submersion
AE	Présence de corps solides étrangers	1	Négligeable
		2	Petits objets (2,5 mm)
		3	Très petits objets (1mm)
		4	Poussières
AF	Présence de substances corrosives ou polluantes	1	Négligeable
		2	Agents atmosphériques
		3	Intermittente ou
		4	accidentelle Permanente
AG	Contraintes mécaniques, chocs	1	Faibles
		2	Moyens
		3	Importants
AH	Vibrations	1	Faibles
		2	Moyennes
		3	Importantes
AJ	Autre pression mécanique *		

Caractéristiques des portiques thermographiques / Relazione tecnica caratteristiche dei portali termografici

AK	Flore	1 2	Négligeable Risque
AL	Faune	1 2	Négligeable Risque
AM	Influences électromagnétiques	1 2 3 4 5 6	Négligeable Courants vagabonds Electromagnétiques Ionisants Electrostatiques Induction
AN	Soleil	1 2	Négligeable Significatif
AP	Sismique	1 2 3 4	Négligeable Faible Moyen Fort
AQ	Foudre	1 2	Négligeable Indirects
AR	Vent *		
BA	Compétence	1 2 3 4 5	Ordinaires Enfants Handicapés Averties Qualifiées
BB	Résistance *		
BC	Contact avec le potentiel de la terre	1 2 3 4	Nuls Faibles Fréquents Continus
BD	Evacuation	1 2 3 4	Normales Difficiles Encombrée Longue et encombrée
BE	Matières	1 2 3 4	Risques négligeables Risques d'incendie Risque d'explosion Risque de contamination
CA	Matériaux	1 2	Non combustible Combustible
CB	Structure	1 2 3 4	Risque négligeable Propagation d'incendie Mouvements Flexible

**Tableau 3 - Influences externes**

L'IP correspond au degré de protection procuré par les enveloppes des matériels électriques (norme EN 60529).



L'IK correspond au degré de protection procuré par les enveloppes de matériels électriques contre les impacts mécaniques externes (norme EN 62262).

A partir des différentes désignations, nous avons retenu le tableau suivant pour la définition des facteurs d'influences externes.

Caractéristiques des portiques thermographiques / Relazione tecnica caratteristiche dei portali termografici

10.3 Annexe 3

Désignation	IP mini	IK mini	CONDITIONS D'ENVIRONNEMENT																	UTILISATION					
			AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AJ	AK	AL	AM	AN	AP	AQ	AR	BA	BB	BC	BD	BE		
<i>Sites techniques</i>																									
- LT en rameaux et sites d'intervention	20	07	5		1	1	1	1	2	1		1	1	2	1	1	1			4			3	2	1
- LT pompage	54	07	5			4	1	1	2	1		1	1	2	1	1	1			4			3	2	1
- LT en tunnel (AT)	55	07	5		1	1	4	2	2	1		1	1	2	1	1	1			4			3	2	1
- LT en extérieur	20	07	5		1	1	1	1	2	1		1	1	1	1	1	2			4			3	1	1
<i>Tunnels</i>																									
- Tubes ferroviaires	55	09	5		1	5	4	2	3	3		1	1	6	1	1	1			1			3	2	1
- Rameaux, sites d'intervention et salle d'accueil	55	09	5		1	1	1	1	2	1		1	1	2	1	1	1			3			3	2	1
Descenderies	55	09	5		1	5	4	2	3	1		1	1	1	1	1	1			1			2	2	1
Extérieur	54	09	7		1	4	4	1	3*	2		1	1	6	2	1	2			1			3	1	1
PCC	43	07	5		1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	2			1			2	1	1

Tableau 4 – Conditions d'environnement

\* : pour les équipements situés entre 0 et 2 m du sol.



## INDICE

RESUME/RIASSUNTO .....	6
1. INTRODUCTION .....	7
2. GLOSSAIRE .....	8
3. PRESENTATION DU SYSTEME DES PORTIQUES THERMOGRAPHIQUES.....	8
3.1 Généralités .....	8
3.2 Objectif du système .....	8
3.3 Topologie et géométrie des ouvrages .....	8
3.4 Cadre réglementaire.....	9
3.4.1 Directives européennes et normes STI.....	9
3.4.2 Règles CIG.....	9
3.4.3 Autres normes .....	9
3.5 Recensement des contraintes et performances.....	10
3.5.1 Contraintes .....	10
3.5.1.1 Contraintes de sécurité .....	10
3.5.1.2 Contraintes d'environnement.....	10
3.5.1.3 Contraintes d'exploitation et de maintenance.....	10
3.5.1.4 Contraintes de réalisation.....	11
3.5.2 Performances.....	12
4. ANALYSE DES TECHNOLOGIES.....	13
4.1 Senseur infrarouge .....	13
4.1.1 Technologie microbolométrique .....	14
4.1.1.1 Description .....	14
4.1.1.2 Avantages.....	14
4.1.1.3 Inconvénients .....	14
4.1.2 Technologie pyroélectrique.....	14
4.1.2.1 Description .....	15
4.1.2.2 Avantages.....	15
4.1.2.3 Inconvénients .....	15
4.1.3 Technologie photonique.....	15
4.1.3.1 Description .....	15
4.1.3.2 Avantages.....	15
4.1.3.3 Inconvénients .....	15
4.1.4 Synthèse .....	16
5. ETUDE DE L'ARCHITECTURE ET ANALYSE FONCTIONNELLE.....	16
5.1 Architecture .....	16
5.1.1 Sécurité.....	16
5.1.2 Capteurs .....	17
5.1.3 Portiques.....	18
5.1.4 Câbles de transmission et d'alimentation électrique.....	20
5.1.5 Système de traitement .....	20
5.1.6 Interfaces.....	21
5.2 Analyse fonctionnelle .....	22

5.2.1	Equipement de terrain .....	22
5.2.2	Traitement local déporté au PCC .....	22
5.2.3	GTF .....	23
6.	SYNOPTIQUE D'IMPLANTATION DES DETECTEURS, SCHEMA D'ARCHITECTURE, PLAN DE DETAILS .....	23
6.1	Architecture générale .....	23
7.	SYNOPTIQUE D'IMPLANTATION DES DETECTEURS, SCHEMA D'ARCHITECTURE, PLAN DE DETAILS .....	25
7.1	Portiques .....	25
7.2	Senseur thermographique .....	26
8.	ELEMENTS DE MISE EN ŒUVRE ET DE MAINTENANCE .....	26
8.1	Mise en œuvre.....	27
8.1.1	Description .....	27
8.2	Maintenance.....	27
8.2.1	Préventive.....	28
8.2.2	Corrective.....	28
8.2.3	Rénovation ou maintenance extraordinaire.....	28
9.	BILAN DE PUISSANCE.....	28
10.	ANNEXES.....	29
10.1	Annexe 1 .....	30
10.2	Annexe 2 .....	30
10.3	Annexe 3 .....	33
	RIASSUNTO .....	39
1.	INTRODUZIONE .....	40
2.	GLOSSARIO.....	41
3.	PRESENTAZIONE DEL SISTEMA DEI PORTALI TERMOGRAFICI.....	41
3.1	Generalità.....	41
3.2	Obiettivo del sistema .....	41
3.3	Topologia e geometria delle opere.....	41
3.4	Quadro normativo .....	42
3.4.1	Direttive europee e norme STI.....	42
3.4.2	Norme CIG.....	42
3.4.3	Altre norme .....	42
3.5	Verifica dei vincoli e delle prestazioni .....	43
3.5.1	Vincoli.....	43
3.5.1.1	Vincoli di sicurezza.....	43
3.5.1.2	Vincoli ambientali.....	43
3.5.1.3	Vincoli di gestione e manutenzione .....	43
3.5.1.4	Vincoli di realizzazione.....	44
3.5.2	Prestazioni.....	45
4.	ANALISI DELLE TECNOLOGIE .....	46
4.1	Sensore infrarossi.....	46
4.1.1	Tecnologia microbolometrica .....	47
4.1.1.1	Descrizione.....	47
4.1.1.2	Vantaggi.....	47

4.1.1.3	Inconvenienti.....	47
4.1.2	Tecnologia piezoelettrica .....	47
4.1.2.1	Descrizione.....	47
4.1.2.2	Vantaggi.....	48
4.1.2.3	Inconvenienti.....	48
4.1.3	Tecnologia fotonica.....	48
4.1.3.1	Descrizione.....	48
4.1.3.2	Vantaggi.....	48
4.1.3.3	Inconvenienti.....	48
4.1.4	Sintesi.....	48
5.	STUDIO DELL' ARCHITETTURA E ANALISI FUNZIONALE.....	49
5.1	Architettura .....	49
5.1.1	Sicurezza .....	49
5.1.2	Sensori.....	49
5.1.3	Portali .....	51
5.1.4	Cavi di trasmissione e alimentazione elettrica .....	53
5.1.5	Sistema di elaborazione .....	53
5.1.6	Interfaccia.....	53
5.2	Analisi funzionale .....	55
5.2.1	Attrezzature di terra .....	55
5.2.2	Elaborazione locale trasferita sul PCC.....	55
5.2.3	GTF .....	55
6.	SINOTTICO DI INSTALLAZIONE DEI RILEVATORI, SCHEMA DELL' ARCHITETTURA, PIANO DETTAGLI .....	56
6.1	Architettura generale .....	56
7.	SINOTTICO DI INSTALLAZIONE DEI RILEVATORI, SCHEMA DELL' ARCHITETTURA, PIANO DETTAGLI .....	58
7.1	Portali.....	58
7.2	Sensore termografico .....	58
8.	ELEMENTI DI REALIZZAZIONE E MANUTENZIONE .....	59
8.1	Realizzazione .....	60
8.1.1	Descrizione.....	60
8.2	Manutenzione .....	60
8.2.1	Preventiva.....	61
8.2.2	Correttiva .....	61
8.2.3	Rinnovo o manutenzione straordinaria .....	61
9.	BILANCIO DI POTENZA.....	61
10.	ALLEGATI.....	62
10.1	Allegato 1.....	62
10.2	Allegato 2.....	63
10.3	Allegato 3.....	66

## INDICE DELLE FIGURE

<b>Figure 1</b>	– Exemple de profil thermographique .....	16
<b>Figure 2</b>	- Principe d'implantation des capteurs .....	17
<b>Figure 3</b>	- Compréhension du besoin en entraxe minimum .....	19

<b>Figure 4</b> – Exemple de portique avec la mise en place des deux systèmes (Thermographique et gabarit).....	19
<b>Figure 5</b> - Architecture générale par portique .....	24
<b>Figure 6</b> - Schéma d'architecture générale du système thermographique.....	24
<b>Figura 7</b> – Esempio di profilo termografico.....	49
<b>Figura 8</b> - Principio di installazione dei sensori.....	50
<b>Figura 9</b> - Comprendere la necessità di una distanza minima.....	52
<b>Figura 10</b> – Esempio di portale con l'installazione di due sistemi (Termografico e sagoma).....	52
<b>Figura 11</b> - Architettura generale per portale .....	57
<b>Figura 12</b> - Schema di architettura generale del sistema termografico .....	57

## INDICE DELLE TABELLE

<b>Tableau 1</b> - Bilan de puissance.....	29
<b>Tableau 2</b> – Technologies retenues .....	30
<b>Tableau 3</b> - Influences externes.....	31
<b>Tableau 4</b> – Conditions d'environnement .....	33
<b>Tabella 5</b> - Bilancio di potenza.....	62
<b>Tabella 6</b> – Tecnologie selezionate .....	63
<b>Tabella 7</b> - Influenze esterne .....	64
<b>Tabella 8</b> – Condizioni ambientali .....	66

## RIASSUNTO

La section transfrontalière de la partie commune de la nouvelle ligne ferroviaire Lyon – Turin comprend les ouvrages suivants :

- Les raccordements à la ligne historique de Saint Jean de Maurienne
- La gare internationale de Saint Jean de Maurienne
- Le site de sécurité et de maintenance de Saint Jean de Maurienne
- Le tunnel de base
- La gare internationale de Suse
- Le site de sécurité et de maintenance de Suse
- Le tunnel d'interconnexion
- Les raccordements à la ligne historique de Bussoleno.

Afin d'alerter le PCC pour que des mesures d'exploitation et/ou de sécurité soient prises dans les meilleurs délais, différents systèmes surveillent les parties ferroviaires et non ferroviaires de cette zone.

Les portiques thermographiques ont pour objectif de détecter tout point anormalement chaud sur le matériel roulant afin de pouvoir arrêter le train avant son entrée dans les tunnels.

Ils sont constitués de détecteur de chaleur scrutant toute la périphérie des trains, et ils sont positionnés sur les voies (ligne nouvelle et ligne historique) permettant l'accès aux tunnels de la zone LTF.

Leurs structures métalliques (portique) supportent aussi les détecteurs de gabarit.

La sezione transfrontaliera della parte comune della nuova linea ferroviaria Torino – Lione comprende le opere seguenti :

- I raccordi alla linea storica di Saint Jean de Maurienne
- La stazione internazionale di Saint Jean de Maurienne
- Il sito di Saint Jean de Maurienne
- Il tunnel di base
- La stazione internazionale di Susa
- Il sito di Susa
- Il tunnel di interconnessione
- I raccordi alla linea storica di Bussoleno.

Per segnalare con sollecitudine al PCC la necessità di adottare misure di esercizio e/o di sicurezza, diversi sistemi controllano le parti ferroviarie e non ferroviarie di questa zona.

I portici termografici si prefiggono di rilevare ogni punto anormalmente caldo sul materiale rotabile per potere fermare il treno prima della sua entrata nei tunnel.

Sono costituiti da rivelatore di calore che esplora tutta la periferia dei treni, e sono piazzati su binari (linea nuova e linea storica) che permettono l'accesso ai tunnel della zona LTF.

Le loro strutture metalliche (portale) supportano anche i rivelatori di sagoma.



## 1. Introduzione

Il governo italiano ed il governo francese hanno deciso di intraprendere la realizzazione di una linea ferroviaria nuova che colleghi Torino e Lione. Questo progetto consiste, innanzitutto, nella pianificazione di un itinerario per il trasporto merci ad elevate prestazioni per poter attraversare le Alpi, destinato soprattutto a limitare il traffico stradale che transita su queste zone ecologicamente sensibili.

Questo nuovo collegamento comporterà anche una dimensione viaggiatori importante, nella misura in cui esso collegherà le reti ad alta velocità di Italia e Francia, offrendo anche tempi di percorrenza ridotti tra le due regioni frontaliere di attrazione che sono il Piemonte e la Savoia.

Benché si componga di tre sezioni distinte, di cui due nazionali, solo la parte comune italo-francese, detta « internazionale » tra Saint-Jean de Maurienne e Bussoleno è oggetto del nostro studio.

La sezione così considerata avrà una lunghezza totale pari a circa 67 Km e le principali opere che ne faranno parte saranno le seguenti:

- I raccordi alla linea storica di Saint Jean de Maurienne,
- La stazione internazionale di Saint Jean de Maurienne,
- L'area di sicurezza e manutenzione di Saint Jean de Maurienne,
- Il tunnel di base da 57 Km, che comprende:
  - La discenderia di Saint Martin de la Porte,
  - La discenderia di La Praz,
  - L'area di sicurezza sotterranea di La Praz
  - Il pozzo di ventilazione di Avrieux
  - La discenderia di La Modane,
  - L'area di sicurezza sotterranea di Modane,
  - Il pozzo di ventilazione di Clarea,
  - L'area di sicurezza sotterranea di Clarea,
  - Il tunnel di Maddalena
- La stazione internazionale di Susa,
- L'area di sicurezza e manutenzione di Susa,
- Il tunnel di interconnessione della lunghezza di 2 Km,
- I raccordi alla linea storica di Bussoleno.

Per gestire la sezione internazionale saranno utilizzati due Posti di Comando Centralizzati (PCC). 1 PCC situato a Saint Jean de Maurienne e 1 PCC a Susa. Uno delle due è attivo mentre l'altro è in stand-by.

## 2. Glossario

C2	Cavo non propagatore di fiamme
CIG	Commissione Intergovernamentale franco-italiano
CR1/C1	Cavo resistente al fuoco e non propagatore d'incendio
GTF	Gestione Tecnica Ferroviaria
IK	Indice di resistenza agli urti meccanici
IP	Indice di Protezione
LTF	Lione Torino Ferroviario
PCC	Postazione di Comando Centralizzato
RFF	Rete Ferroviaria Francese
RFI	Rete Ferroviaria Italiana
STI	Specifiche Tecniche d'Interoperabilità
TGBT	Quadro Generale Bassa Tensione
UIC	Unione Internazionale delle Ferrovie

## 3. Presentazione del sistema dei portali termografici

Vi presentiamo qui, il portale termografico installato come attrezzatura di sicurezza. Per questo, dopo aver collocato il sistema nel suo contesto, ed elencato i suoi obiettivi, presteremo attenzione alle opere e ai quadri normativi che l'influenzano. Infine, elencheremo i vincoli ai quali è sottoposto e le prestazioni da raggiungere.

### 3.1 Generalità

Trasportando le carrozze sulle rotaie, i rischi di surriscaldamento sono almeno identici a quelli riportati dalle società di gestione delle autostrade. Questi punti caldi possono trasformarsi in un incendio tra il carico delle carrozze e l'entrata del treno nella galleria.

I portali termografici completano gli equipaggiamenti di sicurezza utilizzati a monte delle gallerie. Lo studio qui riguarda il rilevamento dei punti caldi in modo anormale sul materiale rotabile.

Questo tipo di equipaggiamento esiste solo come prototipo, cercheremo di definirlo utilizzando le tecnologie esistenti senza poter contare sul sistema di feedback.

### 3.2 Obiettivo del sistema

L'obiettivo del sistema sarà quello di rilevare precocemente, qualsiasi punto eccessivamente caldo sul materiale rotabile per poter fermare il treno prima della sua entrata nelle gallerie.

### 3.3 Topologia e geometria delle opere

Le opere che hanno un impatto sui portali termografici saranno :

- L'installazione dei binari delle linee storiche e delle nuove linee presso i luoghi d'installazione,
- I possibili accessi delle linee storiche e delle nuove linee alla zona LTF,

- Le opere di ingegneria civile (le gallerie) presenti sui binari al di fuori delle gallerie principali.

### 3.4 Quadro normativo

Il presente paragrafo elenca le diverse regolamentazioni, norme e standard in Europa, in Italia, in Francia e all'estero che hanno un impatto sullo studio dei portali termografici.

La priorità di applicazione delle norme selezionate per questo progetto sarà conforme alla Consegna 37 relativa ai principi del quadro normativo della sicurezza (§2.5 Gerarchia delle norme) :

- Le direttive europee e le norme STI si applicano in via prioritaria al progetto,
- In caso contrario, le norme decretate dalla CIG prevalgono poi sulle norme nazionali. La CIG può promulgare norme più severe rispetto alle direttive europee e alle norme STI tranne che per il materiale rotabile,
- In mancanza di una direttiva europea, di una norma STI o di una regolamentazione della CIG, si applica la norma nazionale più severa, fatto salvo il mantenimento della coerenza complessiva delle disposizioni.

Le norme sono le stesse sull'intera parte comune (vale a dire in ambedue le gallerie di Base e di Interconnessione).

#### 3.4.1 Direttive europee e norme STI

In questo paragrafo elencheremo tutte le norme e le direttive europee così come le specifiche tecniche d'interoperabilità.

- Specifiche tecniche di interoperabilità adottate in seguito dal Consiglio Europeo : 2002/730/CE, 2002/731/CE, 2002/732/CE, 2002/733/CE, 2002/734/CE, e 2002/735/CE,
- Direttiva del Consiglio Europeo n°96/48/CE (relativa all'interoperabilità ferroviaria ad alta velocità in materia di sicurezza),
- Direttiva del Consiglio Europeo n° 73/23/EEC : « Direttiva bassa tensione ».

#### 3.4.2 Norme CIG

Dopo aver elencato le normative europee, che sono preponderanti sulle altre, elenchiamo i criteri dettati dalla CIG e applicabili ai portali termografici.

Nessun criterio CIG è applicabile per i portali termografici.

#### 3.4.3 Altre norme

Infine, dopo le normative europee e quelle della CIG, elenchiamo qui di seguito le norme nazionali ed internazionali che non rientrano nelle prime due categorie.

- Codici del lavoro, francese e italiano,
- Codice UIC 779-9 : « Sicurezza nelle gallerie ferroviarie »,

- CEI 364-3 : "Impianti elettrici degli edifici – valutazione delle caratteristiche generali"
- EN 61587-1 : "Test climatici, meccanici e aspetti di sicurezza",
- EN 61587-3 : "Test funzionale di schermatura elettromagnetica".
- CEI 61508 : Sicurezza funzionale dei sistemi elettrici/ elettronici ed elettronici programmabili.

### 3.5 Verifica dei vincoli e delle prestazioni

Dopo aver enunciato le generalità sui portali termografici e preso in considerazione le opere e le norme che li vincolano, elenchiamo i vincoli fisici ai quali esso è sottoposto e poi le prestazioni attese.

#### 3.5.1 Vincoli

Per chiarezza, i vincoli sono stati separati in più punti. Innanzitutto, analizziamo i vincoli dettati da motivi di sicurezza, seguiti dall'ambiente in cui è installato il sistema, poi quelli relativi alla gestione e alla manutenzione dell'impianto e infine quelli legati alla realizzazione e all'evolutività.

##### 3.5.1.1 Vincoli di sicurezza

- Vincoli funzionali

Il lotto A2, relativo agli studi funzionali sugli stati di sicurezza, stipula, per i portali termografici, un rilevamento prima dell'entrata nelle gallerie.

- Sicurezza dei beni e delle persone

Una fiamma sarà considerata come un punto caldo.

##### 3.5.1.2 Vincoli ambientali

- Su ogni lato delle gallerie, i vincoli ambientali saranno quelli di una vallata alpina a un'altitudine di 600 m,
- Le vibrazioni generate dal passaggio del treno saranno significative,
- Il quadro delle influenze esterne tracciato dalla CEI 364-3 è allegato come Allegato 2.

##### 3.5.1.3 Vincoli di gestione e manutenzione

- Utilizzo
  - o Le velocità dei treni per il trasporto merci e dell'autostrada ferroviaria saranno comprese tra 100 e 120 km/h,
  - o La velocità dei treni ad alta velocità (TGV e ETR) sarà di 220 km/h,
  - o Sarà assegnato un senso di marcia per binario ma, occasionalmente, i binari potranno essere utilizzati in ambedue i sensi di marcia,

- o Il pantografo genererà archi elettrici,
- o I materiali pericolosi ammessi al RID, lo saranno anche nella zona LTF. Ciò comporterà l'ammissibilità di materiali pericolosi nelle categorie da B a E,
- o Per fermarsi i treni avranno bisogno al massimo di 3400 m,
- o Poiché le carrozze possono essere stoccate all'aperto, alcune parti possono catturare il calore in modo diverso, a seconda del loro colore e del materiale di cui sono costituiti, determinando così impressioni di surriscaldamento locale.

- **Manutenzione**

Ai fini di una maggiore chiarezza, si precisano i seguenti concetti :

« Per manutenzione preventiva, si intende un tipo di manutenzione eseguita a intervalli prestabiliti o in base a criteri prescritti e volta a ridurre le probabilità di guasto o il degrado delle prestazioni di un'unità.

Per manutenzione correttiva si intende la manutenzione eseguita a seguito della constatazione di un guasto e volta a ripristinare un'unità rendendola di nuovo in grado di eseguire la funzione richiesta.

Per manutenzione straordinaria si intende un'azione intrapresa volontariamente per migliorare l'affidabilità e/o rafforzare le infrastrutture attraverso interventi che aumentano il valore del patrimonio. ».

Per la nuova linea ferroviaria, la manutenzione prevista sarà di 4 ore per notte su tutto o parte di uno dei due binari.

Per la linea ferroviaria storica, la manutenzione prevista sarà di 2 ore per binario, successivamente su ciascuno dei binari, in orario diurno.

- o Correttiva :

Tutti i componenti necessari alla manutenzione dovranno essere disponibili per 15 anni.

- o Straordinaria :

Il sistema potrà essere sostituito solo dopo almeno 15 anni di utilizzo.

### **3.5.1.4 Vincoli di realizzazione**

- **Installazione**

- o Sulle sezioni all'aperto, le rotaie saranno deposte sul reattore. Va notato che questo si incurva con il tempo e il passaggio dei treni.
- o I portali di rilevamento termografico dei punti caldi dovranno essere installati sui due binari. Affinché il sistema possa essere operativo su ogni treno anche in caso di incrocio di due treni, l'interasse, ossia la distanza tra i due binari, è un vincolo per il nostro sistema.
- o Il comportamento dei treni cambia quando si effettua una curva, o più in generale in presenza di una sopraelevazione del binario, a causa di vari parametri quali la velocità di passaggio, lo stato delle sospensioni, l'asimmetria del treno o del suo carico... La misura sulla sagoma non potrà adattarsi a tutti questi parametri. Il sistema sarà quindi vincolato dalle pendenze presenti sul progetto.

### 3.5.2 Prestazioni

Dopo aver visto i vari vincoli ai quali sono sottoposti i portali termografici, si stabiliscono qui le prestazioni che questi devono garantire. Queste prestazioni sono state suddivise in sei punti. Innanzitutto vedremo le prestazioni generali ed in seguito quelle relative alla precisione di misura seguite da quelle operative, di manutenzione, affidabilità e disponibilità.

- Generalità

Il sistema di rilevamento di punti caldi attraverso portali termografici dovrà soddisfare tutti i vincoli di cui sopra.

- Precisione di misura

- o Il sistema sarà dimensionato per rilevare i punti caldi solo sui treni merci e sull'autostrada ferroviaria,
- o Il sistema dovrà essere in grado di rilevare i punti caldi che vanno da 50 kW a 50 MW,
- o Il sistema dovrà essere in grado di rilevare una fiamma (considerata un punto caldo) con le stesse prestazioni richieste per il rilevamento di fiamme su un tubo ferroviario, cioè, rilevare la comparsa di una fiamma di 5 cm di altezza e spostarsi ad una velocità di 160 km/h,
- o Il sistema dovrà essere in grado di rilevare un punto caldo sull'intera circonferenza del treno,
- o Il sistema dovrà essere in grado di determinare se un punto caldo è normale oppure no a seconda della sua posizione sul treno (ad esempio motore, tubo di raffreddamento delle carrozze frigoriferi),
- o Il sistema dovrà essere sensibile alle variazioni di temperatura di 1 K.

- Utilizzo

Il sistema dovrà far scattare un allarme al massimo 1 min 30 secondi dopo che un punto caldo viene rilevato dal portale

- Manutenzione

- o Preventiva :

Il tempo tra due manutenzioni preventive non sarà inferiore a 3 mesi.

- o Correttiva :

I componenti modificati nel corso di una manutenzione correttiva saranno in grado di funzionare per almeno un anno.

- Affidabilità

- o Una volta terminato il periodo di prova, produrre al massimo un falso allarme ogni 1 000 allarmi generati,
- o Il sistema dovrà essere insensibile al calore sprigionato dai teloni di copertura per carrozze lasciate al sole.

- **Disponibilità**

- o Le attrezzature del portale poste sulla nuova linea non saranno disponibili al massimo per 4 ore a notte ogni due giorni. Le attrezzature del portale poste sulla linea storica non saranno disponibili al massimo per 2 ore al giorno tutti i giorni,
- o Al fine di garantire la disponibilità del sistema, le attrezzature saranno raddoppiate
- o Il sistema dovrà essere in grado di passare automaticamente da una serie di attrezzature ad un'altra in caso di fallimento della prima.

#### **4. Analisi delle tecnologie**

Al fine di selezionare le tecnologie disponibili e più adatte per i portali termografici, confrontiamo le diverse tecnologie presenti sul mercato. Per questo ne effettueremo una breve descrizione funzionale prima di indicarne i vantaggi e gli inconvenienti.

Tutte le tecnologie utilizzate saranno riprese nell'Allegato 1.

##### **4.1 Sensore infrarossi**

Questo principio è basato sul fatto che ogni oggetto la cui temperatura è al di sopra dello zero assoluto (-273K) emette una radiazione elettromagnetica, la cui distribuzione delle lunghezze d'onda è una funzione della temperatura (funzione di Planck).

Di conseguenza, rilevando la radiazione emessa, è possibile mappare piccole variazioni di temperatura sulla superficie del corpo, ed identificare le anomalie termiche.

Nello spettro infrarosso, solo la banda 1-15 micron è utilizzata per gli strumenti di misura. Ciò si spiega con la disponibilità in questa banda di rilevatori adatti per la misurazione della temperatura tramite il campo irradiato. In pratica la banda 1-15 micron non può quasi mai essere coperta da un singolo dispositivo, ed è stata quindi suddivisa in tre sottobande.

I sensori infrarossi non misurano direttamente la temperatura dell'oggetto ma il valore della radiazione infrarossa ricevuta durante la visione. Questa misurazione viene poi convertita in temperatura. La conversione tiene conto dell'ambiente in cui è stato osservato l'oggetto. Infatti, diversi fattori, come le condizioni atmosferiche o gli oggetti circostanti, possono generare una differenza tra la temperatura registrata e quella misurata. Ciò implica anche che solo la radiazione diretta è utilizzabile. Non sarà quindi possibile effettuare un rilevamento attraverso un altro oggetto, compreso il vetro.

La differenza di qualità dello stesso tipo di sensore permette di fornire strumenti di misurazione che hanno applicazioni diverse: imaging o termografica. In realtà, questi strumenti potranno rispettivamente sia effettuare semplicemente un rilevamento di punti caldi, che creare il ritratto termografico di una zona e visualizzare le temperature precise.

Osserviamo qui sensori di alta qualità, alcuni sono comuni a entrambi i dispositivi di misurazione, altri sono utilizzati solamente per i dispositivi di misurazione termografica.

Inizieremo dai sensori microbolometrici seguiti da quelli piezoelettrici ed infine quelli fotonici.

#### ***4.1.1 Tecnologia microbolometrica***

Il primo sensore che studieremo è quello attualmente più utilizzato. Inizieremo col descrivere il suo funzionamento, poi i suoi vantaggi e i suoi inconvenienti per confrontarlo con le altre tecnologie.

##### ***4.1.1.1 Descrizione***

Questi sensori utilizzano piccoli elementi sensibili (silicio amorfo o ossido di vanadio) per misurare direttamente la temperatura esterna di un oggetto posto nel campo del sensore. Pertanto, non è necessario un otturatore. Quando la radiazione picchia sulla parte sensibile del sensore, ne modifica la resistenza interna.

Misurando la resistenza siamo in grado di determinare il valore della radiazione e quindi quello della temperatura.

##### ***4.1.1.2 Vantaggi***

Il rilevatore microbolometrico assicura un'elevata precisione di misurazione. Inoltre, i materiali utilizzati per gli elementi sensibili del sensore offrono una forte sensibilità che permette così di ridurre le dimensioni della matrice degli elementi sensibili, quindi i costi e i consumi.

##### ***4.1.1.3 Inconvenienti***

Questi sensori hanno bisogno di ricalibrarsi periodicamente e automaticamente rispetto ad un segnale di riferimento, per conoscerne la resistenza associata. Tra due misure è necessario lasciare un tempo di rilassamento alla resistenza per permetterle di tornare al suo stato di riferimento prima di effettuare la misurazione successiva. Tenuto conto di questa volta, con il sensore microbolometrico, vi è un limite fisico dell'ordine di 100 fotogrammi al secondo. Oggi questo limite non è ancora stato raggiunto.

Infine, a causa del loro funzionamento, questi sensori dipendono molto dalla temperatura assoluta del sistema poiché captano anche le radiazioni ambientali.

#### ***4.1.2 Tecnologia piezoelettrica***

Dopo aver analizzato il sensore microbolometrico, occupiamoci di quello piezoelettrico. Questo è storicamente più vecchio ma è utilizzato ancora oggi.

##### ***4.1.2.1 Descrizione***

Questo tipo di sensore è basato sull'utilizzo della variazione della carica elettrica in una capacità che comporta un dielettrico piezoelettrico. E' necessario modulare il flusso di raggi infrarossi incidente da un mezzo meccanico (otturatore) al fine di indurre una variazione della capacità elettrica (dovuta ai cambiamenti di polarizzazione elettrica del materiale piezoelettrico in risposta ai cambiamenti di temperatura) e quindi una variazione della carica elettrica che può essere misurata.



#### ***4.1.2.2 Vantaggi***

Essi non hanno bisogno di essere ricalibrati durante l'utilizzo. Inoltre, il sensore piezoelettrico comporta un costo meno elevato rispetto al sensore microbolometrico. La tecnologia dei sensori è in gran parte controllata.

#### ***4.1.2.3 Inconvenienti***

L'otturatore viene spesso realizzato con l'aiuto di una ruota forata. Ciò comporta problemi di sincronizzazione relativi al gioco meccanico, e un rischio di rottura e usura delle parti meccaniche. Infine, il sensore piezoelettrico viene utilizzato sempre meno, il che potrebbe portare alla sua scomparsa dal mercato da qui alla realizzazione del progetto.

### ***4.1.3 Tecnologia fotonica***

Infine, dopo aver studiato i sensori microbolometrici e piezoelettrici, esamineremo il sensore più recente, quello fotonico. Anche se già in commercio, la ricerca su questo tipo di sensore continua.

#### ***4.1.3.1 Descrizione***

Quest'ultima tecnologia utilizza semiconduttori con giunzioni con bassa larghezza di banda dove l'energia di un fotone infrarosso viene direttamente convertita in segnale elettrico. Questo è utilizzato, tra gli altri, dai militari. I semiconduttori selezionati sono evoluti grazie alle ricerche su questo tipo di sensori. Oggi, si trovano piuttosto sensori in antimoniuro di indio (InSb).

#### ***4.1.3.2 Vantaggi***

Questi sensori offrono un'elevata sensibilità e i tempi di risposta molto brevi (inferiori a 10 millisecondi) grazie a un trasferimento di elettroni e ad una conversione molto rapida. Ciò permette di avere una buona risoluzione e frequenze di acquisizione importanti.

#### ***4.1.3.3 Inconvenienti***

Questi sensori tuttavia richiedono un sistema di raffreddamento importante per poter evitare la generazione di portali indotti termicamente. Inoltre la parte ottica occupa un posto molto più importante rispetto agli altri due rivelatori. Infine, questo tipo di sensore, poiché funziona con un trasferimento di elettroni, è sensibile al campo elettromagnetico della catenaria.

### ***4.1.4 Sintesi***

Poiché l'obiettivo è quello di trovare strumenti di misurazione la cui frequenza di acquisizione sia importante e che abbiano una buona risoluzione, considereremo la tecnologia fotonica, anche se occorre prevedere una protezione contro il campo elettromagnetico irradiato dalla catenaria. Questo porterà ad un'elevata precisione di misurazione e permetterà di ottenere un

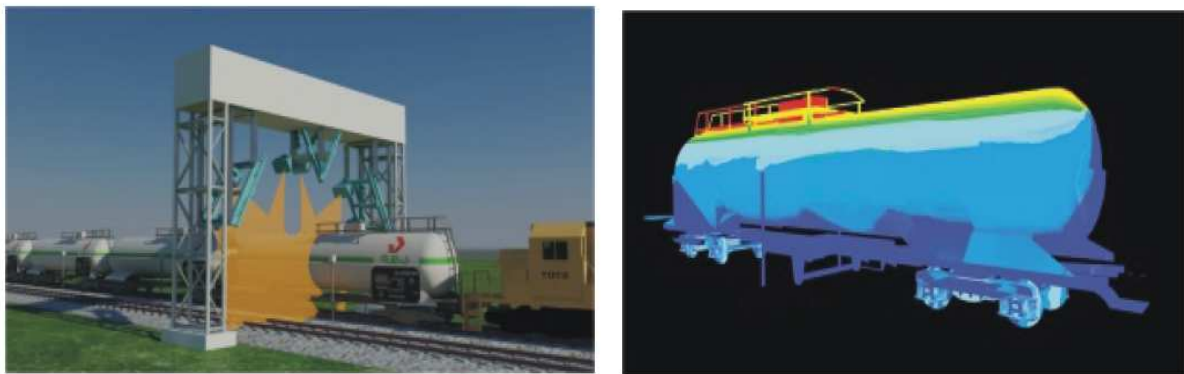
gran numero di immagini che eventualmente in futuro permetteranno di ottenere velocità più elevate.

## 5. Studio dell'architettura e analisi funzionale

In questo paragrafo viene effettuata una descrizione dell'architettura complessiva e funzionale dei portali termografici. Ciò permette di descriverne con precisione i componenti che la costituiscono e i luoghi in cui si trova l'intelligenza del sistema.

### 5.1 Architettura

Iniziamo a parlare dell'architettura concentrandoci sui sensori, poi sui cavi dell'alimentazione elettrica e delle trasmissioni per finire con le centrali e le diverse interfacce, soprattutto elettriche e di comunicazione. La descrizione dell'architettura del portale termografico si basa sul presupposto che il portale è dedicato al rilevamento dei punti caldi attraverso la termografia. Puntualmente, se necessario, saranno fornite ulteriori precisazioni per chiarire l'impatto del interscambio del portale con un altro sistema. Distingueremo allora due casi, quello in cui viene attuato solo il rilevamento dei punti caldi e quello in cui tale rilevamento viene abbinato al rilevamento di sagoma.



*Figura 7 – Esempio di profilo termografico*

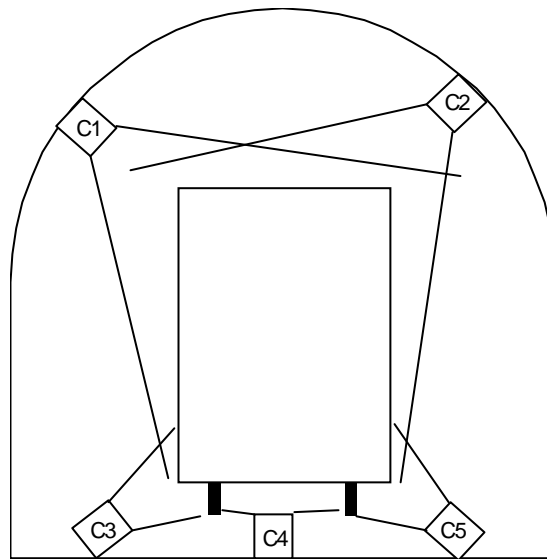
#### 5.1.1 Sicurezza

Secondo la norma CEI 61508 sulla sicurezza funzionale dei sistemi elettrici/elettronici e elettronici programmabili (E/E/PE) relativi alla sicurezza, è stato stabilito che il sistema dovrà essere certificato SIL 4. E' consigliato quindi che le funzioni di sicurezza del materiale selezionato per il rilevamento termografico siano di capacità SIL 4.

#### 5.1.2 Sensori

Per i portali termografici iniziamo col presentare l'architettura dei vari sensori da installare. Il portale sarà composto da cinque sensori distribuiti sulla circonferenza del treno e disposti come indicato nella figura seguente. Ciò permetterà di vedere il treno nel suo insieme. Ognuno di questi sensori sarà composto di celle unitarie sensibili nel campo del visibile e altre nel campo dell'infrarosso. Quelle sensibili nel campo dell'infrarosso dovranno poter effettuare dei rilevamenti di temperatura. Per facilitare l'acquisizione dei dati da parte delle celle sensibili nel visibile, sui montanti del portale, il cui perimetro è stimato a 35m, saranno posizionate delle file di LED che illuminano l'infrarosso vicino (100 lm/W). Le file saranno

composte da 5 LED quando i rilevamenti dei punti caldi e di sagoma sono installati sullo stesso portale e da 10 LED nel caso contrario. Le file saranno distanti tra loro 50cm.



*Figura 8 - Principio di installazione dei sensori*

Il numero delle celle unitarie è determinato in base alla superficie da controllare della risoluzione richiesta, del numero di pixel di ogni cella, della frequenza di acquisizione e della velocità massima dei treni.

Dovendo dimensionare il sistema in modo conservativo, verrà presa in considerazione la velocità del treno di 160 km/h cioè 44 m/s. Considerando che ogni sensore deve essere in grado di vedere su una larghezza del treno di 50 cm, se si desidera vedere l'insieme del treno, la cella deve poter acquisire 88 immagini al secondo. Prendendo una frequenza di acquisizione di 90 Hz, ci si assicurerà una zona di sovrapposizione che garantisce una visione completa del treno. Se fosse impossibile avere celle con una frequenza di 90 Hz, si cercherà di dividere in due il sistema.

Diverse sagome di treno dovranno essere ispezionate dal portale. Le altezze sono comprese tra 4 m e 5,5 m e le larghezze variano da 2,8 m a 3,9 m. Questo dovrà quindi avere un'immagine netta e abbastanza precisa per questi diversi tipi di treni. Al momento dell'esecuzione, se i sensori non consentono una vasta gamma di nitidezza, considereremo l'uso di due serie di sensori.

La comunicazione del sensore video al sistema di elaborazione e viceversa avverrà tramite un'interfaccia video digitale. E' da considerare qui l'utilizzo di una fibra dedicata.

Il posizionamento esatto dei sensori sul portale dipenderà dalla lunghezza focale utilizzata dall'installatore.

Data la vicinanza delle celle alla catenaria, occorrerà prevedere in modo certo una protezione contro il campo elettromagnetico da essa irradiato certa per le celle infrarosse e probabile per le celle visibili. Per quest'ultime la scelta sarà fatta a seguito di alcuni test.

Per preparare l'analisi dei punti caldi, saranno collocati due contatori di assi a monte del portale per determinare la velocità del treno e comunicare al sistema il numero di assi. Il primo sarà posizionato a 250 m, il secondo a 200 m dal portale. Per garantire l'utilizzo dei binari a doppio senso, ne posizioneremo due anche a valle del portale e alle stesse distanze. Tutti i sensori saranno collegati ai server di elaborazione posti sul PCC.

La comunicazione con i sensori assali avverrà tramite un'uscita analogica collegata alla GTF al livello del portale. La GTF trasferirà le informazioni ai computer di elaborazione posti sul PCC. Il calcolatore sarà collegato direttamente ai server della GTF posti sul PCC.

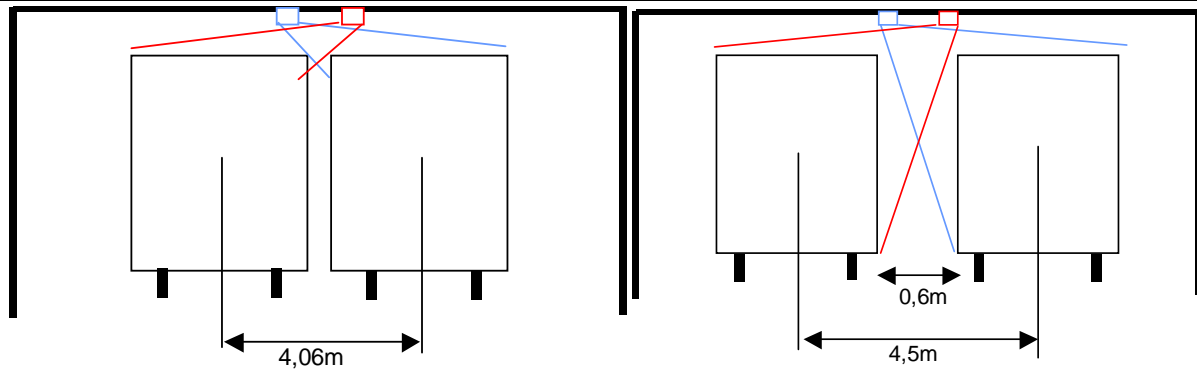
Rispetto alla disponibilità del portale, i diversi sensori saranno raddoppiati grazie alla tecnologia SIL4 sviluppata. Nel caso in cui il rilevamento dei punti caldi sarà indipendente dal rilevamento di sagoma, questo comporterà l'aumento della profondità del portale. Il portale sarà composto da dieci sensori per binario, cinque per ogni sistema per binario. In caso contrario, noteremo che non sarà più necessario aumentare la profondità del portale e basterà disporre il gioco dei sensori di soccorso sul secondo portale del rilevamento di sagoma.

Inoltre, altri portali saranno installati all'uscita delle linee di relé per analizzare un treno che, dopo l'arresto, riparte in direzione della galleria.

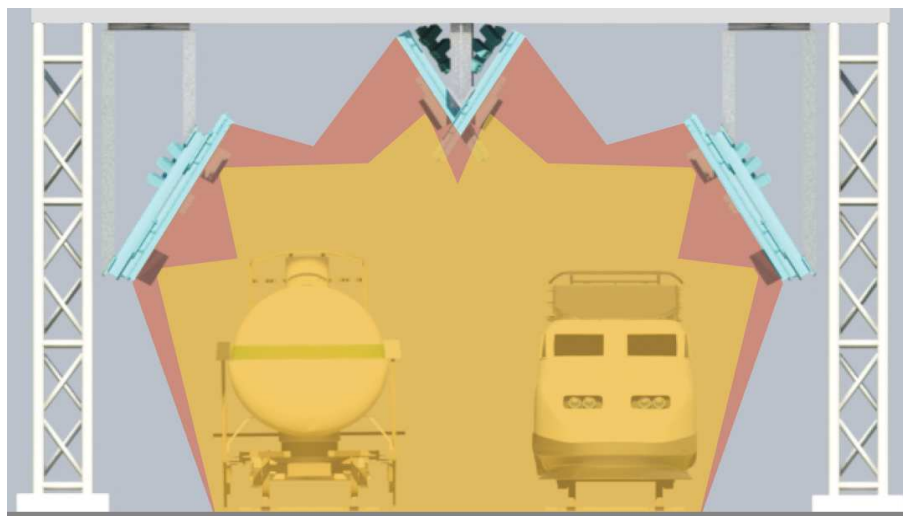
### ***5.1.3 Portali***

Dopo aver descritto i sensori installati, osserveremo in questo paragrafo i portali che li sostengono. Nel caso in cui i sensori di rilevamento dei punti caldi per termografia saranno installati con quelli di rilevamento di sagoma, il portale sarà quello descritto per il rilevamento di sagoma. Quando il rilevamento dei punti caldi sarà installato solo su un portale, vale a dire senza il rilevamento di sagoma, il portale dovrà essere fornito.

La parte bassa del sensore sarà a 50 cm minimo al di sopra della catenaria e ad almeno 60 cm dal treno più largo da analizzare. Le distanze di 50 e 60 cm sono imposte per avere un sensore capace di vedere l'insieme del treno, dalla parte superiore a quella laterale. Inoltre per poter analizzare un treno quando due treni si incontrano, è obbligatorio che la zona di 60 cm sia vuota e senza ostacoli. Tenuto conto di ciò, nel punto in cui si trova il portale, la distanza dovrà essere di almeno 4,5 m (considerando una sagoma di 3,9 m di larghezza). Questo vincolo sulla distanza è valido solo quando il rilevamento dei punti caldi grazie alla termografia viene attivato da solo, cioè senza il rilevamento di sagoma. La figura seguente, permette di visualizzare questo problema.



*Figura 9 - Comprendere la necessità di una distanza minima*



*Figura 10 – Esempio di portale con l'installazione di due sistemi (Termografico e sagoma)*

Tuttavia, nel caso in cui il rilevamento dei punti caldi può essere abbinato al rilevamento di sagoma, si noterà che questo vincolo sulla distanza non è più necessario. Le distanze minime tra il treno e i sensori e tra questi ultimi e la catenaria invece restano validi. Gli strumenti di rilevamento termico e fuori sagoma verranno posizionati su un solo portale. Grazie all'SIL4, un sistema di sicurezza maggiore installato sul portale, non sarà necessario raddoppiare i diversi sensori o il portale.

Infine, data la distanza massima di frenata per i treni che viaggiano a 160 km/h (2100 m), il tempo di reazione dell'intero sistema (2min ossia 5400 m) e la lunghezza massima di un treno (750 m) i portali dovranno essere installati almeno a **8,3 km** dall'entrata di un binario di raccordo ad eccezione dei treni che ripartono dopo una sosta su un binario di relè.

Il luogo considerato per l'installazione del portico dovrà essere in piano per evitare che il treno si inclini al momento del suo passaggio sotto i sensori.

Ciò faciliterà la misurazione. Inoltre si avrà un luogo di installazione il più piatto possibile.

I portali creeranno un riparo che assicuri la protezione dei sensori e il loro isolamento dai parassiti ambientali esterni (uccelli, foglie, intemperie...).

La costituzione di ogni portale e la distanza dei montanti rispetto ai binari dovranno rispettare gli ostacoli delle norme internazionali per l'installazione di infrastrutture fisse.

L'architettura del portale dovrà consentire ad ogni sensore di essere posizionato almeno alla distanza di isolamento elettrico (elettrificazione della linea) della zona catenaria e della sagoma del pantografo.

#### ***5.1.4 Cavi di trasmissione e alimentazione elettrica***

Dopo aver studiato l'architettura dei sensori, qui di seguito vediamo come questi sono collegati alle altre apparecchiature.

I cavi di trasmissione assicureranno la connessione, da una parte, tra il sistema di elaborazione e i sensori, e dall'altra, tra il sistema di elaborazione e il punto focale GTF. Questi potranno essere sottoposti alle condizioni atmosferiche di una vallata alpina a 600 m di altitudine e dovranno quindi resistere all'esposizione permanente, alle radiazioni solari, alle intemperie e agli schizzi d'acqua.

I cavi che assicurano l'alimentazione dei diversi organi (centrali, sensori) saranno vincolati come quelli dedicati alla trasmissione di informazioni.

#### ***5.1.5 Sistema di elaborazione***

Dopo i cavi elettrici e di trasmissione e i rilevatori, descriviamo qui l'architettura delle centrali locali.

Il sistema di elaborazione sarà composto da computer di tipo PC industriale che permettono di effettuare l'elaborazione dei dati recuperati, di un database contenente i portali termografici di diversi tipi di treno, di un server per analizzare il ritratto del treno in corso di elaborazione rispetto a quelli del database, di unità di memoria per la memorizzazione dei profili dei treni passati nelle ultime 48 ore. C'è da notare che ci saranno due computer per sensore, ossia uno per ogni cella (visibile e infrarosso) di rilevamento. Ciò viene riportato sulla figura 3. Tutte le attrezzature saranno installate al PCC più vicino al portale.

Rispetto alle disponibilità i diversi computer che assicurano l'elaborazione o l'analisi dei dati saranno raddoppiati. Solamente i database e le unità di memoria non saranno raddoppiati. Il secondo computer collegato allo stesso sensore assicura un raddoppio di prestazioni, quindi questo sarà solo un computer aggiunto.

#### ***5.1.6 Interfaccia***

Infine, per terminare la descrizione dell'architettura, analizziamo qui le diverse interfaccia.

Le interfaccia sono suddivise in interfaccia elettriche e di comunicazione.

- Elettrica
  - o Alimentazione

I diversi dispositivi del sistema di elaborazione saranno alimentati tramite alimentazione di continuità senza interruzione a 230 V.

Lo stesso avverrà per i diversi sensori del portale.

La società responsabile delle attrezzature di alimentazione elettrica dovrà assicurare la fornitura del materiale per il raccordo alla rete di alimentazione ai piedi di ogni postazione locale del sistema di rilevamento dei punti caldi per termografia.

#### oCablaggio

Le fibre ottiche che assicurano la connessione tra i luoghi d'installazione dei portali e i PCC, dove sono installati i computer di elaborazione dovranno essere installate prima dell'installazione delle attrezzature. Occorreranno due fibre per ogni sensore. Una per quello visibile e una per quello infrarosso.

- Comunicazione con la GTF

Solamente uno dei computer che servono all'analisi dei profili termografici comunicherà direttamente con la GTF. Inoltre, i rilevatori assali saranno collegati al punto focale GTF (modulo di entrata/uscita trasferito) più vicino. Il protocollo di comunicazione e le interfacce sono definiti negli studi sul PCC e su quelli sulle reti di comunicazione.

La società responsabile delle attrezzature di comunicazione dovrà assicurare la fornitura del materiale per il raccordo alla rete di teletrasmissione ai piedi di ogni postazione locale del sistema di rilevamento dei punti caldi per termografia.

- Rilevamento di sagoma

L'installazione dei sensori per il rilevamento dei punti caldi per termografia sotto il portale dovrà essere coordinata con quella dei sensori per il rilevamento di sagoma. La coordinazione verrà fatta sulle operazioni di :

- o Posizionamento dei sensori,
- o Concezione della larghezza dei portali,
- o Passaggio dei cavi di alimentazione elettrica e di comunicazione, ecc.

Inoltre, ci sarà un'interfaccia locale con la segnalazione tramite relè di sicurezza per poter fermare il treno automaticamente, senza l'intervento di un operatore.

- Ingegneria Civile

La realizzazione dei portali e delle attrezzature relative al rilevamento dei punti caldi per termografia dovrà essere coordinata con le operazioni di Ingegneria Civile. I blocchi di cemento a fondamento dei portali e le prenotazioni per i cavi dovranno essere disponibili prima del montaggio sul posto dei portali e la realizzazione dei sensori.

Per la linea storica, si intende rimuovere le rotaie esistenti in ciascun sito d'installazione dei portali per sistemare un blocco di cemento al quale saranno fissati i montanti dei portali. Le rotaie utilizzate per assicurare la continuità del traffico ferroviario durante il ripristino della linea dovranno essere fissate a questo blocco di cemento.

## 5.2 **Analisi funzionale**

Dopo aver descritto l'architettura, effettuiamo un'analisi funzionale dei portali termografici, per osservare come viene distribuita l'intelligenza tra le attrezzature di terra, le unità di elaborazione locale e il sistema di supervisione.

### 5.2.1 *Attrezzature di terra*

Dopo aver descritto l'architettura, effettuiamo un'analisi funzionale dei portali termografici, per osservare come viene distribuita l'intelligenza tra le attrezzature di terra, le unità di elaborazione locale e il sistema di supervisione.

### 5.2.2 *Elaborazione locale trasferita sul PCC*

Dopo aver studiato i rilevatori, osserviamo le funzioni garantite dalle unità di elaborazione locale (computer di acquisizione, calcolatore e database).

Dopo una fase di apprendimento grazie alla quale si sarà costituito un database dei portali termografici, delle velocità e del numero di assali dei diversi tipi di treno, il sistema sarà pronto. Il database sarà costruito facendo viaggiare sotto il portico convogli veri che simulano i diversi tipi di treni che potrebbero transitare.

In modalità di funzionamento normale, grazie ai rilevatori elettronici sulla ruota, il computer selezionerà nel database, in base al numero degli assali e alla velocità del treno, i profili termografici più rilevanti. In seguito, i computer di acquisizione elaboreranno i dati trasmessi dai sensori per ricostituire, pezzo per pezzo, il profilo termografico del treno. Contemporaneamente il computer riconosce il profilo geometrico del treno più vicino. Infine attraverso un approccio statistico confronta i due profili termografici, quello rilevato e quello memorizzato nel database e, se necessario, attiva un allarme.

Sarà il computer a decidere se il profilo merita di essere memorizzato nel database e ad espandere quindi il suo database di riferimento. La selezione sarà basata su portali sani non catalogati nel database e che permetteranno di rafforzare la solidità del sistema statico.

Quando viene attivato un allarme, il sistema trasmetterà il binario su cui è passato il treno, l'orario, la data e il profilo termico del treno.

Per far sì che l'acquisizione non sia inutile e non si ingombri solo spazio nella memoria, questa sarà attivata dal sistema quando quest'ultimo riceverà un segnale dal primo rilevatore elettronico di ruota posizionato a 250 m a monte del portale.

Questo lascia poco più di 5 s al sistema per attivarsi a 160 km/h. Allo stesso modo il sistema fermerà l'acquisizione quando l'ultimo assale avrà superato il rilevatore situato a valle del portale. Questa procedura dovrà funzionare con il doppio senso di marcia dei binari.

La postazione centrale sarà al PCC Saint Jean de Maurienne e Susa. I server saranno raddoppiati a ogni PCC nelle postazioni centrali.

### 5.2.3 *GTF*

Infine, analizziamo le funzioni garantite dal sistema di supervisione.



Per i portali termografici, i server GTF saranno, da una parte, connessi direttamente al computer per recuperare gli allarmi e dall'altra parte, connessi al sistema di salvataggio per visionare i profili dei treni.

La GTF avrà quindi l'incarico di visualizzare sulla tabella sinottica murale e sulla sinottica generale delle attrezzature di sicurezza controllate dalla GTF lo stato dei diversi sensori :

- Normale
- Guasto
- Presenza di un punto caldo.

Inoltre la GTF dovrà essere in grado di visualizzare, su richiesta, su uno schermo, le immagini registrate dal portale durante l'ultimo passaggio del treno.

Infine, la GTF, in caso di presenza di un segnale analogico all'uscita di un rilevatore di assali lo trasmetterà fino al computer del portale associato.

## **6. Sinottico di installazione dei rilevatori, Schema dell'architettura, Piano dettagli**

Sulla base dei disegni del piano stabilito dall'ingegneria civile, il presente paragrafo stabilisce i piani di installazione dei sistemi.

### **6.1 Architettura generale**

La figura seguente presenta l'architettura del portale termografico, il numero dei computer è indicativo della descrizione fatta al paragrafo 4.

Caractéristiques des portiques thermographiques / Relazione tecnica caratteristiche dei portali termografici

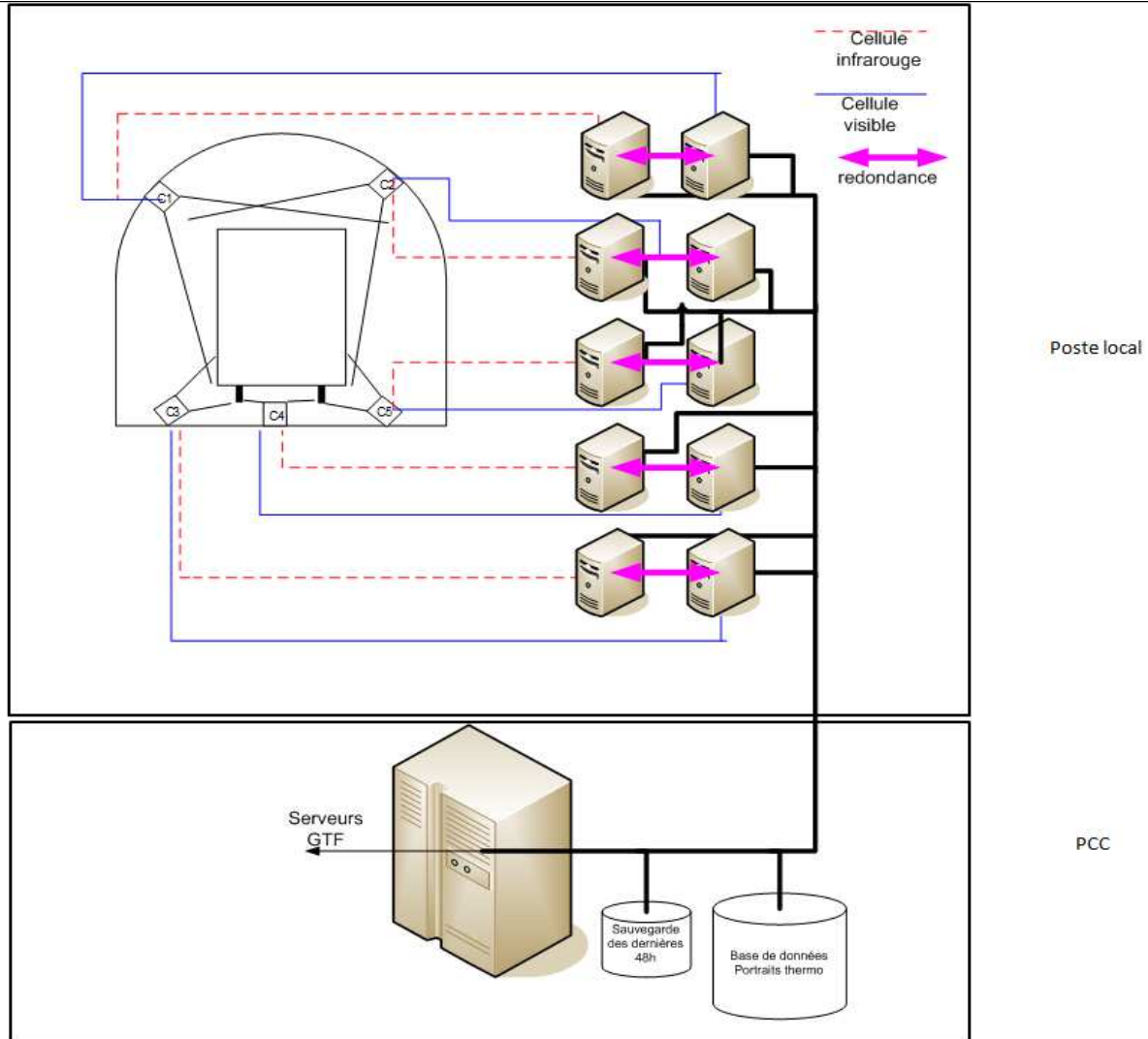


Figura 11 - Architettura generale per portale

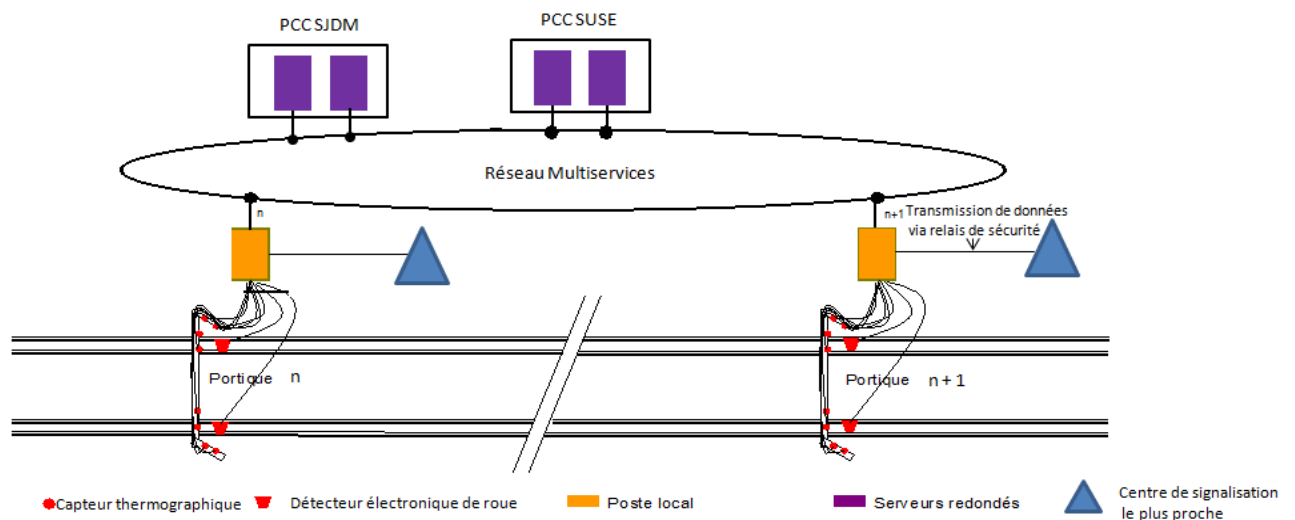


Figura 12 - Schema di architettura generale del sistema termografico

## 7. Sinottico di installazione dei rilevatori, Schema dell'architettura, Piano dettagli

A partire dai vincoli e dalle prestazioni da raggiungere, il presente paragrafo stabilisce le specifiche tecniche dei diversi materiali che costituiscono i portali termografici.

Il sinottico generale in cui saranno installati i portali termografici viene fornito sul piano “Sinottico di installazione dei rilevatori”.

Il piano di installazione dettagliato dei portali termografici viene fornito sul piano “Piani dei dettagli dei portali termografici”.

### 7.1 Portali

- Generalità

- o Specifiche funzionali

- Per l'applicazione delle regole di calcolo dei portali sarà considerato che la somma totale dei pesi di ogni elemento viene applicata in posizione verticale al centro della traversina.
    - Tutti i portali saranno dotati di un sistema di accessibilità, posizionato sul lato di uno dei due montanti. Tale accesso sarà protetto da un sistema di allarme antifurto e da un dispositivo anti-caduta.

- Progettazione meccanica

- o I portali, le crinoline e altri pezzi della struttura saranno realizzati in alluminio dello spessore di almeno 4mm.

- o Sull'altezza dei montanti dovrà essere recuperata l'inclinazione e la differenza di altezza dei supporti.

- o L'asse della traversa dovrà essere posizionato in modo che la parte bassa del sensore sia ad almeno 50cm sopra la catenaria.

- o I portali non dovranno essere scossi dal passaggio del treno per non disturbare la misurazione.

- Vincoli di funzionamento (Temperatura / Umidità )

- o I portali saranno dimensionati per resistere agli sforzi dovuti al vento e al peso della neve, caratteristiche della regione d'installazione dei portali, senza rotture né deformazioni. C'è da considerare che il vento soffia perpendicolarmente al portale e verranno presi i valori massimi constatati sul PCC di Saint Jean de Maurienne.

- Varie

- o Garanzia

- Minimo 3 anni

### 7.2 Sensore termografico

- Generalità
  - o Specifiche funzionali
    - Frequenza di acquisizione superiore a 90hz.
    - Risoluzione di 100mK.
    - Rilevare un punto caldo a partire da 5kW.
    - Rilevare una fiamma di 5 cm di altezza spostandosi a 160km/h.
    - Sensore a semiconduttore raffreddato.
    - La dimensione dei pixel sarà inferiore a 59\*59µm.
    - La dimensione della matrice sarà almeno di 320\*120 pixel.
  
- Progettazione elettrica
  - o Alimentazione in 230Vac o in 12Vcc (funzionamento da 5 a 24V)
  - o Consumo massimo 6W
  
- Entrate/ Uscite
  - o Almeno 1 uscita analogica per la trasmissione video
  - o Almeno 2 uscite digitali
  - o Almeno 1 entrata digitale
  
- Progettazione meccanica
  - o Peso massimo : 5kg
  - o Dimensioni massime : 350\*360\*440mm
  
- Vincoli di funzionamento (Temperatura / Umidità )
  - o Temperatura : -30° à +50°C
  - o Umidità relativa : inferiore al 95%
  
- Varie
  - o Certificazione
    - IP 64
  - o Garanzia
    - Minimo 3 anni

## 8. Elementi di realizzazione e manutenzione

Dopo aver descritto i portali termografici strutturalmente, analizziamo qui gli elementi della loro realizzazione e manutenzione.

## 8.1 Realizzazione

Per quanto riguarda la realizzazione inizieremo descrivendo le operazioni sulla manutenzione del sistema.

### 8.1.1 Descrizione

L'installazione dei portali verrà effettuata dopo la posa dei binari e della catenaria. Tuttavia, come accade per le rotaie, anche l'altezza del telaio del portico si evolverà in conseguenza del passaggio del treno.

Per evitare di dover ricalibrare i sensori, questo potrà essere fissato su un blocco di cemento sul quale saranno fissate le rotaie. Il blocco di cemento alla base dei portali dovrà essere in un unico blocco per evitare il cedimento eterogeneo dei montanti del portale.

I due sistemi di rilevamento di sagoma e dei punti caldi per termografia hanno esigenze simili e i vincoli specificati per ognuno di essi sono compatibili. Per ridurre i costi, si può prendere in considerazione l'installazione delle attrezzature dei due sistemi sullo stesso portale. La realizzazione di questo sostegno sarà affidata alla società responsabile del rilevamento di sagoma. Ricordiamo che sono state apportate due modifiche nell'architettura sulla distanza e sul raddoppio, per quanto riguarda la mutualizzazione dei portali di sagoma e termografici.

Vi è da notare che i portali situati all'uscita dei binari saranno portali riservati solamente al rilevamento dei punti caldi per termografia. Riprenderanno i punti dell'architettura laddove è installata solo la termografia (distanza di 4,5m e una maggiore profondità per garantire la ridondanza).

Ci assicureremo che i sensori e i loro connettori siano totalmente protetti dalle intemperie.

Inoltre, per garantire la conversione tra il valore del campo misurato e la temperatura dell'oggetto, è necessario fornire ad ogni rilevatore tre parametri relativi a ciascuna posizione di installazione: si tratta dell'emissività dei treni in transito sotto il portale. Se questa non è comune ai diversi treni, sarà necessario vedere con il fornitore dei sensori quale emissività mantenere. Occorrerà anche fornire la temperatura riflessa dall'ambiente. Questa sarà misurata dall'installatore durante l'attivazione dei sensori.

Infine, durante il primo avvio, sarà necessario informare il sensore della temperatura ambientale affinché, durante le variazioni di quest'ultima, il sensore sia in grado di valutare le variazioni della temperatura riflessa.

I computer di elaborazione potranno essere installati una volta realizzata la sala ad essi riservata.

## 8.2 Manutenzione

A partire dagli elementi disponibili, stabiliamo qui di seguito le operazioni da effettuare e la loro periodicità in termini di manutenzione preventiva, correttiva e straordinaria, per quanto riguarda i portali termografici.

### **8.2.1 Preventiva**

Si definiscono qui le esigenze sulla manutenzione preventiva per garantire la sostenibilità del sistema. La periodicità della manutenzione è stata stabilita a partire dai feedback dei produttori. Poiché il progetto ha molte caratteristiche, i valori tra le due manutenzioni saranno forse da correggere dopo un anno di funzionamento.

Per la manutenzione preventiva consigliamo un controllo ogni 6 mesi. Sarà necessario verificare che l'emissività utilizzata per i treni e la temperatura riflessa dall'ambiente restino valide. All'occorrenza i parametri dei sensori verranno corretti. Verrà anche effettuato un controllo visuale dello stato dei sensori e una pulizia ottica.

Dopo 25 000 ore di funzionamento i sensori saranno completamente smontati, puliti e le parti usurate saranno sostituite.

Dato il numero delle attrezzature informatiche, ogni anno sarà garantita un'amministrazione del parco.

### **8.2.2 Correttiva**

Grazie all'entrata in vigore del sistema di sicurezza SIL4, il sistema è raddoppiato, garantendo la massima disponibilità. Quando viene rilevato un guasto, questo verrà riparato il prima possibile per non perdere il beneficio della ridondanza. La manutenzione verrà effettuata durante le ore prestabilite con una limitazione della velocità dei treni durante l'avvicinamento al luogo dell'intervento.

### **8.2.3 Rinnovo o manutenzione straordinaria**

La durata di vita del sistema è di 15 anni. Tuttavia i seguenti componenti potranno essere sostituiti secondo la frequenza indicata: i server informatici e le unità di memoria dovranno essere sostituiti ogni 4 anni. I computer industriali di elaborazione potranno essere sostituiti dopo 10 anni di utilizzo.

## **9. Bilancio di potenza**

Il presente paragrafo presenta un bilancio di potenza proprio del sistema di rilevamento dei punti caldi per termografia. Vengono mostrate le attrezzature all'interno dei tubi ferroviari e quelli localizzati all'esterno, essendo la loro fonte di alimentazione elettrica a Bassa Tensione trattata separatamente.

Il presente bilancio di potenza è stato stabilito considerando che le attrezzature funzionino contemporaneamente e siano tutte alimentate da un'alimentazione normale e da un'alimentazione d'emergenza. La tabella seguente riporta i requisiti per portale.

Caractéristiques des portiques thermographiques / Relazione tecnica caratteristiche dei portali termografici

Designazione	Potenza unitaria (VA)	Quantità	Consumo nominale (VA)
Sistema completo SIL4 portale termografico su binario doppio	4000	4	16 000
Sistema completo SIL4 portale termografico su binario singolo	2000	1	2000
Sistema rilevatore di assali con 2 punti di conteggio (rilevamento del senso di marcia & velocità del treno)	80	24	1920
Postazione locale	1000	5	5000
Riserva	20%		5000
<b>Totale</b>			<b>30 000</b>

*Tabella 5 - Bilancio di potenza*

Per ogni TGBT che alimenta un portale su un sito di installazione di rilevamento termografico, il fabbisogno energetico è quindi al massimo di **5kVA**.

Considerando i 5 siti di installazione dei portali, crediamo che l'intero sistema di rilevamento di sagoma consumi **30 kVA**.

Crediamo che l'intero sistema di rilevamento termografico, aggiungendo le due postazioni centrali e tenuto conto dei 5 siti di installazione, consumi **33,6 kVA**.

Una postazione centrale consuma **1,8 kVA**.

## 10. Allegati

### 10.1 Allegato 1

Caractéristiques des portiques thermographiques / Relazione tecnica caratteristiche dei portali termografici

Requisito	Tecnologia consigliata
Cella infrarosso	fotonica
Sensori delle apparecchiature termografiche di misurazione	InSb

Tabella 6 – Tecnologie selezionate

## 10.2 Allegato 2

CODICE	DESIGNAZIONE	CLASSE INFLUENZA ESTERNA	CARATTERISTICHE
AA	Temperatura ambiente	1	-60° + 5°
		2	-40° + 5°
		3	-25° + 5°
		4	- 5° + 40°
		5	+ 5° + 40°
		6	+ 5° + 60°
AB	Umidità *		
AC	Altitudine (m)	1	≤2000
		2	>2000
AD	Presenza d'acqua	1	Trascurabile
		2	Caduta di gocce d'acqua
		3	Nebulizzazione d'acqua
		4	Proiezione d'acqua
		5	Getti d'acqua
		6	Pacchetti d'acqua
		7	Immersione
		8	Summersione
AE	Presenza di corpi solidi estranei	1	Trascurabile
		2	Piccoli oggetti (2,5 mm)
		3	Piccolissimi oggetti (1mm)
		4	Polveri
AF	Presenza di sostanze corrosive o inquinanti	1	Trascurabile
		2	Agenti atmosferici
		3	Intermittente o accidentale
		4	Permanente
AG	Vincoli meccanici, urti	1	Deboli
		2	Medi
		3	Forti
AH	Vibrazioni	1	Deboli
		2	Medie
		3	Forti
AJ	Altra pressione meccanica *		
AK	Flora	1	Trascurabile
		2	Rischio
AL	Fauna	1	Trascurabile



Caractéristiques des portiques thermographiques / Relazione tecnica caratteristiche dei portali termografici

		2	Rischio
AM	Influenze elettromagnetiche	1	Trascurabili
		2	Correnti vaganti
		3	Elettromagnetiche
		4	Ionizzanti
		5	Elettostatiche
		6	Induzione
AN	Sole	1	Trascurabile
		2	Notevole
AP	Sismico	1	Trascurabile
		2	Debole
		3	Medio
		4	Forte
AQ	Fulmini	1	Trascurabile
		2	Indiretti
AR	Vento *		
BA	Competenza	1	Ordinari
		2	Bambini
		3	Disabili
		4	Abili
		5	Qualificati
BB	Resistenza *		
BC	Contatto con il potenziale di terra	1	Assenti
		2	Deboli
		3	Frequenti
		4	Continui
BD	Evacuazione	1	Normali
		2	Difficili
		3	Intasate
		4	Lunghe e intasate
BE	Materie	1	Rischi trascurabili
		2	Rischi di incendio
		3	Rischio di esplosione
		4	Rischio di contaminazione
CA	Materiali	1	Non combustibili
		2	Combustibili
CB	Struttura	1	Rischio trascurabile
		2	Propagazione d'incendio
		3	Movimenti
		4	Flessibile

**Tabella 7 - Influenze esterne**

L'IP corrisponde al grado di protezione procurato dagli involucri dei materiali elettrici (norma EN 60529).

L'IK corrisponde al grado di protezione procurato dagli involucri dei materiali elettrici contro gli impatti meccanici esterni (norma EN 62262).

A partire dalle diverse denominazioni, abbiamo utilizzato la seguente tabella per la definizione dei fattori d'influenza esterna.

### 10.3 Allegato 3

Designazione	IP mini	IK mini	CONDIZIONI AMBIENTALI																	UTILIZZO					
			AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AJ	AK	AL	AM	AN	AP	AQ	AR	BA	BB	BC	BD	BE		
<i>Siti tecnici</i>																									
- LT in rami e siti d'intervento	20	07	5		1	1	1	1	2	1		1	1	2	1	1	1			4		3	2	1	
- LT pompaggio	54	07	5			4	1	1	2	1		1	1	2	1	1	1			4		3	2	1	
- LT in tunnel (AT)	55	07	5		1	1	4	2	2	1		1	1	2	1	1	1			4		3	2	1	
- LT all'esterno	20	07	5		1	1	1	1	2	1		1	1	1	1	1	2			4		3	1	1	
<i>Tunnel</i>																									
- Canne ferroviari	55	09	5		1	5	4	2	3	3		1	1	6	1	1	1			1		3	2	1	
- Rami, siti d'intervento e sala di accoglienza	55	09	5		1	1	1	1	2	1		1	1	2	1	1	1			3		3	2	1	
Discenderia	55	09	5		1	5	4	2	3	1		1	1	1	1	1	1			1		2	2	1	
Esterno	54	09	7		1	4	4	1	3*	2		1	1	6	2	1	2			1		3	1	1	
PCC	43	07	5		1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	2			1		2	1	1	

*Tabella 8 – Condizioni ambientali*

\* : per le attrezzature situate tra 0 e 2 m da terra.