

LIAISON 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

Telecommunications – Telecomunicazione

Radiopropagazione nelle gallerie / propagation des ondes radio en tunnel

Elaborati generali / Généralités

Dossier d'étude d'architecture du système radio - Relazione del sistema radio :
Etude de couverture Radio Infra - Studio di copertura Radio Impianti

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	09/11/ 2012	Emission pour vérification C2B et validation C3.0	D. CHRISTIEN (SYSTRA)	G. BOVA C. OGNIBENE	M. FORESTA M. PANTALEO
A	31/12/2012	Révision suite aux commentaires LTF et CCF / Emissione a seguito commenti LTF e CCF	D. CHRISTIEN (SYSTRA)	G. BOVA C. OGNIBENE	M. FORESTA M. PANTALEO
B	08/02/2013	Révision suite aux commentaires LTF et CCF / Emissione a seguito commenti LTF e CCF	D. CHRISTIEN (SYSTRA)	G. BOVA C. OGNIBENE	M. FORESTA M. PANTALEO

CODE DOC	P	D	2	C	2	B	T	S	3	0	2	1	0	B
	Phase / Fase		Sigle étude / Sigla			Émetteur / Emittente			Numero			Indice		

A	P	N	O	T
Statut / Stato		Type / Tipo		

ADRESSE GED INDIRIZZO GED	C2B	//	//	20	05	00	10	01
------------------------------	------------	----	----	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

ECHELLE / SCALA
-

**Tecnimont
Civil Construction**
Dott. ing. *Marco Russo*
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 financé par l'Union européenne (DG-TREN)



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

SOMMAIRE / INDICE

SOMMAIRE / INDICE	2
LISTE DES FIGURES / INDICE DELLE FIGURE	2
SYNTHÈSE / SINTESI	3
1 OBJET DU DOCUMENT / OGGETTO DEL DOCUMENTO	4
2 GLOSSAIRE / GLOSSARIO	4
3 COUVERTURES / COPERTURE	6
3.1 Zones à couvrir / Zone da coprire	6
3.2 Réseaux radio à retransmettre / Reti radio da ritrasmettere	6
4 ELÉMENTS DE DIMENSIONNEMENT (RF) / ELEMENTI DI DIMENSIONAMENTO (RF)	9
4.1 Longueur des zones de Hand-Over / Lunghezza delle zone di Hand-Over	9
4.2 Hand Over et re-sélection / Hand Over e rielezione	9
4.2.1 GSM-R, GSM900, GSM 1800 e UMTS	9
4.2.2 ACROPOL	11
4.2.3 TETRA	11
4.3 Choix de l'infrastructure rayonnante / Scelta dell'infrastruttura irradiante	11
4.3.1 Changement de réseau GSM-R / Cambio di rete GSM-R	11
4.3.2 Changement de réseaux opérateurs publics / Cambio di rete operatori pubblici	12
5 ETUDE DE COUVERTURE / STUDIO DI COPERTURA	12
5.1 Couverture par réseau antenne / Copertura via rete di antenne	12
5.2 Couverture par câble rayonnant / Copertura via cavo irradiante	12
5.3 Tableau de couverture radio / Tabella delle coperture radio	13
5.4 Conclusion partielle / Conclusione parziale	14
6 DOUBLE COUVERTURE / DOPPIA COPERTURA	16
7 SÉCURISATION / MESSA IN SICUREZZA	17
8 INDICATION DES PUISSANCES CONSOMMÉES / INIDICAZIONE DELLE POTENZE CONSUMATE	23
9 DIMENSIONNEMENT EN TRAFIC DU GSM-R / DIMENSIONAMENTO DEL TRAFFICO DEL GSM-R	23
10 BILL OF QUANTITIES (BOQ)	24

LISTE DES FIGURES / INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: couverture radio via cavo irradiante	10
Figura 2: couverture radio tramite antenne	10
Figura 3: principe di architettura delle reti di sicurezza	14
Figura 4: principe di architettura del GSM-R	15
Figura 5: principe di architettura delle reti GSM-P	16
Figura 6: couverture GSM-R con BTS colocalizzato	16
Figura 7: moduli radio	17

Figura 8: Situazione nominale e situazione degradata 21
Figura 9: Esempio di copertura intrecciata 22

Synthèse / Sintesi

L'architecture radio retenue est la suivante:

- Réseaux de sécurité:
 - câble rayonnant
 - BTS en pied de descenderie
 - RF/FO tous les 4 rameaux
- GSM-R:
 - Antennes dédiées
 - BTS en tunnel tous les 8 rameaux
 - Pas de RF/FO
- GSM-P:
 - Antennes dédiées
 - BTS en tête de descenderie
 - RF/FO tous les 4 rameaux

L'architettura radio viene scelta come segue:

- Rete di sicurezza
 - Cavo irradiante
 - BTS coda discenderia
 - RF/FO ogni 4 rami
- GSM-R:
 - antenne dedicate
 - BTS tunnel ogni 8 rami
 - No RF/FO
- GSM-P:
 - antenne dedicate
 - BTS testa discenderia
 - RF/FO ogni 4 rami

1 OBJET DU DOCUMENT / OGGETTO DEL DOCUMENTO

Il presente documento è destinato a riprendere la copertura di tutti i sistemi radio presenti nei tunnel di LTF in modo da determinare l'infrastruttura di diffusione radioelettrica corrispondente.

2 GLOSSAIRE / GLOSSARIO

ACROPOL	Rete radio della polizia francese basata sullo standard TETRAPOL
ANTARES	Rete radio dei servizi della sicurezza francese basata sullo standard TETRAPOL
BCCH	Broadcast Control Channel
BOQ	Bill Of Quantities
BSC	Base Station Controller: questo apparato controlla uno o più BTS e gestisce le risorse radio
BSS	Base Station Subsystem: sottosistema radio composto di un BSC e dalla sua (o sue) BTS
BTS	Base Transceiver Station: apparato composto da ricetrasmittitori radio che costituiscono l'interfaccia tra il BSC e il cellulare
C/I	Carrier / Interference: rapporto segnale su rumore
CW	Continuous Wave
DCS	Digital Communication System
E/R	Emissione / Ricezione
EIRENE	European Integrated Railway Radio Enhanced Network = Rete radio Ottimizzata Integrata Europea
ERTMS	European Rail Traffic Management System = Sistema europeo di gestione del traffico ferroviario
ETCS	European Train Control System = Sistema europeo di controllo dei treni
FO	Fibra Ottica
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile communication
GSM-P	GSM Public
GSM-R	GSM for Railways
HO	HandOver
MSC	Mobile services Switching Center: commutatore fisso per GSM che gestisce le comunicazioni
NSS	Network Sub-System: sottorete fissa di una rete GSM con banche dati HLR e VLR principalmente et commutatori per cellulari MSC
PCC	Posto di Comando Centralizzato
PIRE	Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente / Potenza isotropica equivalente irradiata
RBC	Radio Block Centre

REX	Retour d'Expérience / Feedback
RF	Radio Frequenza
RF / FO	Radio Frequenza / Fibra Ottica
RFF	Réseau Ferré Français
RFI	Rete Ferroviaria Italiana
TETRA	TErrestrial Truncked Radio Norma ETSI
TETRAPOL	TErrestrial Truncked Radio POLice standard
TCH	Traffic Channel
TREC	Time for RECOVERY
TRX	Materiale di emissione – ricezione che permette di gestire un paio di frequenze
UIC	Union Internationale des Chemins de Fer
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
WDM	Wavelength-division multiplexing

3 COUVERTURES / COPERTURE

3.1 Zones à couvrir / Zone da coprire

Le zone da coprire per le trasmissioni radioelettriche sono le seguenti:

- Tunnel
- Treni (all'interno dei treni in movimento)
- Treni (all'interno dei treni fermi)
- Rami
- Discenderie
- Zone esterne, all'ingresso delle discenderie
- Locali tecnici
- Stazioni di inizio e fine percorso (St Jean, Bussoleno)
- Stazioni intermedie (Modane, Susa)
- Le aree di sicurezza

3.2 Réseaux radio à retransmettre / Reti radio da ritrasmettere

Le reti radioelettriche da ritrasmettere sono le seguenti:

Tipo di rete	Utilizzo	Norma	Gamma di frequenza
Soccorsi / Sicurezza	Polizia	Analogica / Rubis	80MHz
	Vigili del fuoco	ACROPOL/ANTARES GSM-R	380 MHz 900 MHz
Operativa LTF	Manutenzione e sicurezza	TETRA	415-430 MHz
	Radio Terra Treno	GSM-R	900 MHz
Pubblica	Operatori	GSM-P	900 MHz
	Operatori	DCS	1800 MHz
	Operatori	UMTS	2200 MHz

Nota:

- La trasmissione delle reti operative implica una sicurezza della trasmissione

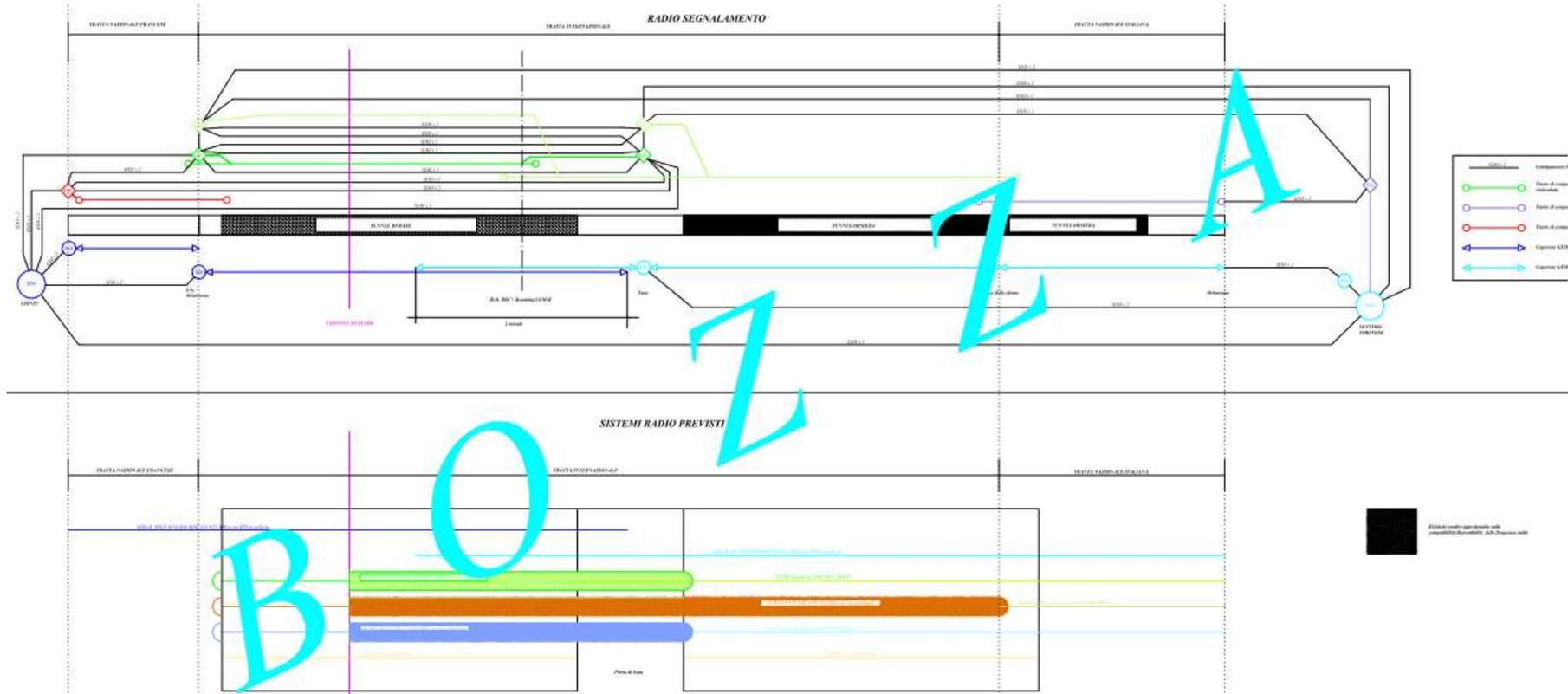
Tabella di sintesi

	Operativo	Pubblico
Galleria di base	80 MHz ACROPOL/ANTARES TETRA GSM-R	
Tunnel d'interconnessione	TETRA GSM-R	
Treni (all'interno dei treni in movimento)		GSM-P DCS UMTS
	GSM-R (in macchina)	
Treni (all'interno dei treni fermi)	80 MHz ACROPOL/ANTARES TETRA GSM-R (in macchina)	GSM-P DCS UMTS
Rami	80 MHz ACROPOL/ANTARES TETRA GSM-R	
Discenderie	80 MHz ACROPOL/ANTARES TETRA GSM-R	
Zone esterne, all'ingresso delle discenderie, fino ai limiti dell'area di competenza della LTF	80 MHz ACROPOL/ANTARES TETRA GSM-R	
Aree di sicurezza (compresi i locali tecnici)	80MHz ACROPOL/ANTARES TETRA GSM-R	
Stazioni di inizio e fine percorso (St Jean, Bussoleno) solo per la costruzione della LTF.	TETRA GSM-R	
Stazioni di manutenzione (Susa)	80 MHz ACROPOL/ANTARES TETRA GSM-R (quai)	GSM-P DCS UMTS
PCC (Saint Jean +Susa)	80 MHz ACROPOL/ANTARES TETRA GSM-R	
Sottostazione	80 MHz ACROPOL/ANTARES TETRA GSM-R	
Pozzi di ventilazione	ACROPOL/ANTARES TETRA GSM-R	

GSM-R: È previsto un cambio di rete RFF / RFI alla stazione Saint Jean de Maurienne (fare riferimento al documento di architettura GSM-R).

La rete TETRA è installata nell'insieme dell'opera. La rete non è ritrasmessa nei treni quando sono in spostamento nel tunnel.
ACROPOL/ANTARES/Rubis/80 MHz: Queste reti sono installate in Francia, non esiste una rete equivalente in Italia. Viene proposto di installare queste reti nell'insieme dell'opera della galleria di base (in Francia e in Italia). La rete non viene ritrasmessa nei treni quando si spostano nella galleria.
Attenzione: il gestore dell'infrastruttura LTF dovrà verificare la disponibilità di queste frequenze in Italia.

Operatori di telefonia mobile: gli operatori coprono ciascuno il proprio Paese.



4 ELÉMENTS DE DIMENSIONNEMENT (RF) / ELEMENTI DI DIMENSIONAMENTO (RF)

Gli elementi di dimensionamento che seguono verranno presi in considerazione per la scelta delle soluzioni di copertura.

4.1 Longueur des zones de Hand-Over / Lunghezza delle zone di Hand-Over

Questa lunghezza è da considerarsi nei treni in movimento.

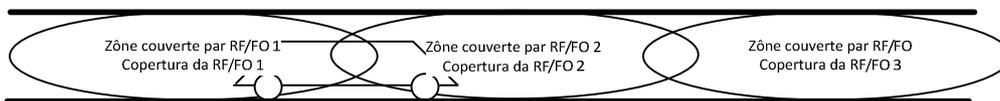
Per GSM-R + ERTMS, con una velocità commerciale di: $V = 220 \text{ km/h}$ (# 61 m/s)
Il tempo necessario per direzione per assicurare l'HO è di: $T = 5 \text{ s}$

L'ipotesi ritenuta è che lo stesso scenario sia vero per entrambi i sensi di circolazione.

La lunghezza è quindi: $L \text{ HO: } 2 \times 5 \times 61 = 610 \text{ m}$

Per le reti pubbliche, se i cellulari hanno delle caratteristiche equivalenti a quelle dei cellulari GSM-R e se le reti irradianti sono condivise, vengono applicati gli stessi valori.

Per la rete ACROPOL/ANTARES/Rubis, la funzione HO non è ancora attiva, ma questa rete funziona attraverso la copertura di celle successive sulla stessa frequenza ("simulcast"). In questo caso, il solo problema è che il cellulare non riceve simultaneamente dei segnali di ampiezza ravvicinati con una differenza superiore a $15 \mu\text{s}$. Nel caso del tunnel, si ha lo schema seguente:



Bisogna notare che lo scarto temporale del segnale ricevuto da un treno corrisponde ad una parte di percorso nella fibra ottica, tra il RF/FO distante e il RF/FO locale, e, ad una parte di percorso nello spazio hertziano. Il tempo di percorso nello spazio hertziano è trascurabile rispetto a quello nella fibra e ai limiti, nel punto di sovrapposizione tra zone, quindi a metà distanza tra due RF/FO successivi, i segnali ricevuti hanno dei tempi di percorso hertziani identici che si annullano.

Per avere un funzionamento soddisfacente, è quindi necessario che:

- le zone coperte successive siano tali che il treno riceva solo due segnali, e questo è facilmente realizzabile nel tunnel
- la lunghezza delle fibre ottiche collegate agli RF/FO distanti successivi e proveniente dallo stesso RF/FO locale, sia tale che non ci sia una differenza superiore a $15 \mu\text{s}$

Per una fibra che porta un ritardo di $1 \mu\text{s}$ per 200m, la differenza di lunghezza non deve eccedere i 3 km.

4.2 Hand Over et re-sélection / Hand Over e riselezione

4.2.1 GSM-R, GSM900, GSM 1800 e UMTS

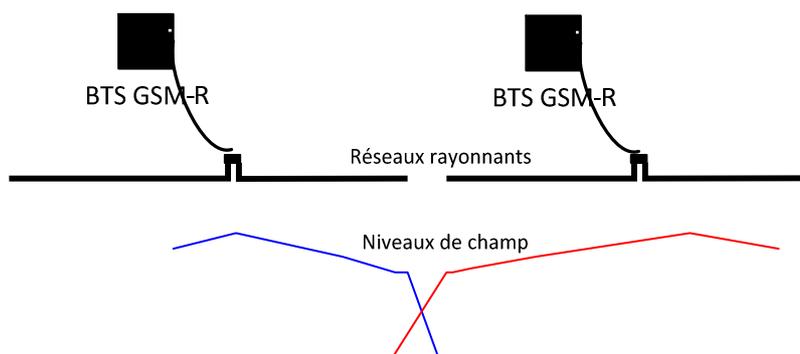
L' Hand Over permette di cambiare cella in modo dedicato (in corso di comunicazione). La riselezione permette di cambiare cella in stand by (modalità idle o listener in caso di chiamata di gruppo).

Il cambio di cella in entrambi i casi è avviato da un'analisi del campo radio. Il livello di campo radioelettrico della cella vicina deve essere superiore a quello della cella servente. E' quindi necessario:

- Avere una decrescita del campo della cella servente e una crescita del campo della cella vicina.
- Avere una copertura tra celle di 305 m minimo per ogni senso di circolazione.

Sul cavo irradiante la decrescita è quasi lineare ed è circa doppia in DCS 1800 rispetto al GSM 900.

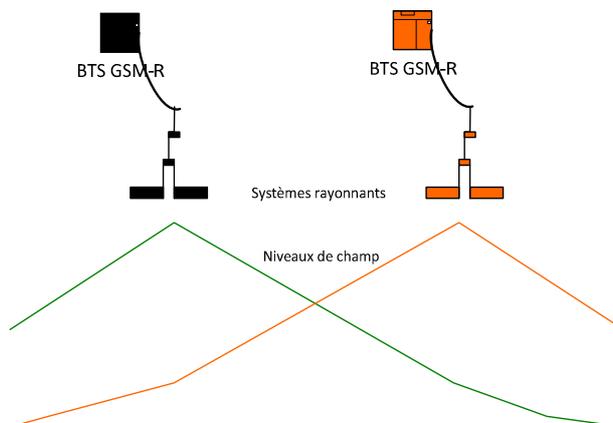
Figura 1: copertura radio via cavo irradiante



Non è possibile mettere i cavi irradianti in continuità (per avere una copertura sufficiente tra celle). La messa in continuità provocherebbe numerosi prodotti di intermodulazione. La propagazione al di là del taglio del cavo irradiante è di qualche decina di metri.

Con una copertura tramite antenna, la decrescita è più rapida che con il cavo irradiante.

Figura 2: copertura radio tramite antenna



Gli hand over verranno quindi realizzati su rete di antenne.

4.2.2 ACROPOL

ACROPOL (standard ACROPOL/ANTARES/Rubis) non gestisce gli Hand Over tra celle. Sarà necessario, nel caso in cui ci siano diverse celle ACROPOL, configurarle in "iso-frequenza".

4.2.3 TETRA

L'hand over su TETRA corrisponde alla rielezione annunciata di tipo 1. Questo tipo di rielezione è opzionale sui cellulari e non è sempre installato sulle infrastrutture. Essendo la rete prevista per la manutenzione, questo tipo di rielezione non è preso in considerazione nell'architettura irradiante.

4.3 Choix de l'infrastructure rayonnante / Scelta dell'infrastruttura irradiante

Visti gli elementi di cui sopra, se ne può dedurre la scelta dell'infrastruttura irradiante seguente:

Tipo di rete	Utilizzo	Norma	Tunnel	Discenderie	Superficie
Soccorso Sicurezza	Polizia Vigili del fuoco	Analogico / Rubis	Cavi irradianti	Cavi irradianti	Shelter
		ACROPOL/ANTARES	Cavi irradianti		Shelter
		GSM-R	Antenne dedicate		Shelter
Operativa LTF	Manutenzione e sicurezza	TETRA	Cavi irradianti	Cavi irradianti	Shelter
	Radio Terra Treno	GSM-R	Antenne dedicate	Cavi irradianti	Shelter
Pubblica	Operatori	GSM-P	Antenne dedicate		
	Operatori	DCS	Antenne dedicate		
	Operatori	UMTS	Antenne dedicate		

4.3.1 Changement de réseau GSM-R / Cambio di rete GSM-R

Il cambio di rete GSM-R è trattato nel documento di architettura GSM-R.

Si ricorda che il cambio di rete verrà effettuato alla stazione di Saint Jean de Maurienne con una zona di sovrapposizione tra le reti GSM-R di RFF e RFI.

Sulla rete GSM-R di RFI, 1 MSC è dedicato alle linee classiche, 1 sulle linee LGV sul quale sono connessi gli RBC. Un treno proveniente dall'Italia deve lanciare le sessioni ERTMS prima di entrare nell'area LTF. Ecco perchè sono stati aggiunti 2 BTS verso Bussoleno.

4.3.2 *Changement de réseaux opérateurs publics / Cambio di rete operatori pubblici*

Il roaming dipende dagli accordi tra operatori.

Il limite delle reti potrà essere situato alla frontiera, questo punto dovrà essere precisato durante la realizzazione.

Non c'è sovrapposizione tra reti di operatori francesi e italiani.

5 ETUDE DE COUVERTURE / STUDIO DI COPERTURA

5.1 *Couverture par réseau antennaire / Copertura via rete di antenne*

Per gli studi di copertura nel tunnel, non si hanno strumenti di simulazione. Utilizzeremo quindi la formula teorica qui sotto. Quando l'opera sarà costruita, bisognerà realizzare una campagna di misura che verifichi questa ipotesi.

Il modello di propagazione ritenuto per il progetto è il seguente:

$$P_r = PIRE - 31 + 20 \exp\left(\frac{-2 * f * 10^{-11} * D}{3}\right) - 32 * \text{LOG}(D)$$

$$P_r = PIRE + L_{\text{tunnel}}$$

Con: **f** la frequenza in hertz

D la distanza in metri

Pr la potenza ricevuta dal cellulare, in dB

$$L_{\text{tunnel}} = -31 + 20 \exp\left(\frac{-2 * f * 10^{-11} * D}{3}\right) - 32 * \text{LOG}(D)$$

Il termine **L_{tunnel}** corrisponde alla perdita di propagazione all'interno del tunnel. Al di sopra di 300 metri il termine $\frac{-2 * f * 10^{-11} * D}{3}$ diventa trascurabile di fronte a $-31 - 32 * \text{LOG}(D)$, e può dunque essere ignorato.

Le antenne utilizzate per lo studio sono:

GSM-R: antenna Yagi Y15900 – RFS CellWave

GSM-P: antenna Yagi

5.2 *Couverture par câble rayonnant / Copertura via cavo irradiante*

Per le necessità dello studio, il cavo preso in considerazione è il RLKW 78-50 di RFS.

5.3 Tableau de couverture radio / Tabella delle coperture radio

		Câbles rayonnants							Antennes dédiées	Câbles rayonnants							Antennes dédiées	Antennes dédiées										
		Sens descendant							Coupleur	Sens Montant							Coupleur	Sens Montant										
		80 MHz	380 MHz	430 MHz	900 MHz	900 MHz	1800 MHz	2200 MHz		80 MHz	380 MHz	430 MHz	900 MHz	900 MHz	1800 MHz	2200 MHz		80 MHz	380 MHz	430 MHz	900 MHz	900 MHz	1800 MHz	2200 MHz				
		Acropoli/ Antares	Tétra	GSM-R	Opérateurs				Acropoli/ Antares	Tétra	GSM-R	Opérateurs				Acropoli/ Antares	Tétra	GSM-R	Opérateurs				Acropoli/ Antares	Tétra	GSM-R	Opérateurs		
Puissance émission	dBm	37	37,0	37,0	43,9	37,0	37,0	37,0		33	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	
Gain antenne mobile/portable	dB	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Masque de personne (REX)	dB	4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0		6	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	
Affaiblissement de pénétration dans le train (REX)	dB	7	10,0	11,0	0,0	16,0	17,0	19,0		7	10,0	11,0	0,0	16,0	17,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	
Gain de l'antenne fixe	dB	0	0,0	0,0	15,0	18,0	18,0	19,0		0,0	0,0	0,0	15,0	18,0	18,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	
Affaiblissement de couplage, à 95 % (numérique)	dB	67	70,0	70,0						67	70,0	70,0																
Pertes longitudinales (câbles rayonnants)	dB/100m	1,11	3,2	3,2						1,11	3,2	3,2																
Marges d'ingénierie (pose, REX, ...)	dB	10	10,0	10,0						10	10,0	10,0																
Perte coupleurs	dB	3,3	3,3	3,3	10,0	7,0	7,0	7,0		3,3	3,3	3,3	10,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	
Pertes câbles + connecteurs	m	1	1,0	1,0	4,0	4,0	4,0	4,0		1	1,0	1,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	
Distance / antenne	m	333,0	333,0	333,0	333,0	333,0	333,0	333,0		333,0	333,0	333,0	333,0	333,0	333,0	333,0	333,0	333,0	333,0	333,0	333,0	333,0	333,0	333,0	333,0	333,0	333,0	
Pertes système	dB	95,9963	108,956	109,956	114,7	124,7	125,7	126,7		98,0	109,0	110,0	114,7	124,7	125,7	126,7	126,7	126,7	126,7	126,7	126,7	126,7	126,7	126,7	126,7	126,7	126,7	
Puissance reçue	dBm	-58,996	-71,956	-72,956	-70,8	-87,7	-88,7	-89,7		-65,0	-76,0	-77,0	-81,7	-91,7	-92,7	-93,7	-93,7	-93,7	-93,7	-93,7	-93,7	-93,7	-93,7	-93,7	-93,7	-93,7	-93,7	
Distance / antenne	m	666,0	666,0	666,0	666,0	666,0	666,0	666,0		666,0	666,0	666,0	666,0	666,0	666,0	666,0	666,0	666,0	666,0	666,0	666,0	666,0	666,0	666,0	666,0	666,0	666,0	
Pertes système	dB	99,6926	119,612	120,612	124,4	134,4	135,4	136,4		101,7	119,6	120,6	124,4	134,4	135,4	136,4	136,4	136,4	136,4	136,4	136,4	136,4	136,4	136,4	136,4	136,4	136,4	
Puissance reçue	dBm	-62,693	-82,612	-83,612	-80,5	-97,4	-98,4	-99,4		-68,7	-86,6	-87,6	-91,4	-101,4	-102,4	-103,4	-103,4	-103,4	-103,4	-103,4	-103,4	-103,4	-103,4	-103,4	-103,4	-103,4	-103,4	
Distance / antenne	m	999,0	999,0	999,0	999,0	999,0	999,0	999,0		999,0	999,0	999,0	999,0	999,0	999,0	999,0	999,0	999,0	999,0	999,0	999,0	999,0	999,0	999,0	999,0	999,0	999,0	
Pertes système	dB	103,389	130,268	131,268	130,0	140,0	141,0	142,0		105,4	130,3	131,3	130,0	140,0	141,0	142,0	142,0	142,0	142,0	142,0	142,0	142,0	142,0	142,0	142,0	142,0	142,0	
Puissance reçue	dBm	-66,389	-93,268	-94,268	-86,1	-103,0	-104,0	-105,0		-72,4	-97,3	-98,3	-97,0	-107,0	-108,0	-109,0	-109,0	-109,0	-109,0	-109,0	-109,0	-109,0	-109,0	-109,0	-109,0	-109,0	-109,0	
Distance / antenne	m	1332,0	1332,0	1332,0	1332,0	1332,0	1332,0	1332,0		1332,0	1332,0	1332,0	1332,0	1332,0	1332,0	1332,0	1332,0	1332,0	1332,0	1332,0	1332,0	1332,0	1332,0	1332,0	1332,0	1332,0	1332,0	
Pertes système	dB	107,085	140,924	141,924	134,0	144,0	145,0	146,0		109,1	140,9	141,9	134,0	144,0	145,0	146,0	146,0	146,0	146,0	146,0	146,0	146,0	146,0	146,0	146,0	146,0	146,0	
Puissance reçue	dBm	-70,085	-103,924	-104,924	-90,1	-107,0	-108,0	-109,0		-76,1	-107,9	-108,9	-101,0	-111,0	-112,0	-113,0	-113,0	-113,0	-113,0	-113,0	-113,0	-113,0	-113,0	-113,0	-113,0	-113,0	-113,0	
Distance / antenne	m	1665,0	1665,0	1665,0	1665,0	1665,0	1665,0	1665,0		1665,0	1665,0	1665,0	1665,0	1665,0	1665,0	1665,0	1665,0	1665,0	1665,0	1665,0	1665,0	1665,0	1665,0	1665,0	1665,0	1665,0	1665,0	
Pertes système	dB	110,782	151,58	152,58	137,1	147,1	148,1	149,1		112,8	151,6	152,6	137,1	147,1	148,1	149,1	149,1	149,1	149,1	149,1	149,1	149,1	149,1	149,1	149,1	149,1	149,1	
Puissance reçue	dBm	-73,782	-114,58	-115,58	-93,2	-110,1	-111,1	-112,1		-79,8	-118,6	-119,6	-104,1	-114,1	-115,1	-116,1	-116,1	-116,1	-116,1	-116,1	-116,1	-116,1	-116,1	-116,1	-116,1	-116,1	-116,1	
		Seuil de réception selon coupleur																										
Bruit	dBm	-133	-134,0	-130,0	-121,0	-107,0	-113,0	-115,0	1 vers 4	-102,0	-103,0	-99,0		-92,0	-98,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	
C/I+N	dB	15	15,0	15,0	15,0	9,0	9,0	9,0	1 vers 16	-96,0	-97,0	-93,0		-86,0	-92,0	-94,0	-94,0	-94,0	-94,0	-94,0	-94,0	-94,0	-94,0	-94,0	-94,0	-94,0	-94,0	
Seuil de réception	dBm	-75	-95,0	-95,0	-92,0	-98,0	-104,0	-106,0	1 vers 32	-92,9	-93,9	-89,9		-83,0	-89,0	-91,0	-91,0	-91,0	-91,0	-91,0	-91,0	-91,0	-91,0	-91,0	-91,0	-91,0		

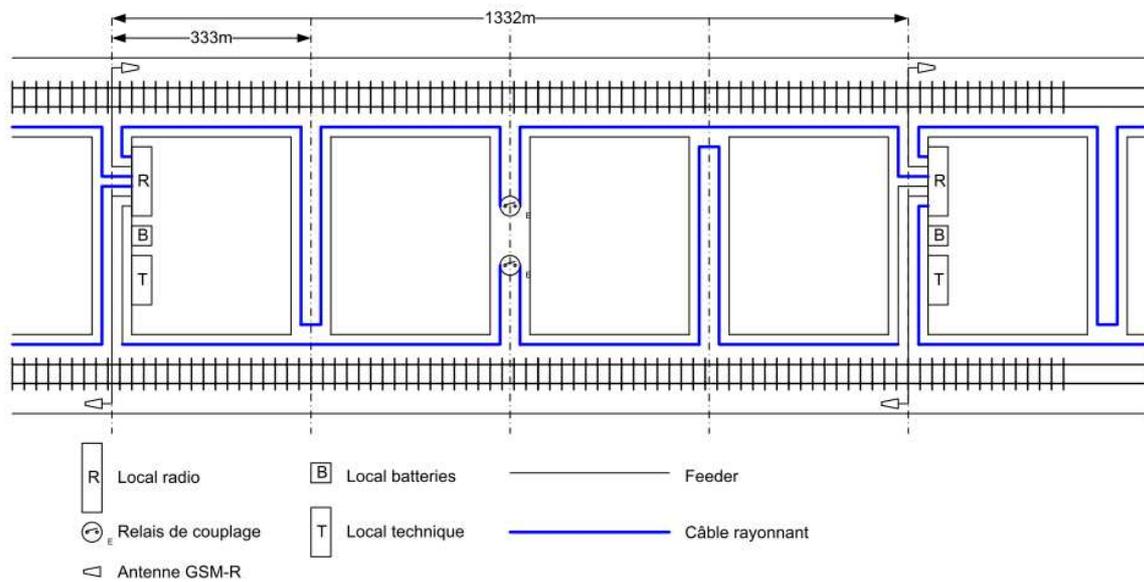
5.4 Conclusion partielle / Conclusione parziale

Visti i risultati della tabella precedente, possiamo concludere che:

Reti di sicurezza:

- Distanza di copertura max = 666m
- Installazione di un RF/FO ogni 4 rami (nel ramo R1)

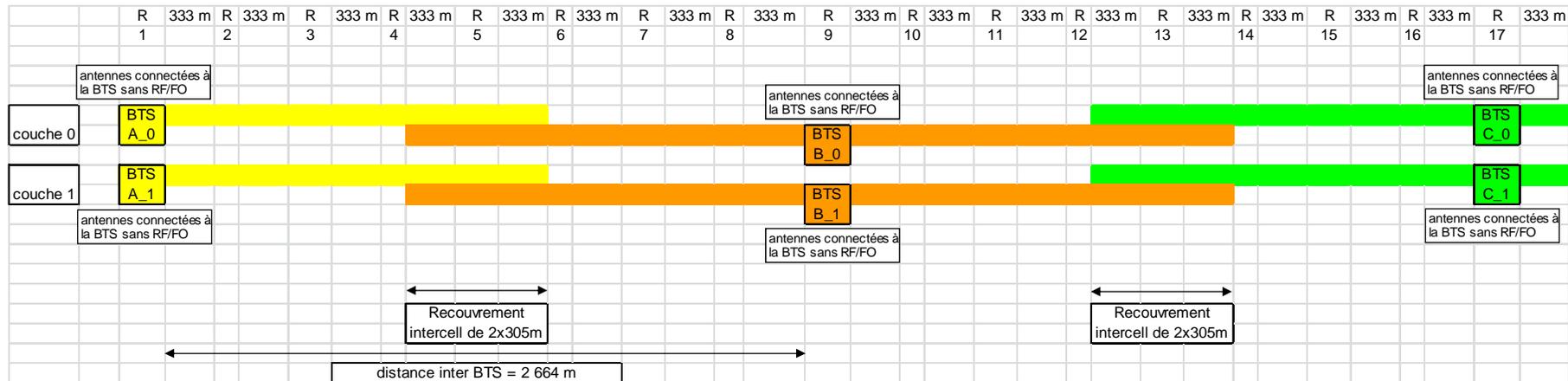
Figure 3: principio di architettura delle reti di sicurezza



Riguardo alla copertura dei rami, la copertura radio è effettuata via cavo irradiante, che le porte che danno sulle canne ferroviarie siano chiuse o meno.

- Reti di GSM-R:
 - Distanza di copertura max = 1332 m
 - Installazione di una BTS ogni 8 rami (in un ramo R1)

Figura 4: principio di architettura del GSM-R



Riguardo alle distanze di sovrapposizione, bisogna precisare i punti seguenti:

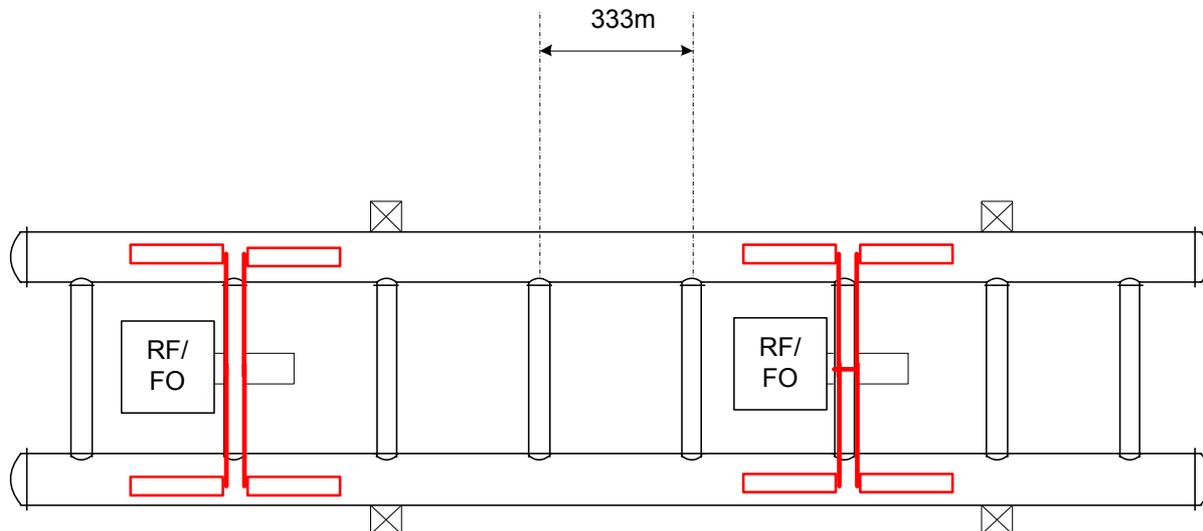
- La copertura è calcolata nel rispetto della norma EIRENE vale a dire nel 95% del tempo e dello spazio. Al punto di equivalenza tra 2 celle consecutive, il livello di copertura delle 2 celle deve essere superiore a -92 dBm.
- Un cellulare misura la copertura solo al 50 %, che fornisce un margine di 10 dB circa rispetto alla copertura al 95%, permettendo quindi di ben assicurare le distanze di sovrapposizione di 610m.

Riguardo alla copertura dei rami:

- Nei rami R1 con BTS, la copertura radio è assicurata tramite un sistema irradiante dedicato (accoppiatore direzionale e antenne ad esempio).
- Negli altri rami, la copertura è assicurata se le porte che danno sulle canne ferroviarie sono aperte. Se le porte sono chiuse, non ci sarà copertura radio. I telefoni fissi filari permetteranno di chiamare il PCC.

- GSM-P:
 - Distanza di copertura max = 666m
 - Installazione di un RF/FO ogni 4 rami (in un ramo R1)

Figura 5: principio di architettura delle reti GSM-P



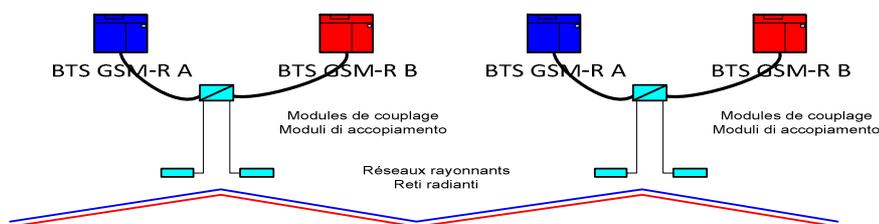
La copertura dei rami in GSM-P non è richiesta.

6 DOUBLE COUVERTURE / DOPPIA COPERTURA

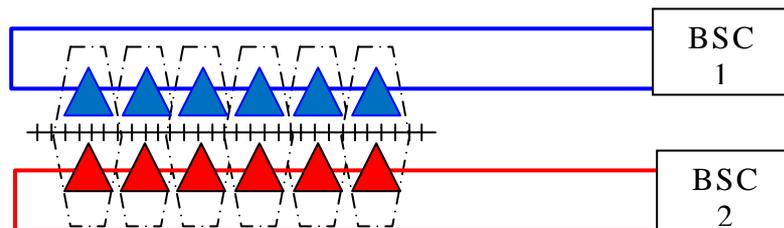
Per rendere sicure le installazioni GSM-R, è prevista una doppia copertura, ossia 2 BTS distinti collegati su 2 BSC differenti (strato A e strato B).

I BTS sono posizionati in prossimità l'uno dell'altro, nello stesso locale o in 2 locali contigui.

Figura 6: copertura GSM-R con BTS colocalizzato



Ogni strato di BTS è connesso ad un BSC differente come illustrato di seguito:



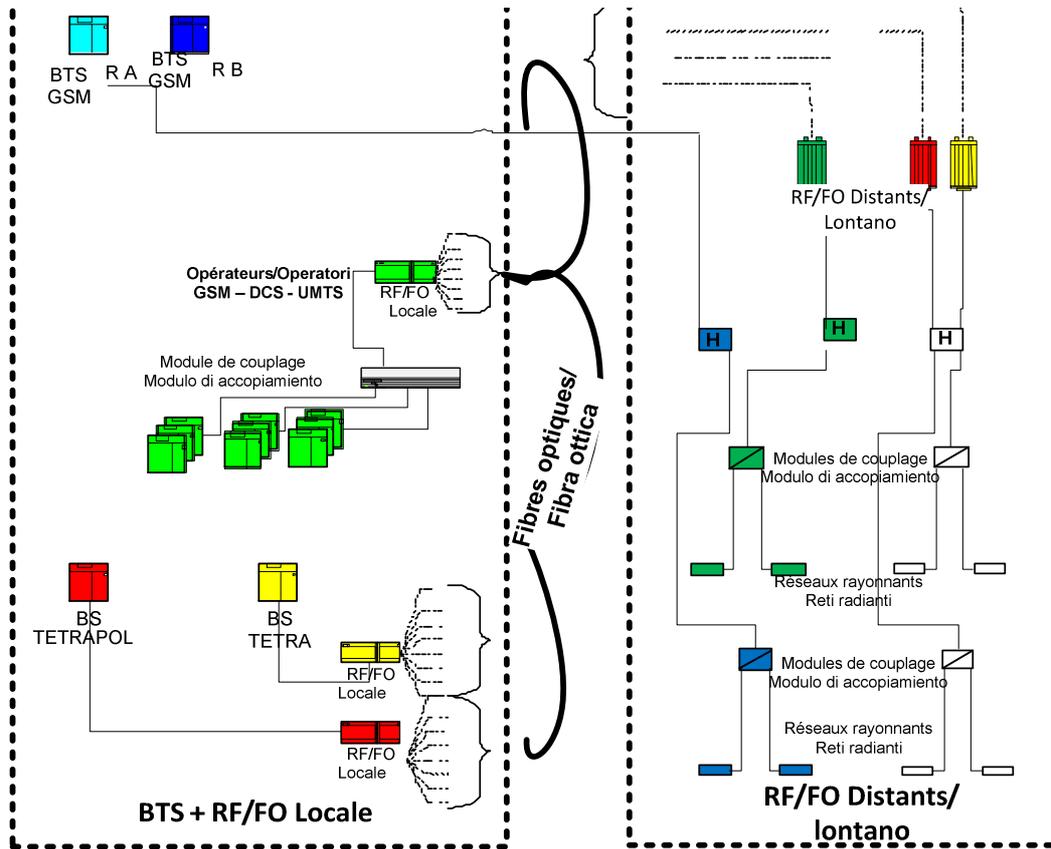
Per evitare numerosi HO o rielezioni, è necessario che i cellulari restino sullo stesso strato. Questo è realizzabile con l'aiuto della copertura e/o dell'impostazione dei parametri.

7 SÉCURISATION / MESSA IN SICUREZZA

Per ogni elemento dell'ingegneria radio, si verifica l'impatto di un guasto sulle reti radio.

Il sinottico qui sotto descrive i principali moduli dell'ingegneria radio.

Figura 7: moduli radio



La tabella di seguito riportata sintetizza gli impatti e le protezioni.

In questa tabella, vengono applicate le convenzioni seguenti:

OK	Il materiale considerato è fuori servizio
OK	Il materiale considerato è operativo

Etude de couverture radio infra – Studio di copertura radio impianti

	Guasti	80 MHz	ACROPOL/ ANTARES	TETRA	GSM-R	GSM900	GSM1800	UMTS	Impatto del guasto
Rete irradiante	Cavo irradiante all'interno del tunnel	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Assenza di rete di sicurezza sulla zona dell'incidente (1332m)
	Antenna GSM-R	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Su una zona di 1332m, copertura radio debole, cattiva qualità radio, rischio di interruzione di comunicazione.
	Antenna GSM-P	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Su una zona di 666m, copertura radio debole, cattiva qualità radio, rischio di interruzioni.
	Cavo irradiante in discenderia	OK	OK	OK	OK				Assenza di rete radio disponibile su una zona di 1332m.
	Modulo Accoppiamento	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Solo sulla rete in questione, copertura radio debole, cattiva qualità radio, rischio di interruzione per 1332m per le reti di sicurezza e per il GSM-P, per 2664m per il GSM-R
RF/FO distante O FO tra RF/FO distante e locale	RF/FO 80 MHz	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Su una zona di 1332m: <ul style="list-style-type: none"> Sicurezza + GSM-P: Copertura radio debole, cattiva qualità radio GSM-R: Perdita di uno strato radio
	RF/FO 380-450	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
	RF/FO 900 GSM-R	OK	OK	OK	OK Solo Discenderie	OK	OK	OK	
	RF/FO GSM-P	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
RF/FO Locale	E/R Ottica GSM-R	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Nella discenderia, perdita di uno strato radio
	E/R Ottica TETRA	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Su tutta la discenderia e solo sulla rete in questione, perdita del servizio radio
	E/R Ottica ACROPOL/ANTARES	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
	E/R Ottica 80 MHz	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
	E/R Ottica Operatore	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	

Etude de couverture radio infra – Studio di copertura radio impianti

	Guasti	80 MHz	ACROPOL/ ANTARES	TETRA	GSM-R	GSM900	GSM1800	UMTS	Impatto del guasto
GSM-R	BTS GSM-R		OK	OK	OK	OK	OK	OK	Su una zona di 2664 m, perdita di uno strato radio.
Operatori	BTS GSM-900	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	Su una zona di 10 km circa e solo sulla rete in questione, perdita del servizio radio
	BTS GSM-1800	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
	Nodo UMTS	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
TETRA	BS TETRA	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
TETRAPOL /ANTARES	BS TETRAPOL/ANTARES	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
80 MHz	Reti analogiche, Rubis	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
Rete fibra ottica	Fibra ottica	OK	OK	OK	OK	Soluzione di trasmissione propria ad ogni operatore		Riconfigurazione della rete di trasmissione sul percorso di soccorso. Senza impatto sul servizio radio	

Etude de couverture radio infra – Studio di copertura radio impianti

Guasti	80 MHz	ACROPOL/ ANTARES	TETRA	GSM-R	GSM900	GSM1800	UMTS	Impatto del guasto
WDM	OK	OK	OK	OK				

Le figure seguenti illustrano le situazioni degradate per rete:

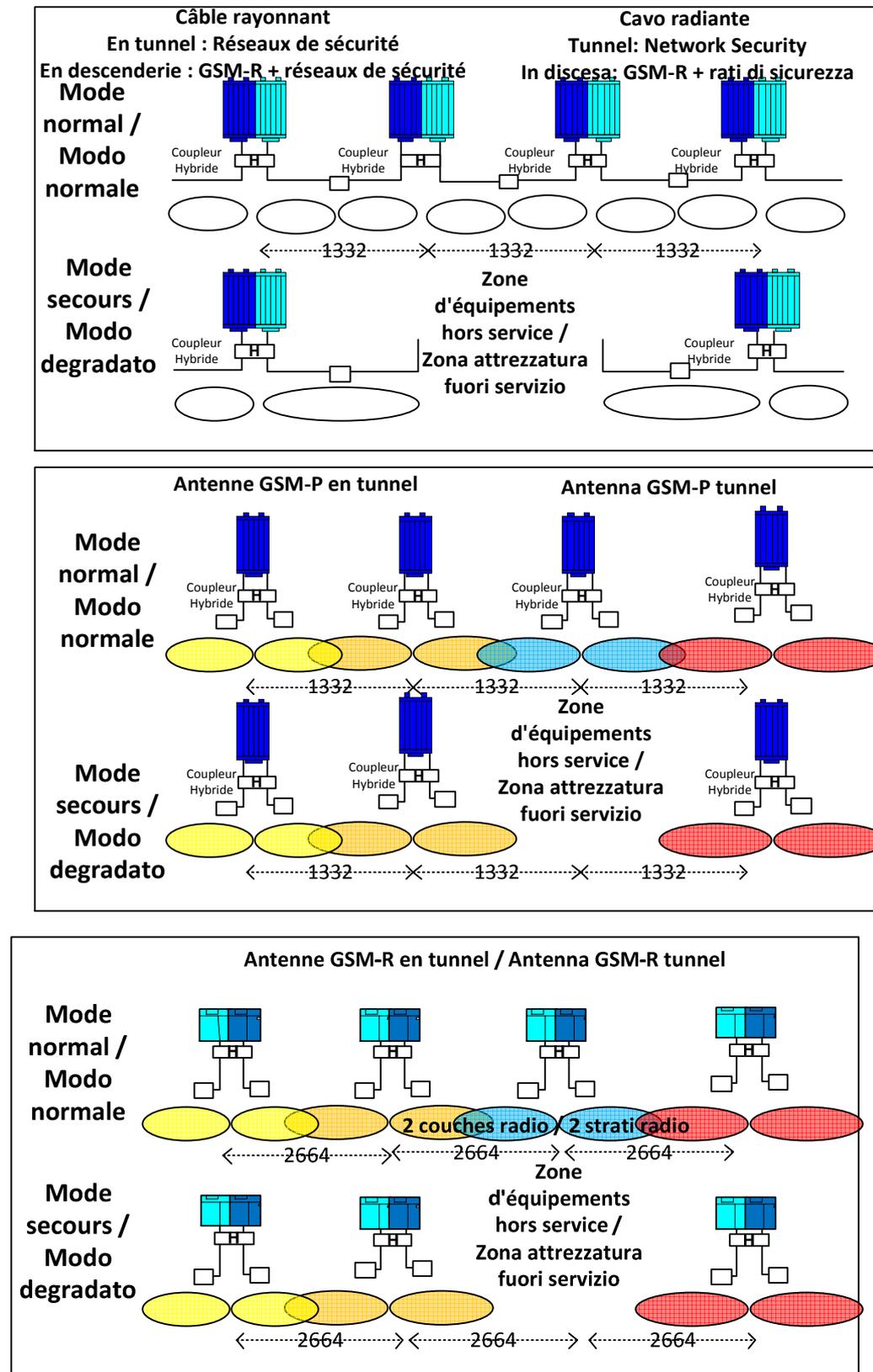
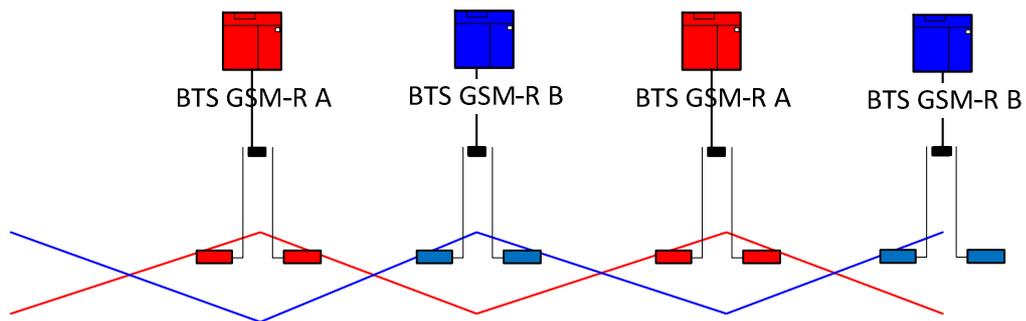


Figura 8: Situazione nominale e situazione degradata

Visti i risultati, sembra quindi che quando c'è un guasto all'antenna, il servizio GSM-R non è più assicurato, e questo implica che i vigili del fuoco italiani non avranno copertura e non potranno più comunicare. Questo può rimettere in discussione l'architettura GSM-R con le due 2 BTS colocalizzate.

Ricordiamo che un'altra architettura possibile è quella di avere delle BTS intrecciate come illustrato qui sotto:

Figura 9: Esempio di copertura intrecciata



In termini di collegamento alle BSC, due possibilità: i 2 strati su una stessa BSC o 1 BSC per strato. Si pone qui la questione della disponibilità di una tale architettura.

Con questa architettura, gli HO sono più numerosi. Le BTS sono distanziate di 1,332 km, essendo la velocità massima di circolazione dei treni di 250 km/h, questo implica degli HO ogni 20 secondi, e pone un problema di rispetto degli obiettivi di performance data (indicatori TREC come specificato nel documento GSM-R).

A titolo comparativo, la tabella qui sotto presenta i vantaggi e gli inconvenienti tra copertura colocalizzata e intrecciata.

	BTS colocalizzate	BTS intrecciate
Servizio vigili del fuoco disponibile in caso di guasti ad un'antenna	NOK	OK
Rispetto del criterio di qualità del servizio	OK	Incerto
Disponibilità	OK	Incerto
Costo	Moderato	Elevato

Per decidere su questo punto, è necessaria una consultazione tra i diversi attori del progetto e i servizi di sicurezza.

8 INDICATION DES PUISSANCES CONSOMMÉES / INIDICAZIONE DELLE POTENZE CONSUMATE

Le potenze tipiche consumate da questi materiali sono indicate di seguito:

- BTS: 1 kW
- RF/FO Locale: 200 W
- RF/FO Distante: 250 W

9 DIMENSIONNEMENT EN TRAFIC DU GSM-R / DIMENSIONAMENTO DEL TRAFFICO DEL GSM-R

Nel dimensionamento del traffico necessario, bisogna distinguere tre casi diversi.

Il primo caso corrisponde al traffico necessario al valico della frontiera tra due RBC che si trovano entrambi sulla stessa rete GSM-R. Prendendo il “peggiore” dei casi, ad es. un treno in ogni senso di marcia che cambia quasi nello stesso momento di dominio RBC, saranno necessarie quattro comunicazioni simultanee. Prendendo in considerazione tutti i tipi di traffico GSM-R su questa sezione, si arriva a 1.35 Erlang per chilometro. In altri termini, e per fare passare il traffico di una cella di più di due chilometri, sarà necessario utilizzare una BTS configurata in “O2” vale a dire con due TRX utilizzati per il traffico.

Il secondo caso corrisponde al cambio di dominio di un RBC verso un altro RBC combinato al cambio della rete GSM-R. In questo caso, il carico della rete è condiviso tra le due reti RFF e RFI, due comunicazioni simultanee per ciascuna rete corrisponde al peggiore dei casi e quindi il bisogno è di una TRX per far passare il traffico. La BTS che emette questa TRX verrà configurata in O1+1, ad es. una TRX attiva più una TRX in ridondanza calda.

Il terzo caso è il più semplice in quanto corrisponde alla linea piena. Il caso che consuma più risorse di comunicazione è quando il treno circola alla velocità di 100 km/h. In effetti, a questa velocità la distanza tra i treni è di circa 4,2 km, ci si ritrova quindi con 0.755 Erlang a chilometro, ossia circa 1.8 Erlang per una cella di circa 2.5 km. Allo stesso modo che nel secondo caso, una BTS configurata in O1+1 sarà quindi sufficiente.

Il call profile preso in considerazione per il traffico del servizio di soccorso italiano, in mancanza di informazioni precise, è 50 mEr e 2% di tasso di blocco delle chiamate.

Il caso meno restrittivo è che tutto il traffico GSM-R ferroviario sia bloccato a seguito del sinistro che necessita l'intervento dei servizi di soccorso. In questo caso i 2.27 Erlang di una BTS “O1+1” e i 8.2 Erlangs di una BTS “O2” saranno pienamente disponibili per i servizi di soccorso, ossia rispettivamente 45 e 164 comunicazioni possibili.

Il caso più restrittivo è che le risorse radio ETCS e RST siano sempre occupate, in questo caso una BTS “O1+1” disporrà di 0.47 Erlang, ossia 9 comunicazioni, e una BTS “O2” disporrà di 4.8 Erlang, ossia 96 comunicazioni. In entrambi i casi questo sembra essere sufficiente ai servizi di soccorso.

10 BILL OF QUANTITIES (BOQ)

Siti	BTS GSM-R	Tetra	Tetrapol	80MHz	RF/FO locale (rete di sicurezza)	RF/FO distante (rete di sicurezza)	RF/FO locale (GSM-R)	RF/FO distante (GSM-R)	RF/FO locale (GSM-P)	RF/FO distante (GSM-P)	Antenna GSM-R/ Antenna GSM-P	Cavo irradiante (km)	Connettore
Galleria di base	22x2	0	0	0	0	43	0	0	0	43	22x4 43x4	57.517x2	43+43+22
Tunnel di raccordo	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	4 (GSM-P)	2.104x2	2
Discenderia St Marin la porte	0	1	1	1	1	2	1	2	1	0	0	2	10
Discenderia La Praz	0	1	1	1	1	2	1	2	1	0	0	2	10
Discenderia Modane	0	1	1	1	1	2	1	2	1	0	0	2	10
Discenderia Val Clarea	0	1	1	1	1	2	1	2	1	0	0	2	10
Aree di sicurezza	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
St Jean de Maurienne	3x2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2x2	0	2
Susa	2x2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	2x2	0	2
Bussoleno	3x2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1x2	0	1