

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J84H17000930009

**U.O. TECNOLOGIE NORD**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO LINEA CODOGNO-CREMONA-MANTOVA  
TRATTA PIADENA-MANTOVA**

**ELABORATI GSM-R**

**PROGETTO DI COPERTURA RETE RADIO GSM-R**

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

N M 2 5    0 3    D    5 8    R O    T T 0 0 0 0    0 0 1    A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	PRIMA EMISSIONE	S. Bonato <i>Stefano Bonato</i>	28.11.19	S. Bonato <i>Stefano Bonato</i>	28.11.19	M. Berlingieri <i>MB</i>	28.11.19	M. Gambaro 28.11.19



File: NM2503D58ROTT0000001A.doc

n. Elab.: tlc/01

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>2</b>
1.1	ACRONIMI.....	3
1.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	5
1.3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	5
<b>2</b>	<b>DESCRIZIONE DEL PROCESSO DI ANALISI</b> .....	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>VERIFICA DELLA COPERTURA RADIOELETTRICA</b> .....	<b>6</b>
3.1	METODOLOGIA DI CALCOLO.....	6
3.2	DATI RELATIVI ALLA RETE GSM-R.....	7
3.2.1	<i>Parametri Radio</i> .....	7
3.2.2	<i>Calcolo dell'EIRP</i> .....	9
3.2.3	<i>Link Budget</i> .....	10
<b>4</b>	<b>SIMULAZIONI</b> .....	<b>11</b>
4.1	OBIETTIVI .....	11
4.2	MAPPE DI COPERTURA RADIO .....	12

## 1 Premessa

Il presente documento descrive lo studio della copertura radioelettrica per il sistema GSM-R ERTMS della tratta Mantova-Piadena.

L'analisi ha lo scopo di verificare, tramite predizioni di copertura, il dimensionamento della rete GSM-R per renderla conforme ai requisiti prestazionali EIRENE per il corretto funzionamento dei sistemi ETCS/ERTMS L2. Sarà quindi necessario garantire una ridondanza di copertura radio mediante l'aggiunta di nuovi Siti di Accesso Radio GSM-R ed attraverso un'eventuale rimodulazione del numero di trasmettitori (TRX) al fine di aumentare la capacità di traffico offerta in termini di canali GSM-R. Tale adeguamento dovrà essere effettuato nell'ottica di dare continuità di copertura GSM-R nella tratta Mantova-Piadena a seguito del rinnovo del sistema di segnalamento (ERTMS/ETCS L2 sovrapposto al sistema tradizionale). Inoltre, dovrà avere una visione "coerente", "coordinata" ed "integrata" con la rete GSM-R esistente.

Lo studio della copertura è stato sviluppato secondo i seguenti criteri guida:

- Analisi dei tracciati ferroviari in funzione dell'orografia del territorio.
- Riutilizzazione, ove possibile, delle infrastrutture esistenti (pali, antenne, alimentazioni).
- Simulazione di copertura con il software applicativo WinRPT (Ver SW 14.0).
- Valutazione delle aree di copertura delle BTS poste nei siti previsti secondo la configurazione prevista e valutazione della copertura in condizioni di degrado di BTS.
- Ottimizzazione della copertura mediante la definizione preliminare delle caratteristiche del sistema di antenna (potenza irradiata in aria, tipo, puntamento e tilt dell'antenna).

## 1.1 Acronimi

ACI	Archivio Configurazione di Impianto
ADM	Add Drop Multiplexer
AF	Alta Frequenza
ATPS	Armadio terminazioni Protezione Sezionamento cavi
AV	Alta Velocità
BCA	Telefono a Batteria Centrale Automatica
CDA	Collegamento Diretto Analogico
CM	Configuration management
CTA	Centrale Telefonica Automatica
CTM	Console Telefonica Multifunzione
DBMS	Data Base Management System
DCC	Data Communication Channels
DCN	Data Communication Network
D&M	Diagnostica e Manutenzione
DCI	Dirigente Coordinatore Infrastrutture
DCM	Dirigente Centrale Movimento
DCO	Dirigente Centrale Operativo
DMA	Dispositivo di Multiplazione Allarmi
EIRP	Effective Isotropical Radiated Power
EM	Element Manager
ETI	Elaboratore di Telecomunicazioni Integrato
FM	Fault management
F.O.	Fibra Ottica
GD/TLC	Gestione Dati sistemi Telecomunicazioni
GUI	Graphical User Interface
HW	Hardware
LAN	Local Area Network
LFM	Apparati di Luce e Forza Motrice
LD	Lunga Distanza
LMV	Linea Monte del Vesuvio
LS	Linea Storica
MOC	Modulo Ottico di Giunzione e Terminazione F.O.
MD	Mediation Device
MUX-F	MUltipleXer Flessibile
NE	Network Element

**PROGETTO DI COPERTURA RETE RADIO GSM-R**

PROG.	LOTTO	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	REV.	FOGLIO
NM25	03 D58	RO	TT0000 001	A	4 di 14

NM	Network Manager
NZD	Fibre ottiche Not Zero Dispersion
OSI	OPDn Systems Interconnection
PC	Personal Computer
PCL	Printer Control Language Hewlett-Packard
PCS	Posto Centrale Satellite (AV)
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy
PM	Posto di Movimento
PPF	Posto Periferico Fisso
PRC	Primary Reference Clock
RFI	Rete Ferroviaria Italiana
RRH	Radio Remote Head (unità Radio Remota)
SASE	Stand Alone Synchronization Equipment
SCC	Sistema di Comando e Controllo della Circolazione Ferroviaria
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SGRT	Sistema Gestione Rete Telecomunicazioni
SM-R	Fibra Ottica a Singolo Modo - Ridotto
SNMP	Simple Network Management Protocol
SW	Software
ST	Sistema Telefonico
STI	Sistema Telefonico Integrato
STM	Synchronous Transfer Module
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
TLC	Telecomunicazioni
WAN	Wide Area Network

## 1.2 Documenti di riferimento

Ref.	Codice	Titolo
[1]	NM25 03 D58 DX TT0001 001	Architettura del sistema Radio Terra – Treno (GSM-R)

## 1.3 Normativa di riferimento

Ref.	Codice	Titolo
[2]	NM25 03 D58 RP TC0000 001	Normativa di riferimento impianti di telecomunicazioni

## 2 Descrizione del Processo di Analisi

La prima attività realizzata nel processo di pianificazione è stata l'analisi del tracciato ferroviario. A tale scopo sono stati utilizzati i dati digitalizzati della tratta Mantova-Piadena.

Per poter operare le previsioni di copertura è stata eseguita la georeferenziazione di tutti i siti previsti per la copertura radio delle tratte precedentemente indicate e riportati in Tabella 1. In tale tabella sono indicati i siti prescelti, le progressive chilometriche lungo linea, le coordinate geografiche previste.

SITI	PROGRESSIVA	LONGITUDINE	LATITUDINE
MANTOVA	89+557	10.784622E	45.159152N
INT CASTELLUCCHIO MANTOVA	83+902	10.714261E	45.146961N
CASTELLUCCHIO	78+659	10.647967E	45.144459N
OSPITALETTO MANTOVANO	74+910	10.604369E	45.129927N
MARCARIA	69+160	10.532978E	45.124418N
BOZZOLO	63+795	10.472147E	45.106877N
INT BOZZOLO PIADENA	59+458	10.434123E	45.112521N
PIADENA	55+286	10.373083E	45.126538N

In verde i Nuovi Siti

Tabella 1: Siti GSM-R

A seguito di questo, per ogni BTS (considerata come punto trasmittente), sono state fissate le tipologie di antenne da utilizzare, i relativi azimuth di puntamento e i tilt corrispondenti in funzione dell'area che si voleva coprire. Generalmente gli obiettivi di copertura sono i seguenti:

- le linee ferroviarie
- le aree esterne ai fabbricati ed agli edifici di proprietà FS in ambito di stazione o lungo linea quali edifici di stazione, depositi, officine e magazzini, posti di comunicazione, posti di interconnessione.
- Le aree di manovra e di smistamento
- Le interconnessioni tra le direttrici interessate al progetto di copertura radio.
- Gli imbocchi delle gallerie e le tratte in galleria

Dopo aver fissato questi parametri era possibile realizzare la predizione di copertura lungo le tratte d'interesse. Si fa notare che il livello di campo predetto da WinRPT ha significato rispetto al livello del terreno e quindi soltanto per le zone aperte e non all'interno delle gallerie.

### 3 Verifica Della Copertura Radioelettrica

#### 3.1 Metodologia di Calcolo

La propagazione elettromagnetica è influenzata sia da fattori orografici (presenza di rilievi ed ostacoli) che da fattori ambientali e di uso del territorio (clima, presenza di superfici riflettenti, vegetazione, infrastrutture, densità di edificato, ecc.).

I limiti di utilizzazione e di validità dei metodi di previsione della copertura sono ampiamente descritti in letteratura e dipendono dal fatto che si utilizzano, per il calcolo, dei modelli necessariamente semplificativi delle reali condizioni al contorno relative all'ambiente di propagazione.

Lo studio teorico è stato eseguito su modelli che tengono conto di contributi sia di tipo statistico che di tipo deterministico e seguendo anche quanto indicato nelle Racc ITU-R, per tener conto nel miglior modo possibile del particolare ambiente propagativo. Per le previsioni di copertura è stato usato l'applicativo WinRPT 14.0.

Il metodo di calcolo della predizione utilizzato è di tipo statistico-deterministico ed applica la seguente formula di propagazione basata sullo Standard Propagation Model derivato dalla formula di Hata:

$$P_{RX} = P_{TX} - ( K_1 + K_2 \cdot \log(d) + K_3 \cdot \log(H_{eff}) + K_4 \cdot DiffLoss + K_5 \cdot \log(H_{eff}) \cdot \log(d) + K_6 \cdot H_{m,eff} + K_7 \cdot \log(H_{m,eff}) + K_{CLUTTER} \cdot f(clutter) )$$

dove:

- $P_{TX}$  è la potenza (EIRP) irradiata dall'antenna trasmittente,
- $P_{RX}$  è la potenza ricevuta dal terminale mobile,
- $d$  è la distanza dalla stazione trasmittente
- $H_{eff}$  è l'altezza efficace dell'antenna trasmittente
- $H_{m,eff}$  è l'altezza efficace dell'antenna del terminale mobile
- $DiffLoss$  è il contributo dovuto ai fenomeni di diffrazione elettromagnetica.

- $K_{clutter}$  è il contributo in dB dovuto alle caratteristiche del territorio.
- $f$  (clutter) la media della perdita causata dal clutter

Questo modello è stato preferito ad altri perché il percorso ferroviario è assimilato ad un'area suburbana con infrastrutture basse e rare e considera l'attenuazione dovuta alle caratteristiche del territorio. Il modello sfrutta la parametrizzazione già adottata per la progettazione delle altre tratte AV/AC.

Gli algoritmi di propagazione utilizzati nella pianificazione radio prevedono il valore di campo elettromagnetico mediano (al 50%).

Le specifiche di progetto prevedono un livello minimo di copertura a radiofrequenza:

- In condizioni di non degrado (condizioni operative nominali dell'intero sistema di comunicazione) pari a -92 dBm per il 95% dei campioni in tutti i tratti di 100 metri.
- In condizioni di degrado di una BTS della rete (una BTS fuori servizio) pari a -92 dBm per il 95% dei campioni in tutti i tratti di 100 metri interessati nell'area di competenza della BTS degradata.

Dal momento che la previsione di copertura dell'area dipende direttamente da quella relativa al bordo, imporre una data probabilità di copertura sul bordo significa garantire una probabilità  $X+\Delta$  di copertura dell'area. Per ottenere la previsione di copertura nei limiti di specifica al 95% dei campioni è dunque necessario introdurre il margine di predizione, denominato margine di fading.

Per il modello utilizzato è stato considerato un margine di fading di 10 dB per passare dal valore mediano (50%) al valore richiesto corrispondente al 95% dei campioni. Tale valore è stato direttamente sottratto al valore dell'EIRP di ogni singolo trasmettitore.

## 3.2 Dati Relativi alla Rete GSM-R

### 3.2.1 Parametri Radio

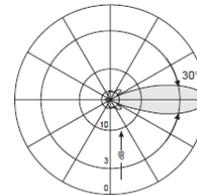
Nella tabella 2 sono riportati i parametri radio per ogni singolo sito relativi ai:

- sistema di antenne ipotizzato per ogni singolo sito (Antenna)
- quota di installazione delle antenne rispetto al suolo (Height)
- direzione di puntamento delle antenne (Azimuth)

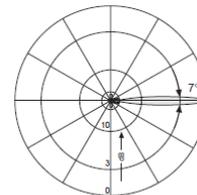
Si precisa che la tipologia delle antenne inserite in tabella e utilizzato nel tool di predizione potrà essere eventualmente sostituito con uno equivalente disponibile in fase di installazione. Per equivalente si intendono tutte quelle antenne anche di altri fornitori, che però presentino necessariamente stesse caratteristiche radio (apertura lobo orizzontale e verticale, guadagno) e dimensioni fisiche rispetto a quelle descritte in tabella. Le caratteristiche Radio delle antenne utilizzate per la simulazione di copertura sono di seguito descritte:

- Tipologia C:

Frequency range	870 – 960 MHz
Polarization	+45°, -45°
Gain	2 x 21 dBi
Half-power beam width Copolar +45°/-45°	Horizontal: 30° Vertical: 7°
Front-to-back ratio, copolar	> 30 dB
Isolation	> 30 dB
Impedance	50 Ω
VSWR	< 1.5
Height/width/depth	2580 / 560 / 116 mm



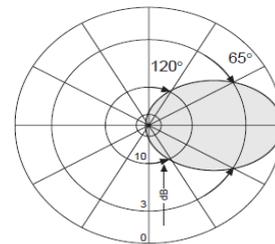
Horizontal Pattern



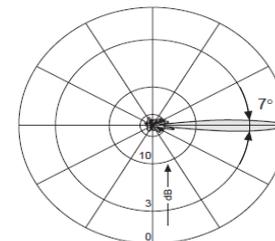
Vertical Pattern

- Tipologia D:

Input	2 x 7-16 female
Connector position	Bottom or top
Frequency range	870 – 960 MHz
VSWR	< 1.3
Gain	2 x 18 dBi
Impedance	50 Ω
Polarization	+45°, -45°
Front-to-back-ratio, copolar	> 30 dB
Half-power beam width	+45° polarization Horizontal: 65°, vertical: 7° -45° polarization Horizontal: 65°, vertical: 7°
Height/width/depth	2580 / 262 / 116 mm



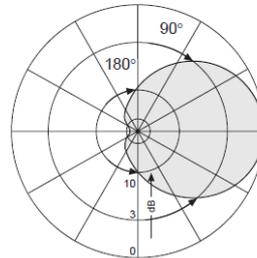
Horizontal Pattern



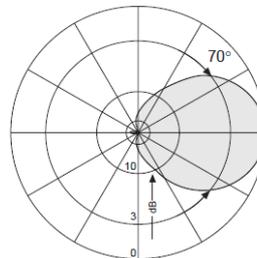
Vertical Pattern

- Tipologia G:

Input	7-16 female
Connector position	Bottom or top
Frequency range	872 – 960 MHz
VSWR	< 1.5
Gain	7.5 dBi
Impedance	50 Ω
Polarization	Vertical
Front-to-back ratio	> 20 dB
Half-power beam width H-plane: 90°/ E-plane: 70°	
Height/width/depth	262 / 155 / 49 mm



Horizontal Pattern



Vertical Pattern

Sito	Tipologia Antenna	Height (m)	Azimuth (°)
MANTOVA	G	24	240
INT CASTELLUCCHIO MANTOVA	C	24	85
	C	24	265
CASTELLUCCHIO	C	24	85
	C	24	245
OSPITALETTO MANTOVANO	D	24	65
	D	24	250
MARCARIA	C	24	90
	C	24	250
BOZZOLO	C	24	55
	C	24	250
INT BOZZOLO PIADENA	C	24	110
	C	24	290
PIADENA	C	24	105
	C	24	290

Tabella 2: Parametri Radio

### 3.2.2 Calcolo dell'EIRP

Gli EIRP specifici di ogni trasmettitore sono stati calcolati tenendo conto delle differenti caratteristiche di ognuno di essi, caratteristiche determinate da:

- Potenza disponibile al connettore della BTS

- Tipo di antenna (relativo guadagno)
- Altezza del palo (perdita dei cavi di collegamento tra antenna e BTS)
- Numero di connettori
- Tipologia di piastra di branching

Nella Tabella seguente si riporta un caso esemplificativo di calcolo dell'EIRP

Sito in shelter con palo da 30m		
Potenza out BTS		+46,2
Antenna	Tipologia A	18,5
Cavi/connettori		4,6
Piastra di Branching		3,2
<b><u>Potenza Ingresso Antenna (dBm)</u></b>		<b>38,4</b>
<b><u>EIRP (dBm)</u></b>		<b>56,9</b>

Tabella 3: EIRP di un sito in spazio aperto, in shelter con antenna su palo da 30 m.

### 3.2.3 Link Budget

Per l'analisi del link budget sono state considerate le seguenti caratteristiche del sistema:

Apparato: BTS:

- Potenza disponibile al connettore BTS 42 W (46,2 dBm) per portante
- Sensibilità -111 dBm

Apparato: Mobile Terminal:

- Potenza disponibile 8 W (39 dBm)
- Sensibilità -104 dBm

Antenne utilizzate:

- Guadagno antenna Tipologia A 18,5 dBi

In tabella si riporta un esempio di analisi del link budget che è stato effettuato per tutti i trasmettitori riportati in

**Tabella 2.**

Si ricorda che nel calcolo non sono state considerate le attenuazioni causate dalla cablatura interna del treno perché si ipotizza che siano compensate dal guadagno dell'antenna del treno

	Sito in shelter con palo da 30m
<b>TRATTA BTS-MS (DOWNLINK)</b>	
Ptx BTS [dBm]	46,2

	Sito in shelter con palo da 30m
Perdite totali [dB] (Piastra di branching, cavo, connettori, Perdite Polarizzazione)	7,8
Guad. Antenna Tx [dBi]	18,5
EiRP [dBi]	56,9
Sensibilità MS	-104
Attenuazione Max [50%]	160,9
<b>TRATTA MS-BTS (UPLINK)</b>	
Ptx MS	39
Guad. Antenna Rx [dBi]	18,5
Perdite totali [dB]	7,8
Sensibilità in diversità BTS [dBm]	-111
Attenuazione Max [50%]	160,7

**Tabella 4: Link Budget casi esemplificativi.**

Si evidenzia che i requisiti di copertura richiesti per questo progetto, ovvero il superamento per il 95% dei campioni del livello di campo di -92 dBm, impone un path loss massimo molto al di sotto della attenuazione massima sopra calcolata.

Tale path loss infatti è ricavato togliendo dalla potenza utile in aria il livello di campo desiderato, marginato dai valori di fading, eventuale perdita di polarizzazione e body loss.

## 4 Simulazioni

### 4.1 Obiettivi

L'obiettivo della simulazione è stato quello di verificare i livelli di copertura elettromagnetica lungo linea.

Per la simulazione si è assunto che la posizione dell'antenna dell'apparato mobile sia a 4,5 mt. di altezza sul livello del terreno (non sono stati considerati i casi migliorativi rappresentati dalla presenza di viadotti che innalzano ulteriormente la posizione del ricevitore).

Le simulazioni relative al livello di campo sono state eseguite sia in condizioni nominali di funzionamento che in condizioni di degrado al fine di verificare la ridondanza di copertura.

Scopo della simulazione è la verifica del:

- Livello di campo minimo lungo linea pari a -92 dBm per il 95% dei campioni

- Livello di campo minimo lungo linea pari a  $-92$  dBm per il 95% dei campioni per la ridondanza di copertura.

Nelle mappe allegate viene fornita un'indicazione della copertura composita con tutti i siti accesi nella tratta Mantova-Piadena. In tale simulazione sono stati considerati accesi tutti i siti. Dalle simulazioni si evidenzia che il livello di campo risulta maggiore di  $-92$  dBm per il 95% dei campioni. Per la copertura delle gallerie ferroviarie si rimanda al paragrafo successivo.

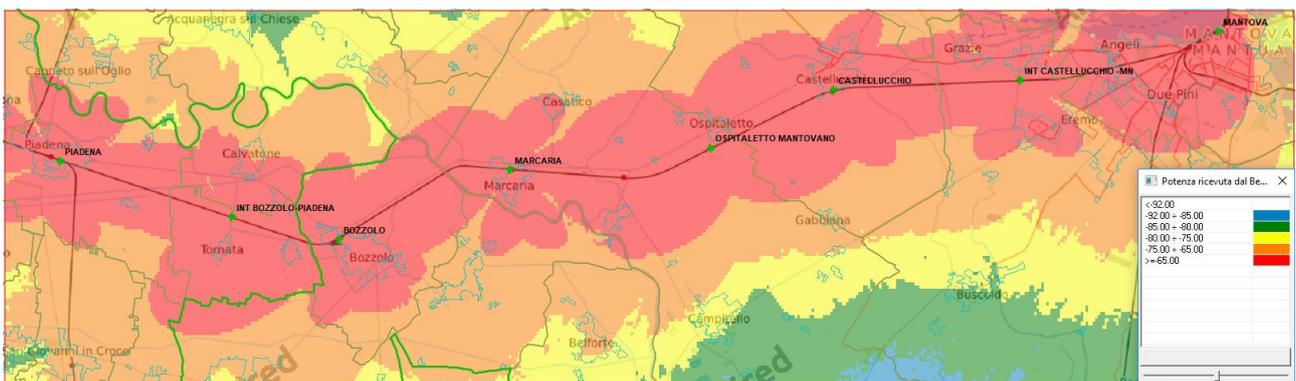
Alcune mappe illustrano la copertura rispettivamente da parte dei siti dispari e da parte dei siti pari. Dalle simulazioni si evidenzia che il livello di campo risulta maggiore di  $-92$  dBm per il 95% dei campioni anche nelle situazioni in cui sulla linea si verifica il fuori servizio di un sito.

## 4.2 Mappe di copertura Radio

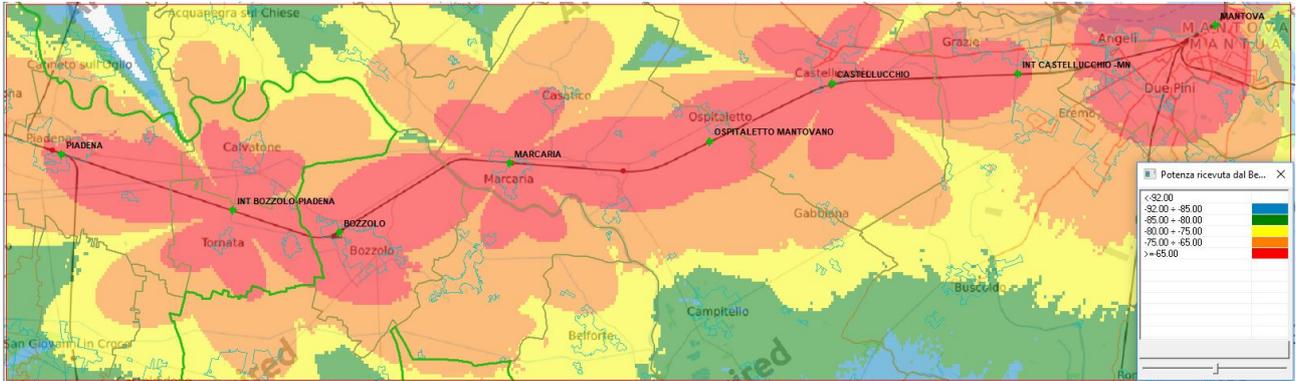
Le mappe di copertura composita generate con il Tool di previsione WinRPT rappresentano il livello di segnale calcolato con un'attendibilità statistica del 50%. I corrispondenti livelli al 95% di confidenza, come richiesto dai requisiti di progetto, sono i seguenti:

Colore	Livello di segnale al 50% (mappa)	Livello di segnale al 95% (requisito)
<b>Rosso</b>	$\geq - 52$ dBm	$\geq - 65$ dBm
<b>Arancio</b>	$- 62$ dBm $\leq x < - 52$ dBm	$- 75$ dBm $\leq x < - 65$ dBm
<b>Giallo</b>	$- 67$ dBm $\leq x < - 62$ dBm	$- 80$ dBm $\leq x < - 75$ dBm
<b>Verde</b>	$- 72$ dBm $\leq x < - 67$ dBm	$- 85$ dBm $\leq x < - 80$ dBm
<b>Azzurro</b>	$- 82$ dBm $\leq x < - 72$ dBm	$- 92$ dBm $\leq x < - 85$ dBm
<b>Bianco</b>	$< - 79$ dBm	$< - 92$ dBm

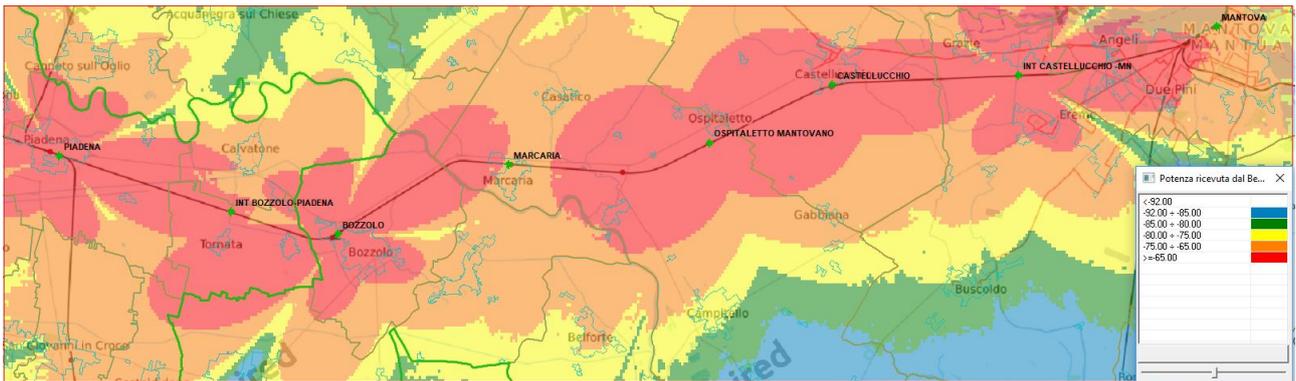
Le mappe di copertura sono espone nelle figure seguenti e sono suddivise nei casi di normale utilizzo e di degrado (vedi pagina seguente):



**Figura 1: Simulazione di copertura Mantova – Piadena nel caso di condizioni Normali**



**Figura 2: Simulazione di copertura Mantova – Piadena nel caso di degrado (siti limitrofi dispari spenti)**



**Figura 3: Simulazione di copertura Mantova – Piadena nel caso di degrado (siti limitrofi pari spenti)**