

Indice

Index – Inhalt

Indice delle figure	pag.	7
Introduzione	pag.	10
CAPITOLO 1: Sistemi di comunicazione wireless	pag.	12
1.1 Generalità	pag.	12
1.2 Fondamenti teorici delle comunicazioni radio	pag.	14
1.2.1 – Canale di propagazione	pag.	16
1.3 Sistemi di trasmissione wireless	pag.	16
1.4 Sistemi di accesso	pag.	18
1.4.1 – Metodi di accesso senza contesa	pag.	18
1.4.2 – Metodi di accesso con contesa	pag.	20
1.5 Generalità sulle reti informatiche senza filo	pag.	20
1.6 WiFi – IEEE 802.11	pag.	22
1.6.1 – Standard IEEE 802.11	pag.	22
1.6.2 – Bande ISM	pag.	23
1.6.3 – Lo standard IEEE 802.11g	pag.	25
1.6.3.1 – Physical layer	pag.	25
1.6.3.2 – PMD sublayer	pag.	26
1.6.4 – 802.11: DSSS modulation	pag.	26
1.6.5 – 802.11b: CCK modulation	pag.	27
1.6.6 – 802.11a: OFDM modulation	pag.	27
1.6.7 – 802.11g	pag.	28
1.6.8 – Lo standard IEEE 802.11n	pag.	28
1.7 Bluetooth - IEEE 802.15.1	pag.	29
CAPITOLO 2: Reti wireless a lungo raggio	pag.	33
2.1 HIPERLAN	pag.	33
2.1.1 – Caratteristiche tecniche	pag.	34
2.1.2 – PHY layer	pag.	35
2.1.3 – DLC layer	pag.	36
2.1.4 – Convergence layer	pag.	36

2.2 Protocollo WiMAX (802.16e)	pag. 37
2.2.1 – Principali caratteristiche di una rete WiMAX	pag. 39
2.2.2 – Wi-MAX come strumento di libertà	pag. 40
2.3 Reti cellulari	pag. 41
2.3.1 – Introduzione	pag. 41
2.3.2 – Copertura Cellulare	pag. 42
2.3.3 – Celle radio	pag. 42
2.3.4 – Gestione della mobilità	pag. 44
2.3.5 – Riutilizzo delle frequenze	pag. 45
2.4 I sistemi satellitari per comunicazione	pag. 46
2.4.1 – Infrastruttura satellitare	pag. 46
2.4.2 – Orbite e Altitudine	pag. 48
2.4.3 – Transponder	pag. 50
2.4.4 – Allocazione di frequenze	pag. 50
2.4.5 – Satelliti Multifascio	pag. 51
2.4.6 – Connessione a banda larga per tutti	pag. 52
2.4.7 – Diffusione televisiva via satellite	pag. 53
CAPITOLO 3: Le Telecomunicazioni Ferroviarie	pag. 54
3.1 Generalità	pag. 54
3.2 Nascita del GSM-R	pag. 55
3.3 GSM-R per comunicazione radiomobile terra-treno	pag. 56
3.4 Caratteristiche della rete GSM-R	pag. 58
3.5 Struttura della rete GSM-R	pag. 59
3.5.1 – Handover sulla rete GSM-R	pag. 63
3.5.1.1 – Handover tra diverse BTS	pag. 64
3.5.1.2 – Handover tra diversi BSC	pag. 64
3.5.1.3 – Handover tra diversi MSC	pag. 64
3.5.2 – Dislocazione sul territorio nazionale delle BSC e degli MSC	pag. 65
3.6 Servizi offerti dalla rete GSM-R	pag. 66
3.7 GSM-R di bordo	pag. 68
3.8 Uso della rete radiomobile GSM-R	pag. 70
3.8.1 – Chiamate di emergenza	pag. 72

3.8.2 – Funzionalità eMLPP	pag.	73
3.9 Altre funzioni particolari del sistema GSM-R	pag.	73
3.9.1 – Chiamate verso o da rete fissa RFI	pag.	74
3.9.2 – Chiamate verso rete mobile RFI	pag.	74
CAPITOLO 4: Il sistema ERTMS/ETCS sulle nuove linee ferroviarie AV/AC	pag.	75
4.1 Linee ferroviarie Alta Velocità/Alta Capacità	pag.	75
4.1.1 – Caratteristiche innovative	pag.	75
4.1.2 – Sistema di trasporto AV	pag.	75
4.2 Cos'è l'ERTMS/ETCS?	pag.	76
4.2.1 – Obiettivi ERTMS e interoperabilità	pag.	77
4.3 Comando e controllo treni: ETCS	pag.	78
4.3.1 – Livelli ETCS	pag.	78
4.3.2 – ETCS – Livello 0	pag.	78
4.3.3 – ETCS – Livello “Specific Transmission Module” (STM)	pag.	78
4.3.4 – ETCS – Livello 1	pag.	79
4.3.5 – ETCS – Livello 2	pag.	79
4.3.6 – ETCS – Livello 3	pag.	81
4.4 Sottosistema di Segnalamento AV (SSAV) con sistema ERTMS/ETCS Livello 2	pag.	82
4.4.1 – Autorizzazione al movimento da parte di ETCS L2	pag.	85
4.4.2 – Sezioni di Blocco Radio	pag.	87
4.4.3 – Il Sottosistema di Bordo (SSB) dell'ETCS Livello 2	pag.	89
4.4.4 – Il Sottosistema di Terra (SST) dell'ETCS Livello 2	pag.	91
4.4.5 – Il Radio Block Center (RBC)	pag.	92
4.4.6 – Sistema di Telecomunicazione GSM-R in ETCS di Livello 2	pag.	92
4.5 Ingresso in Area ERTMS	pag.	94
4.5.1 – Transizione da un'area di Livello “0” ad un'area di Livello “2”	pag.	94
4.5.2 – Transizione da un'area di Livello “STM” ad un'area di Livello “2”	pag.	95
4.5.3 – Procedura di “dialogo” tra il SSB e il RBC nei punti di confine	pag.	96
4.5.4 – Posto di Cambio Tensione di alimentazione	pag.	98
4.5.5 – Handover RBC	pag.	98
4.6 Descrizione del treno in RBC	pag.	101
4.6.1 – Stato Treno in RBC	pag.	101

4.6.2 – Stato Missione in RBC	pag. 102
4.6.3 – Concetto di Path	pag. 103
4.6.4 – Descrizione della Via in RBC e generazione di una Movement Authority	pag. 103
Conclusioni	pag. 105
Bibliografia	pag. 106

Indice delle figure

Index of figures – Abildungsverzeichnis

Figura 1.1	– Schematizzazione di un collegamento radio distribuito	pag. 14
Figura 1.2	– Schema a blocchi per un sistema wireless	pag. 16
Figura 1.3	– Rappresentazione cartesiana dei sistemi di accesso al mezzo wireless	pag. 18
Figura 1.4	– Posizione delle bande ISM nello spettro elettromagnetico	pag. 24
Figura 1.5	– Caratteristiche e utilizzazioni delle principali bande ISM	pag. 24
Figura 1.6	– Struttura e funzionalità dei sottolivelli di 802.11	pag. 25
Figura 1.7	– Costruzione e benefici della DSSS modulation	pag. 27
Figura 1.8	– Canali utilizzati da 802.11g nella banda ISM dei 2,4 GHz	pag. 28
Figura 1.9	– Schematizzazione del raggio d'azione dello standard Bluetooth	pag. 29
Figura 1.10	– Blocchi del protocollo Bluetooth (color Arancio)	pag. 30
Figura 1.11	– Bande di frequenza Bluetooth	pag. 31
Figura 1.12	– Livello Baseband	pag. 31
Figura 2.1	– Parametri del livello fisico Hiperlan in condizioni operative tipiche	pag. 35
Figura 2.2	– Modalità di funzionamento sistema WiMAX	pag. 38
Figura 2.3	– Schema di rete cellulare in cui la conversazione viene mantenuta anche durante gli spostamenti	pag. 41
Figura 2.4	– Esempio di tassellatura del territorio a celle radio esagonali	pag. 43
Figura 2.5	– Diverse fasi del lancio di un satellite in orbita	pag. 47
Figura 2.6	– Copertura satellitare	pag. 47
Figura 2.7	– Posizione satellite geostazionario	pag. 49
Figura 2.8	– Riutilizzo delle frequenze per satelliti multifascio	pag. 51

Figura 2.9	– Accesso per tutti alla banda larga via satellite	pag. 52
Figura 2.10	– Tipico scenario di trasmissioni televisive via satellite	pag. 53
Figura 3.1	– Un tipo di apparato radiomobile GSM-R ad uso del personale ferroviario ...	pag. 57
Figura 3.2	– Configurazione standard del sistema GSM-R	pag. 57
Figura 3.3	– Architettura della rete GSM-R	pag. 59
Figura 3.4	– Sim GSM-R RFI	pag. 60
Figura 3.5	– Schema di stazione radio base – BTS	pag. 60
Figura 3.6	– Schema handover tra due BTS	pag. 64
Figura 3.7	– Schema handover tra due BSC	pag. 64
Figura 3.8	– Schema handover tra due MSC	pag. 64
Figura 3.9	– Dislocazione dei centri di controllo delle stazioni radio e di commutazione dei servizi mobili della rete GSM-R di RFI	pag. 65
Figura 3.10	– Indirizzamento al controllore della tratta B in base alla posizione del treno al momento della chiamata	pag. 66
Figura 3.11	– Indirizzamento al controllore della tratta A in base alla posizione del treno al momento della chiamata	pag. 66
Figura 3.12	– Modalità di funzionamento del Voice Group Call Service	pag. 67
Figura 3.13	– Modalità di funzionamento del Voice Broadcast Call	pag. 67
Figura 3.14	– Interfaccia uomo-macchina MMI del nuovo sistema telefonico GSM-R a bordo della motrice E402B	pag. 69
Figura 3.15	– Comunicazione tra il personale ferroviario	pag. 70
Figura 3.16	– Ripartizione delle strutture di appartenenza	pag. 72
Figura 3.17	– Numeri identificativi delle diverse tipologie di chiamata	pag. 72
Figura 3.18	– Modalità effettuazione di una chiamata da rete mobile RFI a rete fissa RFI .	pag. 74
Figura 3.19	– Modalità effettuazione di una chiamata da rete mobile RFI a rete mobile RFI	pag. 74
Figura 4.1	– Architettura del Sistema di Trasporto ferroviario AV e gli impianti tecnologici di terra e bordo	pag. 76

Figura 4.2	– Schema ERTMS/ETCS livello di applicazione 1	pag. 79
Figura 4.3	– Schema ERTMS/ETCS livello di applicazione 2	pag. 80
Figura 4.4	– Schema ERTMS/ETCS livello di applicazione 3	pag. 81
Figura 4.5	– Principio di funzionamento dell’ERTMS/ETCS Livello 2	pag. 83
Figura 4.6	– Antenna GSM-R	pag. 84
Figura 4.7	– Segnali di fine sezione blocco radio posti al lato del binario	pag. 88
Figura 4.8	– Architettura fisica SSB	pag. 89
Figura 4.9	– Driver Machine Interface – DMI a bordo di un rotabile	pag. 90
Figura 4.10	– Linea AV/AC Torino-Milano con antenna GSM-R nei pressi di Rondissone ...	pag. 94
Figura 4.11	– Segnale luminoso di confine di ingresso linea AV/AC con sistema ETCS L2 ..	pag. 96
Figura 4.12	– Pantografo	pag. 98
Figura 4.13	– Schema semplificato dell’Handover RBC per il treno	pag. 99
Figura 4.14	– Modello funzionale della costruzione della MA da parte del RBC	pag. 104

Introduzione

Introduction – Einleitung

Il presente lavoro di tesi è maturato a seguito della mia enorme passione per l'intera realtà ferroviaria. Sono sempre stato attratto dal "mondo dei treni", un mondo che mi ha sempre affascinato per la sua straordinaria capacità di trasportare persone e cose su convogli veloci, alimentati elettricamente e che percorrono una specifica strada ferrata. Ebbene, negli anni questo mondo si è evoluto tantissimo, e il progresso della tecnologia lo ha reso ai miei occhi ancora più bello e intrigante.

È salito a bordo il "telefono senza fili", una rete dedicata di telefonia radiomobile nota come GSM-R, che consente sia le tradizionali comunicazioni voce e dati, sia lo scambio di informazioni tra i sistemi tecnologici di segnalamento e controllo della circolazione. Inoltre la sicurezza ha fatto anche un salto di qualità: l'azienda RFI (Rete Ferroviaria Italiana) del gruppo Ferrovie dello Stato ha adottato, tra le prime in Europa, il sistema europeo di supervisione e controllo del distanziamento treni noto con il termine ERTMS/ETCS di Livello 2 sulle nuove linee della rete ad Alta Velocità/Alta Capacità.

Questa mia passione per la realtà ferroviaria unita a quella per le telecomunicazioni hanno pertanto costituito la base da cui partire nella stesura della presente opera.

Il filo conduttore su cui si fonda questa trattazione sono le reti senza filo, chiamate appunto wireless, che nel tempo sono riuscite a guadagnare un consenso generalizzato in quanto permettono l'utilizzo di svariate apparecchiature informatiche senza dover necessariamente adoperare un cavo fisicamente connesso ad un'infrastruttura fissa.

La tecnologia wireless, nello specifico, ha permesso la nascita delle reti private di telefonia mobile, conosciute come GSM e, in ambito ferroviario, la nascita di una rete privata di telefonia radiomobile conosciuta come GSM-R che, oltre alle comunicazioni voce, ha consentito uno scambio continuo di dati tra tutti gli operatori del settore in maniera esclusiva.

Infine questa tecnologia si è rivelata il punto cardine per l'adozione di un valido e importante sistema europeo di controllo della marcia dei treni, chiamato appunto ERTMS/ETCS.

Nei successivi quattro capitoli vengono inizialmente descritti i sistemi di trasmissione wireless, cosa sono e perché sono diventati sempre più prepotentemente presenti nella vita di tutti i giorni, analizzando le diverse tecniche di accesso al mezzo trasmissivo.

Nonostante sia possibile realizzare reti Wireless in diverse tecnologie, oggi si adoperano quasi esclusivamente le onde radio ad alta frequenza. Per questa tecnologia sono stati registrati, presso la IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers – Istituto degli ingegneri elettrici ed elettronici), molteplici standard. Tra quelli più utilizzati, oggetto di studio di questo lavoro di tesi, figurano il Bluetooth IEEE 802.15.1 , il WiFi IEEE 802.11, il WiMAX IEEE 802.16; ci troviamo quindi ad operare in reti eterogenee.

Verranno pertanto analizzate, oltre a quelle sopra citate, le diverse tipologie di reti senza filo a corto raggio e a lungo raggio, evidenziandone le peculiarità e le diverse tipologie di utilizzo sia in ambito privato che pubblico.

Verrà poi descritta la rete radiomobile ferroviaria GSM-R, dalla sua nascita alla sua piena operatività, descrivendo i principali vantaggi e servizi offerti al personale ferroviario.

Infine verrà analizzato il nuovo sistema europeo di controllo e di distanziamento treni ERTMS/ETCS di Livello 2 della Rete Ferroviaria Italiana che, grazie all'integrazione con la rete radiomobile GSM-R, rappresenta un innovativo standard di sicurezza per il trasporto di viaggiatori e merci sulle nuove linee ad Alta Velocità del nostro paese.