

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA
FACOLTA' DI INGEGNERIA



Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria delle
Telecomunicazioni

**Analisi delle tecnologie radio per il progetto di un
sistema di comunicazione terra-bordo in ambito
portuale**

Relatore:

Chiar.mo Prof. Michele Zorzi

Correlatore:

Ing. Luca Masnata

Tesi di Laurea di:

Tommaso Vaccari

Matr. N. 586302

Anno Accademico 2009/2010

Introduzione

Il sempre maggior numero di navi in circolazione, con il conseguente aumento del flusso di traffico in ingresso e in uscita dai porti, sta portando il modello tradizionale di architettura portuale ad avvicinarsi a quello degli aeroporti, che garantisce sicurezza ed efficienza grazie soprattutto a sofisticati sistemi di monitoraggio degli aeromobili e dei loro spostamenti.

Cresce dunque la necessità di progettare e costruire tutta una categoria di sistemi di controllo del traffico marittimo in grado di fornire agli utenti, che sono tipicamente soggetti operanti all'interno delle acque portuali, gli strumenti necessari alla gestione efficiente delle procedure di ingresso e uscita dai porti di ogni tipologia di imbarcazione. Fanno parte di questa categoria i sistemi VTS¹, che effettuano il monitoraggio di specifiche aree marittime utilizzando i dati su posizione e velocità dei natanti ricavati da reti radar e dai segnali AIS², i sistemi di videosorveglianza portuale e i dispositivi portatili di supporto alla navigazione.

Tali oggetti necessitano delle più avanzate tecnologie delle telecomunicazioni per garantire l'elaborazione e lo scambio di una ingente mole di dati tra le strumentazioni di bordo e le postazioni a terra; tale servizio deve inoltre essere robusto a condizioni climatiche avverse e possibilmente adattabile a vari scenari geografici.

Lo scenario del Porto di Venezia è un esempio significativo delle problematiche che si possono andare a incontrare nella gestione dei flussi di traffico navali: i suoi canali d'accesso infatti, a causa della morfologia lagunare, sono soggetti a fenomeni, come le variazioni del livello di marea, che possono rendere difficoltose le operazioni di ingresso in porto; inoltre devono essere considerate anche le strutture dei sistemi per la salvaguardia lagunare, come il Mose, la cui installazione modificherà la geografia delle bocche di porto.

¹ *Vessel Traffic Service.*

² *Automatic Identification System:* dispositivi di bordo che inviano in *broadcast* un segnale recante le principali informazioni riguardanti il natante.

Il presente lavoro ha come obiettivo quello di valutare la possibilità di utilizzare le attuali tecnologie radio a banda larga come principale strumento di scambio dati terra-bordo all'interno dell'ambito specifico della Laguna di Venezia; lo studio prevede la progettazione di un primo indicativo modello di rete in grado di supportare la comunicazione tra centrale di terra e uno specifico dispositivo di supporto alla navigazione, denominato POADSS³; tale dispositivo è stato sviluppato da Thetis S.p.A. all'interno di MarNIS⁴, un progetto di ricerca europeo facente parte del *6th Framework Programme*⁵ (FP6).

Attività svolte

Il presente lavoro è il frutto di un'esperienza di sei mesi di stage presso Thetis S.p.A., società di ingegneria che fornisce servizi altamente innovativi sia sul territorio nazionale che internazionale ed avente sedi nell'Arsenale di Venezia e nel Parco Scientifico Tecnologico VEGA a Marghera.



Thetis opera nello sviluppo e nel management di progetti e applicazioni tecnologiche in diversi settori, che vanno dall'ingegneria elettronica applicata ai sistemi intelligenti dei trasporti all'ingegneria civile e direzione lavori per la tutela e salvaguardia ambientale della Laguna di Venezia e del patrimonio artistico della città.

In particolare, il settore trasporti ITS di Thetis fornisce sistemi integrati di gestione per la mobilità sostenibile di persone e merci, gestione di flotte di trasporto pubblico, sistemi VTS di sicurezza alla navigazione e logistica marittima, e ha preso parte a numerosi progetti internazionali quali ad esempio il sistema di gestione GPS degli autobus delle linee speciali olimpiche in occasione delle Olimpiadi di Pechino del 2008.

³ *Portable Operational Approach and Docking Support System.*

⁴ *Maritime Navigation and Information Services:*

⁵ Programma di finanziamento europeo per la ricerca e lo sviluppo di nuove tecnologie nei campi dell'ingegneria dell'informazione, dei trasporti, della biomedica, nanotecnologie e aeronautica. Attivo dal 2002 al 2006.

Nel contesto del progetto MarNIS, Thetis ha contribuito allo sviluppo delle unità POADSS, un sistema portatile di aiuto alla navigazione in grado di fornire all'utente informazioni sul movimento della nave sui tre assi in tempo reale, integrate con l'immagine del traffico navale circostante completa di dati meteo marini ed altri servizi, per essere di ausilio al pilota nella delicata fase di ingresso della nave in porto.

E' all'interno di questo ambito che si è sviluppato il lavoro presentato in questo elaborato, che nasce dalla necessità delle unità POADSS di avere il supporto di una struttura di rete in grado di consentire lo scambio con le stazioni a terra di tutta una serie di dati in tempo reale, in particolare delle tracce AIS, delle carte nautiche elettroniche e dei dati di corrente e marea.

Tra le numerose attività svolte, che comprendono contatti e collaborazioni con aziende nazionali e internazionali altamente specializzate nei settori delle comunicazioni e dei trasporti, si sottolineano in particolare la realizzazione di una postazione di ricezione AIS⁶ utilizzata per effettuare una stima del traffico dati AIS nell'area lagunare, la partecipazione al BBF Expo Comm Italia 2009 a Roma, dove è stato possibile assistere a numerose conferenze sulle più moderne tecnologie radio a banda larga e visionare direttamente molte apparecchiature *wireless* presenti attualmente sul mercato internazionale, e lo scambio di informazioni con *QMax Communications Pte Ltd*, un'azienda avente sede a Singapore che ha progettato la rete *wireless* attualmente in servizio su tutta l'area costiera del porto di Singapore.

Struttura del documento

Il presente documento è strutturato come segue:

- Capitolo 1: Contesto.
- Capitolo 2: Requisiti per le comunicazioni terra-bordo.
- Capitolo 3: Stato dell'arte tecnologico.
- Capitolo 4: Analisi delle tecnologie idonee.
- Capitolo 5: Esempi applicativi.
- Capitolo 6: Modello di implementazione
- Appendice A: Datasheets

⁶*Automatic Identification System.*

- Appendice B: Calcolo della banda AIS

Nel primo capitolo verrà presentato innanzitutto il contesto morfologico territoriale all'interno del quale si andrà a inserire l'architettura di rete, ovvero la Laguna di Venezia. Successivamente verrà introdotto il Porto di Venezia, con una descrizione dei settori di traffico che coinvolgono le attività produttive, la loro dislocazione sul territorio e i rispettivi accessi, e in seguito i principali enti amministrativi responsabili della gestione, della sicurezza e della tutela della Laguna di Venezia.

Nel secondo capitolo verranno definiti e analizzati dapprima i requisiti generici di un sistema di comunicazione tra bordo nave e installazioni situate a terra, prendendo in considerazione i vincoli imposti dalle principali applicazioni che richiedono lo scambio di informazioni terra-bordo. Successivamente l'analisi si concentrerà nello specifico sul sistema POADSS: da un lato sulle caratteristiche tecniche del collegamento richiesto dal sistema (centrale di controllo a terra e *client* di bordo) per un corretto funzionamento e dall'altro sui vincoli ambientali imposti dal contesto specifico entro il quale si vuole inserire l'architettura di rete in grado di supportare tali requisiti.

Nel terzo capitolo verrà presentato lo stato dell'arte delle maggiori tecnologie *wireless* presenti sul mercato, allo scopo di fornire una panoramica dettagliata sulle tecnologie stesse e le loro applicazioni. In particolare, verranno presi in considerazione i protocolli cosiddetti di seconda e terza generazione, GPRS e UMTS, le alternative basate sugli standard IEEE 802.11x e IEEE 802.16x, note con i nomi rispettivamente di WiFi e WiMAX, lo standard ETSI HiperLAN, e in conclusione le tecnologie basate su Radio Modem UHF e il protocollo LTE.

Nel capitolo quarto verranno selezionate, tra la rosa di possibili scelte, le tecnologie in grado di supportare i vincoli di progetto individuati, applicando uno dei principali metodi di confronto multicriteriali, il confronto a coppie.

Verranno quindi presentati nel capitolo quinto, per le soluzioni individuate, alcuni tra i più importanti produttori e fornitori di apparecchiature utilizzabili e i principali esempi riscontrati di impiego di tali tecnologie.

Nel sesto capitolo verrà fornito un modello di implementazione per l'introduzione di un primo prototipo di una rete radio in grado di supportare il sistema POADSS nel contesto del porto di Venezia, partendo dallo schema logico fino alla dislocazione geografica delle varie componenti, unitamente ad una indicativa prima stima economica dei costi delle apparecchiature della rete, comprensiva di una prima fase di test.

Nell' Appendice A sono raccolti alcuni esempi di *datasheets* di apparecchiature radio di diversi produttori internazionali.

Infine nell' Appendice B viene riportato il sistema che è stato approntato nei laboratori di Thetis S.p.A. per stimare la banda utilizzata dal traffico dati AIS nell'area della Laguna di Venezia.

Indice

1	Contesto	17
1.1	Introduzione	17
1.2	La Laguna di Venezia	17
1.3	Il Porto di Venezia	19
1.3.1	Settori di traffico	21
1.3.2	Accessi: le bocche di porto	22
1.3.2.1	Bocca di porto del Lido-San Nicolò	22
1.3.2.2	Bocca di porto di Malamocco-Alberoni	23
1.3.2.3	Bocca di porto di Chioggia-Pellestrina	24
1.3.2.4	Bocche di porto dopo l'installazione del sistema Mose	25
1.4	Soggetti interessati	28
1.4.1	Autorità Portuale di Venezia	28
1.4.2	Capitaneria di Porto	29
1.4.3	Magistrato alle Acque di Venezia	30
1.4.4	Enti di ricerca: CNR	31
2	Requisiti per le comunicazioni terra-bordo	33
2.1	Introduzione	33
2.2	Parametri di riferimento	34
2.2.1	Dimensione dei messaggi	34
2.2.2	Frequenza di trasmissione	34
2.2.3	Banda richiesta	34
2.2.4	Modalità di trasmissione	35
2.2.5	Livello di priorità	35
2.3	Requisiti generali per le comunicazioni	35
2.3.1	Comunicazioni obbligatorie	36
2.3.1.1	Identificazione	36
2.3.1.2	Autorizzazione portuale	36

2.3.1.3	Comunicazioni commerciali	37
2.3.2	Informazioni nautiche	37
2.3.3	Operazioni tecniche e commerciali	39
2.3.3.1	Amministrazione	40
2.3.3.2	Supporto tecnico	40
2.3.3.3	Gestione passeggeri	40
2.3.4	Infotainment	41
2.3.4.1	Servizi all'equipaggio	41
2.3.4.2	Servizi ai passeggeri	42
2.4	Requisiti progettuali	43
2.4.1	Il progetto MarNIS: le unità POADSS	43
2.4.1.1	Specifiche funzionali	44
2.4.1.2	POADSS nel contesto di Venezia	47
2.4.1.3	Requisiti	52
2.5	Riepilogo requisiti	55
3	Stato dell'arte tecnologico	57
3.1	Introduzione	57
3.2	GPRS	58
3.2.1	Caratteristiche tecniche	58
3.2.1.1	Velocità di trasmissione e codifiche di canale	59
3.2.1.2	Frequenze di funzionamento e modulazione	60
3.2.1.3	Protocolli supportati	60
3.2.1.4	Classi di dispositivi	61
3.2.2	Elementi di rete	61
3.2.3	Principali applicazioni	62
3.2.4	Riepilogo caratteristiche	63
3.3	UMTS	64
3.3.1	Caratteristiche tecniche	64
3.3.1.1	Velocità di trasmissione	65
3.3.1.2	Frequenze di funzionamento e modulazione	66
3.3.2	Elementi di rete	67
3.3.3	Principali applicazioni	68
3.3.4	Riepilogo caratteristiche	69
3.4	IEEE 802.11: Wi-Fi	71
3.4.1	Caratteristiche tecniche	71
3.4.1.1	IEEE 802.11a	72
3.4.1.2	IEEE 802.11b	73
3.4.1.3	IEEE 802.11g	73
3.4.1.4	IEEE 802.11n	74

3.4.1.5	Portata	75
3.4.1.6	Sicurezza	76
3.4.1.7	Interferenza	76
3.4.2	Elementi di rete	77
3.4.3	Principali applicazioni	79
3.4.4	Riepilogo caratteristiche	80
3.5	HiperLAN	81
3.5.1	Caratteristiche tecniche	82
3.5.1.1	HiperLAN/1	82
3.5.1.2	HiperLAN/2	83
3.5.1.3	HiperACCESS	83
3.5.1.4	HiperLINK	84
3.5.2	Elementi di rete	84
3.5.3	Principali applicazioni	86
3.5.4	Riepilogo caratteristiche	87
3.6	IEEE 802.16: WiMAX	87
3.6.1	Caratteristiche tecniche	88
3.6.1.1	802.16-2004: Fixed WiMAX	89
3.6.1.2	802.16e-2005: Mobile WiMAX	89
3.6.1.3	Portata	90
3.6.1.4	Supporto <i>NLoS</i>	91
3.6.2	Elementi di rete	92
3.6.3	Principali applicazioni	93
3.6.4	Riepilogo caratteristiche	95
3.7	Radio Modem UHF	95
3.7.1	Caratteristiche tecniche	96
3.7.2	Elementi di rete	96
3.7.3	Principali applicazioni	97
3.7.4	Riepilogo caratteristiche	98
3.8	Protocolli 4G	98
3.8.1	Principali innovazioni	99
3.8.2	LTE: <i>Long Term Evolution</i>	100
3.8.2.1	Caratteristiche tecniche	100
3.8.2.2	Elementi di rete	101
3.8.3	Riepilogo caratteristiche	102
3.8.3.1	Stato dell'arte	103

4	Analisi delle tecnologie idonee	105
4.1	Introduzione	105
4.2	Analisi multicriteri	105
4.2.1	Metodo dei confronti a coppie	107
4.2.2	Attribuzione dei pesi	108
4.2.3	Matrici dei confronti a coppie e scelta ottima	110
4.2.3.1	Banda	110
4.2.3.2	Copertura	111
4.2.3.3	Latenza	112
4.2.3.4	Interferenza	112
4.2.3.5	Mobilità	113
4.2.3.6	Punteggi totali	114
4.3	Considerazioni a posteriori	115
5	Esempi applicativi	117
5.1	Introduzione	117
5.2	Produttori	117
5.2.1	Alvarion Ltd.	118
5.2.2	Posdata	118
5.2.3	Samsung	119
5.2.4	Alcatel-Lucent	119
5.3	Progetto WISEPORT	120
5.3.1	Caratteristiche della rete	121
5.3.2	Esempi di servizi erogati	124
6	Modello di implementazione	127
6.1	Introduzione	127
6.2	Soluzione licenziata e non licenziata	127
6.3	Architettura logica della rete	128
6.3.1	Architettura centralizzata	130
6.3.2	Architettura decentralizzata	130
6.3.3	Architettura logica del sistema POADSS	132
6.4	Progettazione del modello sperimentale	134
6.4.1	Individuazione dei siti	134
6.4.2	Connessioni	137
6.4.2.1	Core Network	137
6.4.2.2	RAN, POADSS Network e CPE	138
6.5	Stima economica	144
6.5.1	Esempio: WiMAX non licenziato	144
6.5.2	Approccio implementativo	148

A Datasheets	155
B Calcolo della banda AIS	163
B.1 Introduzione	163
B.2 Automatic Identification System	163
B.3 Lo standard di riferimento	164
B.4 Sistema AIS e stima della banda utilizzata	166

Elenco delle figure

1.1	Veduta satellitare della Laguna di Venezia.	18
1.2	Principali collegamenti del Porto di Venezia.	20
1.3	I terminal del Porto di Venezia.	21
1.4	Bocca di porto di Lido-San Nicolò.	23
1.5	Bocca di porto di Malamocco-Alberoni.	24
1.6	Principali vie di accesso al Porto di Venezia.	25
1.7	Bocca di porto di Chioggia - Pellestrina.	26
2.1	Esempio di carta nautica elettronica ENC.	38
2.2	Sistema POADSS.	45
2.3	Unità Client.	46
2.4	POADSS Planning Mode.	48
2.5	POADSS: Navigation Mode.	49
2.6	POADSS: Docking Mode.	50
2.7	Aree di copertura del segnale.	54
2.8	Potenziati condizioni <i>NLoS</i>	55
3.1	Esempio di accesso TDMA.	58
3.2	Esempio di rete GPRS.	62
3.3	Esempi di elementi di rete GPRS.	63
3.4	Esempio di accesso CDMA.	65
3.5	Elementi di rete UMTS.	67
3.6	Connessione di UMTS con le dorsali di altre reti.	68
3.7	Esempi di dispositivi UMTS.	69
3.8	Esempio di struttura di rete Wi-Fi.	78
3.9	Esempio di integrazione tra varie topologie di rete Wi-Fi.	80
3.10	Esempio di rete HiperLAN.	85
3.11	Integrazione tra le tecnologie HiperLAN e Wi-Fi.	86
3.12	Integrazione reti WiMAX e Wi-Fi.	90

3.13	Ellissoide di Fresnel in un collegamento LoS.	91
3.14	Esempio di collegamento NLoS.	92
3.15	Esempi di rete WiMAX.	94
3.16	Coppia di dispositivi radio modem.	96
3.17	Esempio di collegamento mediante radio modem.	97
3.18	Esempio di rete LTE.	102
4.1	Matrice per l'attribuzione dei pesi.	109
5.1	Stazioni radio base della rete WISEPORT.	122
5.2	Livello del segnale della rete WISEPORT.	123
5.3	Router Flyvo® R100.	124
6.1	Struttura logica rete 802.16e.	129
6.2	Architettura decentralizzata.	131
6.3	Schema logico dell'intera rete POADSS.	133
6.5	Torre Piloti degli Alberoni, Lido di Venezia.	134
6.4	Siti delle stazioni radio base.	135
6.6	Dislocazione degli elementi di rete.	139
6.7	Configurazione dei <i>link</i> Punto-Punto.	141
6.8	Collegamenti tra i blocchi costituenti la rete.	142
6.9	Posizionamento e tipologia di antenne.	143
6.10	<i>Access Point</i> Alvarion BreezeMAX Extreme 5000.	145
B.1	Il sistema di ricezione AIS approntato nei laboratori di Thetis.	173
B.2	Il sistema di ricezione AIS approntato nei laboratori di Thetis.	174

Elenco delle tabelle

1.1	Classifica <i>Osservatorio Short Sea Shipping</i> sui 10 maggiori porti italiani, anni 2002-2006, espressa in TEU (misura standard di volume nel trasporto container).	19
2.1	Requisiti per le comunicazioni portuali obbligatorie.	36
2.2	Requisiti per la l'aggiornamento dati ENC.	39
2.3	Requisiti di trasmissione per le operazioni tecniche e commerciali.	39
2.4	Requisiti di infotainment.	42
2.5	Flussi di dati da terra verso bordo nave - sistema POADSS.	52
3.1	Codifiche di canale utilizzate dal GPRS.	59
3.2	Caratteristiche GPRS.	63
3.3	Caratteristiche UMTS.	70
3.4	Caratteristiche 802.11a.	72
3.5	Caratteristiche 802.11b.	73
3.6	Caratteristiche 802.11g.	74
3.7	Caratteristiche 802.11n.	74
3.8	Riepilogo caratteristiche della tecnologia 802.11	81
3.9	Caratteristiche HiperLAN/1.	82
3.10	Caratteristiche HiperLAN/2.	83
3.11	Caratteristiche HiperACCESS.	83
3.12	Caratteristiche HiperLINK.	84
3.13	Riepilogo caratteristiche della tecnologia HiperLAN.	87
3.14	Caratteristiche 802.16-2004.	89
3.15	Caratteristiche 802.16e-2005.	89
3.16	Riepilogo caratteristiche della tecnologia 802.16.	95
3.17	Caratteristiche radio modem UHF.	98
3.18	Caratteristiche LTE.	102

4.1	Scala dei punteggi.	109
4.2	Punteggi totali pesati e normalizzati.	114

Capitolo 1

Contesto

1.1 Introduzione

Obiettivo di questo capitolo è definire il contesto geografico e amministrativo nel quale si andranno a inserire le strutture di rete per il supporto del sistema POADSS. La conoscenza dello scenario operativo infatti è di fondamentale importanza in ogni tipologia di progetto, perché fornisce i principali vincoli ambientali e normativi vigenti nell'area di interesse.

Verrà quindi dapprima introdotta brevemente la geografia della Laguna di Venezia, con alcuni accenni alla sua morfologia territoriale, per poi focalizzare l'attenzione sul Porto di Venezia, uno dei principali centri produttivi della città.

Infine verranno presentati i principali enti amministrativi aventi giurisdizione sulle acque lagunari e responsabili della gestione, della sicurezza e della tutela della Laguna di Venezia; essi sono infatti tra i soggetti potenzialmente più interessati allo sviluppo di un sistema wireless nell'ottica di fornire un servizio di supporto alla navigazione nel territorio lagunare veneziano.

1.2 La Laguna di Venezia

La Laguna di Venezia è la principale area lagunare del Mare Adriatico settentrionale, posizionata lungo le coste del Veneto.

Essa è racchiusa tra il Fiume Sile a nord e il Brenta a sud, e copre una superficie totale di circa 550 km^2 , di cui solamente l'8% costituita da terra, principalmente la città di Venezia e le molte isole minori. Il restante 92% del territorio è per l'80% composto da piane di marea fangose, naturali o

artificiali, e paludi di acqua salata e all'incirca per l' 11% da canali dragati navigabili.

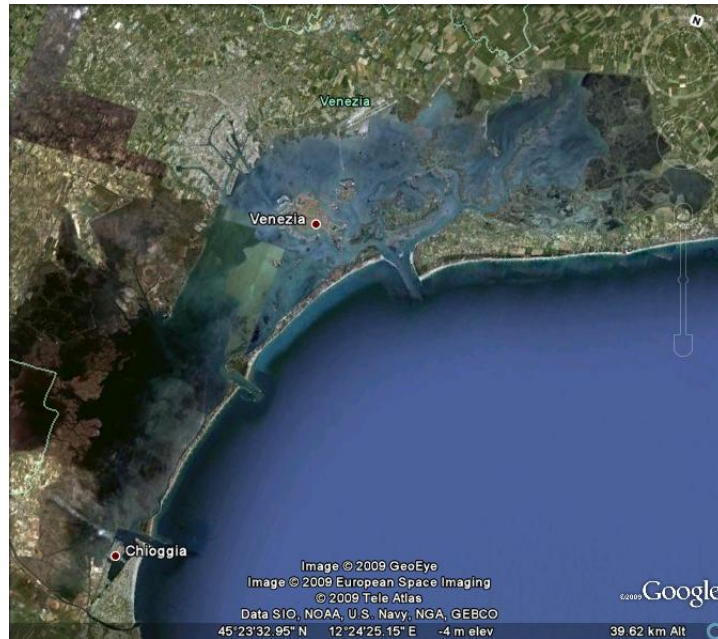


Figura 1.1: Veduta satellitare della Laguna di Venezia.

Nella zona centro-settentrionale della laguna sorge la città di Venezia, centro urbano maggiormente popolato dell'intero *Hinterland* lagunare, a 4 km dalla terraferma e a 2 km dal mare aperto. La città si estende inoltre ampiamente sull'immediata terraferma con la conurbazione Mestre-Marghera.

All'estremità meridionale sorge la città di Chioggia, mentre all'estremità orientale si trovano i piccoli centri compresi nel comune di Cavallino-Treporti.

La Laguna di Venezia è collegata al Mare Adriatico da tre bocche, rispettivamente:

- Lido-San Nicolò, che permette l'accesso da nord.
- Malamocco-Alberoni, situata al centro.
- Chioggia-Pellestrina, che consente l'accesso da sud.

Le tre bocche quindi, essendo gli unici accessi da e verso il mare aperto, costituiscono i principali snodi di traffico marittimo, consentendo di suddividere razionalmente i flussi di transito secondo le varie tipologie di navi.

Essendo situata all'estremità di un mare chiuso, la laguna è soggetta a frequenti escursioni del livello delle sue acque, fenomeni che condizionano profondamente la navigabilità di molti dei suoi canali principali e, di conseguenza, il traffico marittimo.

All'interno di questo scenario ambientale sorge il Porto di Venezia, uno dei 10 porti più importanti d'Italia per volume di traffico commerciale, e una delle principali attività produttive della città.

I primi 10 porti contenitori italiani in Teu					
Porti	2002	2003	2004	2005	2006
Gioia Tauro	2.896.835	3.080.710	3.261.034	3.161.000	2.938.200
Genova	1.531.252	1.605.946	1.628.594	1.624.964	1.657.113
La Spezia	975.005	1.006.641	1.040.438	1.024.200	1.133.700
Taranto	471.570	658.570	763.318	716.900	892.300
Livorno	546.882	592.778	638.586	657.600	658.400
Napoli	446.000	428.160	347.537	445.000	373.100
Salerno	375.000	418.840	412.000	358.000	418.200
Cagliari	47.000	317.000	501.194	659.100	726.100
Venezia	262.667	285.000	291.000	293.000	316.641
Ravenna	161.000	160.369	169.432	168.600	162.100

Tabella 1.1: Classifica *Osservatorio Short Sea Shipping* sui 10 maggiori porti italiani, anni 2002-2006, espressa in TEU (misura standard di volume nel trasporto container).

1.3 Il Porto di Venezia

Con la sua collocazione nel cuore del Centro Europa, il Porto di Venezia gode di una posizione strategica di crocevia per i traffici che attraversano il Vecchio Continente, lungo gli assi di trasporto paneuropei (Corridoio V Lisbona-Kiev e Corridoio I Berlino-Palermo, inseriti nelle reti TEN - Trans-europee) e le direttrici delle Autostrade del Mare che percorrono il Mediterraneo, collegando l'Oceano Atlantico all'Oceano Indiano e al Mar Nero.

Tale collocazione fa sì che il Porto di Venezia, che si estende su una superficie complessiva di 2.045 ettari con 163 accosti operativi e circa 30 km di ormeggi, vada via via acquisendo un sempre maggiore peso all'interno del *network* dei trasporti internazionale, presentandosi come nodo strategico di numerosi flussi di traffico sia commerciale che passeggeri.

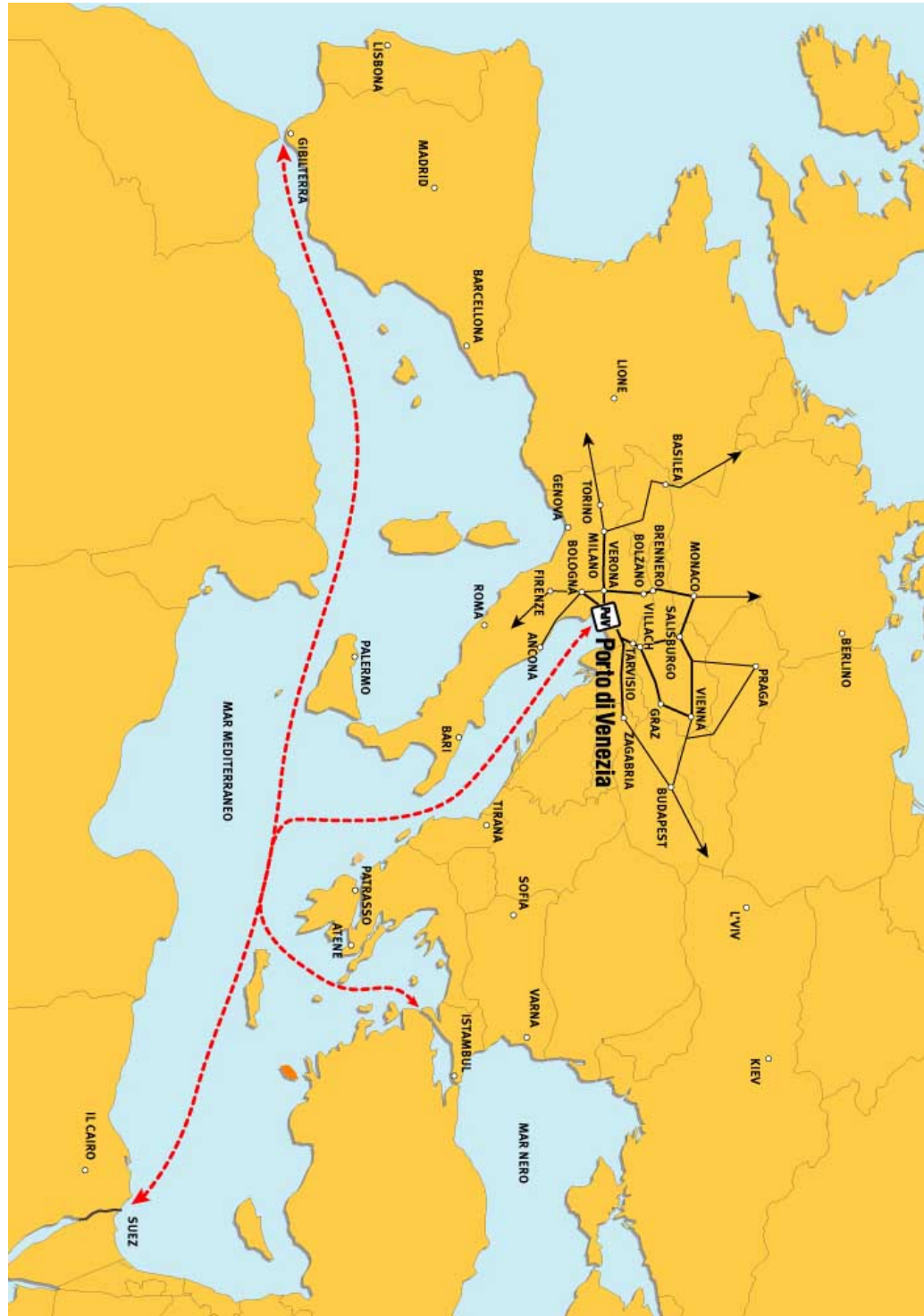


Figura 1.2: Principali collegamenti del Porto di Venezia.

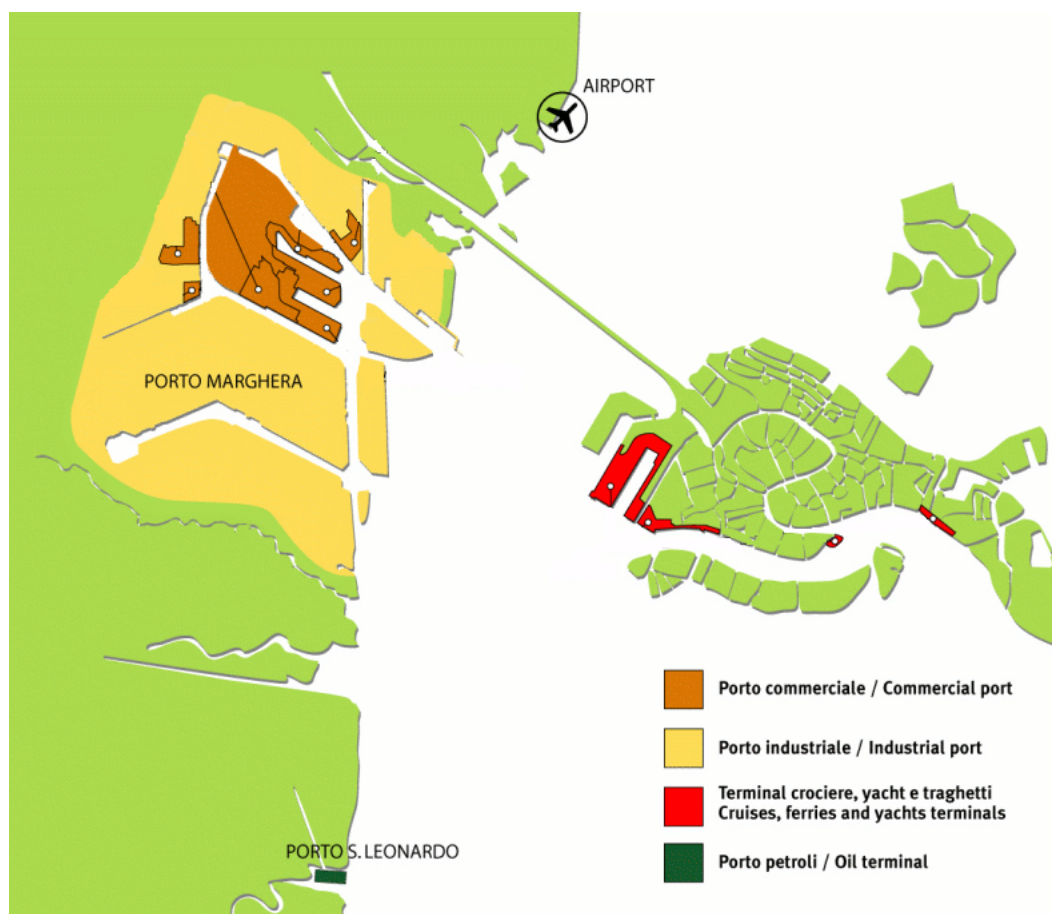


Figura 1.3: I terminal del Porto di Venezia.

1.3.1 Settori di traffico

Il Porto di Venezia è suddiviso in quattro grandi aree principali, a rappresentare le quattro tipologie di servizi offerti:

- **Porto commerciale:** concentrato in un'area dedicata di Porto Marghera (isola commerciale), offre servizi, principalmente carico/scarico, alle navi e alle merci.
- **Porto industriale:** interamente situato nella zona di Porto Marghera, è la componente del traffico merci movimentata da imprese che gestiscono materiale di proprietà e da industrie che su di esso effettuano trasformazioni. Da luglio 2007 possono accedervi navi da 260 m,

contro i 220 di prima, grazie a lavori di scavo effettuati sul canale dei Petroli, il canale che collega Porto Marghera alla bocca di porto di Malamocco.

- **Terminal Passeggeri:** è la parte di traffico portuale che prevede l'imbarco, lo sbarco e il transito di passeggeri su navi da crociera, traghetti e navi veloci; queste imbarcazioni approdano alla Stazione Marittima, nel centro storico, dove sono presenti 4 approdi per navi traghetto e 6 approdi per navi da crociera. Possono approdare navi lunghe non oltre i 304 *m*.
- **Porto petroli:** è la componente di traffico merci movimentata da imprese che svolgono attività di deposito costiero/raffineria. Per tale settore di traffico esiste una piattaforma petrolifera specifica ubicata in prossimità della bocca di porto di Malamocco (Porto San Leonardo) da cui parte un oleodotto per il trasferimento degli oli nelle sedi di lavorazione.

Il porto è fortemente interconnesso con l'area industriale di Marghera; la rete viaria e ferroviaria collega direttamente Venezia ai grandi interporti di Padova e Verona ed ai principali poli economici italiani ed europei.

Gli accessi acquei sono garantiti principalmente dalle bocche di porto del Lido e di Malamocco e dai principali canali che collegano queste ai terminal portuali illustrati in Fig. 1.3 nella pagina precedente, mentre la bocca di Chioggia viene utilizzata soprattutto da piccole imbarcazioni da pesca.

1.3.2 Accessi: le bocche di porto

La dislocazione geografica degli accessi alla Laguna di Venezia ha consentito una suddivisione razionale del traffico, che viene dirottato principalmente alla bocca di porto di Malamocco per quanto riguarda le navi commerciali e da carico, e in quella del Lido per il settore passeggeri.

Dalle bocche di porto si diparte la rete di canali interni, che ha uno sviluppo di circa 96 *km*, con profondità variabili da 14.5 *m* a 2 *m* sotto il livello del medio mare, e che collega in modo capillare tutte le isole interne alla laguna fino anche alla terraferma.

1.3.2.1 Bocca di porto del Lido-San Nicolò

Il porto del Lido o porto di San Nicolò, rappresentato in Fig. 1.4, è l'accesso settentrionale alla Laguna di Venezia, situato tra Punta Sabbioni e l'isola del Lido.

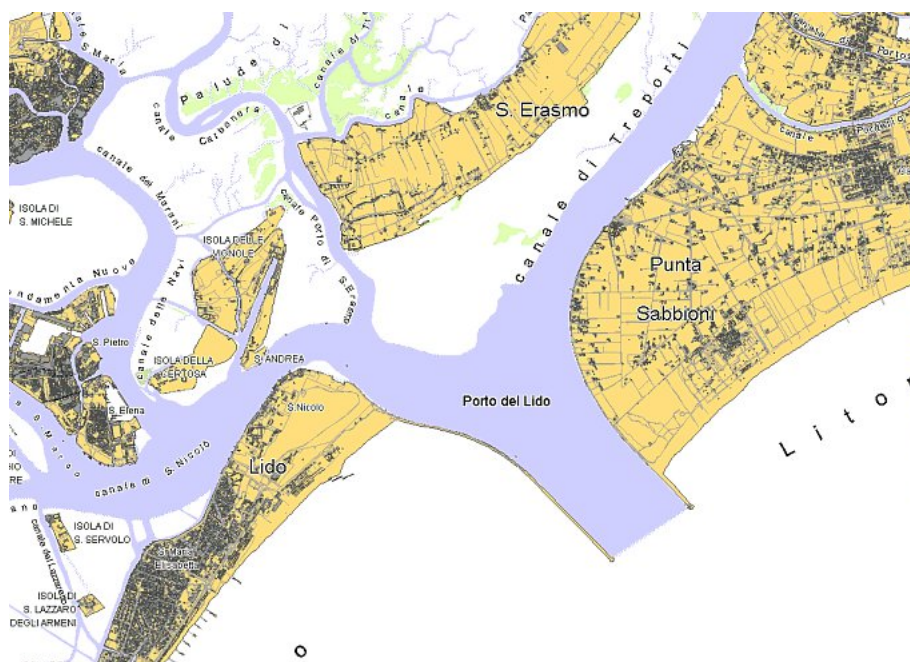


Figura 1.4: Bocca di porto di Lido-San Nicolò.

La bocca di porto è attualmente protetta da due lunghe dighe foranee, ma l'aspetto dell'area sta subendo continue modifiche a causa dei massicci lavori per la costruzione delle infrastrutture del progetto Mose, che prevedono la creazione di una terza diga in mare aperto, di un'isola artificiale e di un bacino laterale per consentire l'accesso anche quando saranno in funzione gli sbarramenti.

Il canale di San Nicolò collega la bocca del Lido alla città di Venezia, e, grazie ai suoi 12 m di profondità, consente alle navi passeggeri di raggiungere i terminal del porto dedicati specificatamente al servizio crociere e traghetti.

1.3.2.2 Bocca di porto di Malamocco-Alberoni

La bocca di porto di Malamocco o degli Alberoni, raffigurata in Fig. 1.5, situata tra il Lido e l'isola di Pellestrina, è l'accesso centrale alla Laguna di Venezia.

Come la bocca del Lido, anche quella di Malamocco è protetta da due dighe foranee che si estendono all'esterno verso il mare aperto per molte centinaia di metri.



Figura 1.5: Bocca di porto di Malamocco-Alberoni.

Il canale dei Petroli, un canale artificiale scavato negli anni '60 per permettere l'arrivo di materie prime alla nascente industria della chimica, collega la bocca di porto con l'area industriale di Porto Marghera, estromettendo il traffico di navi merci e petroliere dalle rotte che intersecano la città di Venezia. Nel primo tratto è largo fino a 200 *m* e profondo fino a 17 *m*, mentre nel secondo entrambe le dimensioni si riducono, fino ad una profondità di circa 12.5 *m*, con conseguente ridotta navigabilità.

La maggior parte del traffico portuale della Laguna di Venezia passa dunque attraverso le due principali vie di navigazione appena descritte, che sono rappresentate in Fig. 1.6 nella pagina successiva: il porto del Lido e il canale di San Nicolò (colore rosso) da una parte, e la bocca di Malamocco con il canale dei Petroli (colore verde) dall'altra.

1.3.2.3 Bocca di porto di Chioggia-Pellestrina

Terzo e ultimo accesso alla Laguna di Venezia è la bocca di Chioggia-Pellestrina, situata a sud, tra l'isola di Pellestrina e Sottomarina, nel comune di Chioggia.

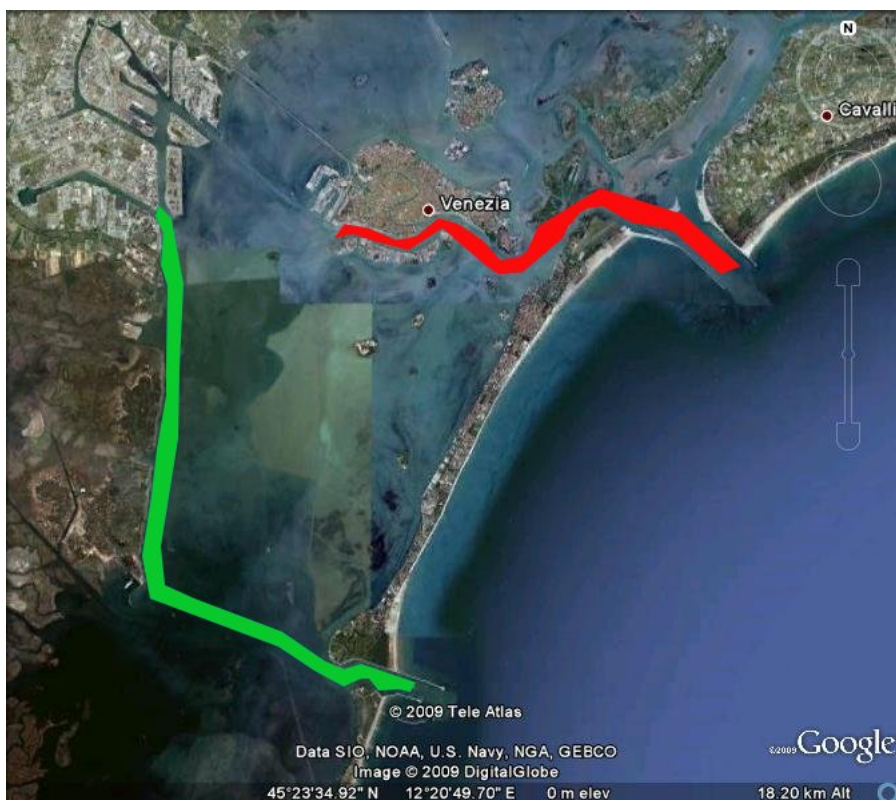


Figura 1.6: Principali vie di accesso al Porto di Venezia.

La bocca di porto presenta una larghezza di circa 550 m tra le due dighe foranee ed un fondale utile alla navigazione di 8 m sotto il livello del medio mare, e viene utilizzata quasi esclusivamente da imbarcazioni di dimensioni ridotte, principalmente per la pesca.

1.3.2.4 Bocche di porto dopo l'installazione del sistema Mose

La morfologia delle bocche di porto è in continuo cambiamento a seguito dei lavori di installazione del sistema Mose, un'opera progettata per proteggere le città lagunari e l'intero ecosistema dai fenomeni di alta marea cui sono soggetti.

Il Mose consiste in una serie di dighe mobili, che consentono di isolare la laguna dal mare durante le alte maree più pericolose, e comprende anche nuove scogliere all'esterno delle bocche per smorzare le correnti di marea in ingresso in laguna.

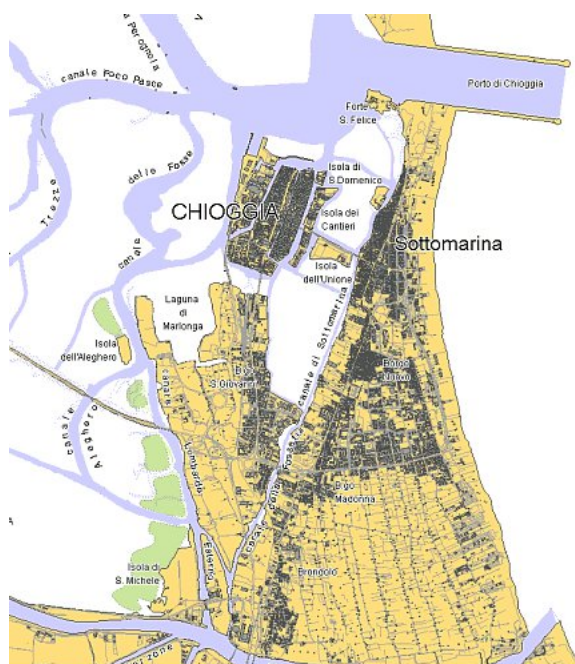


Figura 1.7: Bocca di porto di Chioggia - Pellestrina.

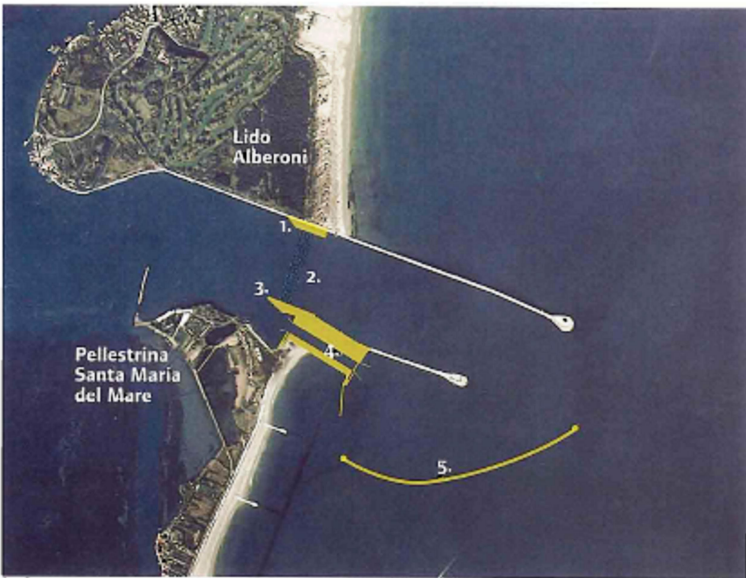
Per consentire il regolare svolgersi dell'attività portuale, con il Mose in funzione, alla bocca di Malamocco verrà realizzata un'ampia conca di navigazione per il passaggio delle grandi navi. Analogamente, alle bocche di Lido e di Chioggia sono previste conche per imbarcazioni di soccorso o da diporto.

Nella pagina seguente sono raffigurate le bocche di porto[14] dopo i lavori previsti per il Mose, che dovrebbero essere completati entro il 2014.



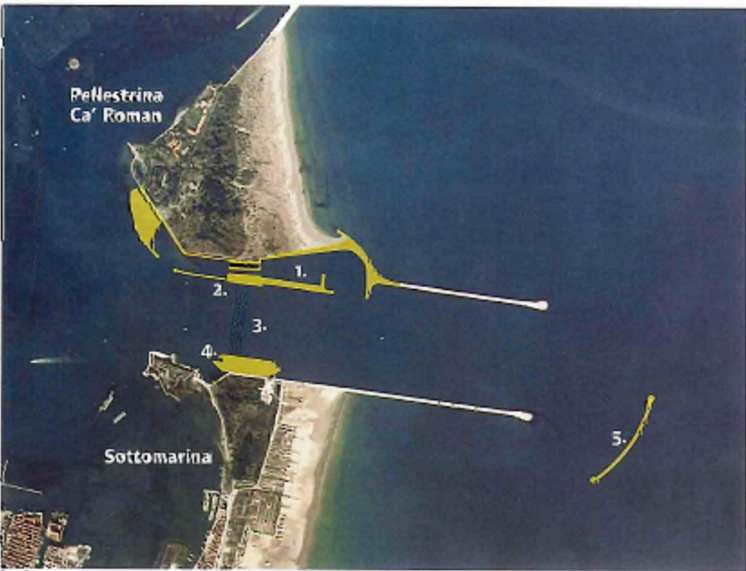
32. Bocca porto di Lido con le opere del Mose
1. porto rifugio con conca di navigazione
 2. spalla
 3. schiera di paratoie
 4. nuova isola e spalle
 5. schiera di paratoie
 6. spalla
 7. scogliera

[32.]



33. Bocca di porto di Malamocco con le opere del Mose
1. spalla
 2. schiera di paratoie
 3. spalla
 4. conca di navigazione
 5. scogliera

[33.]



34. Bocca di porto di Chioggia con le opere del Mose
1. porto rifugio con conca di navigazione
 2. spalla
 3. schiera di paratoie
 4. spalla
 5. scogliera

[34.]

1.4 Soggetti interessati

La città di Venezia, il suo *Hinterland* e la sua laguna si prestano ottimamente alle caratteristiche del BWA¹.

Le difficoltà logistiche dovute alla complessa morfologia territoriale e le normative locali volte a proteggere il delicato equilibrio ambientale lagunare infatti causano spesso problemi notevoli allo sviluppo di progetti che si basano su tecnologie “tradizionali” via cavo, rendendo invece molto appetibili le alternative *wireless* recanti minori difficoltà di posa e aventi, mediamente, costi inferiori.

All’interno di questo contesto, diversi soggetti possono essere potenzialmente interessati allo sviluppo di sistemi ITS di supporto alla navigazione da integrare nella struttura portuale, che richiedono necessariamente di apposite strutture radio per poter scambiare svariati flussi di dati tra le postazioni di controllo di terra e i *clients* dislocati su vari punti del territorio (per esempio a bordo nave oppure in precise *locations* nel caso, ad esempio, di reti di sensori).

1.4.1 Autorità Portuale di Venezia

L’Autorità Portuale di Venezia (APV) è un ente pubblico dotato di autonomia amministrativa, di bilancio e finanziaria, nato nel 1995 (legge n. 84 del 1994) con compiti di pianificazione, controllo e promozione delle attività portuali.

Sostiene e promuove gli investimenti e le innovazioni finalizzati ad aumentare la competitività e la produttività dell’area portuale veneziana, cercando di migliorare i servizi forniti al pubblico e ai privati.

Si pone come obiettivi primari il potenziamento delle infrastrutture marittime e terrestri di accesso al Porto di Venezia, di integrare in via sempre maggiore le attività di banchina alle reti di comunicazione territoriale industriali e di distribuzione, e di favorire lo sviluppo dei traffici portuali ed attività connesse nel rispetto del contesto specifico nel quale queste sono inserite.

Per gli obiettivi che si pone e le attività che promuove, l’ APV potrebbe essere fortemente interessato a tutta una serie di servizi erogabili tramite una rete *wireless* integrata nella zona portuale veneziana e negli accessi al porto, tra cui principalmente:

¹*Broadband Wireless Access.*

- **Informazioni di aiuto alla navigazione:** possibilità di gestione, elaborazione e scambio con soggetti presenti in determinati punti lungo i principali percorsi di navigazione della Laguna di Venezia di tutta una serie di informazioni sul traffico marittimo.
- **Trasporti e logistica:** possibilità di fornire informazioni e servizi di trasmissione a utenti che necessitano di aggiornare dati in *real-time* sullo stato di una particolare area di servizio, come ad esempio l'accesso alle banchine di carico/scarico merci.
- **Sicurezza:** elaborazione e gestione di sistemi di videosorveglianza senza fili che consentono di aumentare la copertura a zone non raggiungibili da quelli cablati già posizionati sul territorio.



1.4.2 Capitaneria di Porto

Il Corpo delle Capitanerie di Porto - Guardia Costiera è un Corpo della Marina Militare che svolge compiti e funzioni collegate in prevalenza con l'uso del mare per fini civili e con dipendenza funzionale da vari ministeri che si avvalgono della loro opera.

La Capitaneria di porto esercita tutta una serie di funzioni amministrative attinenti alla navigazione marittima. Per quanto concerne i porti, essa sovrintende principalmente alla sicurezza e ai movimenti delle navi, soprattutto nelle fasi critiche di ingresso e uscita dal porto, e all'organizzazione e alla disciplina dei più importanti servizi portuali quali pilotaggio, rimorchio, ormeggio e battellaggio.

Per le tipologie di servizi offerti alla navigazione civile, la Capitaneria di Porto è un soggetto che potrebbe beneficiare notevolmente da una infrastruttura di rete senza fili a banda larga dislocata nel territorio portuale e lagunare, principalmente negli ambiti:

- **Informazioni alla navigazione:** possibilità di avere accesso e monitorare costantemente il flusso di traffico navale, soprattutto in aree di alta criticità dovuta al passaggio di navi di grosse dimensioni quali le bocche di porto o di difficile circolazione a causa dell'elevato numero

dei natanti, come i canali navigabili che collegano le isole minori della laguna.

- **Sicurezza:** possibilità di ottimizzare i servizi di sicurezza marittima tramite opportuni sistemi di videosorveglianza senza fili installabili in aree lagunari non raggiungibili via cavo.



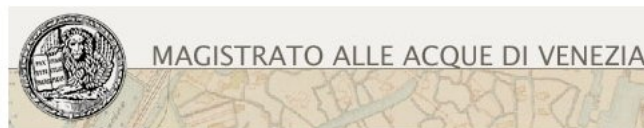
1.4.3 Magistrato alle Acque di Venezia

Il Magistrato alle Acque di Venezia (MAV) è un istituto periferico, istituito nel 1907, del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti; si occupa attualmente della gestione, della sicurezza e della tutela idraulica nelle lagune di Venezia, Marano e Grado e, in alcune tratte, dei fiumi Tagliamento, Livenza e del torrente Judrio.

Le competenze principali del MAV nel corso degli anni sono state la vigilanza giuridico-amministrativa della Laguna di Venezia e dei territori di competenza, la salvaguardia della stessa tramite sorveglianza del regime dei corsi d'acqua e del funzionamento delle opere idrauliche lagunari e fluviali, e la valorizzazione della navigazione interna, tramite potenziamento della rete di navigazione, manutenzione dei sistemi di segnaletica e di ormeggio.

Il MAV potrebbe beneficiare fortemente di una rete *wireless* lagunare per ottimizzare le proprie attività, soprattutto per quanto riguarda la valorizzazione della navigazione interna e la sorveglianza delle opere idrauliche:

- **Monitoraggio dei corsi d'acqua:** una rete wireless può garantire la raccolta di tutta una serie di dati meteo e di marea coprendo anche punti geograficamente isolati all'interno della laguna o in prossimità delle bocche di porto, ovvero luoghi difficili o impossibili da collegare tramite tecnologie di cablaggio (fibra ottica o DSL).



1.4.4 Enti di ricerca: CNR

Il CNR² è l'Ente pubblico nazionale predisposto al compito di svolgere, promuovere, diffondere, trasferire e valorizzare attività di ricerca nei principali settori di sviluppo delle conoscenze e delle loro applicazioni per lo sviluppo scientifico, tecnologico, economico e sociale dell' Italia. E' sottoposto alla vigilanza del Ministero dell' Istruzione, dell' Università e della Ricerca.

Il CNR governa due istituti nella città di Venezia: l' Istituto di Scienze Marine (ISMAR), che si occupa di biologia ed ecologia marina e dello studio dei processi fisici e biofisici che stanno alla base dei cambiamenti climatici, e l' Istituto per la Dinamica dei Processi Ambientali (IDPA), che fornisce attività di alta consulenza scientifica verso imprese ed enti pubblici nei settori dell'utilizzo di materiali e risorse naturali, e della gestione e pianificazione territoriale.

Una rete non cablata basata su tecnologie radio integrate che garantisca una copertura di alcune aree lagunari più isolate, come le zone antistanti le bocche di porto, può essere utilizzata a fini di ricerca e monitoraggio da enti scientifici specifici, come ad esempio il CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche):

- **Monitoraggio:** possibili utilizzi sono la trasmissione di dati sul controllo delle maree, sulle previsioni meteo, sulle analisi delle acque e della popolazione ittica, e la gestione in tempo reale di molti altri dati di monitoraggio ambientale del territorio.



²Consiglio Nazionale delle Ricerche

Capitolo 2

Requisiti per le comunicazioni terra-bordo

2.1 Introduzione

Scopo di questo capitolo è definire i requisiti per la realizzazione di un sistema di comunicazione tra bordo nave e installazioni situate a terra, nel caso applicativo specifico del sistema di aiuto alla navigazione denominato POADSS¹.

Come prima cosa verranno introdotte le principali grandezze tipicamente utilizzate per specificare i requisiti di un sistema di comunicazione: tra di esse vi sono banda di trasmissione richiesta, livello di priorità dei messaggi, durata della connessione, ecc.

Successivamente, verranno descritte in modo generico le principali applicazioni che richiedono lo scambio di informazioni tra bordo nave e stazioni a terra e analizzati i requisiti di ognuna di esse, focalizzando poi l'attenzione sulla principale applicazione di interesse, ovvero le unità portatili di supporto alla navigazione POADSS.

In conclusione, verranno presentati i principali requisiti ambientali imposti dal contesto della Laguna di Venezia, e che riguardano principalmente le aree di copertura del segnale, la robustezza del sistema alle variazioni del tempo atmosferico e la morfologia del territorio.

¹Portable Operational Approach and Docking Support System.

2.2 Parametri di riferimento

I parametri di riferimento sono gli strumenti utilizzati per descrivere i requisiti delle varie applicazioni di bordo che necessitano di un collegamento con le installazioni terrestri.

2.2.1 Dimensione dei messaggi

La dimensione dei messaggi trasmessi da ogni applicazione viene misurata in bytes per messaggio inviato.

Potendo unicamente fare delle stime sulla dimensione media dei messaggi trasmessi da una certa applicazione, i valori di dimensione dei messaggi stessi vanno intesi con un certo margine di errore, solitamente pari a circa il 5 – 10% del valore indicato.

2.2.2 Frequenza di trasmissione

Con frequenza di trasmissione si intende una stima indicativa del numero di trasmissioni effettuate dall'applicazione considerata.

Il valore indicato è da intendersi come numero di trasmissioni per 24 ore, con eventualmente la sigla '**V**' per evidenziare le trasmissioni che tipicamente vengono eseguite solo una volta per viaggio, oppure la sigla '**E**' per indicare messaggi che vengono inviati solamente in casi eccezionali, come ad esempio le richieste di soccorso.

2.2.3 Banda richiesta

Per indicare la banda minima di trasmissione richiesta da alcune tipologie di collegamento, vengono utilizzati i seguenti valori:

- **L - Low bandwidth:** messaggi che richiedono una banda minima garantita trascurabile.
- **M - Medium bandwidth:** messaggi che richiedono valori di banda compresi tipicamente tra 9.6 e 64 kb/s.
- **H - High bandwidth:** collegamenti che richiedono una banda garantita ≥ 64 kb/s; solitamente questi collegamenti consentono il trasferimento di immagini.
- **V - Very high bandwidth:** collegamenti multimediali a banda larga, tipicamente ≥ 1 Mb/s.

2.2.4 Modalità di trasmissione

Le modalità di trasmissione utilizzate dalle varie applicazioni vengono sintetizzate come segue:

- **B**: la comunicazione viene trasmessa in *broadcast* a tutte destinazioni raggiungibili in zona.
- **M**: comunicazioni di tipo *store-and-forward*, i messaggi cioè devono essere ricevuti interamente e verificati prima di poter essere eventualmente ritrasmessi.
- **S**: comunicazione diretta unicamente alle infrastrutture di terra.

2.2.5 Livello di priorità

Per rappresentare il livello di priorità della trasmissione viene utilizzata la seguente convenzione:

- **M - Mandatory**: la trasmissione è classificata come obbligatoria e dunque a massima priorità.
- **C - Critical**: la trasmissione è considerata ad alto livello di priorità, ad esempio per garantire la sicurezza o l'invio di informazioni commerciali di rilevante importanza.
- **L - Leisure**: traffico considerato a bassa priorità.

2.3 Requisiti generali per le comunicazioni

Sono molte le attività di bordo che richiedono lo scambio di informazioni con stazioni di terra durante le operazioni di accesso al porto, e vengono tuttora svolte nella maggior parte dei casi senza l'ausilio di infrastrutture ad alta tecnologia.

Alcuni esempi sono la richiesta e l'invio di autorizzazioni e permessi di attracco e carico/scarico merci, la diagnostica di strumenti e apparecchiature di bordo, la consegna delle dichiarazioni di carico alle autorità portuali, i servizi per i passeggeri e l'equipaggio.

Vengono ora descritti e opportunamente stimati i requisiti primari delle applicazioni portuali che richiedono lo scambio di informazioni tra operatori a bordo nave e soggetti terrestri e che possono essere svolte mediante un collegamento radio.

2.3.1 Comunicazioni obbligatorie

Questa tipologia di servizi riguarda le comunicazioni obbligatorie previste dalle normative di legge per il passaggio su acque regolamentate o per l'accesso ad un porto.

La quantità di dati che vengono scambiati in tali comunicazioni varia considerevolmente a seconda della tipologia di imbarcazione in considerazione: le navi container e trasporto merci ad esempio, avendo a bordo grandi quantità di prodotti spesso molto diversi tra loro, impiegano necessariamente messaggi più grandi per operazioni quali la dichiarazione e lo sbarco del carico rispetto a natanti di piccole dimensioni.

E' quindi molto difficile quantificare con precisione l'entità dei dati scambiati in questo contesto: tuttavia, la tabella 2.1 presenta una buona stima[20] a riguardo, e può essere utilizzata come esempio guida per il problema.

Applicazione	Bytes/msg	Msg/giorno	Modalità	Priorità	Banda
Identificazione	100 – 1 k	E	S	M	L
Autorizzazione portuale	1 k – 100 k	20/connessione	M	M	M
Comunicazioni commerciali	1 k – 1 M	20/connessione	M	C	M

Tabella 2.1: Requisiti per le comunicazioni portuali obbligatorie.

2.3.1.1 Identificazione

Le navi sono tenute a comunicare i propri dati identificativi alle autorità competenti principalmente in due situazioni: all'ingresso in acque portuali o monitorate da sistemi VTS², e in caso di emergenza a bordo.

Questi sono solitamente dei messaggi AIS³ inviati automaticamente dai dispositivi installati a bordo nave alle stazioni di controllo VTS di terra e recanti il codice identificativo del mezzo, la posizione, la rotta e la velocità.

2.3.1.2 Autorizzazione portuale

Le normative internazionali sulla sicurezza portuale stipulate nella convenzione SOLAS⁴ prevedono che qualsiasi nave intenzionata a fare ingresso in un porto comunichi alle autorità portuali una richiesta di autorizzazione a procedere, che viene concessa a seguito della comunicazione di tutta

² *Vessel Traffic Services.*

³ *Automatic Identification System.*

⁴ *Safety of Life at Sea.*

una serie di dati riguardanti l'imbarcazione, il personale di bordo e il carico eventualmente trasportato.

Fanno inoltre parte di questa tipologia di comunicazioni anche le richieste inoltrate all'organizzazione piloti locale per ottenere servizi di pilotaggio ed in generale tutte le comunicazioni terra-bordo che riguardano la sicurezza delle operazioni in ingresso in porto.

La quantità di messaggi scambiati durante questo tipo di connessioni è mediamente piuttosto consistente, ma tipicamente i singoli messaggi sono relativamente contenuti, con l'eccezione di quelli riguardanti le dichiarazioni di carico.

Questo tipo di trasmissioni sono ad alta priorità, in quanto la mancata ricezione di una richiesta di autorizzazione può comportare facilmente dei ritardi nelle operazioni di accesso e, in alcuni casi, anche delle sanzioni amministrative a seguito dell'infrazione.

2.3.1.3 Comunicazioni commerciali

Queste comunicazioni riguardano principalmente i responsabili commerciali a bordo nave e le aziende presenti nell'area portuale.

Alcuni esempi possono essere l'organizzazione degli approdi e delle banchine di scarico, gli accordi per il carico/scarico delle merci e le prenotazioni di strutture logistiche quali gru e magazzini di stoccaggio.

Quantificare le dimensioni dei messaggi scambiati in questo tipo di collegamenti è difficile, ma dei valori di massima possono andare da *files* di pochi *kB* fino a immagini da *1 MB* nel caso vengano trasmesse, ad esempio, le informazioni di dislocazione merci su di una banchina.

2.3.2 Informazioni nautiche

Le attuali normative internazionali sulla sicurezza portuale, stabilite all'interno della convenzione SOLAS, prevedono che le navi in ingresso in acque monitorate da sistemi VTS, quali ad esempio le acque portuali, tengano costantemente aggiornate le informazioni presenti sulle carte nautiche di bordo.

Esistono sistemi ed apparecchiature di bordo elettroniche, come ad esempio l' ECDIS⁵, in grado di sostituire parzialmente o totalmente le carte nautiche tradizionali utilizzando un *database* cartografico in formato vettoriale denominato ENC⁶.

⁵ *Electronic Chart Display and Information System*

⁶ *Electronic Nautical Chart.*



Figura 2.1: Esempio di carta nautica elettronica ENC.

Un esempio di carta nautica elettronica ENC è rappresentata in Fig. 2.1 a fronte.

Il database ENC deve essere aggiornato ogniqualvolta la nave si appresti ad entrare in acque costiere o portuali, perché le condizioni geografiche degli ecosistemi marini sono molto sensibili a fenomeni come venti e correnti, che sono in grado in molte circostanze di modificare l'aspetto dei fondali dei canali navigabili, aumentando di conseguenza i rischi di incagliamento.

Nella tabella 2.2 sono specificati i requisiti di un sistema di comunicazione in grado di ricevere e trasmettere dati cartografici elettronici:

Applicazione	Bytes/msg	Modalità	Priorità	Banda
Aggiornamento dati ENC	1 M – 5 M	B - M	C	H

Tabella 2.2: Requisiti per la l'aggiornamento dati ENC.

La dimensione dei *files* contenenti i dati delle carte nautiche è limitato a massimo 5 MB dalla normativa vigente.

Una connessione wireless a banda larga può quindi essere utilizzata per inviare aggiornamenti del *database* ENC in *broadcast* a tutte le imbarcazioni presenti in una certa regione geografica costiera, oppure alternativamente ai singoli natanti che ne fanno espressamente richiesta alle autorità locali.

2.3.3 Operazioni tecniche e commerciali

Questa tipologia di messaggi è relativa alle operazioni di bordo che riguardano l'amministrazione e la gestione della nave in porto, escludendo quindi tutte quelle attività che riguardano il carico eventualmente trasportato.

Si dividono comunemente in tre ambiti principali, che vengono riassunti nella tabella 2.3[20].

Applicazione	Bytes/msg	Msg/giorno	Modalità	Priorità	Banda
Amministrazione	1 k – 5 k	1 – 5 V	M	C	M
Supporto tecnico	1 k – 500 k	0 – 10	M	C	M
Gestione passeggeri	1 k – 1 M	> 10	M	C	M

Tabella 2.3: Requisiti di trasmissione per le operazioni tecniche e commerciali.

2.3.3.1 Amministrazione

Sono i rapporti che vengono comunicati alle autorità portuali e che riguardano tutta una serie di informazioni sullo stato della nave, quali ad esempio documenti sulle condizioni delle apparecchiature di bordo, comunicazione delle rotte marittime, aggiornamento dei bollettini meteorologici, ecc.

La quantità di informazioni da trasmettere varia considerevolmente in base alla tipologia di nave ed alle esigenze specifiche della nave stessa, ma si può assumere in via del tutto generale che la banda richiesta per la trasmissione sia relativamente contenuta.

2.3.3.2 Supporto tecnico

Sono i messaggi che riguardano le operazioni di manutenzione e rimessaggio della nave, e che possono richiedere il collegamento da remoto a centri assistenza situati a terra oppure l'accesso ai *database* di specifiche compagnie navali e la possibilità di comunicare direttamente con tecnici specializzati dislocati nell'area portuale.

La possibilità di avere accesso ad un collegamento dati a larga banda faciliterebbe inoltre tutta una serie di operazioni quali la diagnostica di eventuali guasti, l'aggiornamento *software* e la configurazione di strumentazioni di bordo da remoto, nonché lo scambio di rapporti su guasti e riparazioni effettuate durante il periodo di scalo da tecnici specializzati.

Messaggi di questo tipo possono essere piuttosto grandi specialmente se riportano al loro interno le cronologie degli interventi precedentemente eseguiti oppure immagini.

La frequenza di questi messaggi è praticamente nulla nella maggior parte dei casi, cioè quando non si presentano guasti, salvo però aumentare notevolmente nel momento in cui si presenta la necessità di risolvere qualsiasi tipo di imprevisto tecnico.

2.3.3.3 Gestione passeggeri

La gestione passeggeri nelle navi da crociera e nei traghetti riguarda principalmente aspetti amministrativi e logistici: le informazioni che caratterizzano l'organizzazione e l'allestimento di risorse di prima necessità per i passeggeri, come per esempio il carico di generi alimentari, e la gestione e lo smaltimento dei rifiuti.

Entrambe queste attività richiedono la compilazione e lo scambio di documenti e certificazioni con una o più entità aziendali situate a terra, e vengono usualmente pianificate con largo anticipo.

2.3.4 Infotainment

I servizi di *Infotainment*⁷ sono considerati una delle principali piattaforme su cui si basa il processo evolutivo che negli ultimi anni sta coinvolgendo i mercati che si occupano di servizi telematici e LBS⁸, soprattutto per quanto riguarda l'accesso a sistemi informativi da remoto tramite dispositivi portatili.

Questi servizi richiedono lo sviluppo di nuove tecnologie nel campo della distribuzione dell'informazione, ad esempio per quanto riguarda l'organizzazione delle *e-news* e dei relativi palinsesti, e di nuovi standard per le interfacce mobili in grado di fornire connettività agli appositi *databases* di notizie.

L'aspetto chiave dell' *infotainment* è il fornire agli utenti la possibilità di interagire in modo personalizzato con numerosi servizi informativi senza necessariamente conoscere le basi tecnologiche che li supportano, attraverso interfacce portatili configurabili in modo intuitivo.

Si prevede che questo approccio al problema della diffusione di contenuti informativi al grande pubblico possa velocizzare/accretere notevolmente lo sviluppo di una società *user-friendly* basata sulla conoscenza e l'accesso garantito a qualsiasi tipo di informazione di interesse pubblico, sette giorni su sette ventiquattro ore al giorno.

2.3.4.1 Servizi all'equipaggio

I servizi erogabili ai membri dell'equipaggio a bordo nave rispondono sostanzialmente a due esigenze principali:

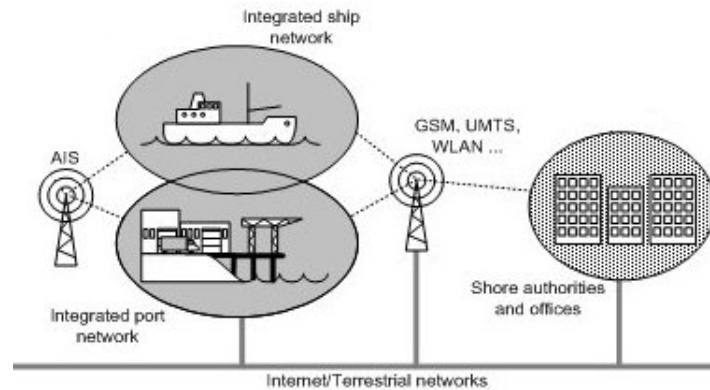
- Garantire la comunicazione personale tra gli individui per poter gestire autonomamente in modo efficiente i compiti assegnati a bordo nave. E' ragionevole ipotizzare che tale servizio possa essere svolto tramite dispositivi portatili quali ad esempio telefoni cellulari con servizio email, SMS ed MMS.
- Fornire servizi di connessione Internet per la gestione di comunicazioni personali come ad esempio la posta elettronica e la videoconferenza.

Il requisito principale per l'erogazione di questa tipologia di servizi all'equipaggio è quindi la possibilità di avere accesso ad una rete IP connessa al

⁷Letteralmente: informazione-spettacolo, neologismo di matrice anglosassone nato dalla fusione delle parole *information* ed *entertainment*.

⁸*Location Based Services*.

backbone di Internet a bordo nave, mentre questa si trova all'interno delle acque portuali.



2.3.4.2 Servizi ai passeggeri

I servizi di comunicazione ai passeggeri durante le soste all'interno di un'area portuale (ma anche nei periodi di navigazione lontano dalla costa) riguardano principalmente la telefonia (chiamate e videochiamate tramite VoIP⁹), i servizi di posta elettronica, la navigazione Internet e la possibilità di accedere a siti di prenotazione *online* (*e-booking*).

Come per alcuni servizi all'equipaggio dunque il requisito fondamentale per l'erogazione di tali servizi è la possibilità di avere accesso ad una rete IP a bordo nave tramite una opportuna WLAN connessa alla *backbone* Internet.

Tali servizi vengono usualmente già garantiti ai passeggeri dalle compagnie di crociera (non solo nelle aree portuali ma anche durante la navigazione lontano dalla costa) mediante collegamenti satellitari, che tuttavia sono usualmente molto costosi.

Applicazione	Forward Link	Return Link	Modalità	Priorità
Infotainment	1024–8192 <i>kbit/s</i>	256–2048 <i>kbit/s</i>	B - M	C-L

Tabella 2.4: Requisiti di infotainment.

⁹ *Voice over IP*.

2.4 Requisiti progettuali

Nella sezione 2.3 sono stati descritti in modo del tutto generico i requisiti di comunicazione di numerose applicazioni a bordo nave; nello sviluppo del presente lavoro si è deciso di concentrarsi in particolare su quelli riguardanti una specifica tipologia di unità portatili di supporto alla navigazione, le cosiddette unità POADSS¹⁰.

2.4.1 Il progetto MarNIS: le unità POADSS

MarNIS¹¹ è un progetto di ricerca europeo facente parte del *6th Framework Programme*¹² (FP6), al quale hanno partecipato complessivamente 44 *partners* di 13 paesi, tra cui Thetis S.p.A, rappresentanti di enti ministeriali, autorità portuali, organizzazioni di piloti, industrie, università e centri di ricerca.



Scopo del progetto è quello di sviluppare e promuovere il cosiddetto *E-Maritime*, un insieme di servizi e tecnologie in grado di supportare e quindi migliorare la qualità e la sicurezza dei trasporti marittimi in tutta Europa.

Thetis è stata responsabile delle attività di validazione delle tecnologie realizzate, attraverso l'allestimento di banchi di test e dimostratori, e dello sviluppo di un dispositivo portatile denominato POADSS, dispositivo che è stato sperimentato nei porti di Venezia e di Lisbona.

Le unità POADSS sono state concepite all'interno di questo contesto come strumento portatile di supporto alla navigazione marittima all'interno delle acque portuali, e sono in grado di fornire all'operatore informazioni sul movimento della nave sui tre assi in tempo reale, integrate con l'immagine del traffico navale circostante completa di dati meteo marini ed altri servizi, per essere di ausilio al pilota nella delicata fase di ingresso della nave in porto.

¹⁰Portable Operational Approach and Docking Support System.

¹¹*Maritime Navigation and Information Services*.

¹²Programma di finanziamento europeo per la ricerca e lo sviluppo di nuove tecnologie nei campi dell'ingegneria dell'informazione, dei trasporti, della biomedica, nanotecnologie e aeronautica. Attivo dal 2002 al 2006.

2.4.1.1 Specifiche funzionali

Il sistema POADSS, raffigurato in Fig. 2.2 nella pagina successiva, è composto di due moduli funzionali:

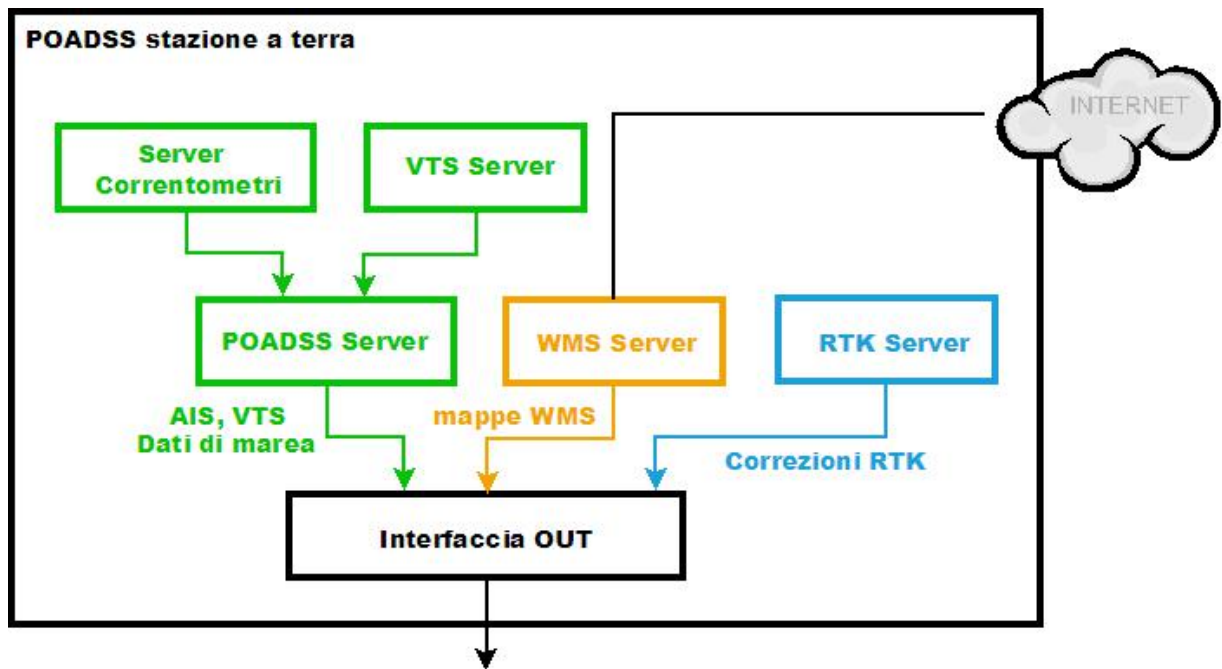
1. **Stazione a terra (Fig. 2.2a):** è la centrale di elaborazione dati del sistema, che trasmette in uscita il flusso di informazioni richiesto dall'unità portatile di bordo. La stazione di terra riceve in ingresso numerose informazioni che usualmente vengono elaborate apposti *servers* dedicati, e all'interno di essa si individuano i seguenti sottoblocchi principali:
 - (a) **Server Correntometri:** è il server adibito alla trasmissione dei dati sulle correnti e sulle maree. Tali informazioni vengono ricavate dai dati raccolti dalle reti di monitoraggio ambientale situate in varie località della Laguna di Venezia.
 - (b) **VTS¹³ Server:** con il termine VTS si intende un sistema in grado di collezionare i dati GPS¹⁴ e AIS¹⁵ di uno o più veicoli e, tramite questi, di tracciarne le rispettive posizioni ad esempio su di una mappa cartografica elettronica. Il server VTS dunque, che solitamente si trova all'interno della torre di controllo e viene utilizzato per monitorare costantemente tutto il traffico portuale, si occupa di fornire alla centrale del sistema POADSS le informazioni in tempo reale riguardanti la posizione dei natanti all'interno dell'area portuale monitorata.
 - (c) **WMS¹⁶ Server:** produce dinamicamente mappe di dati spazialmente riferiti a partire da informazioni geografiche. Il WMS è infatti uno standard internazionale in grado di definire una "mappa" come rappresentazione di informazioni geografiche restituendo in uscita un'immagine digitale, in un formato idoneo ad essere visualizzato sullo schermo di un computer, tipicamente *.png*, *.gif* o *.jpeg*. Qualora due o più mappe siano prodotte con gli stessi parametri geografici e di dimensione dell'immagine, i risultati possono essere sovrapposti per produrre una mappa composita. E' dunque possibile sovrapporre, ad esempio, una mappa cartografica con una mappa recante i dati VTS dei natanti dell'area

¹³ *Vessel Traffic Service.*

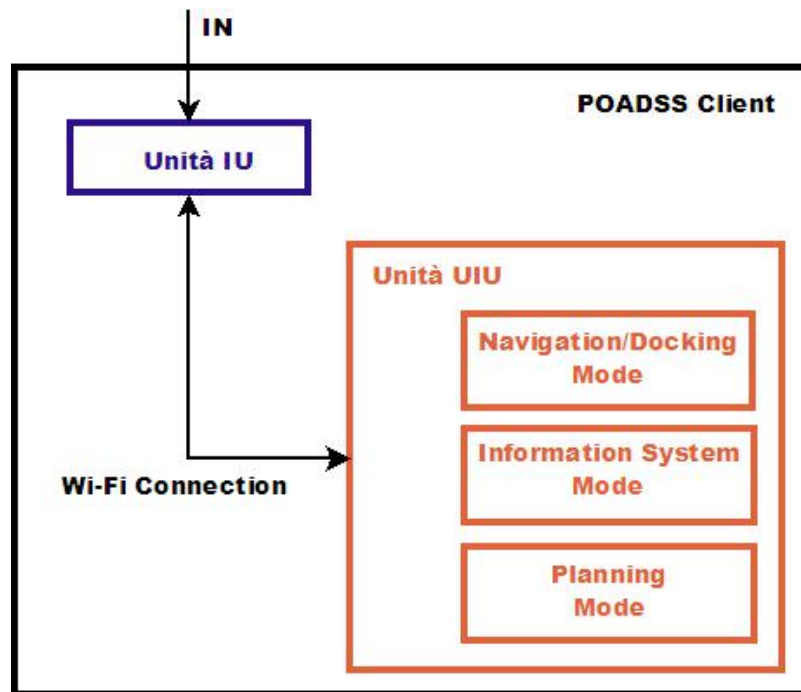
¹⁴ *Global Positioning System:* sistema satellitare per il calcolo della posizione.

¹⁵ *Automatic Identification System:* sistema di puntamento costiero utilizzato per identificare e localizzare le navi.

¹⁶ *Web Map Service.*



(a) Stazione di terra del sistema POADSS.



(b) POADSS client.

Figura 2.2: Sistema POADSS.

desiderata per ottenere una visualizzazione dello stato del traffico in quella determinata area.

- (d) **RTK¹⁷ Server**: i servizi RTK vengono utilizzati in applicazioni ad alta precisione per correggere le informazioni ricevute dal sistema GPS, tramite ripetute misure di fase della portante GPS stessa. Il sistema di puntamento GPS infatti garantisce un margine di precisione di alcuni metri, che non è sufficiente per applicazioni che richiedono un alto livello di precisione come ad esempio i navigatori di supporto alle manovre di attracco delle navi alle banchine. Le tecniche RTK utilizzano una piccola *base station* posizionata a terra per inviare in *broadcast* ai *client* GPS le correzioni al segnale di posizione, e permettono di incrementare notevolmente la precisione fino ad ottenere livelli di errore dell'ordine di pochi centimetri. Queste correzioni devono dunque essere inviate all'unità *client* del POADSS per poter garantire elevati livelli di precisione sul segnale GPS visualizzato dall'operatore.

2. **Client (Fig. 2.2b)**: è l'unità portatile da posizionare a bordo nave. E' composta di due elementi principali:



(a) Instrument Unit

(b) User Interface Unit.

Figura 2.3: Unità Client.

- (a) **Unità *Instrument Unit* (IU)**: unità di misurazione con GPS integrato, è in grado di ricevere il flusso dati dalla stazione di terra del sistema e di calcolare i dati di posizione, traiettoria e batime-

¹⁷ *Real Time Kinematic.*

tria in modo dinamico e di inviare tutte queste informazioni in un unico flusso alla UIU per la visualizzazione.

- (b) **Unità *User Interface Unit* (UIU)**: interfaccia utente che riporta gli aggiornamenti ambientali e del traffico in tempo reale al pilota. Consta di un laptop collegato all'IU tramite connessione Wi-Fi. Contiene un pacchetto *software* che prevede 3 modalità di funzionamento principali:
- i. **Planning Mode (Fig. 2.4)**: consente di memorizzare la rotta prevista e di visualizzare la rotta previsionale della nave sulla base dei dati ambientali (posizione e velocità) calcolati dalla IU. Consente inoltre di registrare e aggiornare i dati del veicolo, come ad esempio tipologia, lunghezza, larghezza, peso e monitorare di conseguenza dati sensibili come il pescaggio e il centro di massa dello stesso.
 - ii. **Navigation Mode (Fig. 2.5)**: modalità di navigazione, consente di monitorare in tempo reale la posizione e la rotta del veicolo, i dati batimetrici e di corrente, e di visualizzare il traffico marittimo dell'area.
 - iii. **Docking Mode (Fig. 2.6)**: modalità di navigazione realizzata appositamente per gestire in sicurezza le fasi di ormeggio, che sono solitamente le operazioni a maggiore fattore di rischio.

2.4.1.2 POADSS nel contesto di Venezia

Il sistema POADSS è uno strumento di supporto alla navigazione che, per le sue caratteristiche, può riscontrare notevoli applicazioni all'interno del contesto della Laguna di Venezia.

Il Porto di Venezia infatti presenta una morfologia unica, essendo situato all'interno delle acque di un ambiente delicato come quello lagunare e nel quale risiede una città d'arte come Venezia, e proprio a seguito di queste caratteristiche richiede alti livelli di sicurezza nella gestione del traffico navale.

In particolare, l'ingresso e il transito delle cosiddette "grandi navi" all'interno delle acque lagunari è regolamentato da normative locali e prevede l'utilizzo dei servizi di pilotaggio forniti dalla Corporazione Piloti Estuario Veneto.

La Corporazione Piloti è in possesso di una torre di controllo, situata nel Lido di Venezia in località Alberoni, nei pressi della bocca di porto di

Ship Settings
X

Detail List
Ship Geometrical Parameters

Ship Name

Ship ID (IMO Code)

Ship MMSI Code

Hull Type

Length Overall (o/a) [m]

Length BPP [m]

Beam [b] [m]

Draft

Forward [m]

Mid Ship Starboard side [m]

Mid Ship Port side [m]

Aft [m]

Dead Weight [ton]

Total Displacement [ton]

GMf [m] free surface corrected

GMs [m] solid

KGs [m] keel to centre gravity

KM [m] keel to metacentre

Long Gravity Centre LCG [m]

Safety ratio (FR) [mm]

Forward ratio (FRF) [mm]

Amplified [deg]

Minimal depth [m]

Minimal UKC [m]

Xp [m]

Yp [m]

Zp [m]

Note
GM = Centre of gravity to metacentre

Figura 2.4: POADSS Planning Mode.

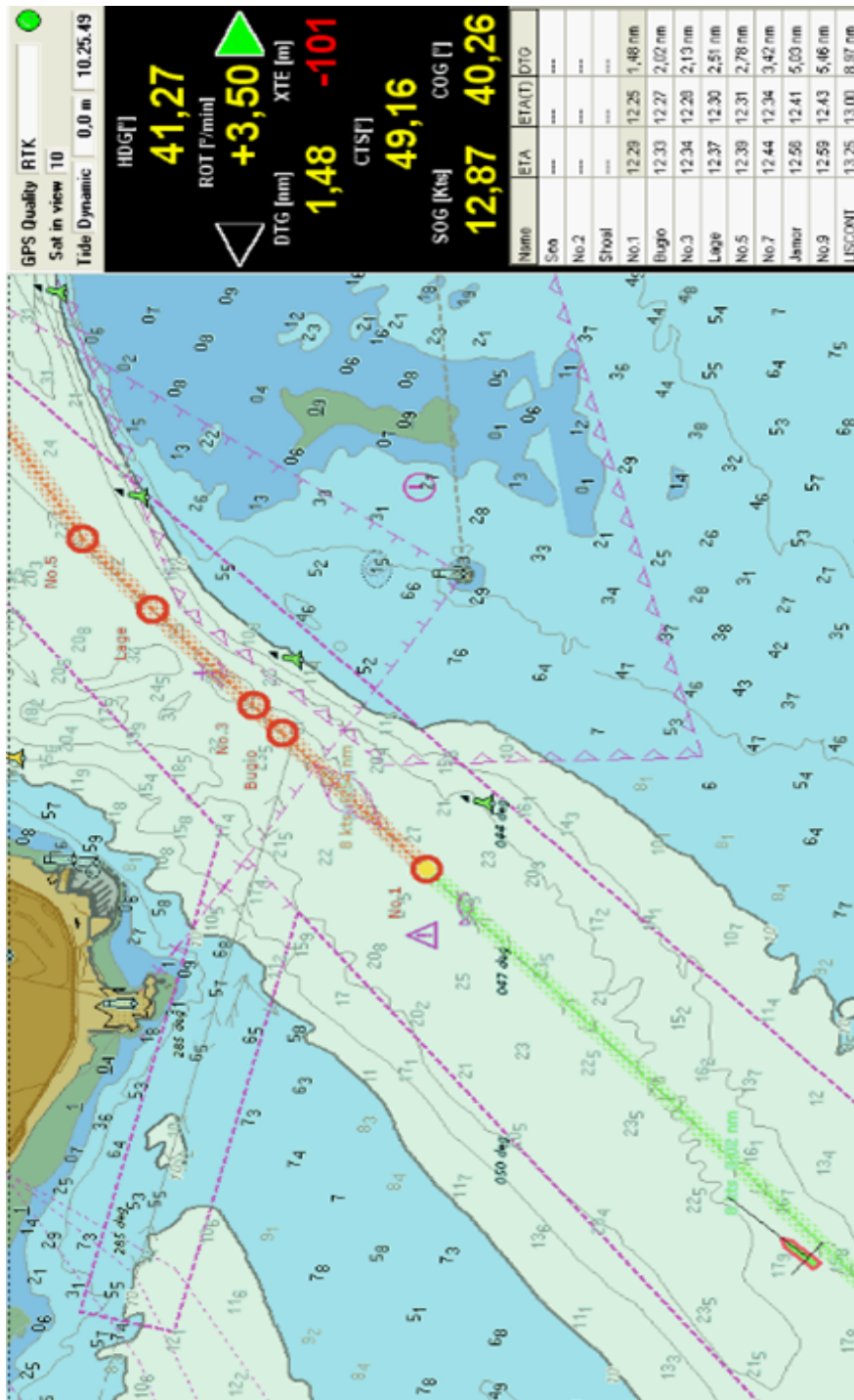


Figura 2.5: POADSS: Navigation Mode.

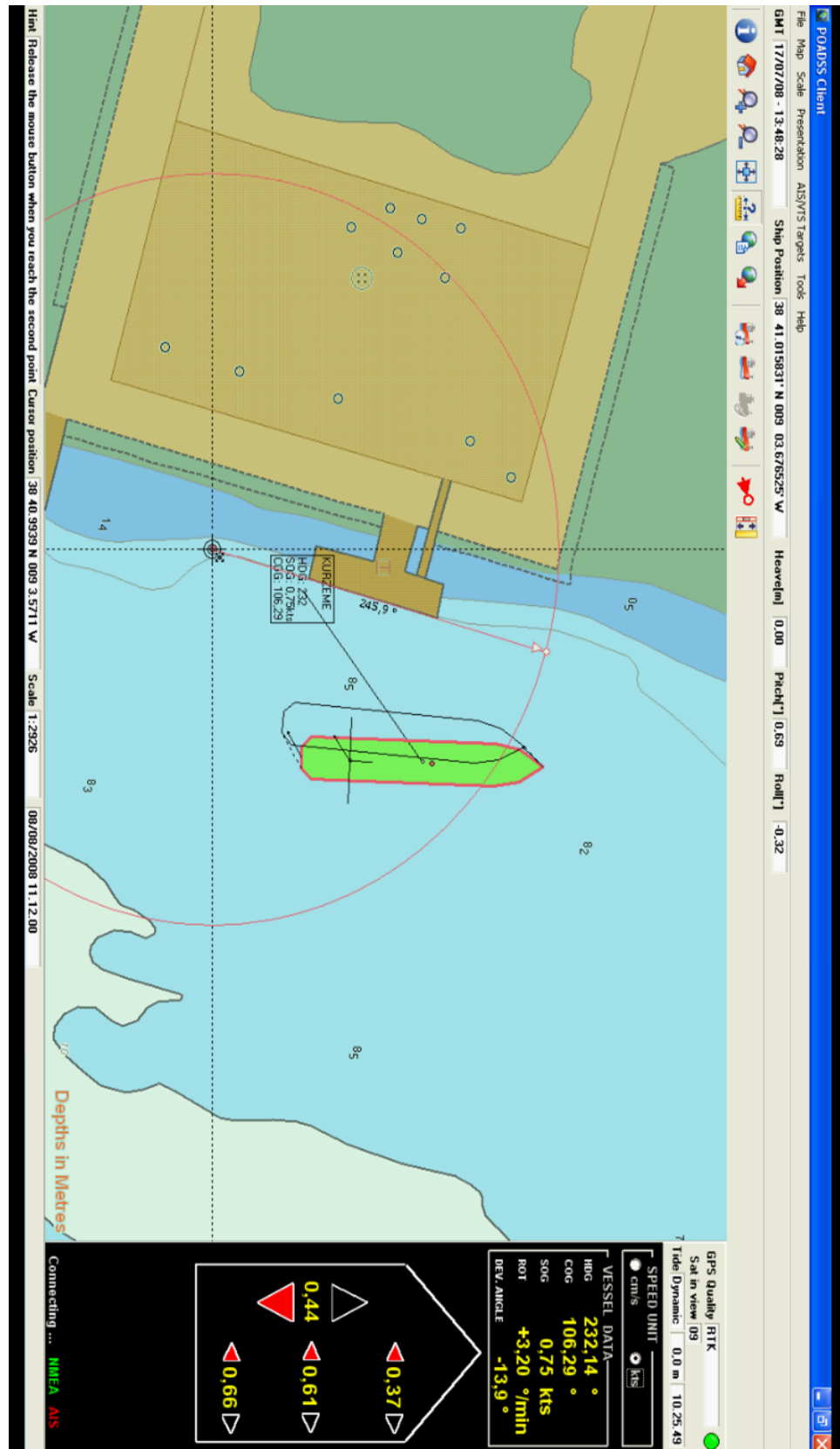


Figura 2.6: POADSS: Docking Mode.

Malamocco, all'interno della quale è installata la centrale di controllo degli impianti GPS che raccolgono tutte le informazioni sul traffico navale degli accessi al porto.

Tali tecnologie, fondamentali nell'ottica della sicurezza portuale, tuttavia non sono in grado di supportare direttamente le operazioni di pilotaggio, che si basano ancora oggi per larga parte su abilità, esperienza e responsabilità del pilota.

E' dunque il pilota che decide, in base al contesto ambientale nel quale si svolge ogni singola operazione di ingresso e al corrispondente fattore di rischio, se è possibile portare a compimento l'operazione stessa oppure se è preferibile attendere condizioni migliori; e da queste decisioni dipende, in prima analisi, l'economia portuale, che è sostanzialmente proporzionale al flusso di navi entranti/uscenti dal porto stesso.

Nel caso del contesto lagunare veneziano, alcuni dei principali parametri decisionali sono le condizioni meteorologiche e, soprattutto, le previsioni di marea, che possono influenzare notevolmente la navigabilità dei canali interni e di conseguenza il rischio di insabbiamento. Un' infrastruttura complessa come quella del Mose inoltre può influire su questo tipo di scenario, in quanto non solo andrà necessariamente a modificare le escursioni di marea interne alla laguna, ma costituirà, con le sue barriere sommerse e la modifica strutturale dei canali di accesso, un importante fattore di cui tener conto durante le operazioni di accesso alle acque portuali. Eventuali danni a tale struttura comporterebbero dei costi di manutenzione molto elevati, ed è dunque ragionevole pensare che, per scongiurare ogni possibile eventualità di questo tipo, la discrezionalità nelle operazioni di pilotaggio risulterà ancor di più un fattore cruciale nei flussi di traffico portuali.

Un sistema come il POADSS nasce proprio dall'esigenza di portare a bordo nave tutta una serie di informazioni ambientali in grado di aumentare significativamente il livello di sicurezza delle operazioni di pilotaggio e diminuirne i rischi connessi, e dunque di conseguenza di rendere potenzialmente meno discrezionale il flusso di natanti entranti/uscenti dalle acque portuali.

Grazie ai dati di marea, delle correnti e del traffico aggiornate in tempo reale dall'unità POADSS, le operazioni svolte dal pilota potranno essere decise con elementi precisi e dunque con minore discrezionalità, il tutto a beneficio della sicurezza portuale (ambientale e architettonica, soprattutto per quanto riguarda il futuro sistema Mose) e dei flussi delle grandi navi.

2.4.1.3 Requisiti

Nella tabella 2.5 vengono riassunti i principali flussi di informazione previsti dalla stazione di terra al *client* di bordo del sistema POADSS, i rispettivi tempi di *refresh* voluti per l'aggiornamento di tali informazioni a bordo nave e la stima della banda richiesta:

Tipodi dato inviato	<i>Refresh</i>	Banda
mappe WMS	10 s	~ 120 kbit/s
correzioni RTK	<i>real time</i>	~ 5 kbit/s
VTS	<i>real time</i>	~ 10 kbit/s
dati marea e correnti	20 s	~ 2 kbit/s
Flusso totale dati	-	~ 140 kbit/s

Tabella 2.5: Flussi di dati da terra verso bordo nave - sistema POADSS.

- **Mappe WMS:** le mappe generate dai servizi WMS sono delle semplici immagini in formato *.png*, *.gif* o *.jpeg* che vengono utilizzate come *layer* geografico di base spazialmente riferito sul quale poi sovrapporre i dati ambientali (marea e correnti) e di traffico provenienti dagli altri sistemi. Questo tipo di informazioni vengono aggiornate nell'unità di bordo ogni 10 s. La banda stimata è stata calcolata supponendo di trasferire immagini di dimensione ~ 150 kB:

$$150 \text{ kB} \cdot 8 = 1200 \text{ kbit} \cdot \frac{1}{10 \text{ s}} = 120 \text{ kbit/s}$$

- **Correzioni RTK:** le correzioni RTK vengono utilizzate per correggere i dati relativi alla propria posizione ricavati tramite sistema GPS ed aumentarne di conseguenza la precisione fino ad ottenere errori di pochi centimetri. Sono dunque indispensabili per poter eseguire operazioni ad alta precisione come ad esempio le manovre di avvicinamento ad una banchina e di attracco. Per questo motivo, questi dati vengono aggiornati in tempo reale, per fornire all'operatore la posizione esatta del mezzo, e sono informazioni critiche, non possono cioè subire ritardi di trasmissione. La banda richiesta dalle trasmissioni RTK viene stimata[26] a ~ 5 kbit/s.
- **VTS:** il sistema VTS elabora i dati di posizione relativi ai mezzi presenti in una data area geografica collezionando da un lato i dati provenienti dai sistemi AIS presenti a bordo e dall'altro raccogliendo i

dati di posizione ricavati dai sistemi radar per il controllo del traffico. Unificando questi due flussi di informazione, il VTS genera un *layer* con i tutti i dati (tra i quali ad esempio posizione e velocità) dei mezzi presenti nell'area monitorata da sovrapporre alla mappa WMS. L'aggiornamento delle informazioni VTS è in tempo reale. La banda richiesta da questo tipo di trasmissioni è direttamente collegata al numero di natanti presenti nell'area monitorata, che è ovviamente variabile nel tempo; per questo motivo si è deciso di effettuare una stima diretta, del solo traffico AIS, approntando un sistema di ricezione AIS nei laboratori di Thetis S.p.A.. Il valore stimato è 4 kbit/s : i dettagli riguardanti le misure del traffico AIS effettuate nei laboratori di Thetis vengono riportate in Appendice B. Questo valore viene successivamente raddoppiato e arrotondato al valore finale di 10 kbit/s per tenere conto anche delle tracce radar, che è ragionevole ipotizzare che generino un traffico dati quantitativamente analogo a quello AIS.

- **Dati di marea e correnti:** i dati di marea e correnti vengono ricavate dai dati raccolti dalle reti di monitoraggio, costituite da correntometri, situate in varie località della Laguna di Venezia. Questi dati non richiedono tempi di refresh particolarmente veloci, e tipicamente richiedono una banda di circa 2 kbit/s .

Il *link* di trasmissione richiesto dal sistema POADSS, per ricevere tutti i tipi di dati appena descritti dai *servers* della centrale di terra, deve pertanto disporre di una banda di trasmissione di 140 kbit/s .

E' dunque ragionevole ipotizzare che tale *link* debba garantire una banda minima $\geq 150\text{ kb/s}$ per supportare pienamente il servizio.

Per quanto riguarda la copertura del segnale, si è deciso di considerare, in questo elaborato di tesi, unicamente i flussi di traffico del porto petroli e del porto commerciale, con accesso alla bocca di porto di Malamocco.

Il segnale radio dunque, per garantire costantemente supporto alle unità a bordo nave durante tutta la fase di ingresso in porto, deve estendersi alle seguenti aree geografiche principali, raffigurate in Fig. 2.7 nella pagina seguente:

- **Porto industriale e commerciale:** rappresentati in verde in Fig. 2.7, sono l'area produttiva principale del Porto di Venezia e sono interamente localizzati a Porto Marghera.
- **Canale dei petroli:** evidenziato in rosso in Fig. 2.7, è l'accesso principale al porto industriale e commerciale di Venezia, nonché del porto petroli di San Leonardo.

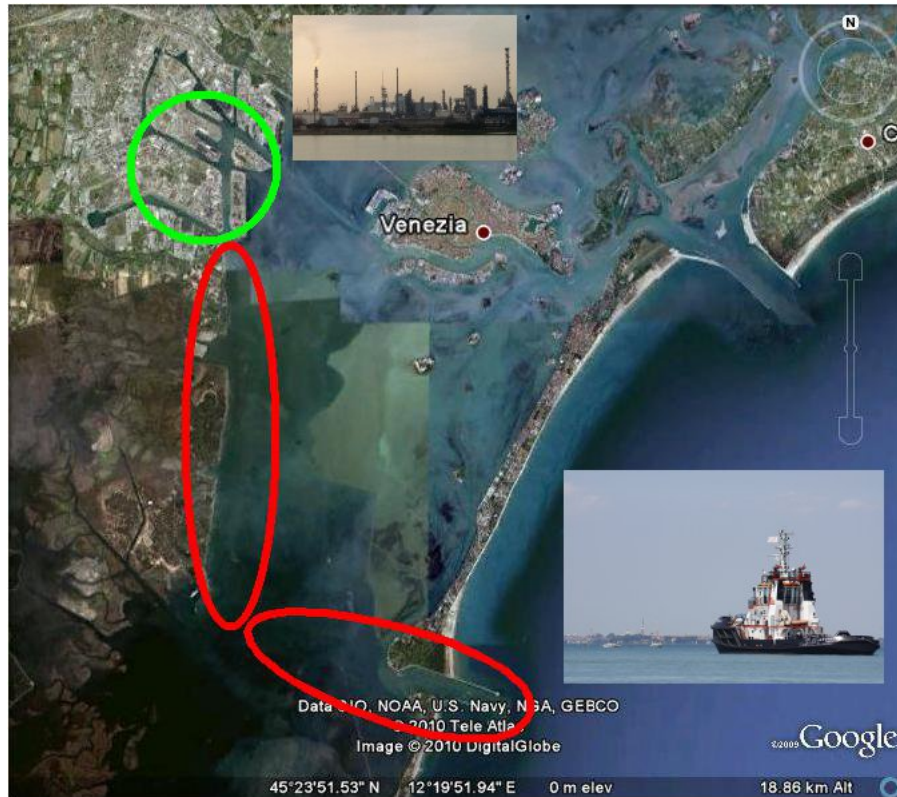


Figura 2.7: Aree di copertura del segnale.

Come ultime considerazioni, a causa della complessa morfologia territoriale riscontrabile nella Laguna di Venezia e nelle aree del porto industriale della città, il segnale radio deve garantire il servizio operando su aree caratterizzate da ampie superfici acquee e deve essere particolarmente robusto a fronte di condizioni cosiddette di *NLoS*¹⁸ dovute principalmente ai seguenti fattori:

- Trasmissione all'interno di aree ad alta concentrazione di materiale metallico, come ad esempio le aree di carico/scarico merci, in grado di causare forti riflessioni sul segnale elettromagnetico.
- Ricezione del segnale elettromagnetico all'interno delle plance di comando delle navi, il cui comportamento è sostanzialmente assimilabile

¹⁸*Non Line of Sight*: condizioni di trasmissione in cui il cammino del segnale radio è parzialmente ostruito da ostacoli.

a quello di una gabbia di Faraday, cioè ad un sistema in grado di isolare l'ambiente al suo interno da un campo elettromagnetico incidente dall'esterno.



(a) Gabbia di Faraday.



(b) Riflessioni di segnale.

Figura 2.8: Potenziali condizioni *NLoS*.

Inoltre, è ragionevole imporre che, dovendo essere garantita la continuità di servizio 24 ore su 24, la rete debba essere adeguatamente robusta a condizioni meteorologiche avverse, quali principalmente situazioni di pioggia intensa e nebbia.

2.5 Riepilogo requisiti

A seguito delle considerazioni fatte nella sezione 2.4, i requisiti di sistema possono dunque essere riassunti come segue:

- Banda di trasmissione $\geq 150 Kbps$, in grado di gestire flussi di dati WMS, VTS ed RTK.
- Copertura delle aree lagunari indicate in Fig. 2.7 nella pagina precedente.
- Robustezza del segnale a fronte di condizioni *NLoS*.
- Robustezza del segnale a fronte di diverse condizioni ambientali.
- Servizio in grado di garantire la mobilità degli utenti.
- Disponibilità del servizio 24 ore su 24, sette giorni su sette.

Capitolo 3

Stato dell'arte tecnologico

3.1 Introduzione

In questo capitolo verrà presentato lo stato dell'arte delle maggiori tecnologie *wireless* presenti sul mercato, allo scopo di fornire una panoramica dettagliata sulle tecnologie stesse e le loro principali applicazioni, e successivamente avere tutti gli elementi per poter decidere quali tra queste possano essere applicate con successo al contesto specifico in questione.

Verrà dunque presentato innanzitutto il protocollo GPRS, progettato per integrare il protocollo GSM abilitando il trasferimento dati. Successivamente si passerà allo standard cosiddetto di terza generazione (3G) UMTS, e alle sue principali alternative per i collegamenti dati basate sugli standard IEEE 802.11x e IEEE 802.16x, note con i nomi rispettivamente di WiFi e WiMAX, e HiperLAN, l'alternativa europea a questi ultimi proposta da ETSI. In seguito, verrà presentata una categoria di dispositivi molto diffusa per la trasmissione dati in reti private via radio UHF, i cosiddetti *radio modem*.

Il capitolo si concluderà descrivendo brevemente le prestazioni che le tecnologie future, cosiddette di quarta generazione (4G), promettono di raggiungere, in particolar modo in termini di banda, robustezza del segnale a fronte di diverse condizioni ambientali, sicurezza, qualità e tipologie di servizio, e compatibilità con le tecnologie pre-esistenti.

3.2 GPRS

Il *General Packet Radio Service*, meglio noto con il nome di GPRS, è una tecnologia di telefonia mobile basata sullo standard di seconda generazione (2G) GSM.

Abilita connessioni di tipo IP, caratteristica che gli permette di supportare un'ampia gamma di applicazioni commerciali, anche se con modeste velocità di trasmissione.

I sistemi di telefonia mobile di seconda generazione che implementano il GPRS spesso vengono descritti con il nome 2.5G, per specificare che si tratta di tecnologie a cavallo tra la seconda e la terza generazione.

3.2.1 Caratteristiche tecniche

Il GPRS è una tecnologia a commutazione di pacchetto, con modalità di accesso al canale di tipo TDMA¹ dove ogni utente utilizza per intero gli slot temporali che gli vengono assegnati per trasmettere.

Le risorse radio e di rete garantiscono un accesso *on-demand*, ovvero allocano all'utente una certa capacità trasmissiva, dipendente dalla quantità di dati che devono essere inviati, unicamente quando quest'ultimo deve effettivamente trasmettere dell'informazione.

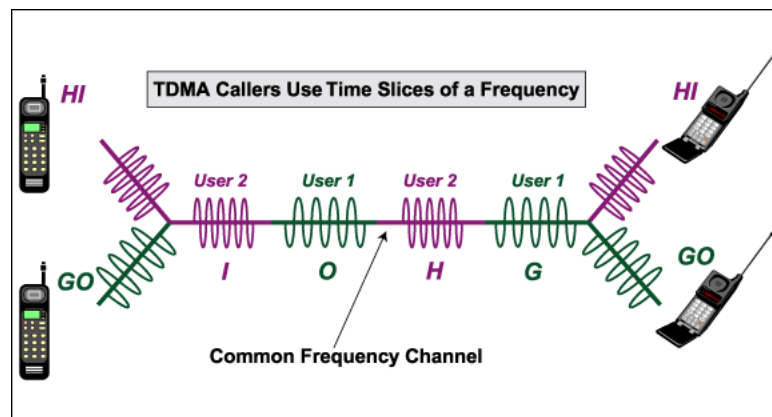


Figura 3.1: Esempio di accesso TDMA.

¹ *Time Division Multiple Access.*

3.2.1.1 Velocità di trasmissione e codifiche di canale

Le velocità di trasmissione in *upload* e *download* di un sistema GPRS dipendono da numerosi fattori; il massimo limite teorico per la velocità è circa 171 Kb/s , ma un valore più realistico si attesta intorno a $30 - 70\text{ Kb/s}$.

La velocità dipende principalmente dai seguenti fattori:

- Modello di terminale utente usato (classe del cellulare).
- Distanza tra il terminale e l'antenna più vicina.
- Numero di utenti che risulta collegato contemporaneamente ad ogni cella in cui è frazionata la banda; questo, a sua volta, è funzione tipicamente della densità abitativa del luogo in cui viene erogato il servizio e della fascia oraria di utilizzo.

Le codifiche di canale utilizzate dai sistemi GPRS sono riassunte nella tabella 3.1:

Codifica	Velocità (Kb/s)
CS-1	8.0
CS-2	12.0
CS-3	14.4
CS-4	20.22

Tabella 3.1: Codifiche di canale utilizzate dal GPRS.

La codifica CS-4, meno robusta ma più veloce delle altre, viene generalmente utilizzata in prossimità di una BTS ², mentre la più robusta CS-1 viene impiegata quando la MS ³ si trova piuttosto lontana da una qualsiasi BTS. La struttura di rete GPRS è in grado di adattare le velocità di trasmissione automaticamente a seconda della collocazione della MS.

Per ottenere le massime velocità di trasmissione teoriche è necessario utilizzare più di un *time slot* contemporaneamente all'interno del cosiddetto *time frame* TDMA: la velocità massima nominale di 171 Kb/s può infatti essere raggiunta utilizzando tutti gli 8 *time slots* con codifica CS-4 da circa 20 Kb/s ciascuno. Bisogna però tener presente quanto appena visto, cioè che a maggiori velocità corrispondono sistemi di codifica di canale meno robuste, e quindi minori possibilità di correggere automaticamente gli errori di trasmissione. In linea di massima, la velocità decresce esponenzialmente

²Base Transceiver Station.

³Mobile Station.

all'aumentare della distanza dalla BTS: ciò non costituisce una limitazione in aree densamente popolate, dove è garantita la copertura da una fitta maglia di celle radio, ma può diventare un problema serio in aree scarsamente abitate, come, ad esempio, le zone rurali.

Un problema a parte è rappresentato dalla latenza, che tipicamente è molto elevata. Essendo il trasferimento dati GPRS considerato a priorità inferiore rispetto alla comunicazione vocale in una rete GSM, la qualità della connessione ne risente fortemente, portando i valori di *Round Trip Time*⁴ (RTT) tipicamente sui 600 – 700 ms, con picchi fino anche a 1 s.

3.2.1.2 Frequenze di funzionamento e modulazione

GPRS utilizza una serie di frequenze nella banda attorno ai 900 MHz, assegnate in Italia dal Ministero competente ai principali gestori di telefonia mobile, e più precisamente :

- *Uplink*: 890 – 915 MHz
- *Downlink*: 935 – 960 MHz

La modulazione prevista dal protocollo è la *Gaussian Minimum Shift Keying* (GMSK), una variante con filtro gaussiano della *Minimum Shifting Keying* (MSK), comunemente utilizzata in tutti i sistemi di telefonia mobile.

3.2.1.3 Protocolli supportati

GPRS supporta i seguenti protocolli:

- **Internet Protocol (IP)**: protocollo di livello di rete a commutazione di pacchetto, assai diffuso perché in grado di interconnettere reti eterogenee per tecnologia, prestazioni, gestione.
- **Point-to-Point Protocol (PPP)**: utilizzato principalmente per permettere l'allocazione dinamica di un indirizzo IP al terminale mobile nel caso in cui questo venga utilizzato come modem per un altro apparato, usualmente un computer.
- **Connessioni X.25**: queste tipologie di connessione, tipicamente utilizzate per semplici applicazioni come ad esempio pagamenti tramite carta di credito *wireless*, erano previste nelle prime versioni di GPRS, ma sono state successivamente rimosse dallo standard perché comunque possono essere supportate via IP o PPP.

⁴Tempo impiegato da un pacchetto per viaggiare dal trasmettitore al ricevitore e tornare indietro.

3.2.1.4 Classi di dispositivi

I dispositivi GSM che supportano il GPRS vengono suddivisi in tre classi:

- **Classe A:** questi apparecchi possono utilizzare i servizi voce GSM ed essere connessi alla rete GPRS di trasmissione dati contemporaneamente.
- **Classe B:** questa seconda tipologia di dispositivi può connettersi ai servizi GPRS e GSM, ma non può utilizzarli contemporaneamente. Durante i servizi voce GSM, la funzione GPRS è sospesa, e solo successivamente reinizializzata in modo automatico una volta che la trasmissione GSM si è conclusa.
- **Classe C:** questi apparecchi possono accedere ai servizi GSM oppure GPRS separatamente, ed è necessario che l'utente cambi modalità di connessione manualmente.

3.2.2 Elementi di rete

Come già detto in precedenza, la rete GPRS è una rete dedicata al trasporto dati che va ad affiancarsi a quella GSM.

Il GPRS quindi utilizza molti degli elementi già presenti in una rete GSM per costruire un supporto adatto al trasferimento di pacchetti tramite protocollo IP.

La parte GPRS di una rete GSM è rappresentata in Fig. 3.2:

I principali elementi della rete sono i seguenti:

- **Terminale Utente:** esistono diverse tipologie di terminali utente, divisibili sostanzialmente in 3 categorie: terminali mobili indipendenti, tipicamente dispositivi cellulare; coppie computer - cellulare GPRS, nelle quali il cellulare svolge il ruolo di modem; schede PCMCIA che funzionano come modem GPRS. Molti dei terminali GPRS sono GSM-compatibili, e il GSM in questo caso viene utilizzato unicamente per il traffico voce.
- **Base Station (BS):** è il sistema di accesso alla rete, che si occupa di suddividere il traffico GSM voce da quello dati GPRS e di inoltrare ciascun flusso di traffico ai nodi di elaborazione della rete di competenza.
- **GPRS Network:** identifica tutta una serie di nodi di rete che si occupano di ricevere/inviare i pacchetti verso i terminali utente presenti

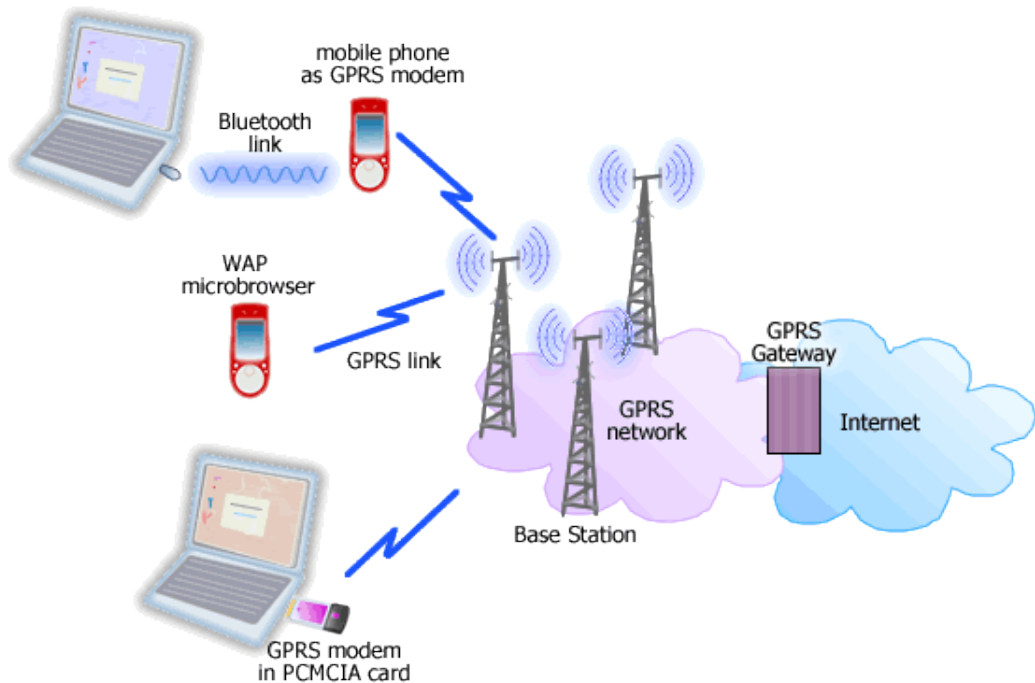


Figura 3.2: Esempio di rete GPRS.

nella propria area, di rilevare la presenza di nuovi terminali in accesso e di instradare i pacchetti inviati dai terminali utente verso i *GPRS Gateway* più vicini.

- **GPRS Gateway:** ricopre il ruolo di interfaccia verso una rete IP esterna; converte i pacchetti GPRS in un formato che permetta ad essi di essere inviati sulla rete esterna e compie l'operazione inversa in direzione opposta; opera le operazioni di instradamento dei pacchetti provenienti dall'esterno verso la BS che sta in quel momento servendo il terminale destinatario.

3.2.3 Principali applicazioni

I servizi GPRS sono, vista la natura del protocollo, complementari a quelli GSM: vengono quindi utilizzati principalmente per fornire connessione e trasferimento dati alla telefonia mobile.



(a) Base Station GSM/GPRS.



(b) Modem PCMCIA.

Figura 3.3: Esempi di elementi di rete GPRS.

Sfruttando la possibilità di utilizzare i telefoni cellulari che implementano GPRS come modem per computer, è possibile utilizzare il trasferimento dati anche per stabilire connessioni *wireless* tra terminali remoti, per usufruire di servizi quali, ad esempio, ricezione e invio di dati GPS ⁵.

3.2.4 Riepilogo caratteristiche

Nella tabella 3.2 e a seguire vengono riassunte le principali caratteristiche tecniche del protocollo GPRS:

GPRS: <i>General Packet Radio Service</i>	
Velocità di trasmissione	fino a 171 Kb/s
Copertura	30 Km (Cella)
Bande di trasmissione	<i>Uplink: 890 – 915 MHz Downlink: 935 – 960 MHz</i>
Modulazione	GMSK: <i>Gaussian Minimum Shift Keying</i>
Latenza	600 – 700 ms

Tabella 3.2: Caratteristiche GPRS.

- Servizio *Always on*: non è richiesta una fase di connessione per accedere alla linea di trasmissione dati.
- Connessione *on-demand*, ovvero il canale di trasmissione viene utilizzato unicamente quando c'è dell'informazione da trasmettere. Questo permette una migliore allocazione delle risorse di banda disponibili.

⁵Global Positioning System

- Ampia copertura per cella, anche se bisogna ricordare che la qualità del servizio peggiora notevolmente a grande distanza dalla più vicina BS.
- Supporto per il protocollo IP a commutazione di pacchetto.
- Funzionamento su bande licenziate: per usufruire del servizio è necessario rivolgersi ad un *provider*. Questo influenza notevolmente anche l'area di copertura della rete, che non è garantita soprattutto in aree rurali.
- Modesta banda di trasmissione: la velocità massima nominale di 171 Kb/s è molto difficile da raggiungere, e valori più realistici si attestano attorno ai 30 – 70 Kb/s.
- Elevata latenza di trasmissione, dovuta al fatto che il traffico dati GPRS in una rete GSM è considerato a priorità inferiore rispetto al traffico voce.

3.3 UMTS

L' *Universal Mobile Telecommunication System*, o più brevemente UMTS, è una tecnologia di terza generazione (3G) per la telefonia mobile, successore del GSM.

Tale tecnologia impiega lo standard base W-CDMA⁶ come interfaccia di trasmissione, grazie al quale UMTS è in grado di raggiungere velocità superiori e di gestire un maggior numero di utenti rispetto alle reti 2G GSM.

L'UMTS viene a volte denominato 3GSM, per mettere in evidenza la combinazione tra la tecnologia 3G e lo standard GSM di cui è successore.

3.3.1 Caratteristiche tecniche

UMTS è, come spesso accade nell'ambito delle tecnologie delle telecomunicazioni, una combinazione di più interfacce trasmissive, alcune delle quali ereditate dal precedente GSM.

Tra queste, lo standard di terza generazione che caratterizza principalmente le prestazioni dell' UMTS è il W-CDMA, un'interfaccia a banda larga e spettro espanso basata sulla tecnologia di accesso multiplo a divisione di

⁶ *Wideband Code Division Multiple Access.*

codice CDMA⁷, dove tutti gli utenti utilizzano la banda disponibile contemporaneamente e a ciascun utente viene assegnato un codice per codificarne il segnale corrispondente.

Come GPRS, UMTS consente di veicolare dati su protocollo IP con le stesse modalità utilizzate dalle reti fisse di trasmissione dati, cioè tramite commutazione di pacchetto, e integra questo tipo di servizio con la caratteristica fondamentale di poter gestire traffico vocale, che attualmente viene trasportato su reti a commutazione di circuito.

Una delle principali differenze rispetto al GSM è la configurazione dell'interfaccia trasmissiva, nella quale sono possibili connessioni con le dorsali di varie altre reti, come ad esempio Internet, ISDN, GSM o altre reti UMTS.

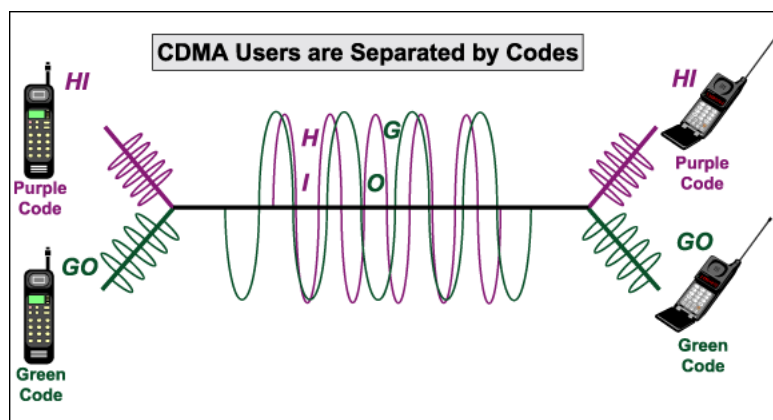


Figura 3.4: Esempio di accesso CDMA.

3.3.1.1 Velocità di trasmissione

Come altre implementazioni del W-CDMA, UMTS utilizza una coppia di canali a 5 MHz di larghezza di banda, che permettono di gestire fino a 100 chiamate voce contemporaneamente, o equivalentemente di supportare traffico dati a velocità nominali fino a 2 Mb/s.

Se si considerano anche i protocolli HSDPA⁸ e HSUPA⁹, appartenenti alla famiglia di protocolli HSPA e che sono stati aggiunti allo standard UMTS solo nelle ultime versioni per aumentarne le prestazioni, si possono raggiungere velocità teoriche nella trasmissione dati di 14 Mb/s.

⁷ Code Division Multiple Access.

⁸ High-Speed Downlink Packet Access.

⁹ High-Speed Uplink Packet Access.

Il W-CDMA utilizza una serie di codici digitali per la separazione dei vari utenti: a ciascun utente viene assegnato un proprio codice per la codifica del segnale, e solamente il ricevitore che conosce il codice utilizzato per la trasmissione è in grado di decodificare il segnale relativo a quel determinato utente. Le trasmissioni di altri utenti, codificate con codici diversi, sono, di fatto, fonte di rumore. Il ricevitore è in grado di decodificare correttamente l'informazione trasmessa unicamente se conosce il codice utilizzato per la trasmissione e se la fonte di rumore generata dagli altri utenti che accedono al servizio non supera un determinato limite.

Di conseguenza, è intuibile che maggiori sono gli utenti connessi contemporaneamente allo stesso nodo di rete e maggiore sarà il rumore di fondo generato dal traffico, degradando in questo modo le prestazioni del collegamento, che mediamente raggiungono una velocità di 360 Kb/s in una rete UMTS con W-CDMA, e di circa 1.5 Mb/s per UMTS/HSPA.

Le velocità di trasmissione effettive dunque dipendono, al solito, da numerosi fattori, principalmente:

- Modello del terminale utente utilizzato.
- Distanza tra il terminale e l'antenna di rete più vicina.
- Numero di utenti che utilizzano il servizio nell'area di copertura della stessa BS.

Per quanto riguarda la latenza, UMTS nelle sue prime versioni riportava alcuni problemi di prestazioni, che l'aggiunta di HSPA ha parzialmente risolto portando i valori medi di RTT sull'ordine di $100 - 200\text{ ms}$.

3.3.1.2 Frequenze di funzionamento e modulazione

La banda prevista per le tecnologie UMTS è compresa tra $1885 - 2025\text{ MHz}$ e $2110 - 2200\text{ MHz}$, suddivisa come segue:

- $1920 - 1980\text{ MHz}$ e $2110 - 2170\text{ MHz}$: rispettivamente *uplink/downlink* appaiati con modalità FDD¹⁰ e spaziatura di canale 5 MHz ; trasmissione digitale voce simmetrica che consente ampia mobilità.
- $1900 - 1920\text{ MHz}$ e $2010 - 2025\text{ MHz}$: *uplink* e *downlink* non appaiati con modalità TDD¹¹ e spaziatura di canale 5 MHz ; trasmissione dati asimmetrica con mobilità limitata, soprattutto in ambienti *indoor*.

¹⁰ *Frequency Division Duplex.*

¹¹ *Time Division Duplex.*

- 1980 – 2010 MHz e 2170 – 2200 MHz: *uplink* e *downlink* per connessione satellitare.

La modulazione utilizzata da UMTS/W-CDMA è la *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK), una modulazione che si dimostra essere piuttosto robusta al rumore e quindi particolarmente adatta allo standard CDMA.

3.3.2 Elementi di rete

L'architettura di rete UMTS è pensata per fornire prestazioni di gran lunga superiori a quella GSM, e soprattutto prevede il trasferimento dati, servizio che GSM non supporta.

Tuttavia la quasi totalità delle reti GSM esistenti sono state dotate di supporto GPRS per ovviare alla mancanza di traffico dati; questa operazione ha reso più facile e meno costoso il passaggio a UMTS, perché buona parte degli elementi di rete sono stati riutilizzati o semplicemente aggiornati al nuovo protocollo.

I principali elementi di una rete UMTS sono riportati in Fig. 3.5 e in Fig. 3.6 nella pagina seguente:

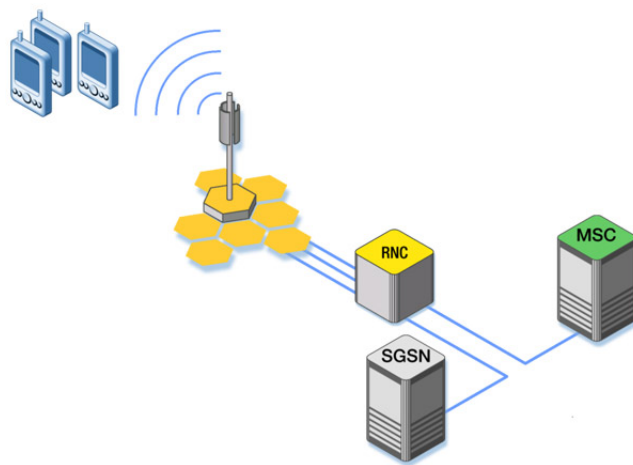


Figura 3.5: Elementi di rete UMTS.

- **Terminale Utente:** si tratta tipicamente di sistemi di telefonia mobile e applicazioni modem, come ad esempio schede PCMCIA e chiavi USB, per fornire connettività a dispositivi portatili.

- **Radio Network Controller (RNC)**: questo elemento della rete radio controlla i nodi trasmettenti collegati ad esso (denominati usualmente *Node B*), suddividendo tra essi le risorse disponibili per la trasmissione e gestendo il traffico in ingresso e uscita. In aggiunta, si occupa della codifica/decodifica dei dati per garantire la sicurezza della comunicazione radio.
- **Serving GPRS Support Node (SGSN)**: questo elemento viene riutilizzato dalla rete GPRS, con le opportune modifiche. Gestisce il traffico dati a commutazione di pacchetto, e veicola i pacchetti IP verso la rete Internet tramite un *Gateway* opportuno, denominato GGSN¹².
- **Mobile Switching Centre (MSC)**: è il nodo di commutazione che interfaccia la rete UMTS con le altre reti a commutazione di circuito, gestendo di conseguenza il traffico vocale.

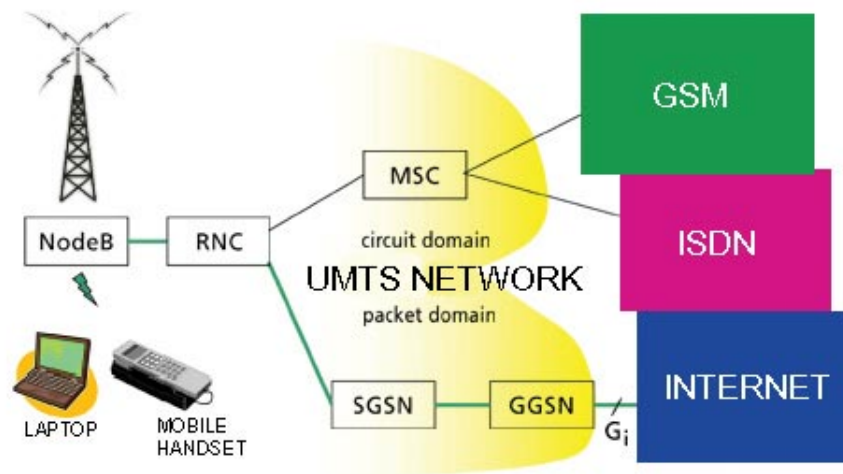


Figura 3.6: Connessione di UMTS con le dorsali di altre reti.

3.3.3 Principali applicazioni

UMTS è una tecnologia progettata per fornire agli utenti di telefonia mobile un servizio a commutazione di pacchetto ad elevate prestazioni, integrando

¹²Gateway GPRS Support Node.

al contempo la funzione voce in modo da renderla compatibile con più reti a commutazione di circuito.

Le frequenze di funzionamento di UMTS sono state vendute tramite asta dai governi di tutto il mondo ai principali operatori di telefonia mobile, e rientrano quindi nel campo delle frequenze licenziate: è necessario rivolgersi ad un operatore per poter usufruire del servizio, che risulta pertanto erogato unicamente a pagamento, e non utilizzabile per costruire reti private proprietarie.

Di conseguenza, i dispositivi che utilizzano UMTS sono principalmente computer palmari PDA¹³ e telefoni cellulari, che sono in grado di fornire all'utente sia traffico vocale che possibilità di connettersi a reti globali come Internet e utilizzarne svariate applicazioni, come ad esempio il *web-browsing* e la posta elettronica.

Esiste inoltre tutta una categoria di dispositivi, come per esempio schede PCMCIA e chiavi USB, progettati per fornire connessione Internet a terminali portatili comportandosi come dei modem e sfruttando la parte di rete UMTS a commutazione di pacchetto.



(a) Telefono cellulare.



(b) Modem USB.

Figura 3.7: Esempi di dispositivi UMTS.

3.3.4 Riepilogo caratteristiche

Vengono riportati in tabella 3.3 nella pagina successiva i dati tecnici relativi al protocollo UMTS, e successivamente sottolineati punti di forza e di debolezza di questa tecnologia:

¹³ *Personal Digital Assistant*.

UMTS: <i>Universal Mobile Telecommunication System</i>	
Velocità di trasmissione	fino a 2 Mb/s - fino a 14 Mb/s con HSPA
Copertura	30 Km (Cella)
Bande di trasmissione	<i>Uplink</i> : 1900 – 1920 MHz TDD ; 1920 – 1980 MHz FDD <i>Downlink</i> : 2100 – 2025 MHz TDD ; 2110 – 2170 MHz FDD
Modulazione	QPSK: <i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
Latenza	100 – 200 ms

Tabella 3.3: Caratteristiche UMTS.

- Servizio *Always on*: non è richiesta una fase di connessione per accedere alla linea di trasmissione dati.
- Connessione *on-demand*: il canale di trasmissione viene utilizzato unicamente quando c'è dell'informazione da trasmettere.
- Ampia copertura per cella; va sottolineato che maggiore è la distanza dalla BS più vicina e peggiore risulta la qualità del segnale, con conseguente riduzione delle prestazioni.
- Compatibilità con numerose reti a commutazioni di circuito (es: GSM, ISDN) e a commutazione di pacchetto (Internet).
- Funzionamento su bande licenziate: è necessario rivolgersi ad un *provider* per poter usufruire del servizio UMTS. Questo fatto può influire notevolmente anche sull'area di copertura della rete, che non è garantita soprattutto in aree rurali poco popolate.
- Buona banda di trasmissione: valori tipici si attestano attorno a 300 – 400 Kb/s e fino a 1.5 Mb/s utilizzando la famiglia di protocolli HSPA.
- Bassa latenza di trasmissione, dell'ordine di 100 – 200 ms.

3.4 IEEE 802.11: Wi-Fi

Con la sigla IEEE 802.11 si identifica un insieme di standard che definisce la comunicazione tra dispositivi in una rete locale senza fili (WLAN¹⁴) nelle bande di frequenza radio a 2.4, 3.6 e 5 GHz.

Il marchio Wi-Fi¹⁵ nasce nel 1999 presso la Wi-Fi Alliance, un'organizzazione *non-profit* formata da svariate industrie leader nel settore delle telecomunicazioni, con lo scopo di certificare i prodotti basati sugli standard 802.11 per favorire l'adozione di un'unica piattaforma tecnologica per la banda larga senza fili nel mondo.

A seguito della profonda connessione tra il marchio Wi-Fi e la famiglia di standard 802.11 su cui si basano i prodotti certificati, il termine Wi-Fi viene ora spesso utilizzato come sinonimo di "Tecnologia IEEE 802.11".



Ad oggi, dispositivi Wi-Fi vengono installati regolarmente in molti oggetti di uso quotidiano, come *personal computers*, telefoni cellulare, stampanti, palmari PDA, elettrodomestici, e in molti luoghi pubblici in ambito urbano, a dimostrazione di quanto il mercato sorto attorno a questo tipo di tecnologia sia in continua espansione.

3.4.1 Caratteristiche tecniche

Gli standard 802.11 consentono di sviluppare reti locali (LAN¹⁶) senza connessioni dirette ai terminali utente, utilizzando trasmissioni radio.

Tuttavia, la tecnologia 802.11 è in continua evoluzione: il protocollo viene costantemente aggiornato e nuove versioni vengono rilasciate da IEEE con opportuni emendamenti che ne migliorano le prestazioni per rispondere alle crescenti domande di mercato.

Da qui deriva la necessità, da parte del mondo delle industrie, di riunire sotto uno stesso marchio i prodotti certificati per essere compatibili con le varie versioni dello standard.

¹⁴ *Wireless Local Area Network.*

¹⁵ *Wireless Fidelity.*

¹⁶ *Local Area Network.*

L'evoluzione degli standard IEEE 802.11 su cui si basa la tecnologia Wi-Fi è iniziata nel 1997 con la prima versione, poi ratificata nel 1999 con il nome di 802.11a, ed è proseguita, attraverso vari emendamenti tra cui principalmente l' 802.11b e l' 802.11g, fino all'ultima versione 802.11n rilasciata nel mese di Settembre del 2009.

3.4.1.1 IEEE 802.11a

Data di emissione	Ottobre 1999
Frequenza operativa	5 GHz
<i>Throughput</i>	20 Mb/s
<i>Bit rate</i>	54 Mb/s
Copertura massima <i>indoor</i>	15 metri
Copertura massima <i>outdoor</i>	30 metri

Tabella 3.4: Caratteristiche 802.11a.

L'emendamento 802.11a allo standard 802.11 del 1997 fu ratificato ufficialmente nel 1999.

802.11a utilizza lo stesso protocollo principale dello standard originale, operando a 5 GHz ma con un' interfaccia aerea OFDM¹⁷ che garantisce un *bit rate* fino a 54 Mb/s.

Lavorando alla frequenza di 5 GHz, 802.11a ha il grosso vantaggio di essere più robusto alle interferenze rispetto agli standard funzionanti a 2.4 GHz, dal momento che quest'ultima è una banda utilizzata da un gran numero di dispositivi che di conseguenza generano interferenza di segnale.

D'altra parte, lavorando ad una frequenza più alta si ha lo svantaggio di avere in media una ridotta area di copertura, che infatti in 802.11a è minore rispetto alle altre versioni dello standard, dal momento che le onde elettromagnetiche tendono ad essere maggiormente assorbite dagli ostacoli fisici.



¹⁷Orthogonal Frequency-Division Multiplexing.

3.4.1.2 IEEE 802.11b

802.11b ha la capacità di trasmettere al massimo 11 Mb/s e utilizza il *Carrier Sense Multiple Access con Collision Avoidance* (CSMA/CA) come metodo di trasmissione delle informazioni.

Data di emissione	Ottobre 1999
Frequenza operativa	2.4 GHz
<i>Throughput</i>	5 Mb/s
<i>Bit rate</i>	11 Mb/s
Copertura massima <i>indoor</i>	45 metri
Copertura massima <i>outdoor</i>	90 metri

Tabella 3.5: Caratteristiche 802.11b.

Il protocollo utilizza le frequenze nell'intorno dei 2.4 GHz , ed ha un maggior raggio di copertura rispetto a 802.11a, ma bisogna sottolineare che metallo, acqua ed in generale ostacoli solidi riducono drasticamente la portata del segnale.

Inoltre, le bande nell'intorno dei 2.4 GHz sono molto utilizzate da una vasta gamma di dispositivi radio, e risultano quindi avere problemi di interferenza: per questo motivo lo standard, quando il segnale è troppo disturbato, prevede di ridurre la velocità massima a 5.5 , 2 o 1 Mb/s per consentire al segnale di essere decodificato correttamente.

802.11b, anche se ratificato assieme a 802.11a, ha riscosso molto più successo a livello mondiale di quest'ultimo, questo perché al momento della sua commercializzazione le bande nell'intorno dei 5 GHz in molti Stati risultavano riservate ad uso militare e non ancora liberalizzate; 802.11b dunque è stata la versione dello standard IEEE 802.11 utilizzata da Wi-Fi Alliance per fondare il marchio Wi-Fi.



3.4.1.3 IEEE 802.11g

Nel mese di giugno del 2003 è stato ratificato un terzo standard di modulazione: 802.11g. Questa versione del protocollo lavora alle frequenze nell'intorno

Data di emissione	Giugno 2003
Frequenza operativa	2.4 GHz
Throughput	22 Mb/s
Bit rate	54 Mb/s
Copertura massima indoor	45 metri
Copertura massima outdoor	90 metri

Tabella 3.6: Caratteristiche 802.11g.

dei 2.4 GHz, allo stesso modo di 802.11b, ma utilizzando la stessa interfaccia aerea OFDM di 802.11a, che garantisce un *bit rate* fino a 54 Mb/s.

L' *hardware* che implementa 802.11g è del tutto compatibile con 802.11b, ma quando si trova a operare con periferiche b deve ovviamente ridurre la sua velocità a quella dello standard precedente.

Questo ha portato numerosi problemi di compatibilità tra le tipologie di periferiche esistenti sul mercato, perché di fatto in un'intera rete formata da modelli 802.11g è sufficiente la presenza di una sola periferica b per ridurre drasticamente le prestazioni dell'intera rete.

Inoltre, come le periferiche 802.11b, anche quelle 802.11g, lavorando alla frequenza di 2.4 GHz, risultano avere problemi di interferenza.



3.4.1.4 IEEE 802.11n

Data di emissione	Settembre 2009
Frequenza operativa	2.4 GHz, 5 GHz
Throughput	50 – 144 Mb/s
Bit rate	300 Mb/s
Copertura massima indoor	91 metri
Copertura massima outdoor	182 metri

Tabella 3.7: Caratteristiche 802.11n.

802.11n nasce con l'idea di dotare le versioni precedenti dello standard con la tecnologia MIMO¹⁸, che prevede l'utilizzo di più di un'antenna, sia in trasmissione che in ricezione, per aumentare le prestazioni della trasmissione. È una delle diverse forme di tecnologia di antenna intelligente (*smart antenna*), ovvero che sfrutta un *array* di singole antenne per elaborare il segnale.

MIMO offre miglioramenti notevoli nel *throughput* e nella distanza di trasmissione senza ricorrere a banda addizionale o a maggiore potenza di trasmissione bensì tramite una maggiore efficienza spettrale (più bit al secondo per hertz di banda) e una più alta affidabilità del collegamento.

802.11n è stato approvato dalla IEEE nel mese di settembre del 2009; tuttavia, le case produttrici avevano già iniziato a progettare la migrazione delle reti di vecchia generazione verso la nuova tecnologia, basandosi su di una bozza del 2007 dell'emendamento 802.11n, che è stata certificata dalla Wi-Fi Alliance.



3.4.1.5 Portata

Le reti che implementano la tecnologia Wi-Fi hanno una copertura massima limitata.

Per quanto le distanze raggiungibili siano aumentate significativamente grazie ai più recenti emendamenti sottoscritti da IEEE alla tecnologia 802.11, un nodo di rete Wi-Fi ha una portata massima di circa 30 m, operando in ambienti *indoor*, e di circa 100 m *outdoor*, nel caso vengano utilizzate antenne omnidirezionali; questa caratteristica circoscrive, ovviamente, gli ambiti di utilizzo della tecnologia, che ad oggi viene impiegata soprattutto per fornire connettività senza fili in ambienti urbani pubblici e all'interno di edifici privati, tramite opportune reti costituite da numerosi *access point* che garantiscono la copertura del segnale.

Di norma vengono utilizzate antenne omnidirezionali per distribuire la connettività all'interno di uffici, o comunque in zone private e relativamente piccole. Oppure, con raggi d'azione più grandi, è possibile, tramite questa tipologia di antenne, coprire aree pubbliche come ad esempio aeroporti o centri commerciali.

¹⁸ *Multiple Input Multiple Output.*

Utilizzando antenne direttive è invece possibile progettare collegamenti punto-punto per coprire grandi distanze, definibili in termini di chilometri, e formare dorsali tra reti locali situate in luoghi anche molto lontani tra loro.

Una delle conseguenze principali dei requisiti di distanza imposti dalle tipologie di rete WLAN è il consumo di potenza dei dispositivi facenti parte della rete: rispetto a tecnologie come Bluetooth, che sono state progettate per supportare applicazioni wireless PAN¹⁹ che coprono mediamente distanze $< 10 m$, i dispositivi Wi-Fi consumano molta più potenza e questo aspetto diventa critico nel momento in cui si voglia integrare periferiche con tecnologia 802.11 in dispositivi portatili.

3.4.1.6 Sicurezza

Il problema principale che riguarda la sicurezza nelle reti wireless rispetto alle reti cablate è la maggiore facilità di accesso al mezzo; non potendo proteggere fisicamente la rete dai tentativi di accesso esterni, è necessario abilitare robusti sistemi di codifica del segnale per scongiurare utilizzi non autorizzati della rete da parte di terzi.

Usualmente, all'atto dell'acquisto di dispositivi di rete Wi-Fi, non sono previste nella configurazione predefinita protezioni da uso non autorizzato: questo fatto ha portato al proliferare in zone urbane di un numero considerevole di reti private liberamente accessibili.

I metodi per evitare utilizzi non autorizzati sono nati di pari passo con lo sviluppo di nuovi algoritmi di codifica e il superamento di tecnologie che, nel lungo periodo, sono risultate poco efficaci. Il primo sistema sviluppato è stato il WEP²⁰ che però si è dimostrato molto inefficiente ed è considerato, ad oggi, totalmente inaffidabile per proteggere una qualsiasi rete senza fili.

Per sopperire ai problemi del WEP sono stati progettati dapprima il protocollo WPA²¹, e successivamente WPA2, quest'ultimo considerato tutt'ora molto affidabile.

3.4.1.7 Interferenza

Le bande di frequenza utilizzate dalla tecnologia Wi-Fi possono presentare, soprattutto in ambienti dove sono presenti numerosi *access points*, notevoli problemi di interferenza, dovuti principalmente alla possibile sovrappo-

¹⁹ *Personal Area Network.*

²⁰ *Wired Equivalent Privacy.*

²¹ *Wi-Fi Protected Access.*

posizione dei canali trasmissivi nello spettro utilizzato da 802.11b/g e al conseguente degrado del SNR²².

Inoltre, molti altri apparecchi utilizzano le frequenze nell'intorno dei 2.4 GHz: forni a microonde, dispositivi Bluetooth, radio amatoriali, sistemi di videosorveglianza, sono solo alcuni esempi di dispositivi in grado di generare interferenza con le periferiche Wi-Fi.

Se si intende utilizzare la tecnologia Wi-Fi come soluzione per progettare una rete wireless, bisogna dunque tenere conto anche di questo tipo di problematica, e posizionare gli *access points* sul territorio possibilmente in luoghi a basso inquinamento elettromagnetico.

3.4.2 Elementi di rete

Le reti Wi-Fi sono infrastrutture relativamente economiche e di veloce attivazione, che, grazie alla loro versatilità, possono essere utilizzate in svariati ambiti applicativi.



Alcuni esempi possono essere i seguenti:

- **Reti private aziendali:** per connettere i terminali e altre periferiche negli uffici di un'azienda, o tra sedi diverse dell'azienda stessa, senza dover ricorrere ad una infrastruttura cablata.
- **Reti pubbliche comunali:** per fornire connettività ai cittadini in ambienti pubblici come uffici, scuole, mezzi di trasporto, ma anche all'aperto nei parchi e nelle piazze principali.

²²Signal-to-Noise Ratio.

- **Reti private domestiche:** utilizzate dai privati per connettere tra loro vari dispositivi come ad esempio *personal computer* e stampanti all'interno dell'area domestica.
- **Reti private per attività economiche:** installate tipicamente da gestori di piccole-medie imprese (come ad esempio hotel, ristoranti, porti, aeroporti) per fornire servizi alla clientela.

La tecnologia Wi-Fi, visto il limitato raggio di copertura delle singole stazioni, è la soluzione ideale per la costruzione di reti che forniscano connettività locale e per portare connessione a larga banda nelle zone isolate e nei piccoli centri, dove è difficile, o comunque molto costoso, posare fibra ottica.

Gli elementi fondamentali che costituiscono una rete Wi-Fi sono tre:

- **Connessione ad una rete cablata:** usualmente una dorsale DSL o in fibra ottica, è il collegamento che fornisce il segnale agli *access points*, che poi viene trasmesso da questi al resto della rete.
- **Access Point (AP):** spesso denominati *hotspots*, sono le stazioni base che forniscono connettività ai terminali utente in una determinata area di copertura. Possono essere a loro volta direttamente connessi ad una rete cablata oppure funzionare semplicemente come ripetitori del segnale radio in una architettura cosiddetta a *mesh*.
- **Terminale Utente:** sono varie tipologie di dispositivi in grado di fornire agli utenti connettività wireless utilizzando gli AP Wi-Fi; tipicamente sono telefoni cellulari, palmari PDA, schede PCMCIA per *personal computers*, ecc.

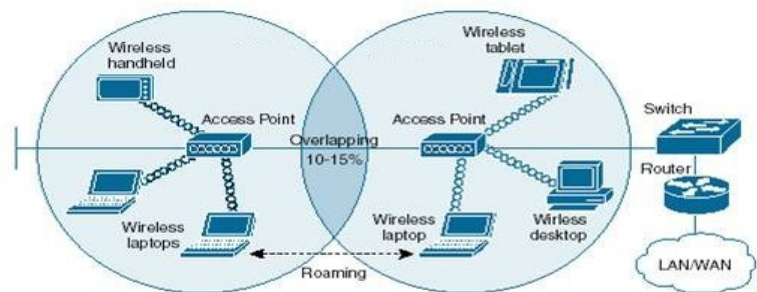


Figura 3.8: Esempio di struttura di rete Wi-Fi.

Sono previste principalmente tre topologie di rete basate sullo standard 802.11, e più precisamente:

- **Topologia *peer-to-peer***: i terminali utente comunicano direttamente tra loro, a patto di trovarsi nel reciproco raggio di copertura, senza aver bisogno di un AP. Possono quindi scambiare dati in connessione locale, senza poter accedere, salvo avere una connessione via cavo, ad una rete esterna.
- **Topologia basata su AP**: i terminali utente comunicano tramite uno o più AP, che inoltre garantiscono loro una connessione dati ad una rete esterna (tipicamente Internet).
- **Topologia punto-multipunto**: questo tipo di rete è utilizzato per connettere tra loro varie diverse reti locali situate in punti distanti del territorio. Usualmente per questo tipo di connessione vengono usate antenne direttive, che richiedono, per un corretto funzionamento, una chiara visibilità ottica tra i punti della rete che si vogliono connettere.

Un esempio di come possano essere integrate le varie tipologie di rete basate su tecnologia Wi-Fi al fine di fornire una copertura ad area è riportato in Fig. 3.9.

La connessione alla dorsale, rappresentata in rosso nel disegno e che può essere via cavo o anche semplicemente un collegamento senza fili punto-punto, viene garantita ad un AP primario che poi smista il segnale tramite connessione punto-multipunto (collegamenti in blu) a vari AP locali che si occupano di fornire connettività agli utenti.

3.4.3 Principali applicazioni

La versatilità che caratterizza i dispositivi di rete Wi-Fi rende questa tecnologia uno dei principali protagonisti nella lotta al cosiddetto *digital divide*, cioè al divario esistente tra coloro i quali hanno accesso a tecnologie fondamentali per lo sviluppo economico e culturale, quali ad esempio Internet, e chi invece hanno un accesso limitato, o addirittura inesistente, alle stesse risorse.

Wi-Fi dunque è considerato uno degli strumenti principali per fornire connettività dati, con particolare attenzione alla rete Internet, in quelle zone rurali o densamente popolate dove le connessioni tradizionali via cavo risultano essere troppo costose oppure impraticabili per via del territorio impervio.

Un'ulteriore punto di forza delle tecnologie 802.11 è il loro funzionamento su bande di frequenza non licenziate e dunque indipendenti da *provider*: per questo motivo, Wi-Fi viene spesso utilizzato da privati (imprese, comuni, ecc.) per la costruzione di reti locali *ad hoc* a basso costo ed alta efficienza.

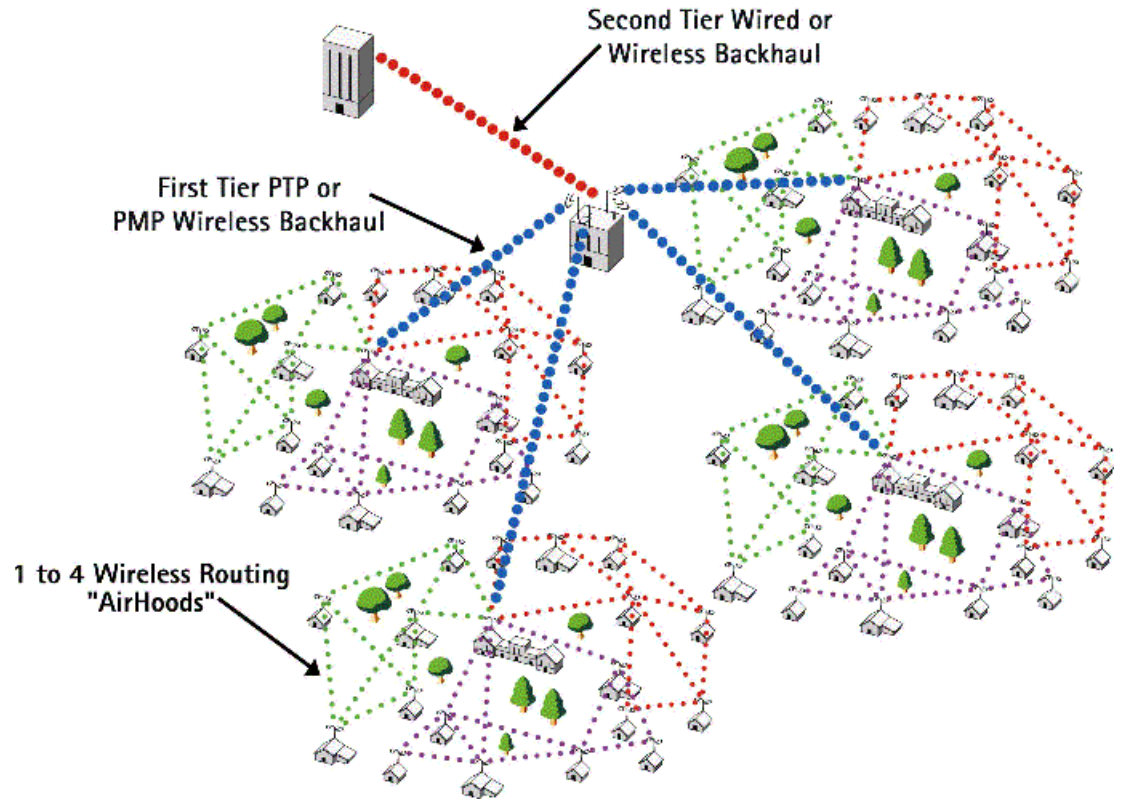


Figura 3.9: Esempio di integrazione tra varie topologie di rete Wi-Fi.

3.4.4 Riepilogo caratteristiche

Nella tabella 3.8 vengono riassunte le caratteristiche principali dei protocolli principali della famiglia IEEE 802.11:

- Ridotta copertura per cella, con conseguente necessità di posare un numero molto elevato di BS per poter coprire aree molto grandi.
- Esistenza di uno standard certificato, che garantisce l'interoperabilità fra apparecchio e rete anche all'estero, per una più rapida e facile installazione ed espansione successiva della rete.
- La presenza di numerosi produttori ha creato una notevole concorrenza abbassando molto i prezzi iniziali di questa tecnologia.

Tecnologia 802.11	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n
Data di emissione	Ottobre 1999	Ottobre 1999	Giugno 2003	Settembre 2009
Frequenza operativa	5 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz, 5 GHz
<i>Throughput</i>	20 Mb/s	5 Mb/s	22 Mb/s	50 – 144 Mb/s
<i>Bit rate</i>	54 Mb/s	11 Mb/s	54 Mb/s	300 Mb/s
Copertura <i>indoor</i>	15 metri	45 metri	45 metri	91 metri
Copertura <i>outdoor</i>	30 metri	90 metri	90 metri	182 metri

Tabella 3.8: Riepilogo caratteristiche della tecnologia 802.11

- Funzionamento su bande non licenziate: l'indipendenza dai *provider* rende questa tipologia di rete molto versatile e adatta ad essere posata e utilizzata come rete privata anche in aree scarsamente popolate o comunque poco accessibili.
- Elevata banda di trasmissione, dipendente comunque dal contesto ambientale e dal tipo di tecnologia 802.11 utilizzata.
- Latenza di trasmissione trascurabile, dell'ordine di 1 – 3 ms.
- Possibili interferenze: utilizzando le bande a 2.4 GHz si corre il rischio di avere il segnale disturbato da altre tipologie di dispositivi.

3.5 HiperLAN

HiperLAN²³ è una famiglia di standard WLAN definita dall' ETSI²⁴. Descrive una serie di soluzioni europee alternative agli standard statunitensi IEEE 802.11.

Il progetto HiperLAN si è sviluppato parallelamente agli standard IEEE 802.11, con la necessità di migliorarne le prestazioni iniziali, soprattutto sotto il profilo della velocità di trasmissione: le prime strutture di rete WLAN infatti erano pensate per lavorare nella banda dei 2.4 GHz ed erano risultate molto sensibili, in termini di prestazioni, alle interferenze di altri dispositivi. ETSI dunque organizzò un gruppo di ricerca per sviluppare uno standard che garantisse prestazioni equivalenti a quelle di una rete LAN cablata, quale ad esempio la rete Ethernet.

²³ *High Performance Radio LAN.*

²⁴ *European Telecommunications Standards Institute.*

3.5.1 Caratteristiche tecniche

La famiglia di standard HiperLAN prevede 4 soluzioni: HiperLAN/1, HiperLAN/2, HiperACCESS e HiperLINK.

I quattro standard rispondono a necessità di rete differenti, che vanno dal collegamento punto-punto tramite ponte radio alle strutture punto-multipunto per fornire connettività locale.

Bisogna sottolineare che gli standard HiperLAN si preoccupano di definire il livello fisico del protocollo ma lasciano molte libertà ai costruttori sul livello *datalink*: per questo motivo, esistono molte evoluzioni proprietarie che migliorano notevolmente le prestazioni descritte nella prima versione dello standard sia sotto il profilo del *throughput* che di quello delle distanze massime di copertura.

Nel loro insieme, i protocolli HiperLAN coprono sostanzialmente tutte le topologie di rete previste dalla tecnologia Wi-Fi, con modalità leggermente differenti.

3.5.1.1 HiperLAN/1

Data di emissione	1996
Frequenza operativa	5 GHz
<i>Bit rate</i>	19 Mb/s
Copertura massima	50 metri

Tabella 3.9: Caratteristiche HiperLAN/1.

HiperLAN/1 propone una soluzione wireless locale per il trasporto IP, definendo un livello fisico a 5 GHz con modulazioni FSK²⁵.

E' paragonabile allo standard IEEE 802.11b, con la differenza che opera su frequenze nell'intorno dei 5 GHz, ed è quindi meno soggetto a interferenze, e supporta un *bit rate* maggiore della prima versione di 802.11. E' pensato per essere utilizzato tramite infrastrutture non centralizzate, cioè reti che non prevedono il supporto di una dorsale cablata, con topologie tipiche del *peer-to-peer*.

Il protocollo ha riscosso poco successo, perché meno versatile sotto molti punti di vista rispetto a 802.11b, soprattutto per quanto riguarda la mobilità, ma ha avuto la notevole importanza di proporre per la prima volta l'uso della banda nell'intorno dei 5 GHz per ridurre le interferenze dovute al sovrappollamento delle bande a 2.4 GHz.

²⁵ *Frequency-Shift Keying*.

3.5.1.2 HiperLAN/2

Data di emissione	2000
Frequenza operativa	5 GHz
<i>Bit rate</i>	54 Mb/s
Copertura massima indoor	50 metri
Copertura massima outdoor	5 km

Tabella 3.10: Caratteristiche HiperLAN/2.

A differenza della prima versione, HiperLAN/2 è stato sviluppato specificatamente per una struttura di rete con topologia basata su AP, ovvero in cui uno o più *hotspots*, connessi ad una rete cablata, forniscono connettività wireless ai terminali utente, che possono essere statici o anche in movimento.

HiperLAN/2 è in grado di interfacciarsi con altre reti IP e anche con dorsali UMTS, e garantisce alte prestazioni per quanto riguarda le velocità di trasmissione, paragonabili a IEEE 802.11a/g, utilizzando modulazioni di tipo OFDM, che si rivelano molto efficaci in situazioni ambientali dove si hanno numerosi riflessioni di segnale.

HiperLAN/2 inoltre pone enfasi sulla qualità del servizio (*Quality of Service* - QoS), perché progettato per dare supporto al traffico voce e ad applicazioni che consentono un ritardo massimo di trasmissione limitato.

A seguito del rilevante successo ottenuto da HiperLAN/2, a differenza del suo predecessore, IEEE ha promosso l'interoperabilità tra i propri standard 802.11 e il protocollo vagliato da ETSI, di modo che risulta possibile progettare reti complesse sfruttando entrambe le tecnologie in base alle esigenze di contesto.

3.5.1.3 HiperACCESS

Data di emissione	2003
Frequenza operativa	5 GHz
<i>Bit rate</i>	54 Mb/s
Copertura massima	5 km

Tabella 3.11: Caratteristiche HiperACCESS.

HiperACCESS è un protocollo per il trasferimento dati ad alta velocità, progettato per essere utilizzato su medie distanze.

Le configurazioni supportate sono esclusivamente punto-multipunto, senza mobilità e con il requisito di visibilità ottica tra le antenne delle stazioni base, e vengono quindi utilizzate per distribuire la connettività dalle dorsali in fibra ottica verso le BS del cosiddetto “ultimo miglio”, cioè le stazioni base che forniscono connessione dati ai vari AP della rete locale.

HiperACCESS è in grado di supportare pienamente HiperLAN/2: ciò rende i due protocolli capaci di condividere numerosi ambiti di implementazione e di essere utilizzati singolarmente oppure in coppia a seconda della tipologia di rete che si vuole implementare.

3.5.1.4 HiperLINK

Data di emissione	1997
Frequenza operativa	17 GHz
<i>Bit rate</i>	155 Mb/s
Copertura massima	150 metri

Tabella 3.12: Caratteristiche HiperLINK.

HiperLINK è una tecnologia ad alta velocità di trasmissione a corto raggio.

Prevede un utilizzo unicamente in modalità punto-punto, con antenne direzionali ad alta direttività, ed è sostanzialmente un protocollo di supporto a HiperLAN/2 e HiperACCESS, qualora questi ultimi avessero la necessità di utilizzare collegamenti molto veloci ma per brevi distanze.

3.5.2 Elementi di rete

Le reti che utilizzano la tecnologia HiperLAN sono concettualmente simili alle reti basate su IEEE 802.11: HiperLAN/2 e HiperACCESS vengono spesso utilizzati infatti congiuntamente con Wi-Fi in progetti di rete *last mile* atti a portare servizi wireless sia in ambienti urbani densamente popolati che in zone rurali.

In Fig. 3.10 a fronte è rappresentato un possibile esempio di rete basata su tecnologia HiperLAN: la connessione IP via cavo viene trasmessa in modalità punto-punto ad una stazione radiobase che si occupa di indirizzarla in modalità punto-multipunto, tramite protocollo HiperACCESS, alle CPE²⁶

²⁶ *Customer Premise Equipment.*

locali; da qui il segnale viene erogato agli utenti mobili utilizzando tipicamente HiperLAN/2 o in alternativa Wi-Fi, oppure anche una combinazione delle due tecnologie.



Figura 3.10: Esempio di rete HiperLAN.

Gli elementi principali della rete sono dunque:

- **Connessione ad una rete cablata:** tipicamente una dorsale DSL o fibra ottica, garantisce la connessione IP agli AP della rete wireless.
- **Access Point (AP):** sono le stazioni radiobase che si occupano di gestire la connettività dei terminali utente all'interno della propria zona di copertura. In alcuni casi possono venire configurati in modalità punto-punto oppure punto-multipunto allo scopo di trasmettere il segnale su lunghe distanze tramite antenne ad alta direttività.
- **Terminale Utente:** sono i dispositivi in grado di utilizzare gli AP HiperLAN per connettersi al servizio di rete dati senza fili. Possono

essere postazioni fisse, come terminali *pc* in un ufficio, oppure mobili come unità PDA o telefoni cellulare.

3.5.3 Principali applicazioni

Le reti HiperLAN hanno visto un notevole sviluppo applicativo in Europa a partire dal 2005.

Le infrastrutture a 5 GHz si sono infatti imposte sul mercato per le specifiche prestazioni multipunto che sono in grado di garantire e per i bassi costi richiesti dalle apparecchiature che utilizzano questa tecnologia.

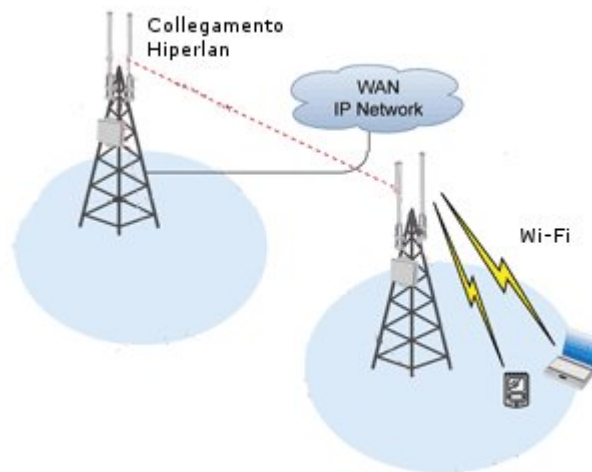


Figura 3.11: Integrazione tra le tecnologie HiperLAN e Wi-Fi.

I dispositivi HiperLAN oggi presenti sul mercato sono in grado di connettere, in modalità punto-multipunto e in condizione di totale visibilità tra le antenne, punti geografici molto distanti tra loro e garantendo velocità di collegamento fino a 70 Mb/s.

La compatibilità con le tecnologie IEEE 802.11 fa inoltre di HiperLAN la soluzione ideale per la connessione remota senza fili tra uno o più *hotspot* Wi-Fi anche molto distanti tra di loro.

Con la rete wireless HiperLAN è possibile, ad esempio, raggiungere comunità montane isolate da servizi di larga banda, creare reti Lan per le aziende aventi diverse sedi dislocate su vasti territori di una provincia o di un centro urbano. HiperLAN, inoltre, si dimostra una valida soluzione per

dare copertura di segnale a tutte quelle aree geografiche non raggiunte dal servizio GPRS o UMTS.

3.5.4 Riepilogo caratteristiche

Nella tabella 3.13 e a seguire sono riportate le principali caratteristiche dei protocolli costituenti lo standard HiperLAN:

Tecnologia HiperLAN	HiperLAN/1	HiperLAN/2	HiperACCESS	HiperLINK
Data emissione	1996	2000	2003	1997
Frequenza operativa	5 GHz	5 GHz	5 GHz	17 GHz
Bit Rate	20 Mb/s	20 Mb/s	20 Mb/s	156 Mb/s
Copertura Massima	50 metri	50 - 200 metri	5 km	150 metri

Tabella 3.13: Riepilogo caratteristiche della tecnologia HiperLAN.

- Tecnologia a basso costo e largamente utilizzata, soprattutto in Europa.
- Utilizzo su bande non licenziate: questo fatto permette l'utilizzo di questa tecnologia per la costruzione di reti private indipendenti da soggetti esterni.
- Elevata banda di trasmissione e ampio raggio di copertura.
- Utilizzabile principalmente in modalità punto-punto e punto-multipunto. In molte circostanze è richiesta la visibilità ottica tra le antenne in trasmissione ed in ricezione, anche se numerosi produttori oggi propongono soluzioni *hardware* in grado di gestire con buoni risultati anche certe situazioni di mancanza di visibilità (*NLoS*).
- Latenza di trasmissione trascurabile, dell'ordine di 1 – 3 ms.
- Tecnologia robusta alle interferenze, perché funzionante a 5 GHz.
- Intercompatibilità con gli standard IEEE 802.11.

3.6 IEEE 802.16: WiMAX

IEEE 802.16 è una famiglia di standard, sottoscritta dall'ente IEEE, che definisce i protocolli di comunicazione nelle reti senza fili in ambito metropolitano (WMAN²⁷).

²⁷ *Wireless Metropolitan Area Network*.

L'acronimo WiMAX²⁸ è stato definito nel 2001 da WiMAX Forum, un consorzio *non-profit* formato da più di 420 aziende il cui scopo è sviluppare, supervisionare, promuovere e testare l'interoperabilità e la compatibilità di sistemi basati sullo standard stesso, fornendo alle aziende del settore opportune certificazioni di prodotto.

Come per il marchio Wi-Fi, anche WiMAX ha rapidamente sostituito il termine tecnico IEEE 802.16 per identificare, nel suo insieme, la tecnologia.



WiMAX è una tecnologia per molti aspetti ancora in evoluzione, soprattutto nei paesi europei: la diffusione di servizi di ottima qualità basati su tecnologia HiperLAN ha infatti rallentato, sotto molti aspetti, la diffusione di WiMAX e di conseguenza le normative riguardanti il suo utilizzo (frequenze utilizzabili, modalità di richiesta del servizio, ecc.).

3.6.1 Caratteristiche tecniche

WiMAX è una tecnologia senza fili d'accesso a banda larga, nata specificatamente con lo scopo di poter fornire connettività su grandi distanze, paragonabili ad intere aree metropolitane, e in molte tipologie differenti di territorio.

Anche per la tecnologia WiMAX, e forse ancor di più rispetto a Wi-Fi, lo standard di riferimento è in continuo aggiornamento: nuove versioni vengono sottoscritte da IEEE con vari emendamenti che mirano a migliorare le prestazioni dello standard o, in certi casi, a fornire nuovi servizi richiesti dalle esigenze di mercato.

I principali emendamenti che caratterizzano l'evoluzione di WiMAX sono due: IEEE 802.16-2004 e IEEE 802.16e-2005, denominati rispettiva-

²⁸ *Worldwide Interoperability for Microwave Access.*

mente “Fixed WiMAX” e “Mobile WiMAX”, per evidenziare la principale caratteristica che differenzia le due versioni, ovvero la mobilità.

3.6.1.1 802.16-2004: Fixed WiMAX

Data di emissione	2004
Frequenza operativa	2 – 11 GHz, 3.5 GHz in Europa
<i>Bit rate</i>	75 Mb/s
Copertura massima	10 km

Tabella 3.14: Caratteristiche 802.16-2004.

IEEE 802.16-2004 venne sottoscritto da IEEE dopo un meticoloso lavoro di revisione dello standard 802.16 con l’obiettivo di allineare la tecnologia con la controparte europea HiperMAN proposta da ETSI.

Il protocollo prevede l’utilizzo di installazioni fisse con antenne direttive e non comprende la modalità *mobile*: da qui il nome di Fixed WiMAX.

Lo standard prevede di utilizzare le tecniche OFDM e OFDMA per la trasmissione, abbinate a molteplici tipologie di modulazioni (BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM), per rendere la comunicazione robusta anche in condizioni di assenza di visibilità ottica (NLoS: *Non Line of Sight*). Questa scelta permette di raggiungere *bit-rates* fino a 75 Mb/s in condizioni ideali, anche se valori più realistici che tengono conto delle condizioni ambientali e di utilizzo del canale da parte di un numero consistente di utenti ridimensiona notevolmente questa quantità.

3.6.1.2 802.16e-2005: Mobile WiMAX

Data di emissione	2005
Frequenza operativa	2 – 6 GHz, 3.5 GHz in Europa
<i>Bit rate</i>	30 Mb/s
Copertura massima	3.5 km

Tabella 3.15: Caratteristiche 802.16e-2005.

IEEE 802.16e-2005 è un emendamento a IEEE 802.16-2004 approvato da IEEE per includere nello standard la mobilità, non prevista nella precedente versione.

Questa versione dello standard viene spesso identificata con il nome di Mobile WiMAX, per evidenziare la caratteristica principale incorporata dall'emendamento.

La tecnica di modulazione OFDM viene combinata alla possibilità di utilizzare antenne adattative per la trasmissione, dispositivi in grado di “formare” il fascio radio in trasmissione e ricezione modificando la direzionalità dell'antenna con mezzi non meccanici ma elettronici, e ad un generale miglioramento nella gestione dell' *handover*, ossia il passaggio del terminale mobile da una stazione base ad un'altra senza perdita di connessione.

Queste caratteristiche aggiuntive dovrebbero permettere ad un terminale in movimento fino a una velocità di 120 km/h di rimanere collegato e trasferire dati; il limite è dettato dalle caratteristiche del protocollo di *handover* in base al rapporto di QoS.



Figura 3.12: Integrazione reti WiMAX e Wi-Fi.

3.6.1.3 Portata

Una delle peculiarità di WiMAX è il suo ampio raggio di copertura, sia in modalità punto-punto e punto-multipunto che in *mobile*, qualità resa ancora più efficace da complesse tecniche di gestione del segnale per garantire il funzionamento in condizioni NLoS.

Questa caratteristica rende WiMAX, alla pari di HiperLAN, una tecnologia potenzialmente in grado di sostituire i collegamenti via cavo in aree ad ampiezza metropolitana, potendo quindi essere utilizzata, ad esempio, per

connettere tra loro svariate reti locali a corto raggio basate su tecnologia Wi-Fi dislocate in punti geografici anche molto distanti tra di loro.

La differenza fondamentale con HiperLAN riguarda le frequenze utilizzate: in Europa, mentre HiperLAN opera su bande non licenziate, WiMAX è utilizzabile unicamente alle frequenze nell'intorno dei 3.5 GHz, cioè su bande coperte da licenza.

In altre parole, allo stato attuale della normativa europea non è possibile utilizzare la tecnologia WiMAX per la posa di reti private indipendenti da *provider*, cosa che, di fatto, relega questa tecnologia, almeno per il momento, al ruolo di alternativa senza fili alle dorsali DSL via cavo.

3.6.1.4 Supporto *NLoS*

Il canale radio di una comunicazione senza fili spesso viene definito come collegamento *LoS*²⁹ oppure *NLoS*³⁰. Nel primo caso, il segnale viaggia lungo un percorso diretto e senza ostacoli dal trasmettitore al ricevitore: questo tipo di collegamento richiede che il cosiddetto ellissoide di Fresnel sia totalmente libero da elementi esterni che possano disturbare il segnale.

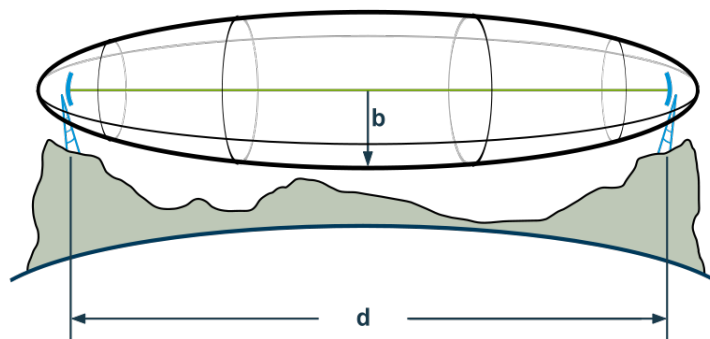


Figura 3.13: Ellissoide di Fresnel in un collegamento LoS.

Nel secondo caso invece il segnale giunge al ricevitore dopo aver subito numerose riflessioni e diffrazioni su ostacoli lungo il percorso: le componenti risultanti possono dunque essere sfasate le une con le altre, subire ritardi, avere differenze a livello di polarizzazione, ecc.

²⁹ *Line of Sight*.

³⁰ *Non Line of Sight*.

Una tecnologia che garantisce copertura anche in condizioni *NLoS* tipicamente impiega complessi sistemi di algoritmi per la ricostruzione del segnale in ricezione, oltre che particolari modulazioni del segnale in trasmissione.

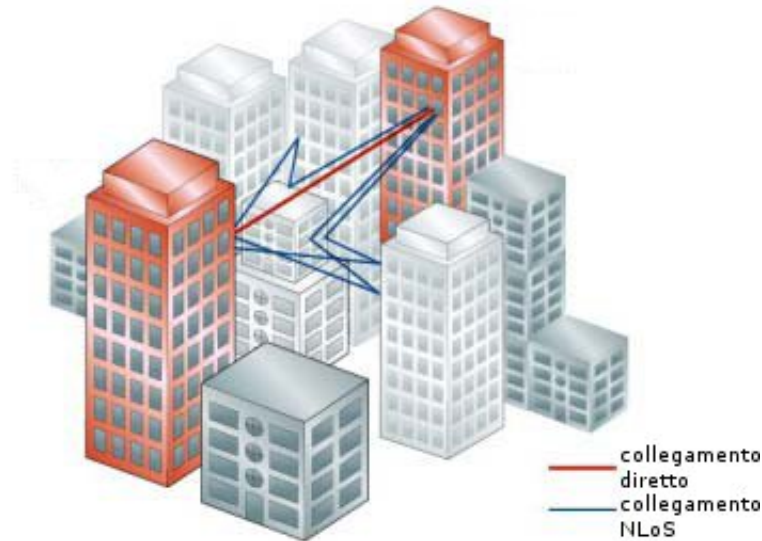


Figura 3.14: Esempio di collegamento NLoS.

WiMAX è una tecnologia che trasmissioni in condizioni di *NLoS*, anche se è stato rilevato, mediante numerose sperimentazioni, che in tali condizioni le prestazioni del collegamento degradano notevolmente. Questa caratteristica rappresenta la seconda differenza fondamentale con le reti HiperLAN: queste ultime infatti, salvo essere integrate da ulteriori tecnologie proprietarie da parte dei produttori, non prevedono la possibilità di essere utilizzate in collegamenti punto-punto o punto-multipunto *NLoS* ad ampio raggio.

3.6.2 Elementi di rete

Le reti WiMAX sono potenzialmente in grado di fornire connettività dati senza fili a tutti i livelli topologici: dalle lunghe dorsali nazionali in modalità punto-punto alla rete locale *mobile*.

WiMAX è una tecnologia che prevede la compatibilità con Wi-Fi e HiperLAN, e dunque può essere utilizzata per formare reti ibride a seconda delle esigenze.

Indipendentemente dalla topologia di rete, i principali elementi di una rete WiMAX sono riassumibili come segue:

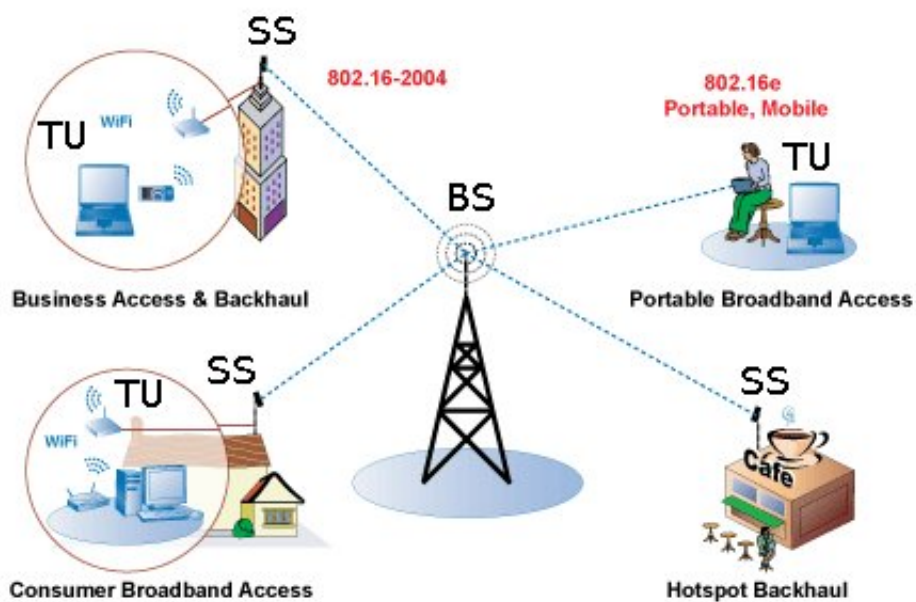
- **Base Station (BS)**: questa unità copre una determinata area e raccoglie il traffico proveniente dalle *Subscriber Station* alle quali è connessa l'utenza. La *Base Station* rappresenta il *gateway* (il passaggio di ingresso e di uscita) che permette agli utenti di connettersi alla rete WiMAX. Le *Base Station* sono collegate alla rete dalla quale ricevono/trasmettono i flussi dati delle varie *Subscriber Station*.
- **Subscriber Station (SS)**: inoltra il traffico proveniente dai terminali utente a cui è connessa verso la *Base Station*, che a sua volta inoltra il traffico verso la destinazione finale nella rete. Per fornire ad un edificio l'accesso alla rete, ad esempio, basta installare un'antenna connessa ad una *Subscriber Station* al suo esterno.
- **Repeater Station (RS)**: è l'apparato in grado di ripetere le trame ricevute e che serve a raggiungere utenze molto distanti dalla BS. Può inoltre a sua volta essere usato come SS per inoltrare il traffico di un terminale utente direttamente connesso ad essa.
- **Terminale Utente**: è l'apparato terminale tramite il quale l'utente si connette alla rete, che può essere ad esempio un *personal computer* o un telefono cellulare in grado di supportare la tecnologia 802.16.

3.6.3 Principali applicazioni

WiMAX è una tecnologia a grande copertura (molti chilometri) che usa spettro licenziato per connessioni dati punto-punto o punto-multipunto da un ISP a un utente finale, e che può essere utilizzata in combinazione con altri standard di rete locale, come Wi-Fi, per fornire collegamenti senza fili ad alte prestazioni nel settore cosiddetto *Last Mile*.

La connessione a banda larga garantita da WiMAX può essere utilizzata in numerosi ambiti aziendali e civili, come per esempio copertura di rete in zone rurali difficilmente raggiungibili con tecnologie via cavo, realizzazione di dorsali senza fili in territori impervi e che presentano problemi di *NLoS*, e via dicendo.

Vista, almeno per il momento, la caratteristica fondamentale di lavorare su frequenze licenziate, è prevedibile che WiMAX verrà utilizzato unicamente dalle grandi compagnie di telefonia, con l'intento di fornire a quella parte dell'utenza nazionale che non è raggiunta da connessioni dati ad alta velocità via cavo una valida alternativa basata su architetture di rete wireless.



(a) Elementi costituenti la rete.



(b) Rete con collegamenti NLoS.

Figura 3.15: Esempi di rete WiMAX.

3.6.4 Riepilogo caratteristiche

Di seguito vengono riassunte le caratteristiche fondamentali della tecnologia 802.16:

Tecnologia 802.16	802.16-2004	802.16e-2005
Data di emissione	2004	2005
Frequenza operativa	3.5 GHz in Europa	3.5 GHz in Europa
<i>Bit rate</i>	75 Mb/s	30 Mb/s
Copertura massima	10 km	3.5 km

Tabella 3.16: Riepilogo caratteristiche della tecnologia 802.16.

- Tecnologia ancora poco diffusa a livello europeo, con conseguenti costi di implementazione piuttosto consistenti.
- Utilizzo su bande licenziate e non licenziate: è possibile utilizzare la tecnologia WiMAX sia su frequenze soggette a licenza che su frequenze libere per reti private.
- Supporto *NLoS*: WiMAX prevede la possibilità di essere utilizzato anche in condizioni di assenza di visibilità ottica tra stazione trasmittente e ricevente, al costo di un calo piuttosto consistente delle prestazioni.
- Elevata banda di trasmissione ed ampio raggio di copertura.
- Latenza di trasmissione trascurabile, dell'ordine di 1 – 3 ms.
- Intercompatibilità con gli standard IEEE 802.11 e HiperLAN.

3.7 Radio Modem UHF

I radio modem sono una delle tecnologie ad oggi più utilizzate per creare reti private proprietarie (PRN³¹), utilizzate tipicamente per applicazioni industriali dove è richiesta la trasmissione di dati in tempo reale.

La principale caratteristica di questo tipo di tecnologia è la versatilità: il funzionamento alle frequenze UHF su bande non licenziate rende infatti questi dispositivi la soluzione ideale per la trasmissione dati all'interno di un'area circoscritta senza dover ricorrere ad un provider o a strutture di rete pubbliche, potenzialmente inaffidabili.

³¹ *Private Radio Networks.*

3.7.1 Caratteristiche tecniche

Le soluzioni radio UHF per la trasmissione dati presenti sul mercato sono molte e con caratteristiche molto diverse le une dalle altre: sono pensate infatti per rispondere ad esigenze di vario genere, e quindi possono variare molto tra loro in termini di prestazioni.



Figura 3.16: Coppia di dispositivi radio modem.

Generalmente, tutti questi dispositivi utilizzano frequenze non licenziate, tipicamente nelle bande dei 900 MHz , 2.4 GHz o 5.8 GHz . La scelta della frequenza di funzionamento è usualmente motivata dall'ampiezza dell'area che si vuole coprire con il segnale radio e dal livello di interferenza presente nell'area stessa: minore la frequenza, e maggiore risulta l'area di copertura del segnale, ma maggiore è il rischio di subire interferenze da altre apparecchiature che utilizzano la medesima banda di frequenze non licenziate. A seconda della configurazione scelta, i radio modem possono coprire distanze pari a $\sim 2\text{ km}$ *outdoor* in ambiente urbano e con scarsa visibilità ottica, per arrivare fino anche a $15 - 20\text{ km}$ in collegamenti punto-punto LoS e impiegando antenne ad alta direttività.

La velocità del collegamento può variare, in base agli apparecchi che si decide di impiegare, da $\sim 38\text{ kb/s}$ fino a $\sim 1.5\text{ Mb/s}$.

3.7.2 Elementi di rete

Le reti costituite da radio modem presentano architetture piuttosto semplici: gli unici elementi costituenti la rete infatti sono i radio modem stessi, che

possono funzionare in modalità punto-punto, punto-multipunto, *mobile* o ripetitore, per aumentare la copertura del segnale.

Gli utenti possono collegarsi alla rete tramite connessione diretta al radio modem, tipicamente utilizzando un cavo ethernet.

Un semplice esempio di collegamento punto-punto realizzato tramite una coppia di radio modem è rappresentato in Fig. 3.17.

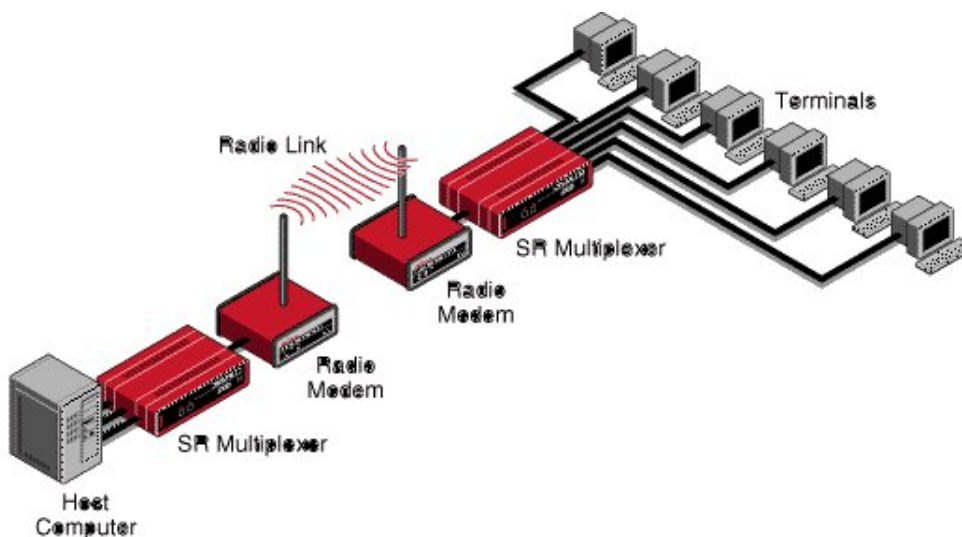


Figura 3.17: Esempio di collegamento mediante radio modem.

3.7.3 Principali applicazioni

I radio modem per la trasmissione dati vengono utilizzati in molti ambiti come elementi di reti locali private senza fili. Alcuni esempi sono:

- *Fleet Management*: supervisione e controllo del traffico di mezzi di trasporto.
- Sistemi SCADA³²: controllo e acquisizione dati per il monitoraggio di impianti industriali.
- Sistemi AMR³³: raccolta dati di consumo e utilizzo di risorse quali ad esempio acqua ed elettricità.

³² *Supervisory Control And Data Acquisition.*

³³ *Automatic meter reading.*

In tutte queste applicazioni, i radio modem svolgono il compito di fornire ai dispositivi del sistema un canale di comunicazione per lo scambio dati sicuro e affidabile, senza dover ricorrere ad una rete cablata.

3.7.4 Riepilogo caratteristiche

Nella tabella seguente vengono riassunte le principali caratteristiche dei radio modem UHF per la trasmissione dati:

Radio Modem UHF	
Frequenze operative	900 MHz, 2.4 GHz, 5.8 GHz
<i>Bit rate</i>	da $\sim 38\text{ kb/s}$ fino a $\sim 1.5\text{ Mb/s}$
Copertura massima	15 – 20 km in LoS, $\sim 2\text{ km}$ in NLoS

Tabella 3.17: Caratteristiche radio modem UHF.

- Ampio raggio di copertura.
- Semplicità e velocità di installazione e configurazione della rete.
- Utilizzo su bande non licenziate: ciò permette l'utilizzo di questa tecnologia per la progettazione di reti private indipendenti da *provider* esterni.
- Banda di trasmissione relativamente modesta: valori tipici variano da pochi *kb/s* a poco più di un *Mb/s*.
- Possibili interferenze: le frequenze di funzionamento, essendo non licenziate, potrebbero essere utilizzate da altri dispositivi nell'area di interesse, ed essere quindi disturbate.

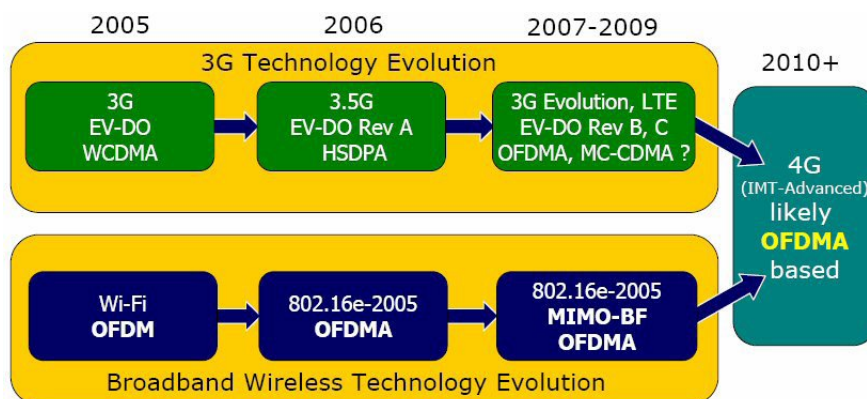
3.8 Protocolli 4G

Con il termine 4G si intendono le tecnologie e gli standard di quarta generazione nel campo della telefonia mobile.

Obiettivo della nuova generazione è fornire velocità di connessione pari a 1 Gb/s per terminali in condizioni di limitata mobilità, come ad esempio un utente nomadico in un normale *hotspot* Wi-Fi, e almeno 100 Mb/s per utenti connessi in totale mobilità, come per esempio su mezzi in movimento ad alta velocità.

I terminali 4G saranno compatibili anche con i vecchi standard 2G e 3G, anche se per sfruttare appieno le potenzialità della nuova tecnologia sarà necessario aggiornare o, in alcuni casi, sostituire buona parte degli apparati *hardware* e delle infrastrutture di rete.

Per questo motivo, è previsto un passaggio graduale al 4G, sfruttando alcune soluzioni intermedie come LTE.



3.8.1 Principali innovazioni

Una delle principali caratteristiche dei dispositivi di quarta generazione riguarderà il supporto IPv6.

Gli attuali standard di terza generazione infatti sono ancora basati su una doppia infrastruttura a commutazione di circuito e a commutazione di pacchetto, per gestire rispettivamente il traffico voce e quello dati. Le nuove tecnologie 4G invece si svilupperanno unicamente su sistemi a commutazione di pacchetto: in questo senso, è stata riconosciuta in IPv6 la soluzione ideale per dare pieno supporto a tutte le applicazioni necessarie ai dispositivi 4G per fornire servizi di alta qualità agli utenti mobili.

La seconda importante novità introdotta nei sistemi 4G è il pieno supporto della tecnologia MIMO, che rende i dispositivi in grado di trasmettere e ricevere il segnale radio attraverso schiere multiple di antenne, incrementando così notevolmente la copertura e la velocità del collegamento.

Infine, le notevoli prestazioni teoricamente fornite dalla nuova generazione in termini di *download* e *upload* sono garantite dalla tecnologia VSF-spread OFDM³⁴, un sistema di accesso al mezzo che utilizza frequenze radio multiple dove il fattore di ampiezza (*spreading factor*) è controllato in modo variabile per ottimizzare le esigenze della trasmissione in tempo reale.

³⁴ Variable-Spreading-Factor Spread Orthogonal Frequency Division Multiplexing.

3.8.2 LTE: *Long Term Evolution*



LTE è il principale protocollo intermedio tra la terza e la quarta generazione delle tecnologie di telefonia mobile. Per questo motivo viene spesso identificato come protocollo 3.5G.

LTE prevede di migliorare l'architettura UMTS esistente incrementandone notevolmente le prestazioni e orientandola a quello che saranno le tecnologie di generazione successiva.

Le specifiche LTE prevedono di ottenere velocità ≥ 100 Mb/s in *download* e ≥ 50 Mb/s in *upload*, utilizzando un'architettura di rete totalmente basata su protocollo IP, che dovrebbe sostituire l'attuale struttura GPRS ed essere compatibile non solo con tecnologie di nuova generazione come WiMAX ma anche con le attuali reti GSM e UMTS.

3.8.2.1 Caratteristiche tecniche

Le principali caratteristiche del protocollo LTE sono riassumibili come segue:

- **Alta efficienza spettrale:** la combinazione di modulazioni OFDM in *downlink* e *Single-Carrier* FDMA in *uplink* garantisce un'alta efficienza di utilizzo della banda disponibile.
- **Banda disponibile:** fino a 100 Mbps in *download* e fino a 50 Mbps in *upload*.
- **Bassa latenza:** RTT inferiore a 10 ms.
- **Supporto multibanda:** sono utilizzabili bande di frequenza di ampiezza variabile, 1.4, 3, 5, 10, 15 e 20 MHz.
- **Compatibilità con altre tecnologie:** LTE è progettato per essere compatibile con numerose tecnologie alternative, compresi gli standard di vecchia generazione 2G e 3G.

- **Supporto ottimale della mobilità:** garantita fino ai 15 km/h , con alte prestazioni dai 15 ai 120 km/h , comunque funzionale fino ai 350 km/h .
- **Alto rapporto utenti/cella:** supporto di almeno 200 utenti per cella con allocazioni di oltre 5 MHz di banda.
- **MIMO:** supporto di trasmissioni utilizzando la tecnica MIMO.
- **Modulazioni:** supporto di schemi di modulazione QPSK, 16 QAM e 64 QAM sia in *upload* che in *download*.

3.8.2.2 Elementi di rete

Uno dei principali vantaggi della tecnologia LTE è che, essendo sostanzialmente una evoluzione delle attuali reti UMTS, è in grado di gestire traffico dati proveniente anche da terminali di vecchia generazione, come quelli attualmente in uso dalla maggior parte dell'utenza.

Questa particolarità trova riscontro nell'architettura di rete prevista dal protocollo, che prevede i seguenti elementi fondamentali:

- ***Evolved Radio Access Network (RAN - eNodeB)*:** consiste in singoli nodi che implementano le funzioni di ottimizzazione delle risorse radio, crittazione/decrittazione delle informazioni, gestione dei nodi periferici e compressione/decompressione dei pacchetti.
- ***Serving Gateway (SGW)*:** ha il compito fondamentale di gestire il *route and forward* dei pacchetti e la mobilità degli utenti durante i periodi di *handover* tra i nodi. Si occupa inoltre di interfacciare e instradare il flusso proveniente dai terminali utente di terza generazione, principalmente UMTS.
- ***Mobility Management Entity (MME)*:** è il nodo chiave per la gestione degli accessi alla rete LTE. E' responsabile della gestione dei terminali in modalità *idle*, dell'attivazione/disattivazione delle connessioni, dell'autenticazione degli utenti e della sicurezza nella trasmissione dati.
- ***Packet Data Network Gateway (PDN GW)*:** è l'entità che funge da interfaccia con le reti IP esterne alla rete LTE, come ad esempio la rete Internet. Ha anche il compito di gestire la mobilità degli utenti durante i periodi di *handover* tra due reti IP di tipologia differente, come ad esempio il passaggio dalla rete LTE ad una rete WiMAX.

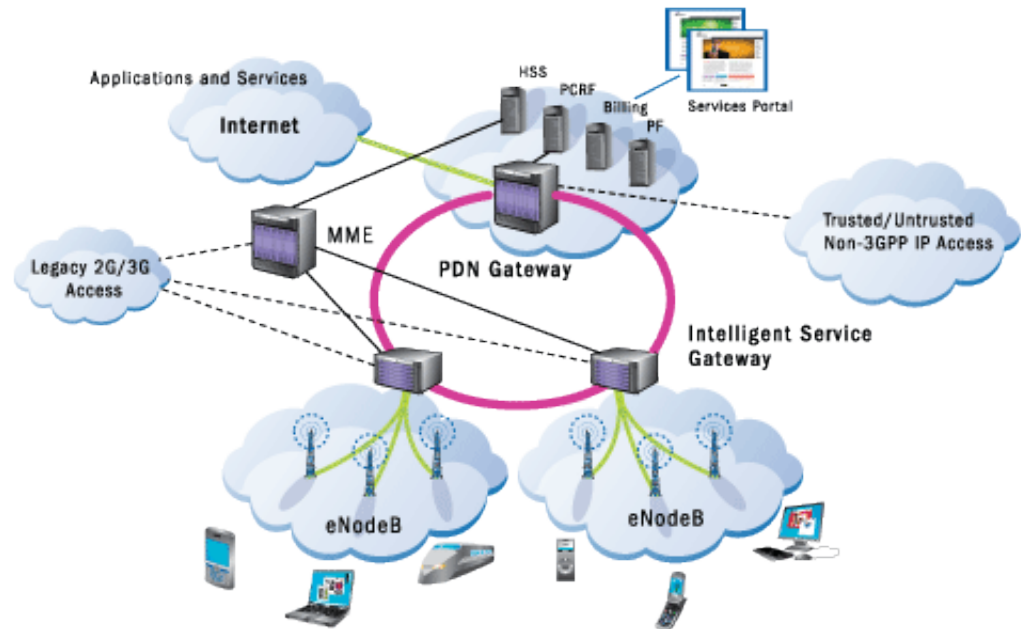


Figura 3.18: Esempio di rete LTE.

3.8.3 Riepilogo caratteristiche

Vengono riassunte nella tabella 3.18 le principali caratteristiche del protocollo LTE:

LTE: Long Term Evolution	
Velocità di trasmissione	100 Mbps Upload - 50 Mbps Download
Copertura	30 Km (cella)
Bande di trasmissione	Analoghe alle bande UMTS
Latenza	≤ 10 ms

Tabella 3.18: Caratteristiche LTE.

- Servizio *Always on*: non è richiesta una fase di connessione per accedere alla linea di trasmissione dati.

- Ampia copertura per cella; va sottolineato che maggiore è la distanza dalla BS più vicina e peggiore risulta la qualità del segnale, con conseguente riduzione delle prestazioni.
- Funzionamento su bande licenziate: è necessario rivolgersi ad un *provider* per poter usufruire del servizio LTE. Questo fatto può influire notevolmente anche sull'area di copertura della rete, che non è garantita soprattutto in aree rurali poco popolate.
- Compatibilità con tutte le tecnologie di vecchia generazione e le reti IP di altra tipologia, come ad esempio le reti WiMAX.
- Elevata banda di trasmissione, fino a 100 *Mbps* anche in mobilità.
- Bassa latenza di trasmissione, inferiore a 10 *ms*.

3.8.3.1 Stato dell'arte

La versione *Release 9* dello standard LTE è stata congelata nel mese di Dicembre 2009: questo significa che allo stato attuale sono possibili unicamente correzioni o piccole variazioni della tecnologia, ma non vengono più accolti emendamenti o modifiche sostanziali della stessa.

Questa decisione segue i primi risultati ottenuti tramite sperimentazione dai grandi operatori internazionali di telefonia mobile, che hanno concluso con successo i primi test sulla tecnologia LTE.

E' dunque ragionevole pensare che le architetture di rete LTE inizieranno a essere dispiegate dai vari operatori a partire dalla fine del 2010 e per tutto il 2011, fornendo agli utenti la possibilità di connettersi con dispositivi di nuova generazione e garantendo parimenti la connessione anche ai vecchi dispositivi attualmente presenti sul mercato.

Capitolo 4

Analisi delle tecnologie idonee

4.1 Introduzione

In questo capitolo verranno selezionate, tra la rosa di possibili scelte descritte nel capitolo precedente, le tecnologie in grado di supportare i vincoli di progetto individuati nel capitolo 2.

Il criterio decisionale che si è scelto di utilizzare è uno dei principali metodi di analisi multicriteri, l' *Analytical Hierarchy Process*, meglio noto come metodo del confronto a coppie.

4.2 Analisi multicriteri

I metodi di confronto multicriteriali sono metodologie che studiano un problema di decisione confrontando più alternative di azione sulla base di diversi criteri di valutazione.

Si tratta di processi di comparazione non monetari che hanno come scopo quello di contribuire allo sviluppo di un processo di apprendimento che alimenta lo stesso processo decisionale.

La particolarità dell'analisi multicriteri consiste nella formulazione di un giudizio di convenienza di un progetto o di un intervento in funzione di più criteri di riferimento, esaminati in maniera autonoma o interattiva.

A differenza delle tecniche di valutazione monocriteriali, l'analisi multicriteri cerca di razionalizzare il processo di scelta attraverso l'ottimizzazione di un vettore di più criteri, pesati secondo le priorità individuate tramite i requisiti di progetto.

I criteri sono le regole, i principi che si assumono come norma di giudizio, e vengono selezionati in base alle esigenze ed ai vincoli che il progetto impone.

I seguenti motivi danno ragione della crescente influenza dei metodi di comparazione a criteri multipli rispetto a quelli più tradizionali monocriteriali:

- Impossibilità di includere, nelle tecniche di valutazione convenzionali come l'Analisi Costi Benefici e l'Analisi Costi Efficacia, qualità difficili da valutare economicamente, come possono essere ad esempio il carisma o l'esperienza nel caso specifico di scelta del personale tecnico.
- Natura conflittuale dei moderni problemi di pianificazione e valutazione; in altre parole, è piuttosto comune che nelle valutazioni di progetti complessi vi siano criteri di scelta in contrapposizione, da cui la necessità di sviluppare modelli decisionali che diano pesi diversi a criteri di scelta diversi.
- Desiderio di non trovarsi di fronte ad un'unica soluzione forzata, ma di avere a disposizione un più ampio spettro di possibilità.

L'analisi multicriteri rappresenta oggi una delle maggiori aree di studio dell'analisi dei sistemi e come tale si è sviluppata portando in eredità caratteristiche e principi di tale materia:

- Cerca di analizzare gli obiettivi attraverso la strutturazione di un problema complesso piuttosto che accorpare diverse discipline in un'unica teoria generale; è preferibile dunque semplificare il problema di partenza in una serie di sotto-problemi più semplici e per ognuno di essi definire un preciso obiettivo, piuttosto che cercare di unificare le varie esigenze in un unico macro-obiettivo generale (e spesso di difficile definizione).
- I criteri per la selezione delle alternative vengono espressi in termini di traguardi specifici e non in termini di regole di base; in altre parole sono gli obiettivi specifici del problema considerato a portare alla scelta dei criteri di valutazione, non una teoria generalizzata applicabile in modo indiscriminato all'interno di qualsiasi scenario.
- L'approccio è strettamente legato all'analisi delle preferenze dei decisori, cioè nei confronti tra criteri e alternative sono sempre i decisori che attribuiscono i punteggi.

Nell'analisi multicriteri è dunque di fondamentale importanza il metodo con il quale si decide di confrontare le alternative secondo i criteri di scelta individuati.

4.2.1 Metodo dei confronti a coppie

Il metodo dei confronti a coppie prevede una distinzione fra la componente soggettiva della valutazione e il dato oggettivo.

Il decisore individua un insieme di k criteri di valutazione delle n alternative decisionali e assegna ad ogni criterio un peso percentuale; successivamente, viene assegnato un punteggio ad ogni decisione, che rappresenta l'impatto del criterio sulla decisione stessa.

Per l'attribuzione dei pesi percentuale di ciascun criterio e successivamente per l'attribuzione del punteggio finale di decisione si confrontano le alternative disponibili a due a due tramite una o più matrici decisionali nelle quali vengono espressi i giudizi di preferenza tramite una scala di valori numerici stabilita a priori.

Il primo passo è dunque confrontare i criteri per stabilire il grado di importanza relativa l'uno rispetto all'altro. Il confronto avviene mediante una matrice $k \times k$ dove ad ogni confronto viene attribuito un punteggio; i punteggi sono compresi in una scala arbitraria e corrispondono ad altrettanti livelli qualitativi.

E' possibile adottare una scala semplice a tre livelli, generalmente "alto", "medio", "basso", oppure aggiungere ulteriori livelli per ottenere una valutazione più fine.

Il punteggio di ogni criterio si ottiene dunque sommando i singoli punteggi ottenuti dai confronti con tutti gli altri criteri. I valori dei punteggi vengono quindi opportunamente normalizzati a 1, di modo che la somma totale dei pesi sia 100%.

Successivamente, vengono eseguiti k confronti a coppie tra le alternative disponibili tramite k matrici $n \times n$, utilizzando la medesima scala di punteggi del confronto tra criteri, e normalizzando i risultati al valore massimo ottenuto.

Il punteggio finale per ogni decisione viene quindi stabilito facendo la media pesata dei punteggi di ogni criterio sulla decisione per il peso assegnato ad ogni criterio, e normalizzando a 1 i risultati ottenuti.

4.2.2 Attribuzione dei pesi

I criteri di valutazione che si è deciso di utilizzare per la scelta tra le possibili alternative tecnologiche per il progetto corrente sono i seguenti:

- **Banda di trasmissione:** è la quantità di dati che possono essere trasferiti in un periodo di tempo, espressi usualmente in bit al secondo (bit/s oppure bps). Nei confronti viene utilizzata la banda teorica prevista dagli standard che definiscono le tecnologie considerate.
- **Copertura massima per cella:** è la massima distanza da una stazione radio base entro la quale è possibile ricevere il segnale.
- **Latenza di trasmissione:** la latenza di trasmissione di un collegamento è il tempo impiegato dai pacchetti di informazione a raggiungere la propria destinazione. Essa solitamente viene influenzata dalla qualità del segnale radio e dalle apparecchiature che il segnale attraversa nel suo percorso, che possono richiedere dei tempi di elaborazione per gestire i vari flussi di traffico.
- **Mobilità:** rappresenta il livello di mobilità dell'utente che può essere garantito dalla tecnologia considerata.
- **Robustezza all'interferenza:** rappresenta il livello di robustezza della tecnologia considerata nei confronti dei fenomeni di interferenza. Alcune tecnologie infatti trasmettono su frequenze soggette a licenza, che garantiscono disponibilità totale del canale trasmissivo, e dunque non risentono di fenomeni di interferenza dovuti ad eventuali altri dispositivi operanti sulle stesse frequenze. Altre invece trasmettono su frequenze libere, e possono dunque essere soggette a tali fenomeni in modo direttamente proporzionale (in prima analisi) al numero di apparati che condividono lo stesso canale di trasmissione.
- **Indifferenza a condizioni meteo:** il segnale radio deve poter garantire il servizio anche in condizioni meteorologiche avverse, come ad esempio in presenza di pioggia o nebbia.
- **Dimensioni *client* ridotte:** i servizi a bordo nave richiedono elevata portabilità, dunque i *client* per gli utenti devono essere di dimensioni ridotte.
- **Comportamento su superfici acquee:** il segnale radio deve garantire il servizio operando su superfici acquee, come le aree portuali.

- **Comportamento su strutture metalliche (navi):** i servizi a bordo nave richiedono necessariamente che il segnale possa essere ricevuto correttamente sulle imbarcazioni, che sono strutture metalliche.

Nell'insieme dei criteri di valutazione sono stati selezionati per il confronto a coppie i seguenti criteri di decisione: banda di trasmissione, copertura, latenza, interferenza e mobilità.

Questa scelta è giustificata dal fatto che i suddetti criteri sono valutabili confrontando gli standard che definiscono le tecnologie, e definiscono dunque un buon livello di valutazione per una prima selezione di "candidati", tra la rosa delle possibili scelte.

I restanti criteri saranno poi valutati per eseguire una ulteriore selezione oppure, soprattutto nei casi più specifici di cui si hanno pochi riscontri attualmente in letteratura come ad esempio il comportamento su superfici acquee, per approntare opportuni test delle tecnologie selezionate.

La scala dei punteggi utilizzata, riportata nella tabella 4.1, è una scala a 5 livelli, da 1 a 5, dove 1 rappresenta l'indifferenza di scelta mentre 5 la preferenza totale.

Valore	Significato
1	indifferenza
2	preferenza minima
3	preferenza media
4	preferenza forte
5	preferenza totale

Tabella 4.1: Scala dei punteggi.

La matrice dei confronti a coppie per l'attribuzione dei pesi ai criteri di decisione viene riportata in Fig. 4.1:

Criteri	Banda	Copertura	Latenza	Interferenza	Mobilità	Pesi
Banda	0	2	2	4	2	0.358
Copertura	$\frac{1}{2}$	0	2	3	$\frac{1}{2}$	0.215
Latenza	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	2	1	0.143
Interferenza	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{3}$	0.050
Mobilità	$\frac{1}{2}$	2	1	3	0	0.233

Figura 4.1: Matrice per l'attribuzione dei pesi.

I requisiti di maggior peso risultano dunque essere la banda di trasmissione unitamente a copertura massima per cella e mobilità fornita all'utente.

La banda di trasmissione ha una preferenza di scelta minima (2 punti) rispetto alla copertura per cella, alla mobilità e alla latenza, e una preferenza forte (4 punti) rispetto alla robustezza all'interferenza. Al criterio di copertura massima per cella sono stati assegnati punteggi di preferenza media (3 punti) e minima (2 punti) rispetto a, rispettivamente, robustezza ai fenomeni di interferenza e alla latenza. La mobilità viene invece considerata prioritaria rispetto a copertura massima per cella e interferenza (rispettivamente 2 e 3 punti), mentre la latenza ottiene una preferenza minima (2 punti) rispetto ai fenomeni di interferenza. I restanti valori della matrice sono ottenuti per reciprocità.

La scelta dei pesi è giustificata dal fatto che il sistema di trasmissione terra-bordo deve poter supportare il trasferimento di ingenti flussi di informazione garantendo la mobilità dei mezzi, e deve poter coprire l'intera area portuale evidenziata nei requisiti con il minor numero possibile di celle.

Appare inoltre importante garantire bassi livelli di latenza nelle trasmissioni, soprattutto per quanto riguarda le comunicazioni ad elevata priorità come le trasmissioni RTK/DGPS in tempo reale, mentre si è deciso di dare peso inferiore al problema dell'interferenza, perché, anche se all'interno dell'area portuale considerata sono presenti sistemi radar e di videosorveglianza, questi utilizzano per la trasmissione dati sistemi punto-punto, punto-multipunto oppure su apposite frequenze dedicate.

4.2.3 Matrici dei confronti a coppie e scelta ottima

Vengono di seguito riportate le matrici dei confronti a coppie tra le alternative tecnologiche analizzate nel capitolo 3, e successivamente la tabella con i punteggi totali ottenuti e normalizzati.

4.2.3.1 Banda

Per quanto riguarda la banda di trasmissione, sono stati assegnati punteggi di larga preferenza ai protocolli LTE e WiMAX rispetto a tutte le altre tecnologie prese in esame. Entrambi gli standard infatti prevedono di raggiungere velocità attorno ai 70 Mbps , e ricevono dunque punteggi di preferenza totale (5 punti) rispetto al GPRS e ai radio modem, che possono garantire una banda di qualche kbit/s , e preferenza forte o media (4 e 3 punti) con tutte le altre tecnologie, che raggiungono qualche decina di Mbit/s . In seconda fascia dunque sono stati collocati Wi-Fi, HiperLAN e UMTS, che risultano

maggiormente prestanti, sotto questo aspetto, rispetto a GPRS e ai Radio Modem, e ricevono dunque punteggi di preferenza forte (4 punti) oppure media (3 punti) rispetto a questi ultimi. Wi-Fi e HiperLAN ottengono rispettivamente 1 punto nel confronto diretto, a dimostrazione del fatto che sono tecnologie, sotto questo aspetto, sviluppatasi in modo parallelo, ma per fornire tipologie di servizi differenti a livello di mobilità.

Banda	GPRS	UMTS	Wi-Fi	HiperLAN	WiMAX	LTE	R. Modem	Norm.
GPRS	0	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{3}$	0.071
UMTS	4	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	2	0.341
Wi-Fi	4	3	0	1	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	3	0.555
HiperLAN	4	3	1	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	3	0.563
WiMAX	5	4	3	2	0	1	5	0.952
LTE	5	4	3	3	1	0	5	1
R. Modem	3	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	0	0.217

4.2.3.2 Copertura

Per quanto riguarda la massima copertura per cella, è da sottolineare che con questa si intende la massima distanza dalla stazione radio base entro la quale è possibile ricevere il segnale. Siccome la qualità del segnale radio diminuisce con l'aumentare della distanza dalla stazione, alla massima distanza si osserveranno prestazioni ridotte nel collegamento.

LTE, GPRS e UMTS sono le tecnologie a più vasta area di copertura per cella tra quelle prese in esame, dal momento che ogni *base station* consente di coprire aree fino a 30 km di raggio. Per questo motivo esse ottengono punteggi di preferenza totale (5 punti) rispetto a Wi-Fi, che prevede distanze di qualche decina di metri, e HiperLAN, che solo in modalità punto-punto può raggiungere alcuni chilometri di distanza; vengono considerate inoltre preferibili (2 punti) anche in confronto a WiMAX, che può avere raggi di copertura dai 4 ai 10 km a seconda della versione, e ai Radio Modem, che coprono solitamente aree anche fino a 15 km di raggio in visibilità ottica.

Wi-Fi risulta decisamente la soluzione meno preferibile secondo questo criterio di decisione, dal momento che la copertura per ogni cella mediamente non supera distanze dell'ordine di qualche decina di metri.

Copertura	GPRS	UMTS	Wi-Fi	HiperLAN	WiMAX	LTE	R.Modem	Norm.
GPRS	0	1	5	5	2	1	2	1
UMTS	1	0	5	5	2	1	2	1
Wi-Fi	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	0	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{4}$	0.084
HiperLAN	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	4	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	0.353
WiMAX	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	4	2	0	1	2	0.625
LTE	1	1	5	4	1	0	4	1
R.Modem	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	4	2	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	0	0.484

4.2.3.3 Latenza

I protocolli a maggior punteggio per quanto riguarda la latenza media del collegamento sono WiMAX, Wi-Fi e HiperLAN.

Essi sono considerati a preferenza totale (5 punti) e forte (4 punti) rispetto a GPRS e UMTS, rispettivamente; questo perché GPRS e UMTS presentano ingenti problemi di ritardi nella trasmissione dovuti principalmente al fatto che il contesto all'interno del quale sono stati ideati (quello della telefonia mobile) pone come prioritario il traffico voce rispetto a quello dati, che può dunque subire ritardi considerevoli (fino a 700 ms).

LTE, che nasce comunque nel contesto della telefonia mobile, presenta la possibilità di garantire la QoS^1 , cioè sostanzialmente di marcare come prioritari i pacchetti provenienti da un particolare ricevitore all'interno della rete (o più in generale tutti i pacchetti con una particolare intestazione), e quindi risolve parzialmente il problema, risultando decisamente preferibile rispetto a GPRS e UMTS con 5 e 3 punti rispettivamente. Per questo motivo, la preferenza di WiMAX, Wi-Fi e HiperLAN rispetto a quest'ultimo è stata valutata come media (3 punti).

Latenza	GPRS	UMTS	Wi-Fi	HiperLAN	WiMAX	LTE	R.Modem	Norm.
GPRS	0	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{2}$	0.103
UMTS	4	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	1	0.422
Wi-Fi	5	3	0	1	1	2	3	1
HiperLAN	5	3	1	0	1	2	3	1
WiMAX	5	3	1	1	0	2	3	1
LTE	5	3	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	3	0.833
R.Modem	4	1	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	0	0.422

4.2.3.4 Interferenza

Le tecnologie particolarmente deboli sotto questo punto di vista sono indubbiamente Wi-Fi e i Radio Modem, in quanto funzionanti sulla banda di fre-

¹Quality of Service.

quenze nell'intorno dei 2.4 GHz , una banda utilizzata da numerosi dispositivi in svariati ambiti applicativi.

Per questo motivo, essi ricevono punteggi di medio-bassa preferenza ($\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ di punto) rispetto a tutte le altre tecnologie prese in considerazione.

GPRS, UMTS, WiMAX ed LTE vengono considerate tutte paritarie (1 punto) perché prevedono l'utilizzo di frequenze licenziate e dunque non vi possono essere altre tipologie di dispositivi funzionanti alla medesima frequenza che possono andare a interferire con il segnale. Dal punto di vista di questo criterio, sono sicuramente la scelta che offre maggiori garanzie.

HiperLAN presenta a sua volta alcuni problemi per via dell'utilizzo di frequenze libere, ma in misura minore rispetto alle precedenti in quanto la banda dei 5 GHz viene mediamente utilizzata da un numero molto minore di dispositivi; inoltre, i dispositivi che utilizzano tali frequenze, come anche lo stesso HiperLAN, sono pensati per fornire servizi di connessione punto-punto oppure punto-multipunto e dunque irradiano in modo direttivo, a differenza della maggior parte dei dispositivi funzionanti nella banda libera dei 2.4 GHz , come Wi-Fi, che irradiano invece con antenne omnidirezionali. Per questo motivo, la preferenza di HiperLAN rispetto a Wi-Fi e ai dispositivi Radio Modem è considerata media (3 punti).

Interferenza	GPRS	UMTS	Wi-Fi	HiperLAN	WiMAX	LTE	R.Modem	Norm.
GPRS	0	1	4	3	1	1	4	1
UMTS	1	0	4	3	1	1	4	1
Wi-Fi	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	1	0.166
HiperLAN	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	3	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	3	0.548
WiMAX	1	1	4	2	0	1	4	0.928
LTE	1	1	4	2	1	0	4	0.928
R.Modem	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	1	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	0	0.166

4.2.3.5 Mobilità

Ottengono ottimi punteggi i protocolli che sono stati pensati per abilitare il trasferimento dati ai sistemi di telefonia mobile (e che prevedono dunque totale mobilità anche ad alte velocità), ovvero GPRS, UMTS ed LTE: ad essi è stata assegnata una preferenza forte (4 punti) e totale (5 punti) nei confronti con Wi-Fi e HiperLAN rispettivamente. Una preferenza modesta (2 punti) è stata assegnata invece al confronto con WiMAX e i Radio Modem.

WiMAX, che prevede la mobilità unicamente nella versione 802.16e, ottiene un punteggio di forte preferenza (4 punti) nei confronti di HiperLAN e di preferenza media (3 punti) nel confronto con Wi-Fi.

Wi-Fi, che supporta unicamente servizi nomadici e quindi non una vera e propria mobilità ad alte velocità, ottiene 3 punti solamente nel confronto con HiperLAN, che di fatto non prevede al suo interno la mobilità ma solo i collegamenti punto-punto e punto-multipunto, e viene quindi considerato a bassa preferenza ($\frac{1}{5}$, $\frac{1}{4}$ di punto) rispetto a tutti i confronti con le altre tecnologie.

Mobilità	GPRS	UMTS	Wi-Fi	HiperLAN	WiMAX	LTE	R.Modem	Norm.
GPRS	0	1	4	5	2	1	2	1
UMTS	1	0	4	5	2	1	2	1
Wi-Fi	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	0	3	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	0.294
HiperLAN	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{3}$	0	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{4}$	0.095
WiMAX	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	3	4	0	$\frac{1}{2}$	2	0.7
LTE	1	1	4	5	2	0	2	1
R.Modem	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	3	4	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	0.6

4.2.3.6 Punteggi totali

nella tabella 4.2 vengono riportati i punteggi totali ottenuti dalle singole tecnologie, calcolati sommando i punteggi parziali nei confronti a coppie secondo ciascun criterio pesati per il peso relativo del criterio stesso.

	Totali pesati	Valori Normalizzati
GPRS	0.538	0.554
UMTS	0.681	0.700
Wi-Fi	0.437	0.450
HiperLAN	0.471	0.484
WiMAX	0.829	0.852
LTE	0.972	1
R.Modem	0.391	0.402

Tabella 4.2: Punteggi totali pesati e normalizzati.

Dalla tabella 4.2 si evince dunque che le soluzioni migliori per i vincoli imposti dal progetto di rete sono le tecnologie WiMAX, LTE e UMTS.

Le tre tecnologie evidenziate dal criterio di scelta sono infatti quelle che garantiscono una maggiore banda di trasmissione teorica, maggiore area di copertura e mobilità degli utenti.

Tra le ipotesi scartate, GPRS e le tecnologie basate su Radio Modem soffrono principalmente la scarsa velocità di trasmissione e l'elevata latenza nell'elaborazione dei pacchetti, Wi-Fi la modesta copertura per cella e, in maniera meno rilevante ai fini dello scenario considerato, i problemi di interferenza, mentre HiperLAN la mobilità, che non è prevista dallo standard.

4.3 Considerazioni a posteriori

Riguardo la possibilità di utilizzare le tecnologie LTE e UMTS è necessario fare le seguenti considerazioni.

Entrambe le tecnologie richiedono di essere proprietari di una licenza per poter essere utilizzate sul territorio italiano, e le licenze per le frequenze nell'intorno dei 2 GHz sono state assegnate dal Ministero delle Comunicazioni nel 2002, con durata di 15 anni rinnovabile. I vincitori del bando di gara per i diritti di trasmissione sono alcune grandi compagnie telefoniche, che utilizzano tali frequenze per supportare servizi di telefonia mobile all'utenza.

Per poter utilizzare tali tecnologie radio è dunque necessario rivolgersi ad uno dei *provider* in possesso di tale licenza e stipulare una qualche tipologia di contratto per utilizzare i suoi servizi di rete.

Questo, nell'ottica del problema in analisi, comporta principalmente tre problemi:

- Non vi possono essere garanzie sulla banda di trasmissione disponibile, perché questa dipende direttamente dal numero di utenti collegati nell'unità di tempo, e gli utenti, all'interno di una rete che comprende soprattutto servizi di telefonia mobile, sono mediamente molto numerosi. La presenza di traffico radio ingente sui canali di comunicazione comporta inoltre dei problemi di latenza non trascurabili, dovuti principalmente ai tempi di smistamento dei pacchetti alle centraline di commutazione.
- La copertura radio potrebbe non essere fornita in tutte le zone volute, questo perché non è assolutamente garantito, a priori, che il *provider* sia in possesso di una rete con sufficienti ripetitori nelle aree evidenziate nel capitolo 2. E' anzi ragionevole supporre che nell'area di traffico marittimo del Canale dei petroli non vi sia un livello di segnale sufficiente per abilitare i servizi di interesse, in quanto zona a densità abitativa nulla e dunque di irrilevante interesse commerciale nell'ottica della telefonia mobile. Chiaramente è possibile richiedere al provider

di estendere la copertura nelle aree di interesse, ma questo comporta necessariamente dei costi aggiuntivi (anche ingenti) di cui tener conto nell'installazione del sistema.

- Appoggiandosi ad una rete pubblica non è possibile avere garanzie sulla disponibilità del segnale 24 ore su 24, sette giorni su sette. Il *provider* infatti potrebbe, per motivi piuttosto comuni quali ad esempio la manutenzione degli apparati, sospendere l'erogazione del servizio e quindi andare ad interferire con il sistema in modo non controllabile.

A seguito di queste considerazioni, i protocolli UMTS ed LTE, per quanto dal punto di vista della tecnologia siano in grado effettivamente di fornire le prestazioni necessarie a soddisfare i vincoli di progetto individuati, sono state scartate tramite considerazioni a posteriori.

Capitolo 5

Esempi applicativi

5.1 Introduzione

La tecnologia WiMAX, disponibile con apparati sia su frequenze licenziate a 3.5 GHz che su frequenze libere a 5 GHz, è in grado di soddisfare appieno i requisiti di rete elencati nel Capitolo 2. L'elevato raggio di copertura per cella unitamente all'ampia banda di trasmissione (fino a 30 Mbps teorici previsti dallo standard nella versione mobile) e ai servizi in mobilità fanno del WiMAX, nella sua versione 802.16e, una tecnologia potenzialmente in grado di soddisfare un sistema mobile come quello dei POADSS, operante in una vasta area come il Canale dei petroli all'interno della Laguna di Venezia.

In questo capitolo verranno presentati alcuni tra i principali produttori di apparecchiature utilizzabili e riportati alcuni esempi rilevanti di impiego dello standard WiMAX in contesto marittimo, per fornire delle importanti evidenze di utilizzo e applicabilità di questa tecnologia.

5.2 Produttori

Verranno ora presentati alcuni dei principali produttori della tecnologia WiMAX nel mondo. Sono aziende iscritte al WiMAX Forum, un consorzio *non-profit* formato da più di 420 imprese in tutto il mondo il cui scopo è sviluppare, supervisionare, promuovere e testare l'interoperabilità e la compatibilità di sistemi basati sullo standard stesso, e forniscono apparecchiature aventi la certificazione *WiMAX Forum Certified*: sono dunque interamente rispettose degli standard IEEE 802.16.

Nell' Appendice A vengono inoltre riportati, a titolo di esempio, alcuni *datasheet* di prodotti attualmente presenti in commercio riguardanti la tecnologia WiMAX.

5.2.1 Alvarion Ltd.

Alvarion Ltd. è un'azienda leader nella produzione di apparati *wireless* a banda larga, e fornisce soluzioni Wi-Fi, HiperLAN e WiMAX a molti operatori di telefonia, ISPs e fornitori di rete private in tutto il mondo.



Alvarion nasce in Israele nel 1992 dove ha sviluppato e testato con successo le soluzioni di rete *wireless*-LAN/WAN per applicazioni civili, nell'ambito della sicurezza e della difesa.

Ha sede centrale a Tel Aviv, in Israele, conta 25 uffici in tutto il mondo con filiali negli USA, Europa, America Latina e Asia, per un totale di 900 dipendenti di cui un numero significativo di ingegneri di R&D¹, in grado di mantenere e di rafforzare la posizione di fornitore di soluzioni d'eccellenza per il mercato del *broadband wireless*.

E' una delle aziende che ha contribuito a fondare il WiMAX Forum nel 2001 ed è oggi in grado di offrire soluzioni *wireless* per l'accesso alla larga banda e per reti mobili GSM e CDMA.

5.2.2 Posdata

Posdata è un *provider* di servizi IT fondato in Korea nel 1989, e si occupa principalmente di fornire prodotti e soluzioni nel campo delle tecnologie *wireless* a banda larga e di telefonia mobile.



La soluzione *end-to-end* WiMAX proposta da Posdata si chiama Flyvo®[®], e comprende tutti gli elementi necessari al completo funzionamento della rete, dalle *base stations* ai *server* di controllo.

I sistemi Flyvo® sono stati installati con successo da Posdata in molti Paesi asiatici, americani ed europei; in particolare la tecnologia Flyvo® è

¹ *Research and Development*

stata impiegata con successo, come verrà descritto in seguito nella sezione 5.3, nel progetto WISEPORT del porto di Singapore, una delle maggiori evidenze di utilizzo della tecnologia WiMAX per fornire servizi in ambito portuale.

5.2.3 Samsung

Dalla sua nascita come piccola società di esportazione in Corea, Samsung è diventata una delle principali società di elettronica nel mondo, specializzandosi nell'offerta di supporti e apparecchi digitali, semiconduttori, dispositivi di memoria e integrazione di sistemi.



Come produttore *leader* di tecnologie *wireless*, Samsung offre delle soluzioni WiMAX *end-to-end* complete (dai *chipsets* delle stazioni radiobase ai dispositivi per l'utente finale) per operatori e reti private aziendali.

L'ampia gamma di prodotti offerti da Samsung permette la completa ottimizzazione della rete in base ai vincoli ambientali ed alle esigenze di servizio: dagli scenari urbani densamente popolati alle zone rurali, dalle connessioni ad elevata mobilità alle soluzioni punto-punto e punto-multipunto.

5.2.4 Alcatel-Lucent

Alcatel-Lucent nasce nel 2006 dalla fusione di Alcatel, storica compagnia francese produttrice di *hardware* e *software* per le telecomunicazioni, con Lucent Technologies, azienda americana legata a AT&T Technologies e ai laboratori Bell.



Alcatel-Lucent fornisce servizi di telecomunicazioni a numerosi *providers* ed enti pubblici e governativi in tutto il mondo, proponendo soluzioni data e voce sia per l'utenza fissa che mobile.

In particolare, il pacchetto WiMAX di Alcatel-Lucent consente di sviluppare ed integrare reti fisse e mobili, garantendo ampia copertura e qualità del segnale grazie alle tecnologie MIMO e al *beamforming*, una tecnica che consente alla potenza emessa dalle antenne delle stazioni base di concentrarsi direttamente sul terminale mobile in collegamento.

5.3 Progetto WISEPORT

Avviato nel mese di Marzo del 2008, il progetto WISEPORT² prevede l'utilizzo di una rete basata su tecnologia Mobile WiMAX 802.16e per fornire connettività *wireless* a banda larga a tutta l'area portuale di Singapore, garantendo copertura di segnale ad una distanza fino a 15 km dalla costa Sud della città.

Il progetto è frutto della collaborazione tra la *Maritime and Port Authority of Singapore* (MPA), un ente governativo autonomo responsabile della pianificazione, del controllo e della promozione delle attività portuali della città di Singapore, e l'*Infocomm Development Authority of Singapore* (IDA), principale organo promotore dei servizi di telecomunicazione facente capo al Ministero delle Comunicazioni. Ha richiesto nel complesso un investimento di circa 8 milioni di dollari americani.



WISEPORT offre l'accesso ad un servizio di rete mobile a larga banda garantito 24 ore su 24 che permette agli utenti di svolgere a bordo nave molte attività che usualmente devono essere svolte a terra, come ad esempio l'aggiornamento *real-time* di carte nautiche elettroniche ENC, la compilazione e invio di richieste di autorizzazione alle autorità portuali, l'utilizzo di applicazioni e servizi Internet e la gestione di sistemi di sicurezza e videosorveglianza remota.

Grazie a WISEPORT, il porto di Singapore è considerato il primo porto al mondo a supportare servizi di telecomunicazione a banda larga e basso costo[16], garantendo alle aziende e agli enti pubblici che si occupano di attività portuali tutta una serie di strumenti elettronici in grado di aumentarne notevolmente la produttività, l'efficienza e la sicurezza.



² *WI*reless-broadband-access for *SEaPort*.

5.3.1 Caratteristiche della rete

La rete WISEPORT è stata progettata interamente da *QMax Communications Pte Ltd*, un'azienda che si occupa di architetture di rete *wireless* e che è anche uno dei maggiori Provider di telefonia mobile dell'area del Sud-Est Asiatico.



La rete è operativa sulla banda di frequenze dei 2.3 GHz , di cui QMax si è aggiudicata la licenza nel 2005, e utilizza un totale di 6 *base stations* per ricoprire tutta l'area portuale costiera.

Di queste, 3 sono state posizionate lungo il litorale nella zona meridionale della città, con le antenne principali situate sul grattacielo Fuji Xerox Towers, le altre invece a ricoprire rispettivamente le zone orientali e occidentali del porto.

Le aree coperte dal segnale radio sono riportate in Fig. 5.1 nella pagina seguente e Fig. 5.2 a pagina 123.

Le *base stations* costituiscono la cosiddetta RAN³ della rete, ovvero gli elementi che fungono da collegamento tra le unità mobili degli utenti e il *Core Network*, la centrale di elaborazione del traffico dati. Quest'ultima si occupa di indirizzare i pacchetti verso la direzione prevista e quindi di gestire i flussi di traffico.

Tutti gli elementi della rete sono stati prodotti da Posdata, e sono certificati per lo standard 802.16e. Vengono riportati in Appendice A a titolo di esempio i dati tecnici relativi alle stazioni radio base utilizzate nella rete di Singapore.

Complessivamente, WISEPORT è in grado di fornire connettività in tutte le acque costiere del porto di Singapore entro 15 km dalla costa, comprendendo inoltre i vari *container terminal* destinati allo stoccaggio delle merci, l'area cisterne per il deposito e la lavorazione di prodotti petroliferi, i cantieri per le opere di rimessaggio e manutenzione delle navi e 4 stazioni marittime.

Per accedere ai servizi offerti dalla rete è necessario sottoscrivere un contratto con QMax, che fornisce agli utenti un router Flyvo® R100 ad

³Radio Access Network.

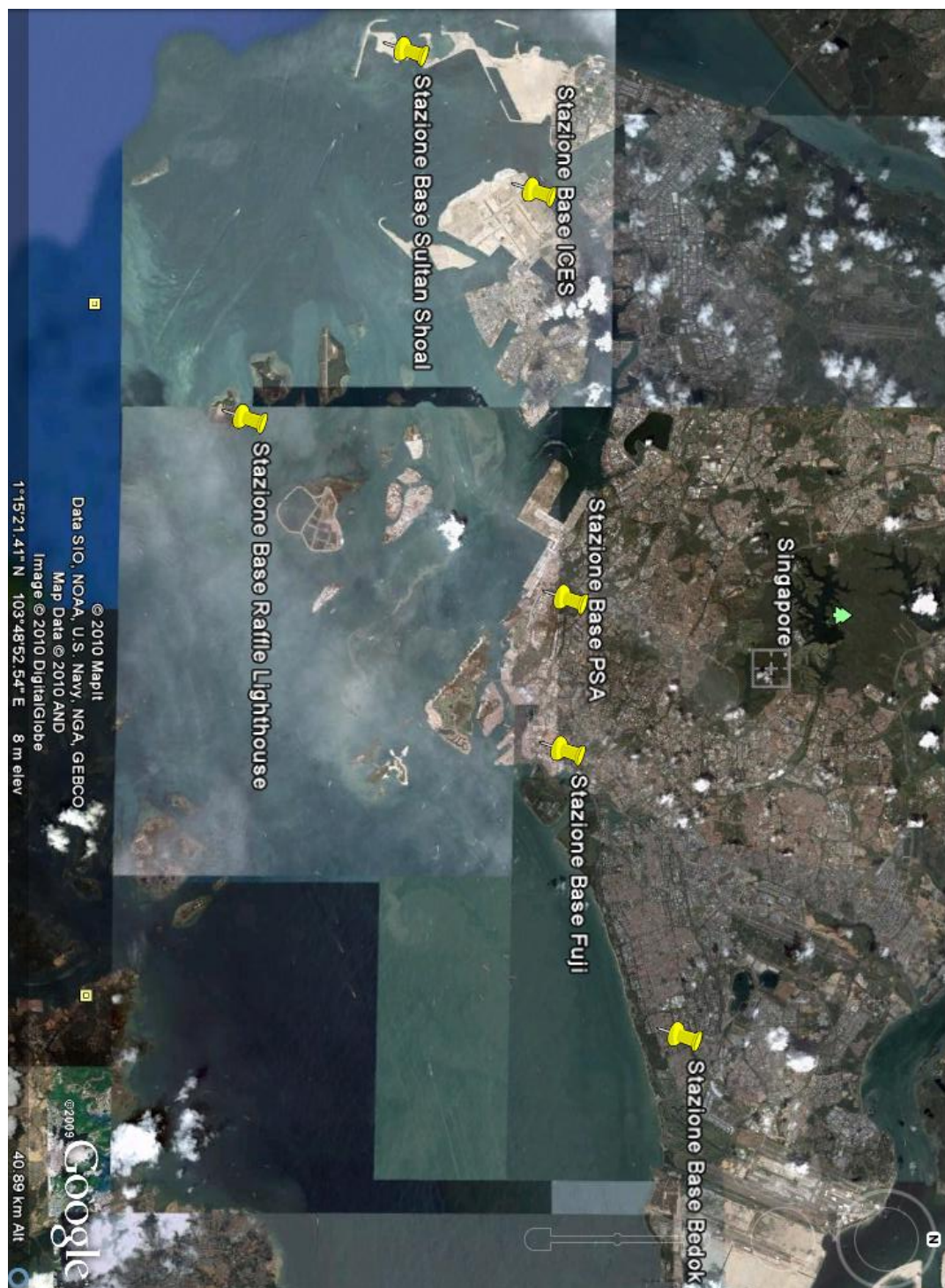


Figura 5.1: Stazioni radio base della rete WISEPORT.

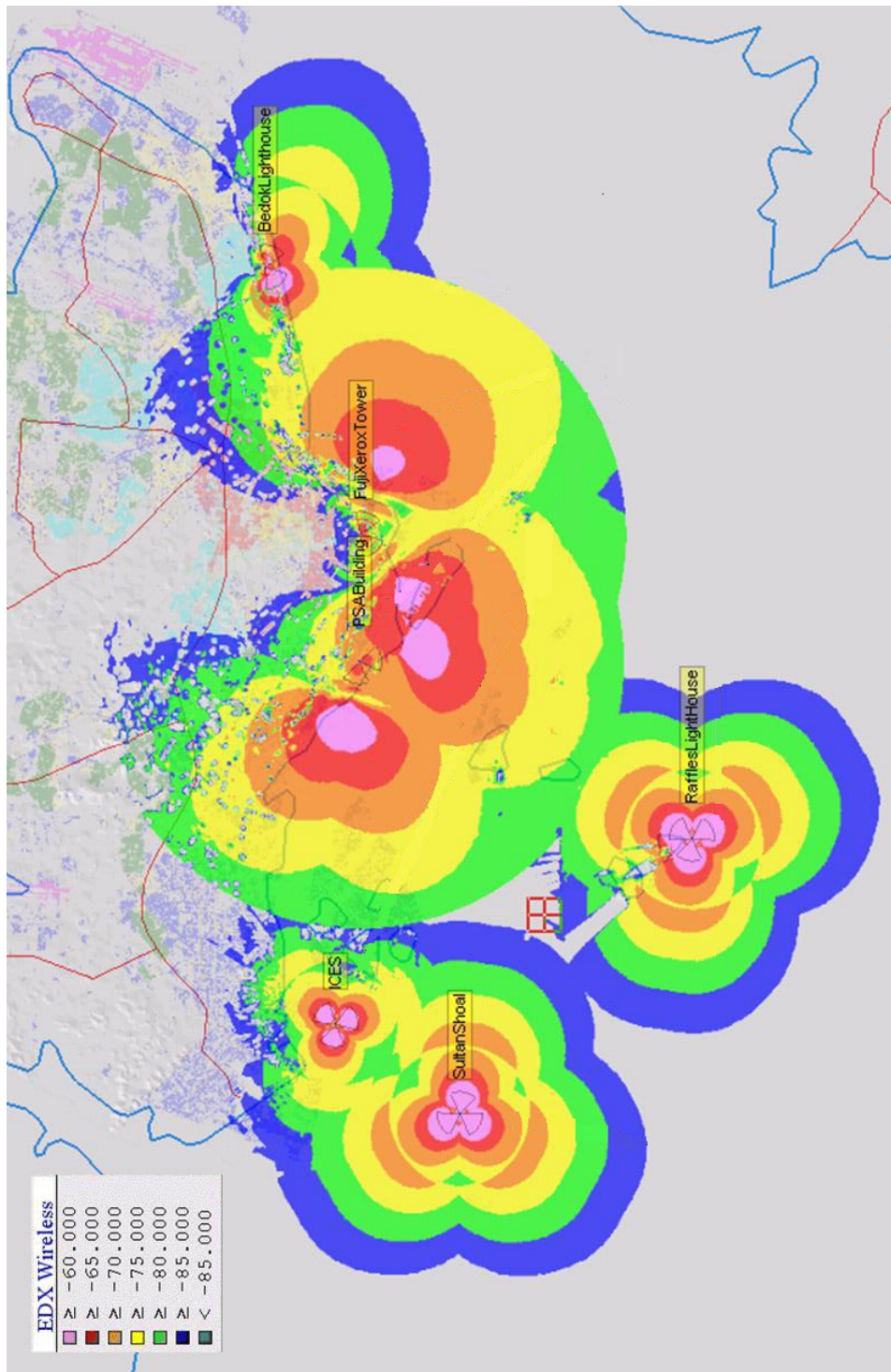


Figura 5.2: Livello del segnale della rete WISEPORT.

alimentazione POE⁴, utilizzabile *indoor* nelle aree portuali a terra (per poter usufruire ad esempio di servizi di monitoraggio e gestione di flotta) oppure a bordo nave all'interno della plancia di comando (ad esempio per accedere ai portali dove reperire le carte nautiche elettroniche).



Figura 5.3: Router Flyvo® R100.

5.3.2 Esempi di servizi erogati

Nel Dicembre del 2007, l'MPA e l'IDA di Singapore hanno avviato il programma *Contents and Applications Call-for-Collaboration* (CA CFC) per indurre le autorità marittime e le imprese del settore delle telecomunicazioni a sviluppare applicazioni e servizi destinati a sfruttare le potenzialità della futura rete del porto della città.

Obiettivo principale del programma fu quello di arricchire la rete WISEPORT di applicativi in grado di rispondere alle maggiori esigenze di sicurezza e servizi multimediali di buona parte delle aziende e degli enti pubblici operanti all'interno dell'area portuale, così da rendere quello di Singapore il porto tecnologicamente più avanzato al mondo.

Il CFC venne chiuso definitivamente nel Febbraio del 2008, dopo aver raccolto complessivamente 19 proposte di progetto.

Di queste, ne sono state scelte e premiate 5, che sono successivamente state realizzate grazie alla collaborazione tra l'IDA, l'MPA e le compagnie interessate.

Le applicazioni sviluppate e i rispettivi servizi attualmente erogati tramite la rete WISEPORT sono i seguenti:

⁴*Power Over Ethernet*: la connessione Ethernet del dispositivo viene utilizzata per fornire alimentazione.

- **Maritime Fuel Consumption Monitoring and Data Acquisition Solution:** le imprese che forniscono servizi di rimorchio, e che possiedono dunque una flotta di imbarcazioni come possono essere ad esempio i rimorchiatori, sono in grado, tramite questa applicazione, di monitorare posizione, velocità e stato di tutti i veicoli della flotta in tempo reale. L'ampia banda messa a disposizione della rete WISEPORT permette infatti il continuo scambio di informazioni critiche, come ad esempio possibili anomalie funzionali o consumi eccessivi di carburante, tra i natanti in stato operativo e la sala di controllo della flotta situata a terra, diminuendo nettamente i tempi di collegamento e acquisizione delle informazioni previsti dai sistemi tradizionali, quali fax e telefoni.
- **DHI Water & Environment (S) Pte Ltd:** le informazioni idrologiche come ad esempio i dati sulle maree e sul tempo atmosferico sono da sempre indispensabili a molti operatori portuali come ad esempio i piloti, gli enti di ricerca o le squadre di soccorso che si occupano della sicurezza dei natanti. Questo tipo di informazioni vengono tipicamente ricavate da tutta una serie di dati raccolti da specifiche postazioni di monitoraggio situate in punti ben precisi della costa e che devono quindi essere trasmessi agli enti interessati spesso utilizzando collegamenti radio di bassa qualità oppure *links* via satellite ad alto costo. WISEPORT risolve questo tipo di problema permettendo di fornire un servizio di trasmissione di dati sensibili altamente efficiente e a basso costo, potendo trasmettere tutte le informazioni richieste direttamente tramite modem.
- **Web-Enabled Maritime Digital Services on WISEPORT:** attualmente, è possibile aggiornare le carte nautiche elettroniche unicamente tramite supporto fisico (solitamente un CD) operazione che può dunque essere eseguita unicamente a terra negli appositi uffici delle autorità portuali. Questa applicazione permette invece di aggiornare le carte nautiche elettroniche direttamente a bordo nave, tramite semplice *download* da un apposito portale, sfruttando la larga banda *wireless* fornita dalla tecnologia WiMAX.
- **WISEPORT Broadband VideoCast:** è un sistema pensato per distribuire *online* agli utenti del porto contenuti video informativi come ad esempio i corsi di aggiornamento per gli equipaggi e la sicurezza o i corsi di formazione, che possono dunque essere visualizzati diretta-

mente “sul campo” prima di effettuare le esercitazioni o le operazioni di manutenzione.

- **Vessel, Vehicle and Personnel Tracking System:** esistono molti sistemi ITS che consentono di visualizzare il traffico dei veicoli in tempo reale e di monitorare gli spostamenti del proprio personale per rendere maggiormente efficienti e precise le operazioni sul campo. Questo tipo di servizi tuttavia fatica a trovare applicabilità in ambito marittimo, a causa della carenza di collegamenti radio a basso costo nelle aree costiere e portuali. WISEPORT va a coprire questa carenza e permette dunque di applicare gli stessi principi ITS così largamente diffusi su scenari terrestri anche in ambito marittimo, tramite opportune applicazioni di monitoraggio GPS e videosorveglianza.

Capitolo 6

Modello di implementazione

6.1 Introduzione

In questo capitolo verrà illustrato un possibile modello di implementazione di una rete in grado di supportare l'introduzione del sistema POADSS nelle aree della Laguna di Venezia evidenziate nel capitolo 2, utilizzando dispositivi basati su protocollo 802.16e, nella sua versione licenziata e non licenziata. Ai fini del progetto verranno considerate solo le aree comprendenti la bocca di porto di Malamocco-Alberoni e il canale dei Petroli fino a Porto Marghera, cioè l'accesso del Porto di Venezia dedicato al traffico commerciale e petrolifero.

Verrà come prima cosa fornito il modello logico dell'architettura di rete, con la definizione delle singole componenti costituenti i nodi di accesso (principalmente stazioni radiobase e antenne per la copertura del segnale) e la centrale di controllo del traffico.

Successivamente verrà illustrata la dislocazione territoriale dei singoli elementi per garantire la copertura del segnale nelle aree di interesse individuate nel capitolo 2, e verrà fornita un'indicativa prima stima economica della struttura.

6.2 Soluzione licenziata e non licenziata

Lo standard 802.16e prevede l'utilizzo di frequenze nel *range* dei 2 – 6 GHz. A partire da questa specifica, le normative nazionali e internazionali hanno definito le bande utilizzabili dalla tecnologia WiMAX, che possono variare da Paese a Paese.

Nel caso italiano, il Ministero delle Comunicazioni ha stabilito nel 2007 che la banda disponibile per l'utilizzo dei dispositivi WiMAX è quella dei 3.4 – 3.6 GHz: tali licenze sono state vendute tramite gara e sono quindi frequenze che richiedono il possesso di una licenza per poter essere utilizzate.

Inoltre, alcuni produttori (come ad esempio Alvarion) hanno sviluppato dispositivi WiMAX funzionanti nella banda non licenziata dei 5 GHz, e che sono quindi installabili e utilizzabili senza la necessità di avere una licenza.

Esistono dunque due possibili soluzioni per l'installazione di una rete WiMAX: una soluzione cosiddetta "licenziata" a 3.5 GHz e una "non licenziata" a 5 GHz.

Il principale vantaggio derivante dalla trasmissione radio su frequenze licenziate è la garanzia di un utilizzo privo di interferenze e quindi un maggiore controllo sulla qualità del servizio offerto. Tutto questo però comporta costi maggiori nella definizione del progetto e, con ogni probabilità, tempi più lunghi, in quanto è necessario contrattare, con il soggetto aggiudicatario della gara sul territorio di interesse, il diritto di licenza per l'utilizzo delle apposite frequenze.

Utilizzare frequenze non soggette a licenza ha il vantaggio di ridurre i tempi burocratici di progetto e di aumentare il livello di scalabilità della rete, la quale può essere ampliata in base alle esigenze dell'utenza senza problemi di autorizzazioni sulla trasmissione. Lo svantaggio principale è dovuto al grosso rischio di subire fenomeni di interferenza da altri dispositivi presenti in zona che, in linea di principio, possono ridurre drasticamente la qualità del servizio.

Per la tipologia di servizi del sistema POADSS, che richiedono garanzie sulla qualità del segnale radio ricevuto a bordo nave, una soluzione licenziata è sicuramente preferibile ad una operante su frequenze libere.

Tuttavia, l'architettura della rete non è vincolata da questa scelta, e dunque il modello proposto nelle sezioni seguenti risulta valido, in prima analisi, sia che la scelta ricada sul tecnologie funzionanti su frequenze licenziate, sia che vengano preferite soluzioni non licenziate. La stima economica invece sarà effettuata tenendo conto delle due possibili scelte.

6.3 Architettura logica della rete

La struttura logica fondamentale di una rete WiMAX 802.16e, rappresentata in Fig. 6.1, presenta le seguenti componenti fondamentali:

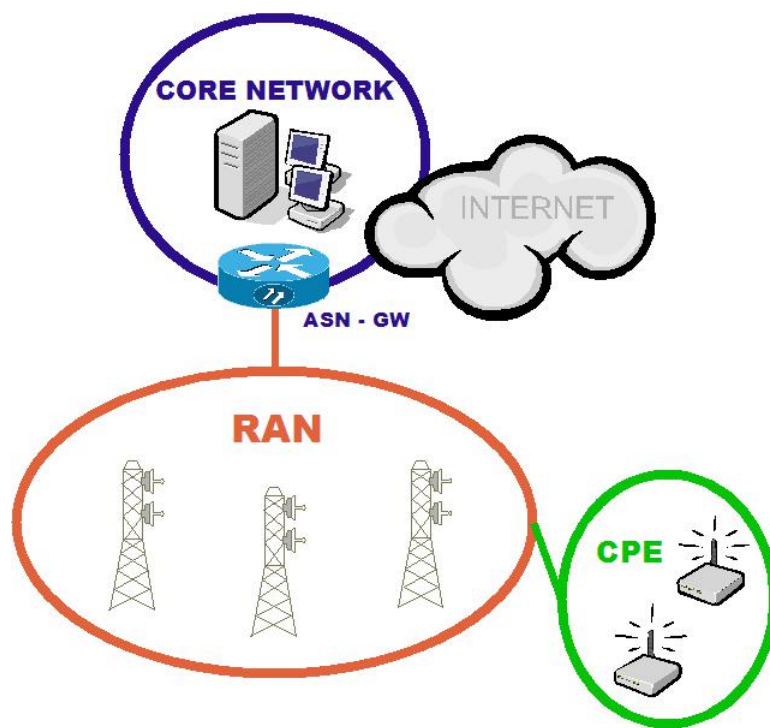


Figura 6.1: Struttura logica rete 802.16e.

- **Core Network:** è la centrale di controllo della rete; tipicamente costituita da un *server* dove sono installati alcuni programmi in grado di monitorare il funzionamento dei singoli componenti della rete e la configurazione remota dei nodi.
- **ASN GW¹:** è il nodo che gestisce il flusso dei dati da e verso le stazioni base della RAN e i pacchetti di controllo della Core Network. Costituisce dunque il cuore della rete di accesso, perché ricopre il ruolo di principale gestore dell'instradamento di tutti i pacchetti interni alla rete stessa.
- **RAN²:** implementa l'accesso radio alla rete; è costituita dall'insieme di tutti i nodi che fungono da *access points* per gli utenti, e che convogliano il traffico dati verso l' ASN GW per l'instradamento.

¹Access Service Network Gateway.

²Radio Access Network.

- **CPE**³: sono i terminali attraverso i quali gli utenti possono avere accesso agli *access points* della rete.

La scelta e la collocazione fisica del nodo ASN GW è uno degli aspetti fondamentali nella progettazione della struttura logica della rete dati.

Questo infatti deve essere in grado di gestire e instradare tutto il traffico generato da ogni nodo della rete, e per questo motivo dalla sua efficienza dipende strettamente l'efficienza stessa dell'intero sistema.

6.3.1 Architettura centralizzata

Uno degli approcci più diffusi prevede un'installazione centralizzata del nodo ASN GW, che viene quindi collocato all'interno della *Core Network*, assieme ai *server* della centrale di controllo, come in Fig. 6.1

Questa struttura topologica presenta tre principali implicazioni:

1. Il nodo ASN GW deve essere sufficientemente prestante per poter gestire il traffico dati proveniente da tutte le stazioni base facenti parte la RAN della rete. Maggiore è il numero dei nodi e maggiori sono le prestazioni richieste, comportando tipicamente soluzioni *hardware* più complesse e dunque un impatto maggiore sui costi.
2. Essendo situato al centro dell'architettura di rete, tutto il traffico dati proveniente dalle stazioni base deve giungere alla centrale per poter essere elaborato e opportunamente instradato. Essendo quest'ultima mediamente distante molti chilometri dai nodi di accesso, è necessario valutare attentamente i ritardi dovuti a questi tempi di percorrenza, perché potrebbero generare imprevisti fenomeni di latenza.
3. Un guasto dell'ASN GW è in grado di compromettere l'intera rete, essendo questo l'unico nodo adibito all'elaborazione e all'instradamento dei pacchetti di tutto il sistema. E' possibile porre rimedio al problema disponendo di adeguata ridondanza (tipicamente un secondo nodo ASN GW da utilizzare in caso di guasto del nodo principale) ma con costi aggiuntivi.

6.3.2 Architettura decentralizzata

Un secondo approccio utilizzabile per la progettazione della struttura logica della rete dati prevede di decentralizzare il nodo ASN GW direttamente sui punti di accesso della RAN, come raffigurato in Fig. 6.2.

³*Customer-Premises Equipment.*

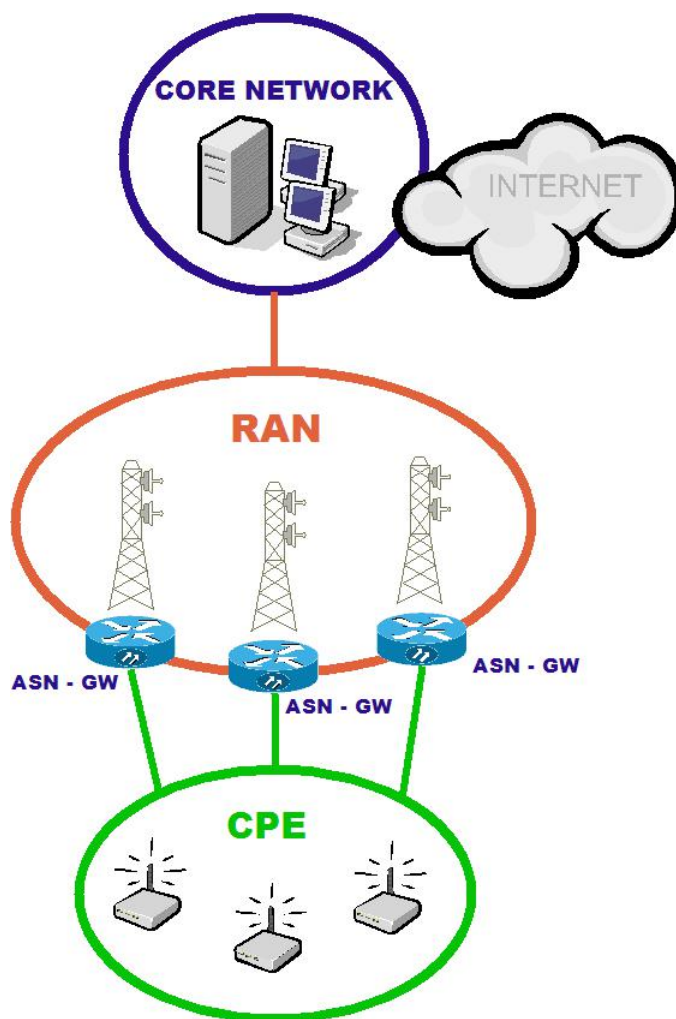


Figura 6.2: Architettura decentralizzata.

In questo caso, più nodi ASN GW vengono installati direttamente sulle stazioni radio base ed elaborano il traffico dati generato dagli utenti che si connettono all' *access point* al quale sono collegati, eliminando dunque il problema di eventuali tempi di latenza dovuti alla distanza della centrale dai ripetitori.

Qualora un utente dovesse passare, durante il collegamento, da una stazione base ad un'altra (operazione di *handover*), il suo traffico verrebbe comunque elaborato dal nodo ASN GW della stazione con la quale è stata stabilita la prima connessione; si noti comunque che, anche in questo ca-

so, eventuali ritardi di percorso sono da considerarsi trascurabili, in quanto mediamente la distanza tra *access points* consecutivi è ridotta.

Rispetto ad un'architettura centralizzata, la decentralizzazione comporta i seguenti vantaggi:

- I singoli nodi ASN GW, seppur nell'insieme siano in numero maggiore rispetto al modello centralizzato, devono gestire un numero molto minore di utenti e quindi presentano un *hardware* generalmente meno complesso, e con costi maggiormente scalabili alle dimensioni della rete.
- Il guasto di un singolo nodo ASN GW non pregiudica il funzionamento dell'intero sistema, in quanto tutti gli altri nodi sono perfettamente in grado di operare in autonomia.
- Eventuali tempi di latenza dovuti alla distanza degli *access points* dalla centrale diventano trascurabili.

6.3.3 Architettura logica del sistema POADSS

Per supportare il sistema POADSS, una struttura di rete decentralizzata è preferibile rispetto ad un modello con ASN GW unico per i seguenti motivi:

1. La rete deve gestire un numero ridotto di *clients*, e dunque non ha necessità di avere un unico nodo ASN GW ad alte prestazioni che sia in grado di elaborare i pacchetti dati provenienti da migliaia di utenti (come ad esempio potrebbe accadere nelle reti di telefonia mobile). Le principali tipologie di utenti infatti sono due:
 - (a) *Clients* di bordo: sono le unità da utilizzare a bordo nave durante le missioni di ingresso e uscita dal porto. Queste unità sono in numero limitato, principalmente perché i flussi di accesso delle grandi navi alla rada di Venezia è severamente regolamentato. Un numero indicativo di quanti potrebbero essere questi client di bordo è dell'ordine della decina di unità.
 - (b) Utenti servizi di terra: sono gli utenti del porto dei servizi di terra messi a disposizione del sistema (come per esempio servizi di monitoraggio della flotta e videosorveglianza). Il numero di tali utenti è stimabile nell'ordine di alcune decine di unità.
2. E' preferibile evitare qualsiasi possibile fonte di latenza nelle trasmissioni, soprattutto per quanto riguarda la trasmissione dei pacchetti DGPS/RTK.

3. Il sistema POADSS deve garantire il servizio 24 ore su 24, senza interruzioni. Un'ipotesi di guasto al nodo centrale ASN GW potrebbe compromettere la rete nella sua totalità, mentre una struttura decentralizzata è maggiormente robusta a questo tipo di inconvenienti. E' possibile comunque prevedere opportuna ridondanza del nodo centrale ASN GW per ovviare a questo tipo di problematiche, con conseguente aumento dei costi della struttura.

Essendo tutti i componenti di terra del sistema POADSS connessi, in uscita, ad unico *switch* Ethernet, è ragionevole assimilare, a livello logico, l'intera centrale di controllo di tale sistema in un unico blocco.

E' sufficiente dunque connettere tale blocco alla RAN del modello di rete decentralizzato per ottenere il generico schema logico dell'intera architettura, raffigurato in Fig. 6.3.

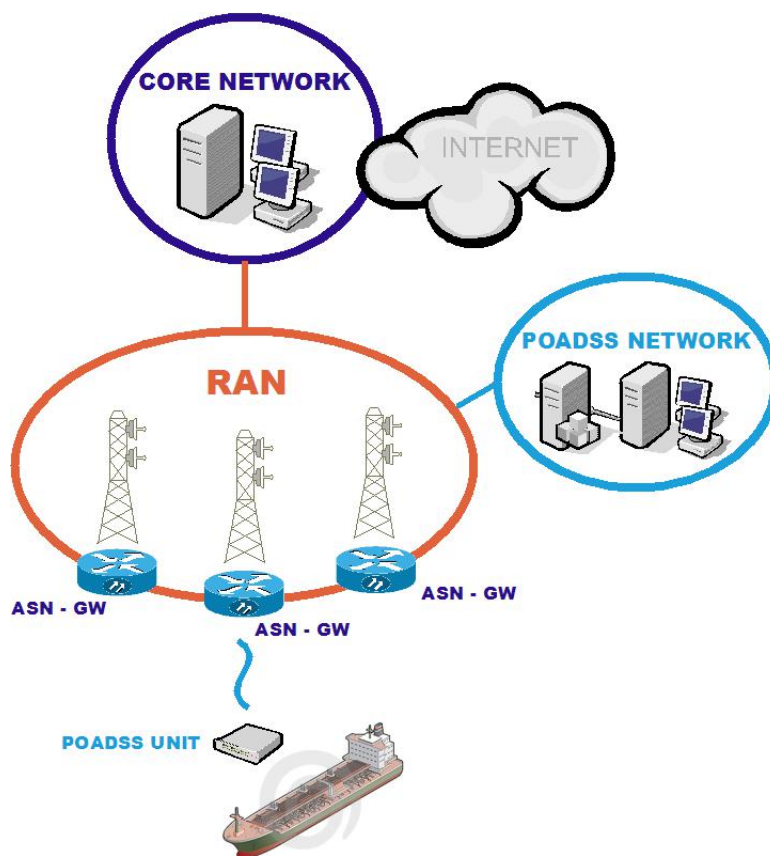


Figura 6.3: Schema logico dell'intera rete POADSS.

6.4 Progettazione del modello sperimentale

Il modello logico generico individuato nella sezione 6.3 dovrà ora essere caratterizzato in ogni sua parte mediante una serie successiva di passi di progettazione che vanno dalla scelta dei siti per un ipotetico posizionamento geografico degli *access points* alla configurazione *hardware* degli elementi.

6.4.1 Individuazione dei siti

Per garantire la copertura richiesta (vedi Fig. 2.7 a pagina 54) sono stati individuati complessivamente quattro siti sui quali posizionare le stazioni radio base, come raffigurato in Fig. 6.4 nella pagina successiva.

Si sottolinea che in questo elaborato non vengono sviluppati gli aspetti dei lavori civili richiesti dalle strutture e delle relative autorizzazioni.

- **Torre piloti:** situata agli Alberoni, è la torre di controllo della Corporazione Piloti dell'Estuario Veneto. E' dotata di apparecchiature radar e sistemi radio VHF per la comunicazione con le navi nelle fasi di approccio alla rada di Venezia. Il sito, considerata l'altezza di 36 m e la presenza di alimentazione, è ideale per la collocazione di una stazione radio base.

Torre Piloti - Alberoni	
Latitudine	45°20'23.61"N
Longitudine	12°18'38.46"E
Altezza	36 m s.l.m.m.
Alimentazione	SI



Figura 6.5: Torre Piloti degli Alberoni, Lido di Venezia.

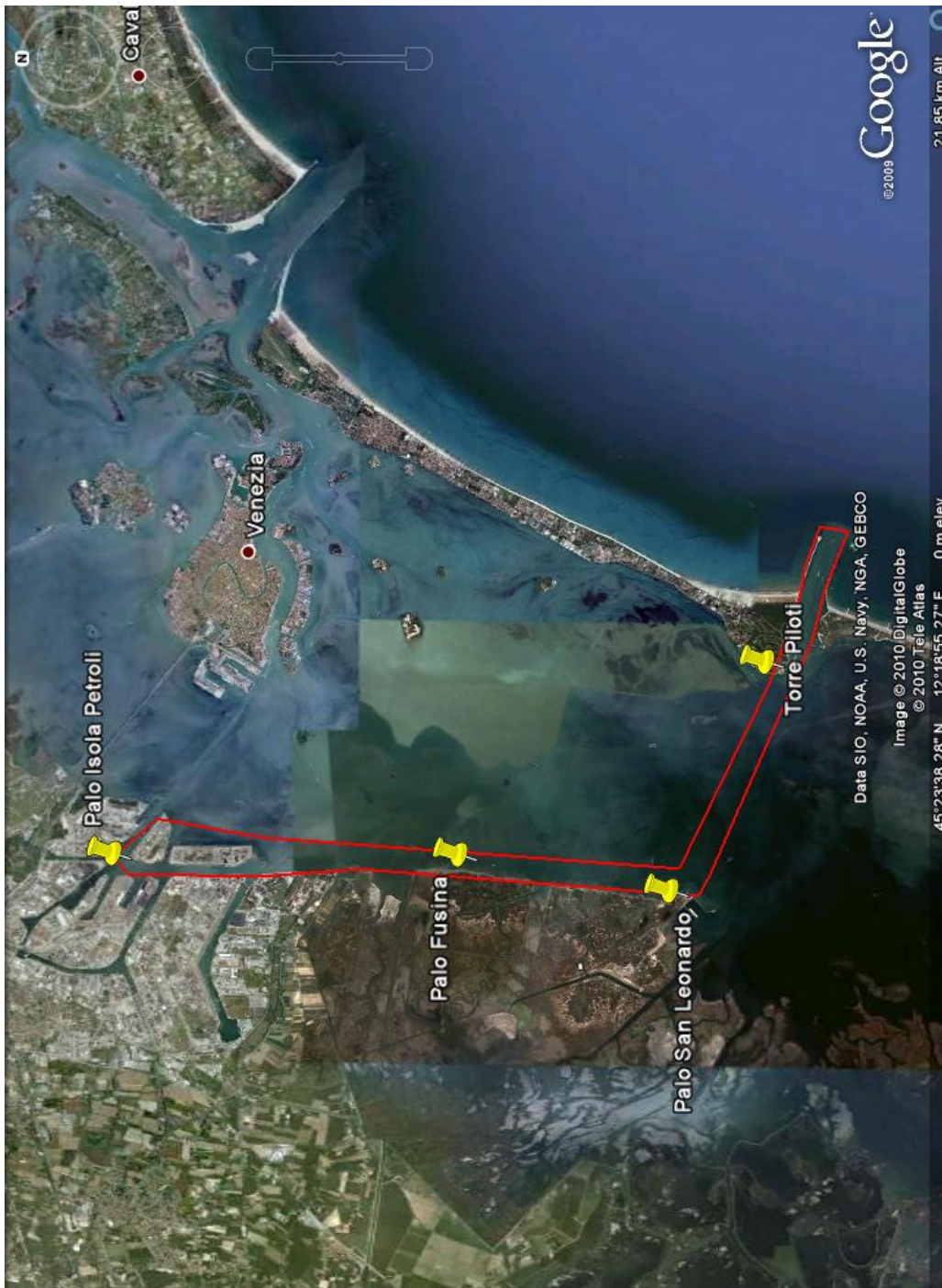


Figura 6.4: Siti delle stazioni radio base.

Di seguito vengono riportati altri 3 siti dove sono già presenti, o saranno presenti a breve, strutture di sostegno per sistemi tecnologici nel contesto di progetti di monitoraggio del traffico marittimo in aree lagunari:

- **Isola dei Petroli:** è un palo di sostegno situato nell' Isola dei Petroli, a Porto Marghera. La struttura presenta un'altezza complessiva di 15 m s.l.m.m. ed è fornita di alimentazione: è dunque ragionevole ipotizzare la collocazione di una stazione radio base su questa struttura.

Palo Isola dei Petroli	
Latitudine	45°27'16"N
Longitudine	12°15'42"E
Altezza	15 m s.l.m.m.
Alimentazione	SI

- **Fusina:** il sito è localizzato all'interno del Canale dei Petroli, all'altezza di Fusina. Consiste di un palo di sostegno con caratteristiche molto simili a quello dell' Isola dei Petroli: la struttura infatti raggiunge un'altezza di circa 15 m s.l.m.m. e preleva l'alimentazione per il sistema dal vicino sentiero luminoso per il canale di navigazione. Essendo tuttavia l'alimentazione sufficiente unicamente a soddisfare le esigenze degli apparati degli altri sistemi previsti sul sito, sono da prevedere interventi di potenziamento dell'alimentazione alla struttura di sostegno per poter alimentare anche gli apparati radio base.

Palo Fusina	
Latitudine	45°23'37"N
Longitudine	12°15'43"E
Altezza	15 m s.l.m.m.
Alimentazione	Da potenziare

- **San Leonardo:** è ipotizzabile considerare l'area del porto petroli di San Leonardo come sede per il posizionamento di un nodo *access point*. L'area è fornita di alimentazione (sono presenti infatti le raffinerie per lo stoccaggio e la lavorazione dei prodotti petroliferi) e comprende una piattaforma petrolifera attrezzata all'ancoraggio di navi petroliere. Una struttura a palo di 15 m di altezza analoga a quelle di Fusina e dell'Isola dei Petroli è ideale per il posizionamento della stazione radio base.

Palo San Leonardo	
Latitudine (stimata)	45°23'37"N
Longitudine (stimata)	12°15'43"E
Altezza (stimata)	15 m s.l.m.m.
Alimentazione	SI

6.4.2 Connessioni

Individuati i possibili siti per l'installazione degli apparati, viene ora descritto il posizionamento dei singoli elementi costituenti la rete, suddivisi come descritto nello schema logico ricavato nella sezione 6.3.3.

6.4.2.1 Core Network

Essendo la rete strutturata secondo un modello decentralizzato, gli elementi costituenti la *Core Network* non comprendono il nodo ASN GW, ma sono semplicemente:

- **Server di gestione:** postazione *server* con terminale nel quale installare i programmi di gestione degli elementi della rete radio, cioè stazioni base e moduli *client*.
 - **Software SNMP⁴:** applicazione basata su protocollo SNMP, consente di monitorare e gestire da remoto ogni singola stazione radio base facente parte della rete radio. Tramite questo *software* è possibile dunque modificare le configurazioni degli *access points* (come ad esempio frequenza operativa, ampiezza di canale, ecc.) ed aggiornare il *firmware* delle stesse.
 - **Software CWMP⁵:** applicazione basata su protocollo CWMP, consente la configurazione da remoto delle unità *client* facenti parte della rete. E' possibile dunque dalla centrale modificare il *firmware* delle unità radio remote e modificare alcuni parametri della trasmissione, nonché di monitorare lo stato di funzionamento di ogni singola CPE.
- **Home Agent Mobile IP:** server che supporta la mobilità gestendo i meccanismi di *handover* ed eventuali cambi di indirizzi IP dei terminali nel muoversi tra sottoreti IP differenti.

⁴*Simple Network Management Protocol:* protocollo utilizzato per la gestione e la supervisione di apparati collegati in una rete.

⁵*CPE WAN Management Protocol:* protocollo utilizzato per la configurazione delle unità CPE in una rete.

- **Server di autenticazione AAA:** realizza l'autenticazione degli utenti per mezzo di meccanismi basati su username e password permettendo l'accesso alla rete. A fronte di una identificazione positiva vengono poi fornite le chiavi per la cifratura del segnale per la trasmissione.

Ai fini della tesi si ipotizza di ospitare tutta la strumentazione nella sede di Thetis nel Parco Scientifico Tecnologico VEGA, a Marghera. In fase realizzativa si potranno valutare collocazioni diverse in base al soggetto che sarà destinato a gestire la rete, come ad esempio l'Autorità Portuale di Venezia.

6.4.2.2 RAN, POADSS Network e CPE

La parte RAN della rete deve rispondere ad uno specifico requisito di robustezza del servizio, che nasce dalle esigenze del sistema POADSS di essere garantito 24 ore su 24 senza possibilità di subire interruzioni dovute a guasti della struttura di rete alla quale si appoggia.

Per questo motivo, è stata prevista un'opportuna ridondanza negli elementi costituenti la RAN, posizionando in ogni sito previsto dalla copertura una coppia di stazioni radio base delle quali una in servizio e una da utilizzare in caso di guasto della prima tramite un apposito *switch* automatico.

Inoltre, per come è strutturata e per le conseguenti differenti esigenze, è utile suddividere la parte RAN della rete in tre settori specifici:

1. **Centrale di controllo VEGA:** in Fig. 6.8 a pagina 142 sono rappresentati i collegamenti tra i principali blocchi costituenti il sistema: i server POADSS, WMS, VTS e le postazioni di controllo della *Core Network* hanno tutte un'uscita Ethernet connessa ad uno *Switch*, il quale a sua volta viene connesso, sempre tramite cavo Ethernet, da un lato alla rete Internet e dall'altro al ponte radio diretto alle stazioni radio base WiMAX. Le stazioni vengono alimentate direttamente da un cavo Ethernet, mediante tecnologia PoE⁶.
2. **Torre Piloti:** la stazione radio base della torre piloti viene connessa, tramite un opportuno convertitore Ethernet, direttamente alla *base station* per i segnali di correzione RTK e , tramite la rete Internet, alla parte di terra del sistema POADSS con sede al VEGA. Tramite la connessione Internet dunque è possibile controllare da remoto l'*access point* dalla centrale. E' previsto che la stazione piloti monti un'antenna omnidirezionale da 9.5 dBi , per garantire la copertura di tutta

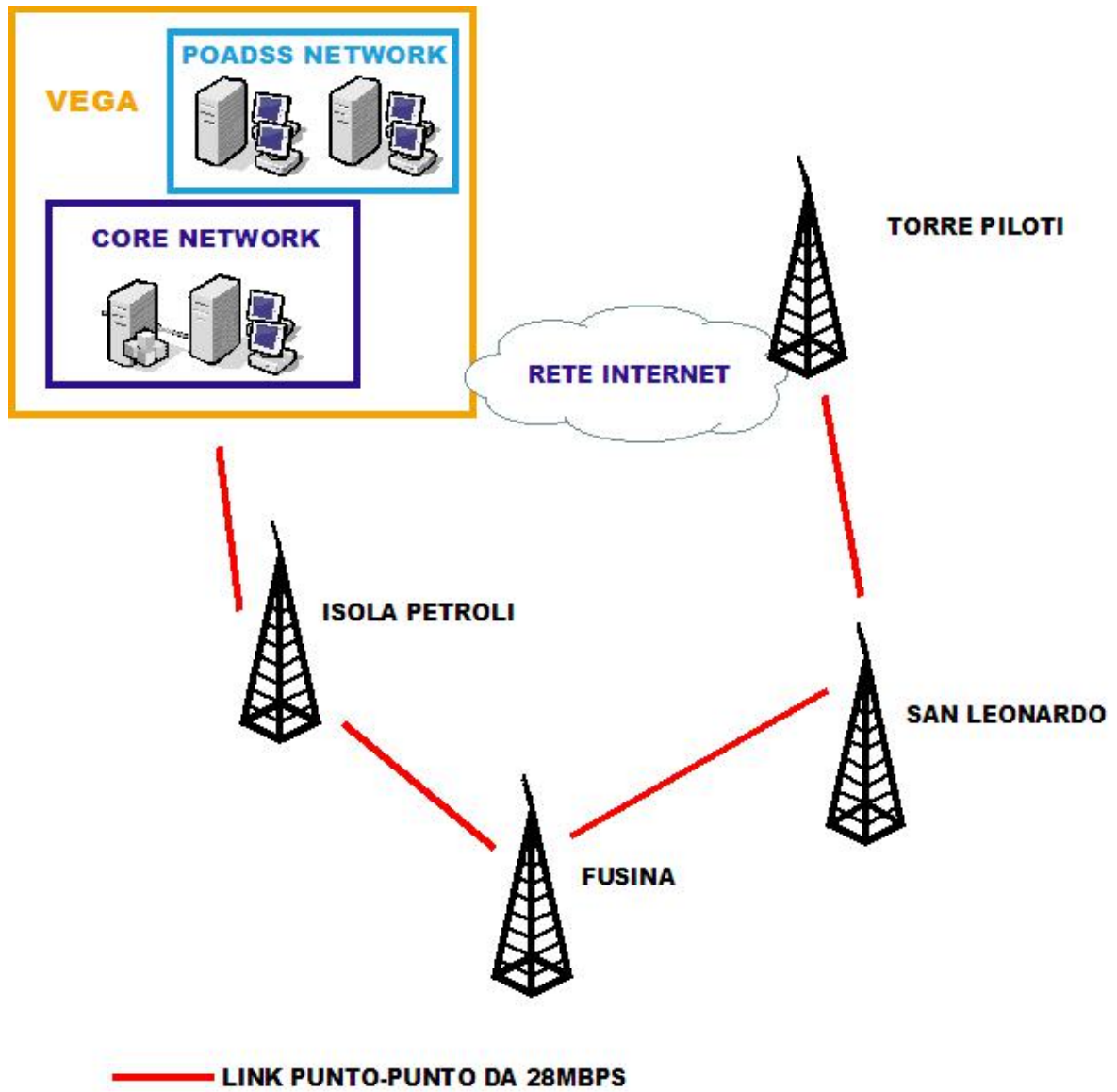
⁶Power over Ethernet.



Figura 6.6: Dislocazione degli elementi di rete.

l'area circostante la Bocca di porto di Malamocco, come raffigurato in Fig. 6.9 a pagina 143.

3. **Stazioni su pali:** le stazioni radio base posizionate sui tre siti con struttura a palo descritti nella sezione 6.4.1 devono essere connesse alla centrale di controllo mediante appositi *link* punto-punto dedicati. Per l'installazione di questi *link* è possibile utilizzare dispositivi HiperLAN a 28 Mbps, secondo lo schema presentato in Fig. 6.7 a fronte. Il link punto-punto che connette la stazione collocata a San Leonardo con quella alla Torre Piloti, anche se non strettamente necessario in quanto quest'ultima risulta già connessa alla centrale tramite rete Internet, garantisce la diretta comunicazione radio tra tutte le stazioni, e consente comunque al servizio di rimanere attivo anche in caso di eventuali problemi alla rete Internet. Le stazioni posizionate sui pali di Fusina e del Porto San Leonardo montano delle antenne settoriali 90° a singola polarizzazione, mentre la stazione dell' Isola dei Petroli è previsto che monti un'antenna omnidirezionale per garantire la copertura dell'area circostante del porto, come indicato in Fig. 6.9 a pagina 143.

Figura 6.7: Configurazione dei *link* Punto-Punto.

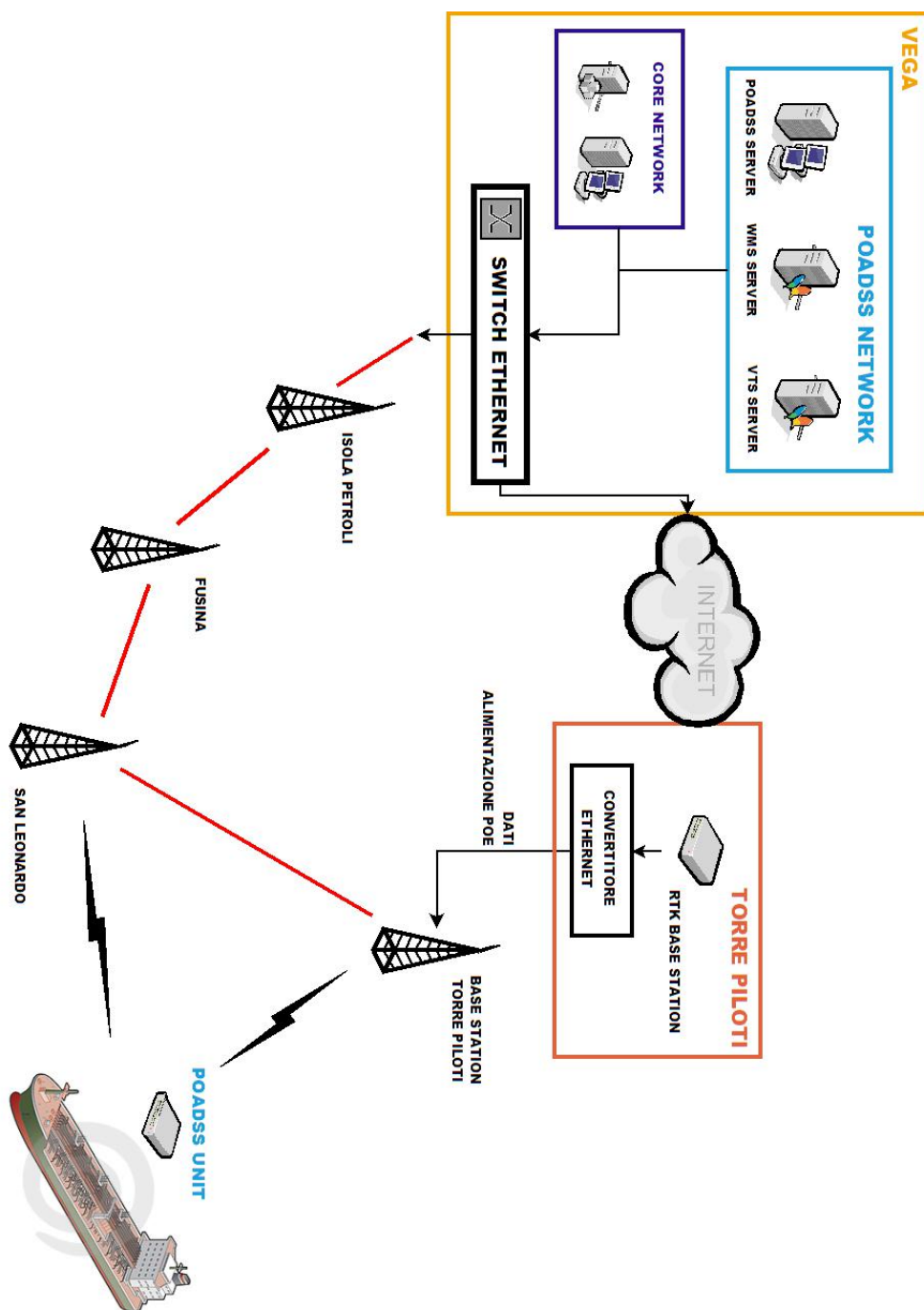


Figura 6.8: Collegamenti tra i blocchi costituenti la rete.



Figura 6.9: Posizionamento e tipologia di antenne.

6.5 Stima economica

Viene fornita di seguito una prima stima economica del modello sperimentale ipotizzato.

Le principali voci di costo sono le seguenti:

- **Progettazione:** comprende il *design* completo del sistema in ogni suo dettaglio, i sopralluoghi necessari presso i siti individuati e le autorizzazioni richieste per la messa in atto del progetto.
- **Strumentazione:** sono comprese tutte le componenti *hardware* del sistema, dalle stazioni radio base alle unità *client*.
- **Installazione:** comprende i costi di installazione degli apparati nei siti individuati.
- **Lavori civili:** comprendono tutti i lavori civili necessari alla realizzazione del sistema, ad esempio eventuali pose di strutture di sostegno per le stazioni radio base, realizzazione cavidotti e simili.
- **Manutenzione:** sono i costi direttamente attribuibili alle attività di manutenzione richieste dal sistema, una volta che questo è stato realizzato.
- **Licenze:** sono i costi previsti per ottenere una licenza di trasmissione su frequenze non liberamente utilizzabili.

In questa tesi vengono analizzati, a titolo di esempio, unicamente le voci riguardanti la strumentazione; non vengono sviluppate invece tutte le altre voci riguardanti eventuali lavori civili, costi di progettazione e manutenzione.

Viene dunque ora fornito un esempio di stima economica per la strumentazione richiesta, nello specifico caso di utilizzo di tecnologia funzionante su frequenze non licenziate.

6.5.1 Esempio: WiMAX non licenziato

In questo esempio si suppone di utilizzare gli apparati Alvarion della famiglia BreezeMAX Extreme 5000.

Sono dispositivi con certificazione WiMAX Forum 802.16e operanti nelle bande di frequenze che vanno dai 5.47 GHz ai 5.95 GHz, in grado dunque di trasmettere su frequenze liberamente accessibili senza licenza, e di conseguenza utilizzabili principalmente per la realizzazione di reti private.

Gli *access points* BreezeMAX Extreme 5000 integrano al loro interno la stazione radio base e il nodo ASN GW in un'unica unità esterna, che semplifica dunque l'installazione del sistema e consente una logica di rete decentralizzata.

Supportano i servizi in mobilità e la gestione della *QoS*⁷, dunque permettono di regolare, tramite opportune etichette, la priorità dei pacchetti generati dalle varie fonti di traffico all'interno della rete stessa.

Questa linea di prodotti implementa inoltre la tecnologia MIMO⁸, caratteristica che rende particolarmente robusta la comunicazione in condizioni critiche e che garantisce un ottimo raggio di copertura per cella.



Figura 6.10: *Access Point* Alvarion BreezeMAX Extreme 5000.

Le principali voci di costo sono le seguenti:

- **Stazioni radio base:** sono state stimate un totale di 14 stazioni radio base Alvarion BreezeMAX Extreme 5000, di cui 10 da installare nei siti previsti e 4 da mettere a magazzino come scorte in caso di necessità di sostituzione.
- **Antenne:** sono previste un totale di 8 antenne settoriali 90° e 4 antenne omnidirezionali, di cui rispettivamente 4 e 2 da installare sulle stazioni radio base del sistema, mentre le restanti da mettere a magazzino scorte.

⁷ *Quality of Service.*

⁸ *Multiple-Input and Multiple-Output.*

- **Link punto-punto:** sono stati stimati 6 collegamenti punto-punto HiperLAN Alvarion BreezeACCESS, dei quali 4 effettivi e 2 a disposizione magazzino. Tutti i link sono comprensivi di antenne di trasmissione monodirezionali.
- **CPE:** sono state calcolate un totale di 10 unità radio *client*, da utilizzare a seconda del numero di unità POADSS di bordo in servizio.
- **Software di gestione della rete:** comprende i pacchetti applicativi Alvarion AlvariCRAFT e StarACS da installare nella centrale di controllo nella sede di Thetis S.p.A. all'interno del Parco Tecnologico VEGA.

Nella pagina seguente vengono riportate le principali voci di costo e un'indicativa stima economica del totale costi per le strumentazioni.

Codice	Q.tà	Descrizione
ALV-XTRM-BS-1SIS-5.4-EXT	14	BMAX Extreme BTS, singolo settore, no diversity/MIMO, banda 5.47-5.95GHz, connettore per antenna esterna singola polarizzazione (non inclusa). Kit di montaggio incluso. Limitata a 20 SUs per BTS (espandibile via licenze sw). Indoor Unit (IDU) e cavo indoor to outdoor NON inclusi e da ordinare separatamente. (Part Num. 954001).
ALV-BRNETB28-PP-5.4-EXT	6	BNET 28 Mbps, link punto-punto, banda 5GHz, antenna inclusa. Kit di montaggio incluso. (Part Num. 854257).
SECTOR-90°-5G	8	90° directional ruggedizedhigh-performance antenna, cable INCLUDED, and mast mount hardware. Terminating connector: N male
OMNI-9.5-5G	3	9.5 dBi Omni-directional ruggedizedhigh-performance antenna, 4.9-5.875 GHz, 5 ft. (0.5m) cable INCLUDED, and mast mount hardware. Terminating connector: N male Total gain: 9.5dBi. (Part num. 300709).
ALV-XTRM-CBL-BS-POE-50	14	Cavo Power over Ethernet per connettere l'alimentatore Extreme PoE con la unità Extreme base station, lunghezza 50 mt. Da ordinare con l'alimentatore Extreme PoE. (Part num. 935026).
ALV-XTRM-IDU	14	Alimentatore Indoor AC/DC PoE standard per unità Extreme base-station. 110/220 VAC INPUT. 70W,55V/1.27A DC OUTPUT. Cavo di alimentazione AC Non incluso da ordinare separatamente. (Part Num. 950400).
ALV-XTRM-IDU-POWERCABLE	14	Cavo alimentazione Indoor AC, Euro standard, 250V, 1.83 mt. (Part Num. 735305).
Codice	Q.tà	Descrizione
		CPE MIMO da 6 Mb/s
ALV-XTRM-SU-A-6-ODU	10	Subscriber Unit BMAX Extreme 5000 con antenna integrata 16dbi doppia polarizzazione. Unità Outdoor radio 4.9-5.9 GHz. 6 Mbps data rate, MIMO 2x1. Indoor Unit (IDU) e cavo indoor to outdoor NON sono inclusi. (Part num. 950303).
ALV-XTRM-SU-IDU	10	BreezeMAX Extreme subscriber unit standard Indoor unit - BreezeMAX Data Bridge Indoor Module con una porta 10/100 Base-T. Cavo di alimentazione non incluso. (Part num. 960001).
ALV-XTRM-IDU-POWERCABLE	10	Cavo alimentazione Indoor AC, Euro standard, 250V, 1.83 mt. (Part Num. 735305).
CBL-20	10	Indoor unit to outdoor unit baseband cable for use with BreezeNET, BreezeACCESS and BreezeMAX. Terminating connectors: RJ 45 ruggedized Length: 20 m. (Part Num. 811654)
Codice	Q.tà	Descrizione
		SW di Management AlvaricRAFT per sole Base Station - Opzione alternativa al TELNET
ALVARICRAFT-XTRM	1	AlvaricRAFT per BreezeMAX Extreme, licenza singola per tecnico installatore. AlvaricRAFT gestisce una singola BST. Include il Database Oracle. (Part Num. 715729)
Codice	Q.tà	Descrizione
		SW di Management StarACS per sole CPE - Opzione alternativa alla Web GUI
STAR-ACS-SERVER	1	STAR-ACS Server SW License per BreezeMAX Extreme. Include Licenza per 5 client. Include licenza per 10 SU. (Capacità - fino a 500K CPE). Non include il Database Oracle. (Part num. 715737)
STAR-ACS-1SU	10	Management license Fee per ogni CPE che è gestita da STAR-ACS. (Part num. 715711).
TOTALE		250.000,00

6.5.2 Approccio implementativo

Prima di passare alla realizzazione del modello sperimentale, è prevista una fase di test della durata di 8 mesi durante la quale si prevede di realizzare unicamente l'*access point* situato alla Torre Piloti degli Alberoni, e valutarne dunque l'efficienza.

Il test prevede di fornire alla Corporazione Piloti alcune unità di bordo del sistema POADSS e di verificare la funzionalità del collegamento radio fornito tramite i dispositivi WiMAX.

Per l'allestimento del sistema di test, sono previste le seguenti voci di costo:

- **Stazioni radio base:** sono previste un totale di 2 stazioni radio base Alvarion BreezeMAX Extreme 5000, una da collocare nel sito previsto e l'altra da mettere a magazzino.
- **Antenne:** sono previste un totale di 3 antenne omnidirezionali a 5 GHz, di cui una da collocare sulla *base station* e le altre da tenere di scorta.
- **CPE:** sono state calcolate un totale di 4 unità radio *client*, da utilizzare a seconda del numero di unità POADSS di bordo in servizio durante tutto il periodo di test.
- **Software di gestione della rete:** comprende i pacchetti applicativi Alvarion AlvariCRAFT e StarACS da installare nella centrale di controllo nella sede di Thetis S.p.A. all'interno del Parco Tecnologico VEGA.

Nella pagina seguente vengono riportate le principali voci di costo e un'indicativa stima economica del totale costi per le strumentazioni necessarie a questa prima fase di implementazione.

Codice	Q.tà	Descrizione
ALV-XTRM-BS-1SIS-5.4-EXT	2	BMAX Extreme BTS, singolo settore, no diversity/MIMO, banda 5.47-5.95GHz, connettore per antenna esterna singola polarizzazione (non inclusa). Kit di montaggio incluso. Limitata a 20 SUs per BTS (espandibile via licenze sw). Indoor Unit (IDU) e cavo indoor to outdoor NON inclusi e da ordinare separatamente. (Part Num. 954001).
OMNI-9.5-5G	3	9.5 dBi Omni-directional ruggedizedhigh-performance antenna, 4.9-5.875 GHz, 5 ft. (0.5m) cable INCLUDED, and mast mount hardware. Terminating connector: N male Total gain: 9.5dBi. (Part num. 300709).
ALV-XTRM-CBL-BS-POE-50	2	Cavo Power over Ethernet per connettere l'alimentatore Extreme PoE con la unità Extreme base station, lunghezza 50 mt. Da ordinare con l'alimentatore Extreme PoE. (Part num. 935026).
ALV-XTRM-IDU	2	Alimentatore Indoor AC/DC PoE standard per unità Extreme base-station. 110/220 VAC INPUT. 70W,55V/1.27A DC OUTPUT. Cavo di alimentazione AC Non incluso da ordinare separatamente. (Part Num. 950400).
ALV-XTRM-IDU-POWERCABLE	2	Cavo alimentazione Indoor AC, Euro standard, 250V, 1.83 mt. (Part Num. 735305).
Codice	Q.tà	Descrizione
		CPE MIMO da 6 Mb/s
ALV-XTRM-SU-A-6-ODU	4	Subscriber Unit BMAX Extreme 5000 con antenna integrata 16dbi doppia polarizzazione. Unità Outdoor radio 4.9-5.9 GHz. 6 Mbps data rate, MIMO 2x1. Indoor Unit (IDU) e cavo indoor to outdoor NON sono inclusi. (Part num. 950303).
ALV-XTRM-SU-IDU	4	BreezeMAX Extreme subscriber unit standard Indoor unit - BreezeMAX Data Bridge Indoor Module con una porta 10/100 Base-T. Cavo di alimentazione non incluso. (Part num. 960001).
ALV-XTRM-IDU-POWERCABLE	4	Cavo alimentazione Indoor AC, Euro standard, 250V, 1.83 mt. (Part Num. 735305).
CBL-20	4	Indoor unit to outdoor unit baseband cable for use with BreezeNET, BreezeACCESS and BreezeMAX. Terminating connectors: RJ 45 ruggedized Length: 20 m. (Part Num. 811654)
		0
Codice	Q.tà	Descrizione
		SW di Management AlvaricRAFT per sole Base Station - Opzione alternativa al TELNET
ALVARICRAFT-XTRM	1	AlvaricRAFT per BreezeMAX Extreme, licenza singola per tecnico installatore. AlvaricRAFT gestisce una singola BST. Include il Database Oracle. (Part Num. 715729)
Codice	Q.tà	Descrizione
		SW di Management StarACS per sole CPE - Opzione alternativa alla Web GUI
STAR-ACS-SERVER	1	STAR-ACS Server SW License per BreezeMAX Extreme. Include Licenza per 5 client. Include licenza per 10 SU. (Capacità - fino a 500K CPE). Non include il Database Oracle. (Part num. 715737)
STAR-ACS-1SU	4	Management license Fee per ogni CPE che è gestita da STAR-ACS. (Part num. 715711).
		TOTALE
		40.000,00

Conclusioni

Nel presente lavoro di Tesi è stata valutata una possibile applicazione di alcuni protocolli per la trasmissione radio nello specifico ambito delle comunicazioni marittime.

In particolare, l'attenzione si è focalizzata sullo scambio di informazioni tra dispositivi a bordo nave e stazioni di controllo situate a terra, per rispondere all'esigenza sempre maggiore di trasmettere agli operatori di bordo ingenti moli di dati ricavati da sistemi di controllo del traffico posizionati nelle aree portuali, come per esempio i sistemi VTS⁹, in grado di monitorare vaste aree marittime integrando i dati su posizione e velocità dei natanti ricavati dai radar e i dati AIS¹⁰ trasmessi dalle navi.

Il problema è stato contestualizzato nello scenario specifico del Porto di Venezia, che risulta essere un esempio significativo delle problematiche riscontrabili nella gestione dei flussi di traffico navali: i suoi canali di accesso infatti, a causa della morfologia lagunare, sono spesso soggetti a fenomeni, quali ad esempio le variazioni del livello di marea, che possono complicare le operazioni di ingresso in porto.

Sono stati dunque definiti ed analizzati dapprima i requisiti generici di un sistema di comunicazione tra bordo nave e stazioni di terra, per poi focalizzare l'attenzione su un particolare dispositivo di supporto alla navigazione, denominato POADSS¹¹. Da un lato, il lavoro si è focalizzato sui requisiti tecnici del dispositivo, come la banda di trasmissione necessaria a supportare il servizio, che è stata stimata anche grazie all'ausilio di ripetute misure dirette sul traffico dati ricevuto effettuate in laboratorio, dall'altro si sono individuati i vincoli imposti dal contesto operativo nel quale deve essere utilizzato il sistema.

Successivamente è stato analizzato lo stato dell'arte delle maggiori tecnologie *wireless* a banda larga attualmente disponibili sul mercato, per valu-

⁹ *Vessel Traffic Service.*

¹⁰ *Automatic Identification System.*

¹¹ *Portable Operational Approach and Docking Support System.*

tarne un possibile impiego nel contesto di interesse; sono state prese in considerazione sia tecnologie la cui applicazione è da considerarsi consolidata in svariati ambiti, come ad esempio il GPRS, Wi-Fi e HiperLAN, che alternative temporalmente più recenti, e dunque per alcuni versi maggiormente innovative, come ad esempio WiMAX ed LTE.

Sono quindi stati confrontati i requisiti richiesti con le caratteristiche delle alternative tecnologiche disponibili, e tramite specifiche metodologie di scelta basate su metodi di confronto si è individuato nel protocollo IEEE 802.16e, maggiormente noto con il nome di WiMAX, la soluzione che meglio si presta ad un' applicazione come quella considerata. A supporto di tale scelta è stato descritto il sistema¹², interamente basato su tecnologia WiMAX, attualmente utilizzato nel porto della città di Singapore per supportare le attività marittime a bordo nave e le attività portuali di terra.

E' stato infine sviluppato un possibile modello di implementazione di una rete in grado di supportare l'introduzione del sistema POADSS in alcune aree specifiche della Laguna di Venezia, che comprendono la bocca di porto di Malamocco ed il canale dei Petroli fino a Porto Marghera. E' stato dapprima definito il modello logico dell'architettura di rete, con la definizione delle singole componenti costituenti i nodi di accesso e la centrale di controllo del traffico, e successivamente è stata illustrata una possibile dislocazione territoriale dei singoli elementi per garantire la copertura del segnale nelle aree di interesse. In conclusione, è stata fornita una stima economica della strumentazione richiesta dal sistema, comprensiva di una ipotetica prima fase di sperimentazione.

Alla luce di quanto è stato svolto nel presente elaborato di Tesi, vengono messi in evidenza i seguenti fatti rilevanti.

Lo sviluppo di una categoria di servizi applicativi come quella dei servizi ITS¹³ per i sistemi intelligenti di trasporto e viabilità richiede, in prima analisi, la possibilità di applicare le più avanzate tecnologie delle telecomunicazioni senza fili per la trasmissione di dati sensibili e lo scambio in tempo reale di informazioni tra i veicoli monitorati e le stazioni di controllo di terra.

Nello specifico campo dei servizi marittimi per il supporto alla navigazione e la gestione dei flussi di traffico navali, servizi che stanno trovando un impiego sempre maggiore in tutto il mondo per adeguare le strutture portuali agli standard di sicurezza ed efficienza di altri sistemi di trasporto come ad esempio quelli aeroportuali, tali tecnologie devono poter garantire agli utenti, oltre a specifici livelli di banda di trasmissione, anche particolari ca-

¹²WISEPORT: *WI*reless-broadband-access for *SEaPort*.

¹³*Intelligent Transportation System*.

ratteristiche di robustezza elettromagnetica a fronte di situazioni ambientali non ideali e adeguata portabilità e mobilità.

Un esempio rilevante in tal senso è riscontrabile nel sistema POADSS analizzato, la cui unità di bordo, per fornire il servizio, impone di poter disporre di un collegamento radio in grado di fornire all'interno della plancia di comando della nave durante le operazioni di ingresso in porto una banda minima garantita di almeno 150 kbit/s .

Sotto questo profilo, WiMAX è una tecnologia *wireless* a banda larga in grado di garantire, in linea teorica, tali prestazioni: l'elevato raggio di copertura per cella, che può arrivare a coprire svariati chilometri di territorio, unitamente all'ampia banda di trasmissione (fino a 30 Mbps teorici previsti dallo standard nella versione *mobile*) e ai servizi in mobilità, supportati da moderni algoritmi per la ricostruzione del segnale nelle trasmissioni non in linea di vista, sono le principali caratteristiche che rendono questa tecnologia appetibile per il contesto considerato. Ne è un'evidenza concreta la rete WISEPORT del porto di Singapore.

Un tema che non è stato affrontato direttamente nel presente lavoro, ma che meriterebbe ulteriori approfondimenti, sono gli applicativi specifici per gli utenti situati a terra supportabili da una ipotetica rete portuale WiMAX. L'esempio di Singapore, dove grazie alle rete WiMAX si forniscono non solo servizi a bordo nave ma anche applicazioni per le centrali terrestri quali ad esempio il controllo di reti di sensori per la raccolta di dati idrologici o il supporto diretto al personale nelle aree operative come ad esempio le aree di carico/scarico delle merci, è, sotto questo punto di vista, da sottolineare. Sarebbe quindi interessante estendere l'analisi ai requisiti di trasmissione riscontrabili nell'utilizzo di tali applicazioni, e capire fino a che punto la banda di trasmissione garantita da un sistema WiMAX possa risultare adeguata alla gestione di tale complesso insieme di servizi garantendo comunque la priorità dei flussi di informazione maggiormente critici sotto il profilo della sicurezza, come ad esempio il POADSS.

Appendice A

Datasheets

Vengono riportati nelle pagine seguenti alcuni *datasheet* di apparecchiature WiMAX attualmente presenti sul mercato, prodotte da diverse aziende internazionali.



BreezeMAX[®] Extreme 5000

WiMAX[™] 16e pioneer for the license-exempt market



QoS Private Networks Secure Data
WiMAX 16e video WISP Fast QoS Fast V
ordable Secure Secure Fast Fixed WISP Mobil
Fast Carrier Class Voice Video Private Networks

Headquarters

International Corporate HQ
Tel: +972.3.645.6262
Email: corporate-sales@alvarion.com

North America HQ
Tel: +1.650.314.2500
Email: n.america-sales@alvarion.com

Sales Contacts

Australia:
anz-sales@alvarion.com

Asia Pacific:
ap-sales@alvarion.com

Brazil:
brazil-sales@alvarion.com

Canada:
canada-sales@alvarion.com

Caribbean:
caribbean-sales@alvarion.com

China:
cn-sales@alvarion.com

Czech Republic:
czech-sales@alvarion.com

France:
france-sales@alvarion.com

Germany:
germany-sales@alvarion.com

Italy:
italy-sales@alvarion.com

Ireland:
uk-sales@alvarion.com

Japan:
jp-sales@alvarion.com

Latin America:
lasales@alvarion.com

Mexico:
mexico-sales@alvarion.com

Nigeria:
nigeria-sales@alvarion.com

Philippines:
ph-sales@alvarion.com

Poland:
poland-sales@alvarion.com

Portugal:
sales-portugal@alvarion.com

Romania:
romania-sales@alvarion.com

Russia:
info@alvarion.ru

Singapore:
asean-sales@alvarion.com

South Africa:
africa-sales@alvarion.com

Spain:
spain-sales@alvarion.com

U.K.:
uk-sales@alvarion.com

Uruguay:
uruguay-sales@alvarion.com

For the latest contact information
in your area, please visit:
www.alvarion.com/company/locations



www.alvarion.com

© Copyright 2009 Alvarion Ltd. All rights reserved.
Alvarion® and all names, product and service names
referenced herein are either registered trademarks,
trademarks, tradenames or service marks of Alvarion Ltd
in certain jurisdictions. All other names are or may be the
trademarks of their respective owners. The content herein is
subject to change without further notice.
"WiMAX Forum" is a registered trademark of the WiMAX
Forum. "WiMAX" the WiMAX Forum logo, "WiMAX Forum
Certified" and the WiMAX Forum Certified logo are trade-
marks of the WiMAX Forum.

215373 rev.a

Specifications

Radio & Modem

Unit type	All outdoor base station	
Configuration options	Single sector MIMO – integrated / external antenna Single sector SISO – integrated / external antenna + Dual sector SISO – external antenna * +	
Frequency	Base station 4900-5350 GHz 5470-5950 GHz	CPE 4900-5950 GHz
Channel bandwidth	5 MHz, 10 MHz, 2x10 MHz*	5 MHz, 10 MHz
Number of channels	MIMO: 2Rx, 2Tx SISO: 1Rx, 1Tx	2Rx, 1Tx
Radio access method	IEEE 802.16-2005 (16e OFDMA)	
Operational mode	TDD	
Central frequency resolution	2.5 MHz (for 5 MHz channel), 5 MHz (for 10,2x10 MHz channel)	
FFT size	512/1024	
Supported modulation	QPSK 1/2, 3/4 + Rep QAM16 1/2, 3/4 QAM64 2/3, 3/4, 5/6	
Air link optimization support	HARQ, CTC, compressed DL / UL Maps.	
Diversity	2x2, MIMO Matrix A, MRC, MIMO Matrix B*	

Transmit Power

Transmit power	Base Station 0-21 dBm, 1dB resolution	CPE QAM64: 18 dBm QAM16: 20 dBm QPSK: 21 dBm ATPC of 20 dB, 1 dB resolution 16 dBi
Integrated antenna gain	14.5 dBi	

Security

Authentication	Centralized over RADIUS, MS chap v.2 EAP TTLS over RFC-2865
Data encryption	AES WiMAX 16e

Interfaces

Network	IEEE 802.3 CSMA/CD
Standard compliance	10/100 Mbps, half/full duplex with auto negotiation
Data interface	PoE (55V DC), 48V DC
Power	Antenna (TNC), receiver integrated in unit
GPS	

Mechanical

Dimensions (H x D x W)	Base Station 51 x 28 x 14.7 cm	CPE 23 x 23 x 6.3 cm
Weight		
Extreme 5000 unit	11 kg	2 kg
Mounting Kit	5 kg	

Environmental

Operating temperature	-40°C to 55°C
Operating humidity	5%-95% non condensing, weather protected

Standard Compliance

EMC	ETSI EN 301 489-1, FCC p15
Safety	CE EN 60950-1/22, UL 60950-1/22
Environmental	ETS 300 019 part 2-1, 2-2, 2-4, IP67
Radio	ETSI EN 302 326, ETSI EN 301 390 ETSI EN 301 893, ETSI EN 302 502 FCC part 15.247, FCC part 15.407 ETSI 300 019-2-4 Class T4.1E (IEC-60068-2-56)
Humidity	ROHS
Regulatory compliance	

* Future

* Not available in North America

About Alvarion

Alvarion (NASDAQ: ALVR) is the largest WiMAX pure-player with the most extensive WiMAX customer base and over 250 commercial deployments around the globe. Committed to growing the WiMAX market, the company offers solutions for a wide range of frequency bands supporting a variety of business cases. Through its OPEN WiMAX strategy, superior IP and OFDMA know-how, and proven ability to deploy end-to-end turnkey WiMAX projects, Alvarion is shaping the new wireless broadband experience.



BreezeMAX™

All the technology and experience of Alvarion.
All the promise of WiMAX.

BreezeMAX is the industry's leading WiMAX solution, featuring advanced OFDM technology to support non-line-of-sight (NLOS) operation, adaptive modulation up to QAM64, and the highest spectral efficiency available. Operating in the 3.3, 3.5 and 3.6 GHz licensed frequency bands, BreezeMAX addresses the immediate customer demand for cost-effective, next generation BWA systems with a platform designed around the implementation of the IEEE 802.16 and HiperMAN standards by the WiMAX Forum™.

BreezeMAX is the ideal solution for operators offering high-bandwidth, IP-based voice and data services to evolve their networks to industry standard solutions with improved CPE economics. Now offering primary voice services by leveraging legacy infrastructure. The system's rich feature set and cost-effective and versatile CPEs make BreezeMAX the ultimate BWA solution for providers wanting to significantly boost their revenue potential.



Headquarters

International Corporate Headquarters
Tel: +972.3.645.6262
Email: corporate-sales@alvarion.com

North America Headquarters
Tel: +1.650.314.2500
Email: n.america-sales@alvarion.com

Sales Contacts

Latin America & Caribbean
Email: lasales@alvarion.com

Australia
Email: australia-sales@alvarion.com

Brazil
Email: brazil-sales@alvarion.com

China
Email: china-sales@alvarion.com

Czech Republic
Email: czech-sales@alvarion.com

France
Email: france-sales@alvarion.com

Germany
Email: germany-sales@alvarion.com

Hong Kong
Email: hongkong-sales@alvarion.com

Italy
Email: italy-sales@alvarion.com

Ireland
Email: uk-sales@alvarion.com

Japan
Email: japan-sales@alvarion.com

Mexico
Email: mexico-sales@alvarion.com

Nigeria
Email: nigeria-sales@alvarion.com

Philippines
Email: far.east-sales@alvarion.com

Poland
Email: poland-sales@alvarion.com

Romania
Email: romania-sales@alvarion.com

Russia
Email: info@alvarion.ru

Singapore
Email: far.east-sales@alvarion.com

South Africa
Email: africa-sales@alvarion.com

Spain
Email: spain-sales@alvarion.com

U.K.
Email: uk-sales@alvarion.com

Uruguay
Email: uruguay-sales@alvarion.com

For the latest contact information in your area, please visit:

www.alvarion.com/company/locations



www.alvarion.com

© Copyright 2006 Alvarion Ltd. All rights reserved.
Alvarion® and all names, product and service names referenced here in are either registered trademarks, trademarks, tradenames or service marks of Alvarion Ltd.
All other names are or may be the trademarks of their respective owners. The content herein is subject to change without further notice.

Specifications

Radio & Modem

Parameter	Value
Frequency	3.3GHz FDD: UL: 3366-3400MHz; DL: 3316-3350MHz and UL: 3300-3324MHz; DL: 3376-3400MHz 3.5GHz FDD: UL: 3399.5-3500MHz; DL: 3499.5-3600MHz 3.6GHz FDD: UL: 3600-3700MHz; DL: 3700-3800MHz
Radio Access Method	TDMA FDD
Modulation	OFDM 256 with adaptive sub-carrier modulation: BPSK, QPSK, QAM 16, QAM 64.
Channel bandwidth	3.5MHz; 1.75MHz - software selectable
Duplexing Scheme	AU full duplex, SU half duplex
Central frequency resolution	125KHz
Antenna (CPE)	17 dBi typical, 18° AZ x 18° EL, vertical/horizontal polarization, compliant with EN 302 085, V1.2.2 Range 1
Maximum Output power (At antenna port)	AU: 28dBm (+/-1dB) SU: 20dBm (+/-1dB)
Sensitivity	-82/85 dBm for highest modulation (QAM 64) @ 3.5/1.75 MHz
Typical values	-100/103 dBm for lowest modulation (BPSK) @ 3.5/1.75 MHz

Data Communications

Data	IEEE 802.3 CSMA/CD
Air Interface	IEEE 802.16-2004
VLAN support	IEEE 802.1Q
Traffic Classification	Layer 2 IEEE 802.1p, IP DiffServ Code Points DSCP

Networking Gateway CPE

General Features	
WAN Connection Types	Static IP, Dynamic IP (DHCP), PPPoE and PPTP client
Routing	Static Route, Dynamic Route (RIP/2)
Firewall	NAT Firewall with SPI mode
NAT Functionality	NAT, Virtual Server, Special Application, DMZ Host
VPN	IPSec, PPTP & LT2P Pass-Through
DHCP	DHCP server for LAN and WLAN clients, DHCP client for WAN
Wireless Features (supported only with wireless networking gateway)	
Standard	IEEE 802.11b / 802.11g
Range Coverage	Indoors - approx. 35-100 meters
Security	WEP encryption - 64 Bit, 128 Bit

Voice Gateway CPE

Interfaces	
Ethernet LAN	1 10/100 Base-TX RJ45 port
Telephony	1 or 2 RJ11 connectors for analog telephones
Security	
PipeLock™	Button for disconnection of the secure Ethernet LAN port
Packet Filter	Separates data, management and telephone traffic
VLAN	802.1Q+p
Authentication Per Registration	H225.0.0 RAS
Telephony and fax services	
VoIP Protocol	H.323, SIP
Internal Class 5 services	Call Waiting, 3-party call, call alteration, differentiated ringing tones
External Class 5 services	Activation of class 5 services supported by the IP-telephony system
G3 Fax	T.38
Calling number identification	FSK, DTMF
DTMF	In-band and out-band using H245 and H225 bi-directional
Speech Codecs	G711, G729ab
DiffServ	Level 3 (IP) mechanism for handling QoS

Electrical

	Subscriber Unit	Base Station
Power Source	100-240 VAC, 50-60 Hz	-36 to -72 VDC
Power Consumption (max)		BST PS: 200W each, up to 4 PS
	CPE PRO ODU only: 16.5W	AU IDU 2 channels: 38 W AU ODU: 38 W
	CPE PRO IDU+ODU data: 22W	NPU: 70 W, PIU: 35 W, AVU: 24 W

Environmental

	Indoor Unit	Outdoor Unit
Operating Temperature	0°C to 40°C	-40°C to 55°C
Operating Humidity	5%-95% non condensing	5%-95% non condensing, weather protected

Standard Compliance

Type	Standard
EMC	ETSI EN 301 489-1
Safety	EN 60950 (CE), CB, IEC 60 950 US/C (TUV)
Environmental	ETS 300 019 part 2-1 T 1.2 & part 2-2 T 2.3 for indoor & outdoor part 2-3 T 3.2 for indoor, part 2-4 T 4.1E for outdoor
Radio	ETSI EN 301 021 V.1.4.1, ETSI EN 301 753 V.1.1.1

FLYVO Base station RAS 3000

RAS(Radio Access Station)3000 serves as the central wireless link point to the terminal stations

Main Features

Provides mobile personal broadband to multiple terminals.

- PHY/MAC compliant with Mobile WIMAX (IEEE 802.16e-2005)
- Support OFDMA/TDD at 2.3, 2.5 and 3.5 GHz licensed frequency bands
- Support 5, 8.75 or 10 MHz bandwidth
- Real-time fail-over capabilities
- Seamless full mobility
- QoS support
- All IP based system
- IPv4/v6 dual stack
- Modular system architecture for scalability
- Carrier grade macro coverage Base Station
- 20W output power per a frequency carrier
- Controller and power module redundancy

Specification

	Outdoor	Indoor
Frequency	2.3GHz, 2.5GHz or 3.5GHz	
Capacity	1Carrier / Sector and 3Sectors / BAS	
Channel Bandwidth	Support 5, 8.75 or 10MHz bandwidth	
Transmitting Power	Max. 20W (43 dBm)/carrier	
Input Power	AC110V~AC220V	DC 27V
Network Interface	100 Base-TX (Fast Ethernet)	
Size	600x850x1600 (WxDxH,mm)	600x650x1050 (WxDxH,mm)



FLYVO RAS 3000 supports various frequency and channel bandwidths demanded by operators. It is a standard Mobile WIMAX system that can be easily installed and maintained irrespective of whether you are an existing or new operator, and regardless of your business size.

FLYVO RAS 3000 provides redundancy at the board level, and thus guarantees the satisfaction of two of the important needs of many operators - availability and reliability.

FLYVO RAS 3000 complies with IEEE 802.16e-2005 specifications and WIMAX Forum standards ; wave1 and wave 2, and thus satisfies technological, environmental requirements of operators around the world.

It has been proven as a base station of a global standard by receiving an outstanding score on the IOT with other companies at every Plugfest that was hosted by the WIMAX Forum.

FLYVO RAS 3000 supports fixed, nomadic, portable and mobile users' access to the Internet. As such, it will become an infrastructure system that can most rapidly and efficiently replace the existing cellular system with a VoIP application in terms of price and functionalities. The broadcasting/multicasting feature allows operators to easily provide various forms of multimedia services.



FLYVO Base station RAS 6000

RAS(Radio Access Station)6000 is a Mobile WiMAX base station that provides mobile personal broadband to multiple user terminals.

Main Features

Provides mobile personal broadband to multiple terminals.

- PHY/MAC compliant with Mobile WIMAX (IEEE 802.16e-2005)
- Support OFDMA/TDD at 2.3, 2.5 and 3.5 GHz licensed frequency bands
- Support 5, 8.75 or 10 MHz bandwidth
- Real-time fail-over capabilities
- Seamless full mobility
- QoS support
- All IP based system
- IPv4/v6 dual stack
- Modular system architecture for scalability
- Cost effective macro solution for dense urban or urban
- 2Tx/2Rx MIMO support
- Controller, network interface and power module redundancy
- CPRI version 3 optical fiber standard Interface

Specification

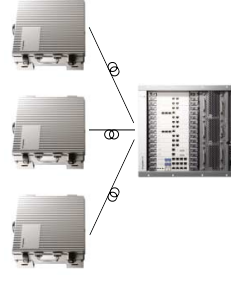
Frequency	2.3GHz, 2.5 GHz or 3.5GHz
Capacity	3Carriers / Sector and 3Sectors / RAS
Channel Bandwidth	Support 5, 8.75 or 10MHz bandwidth
Transmitting Power	20 W / Sector or 8W / Sector
Input Power	AC 110-220V, DC +27V or DC-48V
Network Interface	100 Base-TX, 100Base-FX or 1000Base-x
Dimension	Digital Unit
(WxDxH, mm)	483 x 460 x 488
Mount	19-inch rack
	Wall or Pole



FLYVO RAS 6000 is separated into the Digital Unit (MSS: Main Subsystem) and Remote Unit (RSS: Remote Subsystem), and has a structure that is easily scalable. It offers a universal usage of macro and micro for indoor and outdoor coverage.

The Digital Unit (MSS) is a platform that can be expanded up to nine channel cards. It offers nine CPRI interface ports, enabling up to nine RU connections. Redundancy has been achieved for the main boards to allow for easy preparation for emergency situations.

The Remote Unit (RSS) is in a long distance dispatch, multi-carrier support structure. It is wall or pole mountable, and therefore easy to install. It is an optimal system that can improve ARPU by providing mobile VoIP, mobile TV, games, and various contents based on high frequency efficiency. It provides remote control and management features. Since it is separated into the Digital Unit and Remote Unit, it can be conveniently installed and maintained. It provides IOT with various Mobile WIMAX terminals that support IEEE802.16e-2005.



FLYVO Access Gateway AGW 64000

A router specialized in Mobile WiMAX system with high reliability and flexibility.

Main Features

- Routing protocol support (ISIS, OSPF, BGPv4/v4+)
- Wimax compliant non-bearer plane support
- Call Processing, Subscriber Management, Radio Resource Management
- High Availability (Major Board Redundancy, VRRP)
- Enable real-time detection of fault and hot swappable function
- QoS Control (Per-flow based Classifier, Congestion Control & Avoidance)
- Dual stack support for IPv4/IPv6
- Full mobility in wide area (Intra/Inter ASN-GW)
- Multiple network interfaces (10/100Base-Tx/Fx, 1000Base-x)



Specification

WiMAX Function	Interface	RAS/ACR AAA Policy Function	IP/Ethernet) Diameter Diameter
	Privacy Subscriber Management	Num of Sub. Mode Location	EAP, PKMv2 Awake/Sleep, Idle BS Id
Switching & Routing Functions	Hardware	Inter. Sector, Inter RAS, Inter ACR	Inter Sector, Inter RAS, Inter ACR
	Accounting	On-line/Off-line, Service Flow Based	On-line/Off-line, Service Flow Based
QoS	Interface	Ethernet, GE	Ethernet, GE
	L2	802.1q, 802.3ad	802.1q, 802.3ad
	L3	Routing	Static, OSPFv2/v3, BGP, BGP+, IS-IS
	Multicast Routing	IP Tunnel	IGMP, MLDv1/v2, PIM-SM
	Mobility	Mobility	GRE, IPinIP, CMP, PMIP
Security Etc.	802.1p, DSCP	WRR, Priority Queuing	802.1p, DSCP
	ACL, Dos Protection	DHCP Server/Relay, NTP	ACL, Dos Protection
OAM	Management	CU, Telnet	CU, Telnet
	Loading	Image/Configuration (FTP, TFTP)	Image/Configuration (FTP, TFTP)
Dimension	Size (WxHxD)	482.6x577 x426.2mm (19inch, 13U)	482.6x577 x426.2mm (19inch, 13U)
	Weight	40Kg max.	40Kg max.
	Cooling	Fan	Fan

FLYVO AGW 64000 not only manages call processing, subscriber, and RF resources that are required for the operation of a Mobile WiMAX network, but also manages the full mobility requirements of most operators - availability and reliability - by ensuring redundancy of units that have key engines.

By using the switching fabric, which has made the routing function into a hardware, the delay in packet transmissions within the ASN-GW has been minimized, thereby providing an operation environment with a minimized packet latency and by providing a function that allows modular installation by board. RAS connection boards can be selectively installed according to customer needs. This therefore ensures a reasonable operation environment in terms of costs and management.

FLYVO Element Management System EMS

Element Management System enables optimal network management through remote handling of all functions required for system operation.

Main Features

- Mobile WiMAX System Configuration
- Physical & Logical View and Topology
- Alarm and QoS Monitoring
- Device / Path / RF Test
- Statistics and Trend Management
- NMS Mediation and Integration
- Fault Management
- Package Download and Backup
- Processor Status / Overload Control
- Call Trace and Message Log
- EMS System Resource Management

Specification

Major Functions	Configuration Management	Domain Management Function System Add / Remove Function Parameter / Neighbor List Management Function	Configuration Management Download Management Fault Management	
	Status Management	Configuration File Management Function Alarm and Alarm List Management Function Alarm History / Profile Management Function Alarm Sync. Management Function Overload / Link Status Monitoring Function	Status Management Pack View Monitoring Function	
	Statistic Management	Function to manage items for collecting statistics Statistics Reporting Function Function for collecting and searching for statistics data	Statistic Management Statistics Reporting Function	
	Test and Diagnosis	RAS	Antenna VSWR measurement Rx and IPC path measurement Diameter Protocol test function RAS Traffic and signal path measurement	Test and Diagnosis
		ACR		ACR
	Server	Hardware	Platform CPU M/M HDD	Hardware
		Software	SUN Server, Solaris 9,+ 1.5GHz x2+ 4GB+ 146GB+	Software
	Client	Hardware	Web Database Web	Hardware
		Software	Oracle 9i Enterprise Edition JEUUS 4.0 (include SOAP) Penitum 4+ 256MB+ 1GB free space 1024 x768 pixels Web Browser	Software
		JRE 1.5+		



FLYVO EMS has been designed and built based on a modular architecture, thus it can quickly and flexibly handle various customer demands such as the addition, modification and deletion of functions.

The EMS enables real-time monitoring of the Base station and ASN-GW status, therefore immediate actions can be taken when an error occurs. It also provides flexible system scalability according to the network situation such as increase in system capacity and distributed deployment.

The EMS client provides a convenient system operation environment and OS independent architecture that enables the administrator to have flexibility in choosing a client platform. There is also the effect of increasing profits by reducing the time of failure and the efficient management of network operation costs and personnel.

SAMSUNG Mobile WiMAX Solutions

ASN (Access Service Network)

Base Station



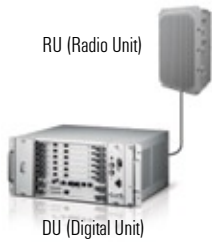
U-RAS Premium

- 3carriers / 3sectors Max.
- 2.3, 2.5GHz



U-RAS Compact

- 1 carrier / 3sectors Max.
- 2.3, 2.5GHz



U-RAS Flexible

- 2carriers / 3sectors
- 2.3, 2.5, 3.5GHz



U-RAS Light Series 1

- 2carriers / Omni
- 2.3, 2.5, 3.5GHz



U-RAS Light Series 3

- 1 carrier / Omni
- 2.3, 2.5, 3.5GHz

* U-RAS : Universal Radio Access Station

ASN Gateway



ACR Standard

- Macro public



ACR Micro

- Enterprise & In-building

* ACR : Access Control Router

Appendice B

Calcolo della banda AIS

B.1 Introduzione

In questa appendice vengono riportate le procedure eseguite per effettuare una stima della banda di trasmissione utilizzata da un sistema di localizzazione AIS¹.

Innanzitutto verrà introdotto lo standard che definisce i sistemi di *tracking* AIS e successivamente descritta la struttura dei messaggi che compongono questa tipologia di trasmissione.

Verrà poi descritto il sistema utilizzato per la ricezione e la visualizzazione del traffico AIS nell'area della Laguna di Venezia e infine come è stata eseguita la stima della banda richiesta dal traffico dei pacchetti dati AIS di tale sistema.

B.2 Automatic Identification System

Con il termine AIS si intende un sistema di identificazione e localizzazione automatica in tempo reale utilizzato in ambito marittimo per tracciare i movimenti delle imbarcazioni e monitorare il traffico navale nelle aree costiere.

Le unità AIS vengono posizionate a bordo nave e si comportano sostanzialmente come un radiofaro: trasmettono cioè in broadcast su frequenze VHF dei pacchetti di dati contenenti le informazioni necessarie all'identificazione e la localizzazione GPS del mezzo.

I sistemi AIS sono stati progettati principalmente come sistemi di sicurezza marittima: i dati trasmessi dalle navi vengono raccolti dalle torri di

¹*Automatic Identification System.*

controllo portuali e visualizzati su apposite postazioni come strumenti cosiddetti di *collision avoidance*²; essi tuttavia hanno delle limitazioni dovute principalmente al fatto che non tutte le imbarcazioni sono provviste a bordo del trasmettitore AIS, e dunque il traffico visualizzato a terra solitamente non corrisponde allo scenario completo ma è piuttosto uno strumento di valutazione del rischio collisioni in una data area.

B.3 Lo standard di riferimento

La famiglia di standard che definisce il funzionamento e le modalità di comunicazione degli strumenti elettronici utilizzati in ambito marittimo è l'NMEA 0183, definito dalla *National Marine Electronic Association*.

Lo standard, in riferimento al sistema AIS, prevede l'utilizzo di due canali di comunicazione radio VHF:

Channel A : 161.975 MHz (87B)

Channel B : 162.025 MHz (88B)

I dati vengono trasmessi tramite modulazione GMSK³, dunque sono necessari strumenti appositi per la ricezione corretta del segnale, in grado di supportare tale modulazione.

Lo standard prevede l'utilizzo di stringhe ASCII trasmesse tramite comunicazione seriale⁴ e, a livello applicazione, definisce la struttura di ogni tipologia di stringa per la trasmissione delle informazioni.

In particolare, la struttura delle stringhe per i messaggi AIS è definita nel documento IEC 61993-2, ed è una variazione della struttura della stringa GPS definita all'interno dell' NMEA 0183.

Le stringhe previste dallo standard per le comunicazioni AIS sono di due tipi:

- **!AIVDM**: identificano le informazioni ricevute dagli altri mezzi.
- **!AIVDO**: identificano le informazioni trasmesse dalla propria imbarcazione.

²Sistemi per la prevenzione delle collisioni tra mezzi.

³*Gaussian Minimum Shift Keying*.

⁴Tipologia di trasmissione nella quale i bit di informazione vengono trasmessi sequenzialmente e ricevuti nello stesso ordine nel quale sono stati inviati.

Le stringhe di tipo *!AIVDO* non vengono trattate in questo documento, in quanto il sistema che si è utilizzato per effettuare la stima della banda occupata dalle trasmissioni AIS è stato configurato unicamente come stazione ricevente.

Un esempio di stringa *!AIVDM* è il seguente:

```
!AIVDM,1,1,,A,14eG;o@034o8sd < L9i : a;WF > 062D,0 *7D
```

Al suo interno si identificano rispettivamente:

!AIVDM: identifica il tipo di messaggio NMEA

1: numero di stringhe componenti il messaggio (alcuni messaggi infatti possono richiedere più di una stringa)

1: numero della stringa attuale (pari a 1 se il messaggio è composto unicamente di una stringa)

A: il canale AIS utilizzato (A oppure B)

14eG;...: i dati AIS codificati

0*: simbolo di fine dati

7D: *Checksum* NMEA

Nella codifica NMEA prevista per le trasmissioni AIS, ad ogni carattere ASCII della codifica corrispondono 6 bits di informazione (a differenza della normale codifica ASCII che invece prevede 8 bits per ogni carattere). Per questo motivo, è necessario operare la conversione con particolare attenzione.

Nell'esempio della stringa considerata, la conversione ottenuta è la seguente:

- 000001 000100 101101 010111 011100 001010 010000 000000 000000
000000 110111 001000 110111 100001 101000 011100 011101 110010
011111 101011 110000 110101 010111 010000 000000 001000 011000
011011

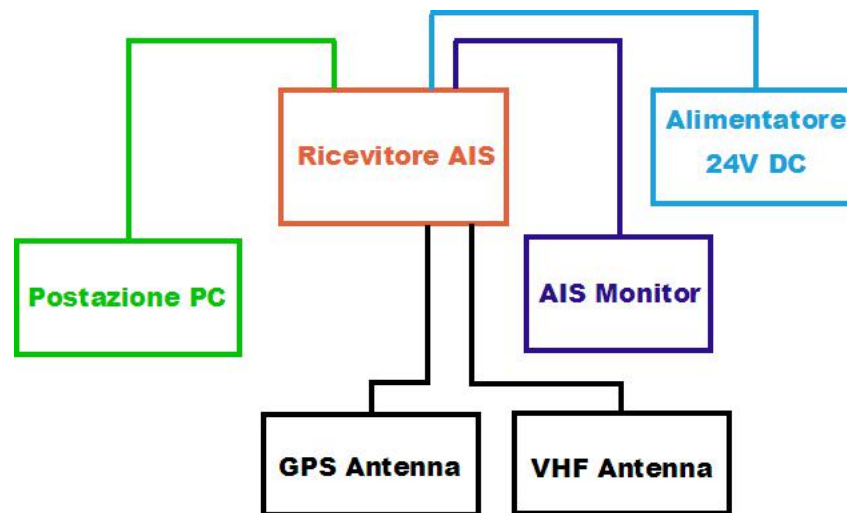
In particolare, si evidenziano, tra i vari campi, i seguenti gruppi di bits di informazione:

- I primi 6 bits identificano il tipo di messaggio NMEA: i messaggi di tipo 1, 3 e 5 sono i *report* di posizione delle imbarcazioni e sono i più comuni. In totale, sono previsti 24 tipi di messaggio AIS.

- I bits che vanno dalla posizione 8 alla posizione 30 rappresentano il numero di nove cifre MMSI⁵ identificativo dell'imbarcazione. Nell'esempio, il numero MMSI è 316005417.
- I bits che occupano le 27 posizioni a partire dalla posizione 89 rappresentano la latitudine.
- I bits che occupano le 28 posizioni a partire dalla posizione 61 rappresentano la longitudine.

B.4 Sistema AIS e stima della banda utilizzata

Il sistema approntato per la ricezione dei segnali AIS, riportato nelle figure nelle pagine seguenti, è composto dai seguenti elementi principali:



- **Ricevitore AIS:** unità AIS R4 prodotta da SAAB, certificato per la trasmissione e ricezione dei messaggi AIS secondo lo standard NMEA. Viene alimentato tramite un alimentatore a 24 V a corrente continua DC, e presenta un'uscita seriale, una per il collegamento del monitor esterno e due uscite per antenne, rispettivamente VHF e GPS.
- **AIS Monitor:** è il monitor standard dell'unità AIS, dove è possibile visualizzare le informazioni ricevute sui natanti attualmente presenti nell'area di ricezione del segnale.

⁵ *Maritime Mobile Service Identity.*

- **Postazione PC:** *server* pc connesso all' uscita seriale dell'unità AIS, utilizzato per monitorare i dati e convertirli su connessione di rete Ethernet.
- **Antenne:** l'antenna VHF viene utilizzata dal sistema per la ricezione dei pacchetti AIS, l'antenna GPS serve all'unità AIS per elaborare le informazioni eventualmente da trasmettere sulla propria posizione e velocità. Le antenne sono state posizionate all'esterno dell'edificio VEGA.

La procedura utilizzata per la ricezione dei dati e traffico pacchetti AIS è stata la seguente:

- I dati AIS ricevuti vengono trasmessi dall'unità AIS al terminale pc tramite porta seriale COM1.

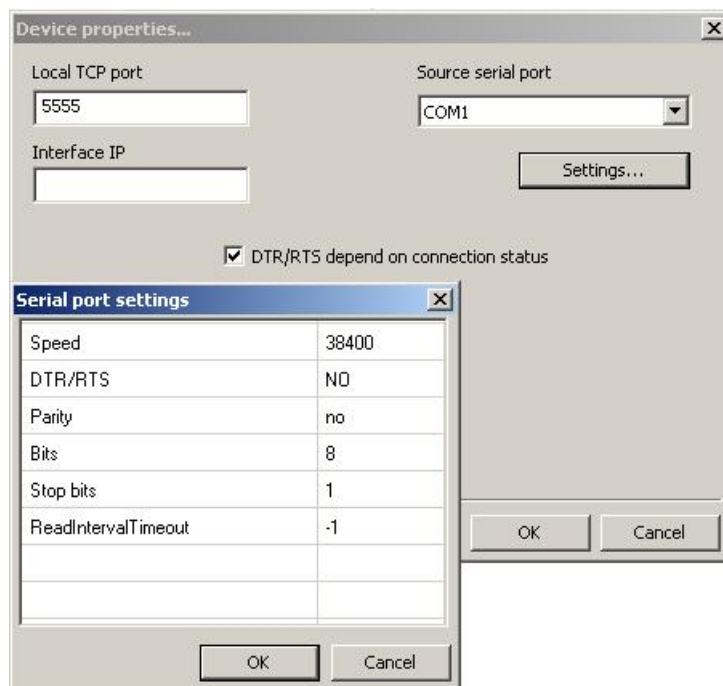
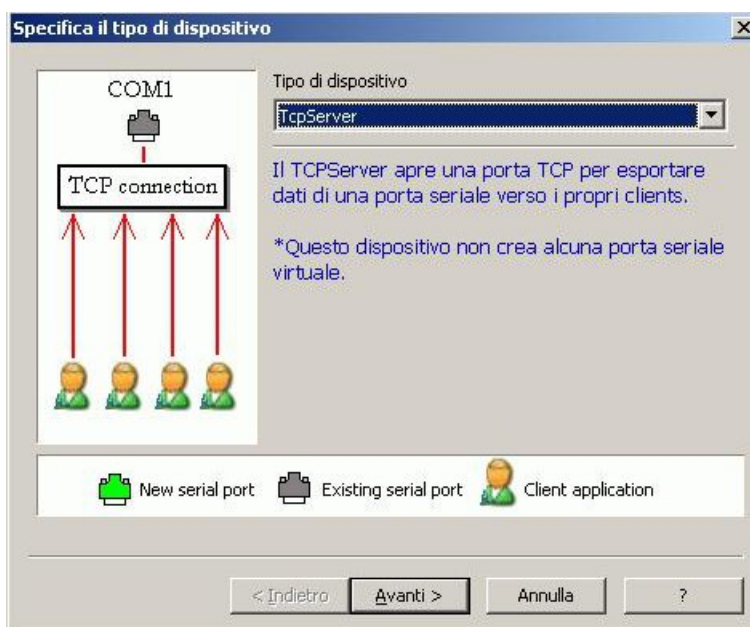
```

Telnet 127.0.0.1
?AIUDM,1,1,,A,13cW9??0010p8K`J14k`3o`N0D0c,0*5A
?AIUDO,1,1,,1000000P?w<tSF0140Q>4?wu0P00,0*43
?AIUDO,1,1,,1000000P?w<tSF0140Q>4?wu0P00,0*43
?AIUDM,1,1,,A,13ciU08P1?0p7MLJ0>t=w?vP0<0r,0*10
?AIUDM,1,1,,A,1:gCnb8P000p5p<J0v?UFDvT2D0t,0*53
?AIUDO,1,1,,1000000P?w<tSF0140Q>4?wu0P00,0*43
?AIUDM,2,1,3,B,53ckHL02A6N8TeHK:20<u8tp605E=A84hf2222160pN<<52:0CD3IU3p,0*71
?AIUDM,2,2,3,B,30DQj1DPH888880,2*7D
?AIUDO,1,1,,1000000P?w<tSF0140Q>4?wu0P00,0*43
?AIUDM,1,1,,A,13ctUP00010p8UHJ168UCH:T0H;0,0*1B
?AIUDM,2,1,4,A,5311hj02?RgWTP80U20=B1LEPHu8B2222222109H?5?5380>S0DQj1,0*57
?AIUDM,2,2,4,A,DPH888888888880,2*44
?AIUDO,1,1,,1000000P?w<tSF0140Q>4?wu0P00,0*43
?AIUDM,1,1,,B,13cfWh0P010p;8JJ0RH0D?vU0<0n,0*73
?AIUDM,1,1,,B,13kiP6?P000os001wtU3B?vU00<2,0*07
?AIUDM,1,1,,A,11auciwP?w<tSF0140Q>4?wp0p<6,0*0B
?AIUDM,2,1,5,B,54`Uq502A<dd?IK;3KD<hU10E:0hU>222222216B0IC84woNI5QCREi,0*59
?AIUDM,2,2,5,B,H888888888880,2*52
?AIUDM,1,1,,B,13cgC180000p8NhJ15?2R`BU0L0a,0*4B
?AIUDM,1,1,,B,14`Uq500000p09`J122<4Ph`0<0r,0*14
?AIUDM,1,1,,B,15C<4J?0000p67PJ0UR003jU0<0U,0*26
?AIUDO,1,1,,1000000P?w<tSF0140Q>4?wu0P00,0*43
?AIUDM,1,1,,A,13cb:U0P000pWREJ0Fh1UgvI058T,0*33
?AIUDO,1,1,,1000000P?w<tSF0140Q>4?wu0P00,0*43

```

- Tramite *Virtual Serial Ports Emulator*⁶ si emula una porta Ethernet TCP/IP connessa alla porta seriale (con velocità pari a 38400) e si rende quindi il traffico accessibile dalle postazioni pc presenti nella rete interna di Thetis.

⁶Software gratuito di tipo *COM Port Redirector*.



- Tramite Telnet si effettua una connessione all'indirizzo IP (utilizzando il socket della porta emulata) del *server* che riceve i dati AIS. A questo

punto il traffico totale generato dalla connessione (kB/s) viene visualizzato direttamente dal programma *Virtual Serial Ports Emulator*, congiuntamente al tempo trascorso dall'inizio del trasferimento. Da questi dati è possibile ricavare una stima della banda di trasmissione utilizzata dal sistema AIS.

Impostazioni del dispositivo: 5555;1;38400,0,8,1,0,-1;1;			
Connections			
Host	Recvd	Trasmesso	Connected
127.0.0.1	0 bytes	11.88 MB	0d, 23:31:24
10.70.5.98	0 bytes	10.12 KB	0d, 00:01:10

Sono state effettuate un totale 20 misure della durata di 1 ora ciascuna distribuite in giorni differenti e in differenti fasce orarie. Le misure vengono riportate nella tabella seguente:

Traffico totale	Bersagli totali	Durata misura
533 kB	33	60 minuti
599 kB	35	60 minuti
603 kB	38	60 minuti
527 kB	30	60 minuti
541 kB	33	60 minuti
555 kB	35	60 minuti
599 kB	34	60 minuti
586 kB	33	60 minuti
623 kB	37	60 minuti
561 kB	36	60 minuti
578 kB	37	60 minuti
597 kB	34	60 minuti
589 kB	39	60 minuti
612 kB	34	60 minuti
602 kB	35	60 minuti
611 kB	36	60 minuti
575 kB	36	60 minuti
566 kB	32	60 minuti
531 kB	30	60 minuti
529 kB	31	60 minuti

Dalle misure di traffico totale è possibile ricavare il traffico medio generato da un bersaglio.

Chiamiamo:

$$x_i, i = 1, 2, \dots, 20$$

$$y_i, i = 1, 2, \dots, 20$$

rispettivamente i singoli valori totali di traffico misurati (in *kB*) e i bersagli per ogni misura. Allora:

$$z_i = \frac{x_i}{60 \cdot 60} \cdot 8 \cdot \frac{1}{y_i}$$

rappresenta la banda, ricavata dalla misura *i*-esima, generata da un singolo bersaglio, misurata in *kbit/s*.

A questo punto è sufficiente fare una media tra le tutte le misure per ricavare una stima (in *kbit/s*) del traffico generato da un singolo bersaglio:

$$x_{stimate} = \frac{\sum_i z_i}{20} [kbit/s]$$

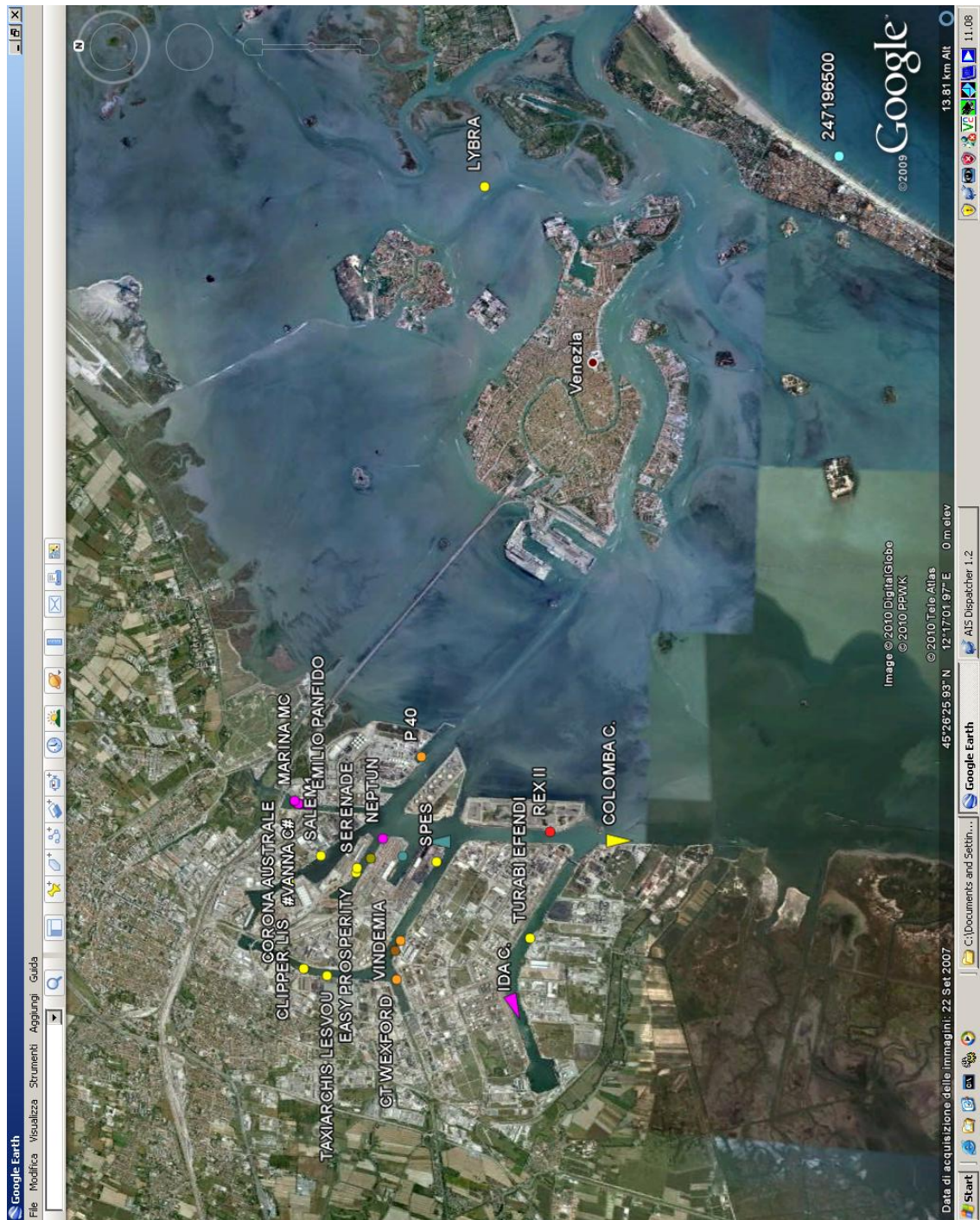
Utilizzando i valori misurati si ottiene dunque:

$$x_{stimate} = 0.037292 \text{ kbit/s}$$

Ipotizzando ora che il numero medio dei bersagli possa essere di 100 unità (ipotesi da ritenersi con un buon margine di validità dal momento che nell'insieme delle misure il numero dei bersagli non ha mai superato le 40 unità), si ottiene il valore:

$$x_{banda} = 3.7292 \simeq 4 \text{ kbit/s}$$

Come ultimo passo, utilizzando un *software* gratuito di nome AIS Dispatcher in grado di decodificare i pacchetti AIS ricevuti dal sistema, è stato possibile mappare i dati ricevuti su mappa Google Earth e avere quindi una visualizzazione completa del traffico AIS presente nella Laguna di Venezia; nelle pagine seguenti sono allegate alcune immagini delle mappe ottenute e del sistema AIS approntato e utilizzato.

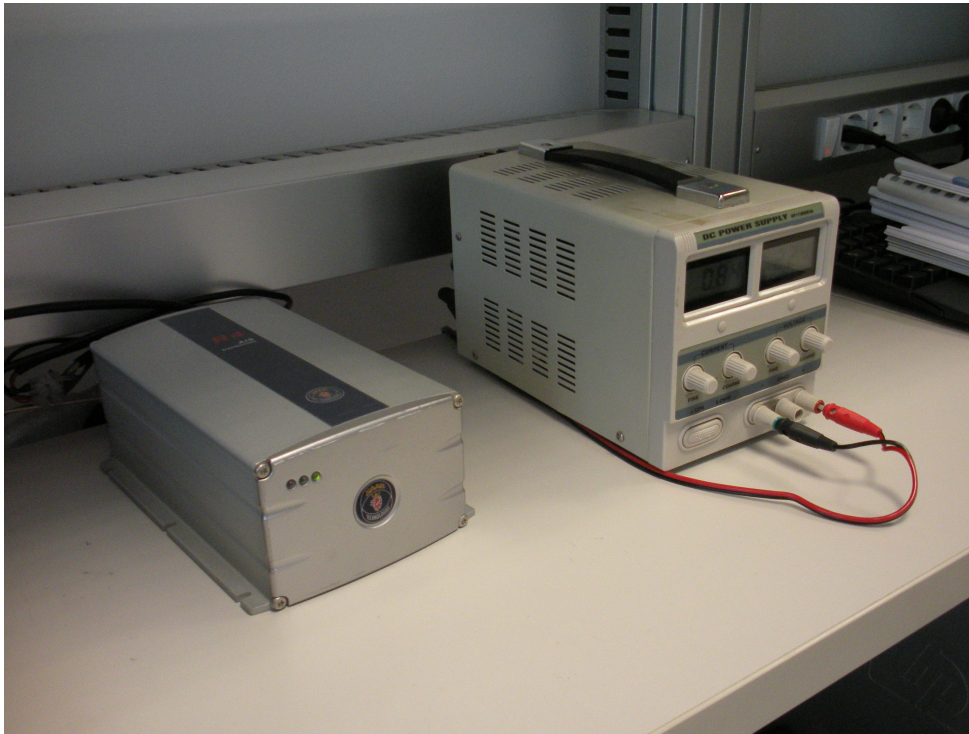


The screenshot displays the Google Earth interface with an AIS data popup window. The map shows the Venetian lagoon with labels for Venezia, LYBRA, and COLOMBA C. The popup window provides the following details for the vessel COLOMBA C.:

COLOMBA C.	
Last seen at	08-04-2010 9:09:24 UTC
Name	COLOMBA C.
MMSI	24727800
Call sign	D0KH
IMO	8841412
Type	Cargo ship
Narstat	Unknown
Dest	MALANOCCO
Eta (dd-mm hh:mm)	25-01 15:00
Position	45.425123 °N / 012.259442 °E
Speed	8.4Kts
Course	177.9°
Heading	511°
Length	49 m
Width	13 m
Draught	2.5 m

Indicazioni stradali: [Da qui](#) - [A qui](#)

Additional interface elements include a toolbar at the top with icons for navigation and search, a status bar at the bottom showing coordinates (45°25'38.66" N, 12°20'26.30" E) and a scale of 13.81 km Alt. The bottom status bar also displays the Google logo and the number 247196500.



(a) Unità AIS con alimentatore 24V DC.



(b) Monitor *server* e monitor AIS.

Figura B.1: Il sistema di ricezione AIS approntato nei laboratori di Thetis.



(a) Panoramica dell'intero sistema.



(b) Dettaglio dei monitor collegati all'unità AIS.

Figura B.2: Il sistema di ricezione AIS approntato nei laboratori di Thetis.

Bibliografia

- [1] Bertazioli, O. & Favalli, L. (2002), *GSM-GPRS. Tecniche, architetture, procedure*, Hoepli, Italy.
- [2] Betlem, M. (2009), *MarNIS & POADSS*, The Pilot, n. 296, pp. 1-4, UK.
- [3] Bhushan, N. & Ray, K. (2004), *Strategic Decision Making: Applying the Analytic Hierarchy Process*, Springer-Verlag, London, UK.
- [4] Celidonio, M. & Pulcini, L. (2009), *Il sistema 3GPP-LTE: Aspetti di carattere generale e le tecniche di trasmissione*, Fondazione Ugo Bordoni, Italy.
- [5] Dahlman, E. et al. (2008), *Key features of the LTE radio interface*, Ericsson Review, n. 2, pp.77-80.
- [6] D'Andreagiovanni, F. & Mannino, C. (2009), *A MILP formulation for WiMAX network planning*, Aracne, Italy.
- [7] Dietze, K. & Hicks, T. & Leon, G. (2006), *WiMAX System Performance Studies*, EDX Wireless, Eugene, Oregon USA.
- [8] ETSI (1997), *ETSI TR 101 031 V1.1.1*, ETSI, Sophia Antipolis, France.
- [9] ETSI (2003), *ETSI TR 102 003 V1.1.1*, ETSI, Sophia Antipolis, France.
- [10] ETSI (2008), *ETSI EN 301 893 V1.5.1*, ETSI, Sophia Antipolis, France.
- [11] Forman, E.H. & Gass, S. (2001), *The Analytic Hierarchy Process—An Exposition*, Operations Research, vol. 49, n. 4, pp. 469-486.
- [12] Gessner, C. (2008), *UMTS Long Term Evolution (LTE) Technology Introduction*, Rohde & Schwarz, Germany.

- [13] Gray, D. (2006), *Mobile WiMAX: A Performance and Comparative Summary*, WiMAX Forum.
- [14] Groppello, A. & Virgioli, P. (2009), *Venezia sistema Mose*, Marsilio, Venice, Italy.
- [15] Hoymann, C. & Puttner, M. & Forkel, I. (2003), *The HIPER-MAN Standard – a Performance Analysis*, Aachen University, Aachen, Germany.
- [16] IDA of Singapore (2008), *WISEPORT Contents and Applications Call-for-Collaboration Award: Five Companies to Develop Value-Added Services*, IDA of Singapore, Singapore.
- [17] IEEE Computer Society & IEEE Microwave Theory and Techniques Society (2004), *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks. Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*, IEEE, New York, USA.
- [18] Jan Rødseth, Ø. et al. (2006a), *Research report on broadband applications: Part 1-State of the Art*, Telespazio S.p.A., Italy.
- [19] Jan Rødseth, Ø. et al. (2006b), *Research report on broadband applications- Part 2 FMECA (Failure Mode, Effect and Criticality Analysis)*, Telespazio S.p.A., Italy.
- [20] Jan Rødseth, Ø. et al. (2006c), *Research report on broadband applications: Part 4-Requirements and service definition*, Telespazio S.p.A., Italy.
- [21] Jan Rødseth, Ø. et al. (2006d), *Research report on broadband applications: Part 5- MarNIS broadband platform solutions and specifications*, Telespazio S.p.A., Italy.
- [22] Marinuzzi, F. & Tortoreto, F. (2003), *GPRS, UMTS, WI-FI e le tecnologie di IV^a generazione. Il futuro della comunicazione mobile*, Franco Angeli, Italy.
- [23] Paolini, M. (2009), *Leveraging 802.16e WiMAX™ Technology in License-Exempt Bands*, Senza Fili Consulting, Italy.
- [24] Siebörger, I. & Terzoli, A. (2006), *Field testing the Alvarion Breeze-MAX as a last mile access technology*, Computer Science Department of Rhodes University, Grahamstown, South Africa.

-
- [25] Thetis S.p.A. (2009), *Requisiti per la sperimentazione di un sistema di comunicazioni tra la terraferma e i dispositivi di bordo nave nell'ambito dei sistemi STIM e SIMNAV*, Thetis S.p.A., Italy.
- [26] Volker, W. (2008), *Communication Options for Network RTK*, Lambert Wanninger, Geodetic Institute, Dresden University of Technology, Germany.
- [27] WiMAX Forum (2006), *Mobile WiMAX – Part I: A Technical Overview and Performance Evaluation*, WiMAX Forum.

Siti Internet consultati

<http://www.port.venice.it> consultato il 31/03/2010.

<http://www.guardiacostiera.it/capitanerieonline/index.cfm?id=48>
consultato il 12/11/2009

<http://www.magisacque.it/> consultato il 13/11/2009

<http://www.cnr.it/sitocnr/home.html> consultato il 13/11/2009

<http://www.marnis.org/home.asp> consultato il 26/01/2010

<http://www.etsi.org/WebSite/homepage.aspx> consultato il 02/12/2009

<http://www.ieee.org/portal/site> consultato il 04/12/2009

<http://www.mpa.gov.sg/> consultato il 11/01/2010

<http://www.alvarion.com/index.php/it/home> consultato il 20/02/2010

<http://www.samsung.com/it/> consultato il 22/02/2010

<http://www.posdata.co.kr/eng/> consultato il 22/02/2010

http://ec.europa.eu/research/fp6/index_en.cfm consultato il 30/03/2010

<http://www.bosunsmate.org/ais/> consultato il 27/02/2010

<http://www.aisparser.com/sdk/> consultato il 12/03/2010