



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Gestione di veicoli elettrici per la mobilità on-demand

A. Alessandrini, N. M. Buccino, C. Castaldi, A. Cattivera, C. Galli, F. Ortenzi, R. Ragona, A. Palleschi, F. Sarracco.



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



GESTIONE DI VEICOLI ELETTRICI PER LA MOBILITÀ ON-DEMAND

A. Alessandrini, N. M. Buccino, C. Castaldi, A. Cattivera, F. Ortenzi, A. Palleschi, F. Sarracco
(Centro di ricerca per il Trasporto e la Logistica – CTL – “Sapienza” Università di Roma)

C. Galli, R. Ragona (ENEA)

Novembre 2011

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia

Progetto: Tecnologie “smart” per l'integrazione della illuminazione pubblica con altre reti di servizi energetici e loro ottimizzazione

Responsabile Progetto: Mauro Annunziato, ENEA



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

www.enea.it

Ricerca di Sistema Elettrico - Progetto 3.2.1

Obiettivo C “Sviluppo di un sistema di monitoraggio e gestione della mobilità veicolare attraverso la rete di illuminazione pubblica”

Gestione di veicoli elettrici per la mobilità on-demand

Relazione tecnica finale

Novembre 2011

Premessa

Il presente rapporto sintetizza le attività condotte dal gruppo di lavoro integrato ENEA-CTL per il progetto Smart Cities .In particolare hanno contribuito al lavoro:

- Roberto Ragona – Inquadramento delle attività nel contesto del progetto e supporto allo svolgimento. – ENEA.
- Adriano Alessandrini – Coordinamento delle attività CTL della linea A di ricerca. – CTL.
- Fernando Ortenzi – Sviluppo di una piattaforma ICT innovativa per il monitoraggio di veicoli e caratterizzazione dell'influenza dello stile di guida sull'impatto energetico. – CTL.
- Claudia Castaldi – Definizione e sviluppo di algoritmi innovativi per problematiche di trasporto e logistica. – CTL.
- Costantino Galli – Supporto alla messa in opera del server di raccolta dati presso ENEA. – ENEA
- Fabiano Sarracco – Attività di gestione operativa delle installazioni del software di terra, sviluppo del software di terra e interfaccia web per la visualizzazione dei dati. – CTL.
- Nicola Maurizio Buccino – Sviluppo di sottosistemi HW e SW per l'interfacciamento e l'integrazione della strumentazione di bordo del CTL con sensoristica esterna ed interna. – CTL.
- Andrea Palleschi - Tecniche di algoritmi in data-mining per il calcolo degli indici di prestazione di una catena logistica dai dati raccolti a bordo dei veicoli. – CTL.
- Alessio Cattivera – Metodologie per l'individuazione degli stili di guida e della loro influenza su consumi ed emissioni degli autoveicoli. – CTL.

Sommario

Premessa	4
Sommario	5
Indice delle figure	7
Indice delle tabelle	8
Obiettivi	10
1 Definizione delle specifiche tecniche per il sistema on-board	12
1.1 Architettura generale del sistema on-board e di comunicazione a terra	12
1.2 Definizione delle componenti hardware utilizzate per lo sviluppo del sistema on-board	13
1.3 Definizione dei moduli software implementati per lo sviluppo del sistema on-board	17
1.4 Definizione delle componenti hardware utilizzate per lo sviluppo del sistema di terra	17
1.5 Definizione dei moduli software implementati per lo sviluppo del sistema di terra	18
2 Sviluppo del software di acquisizione dati e di comunicazione	20
2.1 Descrizione dei moduli software del sistema on board	20
2.2 Descrizione dei moduli software del sistema di terra	29
2.2.1 Modulo Aplomb Web Service (aplomb-ws)	29
2.2.2 Modulo aplomb-engine	30
2.2.3 Modulo di interfaccia Web (aplomb-web)	31
2.2.4 Modulo cartografico (maproute-engine)	32
2.3 Testing di funzionalità	33
3 Installazione del sistema di bordo e del server di terra	35
4 Test di comunicazione	42
5 Conclusioni	50
Appendice A – Dimensionamento di massima e stima dei costi di un sistema di monitoraggio flotte	52
A.1 Descrizione di un sistema tipo	52
A.1.1 Sistema Centrale di mobilità	53
A.1.2 Sistema di trasporto pubblico locale (TPL)	55
Centro Servizi	57
Centro di Controllo Aziendale	57
Sistema di bordo	58
Sistema di fermata	59
Sistema di deposito	59
A.2 Stima di massima dei costi	60

A.2.1	Sistema Centrale di mobilità	60
A.2.2	Trasporto pubblico	61
	Centro Servizi	61
	Centro di Controllo Aziendale (CCA)	62
	Sistema di bordo	62
	Sistema di fermata	63
	Sistema di deposito	64
Appendice B - Protocollo di comunicazione IEEE 802.15.4 ZIGBEE		65
B.1	Architettura	65
B.2	Caratteristiche della rete ZigBee	66
	B.2.1 I dispositivi della rete	66
	B.2.2 Topologie di rete	66
	B.2.3 Struttura dei pacchetti: struttura del Superframe	68
	B.2.4 Modello trasferimenti dati	69
	B.2.5 Struttura dei frame	71
B.3	Lo strato fisico	72
	B.3.1 Specifiche del livello fisico	73
	B.3.2 Formato PPDU	74
	B.3.3 Altre funzionalità del livello fisico	74
B.4	Livello MAC (Medium Access Control)	75
	B.4.1 Formato del MAC frame generale	75
	B.4.2 Supporto alla sicurezza	77
	B.4.3 Scansione dei canali	78

Indice delle figure

Figura 1: Architettura generale	12
Figura 2: CTL OBU: TREK-550, vista pannello anteriore	14
Figura 3: CTL OBU: TREK 550, vista pannello posteriore	14
Figura 4: Schema delle connessioni tra OBU e sottosistemi	15
Figura 5: Architettura del sistema di terra	19
Figura 6: Schema a blocchi del software di bordo	21
Figura 7: Interfaccia grafica del software di acquisizione	25
Figura 8: Interfaccia grafica di configurazione dei parametri relativi ai sensori	26
Figura 9: Pagina di monitoraggio dello stato ZigBee	33
Figura 10: Navetta Gulliver Tecnobus utilizzata per la sperimentazione –1	35
Figura 11: Navetta Gulliver Tecnobus utilizzata per la sperimentazione – 2	36
Figura 12: Navetta Tecnobus utilizzata per la sperimentazione -3	37
Figura 13: Schema delle connessioni del sistema di bordo installato a bordo del Gulliver	38
Figura 14: Schermo 7" connesso alla OBU	39
Figura 15: Posizionamento della OBU nel vano anteriore della navetta con le relative connessioni	40
Figura 16: Posizionamento dell'antenna ZigBee in prossimità del parabrezza laterale della navetta	40
Figura 17: Dettaglio del cablaggio della OBU – 1	41
Figura 18: Dettaglio del cablaggio della OBU – 2	41
Figura 19: Programma di simulazione del palo intelligente. In evidenza un pacchetto dati tipico formattato secondo quanto indicato in Tabella 1	42
Figura 20: PC utilizzato per la simulazione del palo intelligente	43
Figura 21: Router ZigBee utilizzato per i test di copertura e adattamento della rete	44
Figura 22: Interfaccia web per la consultazione e visualizzazione dei dati inviati dal sistema on board ai server di terra	45
Figura 23: Visualizzazione su mappa delle posizioni istantanee GPS inviate dal veicolo al server di terra	46
Figura 24: Snapshot di stato veicolo	46
Figura 25: Diagramma di marcia con relativa visualizzazione su mappa	47
Figura 26: Grafico della distanza e delle velocità istantanee inviate dal veicolo al server di terra	47
Figura 27: Visualizzazione dei dati inviati con pacchetti sintetici e relativa visualizzazione su mappa	48
Figura 28: Grafico relativo alla velocità e alla corrente medie inviate con pacchetti sintetici	48
Figura 29: Grafico relativo alla tensione media e capacità media della batteria inviati con pacchetti sintetici	49
Figura 30: Schema generale di una piattaforma per la mobilità	53
Figura 31: Architettura logica del sistema Centrale di mobilità	54
Figura 32: Accoppiamento Centrale mobilità- Centrale polizia municipale	55
Figura 33: Schema logico di un sistema di trasporto pubblico	56
Figura 34: Schema di trasporto pubblico. Livello aziendale	57
Figura 35: Architettura a strati dello standard ZigBee	66
Figura 36: Topologie di rete	67
Figura 37: Esempio di cluster ad albero	1
Figura 38: Struttura del superframe senza GTS	68
Figura 39: Struttura del superframe con GTS	68
Figura 40: Trasferimento dispositivo-coordinatore in una enabled-beacon PAN	69
Figura 41: Trasferimento dispositivo-coordinatore in una nonbeacon--enable Pan	70
Figura 42: Trasferimento coordinatore-dispositivo	70
Figura 43: Trasferimento coordinatore-dispositivo in una non beacon-enable Pan	71

Indice delle tabelle

Tabella 1: Descrizione campi pacchetto dati sintetico inviato su rete ZigBee e GPRS/UMTS	38
Tabella 2: Stima del costo del Centro Servizi	61
Tabella 3: Stima del costo del Centro di Controllo Aziendale	62
Tabella 4: Stima dei costi apparati di bordo	63
Tabella 5: Frame di Beacon	71
Tabella 6: Frame dati	72
Tabella 7: Frame di riscontro	72
Tabella 8: Frame comando MAC	72
Tabella 9: Caratteristiche delle bande di frequenze	73
Tabella 10: Pagina di canale e numero di canale	73
Tabella 11: Formato PPDU	74
Tabella 12: Formato del MAC frame generale	75
Tabella 13: Frame control	76
Tabella 14: MacAckWaitDuration	76
Tabella 15: Lista suite di sicurezza	78
Tabella 16: Scansione dei canali	79

Obiettivi

Il Ministero dello sviluppo economico ed ENEA hanno stipulato in data 2 agosto 2010 un Accordo di Programma in base al quale è concesso il contributo finanziario per l'esecuzione delle attività di ricerca affidate all'ENEA all'interno del Piano Triennale della Ricerca nell'ambito del Sistema Elettrico Nazionale 2009-2011, approvato con il Decreto Ministeriale 19 marzo 2009. Le attività a cui fa riferimento questo deliverable fanno parte del Piano Annuale di Realizzazione (PAR) 2010 dell'ENEA, ripartito in tre Progetti, ed è riferito alla seconda annualità del Piano Triennale 2009-2011.

Più precisamente le relative attività si inseriscono nell'ambito del Progetto 3.2.1 "Tecnologie smart per l'integrazione della illuminazione pubblica con altre reti di servizi energetici e loro ottimizzazione" di cui al sopra citato Piano Annuale di Realizzazione e mirano a gettare le basi per la costruzione di un sistema di monitoraggio e gestione della mobilità veicolare. Viene dunque proposto un prototipo su scala ridotta (al momento limitata ad un solo veicolo) atto a dimostrare le possibilità di integrazione tra sistemi energetici diversi ed al momento separati, con un occhio alle possibili crescite in termini di servizi offribili.

ENEA ha affidato l'attività di ricerca dal titolo: "Gestione della mobilità veicolare tramite integrazione con la rete di illuminazione pubblica" a CTL quale Istituto Universitario nazionale competente nel settore della ricerca sui trasporti e la logistica.

L'obiettivo finale dell'attività è di integrare, in un'unica piattaforma tecnologica

[...] un sistema di illuminazione ad alta efficienza ed adattivo, un sistema di monitoraggio della mobilità, un sistema di gestione di una flotta di mezzi elettrici ed un sistema di supervisione di una rete di edifici [...]

Il CTL effettua da tempo ricerca nei settori di: monitoraggio della mobilità e delle flotte di veicoli e raccolta dati in tempo reale dai veicoli, per la gestione ottimizzata delle flotte inclusa la definizione di stili di guida e loro influenza su usura dei mezzi e loro consumo energetico.

Nell'ambito del progetto 3.2.1 dell'accordo di programma si propone quindi un'attività congiunta tesa a focalizzare le esperienze dei due gruppi di lavoro sui propositi del progetto medesimo, relativamente alla realizzazione e fornitura degli apparati di bordo per la gestione di flotte dei veicoli elettrici, e per la realizzazione di un'applicazione pilota di detti apparati su veicoli in circolazione. E' esplicitamente prevista un'applicazione in campo su vettura elettrica destinata al trasporto interno al centro ENEA Casaccia.

I principali obiettivi di questa ricerca sono:

- aggiornare i sistemi di bordo sviluppati dal CTL, ed applicati con successo nel monitoraggio di flotte, per consentirgli di monitorare veicoli elettrici di ultima generazione (rilevando i dati caratteristici del veicolo elettrico tramite CAN bus);
- aggiornare i sistemi di bordo sviluppati dal CTL per consentirgli di monitorare veicoli elettrici anche non di ultima generazione (integrando 4 canali analogici di acquisizione dati, 2 PT100

¹ Obiettivo finale dell'attività del progetto 3.2 come definito a pagina 27 dell'AdP MSE-ENEA "Ricerca di Sistema Elettrico"

e 2 canali +/- 5V, 2 canali digitali (di frequenza) per lettura encoder e accelerometro triassiale);

- aggiornare i sistemi di bordo sviluppati dal CTL per integrare, oltre alla trasmissione Wi-Fi e UMTS/GPRS anche quella ZigBee prevista dai pali intelligenti;
- fornire due sistemi di bordo completi di hardware e software ed il software per i server di terra per ricevere ed immagazzinare i dati raccolti a bordo all'ENEA per le proprie sperimentazioni e campagne di acquisizione;
- predisporre congiuntamente una esperienza di concreta applicazione del sistema CTL relativamente ad una navetta elettrica per il trasporto interno ENEA Casaccia per un periodo di tempo adeguato a fare gli opportuni test di affidabilità
- installare sulla navetta le strumentazioni di bordo e su un sistema di terra le risorse dedicate alla raccolta dati;
- dimostrare la funzionalità del sistema e la capacità di trasmettere informazioni sintetiche al palo intelligente;
- adattare gli strumenti della gestione ottimizzata delle flotte già sviluppati ai veicoli elettrici ed alla loro complessità, inclusa la revisione dei concetti di eco-driving per applicarli ai veicoli elettrici;
- applicare le strumentazioni e gli algoritmi sviluppati in un progetto pilota con alcuni veicoli elettrici (SMART) messi a disposizione da ENEL al Comune di Roma.

1 Definizione delle specifiche tecniche per il sistema on-board

1.1 Architettura generale del sistema on-board e di comunicazione a terra

Alla luce delle specifiche indicate nell'allegato tecnico fornito da ENEA e dai colloqui intercorsi con i responsabili del progetto e le altre parti coinvolte, sono stati definiti i diversi sistemi hardware e software per implementare le due diverse configurazioni richieste. Entrambe fanno riferimento allo stesso schema architetturale riportato in Figura 1. I due sistemi saranno diversificati al momento della configurazione e dell'utilizzo, in base alla sensoristica utilizzata ed i canali di comunicazione richiesti e disponibili.

La piattaforma ICT del CTL è in particolare composta da un software web-based con funzione di centro servizi, diversi terminali client rappresentati dai veicoli monitorati e una serie di applicazioni per elaborazioni statistiche e produzione di report. La piattaforma del CTL è fruibile attraverso Internet mediante protocolli sicuri e la GUI (interfaccia utente) web-based non richiede installazione locale.

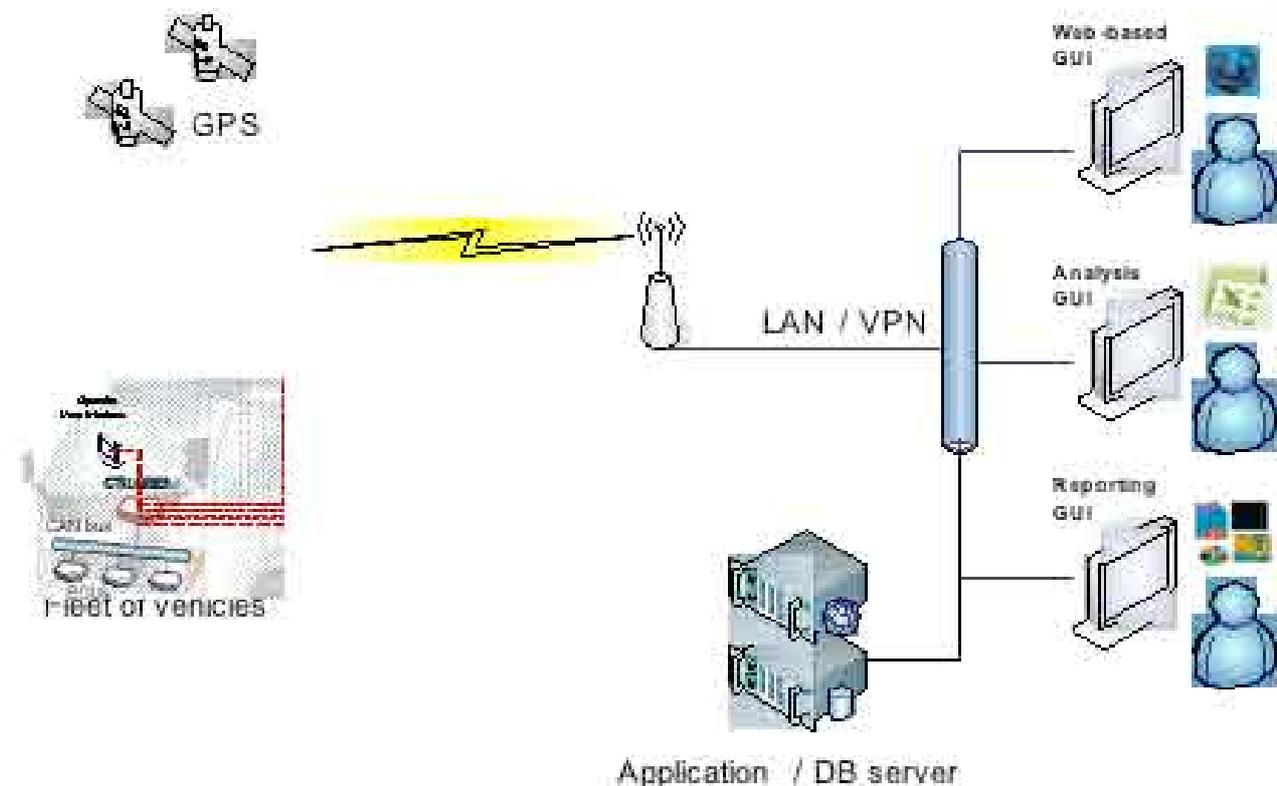


Figura 1: Architettura generale.

Per entrambe i sistemi forniti, la strumentazione CTL ha provveduto a:

- gestire i diversi moduli per leggere i dati da GPS, CAN e/o canali analogici/digitali speciali

- immagazzinare i relativi dati in un DB di bordo
- rende disponibili questi dati al software di elaborazione
- aprire, secondo modalità da definire, un canale di comunicazione verso il palo intelligente o verso il sistema centrale e realizzare l'invio di pacchetti di dati sintetici;
- sincronizzare il DB di bordo con quello a terra tramite connessione dati su Wi-Fi o UMTS secondo le esigenze e con modalità da definire.

1.2 Definizione delle componenti hardware utilizzate per lo sviluppo del sistema on-board

Al fine di soddisfare le specifiche indicate nell'allegato tecnico, il CTL ha scelto di utilizzare come unità di bordo (OBU) un TREK-550 della Advantech; si tratta di PC industriale con certificazione automotive, di cui riportiamo le principali caratteristiche tecniche:

- Piattaforma
 - Windows XP Embedded Standard SO
 - CPU Intel Atom 1.1 GHz
 - 2GB System Memory 200-pin SODIMM – Supporta moduli di memoria industriali DDR2 400/533
 - Compact Flash 4GB – Type II Removibile
- Input/Output
 - CAN
 - 1 x CAN 2.0 (2500Vrms isolation protection)
 - COM port
 - 2 x RS-232, 5V@ 500mA / 12V@ 250mA
 - 1 x 4-wire RS-232
 - 1 x RS485
 - 1 x J1708
 - DI/DO – DB9
 - 4 x Isolated Dry Contact Digital Inputs (2500Vrms protection)
 - 4 x Relay driver
 - Video
 - VGA Output
 - Video In – NTSC, PAL, SECAM
 - Smart Display Port – Interfaccia per schermo 7” in tecnologia touch con tasti funzione e porta USB
- Comunicazione
 - WWAN – GSM/UMTS, connettore SMA con antenna esterna
 - WLAN - Mini PCI Express 802.11 b/g/n, connettore SMA con antenna esterna
 - GPS – 50 canali GPS L1 frequency

In Figura 2 e Figura 3 sono mostrati rispettivamente il pannello anteriore e quello posteriore del TREK-550 utilizzato come OBU. Nelle figure sono inoltre mostrati i connettori utilizzati per le diverse funzionalità del dispositivo.

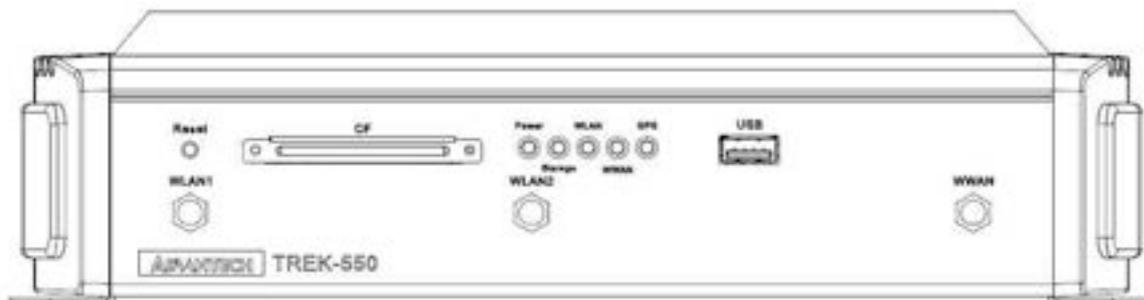


Figura 2: CTL OBU: TREK-550, vista pannello anteriore.

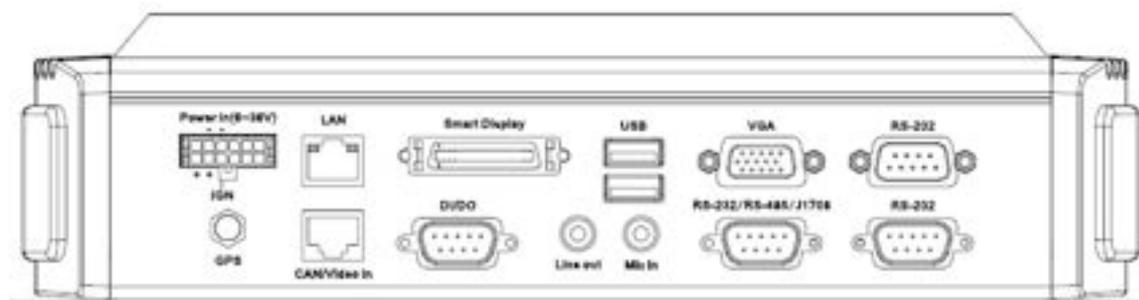


Figura 3: CTL OBU: TREK 550, vista pannello posteriore.

Al fine di soddisfare le specifiche richieste dal contratto con ENEA, sono stati definiti diversi sottosistemi di sensori esterni, con le relative interfacce, per permettere alla OBU di acquisire ulteriori grandezze di interesse rispetto a quelle attualmente disponibili alla strumentazione CTL e di utilizzare nuovi canali di comunicazione a corto raggio. In particolare, oltre ai moduli già integrati nella OBU, è stata prevista l'aggiunta dei seguenti dispositivi:

- Input
 - 2 x Advantech ADAM 4012 – Modulo di acquisizione per segnali analogici – Fornito da ENEA
 - 1 x Advantech ADAM 4080 – Modulo di acquisizione per segnali digitali con funzionalità di contatore impulsi – Fornito da ENEA
 - 1 x Advantech USB-4718 – Modulo di acquisizione per segnali analogico/digitali
- Sensoristica
 - Temperatura/Umidità
 - Elektronik EE21-FP6AB23– Trasmettitore di temperatura e tasso di umidità relativo con sonda di temperatura passiva PT-100 e sensore capacitivo di umidità e certificato di calibrazione (per eventuali applicazioni di misura di confort interno)
 - Prossimità
 - Multicomp 170 – Sensore/Attuatore di Reed per il monitoraggio dello stato di apertura/chiusura porte (per eventuale verifica delle fermate)
 - Corrente

- RS 400 SBD – Sensore di Hall a nucleo diviso per il monitoraggio dello stato di assorbimento di corrente, in previsione di un utilizzo su navette elettriche – Fornito da ENEA
 - Tensione
 - LEM LV25-P - Sensore di Hall per il monitoraggio dello stato di tensione delle batterie, in previsione di un utilizzo su navette elettriche – Fornito da ENEA
 - Velocità
 - Encoder incrementale a 256 impulsi – Fornito da ENEA
 - Comunicazione
 - ZigBee
 - Sena ProBee ZU10 – Nodo ZigBee per la comunicazione a corto raggio con postazioni di terra (pali intelligenti) opportunamente attrezzate con coordinatori ZigBee per la raccolta dati. Per una panoramica sul protocollo di comunicazione ZigBee, si fa riferimento a quanto riportato in

Per quanto riguarda l'architettura di dettaglio del sistema on-board e le interfacce di comunicazione utilizzate per connettere i sottosistemi esterni alla OBU, riportiamo in

Figura 4 un schema riassuntivo della configurazione progettata:

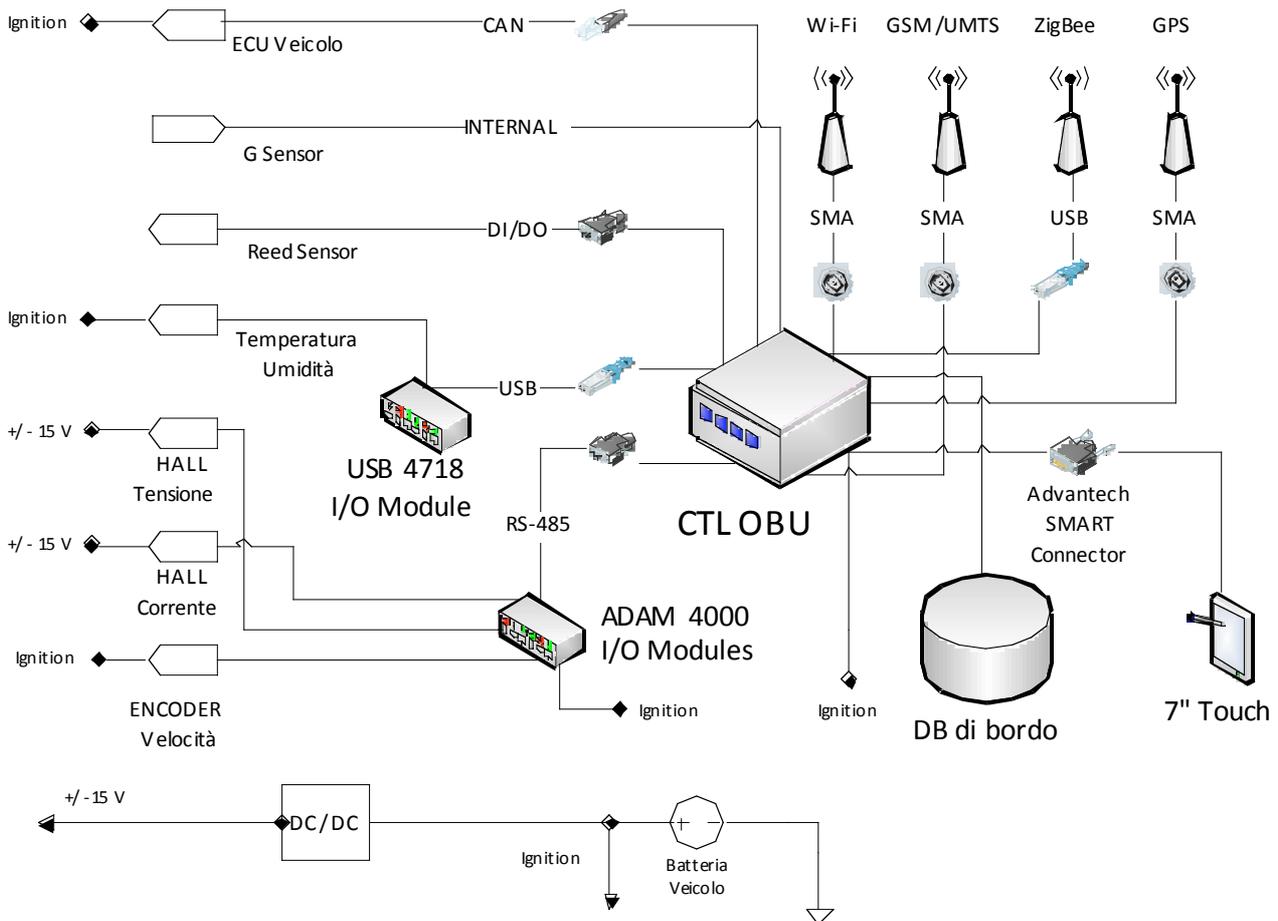


Figura 4: Schema delle connessioni tra OBU e sottosistemi

In definitiva, il CTL ha messo disposizione un sistema on-board costituito dai sottosistemi indicati di seguito. Per i sottosistemi già in dotazione, ove necessario, sono state apportate le opportune modifiche per adattarli alle specifiche condizioni operative.

- Sottosistemi attualmente in dotazione al CTL:
 - Sottosistema CAN
 - Modulo di acquisizione dei dati in transito sul CAN-bus (ove presente) del veicolo, connesso alla OBU mediante interfaccia USB o RJ45
 - Sottosistema Comunicazione
 - Modulo Wi-Fi per la connessione a corto raggio con il server di terra connesso alla OBU mediante SMA con antenna esterna
 - Modulo GSM/UMTS per la connessione a lungo raggio con il server di terra connesso alla OBU mediante SMA con antenna esterna
 - Sottosistema GPS
 - Modulo ricevitore GPS il monitoraggio della posizione del veicolo connesso alla OBU mediante SMA
 - Sottosistema Temperatura
 - Modulo per il monitoraggio di temperatura (NTC), connesso alla OBU mediante interfaccia seriale RS-232
- Sottosistemi di aggiornamento alla attuale configurazione CTL:
 - Sottosistema ADAM
 - Moduli di acquisizione analogico/digitale connessi alla OBU mediante interfaccia seriale RS-485 a cui andranno connessi:
 - Sensore di Hall per la misura di corrente
 - Sensore di Hall per la misura di tensione
 - Encoder per misure di velocità
 - Alimentazione +/- 15V per i Sensori di Hall
 - Sottosistema Reed
 - Sensore magnetico di prossimità connesso direttamente alla porta IO digitale della OBU
 - Sottosistema Ambientale
 - Modulo di acquisizione analogico/digitale connesso alla OBU mediante interfaccia USB a cui andranno connessi:
 - Moduli integrati di acquisizione e trasmissione di misure di temperatura (PT-100) ed umidità relativa (capacitivo)
 - Sottosistema G Sensor
 - Sensore accelerometrico triassiale integrato nella OBU
 - Sottosistema ZigBee
 - Modulo di comunicazione su protocollo ZigBee per la comunicazione con il palo intelligente, costituito da un nodo trasmettitore connesso alla OBU mediante interfaccia USB e con antenna esterna.

1.3 Definizione dei moduli software implementati per lo sviluppo del sistema on-board

Il CTL utilizza una piattaforma software proprietaria installata a bordo veicolo sulla OBU che si occupa di:

- acquisizione e salvataggio su DB di bordo dei dati provenienti dalle periferiche ad essa variamente connesse
- elaborazione dei dati acquisiti per la produzione di statistiche sintetiche a bordo veicolo
- scambio dati con la centrale di terra, secondo protocolli definiti e sui canali di comunicazione disponibili

Il sistema è implementato in modo tale da avviarsi automaticamente all'accensione del veicolo; contestualmente vengono avviati i vari moduli di acquisizione, che cominciano a raccogliere/elaborare i dati provenienti dalla sensoristica di bordo.

In base ai requisiti tecnici richiesti dai sottosistemi di sensori connessi alla OBU e ad alle specifiche funzionalità previste dalle applicazioni contemplate nel presente contratto, sono stati implementati i moduli software sinteticamente indicati di seguito (per una loro descrizione più dettagliata si rimanda a § 2):

- Interfacciamento, acquisizione, elaborazione e salvataggio su DB dei dati provenienti dagli I/O digitali integrati della OBU
- Interfacciamento, acquisizione, elaborazione e salvataggio su DB dei dati provenienti dal sensore accelerometrico integrato della OBU
- Interfacciamento, acquisizione, elaborazione e salvataggio su DB dei dati provenienti dagli ingressi analogici e digitali connessi ai moduli ADAM
- Interfacciamento, acquisizione, elaborazione e salvataggio su DB dei dati provenienti dagli ingressi analogici e digitali connessi al modulo USB-4718
- Interfacciamento, acquisizione, elaborazione e comunicazione di pacchetti dati sintetici su rete ZigBee

Per ognuno dei moduli sopraindicati sono stati previsti opportuni meccanismi di allarme e generazione eventi per segnalazione e invio messaggi.

Oltre a ciò sono state apportate, ove necessario, opportune modifiche al software di base del sistema CTL per permettere la completa integrazione dei moduli sopra indicati e sono stati adattati/aggiornati i moduli software relativi ai sottosistemi già in dotazione al CTL.

1.4 Definizione delle componenti hardware utilizzate per lo sviluppo del sistema di terra

Il sistema di terra si occupa principalmente di:

- ricevere i dati provenienti dai veicoli ed immagazzinarli in opportuni database;
- processare i dati acquisiti da veicolo, ai fini del monitoraggio in tempo reale, per l'individuazione di tratte, soste, rifornimenti, etc. e per il calcolo di valori aggregati (distanze percorse, consumi, emissioni, etc.).
- mostrare le elaborazioni effettuate attraverso una interfaccia web.

Queste tre componenti (ricezione, processamento e visualizzazione) sono del tutto indipendenti e possono essere distribuite su macchine separate, oppure possono essere installate su uno stesso server.

In quest'ultimo caso, i requisiti di sistema minimi sono i seguenti:

- processore a 2 gigahertz (GHz) o maggiore a 32-bit (x86) o 64-bit (x64) (processore dual core raccomandato);
- 2 gigabyte (GB) RAM (32-bit) o 4 GB RAM (per S.O. a 64-bit);
- 3 GB di spazio disponibile sull'hard disk di sistema per il software;
- 150 MB di spazio disponibile su hard disk per ogni giorno di acquisizione per veicolo;
- scheda di rete con connessione Internet ed indirizzo IP pubblico e porte 80, 443, 8080 e 3306 accessibili dall'esterno (non bloccate da firewall).

1.5 Definizione dei moduli software implementati per lo sviluppo del sistema di terra

Il sistema è composto dai seguenti moduli software:

- modulo di comunicazione con il veicolo basato su Web-Service (*aplomb-ws*), per la configurazione da remoto del veicolo e la ricezione di dati di acquisizione e segnalazioni;
- modulo di immagazzinamento e processamento dei dati (*aplomb-engine*);
- modulo cartografico (*maproute-engine*) per il routing ed il matching dei dati su cartografia stradale (opzionale);
- interfaccia web (*aplomb-web*) per la presentazione dei dati e l'interazione con il sistema.

Tutti i moduli sono interamente realizzati su piattaforma Java (versione 5 o superiore). I moduli *aplomb-engine*, *aplomb-web* e *maproute-web* richiedono l'installazione di MySQL versione 5 o superiore, mentre i moduli *aplomb-ws* e *aplomb-web* richiedono l'installazione di GlassFish Server Open Source Edition versione 3 o superiore.

L'architettura del sistema di terra è rappresentata in Figura 5.

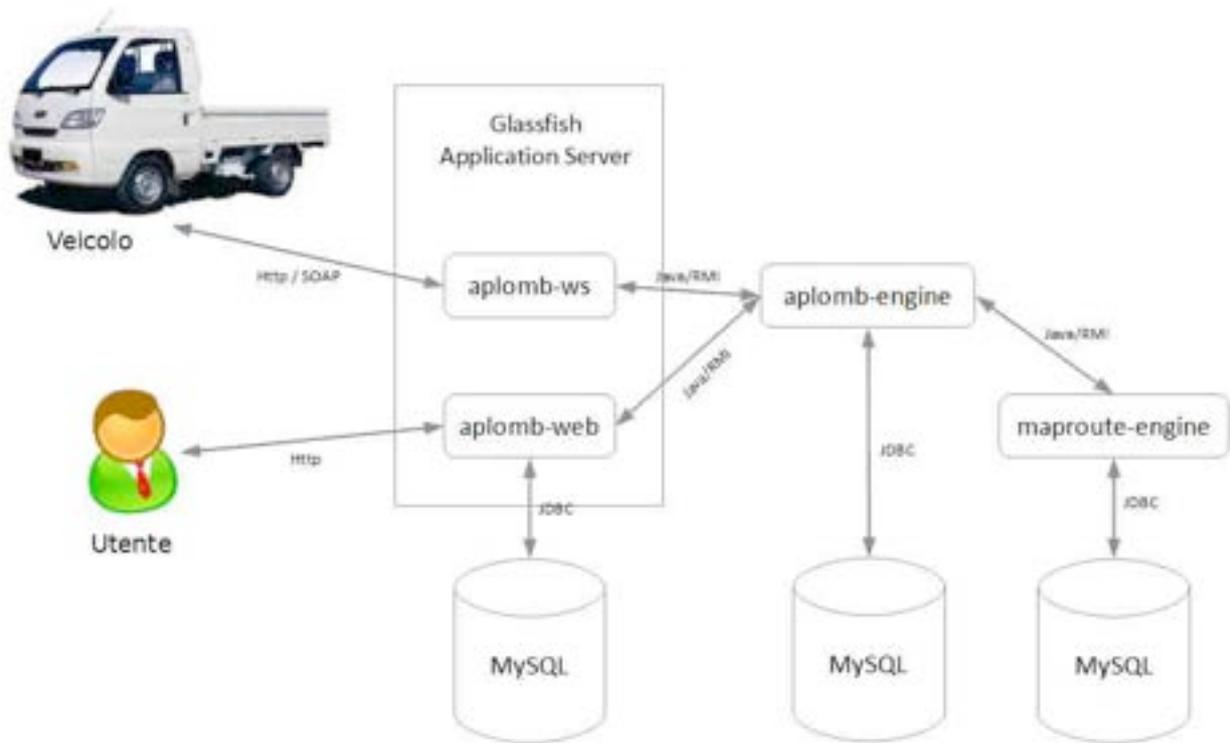


Figura 5: Architettura del sistema di terra

2 Sviluppo del software di acquisizione dati e di comunicazione.

2.1 Descrizione dei moduli software del sistema on board

Il CTL utilizza una piattaforma software proprietaria, sviluppata utilizzando il linguaggio C# e Visual Basic. Il software installato sulla OBU si occupa di:

- acquisizione e salvataggio su DB di bordo dei dati provenienti dalle periferiche ad essa variamente connesse
- elaborazione dei dati acquisiti per la produzione di statistiche sintetiche a bordo veicolo
- scambio dati con la centrale di terra, secondo protocolli definiti e sui canali di comunicazione disponibili

Il sistema è implementato in modo tale da avviarsi automaticamente all'accensione del veicolo; contestualmente vengono avviati i vari moduli di acquisizione, che cominciano a raccogliere/elaborare i dati provenienti dalla sensoristica di bordo.

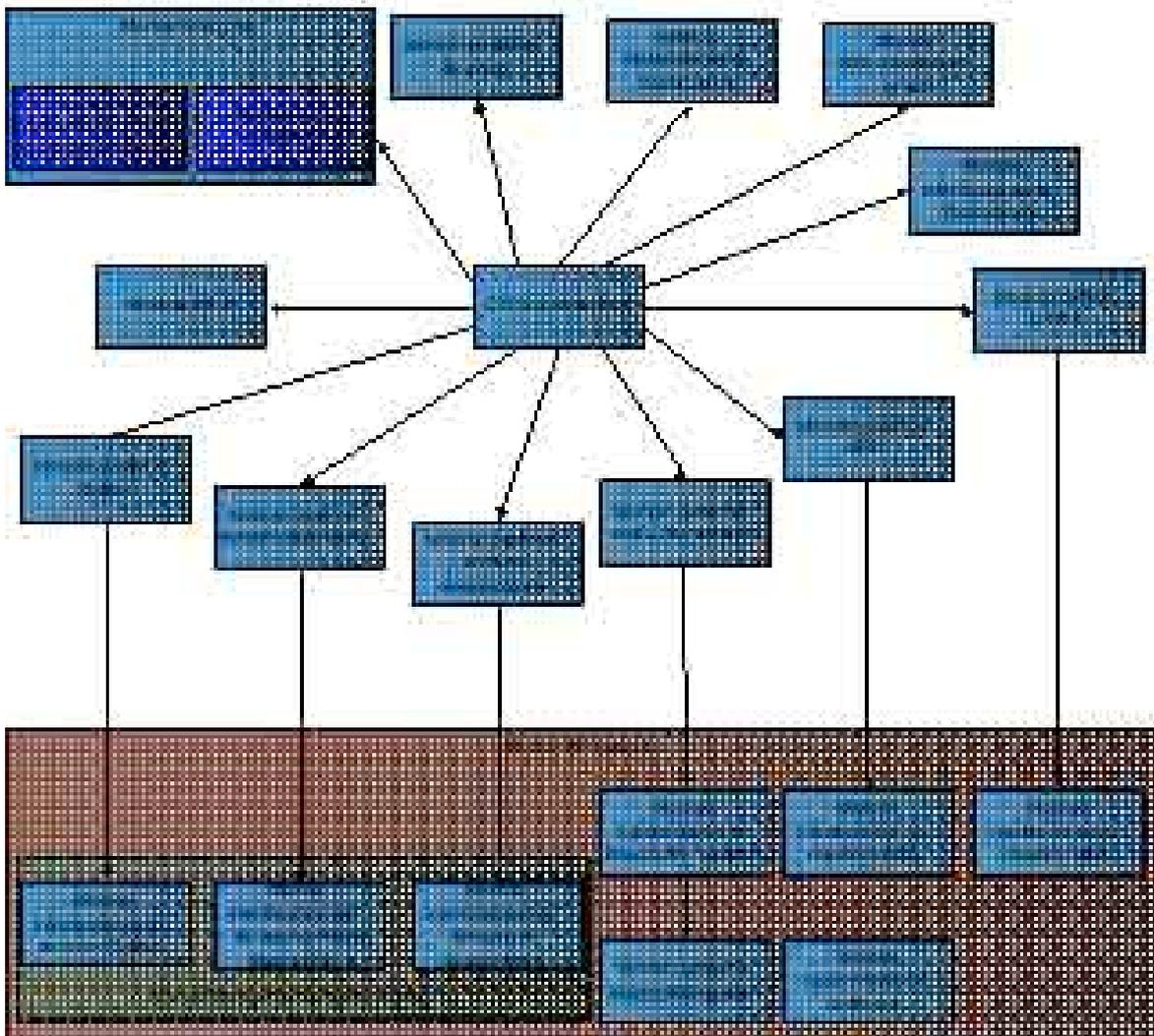


Figura 6: Schema a blocchi del software di bordo

In Figura 6 è riportato uno schema a blocchi dei moduli che costituiscono il software di bordo, dove non vengono evidenziate tutte le connessioni tra i vari componenti, ma solo quelle principali, al fine di una maggiore leggibilità.

I moduli che costituiscono il software di bordo sono:

- **CTLCoreInterface:** è il modulo 'core' del sistema di bordo. Le principali funzionalità sono:
 - all'avvio del veicolo verificare, comunicando con un server di terra, se ci sono parametri di configurazione da aggiornare
 - inizializzare ed avviare i vari moduli
 - controllare periodicamente lo stato di esecuzione dei moduli, provvedendo in caso di malfunzionamenti software, al riavvio degli stessi.
 - interfacciarsi periodicamente con il *modulo di gestione dati CAN/elettrici*, per controllare lo stato del veicolo. Se il veicolo risulta spento, avvia un timer, che gestisce lo spegnimento dell'applicazione e del sistema operativo.

- **Modulo Wi-Fi:** è il modulo preposto al controllo della connettività wireless a banda larga e basso costo. All'interno dell'area di copertura dell'antenna presente sul veicolo, rileva la presenza di reti wireless che utilizzano il protocollo Wi-Fi e si connette ad esse automaticamente, leggendo i parametri di connessione alla rete direttamente dal database di bordo. Tale connettività è utilizzata soprattutto al rientro del veicolo al deposito; fase in cui vengono inviate al sistema di terra, grandi quantità di dati.
- **Modulo GPRS/UMTS:** è il modulo che fornisce connettività GPRS/UMTS, utilizzando la rete cellulare. Tale connessione è utilizzata, quando non è disponibile una connessione Wi-Fi o in maniera complementare ad essa. Risulta appropriata al trasferimento in tempo reale di piccole quantità di dati, soprattutto quando il veicolo è in movimento. Le informazioni solitamente inviate con tale connessione sono:
 - posizione del veicolo
 - segnalazione dell'accadimento di eventi prestabiliti (segnalazione di avvio del veicolo, spegnimento del veicolo...)
 - segnalazione di anomalie (temperatura troppo elevata, ripartenza con portellone aperto...)
- **Modulo gestione GPS:** è il modulo che, all'avvio del veicolo, avvia il *modulo di interfacciamento ricevitore GPS* e ne interrompe l'acquisizione quando il veicolo risulta essere spento.
- **Modulo gestione dati CAN/Elettrici:** è il modulo che, all'accensione del veicolo, avvia l'acquisizione dei dati relativi ai parametri motoristici (*Modulo interfacciamento linea CAN/Elettrica*). Ferma l'acquisizione dei dati, quando il veicolo viene spento.
- **Modulo gestione sensore di temperatura:** è il modulo che, all'accensione del sistema di bordo, avvia l'acquisizione dei dati provenienti dal sensore di temperatura. Ne sospende l'acquisizione allo spegnimento del veicolo. Tale modulo provvede, inoltre, a gestire gli allarmi relativi alle anomalie di temperatura (temperatura sopra/sotto delle soglie prestabilite) e invoca il *modulo interfacciamento web service* per inviare tali segnalazioni al sistema di terra. Se al momento della generazione dell'allarme, nessuna connessione è disponibile, il messaggio viene memorizzato in un'apposita tabella del database di bordo e inviato appena possibile.
- **Modulo gestione sensore stato porta:** questo modulo, all'avvio del veicolo, inizia l'acquisizione dei dati provenienti dal sensore di monitoraggio dello stato della porta. Ferma l'acquisizione allo spegnimento del veicolo. Tale modulo provvede, inoltre, a gestire gli allarmi relativi alle anomalie rilevate (ripartenza con porta aperta, apertura porta con veicolo in movimento...) e attraverso il *modulo interfacciamento web service*, invia tali segnalazioni al sistema di terra. Se al momento della generazione dell'allarme, nessuna connessione è disponibile, il messaggio viene memorizzato in un'apposita tabella del database di bordo e inviato appena possibile.
- **Modulo gestione ZigBee:** è il modulo che avvia l'esecuzione del *modulo interfacciamento sensore ZigBee*, all'accensione del sistema di bordo e ne sospende l'esecuzione allo spegnimento del veicolo. Tale modulo provvede alla creazione dei messaggi da inviare a terra, utilizzando il protocollo ZigBee, restituisce tale messaggio al *modulo interfacciamento sensore ZigBee*, che impacchetta il dato e lo invia al palo 'intelligente'. Se al momento

dell'invio dell'informazione non c'è copertura ZigBee, il messaggio viene inviato a terra utilizzando la connessione GPRS/UMTS o Wi-Fi. Se nessuna delle connessioni è disponibile, il messaggio viene memorizzato in una tabella del database di bordo e viene inviato insieme al successivo messaggio ZigBee generato. La condizione, comunque, sotto la quale un messaggio viene cancellato dal database di bordo, è che sia stato inviato al sistema di terra.

- **Modulo gestione file di log:** il modulo in questione, si occupa degli aspetti legati al logging degli eventi di bordo. È utilizzato da tutti i moduli per scrivere informazioni sul file di log. Quando la dimensione del file corrente raggiunge un valore prestabilito, viene creato un nuovo file di log. Ogni file di log chiuso, viene compresso ed attraverso il *Modulo interfacciamento web service*, viene inviato a terra. Tali file consentono di tenere traccia degli eventi verificatisi sul veicolo e di registrare eventuali anomalie delle attività di bordo.
- **Modulo invio dati:** è il modulo che si occupa di preparare i messaggi, per l'invio al server di terra. È costituito da due thread distinti; uno che allo spegnimento del veicolo, si occupa dei dati istantanei, relativi alla linea CAN/elettrica, al GPS, ai dati di diagnostica e a quelli provenienti dai sensori. L'altro invece è preposto alla gestione in tempo reale, degli snapshot di avvio del sistema, di spegnimento e degli snapshot temporizzati di posizione. Gli snapshot contengono un set minimo di informazione:
 - Dati gps (latitudine, longitudine, altitudine, numero satelliti...)
 - Dati del veicolo (velocità, tensione istantanea, RPM, carico del motore...)
 - La tipologia dello snapshot (accensione, spegnimento, stato)
- **Modulo interfacciamento DB di bordo:** è il modulo che gestisce la scrittura dei dati, nelle relative tabelle, sul database di bordo. Tale modulo consente, inoltre, di estrarre i dati da inviare al sistema di terra. Ogni modulo che deve memorizzare dati si interfaccia con esso.
- **Modulo sincronizzazione oraria:** tale modulo effettua la sincronizzazione oraria del dispositivo di bordo con un server esterno.
- **Modulo interfacciamento web service:** è il modulo che riceve dagli altri moduli le informazioni da inviare al sistema di terra; le informazioni vengono quindi compresse, per ridurre la quantità dei dati da trasmettere e i tempi di trasmissione. Infine i dati vengono inviati ai web service di terra (utilizzando il protocollo SOAP su Http).

I moduli software esterni che vengono gestiti dal software di acquisizione sono:

- **Modulo interfacciamento sensore ZigBee:** è il modulo che gestisce il protocollo di comunicazione ZigBee. Riceve i dati da inviare, li impacchetta secondo gli standard del protocollo stesso e li invia al palo 'intelligente' (ricevitore ZigBee di terra).
- **Modulo interfacciamento sensore di Reed:** questo modulo si interfaccia con il sensore di Reed, che viene utilizzato per rilevare lo stato della porta. Inoltre, registra ad intervalli di tempo configurabili, i dati istantanei contenenti le informazioni sullo stato della porta e genera allarmi riguardanti eventuali anomalie (apertura portellone in movimento, ripartenza con portellone aperto...). Gli allarmi generati vengono comunicati al *Modulo gestione sensore stato porta*, che si occupa di inviarli al sistema di terra.

- **Modulo interfacciamento sensore di temperatura:** è il modulo software che si interfaccia con il sensore di temperatura, memorizza i valori registrati sul database di bordo a intervalli di tempo parametrizzabili e genera allarmi, se vengono rilevate temperature superiori o inferiori a delle soglie, anch'esse configurabili. Gli allarmi generati vengono comunicati al *Modulo gestione sensore temperatura*, che provvede ad inviarli al sistema di terra.
- **Modulo interfacciamento linea CAN/elettrica:** tale modulo gestisce l'acquisizione dei dati del veicolo sia esso termico che elettrico. Effettua delle elaborazioni sulle grandezze acquisite e memorizza i valori sul database di bordo, ad intervalli di tempo configurabili. I dati vengono inviati a terra dal *Modulo invio dati*.
- **Modulo gestione diagnostica guasti:** è il modulo che interfacciandosi con il *Modulo interfacciamento linea CAN/elettrica*, rileva eventuali anomalie nel funzionamento del veicolo. Memorizza le anomalie nel database di bordo, che vengono poi inviate a terra dal *Modulo invio dati*.
- **Modulo interfacciamento ricevitore GPS:** è il modulo che si interfaccia direttamente con il ricevitore GPS, riceve i dati e li memorizza, ad intervalli di tempo configurabili, nel database di bordo. I dati vengono infine inviati a terra dal *Modulo invio dati*.
- **Modulo interfacciamento modem GSM:** tale modulo è costituito dalle librerie che si interfacciano direttamente con il modem GSM, utilizzato per inviare i dati tramite GPRS/UMTS quando non è disponibile o in alternativa alla rete Wi-Fi.
- **Modulo aggiornamento software:** è il modulo che provvede ad aggiornare le librerie del software di bordo da remoto. L'applicazione viene avviata alla chiusura del software di monitoraggio, contatta un server di terra e verificato se ci sono librerie da aggiornare, effettua il download dei nuovi file. Al termine dell'aggiornamento del sistema, il dispositivo di bordo viene spento.

In Figura 7 e Figura 8 sono mostrati due screenshot dell'interfaccia grafica del software di acquisizione:

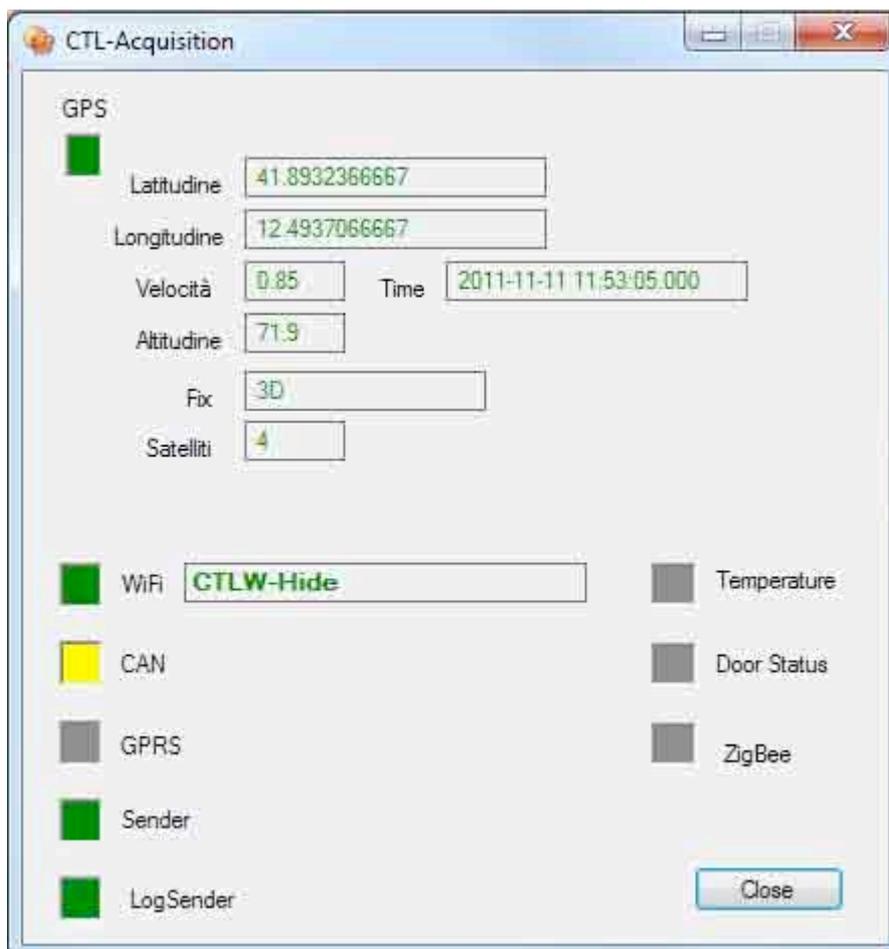


Figura 7: Interfaccia grafica del software di acquisizione

Nella Figura 7 sono visibili i vari moduli e il loro stato. Le icone verdi del modulo Wi-Fi, del modulo interfacciamento ricevitore GPS (GPS), del modulo di invio dati (Sender) e del modulo di gestione dei file di log (LogSender) indicano che i moduli sono attivi e funzionanti. L'icona gialla del modulo interfacciamento linea CAN/elettrica (CAN) indica che il modulo non sta acquisendo dati. Infine le icone grigie del GPRS, del modulo di gestione del sensore di temperatura (Temperature), del modulo di gestione del sensore di stato porta (Door Status) e del modulo di gestione del sensore ZigBee (ZigBee) indicano che questi moduli sono al momento disattivati.

Nella Figura 8 è mostrata l'interfaccia grafica per la modifica dei parametri di configurazione del software di bordo. Nello specifico è visualizzata la schermata per l'impostazione dei dati relativi ai sensori. Nel pannello *Temperature*, è possibile inserire la porta COM sulla quale il sensore di temperatura invia i dati, l'intervallo di lettura del dato di temperatura (5000 msec) e la temperatura massima e minima al di sopra o al di sotto delle quali generare gli allarmi. Nel pannello *Door Status Sensor*, è possibile impostare l'intervallo di tempo tra due letture dello stato della porta e in quello *ZigBee Sensor*, la porta COM sulla quale comunica il sensore ZigBee. Infine nel pannello *AllSensors*, è possibile impostare il numero massimo di record, parametro relativo a tutti i sensori presenti sul veicolo, che è possibile inviare a terra in una sola volta.

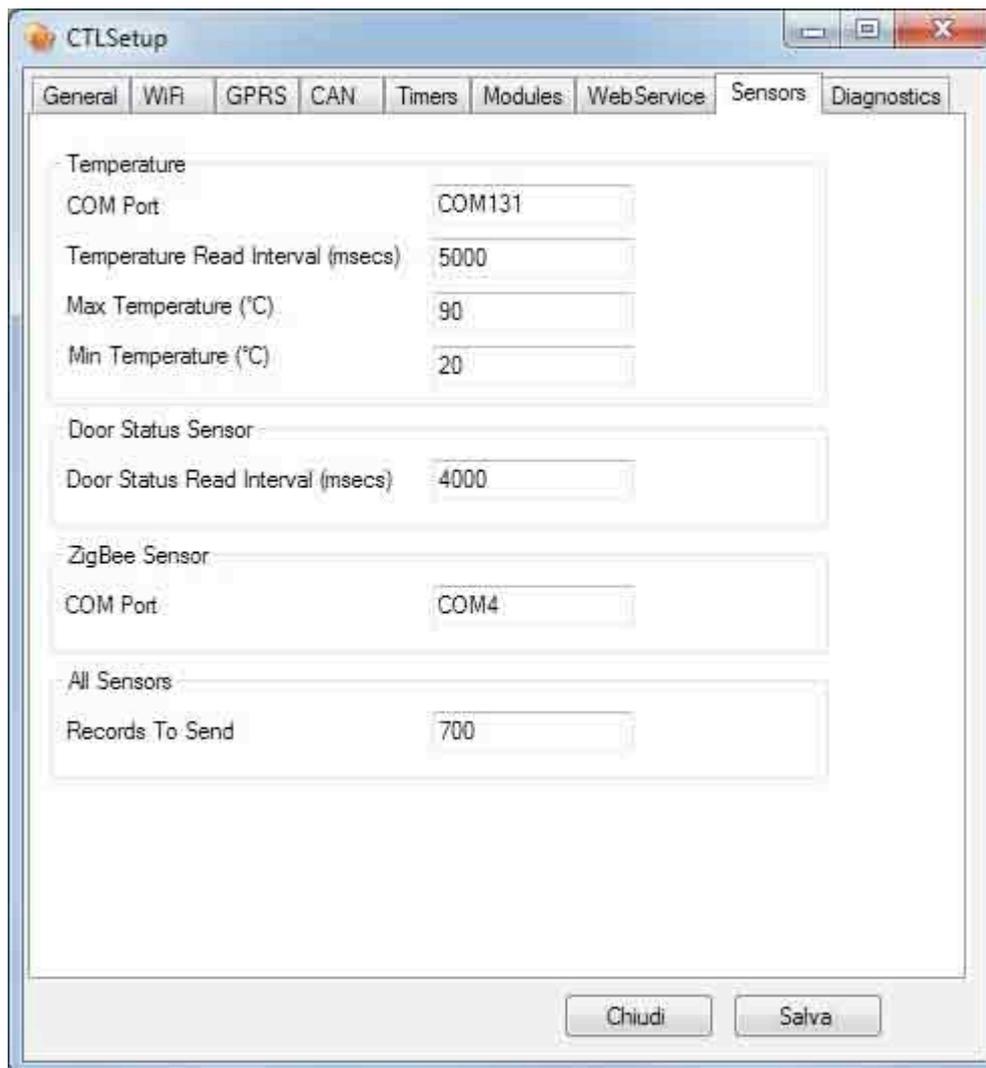


Figura 8: Interfaccia grafica di configurazione dei parametri relativi ai sensori

In base ai requisiti tecnici richiesti dai sottosistemi di sensori connessi alla OBU e ad alle specifiche funzionalità previste dalle applicazioni contemplate nel presente contratto, sono stati implementati i moduli software di aggiornamento descritti di seguito:

- **Interfacciamento, acquisizione, elaborazione e salvataggio su DB dei dati provenienti dagli I/O digitali integrati della OBU**
 - Il modulo software implementato provvede alla lettura degli ingressi digitali disponibili sulla OBU. In particolare, per le applicazioni previste dal presente progetto, è stato realizzato un modulo software per la lettura dello stato di un sensore di Reed, da utilizzare per il monitoraggio dello stato di apertura porte. L'intervallo di tempo tra due letture successive dello stato del sensore è parametrizzabile; ogni lettura viene immagazzinata in una apposita tabella del DB progettata per l'acquisizione dati dalla sensoristica esterna. Contestualmente alla lettura dello stato attuale del sensore viene effettuato un controllo, confrontando il valore attuale con i precedenti e con la velocità del veicolo, allo scopo di

- contare il numero di aperture/chiusure della porta,
 - misurare il tempo in cui la porta è rimasta aperta
 - ed infine per rilevare eventuali anomalie e generare allarmi.
- In particolare sono stati implementati i seguenti eventi:
 - Inizio della sosta
 - Fine sosta con numero e tempo di aperture porte
 - Allarme di ripartenza con porte aperte
 - Allarme di apertura porte con veicolo in movimento
 - Segnalazione di chiusura portellone dopo allarme
- **Interfacciamento, acquisizione, elaborazione e salvataggio su DB dei dati provenienti dal sensore accelerometrico integrato della OBU**
 - Il modulo software implementato provvede alla lettura dei dati generati dal modulo accelerometrico triassiale integrato nella OBU. Il modulo si occupa di leggere ed immagazzinare in una apposita tabella del DB, progettata per l'acquisizione dati della sensoristica le misure di accelerazione sui tre assi di riferimento. L'intervallo di acquisizione e scrittura è parametrizzabile. Sono stati inoltre previsti opportuni meccanismi parametrizzabili di segnalazione di superamento soglie con relativa generazione di eventi di allarme.
- **Interfacciamento, acquisizione, elaborazione e salvataggio su DB dei dati provenienti dagli ingressi analogici e digitali connessi ai moduli ADAM**
 - Il modulo software implementato provvede alla lettura e salvataggio su DB degli ingressi analogici e digitali disponibili mediante tre moduli di acquisizione ADAM. Tali moduli si occupano della lettura dei dati provenienti da un encoder incrementale con passo 256 per la misura della velocità del veicolo, da un sensore Hall per la misura della corrente istantanea consumata dal veicolo e da un sensore Hall per la misura della tensione istantanea ai capi del pacco batterie del veicolo elettrico. I tre moduli ADAM sono connessi in cascata sulla porta RS-485 della OBU. L'intervallo di interrogazione dei moduli è parametrizzabile ed è stato fissato ad un minimo di un secondo, per permettere l'esecuzione delle operazioni di elaborazione successive all'interrogazione. Ogni lettura proveniente dai tre moduli viene immagazzinata in una apposita tabella del DB, progettata per l'acquisizione dati dalla sensoristica esterna. Parallelamente è stato implementato un buffer di lettura, utilizzato per la scrittura su un'altra tabella del DB dedicata all'acquisizione dei parametri funzionali del veicolo. La scrittura su questa tabella avviene ad intervalli regolari di dieci secondi; in particolare, per ognuno di questi intervalli, prima di effettuare la scrittura sul DB, viene eseguita una interpolazione lineare per ottenere dati istantanei con una granularità di 500 millisecondi e ripuliti da eventuale rumore in alta frequenza. Sono stati inoltre implementati opportuni meccanismi parametrizzabili di segnalazione di superamento soglie, con relativa generazione di allarmi.

- **Interfacciamento, acquisizione, elaborazione e salvataggio su DB dei dati provenienti dagli ingressi analogici e digitali connessi al modulo USB-4718**
 - Il modulo software implementato provvede alla lettura e salvataggio su DB degli ingressi analogici e digitali disponibili mediante il modulo di acquisizione USB-4718, connesso alla OBU mediante interfaccia USB. L'intervallo di interrogazione dei moduli è parametrizzabile. Ogni lettura proveniente dal modulo di acquisizione viene immagazzinata in una apposita tabella del DB, progettata per l'acquisizione dati dalla sensoristica esterna. Sono stati inoltre previsti opportuni meccanismi parametrizzabili di segnalazione di superamento soglie con relativa generazione di eventi di allarme.

- **Interfacciamento, acquisizione, elaborazione e comunicazione di pacchetti dati sintetici su rete ZigBee**
 - Il modulo software implementato provvede alla realizzazione di un nodo ZigBee. In particolare, mediante questo modulo, la OBU, diventa una ZigBee End Device, rendendo in pratica il veicolo un nodo mobile di una rete di comunicazione di tipo ZigBee. Ad intervalli regolari parametrizzabili, il software CTL provvede al calcolo di grandezze medie da inviare verso uno ZigBee Coordinator (palo intelligente). Nel dettaglio, attualmente il software CTL provvede, ad intervalli di un minuto, a:
 - collezionare i dati relativi a velocità, corrente e tensione raccolti dai sensori dedicati
 - filtrare tali dati con un filtro a mediana mobile per eliminare outliers e rumore in alta frequenza
 - calcolare media e varianza del nuovo set di dati filtrato
 - formattare tali dati in un pacchetto dati sintetico secondo un protocollo prestabilito
 - generare un evento che informa il software della disponibilità del pacchetto dati sintetico

 - Per poter testare il corretto funzionamento del modulo e per poter usufruire dei pacchetti dati sintetici anche in assenza di una rete ZigBee, è stato previsto di inviare tali dati anche sul canale di comunicazione UMTS a lungo raggio.

 - Alla generazione di ogni evento che informa della disponibilità del pacchetto dati sintetico, il modulo di comunicazione ZigBee provvede a
 - raccogliere questo pacchetto dati,
 - verificare la copertura della rete accertandosi di essere in prossimità dello ZigBee Coordinator o, equivalentemente, di uno ZigBee Router e
 - in caso di copertura ZigBee, il nuovo pacchetto dati, assieme ad eventuali altri salvati nel DB per assenza di copertura, vengono inviati verso lo ZigBee Coordinator (palo intelligente) o il Router e contemporaneamente al server di terra via GPRS/UMTS. Una volta

inviato sul canale GPRS/UMTS, il pacchetto dati viene cancellato dal DB di bordo.

- in caso di assenza di copertura GPRS/UMTS, il pacchetto viene salvato in una opportuna tabella dati nel DB in attesa di essere inviato non appena sotto copertura

Nell'ottica dell'integrazione con una rete di illuminazione pubblica, la messaggistica ed il conseguente scambio di dati sarebbe configurato su un profilo applicazione-dipendente.

2.2 Descrizione dei moduli software del sistema di terra

Si descrivono in questa sezione i principali moduli che compongono la piattaforma di terra di fleet management (*Aplomb*) sviluppata dal CTL, con particolare riferimento agli interventi effettuati specificatamente per gli obiettivi di ricerca presentati in questo documento.

2.2.1 Modulo Aplomb Web Service (aplomb-ws)

Questo modulo si occupa di gestire la comunicazione con l'unità a bordo del veicolo (OBU). La comunicazione avviene tramite protocollo Http/SOAP: il veicolo, tramite connessione UMTS o Wi-Fi accede ai servizi offerti dal modulo, il quale è stato progettato per essere eseguito all'interno di un Application Server Java (GlassFish Open Source versione 3 o successiva).

I principali servizi offerti dal modulo sono i seguenti (tra parentesi il nome del servizio).

- **Servizio di sincronizzazione oraria** (*returnTime*). Per poter effettuare con precisione l'allineamento temporale dei dati provenienti dai vari sensori/dispositivi (es. GPS e linea CAN), il sistema di bordo ha bisogno di avere l'orologio correttamente impostato; si rende pertanto necessario sincronizzare l'orario dei dispositivi di bordo con il server centrale. A tale scopo è previsto questo servizio in grado di restituire l'ora locale del server.
- **Servizio di ricezione dati di acquisizione processati** (*sendProcessedData*). Questo servizio si occupa di ricevere i dati di acquisizione del veicolo (CAN, elettrici, GPS), e di inoltrarli opportunamente al motore di acquisizione *aplomb-engine*.
- **Servizio di ricezione messaggi di snapshot** (*sendMessage*). A intervalli di tempo prestabiliti e configurabili, o su richiesta pervenuta dall'utente attraverso l'interfaccia web, il dispositivo di bordo invia alcuni dati (istantanei o mediati) relativi alla posizione ed allo stato del veicolo. Questo servizio gestisce la ricezione di questa tipologia di messaggi.
- **Servizio di ricezione evento/anomalia** (*sendEvent*). Al verificarsi di alcuni eventi, eventualmente anomali, a bordo veicolo (es. accensione/spegnimento, superamento del limite di velocità, raggiungimento di un checkpoint, etc.), il software di bordo invia in modo "asincrono" una segnalazione di evento. Questo servizio gestisce la ricezione di questa tipologia di messaggi.
- **Servizio di invio file di configurazione** (*recvConfiguration*). Durante la fase di avvio, o al verificarsi di specifici eventi a bordo del veicolo, l'unità mobile può richiedere al server di terra, attraverso questo servizio, l'invio di un file XML di configurazione contenente i parametri aggiornati per il corretto funzionamento del software di bordo (esempi di tali parametri di configurazione possono essere l'URL del server, le credenziali per l'accesso ai servizi, etc.).

- **Servizio di inizializzazione unità mobile** (`initializeUnit`). Per l'accesso a tutti i servizi offerti, l'unità di bordo identifica se stessa attraverso un numero univoco. Tale numero viene assegnato dal server attraverso questo servizio, interrogato dall'unità mobile al termine del processo di installazione.
- **Servizio di invio file di log da veicolo** (`sendLogFile`). Periodicamente il veicolo invia alla piattaforma di terra un file contenente il log di esecuzione dei moduli software installati a bordo. Tali file devono essere memorizzati sul file-system (con un riferimento nel database) e devono essere accessibili attraverso l'interfaccia web. Questo servizio si occupa della ricezione dei file di log e del loro "smistamento" verso il motore di acquisizione *aplomb-engine*.
- **Servizio di invio dati relativi alla diagnostica del veicolo** (`sendDiagnosticData`). Periodicamente l'unità di bordo invia alla piattaforma di terra un file contenente i dati relativi alla diagnostica del veicolo. Tali dati devono essere inseriti in opportune tabelle del database e devono essere visualizzabili attraverso l'interfaccia web. Questo servizio si occupa della ricezione di questi dati e del loro "smistamento" verso il motore di acquisizione *aplomb-engine*.
- **Servizio di invio dati di acquisizione da sensori installati a bordo** (`sendSensorData`). Periodicamente il veicolo invia alla piattaforma di terra un file contenente i dati acquisiti dai sensori installati a bordo del veicolo. Tali dati devono essere inseriti in opportune tabelle del database e, se possibile, devono essere associati ai contemporanei dati acquisiti da linea CAN. I dati acquisiti da sensori dovranno infine essere processati (tramite ad esempio aggregazione) ed opportunamente visualizzati attraverso l'interfaccia web.
- **Servizio di invio dati aggregati per la sperimentazione del protocollo ZigBee** (`sendZigBeeData`). Le informazioni raccolte ed inviate al palo intelligente tramite protocollo ZigBee sono anche inviate al server di terra (per l'opportuno processamento e visualizzazione sul Web) attraverso questo servizio.

2.2.2 Modulo *aplomb-engine*

Il modulo *aplomb-engine* è il modulo centrale del sistema. Esso si occupa di gestire l'acquisizione dei dati (istantanei, messaggi, diagnostica, log, etc.) dal veicolo e la loro memorizzazione all'interno del database, di processare i dati istantanei al fine di individuare informazioni aggregate significative (tratte, soste, rifornimenti, tempi di guida/sosta, stili di guida, etc.) ed, in generale, di coordinare il processamento ed il recupero di tutti i dati in gioco. Il modulo si occupa inoltre di gestire l'anagrafica dei veicoli e della configurazione degli stessi.

In particolare, relativamente al progetto di ricerca qui descritto sono state sviluppate all'interno del modulo *aplomb-engine* le seguenti funzionalità.

- **Ricezione, parsing e memorizzazione dei messaggi in formato ZigBee.** Ciascun messaggio ZigBee è rappresentato da una riga di testo in formato CSV con i seguenti campi: Id msg., Veicolo, Timestamp, Stato porta, Velocità media, Var. velocità, Corrente media, Var. corrente, Tensione media, Var. tensione, Media livello di carica batteria, Var. livello di carica batteria. Il sistema è in grado di ricevere questa tipologia di messaggio, effettuarne il parsing (con opportuna segnalazione di eventuali anomalie), e di memorizzare i dati ricevuti all'interno del database per successive elaborazioni.
- **Ricezione, parsing e memorizzazione dei dati relativi a sensoristica elettrica.** In assenza di dati provenienti da linea CAN il sistema deve essere in grado di recuperare le

informazioni principali (distanza percorsa, velocità, etc.) a partire dalle informazioni fornite dalla sensoristica installata.

- **Implementazione algoritmo di riallineamento dei campioni acquisiti da dispositivo GPS.** Nello specifico step evolutivo del sistema di bordo utilizzato per questa sperimentazione, si è deciso, al fine di alleggerire il carico di lavoro a bordo, di migrare a terra la procedura di riallineamento temporale fra i dati acquisiti in tempo reale dai sensori e le rilevazioni del dispositivo GPS. I dati (elettrici e GPS) sono pertanto inviati a terra in modo disaccoppiato, e riallineati temporalmente attraverso questa specifica funzionalità.

2.2.3 Modulo di interfaccia Web (*aplomb-web*)

Il modulo *aplomb-web* è una Web Application java in grado di interfacciarsi con il modulo *aplomb-engine* al fine di recuperare i dati da esso gestiti e di visualizzarli attraverso una serie di interfacce cartografiche, tabellari e grafiche. L'accesso al sistema avviene attraverso una procedura di autenticazione tramite username e password. Il numero e la tipologia delle funzionalità offerte dal sistema dipendono dalla tipologia di utente che effettua l'accesso al sistema. In generale il sistema offre le seguenti funzionalità.

- **Monitoraggio dei veicoli.** Questa interfaccia consente di visualizzare su mappa la posizione e lo stato (acceso, spento) di tutti i veicoli monitorati, nonché i dettagli sul loro stato di attività (velocità, RPM del motore, temperatura del refrigerante, pressione sul pedale dell'acceleratore, livello carburante, etc.). Cliccando sul singolo veicolo è poi possibile visualizzare lo storico di tutte le segnalazioni ricevute.
- **Visualizzazione riepilogo e dettaglio sessioni.** In questa interfaccia vengono visualizzate in forma aggregata le informazioni istantanee acquisite dal veicolo. A partire da una prima aggregazione per sessione (cioè, giorno di acquisizione) è possibile scendere nel dettaglio per visualizzare, anche su mappa, le singole tratte e soste effettuate dal veicolo durante la giornata. E' possibile inoltre visualizzare, per ciascuna tratta, i dati aggregati relativi allo stile di guida ed i grafici rappresentanti l'andamento nel tempo di velocità, distanza percorsa, consumo istantaneo, pressioni sui pedali.
- **Visualizzazione dei dati aggregati per noleggio.** In presenza di informazioni relative all'eventuale uso a noleggio di un veicolo, è possibile, tramite questa interfaccia, visualizzare la informazioni aggregate per noleggio (percorso su mappa, tratte, soste, consumi, stili di guida, etc.).
- **Visualizzazione dei rifornimenti.** Questa interfaccia permette di visualizzare l'elenco ed il luogo dei rifornimenti riconosciuti automaticamente dal sistema, con la possibilità di filtrare gli stessi per veicolo e/o data.
- **Gestione anagrafica dei siti di sosta/carico/scarico merci.** Attraverso questa interfaccia è possibile visualizzare l'elenco dei siti di sosta (punti di interesse) individuati automaticamente dal sistema o inseriti direttamente dall'utente. Selezionando un singolo sito è possibile inoltre editarne i principali attributi (codice, descrizione, tipo, indirizzo).
- **Gestione anagrafica dei veicoli e della loro configurazione.** Questa interfaccia consente di visualizzare l'elenco dei veicoli monitorati e le loro principali caratteristiche. Selezionando un veicolo è inoltre possibile modificarne i principali dati anagrafici: flotta, modello, anno di immatricolazione, targa, telaio, numero SIM. Una apposita interfaccia consente inoltre di modificare i parametri di configurazione del software di bordo; a seguito di ogni modifica, il sistema provvederà automaticamente ad aggiornare tali parametri in remoto sul veicolo.

- **Gestione dell'interfaccia web (configurazione, utenti, permessi).** Se l'utente autenticato dispone dei diritti di amministratore può modificare i parametri di configurazione dell'interfaccia, creare o eliminare gli utenti, e gestire i permessi (ruoli) per ognuno di essi.
- **Configurazione e visualizzazione dello stato del modulo *aplomb-engine*.** Se l'utente autenticato dispone dei diritti di amministratore può, attraverso questa interfaccia, gestire remotamente il modulo *aplomb-engine*, modificandone i parametri di funzionamento, o visualizzando l'attuale stato di elaborazione (acquisizioni accodate, sessioni da processare, etc).

In aggiunta alle funzionalità sopra elencate, per i fini specifici di questo progetto, è stata sviluppata una pagina di monitoraggio dello stato dei veicoli attraverso le segnalazioni di tipo ZigBee. Oltre alla classica visualizzazione su mappa della posizione del veicolo relativamente ai singoli messaggi, sono stati aggiunti, nella pagina dello storico dei messaggi ricevuti, dei grafici rappresentanti l'andamento nel tempo (media e deviazione standard) dei valori di velocità, corrente, tensione e stato di carica della batteria del veicolo (Figura 9).

2.2.4 Modulo cartografico (*maproute-engine*)

Questo modulo è il motore di cartografia stradale cui si appoggia il sistema Aplomb per tutte le elaborazioni che necessitano l'uso della cartografia stradale.

In particolare questo modulo fornisce le seguenti funzionalità.

- **Importazione della cartografia da fonti esterne.** Il sistema è stato progettato per poter lavorare su differenti sorgenti cartografiche. Attualmente è possibile importare la cartografia ESRI-TeleAtlas in formato ShapeFile.
- **Geocoding.** Questa funzionalità consente di ottenere una posizione geografica (latitudine, longitudine) a partire da un indirizzo (es. “via Eudossiana, 18 Roma”).
- **Matching su mappa di una o più posizioni geografiche.** Questa funzionalità consente, data una coordinata geografica, di individuare l'arco stradale più vicino alla coordinata, e la posizione su tale arco. In presenza di una sequenza di coordinate rilevate in successione temporale (come ad esempio quelle acquisite dal GPS su un veicolo in moto), algoritmi più sofisticati consentono di ricostruire l'esatta sequenza di archi stradali percorsa dal veicolo, con indicazione degli istanti di ingresso ed uscita da ogni singolo arco.
- **Cammino minimo.** Selezionati un punto di partenza ed un punto di arrivo, il sistema è in grado di calcolare e fornire il percorso stradale ottimale fra i due punti indicati, con possibilità di ottimizzazione rispetto al tempo, alla distanza percorsa o al costo stimato del viaggio.
- **Vehiclerouting.** Questa funzionalità consente di calcolare il percorso (o i percorsi) ottimali per la raccolta/distribuzione di merci ad una serie specificate di punti di consegna. E' possibile inoltre stabilire dei vincoli capacitivi sui mezzi, o dei vincoli di orario per le consegne ai vari clienti.

Data la specificità di questa sperimentazione, che prevede l'analisi di percorsi svolti all'interno alla sede Enea-Casaccia, e dunque all'impossibilità di procedere a matching su cartografia stradale dei percorsi effettuati, si è deciso di non far uso di questo modulo nell'ambito del presente progetto.



Figura 9: Pagina di monitoraggio dello stato ZigBee

2.3 Testing di funzionalità

Il sistema, così come descritto nei paragrafi precedenti, è stato installato su un dispositivo di prova per effettuare tutti i test necessari alla verifica del corretto funzionamento. In particolare sono stati integrati i moduli sopra descritti e ne è stato validato il funzionamento sia con prove su banco, simulando i vari ingressi e il corretto flusso dati, sia con prove su un veicolo noleggiato per lo scopo.

In assenza di informazioni circa la meccatronica del veicolo elettrico su cui effettuare la sperimentazione finale, sono state previste due diverse procedure di test; in particolare, la procedura di test ha riguardato due distinti sistemi:

- Sistema A - Sistema con interfacciamento via rete CAN e senza sensoristica di bordo
- Sistema B - Sistema senza interfacciamento CAN ed equipaggiato con sensoristica di bordo
 - Sensore di Reed per il rilevamento apertura porte
 - Encoder per la misura di velocità - Moduli di acquisizione ADAM

Noleggiato un veicolo di car sharing si è provveduto a:

- Installare il Sistema A
- Installare il Sistema B

Su entrambe i sistemi sono stati effettuati i seguenti test:

- Corretto funzionamento della nuova versione del software di bordo:
 - Caricamento di tutti i moduli software
 - Funzionalità dell'interfaccia di setup del sistema di bordo
 - Monitoraggio dell'utilizzo delle risorse di sistema
- Corretta comunicazione e trasferimento dati bordo-terra
 - Invio dei log di sistema
 - Invio delle segnalazioni di avvio e spegnimento del veicolo e degli snapshot di stato e posizione
 - Configurazione remota dei parametri operativi
 - Verifica della corretta visualizzazione su interfaccia web dei dati inviati dal sistema on board
- Test affidabilità:
 - Funzionamento in caso di guasto del sottosistema GPS
 - Funzionamento in caso di guasto del sottosistema GPRS/UMTS
 - Funzionamento in caso guasto del sottosistema CAN

Sul Sistema B sono invece stati effettuati i seguenti test:

- Integrazione nel software di bordo dei moduli relativi alla sensoristica esterna ed interna alla OBU
- Corretta acquisizione e decodifica dei dati provenienti dai sensori, con relativa indicizzazione nelle tabelle dedicate del DB di bordo
- Corretta segnalazione degli eventi relativi ad allarmi e superamento soglie
- Test di affidabilità:
 - Funzionamento in caso di guasto del sensore di Reed
 - Funzionamento in caso di guasto del sottosistema ADAM
- Prove di copertura e comunicazione della rete ZigBee

I test effettuati hanno mostrato un corretto funzionamento del sistema on board di acquisizione ed un altrettanto corretto funzionamento del sistema di comunicazione a terra dei dati raccolti. Sono inoltre andati a buon fine i test di copertura e comunicazione mediante rete ZigBee.

3 Installazione del sistema di bordo e del server di terra

A valle della definizione delle specifiche del sistema, effettuata sulla base dell'allegato tecnico, e della relativa fase di test del sistema così implementato, non appena si è resa disponibile la navetta elettrica su cui installare il sistema, è stata effettuata una serie di sopralluoghi per adattare il sistema alle peculiarità tecniche del veicolo.

La navetta utilizzata è un Gulliver Tecnobus a trazione elettrica. Si riportano in Figura 10, Figura 11 e Figura 12 alcune foto del veicolo utilizzato per la sperimentazione.



Figura 10: Navetta Gulliver Tecnobus utilizzata per la sperimentazione –1

A valle dei sopralluoghi sono emerse le seguenti osservazioni:

- La navetta non è equipaggiata con CAN bus
- La navetta possiede una porta seriale RS-232 su cui arrivano i dati funzionali del veicolo secondo un protocollo proprietario Tecnobus
- La navetta ha un sistema di alimentazione ausiliaria a 12Volt.

- La navetta ha un sistema di alimentazione “sottoquadro” governato da un temporizzatore impostato a circa 40 minuti dallo spegnimento del compressore.
- La navetta possiede un vano anteriore dove poter agevolmente installare la OBU

Da queste osservazioni, il CTL ha intrapreso le seguenti azioni di adeguamento e reingegnerizzazione del sistema sinora progettato

- Acquisizione del flusso dati generato dalla ECU del veicolo e transitanti sulla porta RS-232 disponibile.
- Analisi e decodifica di tale flusso dati con:
 - Individuazione e decodifica del dato relativo alla velocità istantanea del veicolo
 - Individuazione e decodifica del dato relativo alla corrente istantanea assorbita dal veicolo
 - Individuazione e decodifica del dato relativo alla tensione istantanea imposta dal pacco batterie del veicolo
 - Individuazione e decodifica del dato relativo alla capacità istantanea del pacco batterie del veicolo.
- Adeguamento/riscrittura del modulo CAN di acquisizione dati per adattarlo al nuovo formato dati disponibile sul Gulliver



Figura 11: Navetta Gulliver Tecnobus utilizzata per la sperimentazione – 2



Figura 12: Navetta TecnoBus utilizzata per la sperimentazione -3

In seguito alle modifiche fatte per adeguare il sistema di monitoraggio del CTL alla particolare meccatronica del veicolo Gulliver TecnoBus in dotazione all'ENA, l'architettura del sistema on board installato per la sperimentazione si è modificata rispetto a quella inizialmente progettata secondo lo schema mostrato in Figura 13.

Contestualmente è stato concordato con ENEA il protocollo da utilizzare per la trasmissione del pacchetto dati sintetico ZigBee da indirizzare al Palo Intelligente e, parallelamente, al server di terra mediante UMTS. Il dettaglio di tale protocollo è riportato in Tabella 1.

In Figura 14, Figura 15, Figura 16, Figura 17 e Figura 18 sono riportati e commentati alcuni dettagli della fase di installazione del sistema on board.

Per quanto riguarda il sistema di terra, si è provveduto ad installare presso la sede ENEA una macchina con le caratteristiche indicate in fase di progetto (vedi § 1.4) e dotata del relativo software di raccolta, elaborazione e visualizzazione dati (vedi § 1.5).

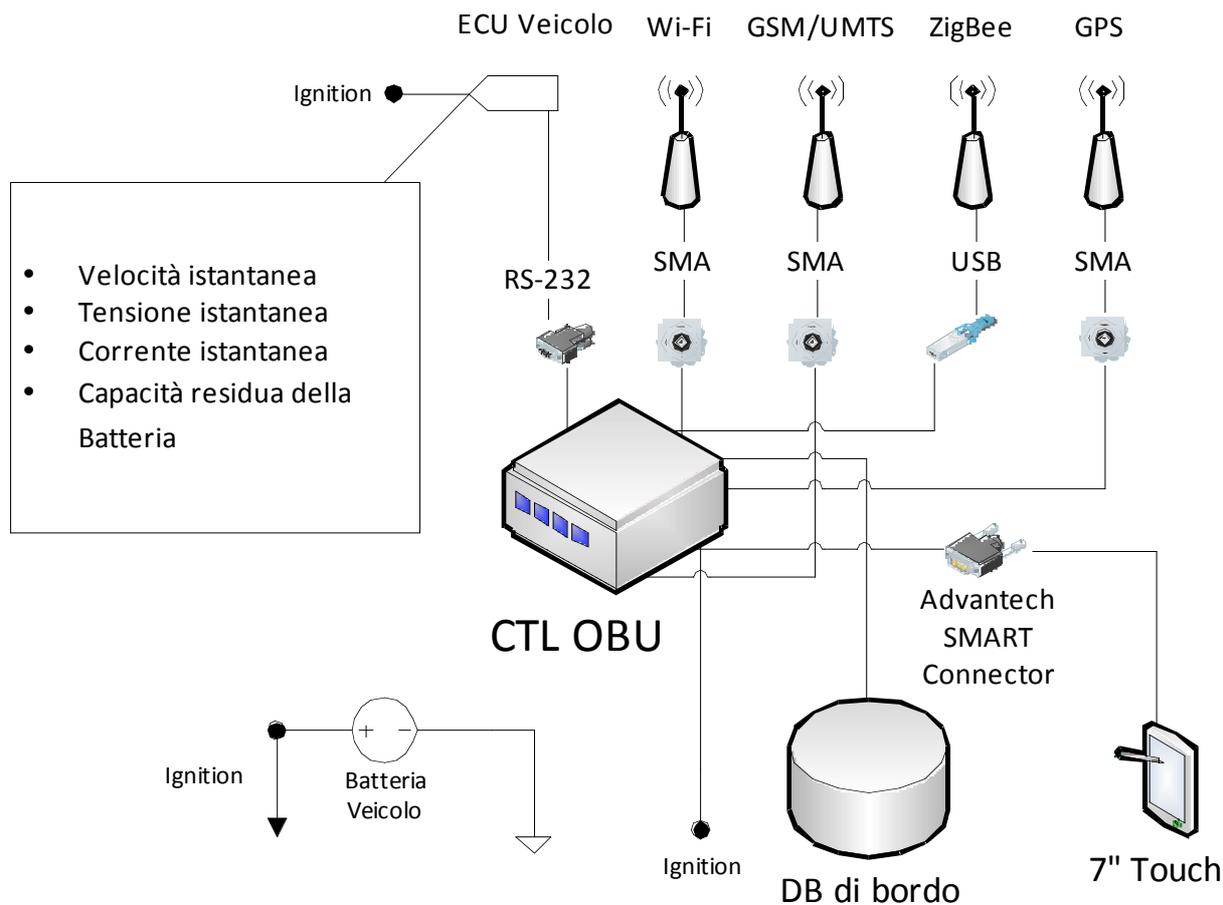


Figura 13: Schema delle connessioni del sistema di bordo installato a bordo del Gulliver.

Tabella 1: Descrizione campi pacchetto dati sintetico inviato su rete ZigBee e GPRS/UMTS

Nome	Descrizione	Tipo	Formato	Esempio
ID Sender	Identificativo della EndDevice ZigBee che invia il dato	Stringa	+XXXXXXXXXXXXXXXXXX	+000195000002347
TimeStamp	Riferimento temporale relativo alla generazione del pacchetto sintetico	DateTime	YYYY-mm-ddTHH:mm:ss	2011-09-01T16:36:23
VehicleID	Identificativo del veicolo	Int	X	2001
Lat	Latitudine al momento dell'invio del pacchetto	Double	XX.XXXXXXXXXXXXXXX	42.12345679
Lng	Longitudine al momento dell'invio del pacchetto	Double	XX.XXXXXXXXXXXXXXX	12.12345679

IOStatus	Stato logico degli I/O digitali della OBU	Bit String	XXXXXXXX	00001110
S_Mean	Velocità media registrata dall'ultimo pacchetto inviato	Double	X.XXXX	1.1234
S_Var	Varianza associata alla velocità media	Double	X.XXXX	2.1234
I_Mean	Corrente media registrata dall'ultimo pacchetto inviato	Double	X.XXXX	3.1234
I_Var	Varianza associata alla corrente media	Double	X.XXXX	4.1234
V_Mean	Tensione media registrata dall'ultimo pacchetto inviato	Double	X.XXXX	5.1234
V_Var	Varianza associata alla tensione media	Double	X.XXXX	6.1234
C_Mean	Capacità media registrata dall'ultimo pacchetto inviato	Double	X.XXXX	532.0833
C_Var	Varianza associata alla capacità media	Double	X.XXXX	0.2544
Terminatore	Carattere identificativo del fine stringa dato	Char	\n	\0A



Figura 14: Schermo 7" connesso alla OBU



Figura 15: Posizionamento della OBU nel vano anteriore della navetta con le relative connessioni



Figura 16: Posizionamento dell'antenna ZigBee in prossimità del parabrezza laterale della navetta



Figura 17: Dettaglio del cablaggio della OBU – 1



Figura 18: Dettaglio del cablaggio della OBU – 2

4 Test di comunicazione

Acquisite tutte le informazioni tecniche necessarie sulla meccatronica del veicolo elettrico Gulliver Tecnobus e definita di conseguenza la nuova configurazione del sistema, sono state stabilite presso le sedi di ENEA diverse sessioni di test. In particolare, oltre a tutte le funzionalità già testate e descritte in § 2.3, sono state verificate:

- La corretta acquisizione dei dati generati dalla ECU del veicolo elettrico
- La relativa corretta decodifica ed indicizzazione dei dati raccolti nel DB di bordo
- Il corretto funzionamento di tutti i canali di comunicazione:
 - GPS
 - UMTS
 - Wi-Fi
 - ZigBee
- La corretta generazione del pacchetto dati sintetico descritto in § 3 e riassunto in Tabella 1
- Il corretto invio del pacchetto dati sintetico sui due diversi canali di comunicazione:
 - Via UMTS verso il server di terra
 - Via ZigBee verso il palo intelligente
- Copertura della rete ZigBee

Riguardo la disponibilità fisica del palo intelligente non è stato possibile disporre in tempo utile della infrastruttura relativa. Per testare comunque la comunicazione su rete ZigBee, il palo intelligente è stato simulato mediante un PC portatile a cui è stato connesso uno ZigBee Coordinator. Mediante un programma di lettura dati su RS-232 si è verificato il corretto trasferimento dati dal veicolo al coordinatore secondo il protocollo utilizzato per la comunicazione su rete ZigBee. In Figura 19 è mostrato uno screenshot relativo alla ricezione di un pacchetto dati.



Figura 19: Programma di simulazione del palo intelligente. In evidenza un pacchetto dati tipico formattato secondo quanto indicato in Tabella 1

Durante i test di copertura ZigBee è stata inoltre testata la configurazione mesh dinamica della rete utilizzando uno ZigBee Router, oltre alla End Device installata sul veicolo e allo ZigBee Coordinator che ha fatto le veci del 'palo intelligente'. Il router utilizzato è configurato per lavorare

in completa autonomia, alimentato a batterie e dunque posizionabile ad hoc nella configurazione di rete.

In particolare, mediante il router si è testato:

- La possibilità di estendere il raggio di copertura della rete
- Il comportamento di adattamento dinamico nel caso in cui il Router venga spento, uscendo di conseguenza dalla rete

In Figura 20 e Figura 21 sono mostrati il PC utilizzato per la simulazione del palo intelligente e il router utilizzato per i test di copertura e dinamicità della rete.

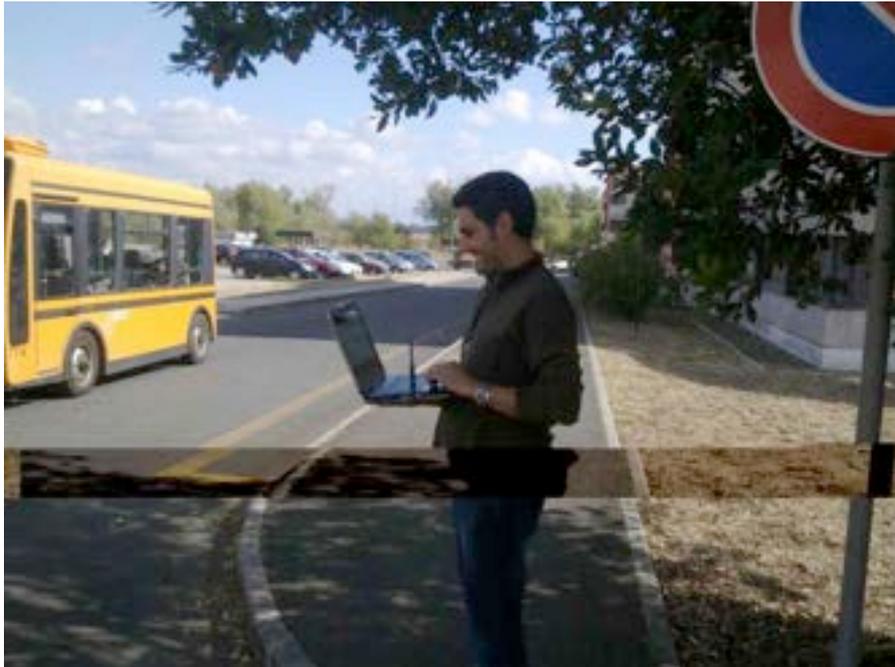


Figura 20: PC utilizzato per la simulazione del palo intelligente



Figura 21: Router ZigBee utilizzato per i test di copertura e adattamento della rete

Verificato dunque il corretto funzionamento del sistema di bordo, si è proceduto alla verifica dell'integrità dei dati inviati a terra e del generale corretto funzionamento di tutti relativi servizi di terra mediante l'apposita interfaccia web, mostrata in Figura 22.

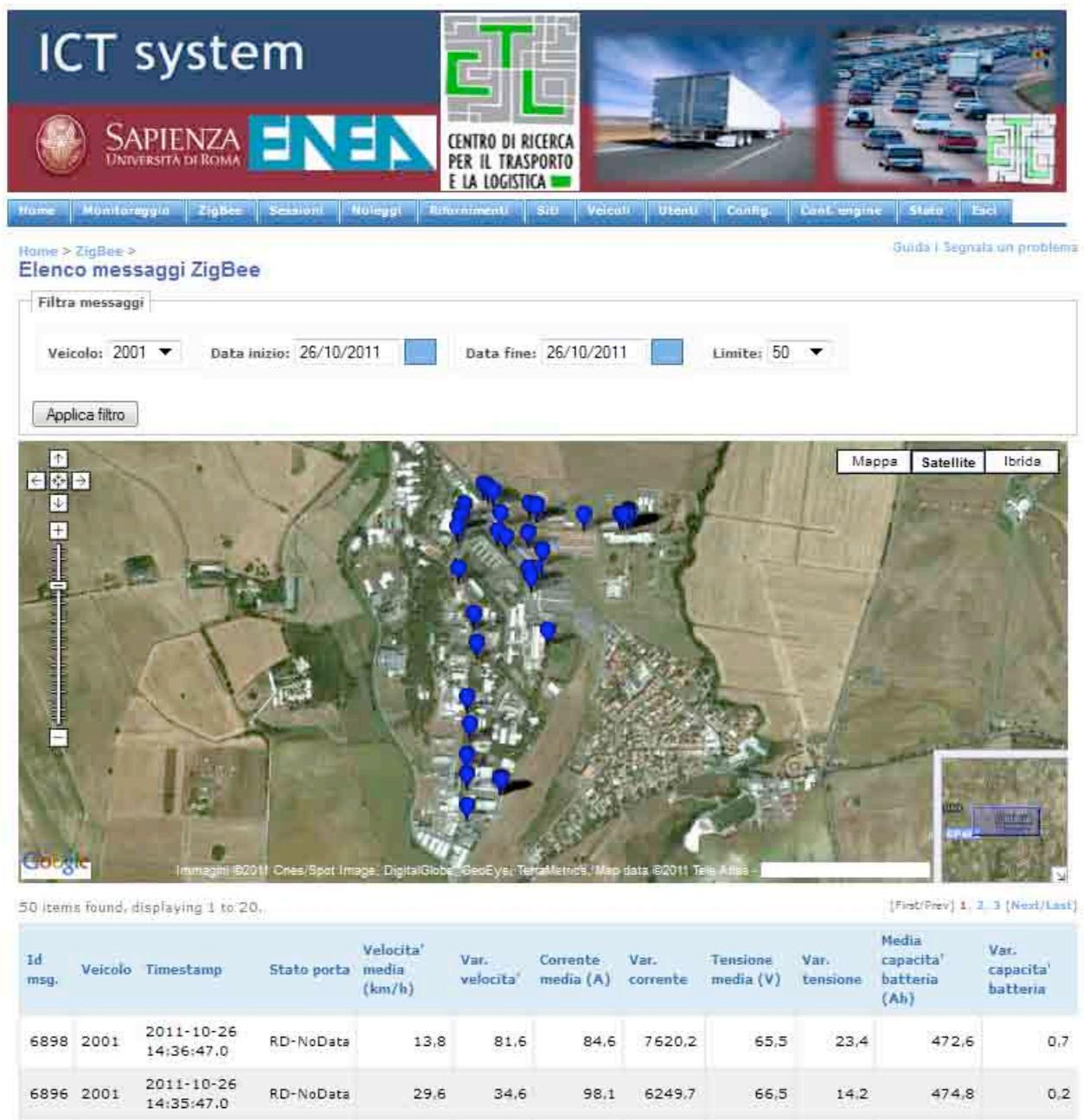


Figura 22: Interfaccia web per la consultazione e visualizzazione dei dati inviati dal sistema on board ai server di terra

Sui servizi di terra, è stato in particolare verificato il corretto funzionamento di:

- Ricezione posizioni istantanee GPS e relativa visualizzazione su mappa – Figura 23
- Ricezione snapshot di stato veicolo – Figura 24
- Processamento e visualizzazione delle sessioni di marcia e relativi grafici sui dati istantanei inviati dal veicolo al server di terra– Figura 25 e Figura 26
- Processamento e visualizzazione pacchetto dati sintetico – Figura 27, Figura 28 e Figura 29



Figura 23: Visualizzazione su mappa delle posizioni istantanee GPS inviate dal veicolo al server di terra



20 items found, displaying all items.

Id	Tipo	Veicolo	Data-ora	Dist. tot.	Velocità	Liv. serb.	Temp. refr.	RPM	Pedale Acc.
9344	Spegnimento	2001	2011-11-02 14:07:26.0						
9343	Info stato veicolo	2001	2011-11-02 14:05:53.0						
9342	Info stato veicolo	2001	2011-11-02 14:03:36.0						
9341	Info stato veicolo	2001	2011-11-02 14:01:15.0		18.6				
9340	Info stato veicolo	2001	2011-11-02 13:59:14.0		21.5				
9339	Accensione	2001	2011-11-02 13:58:46.0		0.0				
9338	Spegnimento	2001	2011-11-02 13:56:57.0						
9337	Info stato veicolo	2001	2011-11-02 13:56:32.0						
9336	Info stato veicolo	2001	2011-11-02 13:54:34.0						
9335	Info stato veicolo	2001	2011-11-02 13:52:22.0		0.0				
9334	Info stato veicolo	2001	2011-11-02 13:49:56.0		11.6				
9333	Info stato veicolo	2001	2011-11-02 13:47:24.0		7.8				
9332	Accensione	2001	2011-11-02 13:45:25.0		0.0				

Figura 24: Snapshot di stato veicolo

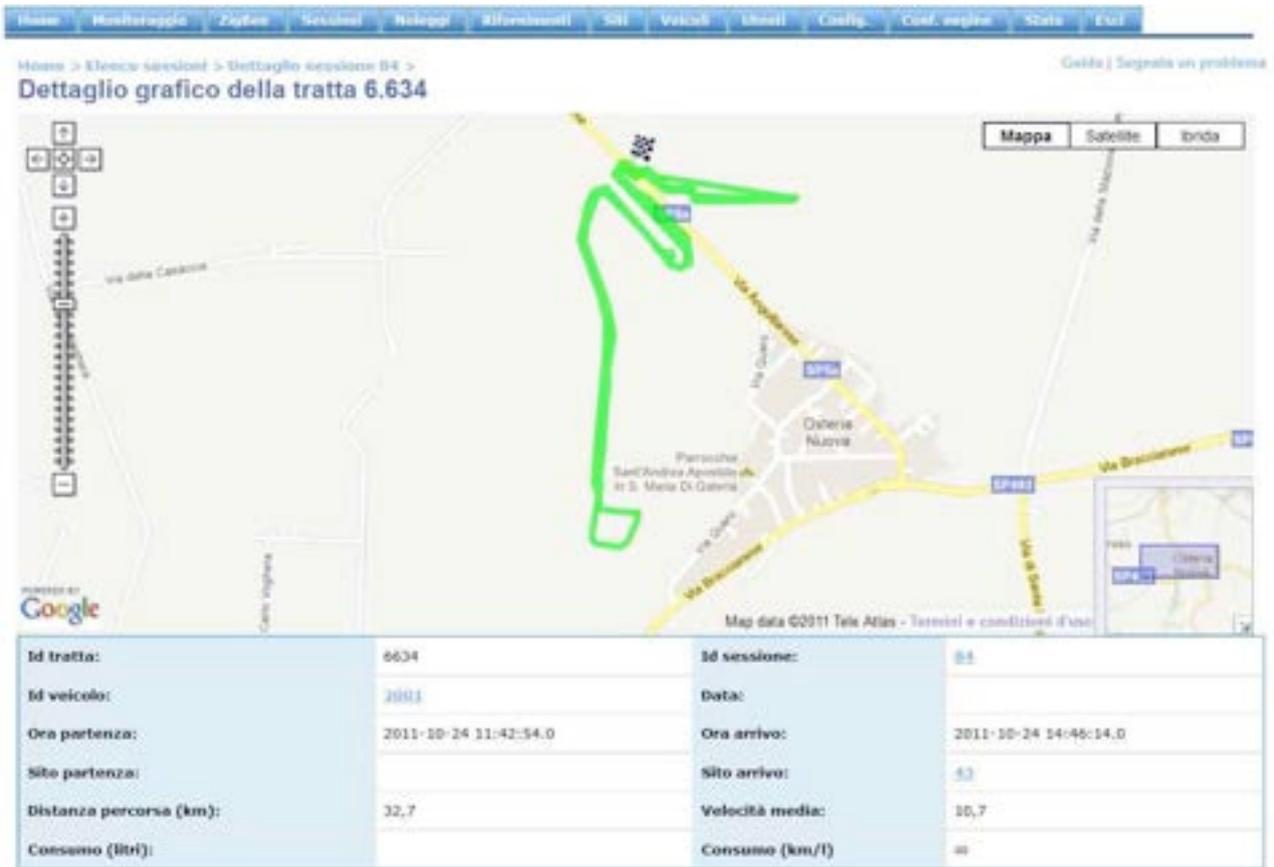


Figura 25: Diagramma di marcia con relativa visualizzazione su mappa

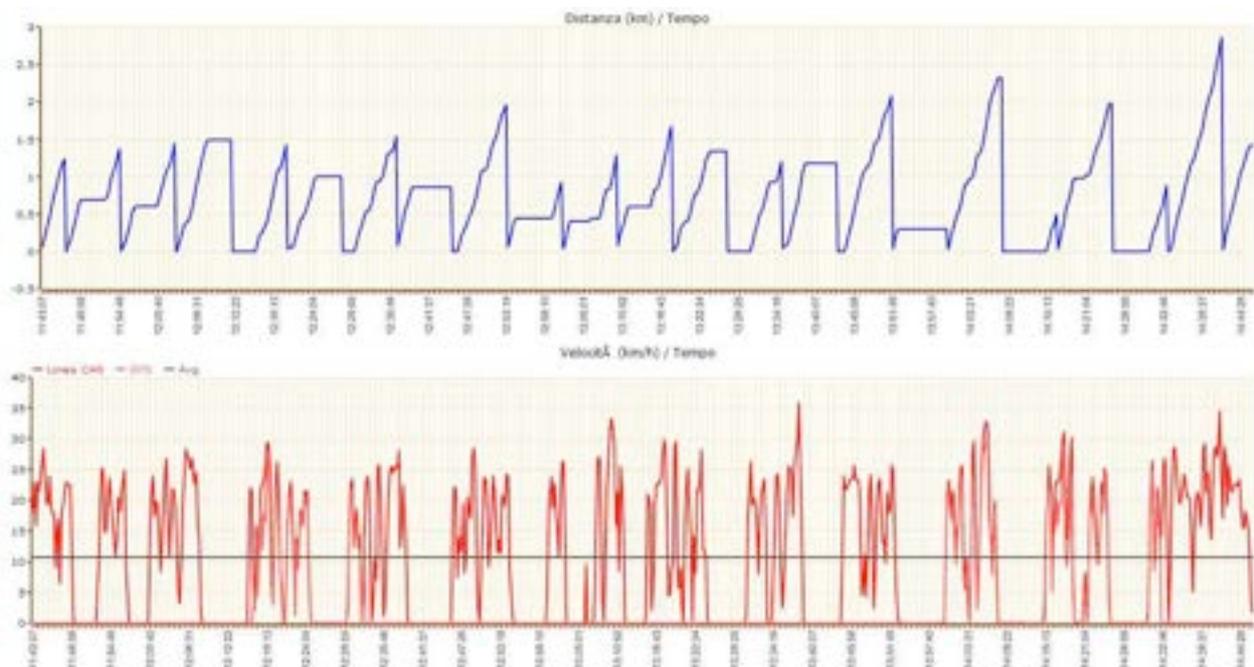


Figura 26: Grafico della distanza e delle velocità istantanee inviate dal veicolo al server di terra



20 items found, displaying all items.

Id msg.	Veicolo	Timestamp	Stato porta	Velocità media (km/h)	Var. velocità	Corrente media (A)	Var. corrente	Tensione media (V)	Var. tensione	Media capacità batteria (Ah)	Var. capacità batteria
7850	2001	2011-11-03 10:46:18.0	RD-NoData	0,0	0,0	11,0	0,0	75,2	0,0	571,0	0,0
7849	2001	2011-11-03 10:45:18.0	RD-NoData	0,0	0,0	11,0	0,0	75,2	0,0	571,0	0,0
7848	2001	2011-11-03 10:44:18.0	RD-NoData	0,0	0,0	11,0	0,0	75,2	0,0	571,5	0,2
7847	2001	2011-11-03 10:43:18.0	RD-NoData	0,0	0,0	11,0	0,0	75,2	0,0	572,0	0,0
7846	2001	2011-11-03 10:42:18.0	RD-NoData	0,0	0,0	11,0	0,0	75,2	0,0	572,0	0,0

Figura 27: Visualizzazione dei dati inviati con pacchetti sintetici e relativa visualizzazione su mappa

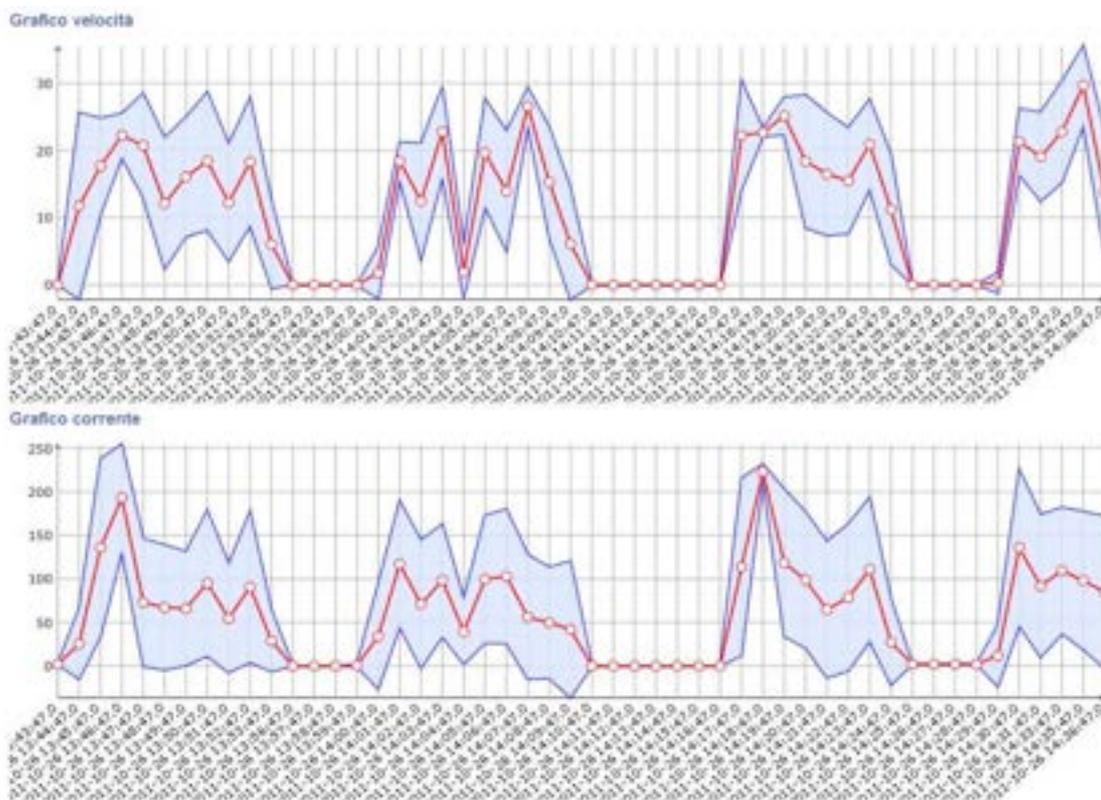


Figura 28: Grafico relativo alla velocità e alla corrente medie inviate con pacchetti sintetici

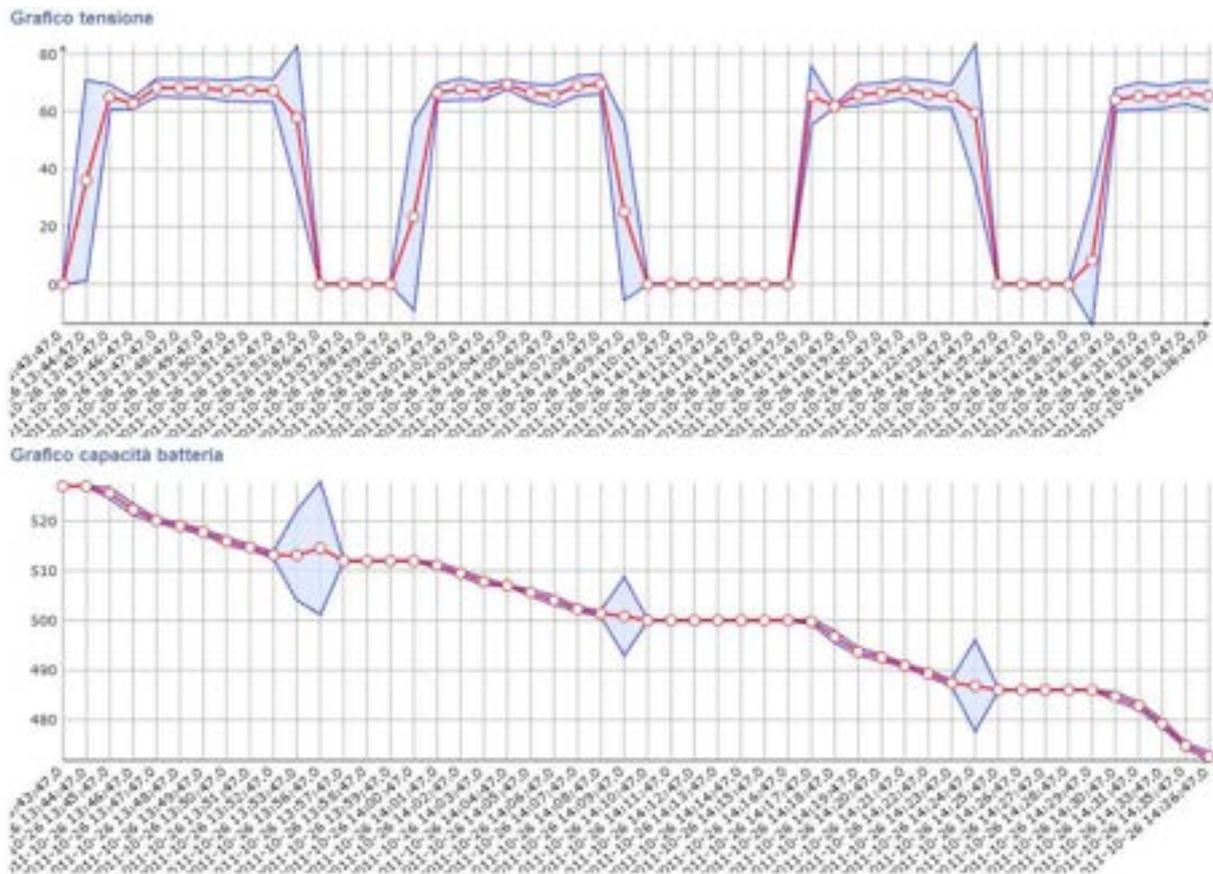


Figura 29: Grafico relativo alla tensione media e capacità media della batteria inviati con pacchetti sintetici

5 Conclusioni

Il CTL, nell'ambito delle sue attività per il progetto Smart Cities, ha realizzato ed installato un sistema prototipale on-board per il monitoraggio in tempo reale di una flotta di veicoli, elettrici e non. In particolare, il sistema è stato installato su una navetta elettrica del servizio interno ENEA (Gulliver Tecnobus) e fatto operare per più di due mesi, dimostrando la sua capacità di realizzare le specifiche progettuali, che si sono mosse lungo due direzioni principali: aspetti di acquisizione dati a bordo ed aspetti di comunicazione con il mondo esterno.

Per quanto riguarda gli aspetti di bordo, sono state definite e realizzate le interfacce verso il veicolo (per l'acquisizione delle grandezze fisiche peculiari, ad esempio tensione delle batterie etc...), i canali analogici/digitali speciali e/o particolari da utilizzare, la capacità di disporre di un sistema di posizionamento (GPS).

Per gli aspetti di comunicazione, è stato definito uno sviluppo su due direttrici diverse per sopperire alle necessità di collegamento locale (verso il palo intelligente) e centrale (verso la piattaforma integrata di gestione della mobilità).

La prima direttrice ha previsto la comunicazione con la linea di illuminazione tramite hardware e protocollo prescelto, in particolare lo ZigBee per comunicazioni wireless a breve distanza; la seconda, la comunicazione diretta con la piattaforma integrata di gestione della mobilità: si è realizzato in questo caso un protocollo GSM/GPRS/UMTS verso un server di terra, in modo da poter effettuare una comunicazione sicura ed a basso costo.

Sono stati effettuati test di funzionalità del sistema di bordo e della sua capacità di trasmissione al palo intelligente (tramite lo standard ZigBee) ed al server di terra (tramite lo standard GPRS/UMTS), consistenti nell'effettuazione di un buon numero di passaggi in prossimità di un palo (simulato) e di un numero di trasmissioni abbastanza continue da/verso server di terra, verificando una percentuale di successo superiore al 96% dei casi.

La portata di trasmissione ZigBee tra navetta e palo simulato si è attestata in campo aperto sui 200 metri, ma sono state provate anche soluzioni con l'utilizzo di Router ZigBee che estendono il range di trasmissione fino al raddoppio, garantendo così una copertura completa su piccola area. Nella trasmissione ZigBee sono stati inviati dalla navetta pacchetti dati sintetici verso il 'palo intelligente' (PC portatile), con registrazione su disco e successiva verifica dell'integrità e completezza dei messaggi.

In definitiva il sistema prototipale complessivo ha dimostrato la sua piena capacità di monitoraggio continuo dello stato del veicolo e di trasmissione dati, che sono i presupposti fondamentali per la costruzione di servizi avanzati, sia di manutenzione che di trasporto, che di infomobilità che infine di integrazione con altri sistemi presenti sul territorio per la costruzione di una effettiva "smart city". Più in particolare, il sistema implementato apre diversi scenari in altrettanti eterogenei contesti:

- Gestione flotte di veicoli elettrici anche a noleggio
 - Verifica in tempo reale dello stato di carica delle batterie
 - Assegnazione di un veicolo ad un servizio in funzione delle caratteristiche del veicolo e del suo stato di carica
 - Posizionamento degli stalli di sosta e delle stazioni di ricarica in funzione delle reali esigenze

- Monitoraggio dei conducenti e della loro influenza sui consumi energetici con eventuale premio ai migliori e corso di guida per i peggiori
- Monitoraggio della sicurezza stradale
 - Profilazione dei conducenti e loro influenza sul rischio incidentalità del veicolo
- Trasporto pubblico (elettrico o meno)
 - Tempo di passaggio alla fermata
 - Saliti e discesi o numero di passeggeri a bordo
 - Consumo di combustibile (o energia elettrica)
- Distribuzione merci in città (elettrica o meno)
 - Posizione e tempo delle soste
 - Stato del vano merci : temperatura, umidità, apertura porte
 - Referenze dei prodotti scaricati
- Raccolta rifiuti
 - Posizione e tempo delle soste
 - Stato di riempimento del vano
 - Quantità di rifiuti caricati ad ogni sosta

Appendice A – Dimensionamento di massima e stima dei costi di un sistema di monitoraggio flotte

L'utilizzo di ITS (Intelligent Transport Systems) per gestire i problemi legati al monitoraggio delle flotte e del traffico è un requisito fondamentale per garantire in maniera agevole ed efficiente il trasporto di persone e merci utilizzando in maniera sostenibile le infrastrutture di trasporto presenti sul territorio. Gli ITS riescono a fornire degli strumenti per l'integrazione tra infrastruttura, veicolo, domanda e offerta di mobilità consentendo di affrontare i problemi legati agli spostamenti in modo organico e unitario, incrementando la sicurezza, l'efficienza e l'efficacia del trasporto, riducendo allo stesso tempo l'impatto ambientale e cercando di fornire degli strumenti di supporto per gli utenti.

Nei successivi paragrafi verrà illustrato un'architettura di massima per la gestione di un sistema integrato di controllo e gestione della mobilità, con una breve descrizione dei diversi sottosistemi che lo compongono e con una relativa analisi dei suoi costi di massima.

A.1 Descrizione di un sistema tipo

La maggior parte dei sistemi e servizi telematici che trovano applicazione in tutti i campi in cui è articolato il settore dei trasporti possono essere riconducibili in prima analisi alle seguenti macro-aree:

- controllo e gestione del traffico e della mobilità
- informazione all'utenza per il trasporto stradale
- gestione del trasporto pubblico
- gestione delle flotte e del trasporto merci
- pagamento automatico
- sicurezza stradale
- controllo avanzato del veicolo e della navigazione

Utilizzando i sistemi ITS, una piattaforma per la gestione della mobilità dovrebbe quindi tenere conto di tutti questi ambiti. L'impiego delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione aumenta l'efficacia dei sistemi di trasporto e dei metodi di controllo e gestione del traffico, delle flotte e dei trasporti in generale.

Gli obiettivi principali sono dunque quelli di costruire una piattaforma che da una parte possa influire sulle abitudini dell'utenza, fornendogli in tempo reale informazioni di diverso genere (orario dei mezzi per utenti del trasporto pubblico, situazione sulla viabilità o sui parcheggi per gli automobilisti, ecc.), al fine di indirizzare alcune scelte a beneficio dei tempi di percorrenza necessari a compiere un percorso, con un efficiente utilizzo delle aree di sosta e di scambio intermodale; dall'altra fornire un utile strumento alle amministrazioni locali per la valutazione di scelte ed interventi da intraprendere.

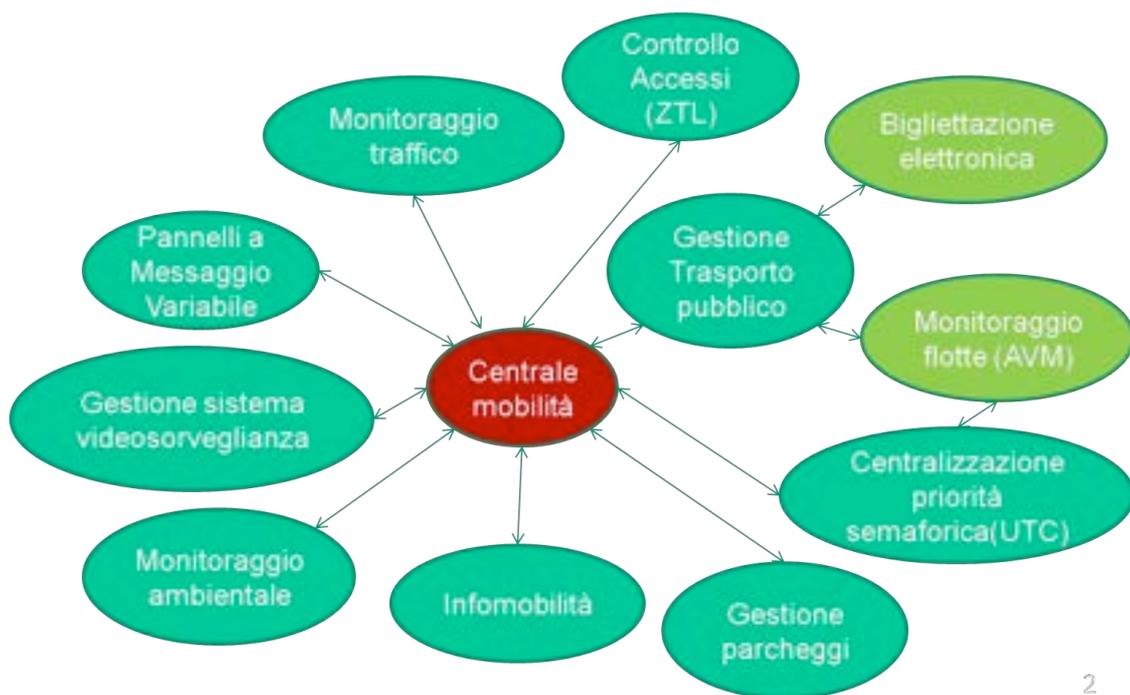
Un requisito fondamentale per la progettazione di un sistema così complesso è che tutti i sottosistemi che lo compongono siano integrabili e modulari. I diversi componenti devono cioè essere in grado di interagire tra loro, ma il loro corretto funzionamento deve essere indipendente da quello degli altri, cioè si dovrà poter intervenire sulle diverse parti del sistema, per fare manutenzione, correzione, aggiornamenti in maniera del tutto trasparente al resto della piattaforma.

I sottosistemi (integrati tra loro ed integrabili verso quelli già realizzati o realizzabili in futuro) su cui si soffermerà l'attenzione riguardano essenzialmente il trasporto pubblico (AVM , bigliettazione elettronica, informazione all'utenza).

Nello schema riportato di seguito viene indicato un esempio di un sistema di infomobilità: esso non costituisce un sistema chiuso e a sé stante, ma è composto dall'insieme delle informazioni che ognuno dei sottosistemi fornisce e riceve sotto forma di dati. Tali dati, che possono essere raccolti in tempo reale o periodicamente, vengono elaborati e presentati agli utenti (utenti del trasporto pubblico, trasporto privato, istituzionali, ecc.) tramite diverse tipologie di media. Lo sviluppo ottimale di un sistema di infomobilità deve avvenire necessariamente attraverso l'implementazione di servizi che siano integrati tra loro. I diversi sistemi implementati devono quindi essere connessi tra di loro per poter condividere le relative informazioni. In definitiva, una maggiore integrazione tra i servizi di infomobilità comporta maggiori benefici sia per gli operatori dei trasporti che per gli utenti finali.

Infine la supervisione e l'interazione tra le varie componenti deve essere garantita da un sistema centrale che oltre a ricevere informazioni dai diversi sottosistemi coordina le diverse attività ed ha il compito di memorizzare tutti i dati ricevuti.

Nel seguito della sezione verranno brevemente descritti alcuni dei sottosistemi, le loro funzionalità principali e le caratteristiche tecnologiche fondamentali.



2

Figura 30: Schema generale di una piattaforma per la mobilità

A.1.1 Sistema Centrale di mobilità

Il sistema Centrale di mobilità o Centro operativo è progettato in modo da poter interagire con sottosistemi di diverse tipologie sia dal punto di vista informatico che dal punto di vista di applicazioni o servizi. Dal punto di vista dei dati, il Centro Operativo funge da concentratore di tutte le fonti di dati riguardanti il traffico e la mobilità, per permettere di avere un quadro esaustivo ed aggiornato dello stato della mobilità e della sua evoluzione. Si interfaccia con tutti i singoli sistemi per ottenere dati e in alcuni casi per inviare informazioni o comandi; tale acquisizione, a seconda della natura dei vari sistemi, potrà avvenire in tempo reale o in tempo differito. È inoltre prevista la gestione di dati di tipo differente, per quanto riguarda accuratezza, frequenza di acquisizione e

formati sorgenti. Inoltre il modulo di acquisizione dati sarà progettato in modo che le frequenze di acquisizione, oltre che poter essere definite in fase di configurazione, possano essere impostate per ognuno dei sistemi interfacciati in fase di esercizio. Il sistema sarà sempre facilmente configurabile per supportare il collegamento o l'eliminazione di sistemi di vario genere, o la modifica della loro configurazione.

Le principali attività che riguardano il sistema centrale sono in generale attinenti il traffico stradale ed il trasporto pubblico.

I dati che vengono utilizzati per il monitoraggio, supervisione e gestione del traffico possono provenire da diverse fonti: dispositivi posti sulle infrastrutture pubbliche (spire, telecamere, infrastrutture intelligenti, ecc.); mezzi del trasporto pubblico; avvenimenti esterni (informazioni meteo, eventi, scioperi, ecc.); regione/provincia (lavori pubblici, incidenti); aziende private (assicurazioni che effettuano controlli tramite dispositivi installati sui veicoli dei clienti che hanno acconsentito a farsi monitorare).

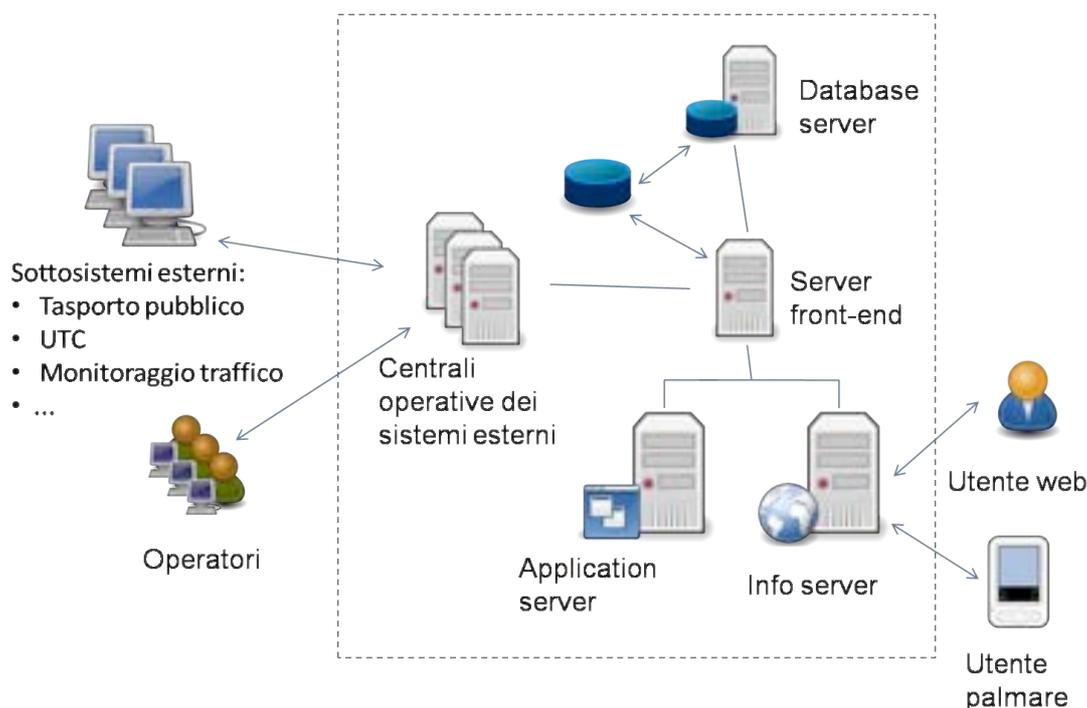


Figura 31: Architettura logica del sistema Centrale di mobilità

Sulla base delle caratteristiche appena descritte, una possibile architettura logica del sistema, esemplificata in Figura 31 potrebbe comprendere:

- un server front-end, che si interfaccia, secondo predefinite specifiche, con le centrali operative dei sottosistemi esterni per acquisire dati che verranno memorizzati su un database ed eventualmente elaborati;
- data base server, che gestisce i processi ed i servizi relativi alla base di dati e contiene la base di dati stessa;
- server di elaborazione (Application Server), che gestisce tutte le funzionalità del supervisore e le elaborazioni richieste;
- info server: gestisce le funzioni di infomobilità e le comunicazioni web;
- pc/server che si interfacciano con i vari sistemi esterni.

Dato che alcune decisioni ed interventi (ad esempio chiusura di alcuni tratti statali, supporto alla circolazione...) devono essere effettuati da un'autorità competente, è auspicabile che il sistema centrale comunichi e metta a disposizione alcuni servizi ed informazioni ad una analoga centrale

operativa della Polizia Municipale. A seconda del sottosistema da monitorare dovrà essere possibile l'accesso da postazioni di detta Centrale a dati ed applicazione oppure, dove necessario si replicheranno strutture dati e software per la gestione di alcuni componenti.

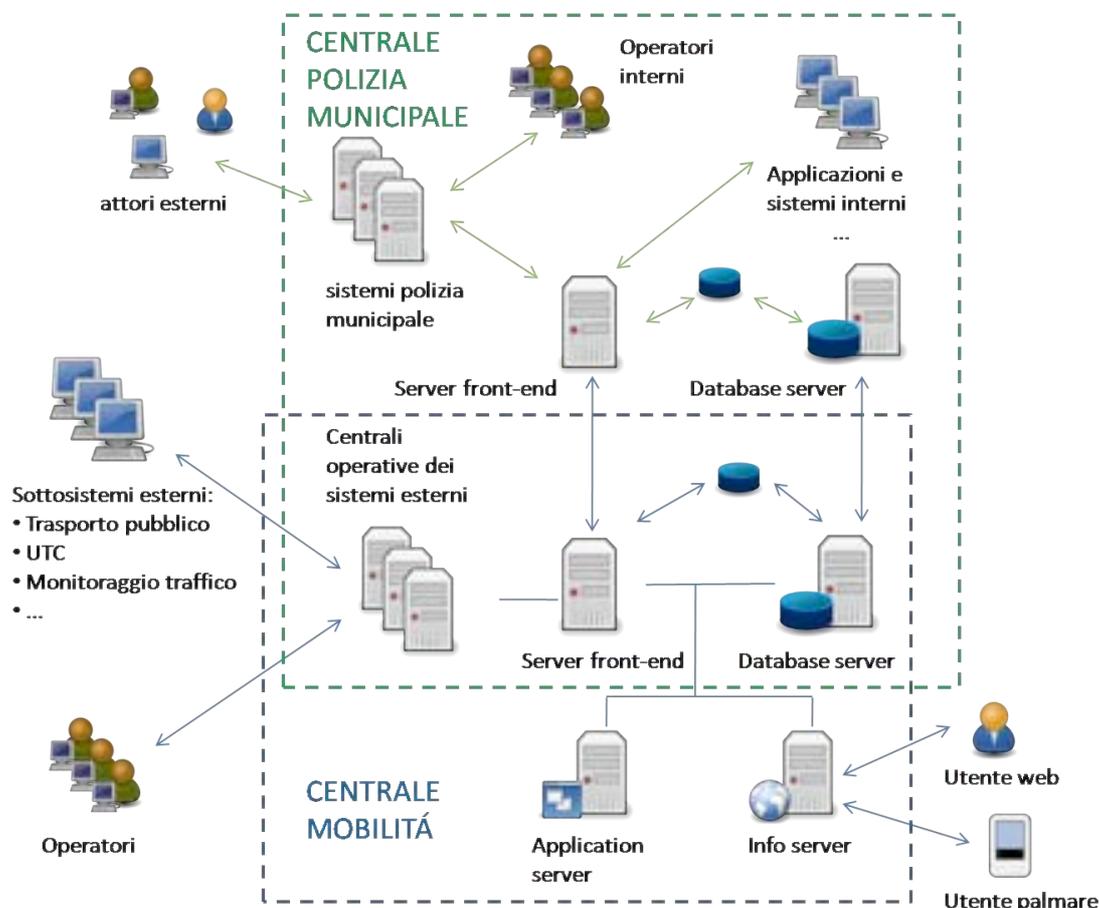


Figura 32: Accoppiamento Centrale mobilità- Centrale polizia municipale

Si suppone che la Polizia Municipale abbia una centrale operativa che gestisca diverse attività di propria competenza, quindi includa delle applicazioni e sistemi interni, così come altri sistemi che possono colloquiare con attori esterni (cittadini, enti, ministeri, ecc.). La centrale per la mobilità può essere uno di questi attori con cui la Polizia Municipale si dovrà interfacciare condividendo dati ed applicazioni. Le parti non condivise saranno del tutto indipendenti non accessibili se non dagli elementi facenti parte della stessa piattaforma. In Figura 32 è esemplificato quanto appena descritto.

A.1.2 Sistema di trasporto pubblico locale (TPL)

Il sistema proposto è costituito da un unico Centro Servizi operante su tutta l'area di interesse e da uno o più Centri di Controllo, uno per ogni azienda facente parte del sistema di TPL integrato.

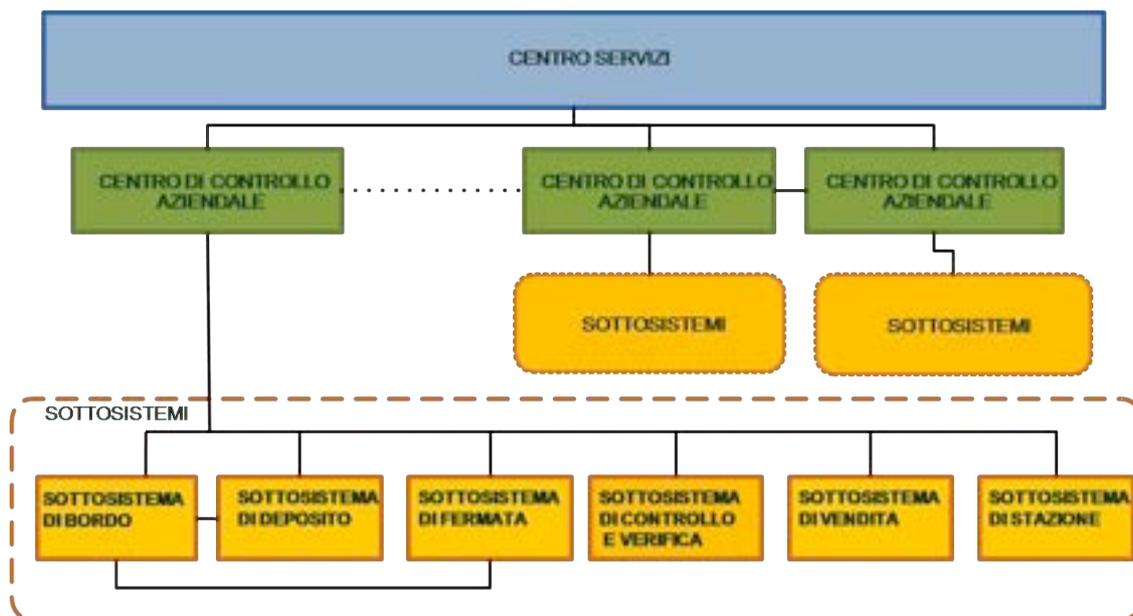


Figura 33: Schema logico di un sistema di trasporto pubblico

La ramificazione del sistema in sottosistemi “periferici” (aziendali) risponde:

- all’opportunità di garantire ai singoli gestori adeguati margini di libertà nel governo dei propri impianti
- alla necessità di garantire tempestività e rapidità di diagnosi e intervento nel caso di malfunzionamenti
- alla necessità di tenere in considerazione le diverse modalità di trasporto ed erogazione del servizio presenti sul territorio in termini di:
 - architetture di bordo
 - rete locale dei sottosistemi
 - configurazione di dati e parametri funzionali
 - specifiche degli impianti tecnologici

Il centro servizi rappresenta lo strumento di “governo” dell’intero sistema, attraverso il quale è possibile il controllo dei flussi di dati generati centralmente e perifericamente e la definizione dei parametri di regolazione e funzionamento dei singoli sottosistemi.

Tutte le informazioni scambiate tra i livelli logici che compongono il sistema integrato, devono prevedere procedure e protocolli di comunicazione che, nel caso in cui si dovessero riscontrare anomalie o dati incongruenti nella fase di trasferimento, provvedano ad intraprendere le relative azioni ripristinando la situazione precedente a garanzia dell’integrità delle informazioni.

Il centro servizi deve dunque essere in grado di garantire la coerenza e l’allineamento delle suddette informazioni, attraverso procedure automatizzate di invio e ricezione dati dai centri di controllo. A questi ultimi deve essere assicurata indipendenza operativa, anche nel caso di mancata e/o parziale attività da parte del centro servizi.

Ciascun segmento aziendale è caratterizzato a sua volta da una propria struttura di sottosistemi/apparati, in dipendenza della presenza e dislocazione sul territorio dei rispettivi immobili/impianti, beni strumentali e funzionali all’erogazione del servizio TPL. L’architettura di massima di ognuno di questi segmenti, con le interazioni tra i vari sottosistemi, è proposta di seguito in Figura 34.

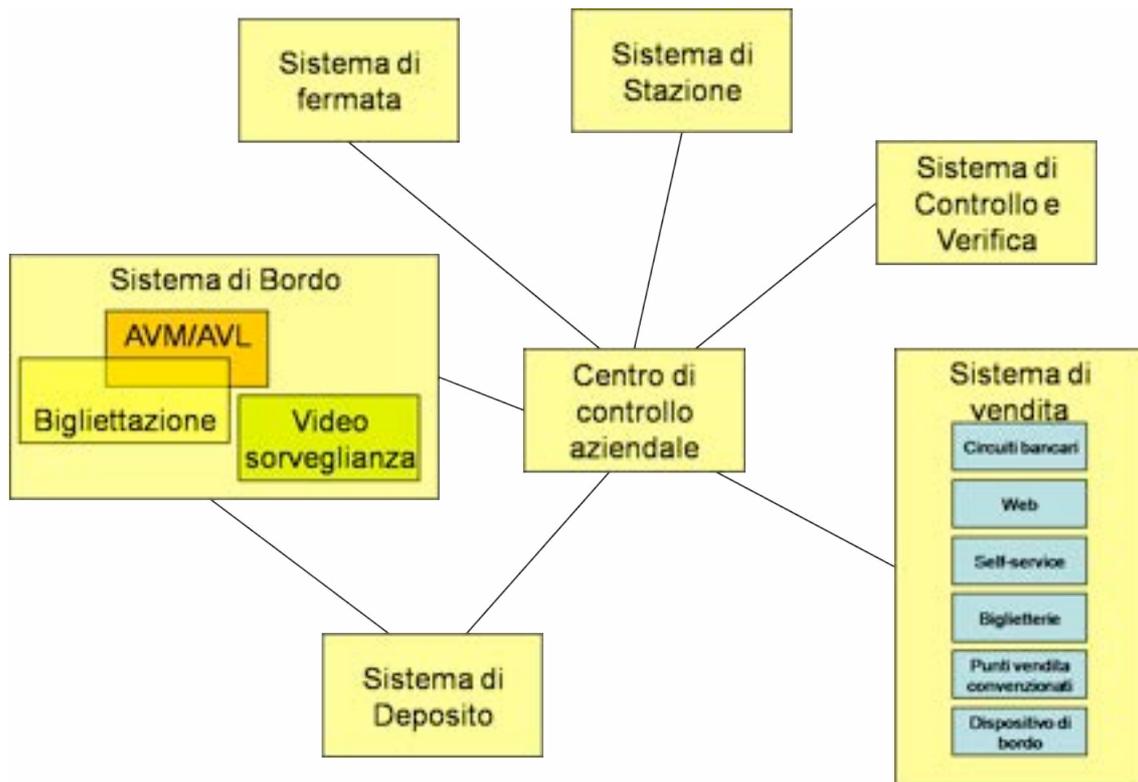


Figura 34: Schema di trasporto pubblico. Livello aziendale

Centro Servizi

Le sue funzioni principali sono:

- tutte le attività relative alla gestione di un sistema di bigliettazione integrato quali anagrafica clienti, black list, white list, sistema tariffario...
- elaborazione di report finalizzati all'attività di controllo e verifica dei sistemi di bigliettazione, localizzazione e videosorveglianza
- garantire sicurezza e incorruttibilità dei dati rilevati da parte di chiunque
- consolidamento in un unico database del grafo e dei programmi di esercizio della rete dei trasporti nell'area di interesse
- raccolta in tempo reale dei dati di localizzazione dei mezzi (in termini di fermata, sequenza di fermate e servizio svolto) al fine di fornire ai clienti servizi di infomobilità: previsioni di arrivo alle fermate, informazioni sulle variazioni del servizio, calcolo dei percorsi e delle tariffe ecc ...
- raccolta dei dati di localizzazione dei mezzi al fine di consentire la visualizzazione e l'analisi dei percorsi, la verifica degli orari e la certificazione delle corse, e supportare gli enti preposti nella consuntivazione del servizio e confronto con i programmi di esercizio
- garantire piena e completa riservatezza dei dati ritenuti sensibili da parte di ciascun operatore, ivi compresi, quelli riguardanti l'organizzazione industriale e amministrativa degli stessi operatori

Centro di Controllo Aziendale

L'architettura proposta in Figura 34 è di tipo centralizzato e vede la presenza di un Centro di Controllo (CC) preposto al governo, alla gestione ed al controllo dei sistemi remoti e dei dispositivi periferici che costituiscono il sistema.

Le funzioni svolte dal CC riguardano diversi aspetti quali la definizione e la gestione dei parametri di funzionamento del sistema intraziendale e la consuntivazione delle transazioni, che viene

effettuata gestendo il database dove sono contenuti dati, attività e parametri derivanti dai singoli sottosistemi aziendali.

Il CC rappresenta il centro di amministrazione dell'intero processo di bigliettazione e di controllo del sistema periferico, del servizio erogato e dell'informazione al pubblico, ed effettua tutte le elaborazioni di tipo contabile e di tipo statistico necessarie all'azienda per analizzare l'andamento dei ricavi e per acquisire una conoscenza approfondita del tipo di clientela.

Inoltre il Centro di Controllo costituisce anche la centrale operativa del sistema di monitoraggio della flotta e deve quindi poter monitorare e certificare il servizio svolto dalla flotta di mezzi, attraverso tecnologie di comunicazione (es: localizzazione satellitare, GPRS/UMTS, ZigBee, ...). Dovrà quindi essere in grado di fornire una mappatura delle linee che consenta di evidenziare i percorsi di andata e ritorno, la posizione delle fermate e dei capolinea, la distribuzione e lo stato dei mezzi sulla linea.

Nell'individuare l'architettura tecnica per il sistema del CC, si dovrebbero privilegiare i requisiti di disponibilità e affidabilità del sistema mediante l'adozione degli opportuni dispositivi di fault tolerance, quali la configurazione in cluster dei server, la ridondanza delle componenti critiche (interfacce di rete, alimentazione ecc), adozione di dischi in configurazione RAID per proteggere dalla perdita dei dati, l'utilizzo di gruppi di continuità per garantire l'integrità di dati e applicazioni in caso di caduta della tensione elettrica.

Sistema di bordo

Il Sistema di bordo è in pratica costituito dall'insieme di tutti i dispositivi installati sui mezzi. In genere tale sistema interagisce con il Centro di Controllo e con il Sistema di Deposito.

Le principali funzioni del Sistema di bordo sono:

- la convalida dei titoli di viaggio e in alcuni casi l'emissione e la vendita a bordo di titoli di viaggio
- la localizzazione puntuale dei mezzi
- la comunicazione dei mezzi con il Centro di Controllo per lo scambio di messaggi e informazioni
- la comunicazione con il sottosistema di informazione per la sincronizzazione dei sistemi di fermata
- l'acquisizione di dati e parametri sullo stato del mezzo e sul servizio svolto
- gestione dei dati operativi e diagnostici dei mezzi
- lo scambio di dati e parametri relativi al servizio svolto ed alla convalida ed emissione dei titoli di viaggio con il Centro di Controllo
- l'interfaccia con il conducente del mezzo attraverso un terminale di bordo

Per la definizione dell'architettura di bordo è opportuno utilizzare tecnologie consolidate ed aderenti agli standard di diritto o di fatto applicabili, in grado di dotare i mezzi di un sistema di bordo integrato e modulare tale da assicurare la massima efficienza ed affidabilità sia per le funzioni di validazione dei titoli di viaggio che per quelle relative al controllo e monitoraggio dei mezzi e della qualità del servizio svolto.

Le varie componenti del sistema di bordo sono costituite da unità intelligenti, ognuna specializzata nella gestione di una particolare funzione e coordinate da un'Unità di Bordo (OBU) deputata alla gestione dei flussi di dati tra le diverse unità periferiche. Adottando un'architettura basata su rete CAN (ad oggi la più efficiente soluzione per assicurare lo scambio di dati e informazioni tra moduli nel mondo automotive) vengono rispettati i requisiti di affidabilità e flessibilità richiesti dalla particolare tipologia di impiego. In particolare la struttura modulare consente di poter implementare, tramite l'aggiunta o la sostituzione di moduli specializzati, nuove funzionalità ed un'eventuale espansione del sistema. In pratica il sistema di bordo deve caratterizzarsi per essere:

- integrato, consentendo l'interconnessione di dispositivi specializzati a singole attività
- aperto, garantendo il collegamento con i dispositivi e/o sottosistemi già presenti o prevedibilmente installabili in futuro
- flessibile, permettendo un inserimento graduale nel tempo di dispositivi e/o sottosistemi in funzione di programmi di sviluppo o di nuove esigenze operative
- compatibile, garantendo la compatibilità con interfacce hardware e software standard

Dal punto di vista software l'architettura del sistema di bordo dovrebbe mantenere una certa separazione tra le "funzioni applicative", quali ad esempio la consuntivazione del servizio o l'informazione ai passeggeri, tali da soddisfare le specifiche esigenze dell'ente utilizzatore, e le "funzioni di servizio", quali in particolare le informazioni sulla posizione e lo stato del veicolo, ed i canali di comunicazione, che possono essere utilizzati da applicazioni diverse, e che per tale ragione sono "condivise" dalle diverse applicazioni, secondo modalità predefinite e standardizzate, anche nel caso in cui le funzioni applicative siano definite e realizzate in tempi diversi e da soggetti diversi.

Per quanto riguarda i dispositivi, un sistema di bordo dovrebbe comprendere almeno i seguenti dispositivi:

- computer di bordo integrato con una consolle preposta ad interfacciare l'autista nelle operazioni a lui assegnate.
- si dovrebbe inoltre occupare dell'interfacciamento con gli altri dispositivi di bordo e cioè:
 - il modulo WiFi che gestisce lo scambio dati con il sistema di deposito
 - il modulo GPRS/UMTS
 - il modulo GPS
 - moduli di sensoristica
 - validatori contactless e non
 - emettitori di bordo

Sistema di fermata

Il sistema di fermata è sostanzialmente costituito da paline informative, che connettendosi al Centro di Controllo e/o ai mezzi stessi è in grado di fornire informazioni utili all'utenza, quali:

- tempi di arrivo dei mezzi
- notizie ed eventi riguardo alla città, anche di tipo turistico
- notifica di variazioni del servizio (deviazione di linee, scioperi)

Le paline devono scambiare dati con il centro di controllo tramite dispositivi integrati, ed eventualmente anche con i mezzi (tramite Bluetooth o Zigbee o WiFi) per sincronizzare e quindi aggiornare le informazioni visualizzate (ad esempio cancellare i messaggi relativi ad un mezzo nel momento del raggiungimento della fermata del mezzo stesso).

Sistema di deposito

Il compito principale del Sistema di deposito è quello di raccogliere tutti i dati di esercizio e di consuntivazione prodotti durante il servizio (transazioni di convalida, dati meccanici del mezzo, rendicontazione del servizio, allarmi, ecc.), per trasferirli quindi al Centro di Controllo.

Il sottosistema di deposito dovrebbe provvedere anche ad assicurare il caricamento e l'aggiornamento dei dati necessari al sottosistema di bordo per svolgere le proprie funzioni.

La modalità di connessione dovrebbe avvenire tramite Wi-Fi, GPRS/UMTS oppure ZigBee al fine di consentire:

- l'aggiornamento del software dei dispositivi di bordo

- lo scarico dall'autobus dei file di attività e delle transazioni prodotte dal sistema di bordo
- il caricamento verso l'autobus dei file contenenti quanto necessario alla corretta operatività degli apparati

In genere le diverse modalità di comunicazione vengono utilizzate a seconda della tipologia di dati da trasmettere. Per le informazioni che hanno una certa priorità, come ad esempio dati di localizzazione, eventi o allarmi, messaggi di informazione, viene utilizzata una trasmissione GPRS/UMTS, poiché permette l'invio in tempo reale. Mentre attraverso il canale Wi-Fi, vengono invece scaricati dati stabili ed indipendenti dal servizio; tramite ZigBee possono essere invece scambiati dati con le paline alle fermate o con pali intelligenti al fine di ottenere un monitoraggio del traffico in tempo reale.

Per facilitare la manutenzione dei vari apparati, il Sistema di deposito potrà avere anche la funzione di punto di accesso e scarico dati dai dispositivi per il trasferimento manuale da utilizzare in caso di malfunzionamento del sistema automatico.

Il meccanismo per lo scambio dei dati tra i veicoli ed il sistema dovrebbe avvenire, in linea di massima, come segue: non appena un mezzo raggiunge il raggio di copertura della rete deve connettersi ed avviare la procedura di scambio dati. Mentre le procedure di upload verso i veicoli, per i diversi aggiornamenti, devono avvenire in momenti prestabiliti, ad esempio durante la sosta notturna dei mezzi nei depositi.

Si devono però prevedere delle procedure che differiscono da quanto prescritto per sopperire ad eventuali malfunzionamenti. Ad esempio un mezzo può fallire il download dei dati a causa di mancata connessione, dovuta ad esempio al sovraccarico della rete poiché altri mezzi stanno contemporaneamente effettuando lo scarico dei propri dati di esercizio. Un'altra situazione tipica può essere quella in cui il veicolo, per politiche di gestione del parco mezzi, non sosti in un deposito durante la notte. In entrambi i casi dovrebbero prevedersi delle procedure alternative, ad esempio: nel primo caso, il mezzo tenterà di scaricare le informazioni, ad intervalli stabiliti finché l'operazione non risulti completata. Nel secondo caso invece il mezzo può utilizzare la funzione di localizzazione per "capire" dove si trova e solo se si trova in un deposito avviare la procedura di upload.

A.2 Stima di massima dei costi

Un sistema integrato di controllo e gestione della mobilità prevede di solito:

1. Sala di controllo e gestione
2. Sistema di monitoraggio e bigliettazione elettronica per il trasporto pubblico
3. Pannelli con informazioni in tempo reale su viabilità ed aree di sosta
4. Paline informative alle fermate degli autobus
5. Aree da videosorvegliare e da monitorare
6. Intersezioni semaforizzate asservite al sistema di controllo con rilevatori di traffico
7. Stazioni da equipaggiare con dispositivi di emissione biglietti e con obliteratrici

Nel seguito del capitolo vengono individuate le specifiche tecniche e funzionali di alcuni sottosistemi, evengono fornite delle indicazioni di massima sui costi per la realizzazione di sottosistemi stessi.

A.2.1 Sistema Centrale di mobilità

La Sala di controllo e gestione del traffico è localizzata di solito nella sede della Polizia Municipale, dove spesso già esiste un sala relativa alla rete di monitoraggio dei flussi veicolari. Il comando

risulta essere il luogo migliore per quel che concerne il coordinamento di tutte le funzioni di controllo e gestione della mobilità e dei parcheggi dell'area metropolitana.

In generale l'architettura proposta dovrà prevedere macchine server dedicate alle specifiche applicazioni e connesse tra di loro in rete locale. Ci deve essere:

- un server che gestisce e coordina tutte le attività dei diversi sottosistemi con i quali dovrà scambiare informazioni
- una macchina dedicata alla gestione delle basi dati, con una adeguata dotazione di memoria di massa
- una macchina dedicata ad elaborazioni complesse che devono essere svolte dal sistema centrale
- un server dedicato all'infomobilità

Oltre ai server di sistema, si dovranno prevedere delle stazioni operatore; il sistema dovrà avere caratteristiche di espandibilità in tal senso. Globalmente quindi il sistema contiene i seguenti componenti:

- Application server di sistema
- Data server dotato di dischi per la memorizzazione e di unità per il backup dei dati
- Web server
- Dispositivi di rete per il collegamento con la rete IP e la gestione delle comunicazioni con i sistemi esterni connessi

Per un sistema con queste caratteristiche, comprensivo di relativo software e sistemi di sicurezza, si può prevedere in prima approssimazione un costo di circa **€250.000**.

A.2.2 Trasporto pubblico

Centro Servizi

Il sistema sarà parte integrante del Sistema centrale di mobilità ed in generale sarà composto da:

- Server centrale: contiene un database generale a livello interaziendale, ove sono contenuti dati e parametri, provenienti dai diversi sottosistemi ad esso connessi
- Firewall: per il controllo accessi
- Client: per l'accesso ai dati contenuti nel server centrale; accesso che avviene attraverso internet/intranet previa autenticazione da parte del client

Il dettaglio dei dispositivi per un centro di medie dimensioni viene riportato nella seguente tabella; il costo totale stimato, con le approssimazioni proprie dello studio di fattibilità, è di circa **€200.000**.

Tabella 2: Stima del costo del Centro Servizi

Server Hardware con DB server in configurazione CLUSTER	5	
Apparati di rete	1	
Licenze Database con più accessi contemporanei	1	
Certificati Digitali scambio dati	1	

Sistema Operativo	5	
Applicativi Software relativi alle funzioni richieste dal Centro inclusi i servizi di installazione ed avviamento	1	
Software di configurazione con applicativi/procedure esistenti	1	
Licenze Client per postazioni distribuite in azienda	5	
Canone traffico internet per comunicazione con rivendite	1	
Gruppi di Continuità	1	
Impianto di Condizionamento	1	
Totale		200.000,00

Centro di Controllo Aziendale (CCA)

Il dimensionamento di ciascun centro Aziendale è funzione del numero di periferiche che fanno riferimento allo stesso; sono state definite tre tipologie di CCA:

- 1) sino a 349 autobus equivalenti: *piccolo*
- 2) da 350 a 750 autobus equivalenti: *medio*
- 3) oltre 750 autobus equivalenti: *grande*

dove per autobus equivalenti (BE) si intende:

$$BE = (N. aziende aderenti * 40) + n. autobus gestiti$$

Considerando una sola azienda, si può ipotizzare di implementare un CCA piccolo che consiste dei componenti descritti in tabella, il cui costo totale si può stimare intorno ai € **180.000**.

Tabella 3: Stima del costo del Centro di Controllo Aziendale

Tipo	Quantità	
Server Hardware con il DB server in configurazione CLUSTER	4	
Apparati di rete	1	
Licenze Database	1	
Certificati Digitali scambio dati	1	
Sistema Operativo	4	
Applicativi Software relativi alle funzioni richieste dal Centro inclusi i servizi di installazione ed avviamento	1	
Software postazione di Emissione Vendita Rinnovo Ricarica	1	
Software di configurazione con applicativi/procedure esistenti	1	
Licenze Client per postazioni distribuite in azienda	2	
Canone traffico internet per comunicazione con rivendite	1	
Gruppi di Continuità	1	
Impianto di Condizionamento	1	
Totale		180.000,00

Sistema di bordo

Il sottosistema di bordo bus di bigliettazione elettronica è il sistema che racchiude la gestione delle transazioni di validazione effettuate dagli utenti a bordo autobus e di tutte le attività svolte a bordo mezzo. E' composto da:

- un'unità centrale (OBU);
- una consolle autista;
- due obliteratrici di bordo²;
- moduli di comunicazione wireless GPRS/EDGE/UMTS e/o WI-FIe/o ZigBee per la comunicazione dei dati a terra e alla palina.
- sensoristica di bordo

Il sottosistema di bordo bus di bigliettazione elettronica dovrà conoscere, a inizio servizio, le informazioni sulla linea, corsa/turno, sequenza fermate, percorso/destinazione e conducente. Tali informazioni possono essere acquisite o dalla consolle autista, o dal sistema di bordo di monitoraggio flotte.

Per quanto riguarda le funzionalità relative alla localizzazione e monitoraggio della flotta il sistema dovrebbe fornire un supporto alla manutenzione del veicolo, basato sull'impiego di tecnologie telematiche e su concetti di diagnosi predittiva, al fine di:

- monitorare e scaricare a terra in modo automatico e dettagliato la posizione e tutte le informazioni, nonché le segnalazioni di anomalia registrate a bordo durante l'esercizio
- raccogliere dati statistici sull'utilizzo del mezzo
- rilevare e segnalare tempestivamente stati di incipiente degrado di impianti critici
- permettere, in caso di avaria su strada, una rapida diagnosi remota del mezzo

I costi per ogni apparato di bordo sono illustrati nella seguente tabella.

Tabella 4: Stima dei costi apparati di bordo

	n°	prezzo unitario	prezzo complessivo
Obliteratrice di bordo	2	1.250	2.500
Consolle autista con emissione e ricarica	1	2.500	2.500
OBU con modulo di localizzazione, GPRS/GSM e/o WI-FIe/o ZigBee e/o connessione con sensori esterni	1	1.500	1.500
Sensoristica di bordo		1.500	1.500
Installazione e cavi	1	1.500	1.500
TOTALE APPARATI DI BORDO			9.500

Sistema di fermata

La localizzazione delle paline informative presso le fermate degli autobus sarà effettuata attraverso l'individuazione dei principali itinerari del TPL in cui si è registrato il maggiore passaggio di linee urbane ed extraurbane, soprattutto, lungo le direttrici di collegamento con il centro urbano.

Inoltre, sono da considerare le fermate in prossimità dei principali poli attrattori cittadini, sia centrali che periferici. Per quel che riguarda le zone periferiche sono sicuramente da selezionare le fermate in prossimità delle stazioni ferroviarie oppure nelle immediate vicinanze e nelle direttrici di

² Il numero può variare a seconda del tipo di mezzi, del tipo di servizio e della condizione di esercizio/affollamento cui il mezzo è prevedibilmente destinato. L'ipotesi di due obliteratrici è comunque cautelativa rispetto ad un'elevata qualità del servizio.

collegamento principali caratterizzate dalla presenza di numerose attività commerciali e da servizi (es. Poste, Scuole ecc.).

La fornitura e l'installazione di ogni palina, comprensiva di dispositivi di comunicazione Bluetooth o ZigBee, ha un costo preventivabile di circa € **3.500**, a cui poi vanno aggiunti i costi delle opere edili.

Nel caso in cui si preveda di utilizzare la rete di illuminazione pubblica, i costi sono difficilmente stimabili, dipendendo in toto dalle amministrazioni comunali ed il gestore della rete elettrica.

Sistema di deposito

Questo sistema permette la raccolta dei dati registrati a bordo dei bus e li trasferisce al centro di controllo aziendale.

E' solitamente composto da un computer con funzioni di concentratore e da un sistema di comunicazione a corto raggio in tecnologia Wireless LAN, in grado di coprire uniformemente almeno la zona di rifornimento e di posteggio dei mezzi.

Il concentratore di deposito da una parte comunica con tutti i dispositivi di bordo attraverso la Wireless LAN, via accesspoint, mentre dall'altra con il Centro di Controllo Aziendale.

Si deve inoltre considerare l'acquisto di un'unità diagnostica per effettuare dei controlli sui dispositivi di bordo.

Nell'ipotesi in cui c'è un solo deposito da attrezzare con due access-point ed un pc ed una unità diagnostica, il costo totale si aggira intorno ai **6.000€**.

Appendice B - Protocollo di comunicazione IEEE 802.15.4 ZIGBEE

Lo standard IEEE 802.15.4 ZigBee® è stato definito per soddisfare le necessità del mercato riguardo a una tecnologia di rete wireless flessibile, standardizzata e a basso costo, in grado di offrire ridotta dissipazione di potenza, buona affidabilità, sicurezza e interoperabilità in applicazioni di controllo e di monitoraggio a basso bit-rate. La norma IEEE 802.15.4 è stata specificata per la prima volta nel 2003 ed è stata poi sostituita dalla variante IEEE 802.15.4-2006 che è compatibile con la versione del 2003. Questa revisione è stata avviata a includere altre funzionalità e miglioramenti, nonché alcune semplificazioni. Lo standard definisce il protocollo e l'interconnessione di dispositivi tramite comunicazione radio in una Wireless Personal Area Network (WPAN). Le caratteristiche principali di una WPAN sono la facilità di installazione, l'affidabilità dei dati trasferiti, le operazioni a corto raggio, il basso costo, una ragionevole durata della batteria, contemporaneamente al mantenimento di un protocollo semplice e flessibile.

B.1 Architettura

Il protocollo Zigbee è definito da una architettura a strati (Figura 35) basata sul modello standard ISO-OSI; ogni strato è responsabile di una parte dello standard ed offre servizi agli strati superiori. Lo standard definisce le specifiche del livello fisico (PHY) e il livello di controllo di accesso al mezzo (MAC). Gli strati superiori vengono trattati dall'organizzazione Zigbee Alliance, un consorzio di aziende che operano congiuntamente e senza scopo di lucro al fine di promuovere lo sviluppo di uno standard globale aperto per il controllo senza fili di dispositivi per la domotica e l'automazione industriale. Alcune delle aziende aderenti al consorzio sono: BM Group, Ember, Freescale, Renesas, Texas Instruments, Crossbow, Jennic, Atmel, Atalum, Cirronet, Daintree, LuxoftLabs, MaxStream, Microchip, Mindteck, Motorola, Nanotron, OKI, Radiocrafts AS, Ubiwave e ZMD.

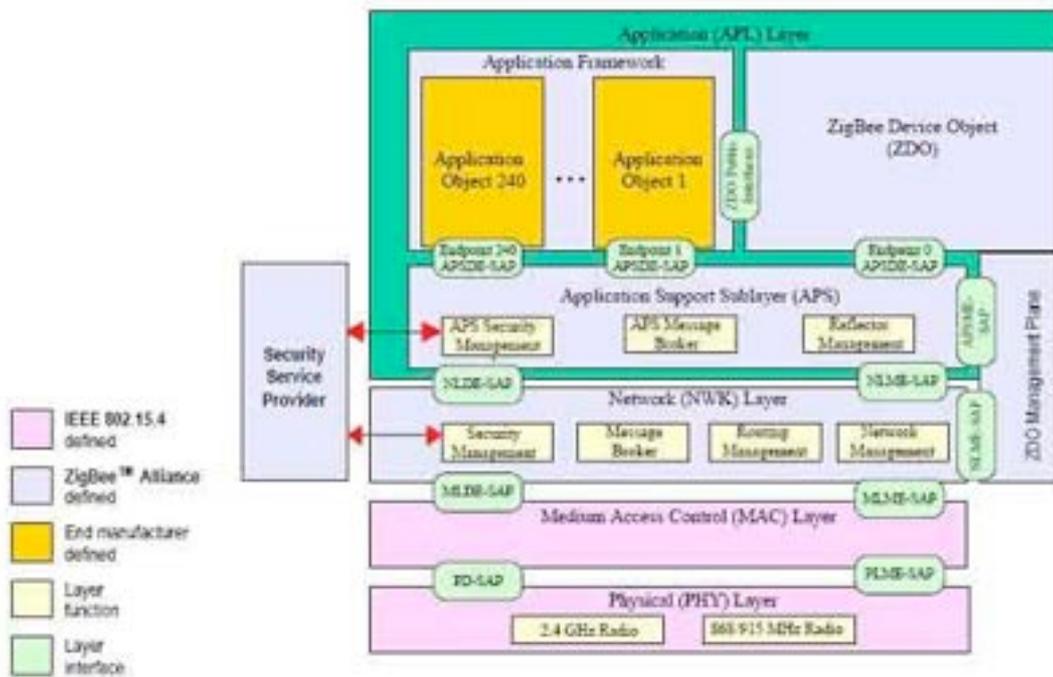


Figura 35: Architettura a strati dello standard ZigBee

B.2 Caratteristiche della rete ZigBee

B.2.1 I dispositivi della rete

Due diversi tipi di dispositivi possono partecipare ad una rete IEEE 802.15.4; il *full-function device (FFD)* e il *reduced-function device (RFD)*. Il FFD può operare in tre modi differenti:

- 1) Coordinator
- 2) Router
- 3) End Device

Mentre una RFD può svolgere solo il ruolo di dispositivo e può comunicare solo con un FFD, una FFD può parlare sia con gli RFDs che con gli altri FFDs. Un RFD è destinato ad applicazioni che sono estremamente semplici, che non hanno la necessità di inviare grandi quantità di dati. Di conseguenza, un RFD può essere implementata utilizzando il minimo di risorse e capacità di memoria. Due o più dispositivi all'interno di una POS (Personal Operating Space) che comunicano sullo stesso canale fisico costituiscono un WPAN. Comunque una WPAN è composto da almeno un FFD, che opera come coordinatore della PAN. Il coordinatore PAN è il primo controllore della PAN. Ogni dispositivo che opera su una rete ha un indirizzo unico a 64 bit (extended address) che lo distingue da qualsiasi altro dispositivo ZigBee nel mondo ed un indirizzo breve di 16 bit che gli viene affidato dal Coordinator e che viene utilizzato per la comunicazione diretta all'interno della PAN.

B.2.2 Topologie di rete

A seconda dei requisiti di applicazione, uno IEEE 802.15.4 WPAN può operare in due topologie: a stella o *peer-to-peer*. Entrambi sono mostrati in Figura 36. Nella topologia a stella la comunicazione è stabilita tra i dispositivi e un unico centro di controllo, denominato Coordinatore PAN. La comunicazione avviene quindi solo tra i dispositivi che siano FFD o RFD, ed il coordinatore. La rete a stella sarà indipendente dalle altre reti a stella che operano in quel momento, e tale risultato è ottenuto scegliendo come Pan coordinator uno che non sia già attualmente utilizzato in un'altra PAN entro la sfera radio di influenza. Quindi una volta scelto il coordinatore di PAN questo consente l'aggiunta degli altri dispositivi sia FFD che RFD alla rete. Anche nella topologia peer-to-peer esiste un coordinatore ma differisce dalla rete a stella perché in questo caso qualsiasi dispositivo può comunicare con qualsiasi altro dispositivo, a condizione che siano nello stesso raggio d'azione. Questa topologia permette la formazione di reti più complesse come quelle a maglie (reti mesh).

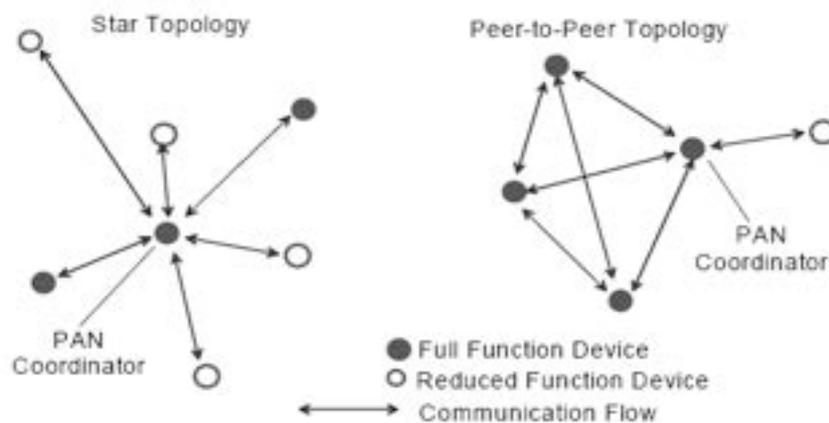


Figura 36: Topologie di rete

Una rete peer-to-peer può essere ad hoc, auto gestrice, autonoma e riconfigurante. Essa può anche consentire una rete multi-hop per instradare i messaggi da qualsiasi periferica a qualsiasi altro dispositivo sulla rete. Un esempio della comunicazione peer-to-peer è il cluster ad albero riportato in Figura 37.

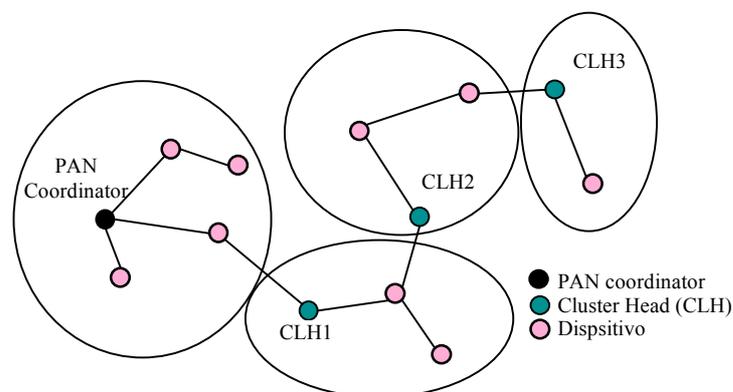


Figura 37: Esempio di cluster ad albero

Come si nota dalla figura esiste sempre un unico PAN coordinator. I collegamenti tra i nodi non indicano il flusso di dati ma a chi un dispositivo è associato. Nell'esempio, i cluster head sono

particolari FFD in grado di generare beacon in un'area di influenza non coperta dal coordinator. Tutti i dispositivi, per comunicare, usano il *macPANid* ed il canale logico scelto dal PAN coordinator ma si adeguano all'eventuale struttura a superframe decisa dal cluster head sotto il quale si trovano.

B.2.3 Struttura dei pacchetti: struttura del Superframe

Lo standard IEEE 802.15.4 permette l'uso opzionale della struttura di un superframe. Il formato del superframe è definito dal coordinatore della rete PAN ed è contenuto tra due messaggi di beacon (bit di sincronizzazione) spediti da quest'ultimo ad intervalli regolari e programmabili (Figura 38). Questi beacon contengono informazioni che possono essere usate per il sincronismo dei dispositivi, per l'identificazione della rete, per descrivere la struttura dei superframe e per fornire la periodicità dei beacon stessi. Il superframe è diviso in 16 slot di uguale grandezza, dove il beacon frame è trasmesso nel primo slot di ogni superframe. Ogni dispositivo che intende comunicare con il coordinatore della PAN deve attendere la ricezione di due beacon frame successivi, che gli permettono la sincronizzazione col coordinatore stesso. Questo periodo d'attesa è chiamato Contention Access Period (CAP).

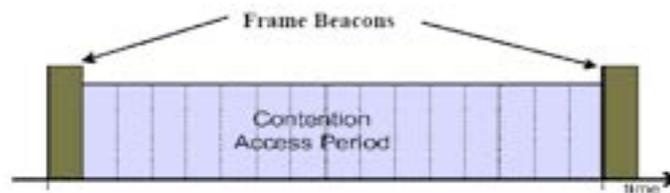


Figura 38: Struttura del superframe senza GTS

Una prerogativa di questa struttura a superframe è che il coordinatore può assegnare porzioni di tempo a specifici dispositivi che ne abbiano fatto richiesta. Questa assegnazione di slot del superframe, chiamata Guaranteed Time Slot (GTS), offre la possibilità a dispositivi di garantirsi un tempo prefissato di comunicazione col coordinatore PAN, riducendo così le collisioni tra più dispositivi che vogliono comunicare. Queste collisioni, sono in ogni caso gestite dal Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA-CA), di cui ogni dispositivo è provvisto, che permette di rilevare sul canale se ci sono altri dispositivi che stanno comunicando. Gli slot di tempo riservati ai dispositivi occupano la parte finale del superframe, che prende il nome di Contention-Free Period (CFP), posizionata consecutiva al CAP. Una struttura del superframe con GTS è raffigurata in Figura 39.

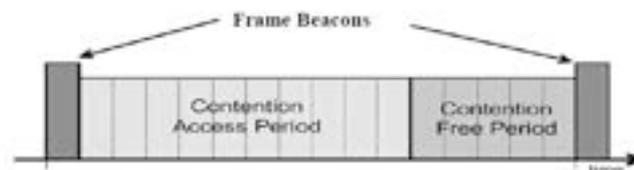


Figura 39: Struttura del superframe con GTS

Il CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) è il metodo di accesso multiplo tramite rilevamento della portante che evita collisioni. È un'evoluzione del protocollo MAC del con accorgimenti ulteriori per ridurre le collisioni. Nel momento in cui una stazione vuole tentare una trasmissione ascolta il canale (Listen-before-Transmit). Se il canale è occupato la stazione attiva un timer di durata casuale (detto tempo di backoff) che viene decrementato solo durante i periodi di inattività del canale. Quando il timer scatta, la stazione fa un altro tentativo.

B.2.4 Modello trasferimenti dati

Esistono tre tipi di trasferimento dati: il primo è il trasferimento dati da parte di un dispositivo al coordinatore; il secondo è il trasferimento dal coordinatore ad un dispositivo che li riceve; il terzo è il trasferimento dati tra due dispositivi. In una topologia a stella solo due tipologie di trasferimento sono attuabili perché in questo caso la comunicazione è eseguibile solo tra il dispositivo ed il coordinatore, nelle reti peer-to-peer invece posso usare tutte e tre le transazioni.

Trasferimento dispositivo-coordinatore:

Quando un dispositivo vuole trasferire i dati al coordinatore su una beacon-enabled PAN, cioè una PAN abilitata a trasferire frame di beacon, prima ascolta il frame di beacon per la sincronizzazione, poi al momento opportuno utilizzando come metodo di accesso al mezzo la CSMA-CA slotted (suddiviso in intervalli temporali), trasmette i suoi dati. A questo punto il coordinatore può rispondere opzionalmente con un frame di riconoscimento (ACK). Il trasferimento è rappresentato nella Figura 40:

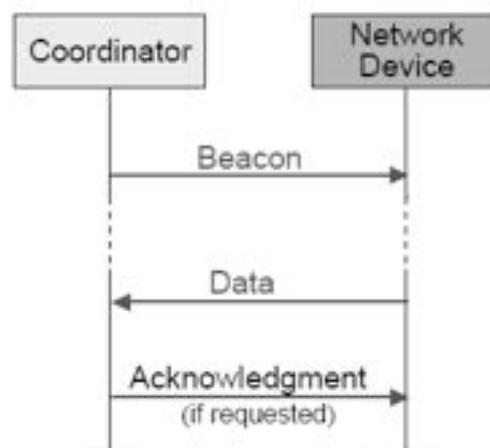


Figura 40: Trasferimento dispositivo-coordinatore in una enabled-beacon PAN

Nel caso di una nonbeacon-enabled PAN il dispositivo trasmette semplicemente i suoi dati attraverso la procedura CSMA-CA e il coordinatore se riceve con successo i dati può opzionalmente darne conferma attraverso un frame di riconoscimento (Figura 41).

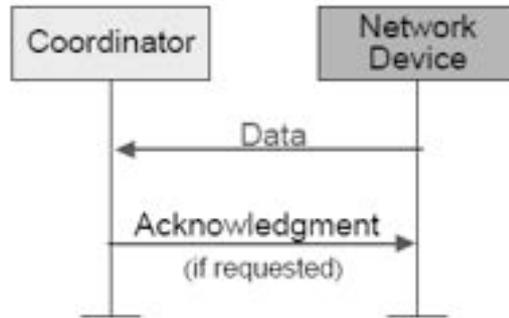


Figura 41: Trasferimento dispositivo-coordinatore in una nonbeacon--enable Pan

Trasferimento coordinatore-dispositivo:

Quando il coordinatore vuole trasferire dati ad un dispositivo in una beacon-enable PAN, indica nel beacon che i dati stanno aspettando. Il dispositivo periodicamente ascolta il beacon di rete e se i dati sono in attesa manda una richiesta di dati con un comando MAC utilizzando la procedura CSMA-CA. Il coordinatore risponde con un frame di riconoscimento per dire di aver ricevuto con successo il comando mandato dal dispositivo e poi segue il trasferimento dati vero e proprio. A questo punto il dispositivo può rispondere opzionalmente per dichiarare il successo della ricezione e il processo è terminato (Figura 42). Il messaggio ricevuto con successo verrà cancellato dalla lista di dati in attesa nel beacon.

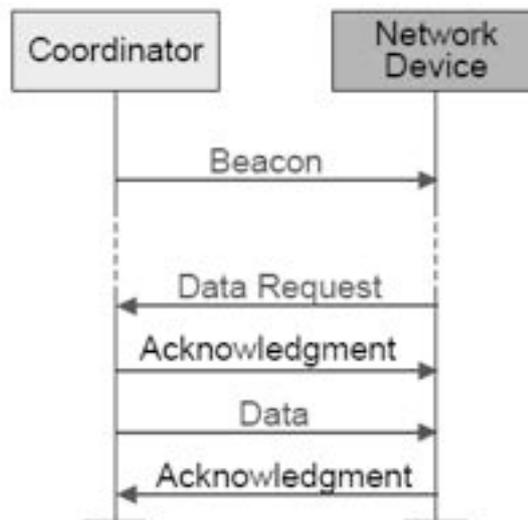


Figura 42: Trasferimento coordinatore-dispositivo

Nel caso in cui si opera in una nonbeacon-enable PAN il dispositivo manda un comando MAC al coordinatore che risponderà con un ACK e se i dati sono in attesa trasmette i dati, altrimenti indica tale fatto nel frame di riconoscimento (ACK) oppure spedendo una frame di dati con lunghezza zero nella parte payload che vedremo nei prossimi paragrafi. Alla fine il dispositivo può opzionalmente rispondere con il frame di ricezione dati avvenuta (Figura 43).

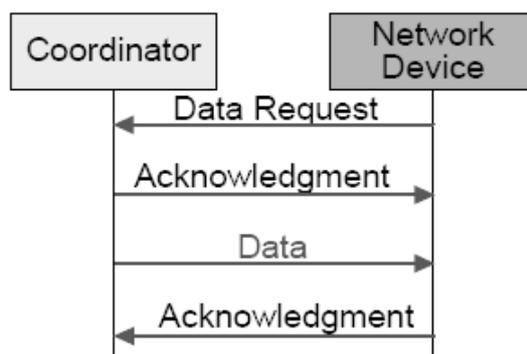


Figura 43: Trasferimento coordinatore-dispositivo in una non beacon-enable Pan

B.2.5 Struttura dei frame

Le strutture dei frame sono state progettate per mantenere la complessità al minimo e al tempo stesso per renderle sufficientemente robuste per la trasmissione su canali rumorosi.

Questo standard definisce quattro strutture:

- Un frame di beacon, è utilizzato dal coordinatore per trasmettere i beacon;
- Una frame di dati, utilizzato per tutti i trasferimenti di dati;
- Un frame di riconoscimento, usata per confermare la ricezione avvenuta con successo del frame;
- Un frame di comando MAC, usato per trattare tutte le entità di controllo MAC trasferite come richieste di associazione, dissociazione, notifiche di conflitti, etc.

La struttura di ciascuno dei quattro tipi di frame è descritto di seguito.

Frame di Beacon

Ha origine dallo strato MAC. Il frame di beacon si trova nella parte payload del frame MAC oltre al superframespecification, al GTS fields e il pendingaddressfields. Il Mac payload è anticipato dall'MHR, cioè l'intestazione comune a tutti i pacchetti MAC ed è seguito dall'MFR (il MAC footer). Poi il frame MAC viene passato allo strato fisico come PSDU divenendo la parte payload dello strato fisico (Tabella 5).

Tabella 5: Frame di Beacon

Byte: 2	1	4 o 10	0,5,6,10 o 14	2	k	m	n	2
Frame control	Sequence number	Addressing Fields	Auxiliary security header	Superframespecification	GTS fields	Pending address Fields	Beacon Payload	FCS
MHR				MAC Payload				MFR

Frame di dati

Sono generati dagli strati superiori e vediamo lo schema generale (Tabella 6):

Tabella 6: Frame dati

2byte	1 byte	4 o 10 byte	0,5,6,10 o 14 byte	n byte	2 byte
Frame control	Sequencenumber	Addressing Fields	Auxiliary security header	Data Payload	FCS
MHR				MAC Payload	MFR

Frame di riscontro (acknowledgment):

Ha origine dallo strato MAC ed è costituito dall’MHR ed MFR, non ha il MAC payload (Tabella 7):

Tabella 7: Frame di riscontro

2 byte	1 byte	2 byte
Frame control	Sequencenumber	FCS
MHR		MFR

Frame comando MAC :

Ha origine nello strato MAC ed è mostrato dalla seguente figura (Tab. IV):

Tabella 8: Frame comando MAC

2 byte	1 byte	4 o 10 byte	0,5,6,10 o 14 byte	1 byte	n byte	2 byte
Frame control	Sequencenumber	Addressing Fields	Auxiliary security header	Commandtype	Commandpayload	FCS
MHR				MAC Payload		MFR

B.3 Lo strato fisico

Il livello fisico(PHY) è una parte fondamentale di un dispositivo ZigBee. I dispositivi ZigBee operano nelle bande ISM 2,4 GHz in tutto il mondo e sulle bande ISM 915 MHz e 868 MHz in America ed in Europa rispettivamente. Con lo standard IEEE 802.15.4 del 2006 sono state introdotte due bande di canale opzionali la 868/915 MHz con modulazione ASK oppure O-QPSK (Tabella 9). In questi casi il numero dei canali supera quello definito nel protocollo del 2003 in cui erano definiti 32 canali. Per supportare il crescente numero di canali, l’assegnazione deve essere definita attraverso una combinazione di numeri di canale e di “pagine” di canali. I 5 bit più significativi dei 32 bit del canale possono essere usati come un valore intero per definire 32 pagine di canali possibili. Gli altri 27 bit possono essere usati per specificare il numero di canali entro una pagina. Quindi un totale di 27 canali sono disponibili per ogni pagina.

Tabella 9: Caratteristiche delle bande di frequenze

PHY (MHz)	Frequency band (MHz)	Chip rate (Kchip/s)	Modulation	Bit rate (Kbit/s)	Symbol rate (Ksymbol/s)
868/915	868-868.6	300	BPSK	20	20
	902-928	600	BPSK	40	40
868/915 (optional)	868 – 868.6	400	ASK	250	12.5
	902 – 928	1600	ASK	250	50
868/915 (optional)	868 – 868.8	400	O –QPSK	100	25
	902 – 928	1000	O-QPSK	250	62.5
2450	2400-2483.5	2000	O-QPSK	250	62.5

Per ogni pagina (0-27) sono disponibili i canali numerati da 0 ha 26 per le tre bande di frequenze. Sedici canali sono assegnati per labanda di 2,4 GHz, dieciper la banda di 915 MHz, un canale per la banda di 868 MHz. Questa pagina mantiene la definizioni di canali dello standard del 2003. Per le pagine 1 e 2, ho 11 canali numerati da 0 a 10 per le due frequenze l'868/915 MHz ASK e O-QPSK PHYs,rispettivamente. Dieci canali sono disponibili in 915 MHz e uno in 868 MHz. Le pagine di canale da 3 a 31 sono libere riservate per usi futuri. Le distinzioni per banda, tipologia di modulazione, numeri e pagine di canali le ritroviamo inTabella 10.

Tabella 10: Pagina di canale e numero di canale

Channel Page	Channel number	Channel numberdescription
0	0	868 MHz band using BPSK
	1-10	915 MHz band using BPSK
	11-26	2.4 GHz band using O-QPSK
1	0	868 MHZ band using ASK
	1-10	915 MHz band using ASK
	11-26	Reserved
2	0	868 MHZ band using O-QPSK
	1-10	915 MHz band using O-QPSK
	11-26	Reserved
3-31	Reserved	Reserved

B.3.1 Specifiche del livello fisico

Lo strato fisico fornisce una interfaccia tra lo strato MAC e il canale radio fisico. Lo strato fisico fornisce due servizi, accessibili attraverso due SAP: il servizio dati, accessibile tramite il PHY dati SAP (PD-SAP), e il servizio di gestione, accessibile attraverso il PLME-SAP (PhysicalLayer Management Entity).Il PLME fornisce il servizio di gestione dell'interfaccia dello strato ed è anche responsabile per il mantenimento di un database di oggetti relativi allo strato denominato PHY PAN base di informazioni (PIB).Il PD-SAP supporta il trasporto di MPDUs tra entità pari dello strato MAC.

B.3.2 Formato PPDU

Ogni PPDU (Physical Protocol Data Unit) è costituito dai seguenti componenti di base:

- Una intestazione di sincronizzazione (SHR: synchronization header), che permette ad un dispositivo ricevente di sincronizzare e bloccare il flusso di bit;
- Un'intestazione fisica (PHR: PHY header), che contiene le informazioni di lunghezza del frame;
- Un payload di lunghezza variabile, in cui troviamo il frame dello strato MAC.

La struttura è rappresentata in Tabella 11 :

Tabella 11: Formato PPDU

4 byte	1 byte	1 byte		Variabile
Preamble	SFD	Frame length (7 bits)	Riservato (1 bit)	PSDU
SHR		PHR		PHY payload

Campo Preamble:

Il campo è utilizzato dal ricetrasmittitore per ottenere la sincronizzazione di segnali e simboli quando arriva un messaggio.

Campo SFD (Start-of-Frame Delimiter):

Indica la fine dell'SHR e l'inizio dei dati del pacchetto .

Campo Frame Length:

Questo campo è lungo 7 bit ed indica il numero degli ottetti contenuto nella PSDU.

Campo PSDU (PHY Service Data Unit):

Ha una lunghezza variabile e definisce i dati del pacchetto fisico, corrisponde al MPDU (MAC Protocol Data Unit).

B.3.3 Altre funzionalità del livello fisico

Il livello fisico di un dispositivo ZigBee è inoltre in grado di fornire ai livelli superiori i seguenti servizi:

- ED (Energy Detection): Una stima della potenza del segnale ricevuto all'interno del canale;
- LQI (Link Quality Indication): Una misura della forza e/o della qualità dei pacchetti ricevuti. La misura può essere implementata usando la ED, una stima del rapporto segnale/disturbo, o una combinazione dei due metodi;
- CCA (Clear Channel Assessment): Il processo con cui un dispositivo comprende se il canale è libero (idle) o occupato (busy). Il CCA può essere effettuato in uno dei seguenti modi:
- CCA mode 1: a soglia. Il CCA riporta uno stato di busy se si rileva energia sopra la soglia dell'ED;

- CCA mode 2: rilevazione di portante. Il CCA riporta uno stato di busy solo dopo il rilevamento di un segnale con le caratteristiche di modulazione e spreading dello std IEEE 802.15.4 viste precedentemente;
- CCA mode 3: rilevazione di portante con energia superiore alla soglia. Il CCA riporta uno stato di busy solo dopo il rilevamento di un segnale con le caratteristiche di modulazione e spreading dello std IEEE 802.15.4 viste precedentemente. Il segnale deve essere sopra alla soglia di ED.

B.4 Livello MAC (Medium Access Control)

Il livello MAC offre diversi servizi ai livelli superiori:

- Indirizzamento dei dispositivi
- Discretizzazione del tempo in superframe
- Esecuzione dell'algoritmo CSMA-CA per l'accesso al canale
- Supporto all'avvio ed al mantenimento di una PAN
- Supporto all'associazione ed alla dissociazione
- Servizio di sincronizzazione ed estrazione dei dati pendenti
- Allocazione e mantenimento dei GTS (Guaranteed Time Slot)
- Supporto alla sicurezza dei pacchetti trasmessi

Il livello MAC fornisce due servizi di interfaccia con gli strati adiacenti, accessibili attraverso due SAP:

- Il servizio dati MAC, accessibile tramite il MCPS – SAP (Medium access control Common Part Sub-layer – Service Access Point)
- Il servizio di gestione MAC, accessibile tramite il MLME – SAP (Medium access control sub-Layer Management Entity – Service Access Point)

B.4.1 Formato del MAC frame generale

Al livello MAC i pacchetti (MPDU) hanno struttura mostrata in Tabella 12

Tabella 12: Formato del MAC frame generale

Octets	2	1	0/2	0/2/8	0/2	0/2/8	0/5/6/8/10/14	variable	2
Frame control	Sequence number	Destination Pan identifier	Addressing fields	Destination address	Source PAN identifier	Source address	Auxiliary security header	Frame payload	FCS
MHR								MAC payload	MFR

L'MHR o MAC header è l'intestazione comune a tutti i pacchetti MAC. Il MAC payload è invece di lunghezza variabile e contiene informazioni passate dai livelli superiori ed è strutturato in modo

diverso a seconda del tipo di pacchetto. L'MFR o MAC *footer* contiene l'FCS (Frame CheckSequence) per il controllo di ridondanza ciclico.

MHR

L'MHR è suddiviso in tre sottocampi principali:

- Frame control
- Sequencenumber
- Addressingfields.

Nei due ottetti del **frame control** le prime cose che vengono specificate sono il tipo del frame e se questo è cifrato o no (il campo Sicurezza abilitato). Questi primi 4 bit sono fondamentali per la comprensione del resto del pacchetto (Tabella 13).

Tabella 13: Frame control

Bit 0-2	3	4	5	6	7-9	10-11	12-13	14-15
Frame Type	Security Enabled	Frame Pending	Ack Request	PAN ID Compression	Reserved	Dest. Addressing Mode	Frame Version	Source Addressing Mode

I campi addressing mode del destinatario e del mittente specificano se gli indirizzi verranno passati per esteso (extended) o in breve (short). Frame pending viene posto ad 1 quando il coordinatore ha ancora pacchetti da spedire al destinatario del frame. Richiesta di ACK viene posta ad 1 quando si richiede un messaggio di ack per il frame appena spedito. Il livello MAC provvede automaticamente a ritrasmettere lo stesso pacchetto fino a tre volte se, per il pacchetto è richiesto l'ACK e questo non viene ricevuto per un tempo equivalente a MacAckWaitDuration simboli (Tabella 14). Questo sistema è chiamato automaticrepeatrequest (ARQ).

Tabella 14: MacAckWaitDuration

macAckWaitDuration	868 MHz	915 MHz	2,4 GHz
Simboli	54	54	120
Tempo	2.7 ms	1.3 ms	1.9 ms

Il campo **sequencenumber** è lungo 8 bit e specifica un unico identificatore di sequenza per il frame. Per i frame di beacon, nel campo sequencenumber viene scritto il valore del Beacon SequenceNumber (BSN). Ogni coordinatore deve registrare il suo attuale valore di BSN nell'attributo del MAC PIB macBSN ed impostarlo ad un valore casuale. Il macBSN è incrementato di uno ogni volta che si spedisce un nuovo beacon.

Per tutti i tipi di frame diversi dal beacon, nel campo sequencenumber viene scritto il valore del Data SequenceNumber (DSN). Ogni coordinatore deve registrare il suo attuale valore di DSN nell'attributo del MAC PIB macDSN ed impostarlo ad un valore casuale. Il macDSN è incrementato di uno ogni volta che si spedisce un nuovo frame. Se è richiesto un ack, il dispositivo ricevente deve copiare il sequencenumber del frame nel campo sequencenumber dell'ACK.

Il campo **addressingfield** contiene le informazioni necessarie per identificare mittente e destinatario e se questi fanno parte della stessa PAN. In particolari casi questi campi possono essere omessi o impostati al valore 0xffff che significa comunicazione in broadcast.

MFR (MAC footer)

Il campo MFR è composto da un solo sottocampo: l'FCS (frame checksequence). Il sottocampo FCS è lungo 16 bit e contiene un CRC (CyclicRedundancyCheck). L'FCS è calcolato sulle parti MHR e MAC payload del frame. L'FCS è calcolato usando il seguente generatore polinomiale standard di grado 16:

$$G_{16}(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$$

B.4.2 Supporto alla sicurezza

Il livello MAC di ZigBee, provvede a due funzionalità di sicurezza elementari, il mantenimento di una Access Control List (ACL) e l'uso della crittografia simmetrica per proteggere i pacchetti trasmessi. La combinazione di queste due funzionalità produce i quattro servizi elencati di seguito, che il livello MAC offre ai livelli superiori, come supporto alla sicurezza:

- Access control: servizio che offre ad un dispositivo la possibilità di selezionare i dispositivi con cui comunicare;
- Data encryption: ovvero la possibilità di criptare i pacchetti da trasmettere con un sistema basato su chiave simmetrica;
- Frame integrity: lo standard IEEE 802.15.4 prevede l'uso di un Message Integrity Code (MIC) per proteggere i dati da manomissioni esterne;
- Sequentialfreshness: servizio che usa un valore di freshness (freschezza) per evitare di processare più di una volta lo stesso pacchetto.

I suddetti servizi sono richiesti dai livelli superiori, impostando opportunamente il parametro macSecureMode del livello MAC ad uno dei valori seguenti:

- Unsecured mode: nessun servizio di sicurezza è richiesto. I pacchetti vengono trasmessi in chiaro e passati ai livelli superiori qualunque sia il mittente quando vengono ricevuti;
- ACL mode: l'unico servizio richiesto al livello MAC è l'access control;
- Secured mode: richiesta al livello MAC di provvedere a tutti e quattro i servizi di sicurezza disponibili (access control, data encryption, frame integrity e sequentialfreshness) assumendo che i servizi di gestione delle chiavi, autenticazione e freshnessprotection siano poi eseguiti dai livelli superiori.

Specifiche della suite di sicurezza

Ogni dispositivo ZigBee deve essere in grado di utilizzare la suite di sicurezza indicata nella Tabella 15. Ogni suite consiste in una serie di operazioni da eseguire sui frame del livello MAC per provvedere ai servizi di sicurezza.

Tabella 15: Lista suite di sicurezza

Security suite Name	Security service			
	Access control	Data Encryption	Frame integrity	Sequential Freshness
None				
AES-CTR	x	x		x
AES-CCM-128	x	x	x	x
AES-CCM-64	x	x	x	x
AES-CCM-32	x	x	x	x
AES-CBC-MAC-128	x		x	
AES-CBC-MAC-64	x		x	
AES-CBC-MAC-32	x		x	

Il nome di ogni suite indica la modalità con cui l'algoritmo di cifratura è utilizzato e la lunghezza, in bit, del codice di integrità utilizzato. Per tutti i suite di sicurezza dello standard IEEE 802.15.4 l'algoritmo di cifratura utilizzato è l'Advanced Encryption Standard (AES).

Cifratura CTR

Utilizzare la modalità counter (CTR) dell'algoritmo di crittografia consiste nella generazione di una chiave corrente usando un frammento di blocco del CTR, con una data chiave ed un nonce, ed eseguendo un OR esclusivo (XOR) della chiave corrente con il testo ed il codice di integrità. Un nonce è una timestamp, un contatore, o una marca speciale utilizzata per prevenire il rinvio non autorizzato di messaggi già spediti. L'operazione di decifratura consiste nella generazione della chiave corrente e nell'esecuzione dello XOR della chiave corrente con il testo cifrato per ottenere il testo del messaggio.

Autenticazione CBC-MAC

L'algoritmo di autenticazione simmetrica CipherBlockChaining Message Authentication Code (CBC-MAC) usato nello standard IEEE 802.15.4 consiste nella generazione di un codice di integrità usando una frammentazione del blocco in modalità CBC. Il codice è calcolato su un messaggio che include la lunghezza dei dati autenticati ed è incluso all'inizio dei dati stessi. L'operazione di verifica consiste nella computazione del codice di integrità e nella comparazione di questo con il codice di integrità ricevuto.

Autenticazione e cifratura combinata CCM

La cifratura CTR più l'autenticazione CBC-MAC (CCM) formano il meccanismo di autenticazione e cifratura usato dallo standard IEEE 802.15.4. Il meccanismo consiste nella generazione di un codice di integrità seguito dalla cifratura dei dati da inviare e del codice di integrità stesso. L'output consiste nei dati e nel codice di integrità cifrati.

Cifratura AES

L'algoritmo di cifratura AES non viene descritto in dettaglio. Basti sapere che questo algoritmo è pensato per utilizzare blocchi da 128 bit; la lunghezza della chiave deve essere quindi di 128 bit. Le caratteristiche specifiche relative alle modalità di cifratura non sono state affrontate.

B.4.3 Scansione dei canali

Ogni dispositivo che vuole avviare o partecipare ad una PAN deve essere in grado di effettuare lo scanning dei canali. Il livello MAC prevede quattro tipi di scansione dei canali:

- ED channelscan;
- Active channelscan;
- Passive channelscan;
- Orphanchannelscan.

Un FFD deve essere in grado di effettuare tutti i tipi di scansione, un RFD è obbligato ad implementare solo il passive e l'orphanchannelscan, come mostrato in Tabella 16:

Tabella 16: Scansione dei canali

	ED channel scan	Active channel scan	Passive channel scan	Orphanchannel scan
FFD	X	X	X	X
RFD			X	X

Lo strato subito superiore dovrebbe presentare la richiesta di una determinata pagina di canale contenente la lista dei canali scelti per quella determinata pagina. I canali sono scannerizzati dal più basso numero di canale al più alto. Per la durata della scansione, il dispositivo deve sospendere le trasmissioni beacon, se possibile, e si accettano solo i data frame ricevuti dal livello PHY che sono rilevanti per la scansione in corso. Dopo la conclusione della scansione, il dispositivo può riprendere le trasmissioni beacon.

Scansione di canale ED

L'ED channelscan permette ad un FFD di ottenere una misura del picco di energia in ogni canale richiesto. Tale misura viene usata da un dispositivo, che vuole eleggersi PAN coordinator, per selezionare il canale nel suo POS con minori interferenze. La scansione ED deve terminare sia quando il numero di misurazioni memorizzate dei canali è pari alla massima implementazione specificata sia se l'energia è stata misurata su ogni canale logico specificato.

Scansione attiva

L'activescan permette ad un FFD di scoprire tutti i coordinator nel proprio POS. Viene usato da un FFD in due casi: se vuole eleggersi coordinator, per scegliere un identificatore PAN unico (per il suo POS), o se vuole associarsi ad una PAN, per sapere a quali coordinator può inviare la richiesta di associazione. In entrambi i casi, l'activescan su un canale inizia inviando il comando *beacon request*. Il dispositivo accende quindi il ricevitore e si mette in ascolto sul canale per $aBaseSuperframeDuration * (2^{\text{scanDuration}} + 1)$. In questo periodo di tempo, tutti i frame ricevuti per i livelli superiori al livello fisico, che non siano *beacon frame*, vengono scartati. I livelli superiori provvedono a memorizzare in un PAN descriptor le informazioni significative presenti in ogni beacon unico. L'activescan su un canale termina quando si è ascoltato il canale per il tempo dovuto o si è esaurito le risorse di memoria per registrare PAN descriptor. L'activescan termina quando tutti i canali sono stati scansionati.

Scansione passiva

Il passive scan permette ad un RFD di associarsi ad una PAN. Il processo del passive scan è lo stesso dell'activescan, l'unica differenza è che nel passive scan non si invia il comando di beacon request ma ci si mette subito in ascolto del canale per $aBaseSuperframeDuration * (2^{\text{scanDuration}} + 1)$

simboli. Durante questo periodo il dispositivo si comporta come se stesse eseguendo un *activescan*. La scansione su un canale termina quando il canale è stato ascoltato per il tempo dovuto oppure sono esaurite le risorse per registrare le informazioni dei beacon. Il *passive scan* termina quando lo *scanning* è terminato su tutti i canali.

Scansione orfana (*orphanscan*)

L'*orphanscan* permette ad un dispositivo che ha perso la sincronizzazione con il suo coordinator di risincronizzarsi. Il dispositivo che ha perso la sincronizzazione e avvia l'*orphanscan*, trasmette il segnale *orphannotification*. Il comando viene trasmesso su un canale alla volta e dopo la trasmissione, il dispositivo si mette in ascolto sul canale stesso per *aResponseWaitTime* simboli. Un coordinator che riceve il segnale di *orphannotification* deve accedere alla propria *device list* e controllare se l'indirizzo del mittente appare nella lista. Se sì, il coordinator risponde con un *coordinator realignment* che contiene i parametri necessari al dispositivo "orfano" per riallinearsi. La ricerca dell'indirizzo e la risposta devono essere eseguite in *aResponseWaitTime*. Se il coordinator non trova l'indirizzo del mittente nella sua lista scarta semplicemente il comando di *orphannotification*. L'*orphannotificationscan* termina quando il dispositivo orfano riceve il comando di *coordinator realignment* oppure ha ascoltato tutti i canali per il tempo dovuto.

Conflitti

Oltre alla scansione dei canali, il livello MAC provvede al servizio di rilevazione e risoluzione di conflitti tra identificatori PAN (*PAN identifier conflict resolution*). Un conflitto tra identificatori PAN si ha quando:

- Un coordinator riceve un beacon frame con il sottocampo PAN coordinator impostato ad 1 ed un *macPANId* uguale al suo
- Un dispositivo riceve un beacon frame con il sottocampo PAN coordinator impostato ad 1, un identificatore PAN uguale al proprio *macPANId* ed un indirizzo che non corrisponde né al *macCoordShortAddress* né al *macCoordExtendedAddress*.

In entrambi i casi il dispositivo avvia il processo di *activescan* e seleziona un nuovo identificatore PAN. Effettuata la scelta del nuovo identificatore, il coordinator invia in broadcast il comando *coordinator realignment* contenente il nuovo *macPANId*. I dispositivi associati processeranno il comando registrando il nuovo *macPANId*.