

**POLITECNICO DI TORINO**

**Corso di Laurea Magistrale  
in Ingegneria Civile**

Tesi di Laurea

**ITS nel trasporto pubblico locale:  
proposta di un sistema innovativo di  
conteggio passeggeri.**



**Relatore**

Bruno Dalla Chiara

**Relatore esterno**

Alberto Forchino (GTT)

**Candidato**

Rossella Trancuccio

Settembre 2018



## Indice

<b>Introduzione .....</b>	<b>3</b>
<b>1 Stato dell'arte del trasporto pubblico .....</b>	<b>5</b>
1.1 I processi di riforma nel settore del TPL.....	5
1.2 Normativa europea sulla qualità del servizio di TPL.....	10
1.3 Quadro normativo italiano relativo al conteggio dei passeggeri nel TPL .....	12
1.4 Sviluppo degli ITS in Europa e in Italia: normativa, obiettivi e benefici .....	16
1.4.1 Applicazioni ITS al conteggio passeggeri: i sistemi APC .....	19
1.4.1.1 Rilevazione dei passeggeri indipendente dal biglietto di viaggio .....	20
1.4.1.2 Rilevazione dei passeggeri dipendente dal titolo di viaggio .....	28
<b>2 Caso di studio: Gruppo Torinese Trasporti S.p.A. ....</b>	<b>31</b>
2.1 Gtt azienda e rapporti con Città e Regione .....	31
2.2 Dotazione ITS dell'azienda.....	34
2.2.1 Lo switch di bordo .....	35
2.2.2 Il dispositivo AVM .....	36
2.2.2.1 Protocollo di scambio dati INFO_NET.....	37
2.2.2.2 Protocollo di scambio dati INFO_NET2.....	39
2.2.3 Il sistema di bigliettazione elettronica.....	41
2.2.3.1 Protocollo di comunicazione INFO_BIP e INFO_BIP2 .....	43
2.2.4 Il sistema di videosorveglianza .....	45
<b>3 Metodologia e strumentazione utilizzata .....</b>	<b>47</b>
3.1 Scelta degli autobus di riferimento .....	48
3.2 Utilizzo di tecnologie in dotazione ai veicoli.....	51
3.2.1 Videosorveglianza a bordo.....	51
3.2.2 Architettura del CANbus .....	53
3.2.3 Circuito pneumatico e sistema ECAS .....	55
3.3 Utilizzo di tecnologie non in dotazione ai veicoli.....	57
3.3.1 Trasduttori di pressione.....	58
3.3.2 Convertitore CAN/IP .....	64

---

3.3.3	Unità di memorizzazione a bordo .....	67
3.3.4	Tecniche di video analisi.....	72
3.4	Banco di prova in laboratorio.....	81
3.5	Montaggio sul veicolo.....	84
<b>4</b>	<b>Raccolta dei dati e analisi dei risultati .....</b>	<b>91</b>
4.1	Elaborazione dei dati di pressione .....	92
4.2	Raccolta dei dati con conteggio manuale.....	95
4.3	Elaborazione dei dati dell'analisi video .....	96
4.4	Unione dei dati.....	97
4.5	Analisi dei risultati e stima degli errori.....	99
4.5.1	Sistema basato sui trasduttori di pressione.....	99
4.5.2	Sistema basato sull'analisi video .....	108
4.5.3	Integrazione delle due tecnologie.....	111
4.6	Future implementazioni .....	116
4.6.1	Protocollo di comunicazione INFO_PAX .....	117
<b>5</b>	<b>Conclusioni .....</b>	<b>121</b>
	<b>Ringraziamenti professionali .....</b>	<b>123</b>
	<b>Riferimenti.....</b>	<b>125</b>

**Allegati**

## Introduzione

La qualità di un sistema di trasporto pubblico è soggetta a numerosi fattori: le considerazioni relative al comfort e alla sicurezza all'interno del veicolo, il tempo necessario per coprire i percorsi, la praticità e l'esistenza delle infrastrutture di supporto.

Per i potenziali utenti, le variabili più importanti quando si definisce la qualità attesa dal trasporto pubblico sono il tempo di attesa, il tempo di viaggio, il comfort e il livello di occupazione.

Gli effetti dell'elevata densità di passeggeri alle fermate degli autobus e all'interno dei mezzi influiscono sulla domanda, sulla fornitura e sulle operazioni di trasporto pubblico: infatti, vengono influenzati la velocità operativa, i tempi di attesa, l'affidabilità del tempo di viaggio, il benessere dei passeggeri, la scelta del percorso, i livelli ottimali di frequenza e la dimensione del veicolo.

Inoltre, la vigente normativa sta evolvendo verso le nuove tecnologie per il conteggio passeggeri, proponendo di utilizzare per la contribuzione pubblica dei parametri inerenti i fattori di carico.

Questi dati sono necessari sia alle aziende erogatrici del servizio, sia agli enti che regolano il finanziamento: infatti le prime necessitano di dati di domanda per ottimizzare e migliorare il servizio offerto, agendo sulla gestione delle risorse, mentre le amministrazioni comunali e regionali devono garantire un livello di servizio ottimale alla cittadinanza.

L'azienda di trasporto Gruppo Torinese Trasporti (GTT) S.p.A. intende rinnovare la propria flotta secondo il nuovo Piano autobus regionale per il rinnovo del materiale rotabile per gli anni 2017-2019. Il Piano impone la presenza di un conta-passeggeri come vincolo al finanziamento di nuovi autobus.

In vista di una possibile richiesta di retrofit sui veicoli già presenti, la seguente tesi vuole essere uno strumento utile per l'azienda, al fine di valutare l'accuratezza di un sistema conta-passeggeri che riadatti alcune tecnologie già presenti sull'autobus.

Si è scelto di condurre uno studio in collaborazione con la suddetta azienda, presso l'ufficio Sistemi e Progetti Telematici, che si occupa della gestione dei sistemi informativi e telematici a supporto del TPL urbano e suburbano, e presso l'ufficio Ingegneria di Manutenzione/Prodotto Bus, che si occupa dell'organizzazione per il mantenimento e la riparazione dei veicoli.

L'analisi è relativa a due tecnologie applicabili per la rilevazione del numero di passeggeri nel trasporto pubblico locale:

- sensori che misurano la pressione dell'aria inviata alle sospensioni pneumatiche degli autobus, per stimare il carico di passeggeri a bordo;
- videosorveglianza a bordo dei mezzi, analizzata attraverso tecniche di computer vision per determinare il numero di passeggeri presenti.

Entrambi i sistemi saranno comparati con un conteggio manuale, in modo da poter dare una percentuale sull'errore di ogni singola tecnologia e valutare come realizzare una sintesi dei due sistemi al fine di avere un unico conteggio.

## 1 Stato dell'arte del trasporto pubblico

### 1.1 I processi di riforma nel settore del TPL

In principio, lo Stato considerava il servizio di trasporto pubblico alla stregua degli altri servizi pubblici, senza una normativa che raccogliesse la totalità delle disposizioni legate a questo settore.

A seguito del **decreto presidenziale n. 5 del 14 gennaio 1972**, iniziò un mutamento nel settore per cui le funzioni amministrative riguardanti le tramvie e linee automobilistiche di interesse regionale furono trasferite alle Regioni a statuto ordinario.

Con il successivo **D.P.R. 24 luglio 1977, n. 616**, furono attribuiti alle Regioni compiti di pianificazione. *“Le condizioni generali del trasporto pubblico risultavano tuttavia scadenti, con scarsi investimenti, diminuzione della domanda, deficit di gestione sempre crescenti. Si assisteva, in quegli anni, al continuo aumento dei debiti delle aziende pubbliche, risanati con conseguente aumento del debito pubblico.”* (Casagrande 2015)

Nel **1981 con la legge quadro n. 151**: *“Legge quadro per l’ordinamento, la ristrutturazione ed il potenziamento dei trasporti pubblici locali. Istituzione del Fondo nazionale per il ripiano dei disavanzi di esercizio e per gli investimenti nel settore.”* è stato introdotto un corpus normativo organico e completo finalizzato alla rinascita del TPL (Trasporto Pubblico Locale), colpito da una profonda crisi dovuta al processo di pubblicizzazione dei servizi, iniziato intorno agli anni '70, che ha portato ad un utilizzo *“sociale”* delle aziende del TPL e, di conseguenza, alla creazione di profondi deficit nei bilanci aziendali. (Isfort – Istituto Superiore di Formazione e Ricerca per i Trasporti 2014)

L’articolo 1 della legge sopracitata definisce come trasporti pubblici locali tutti i *“servizi adibiti normalmente al trasporto collettivo di persone e di cose effettuati in modo continuativo o periodico con itinerari, orari, frequenze e tariffe prestabilite e offerta indifferenziata”*, le Regioni possono esercitare direttamente il servizio, creando appositamente aziende speciali, oppure possono concederlo ad aziende private.

Una delle novità della legge n. 151/81 era l’introduzione del costo economico standardizzato, necessario per la definizione, da parte di ciascuna regione, dei livelli di finanziamento alle imprese sulla base di principi di gestione aziendale produttivi, nonché sulle caratteristiche tecnico-ambientali di ciascuna realtà (ad esempio, velocità media d’esercizio, la densità dell’utenza per chilometro di rete servita e l’estensione del network), abbandonando quindi la logica del costo storico e stimolando le imprese a migliorare la propria produttività ed efficienza.

Le libertà di definizione del costo standard che la legge n. 151/81 attribuiva alle regioni ben presto si è rilevata come principale punto debole del meccanismo: infatti la mancanza di una metodologia unica e di criteri standard nazionali, ha determinato forti disparità tra le regioni stesse. Alcune hanno adottato meccanismi basati sulla spesa storica, oltretutto considerando le aziende meno efficienti, altre hanno allineato il costo standard in considerazione delle risorse disponibili, solo poche hanno realmente individuato e poi attuato meccanismi per promuovere miglioramenti nella gestione delle imprese.

L'assenza di norme in grado di limitare i rischi di un trade on-trade off tra ente regolatore ed ente proprietario dell'impresa ha nei fatti prodotto, da un lato, l'assunzione da parte di molte imprese del ruolo di programmatore dei servizi e quindi di definizione dei servizi stessi non basata sulle esigenze degli utenti, bensì sulle opportunità per l'azienda (cattura del regolatore), dall'altro lato, l'assenza di un soggetto pubblico capace di controllare i livelli di efficienza raggiunti nella gestione dell'azienda, oltre che la qualità e la quantità dei servizi erogati.

Inoltre, la norma introduce il Fondo Nazionale Trasporti, che si differenziava in due componenti: una per il pareggio dei debiti di esercizio e l'altra per gli investimenti. La distribuzione del Fondo doveva essere effettuata dal Ministro dei Trasporti sulla base dei servizi effettuati, delle caratteristiche del territorio su cui i servizi si svolgono e le condizioni di bilancio delle aziende.

Il FNT, inoltre, *“presentava un nuovo meccanismo di incentivazione al recupero di efficienza del settore: il 10% del Fondo doveva essere distribuito tra le aziende premiando quelle che riuscivano a migliorare i propri indici gestionali”* (Casagrande 2015). Tuttavia, *“la resistenza di diversi operatori al cambiamento, in parte giustificati dalla scelta di un meccanismo che per certi versi andava a premiare le aziende più inefficienti, determinò la decisione di basare la ripartizione del FNT sulla spesa storica rilevata nel 1983”*. (Isfort – Istituto Superiore di Formazione e Ricerca per i Trasporti 2014)

Secondo la Corte dei Conti<sup>1</sup>, il limite di questa riforma consiste, sostanzialmente, nell'aver garantito alle aziende di TPL il pareggio dei disavanzi maturati, attraverso interventi straordinari da parte dello Stato, i quali a loro volta hanno incrementato la spesa pubblica.

---

<sup>1</sup> Corte dei Conti (2003), La gestione del trasporto pubblico locale e lo stato di attuazione della riforma a livello regionale –Relazione comparativa e di sintesi sull'andamento dei trasporti locali, Roma, p. 4.

Nel 1997, con il **D.lgs. n. 422/97**, cosiddetto “Burlando”, nato per superare i difetti emersi dalla legge n. 151/81, è stata tentata una modernizzazione del settore ponendo fine ai ripetuti interventi per la copertura degli ammanchi aziendali.

I principali interventi riguardavano:

- *“il decentramento delle funzioni dallo Stato alle Regioni (e da queste agli Enti locali in una logica di sussidiarietà);*
- *il recupero della programmazione territoriale (dai Piani regionali dei trasporti, ai Piani di bacino, alla definizione dei servizi minimi);*
  - *l'efficientamento del settore;*
- *la liberalizzazione del settore attraverso l'affidamento dei servizi con procedure concorsuali”. (Isfort – Istituto Superiore di Formazione e Ricerca per i Trasporti 2014)*

Inoltre, vengono ridefiniti i compiti delle Regioni secondo le disposizioni presenti all'art. 14, comma 2 (D.lgs 422/97 1997):

*“2. Nell'esercizio dei compiti di programmazione, le regioni:*

- a) definiscono gli indirizzi per la pianificazione dei trasporti locali ed in particolare per i piani di bacino;*
- b) redigono i piani regionali dei trasporti e loro aggiornamenti tenendo conto della programmazione degli enti locali ed in particolare dei piani di bacino predisposti dalle province e, ove esistenti, dalle città metropolitane, in connessione con le previsioni di assetto territoriale e di sviluppo economico e con il fine di assicurare una rete di trasporto che privilegi le integrazioni tra le varie modalità favorendo in particolar modo quelle a minore impatto sotto il profilo ambientale.*

*3. Per la regolamentazione dei servizi di trasporto pubblico locale, con riferimento ai servizi minimi, di cui all'articolo 16, le regioni, sentite le organizzazioni sindacali confederali e le associazioni dei consumatori, approvano programmi triennali dei servizi di trasporto pubblico locale, che individuano:*

- a) la rete e l'organizzazione dei servizi;*
- b) l'integrazione modale e tariffaria;*
- c) le risorse da destinare all'esercizio e agli investimenti;*
- d) le modalità di determinazione delle tariffe;*
- e) le modalità di attuazione e revisione dei contratti di servizio pubblico;*

- f) *il sistema di monitoraggio dei servizi;*  
 g) *i criteri per la riduzione della congestione e dell'inquinamento ambientale.*"

Per quanto riguarda l'organizzazione del servizio si osservano diverse innovazioni: la trasformazione delle aziende speciali e dei consorzi in società per azioni o cooperative a responsabilità limitata, il ricorso a procedure concorsuali per la scelta del gestore, l'introduzione dei contratti di servizio per disciplinare il rapporto tra l'Ente pubblico e la società di gestione. In particolare, *"i contratti di servizio assicurano la completa corrispondenza tra oneri per servizi e risorse disponibili, al netto dei proventi tariffari e sono stipulati prima dell'inizio del loro periodo di validità"*.

Il decreto ha inoltre introdotto l'obbligo di trasformazione, entro il 2000, delle aziende pubbliche (aziende speciali) in società per azioni.

Ciò è sostanzialmente avvenuto già all'interno del periodo transitorio stabilito dal **D.lgs. n. 400/99** (31 dicembre 2000) e rappresenta uno degli interventi realizzati per la promozione della crescita industriale del TPL.

È importante citare il tentativo di porre fine all'unione tra ente regolatore e società responsabile della gestione, sia attraverso la definizione dei ruoli e delle competenze, sia con l'introduzione del contratto di servizio.

Inoltre, con il contratto di servizio, il legislatore ha introdotto il principio della certezza finanziaria e della copertura di bilancio, con l'obiettivo di porre fine al meccanismo del ripiano a piè di lista; nei contratti vi era la previsione di un *"progressivo incremento del rapporto tra ricavi da traffico e costi operativi, rapporto che, al netto dei costi di infrastruttura, dovrà esser pari almeno allo 0,35 a partire dal 1 gennaio 2000"*<sup>2</sup>.

L'obiettivo prefissato, contrariamente alla previsione, non è mai stato raggiunto: infatti, come si può evincere dal grafico sottostante, le aziende di trasporto fino al 2011 non arrivarono a coprire più del 32%.

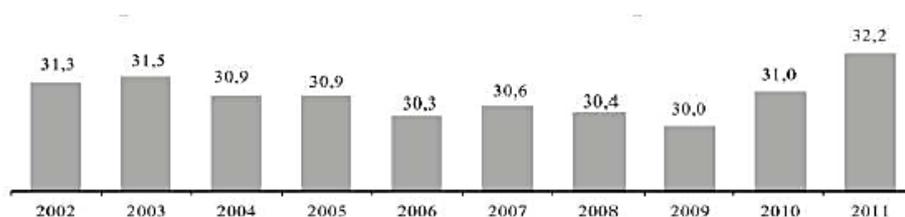


Figura 1-1: Rapporti ricavi da traffico/costi operativi del periodo 2002-2011 (Asstra, Hermes, Anav e Isfort 2013)

<sup>2</sup> Art. 19, comma 5, del D.lgs. n. 422/97.

Un altro importante testo normativo è il **Regolamento CE n. 1370/2007**, Regolamento del Parlamento europeo e del Consiglio che disciplina i servizi pubblici di trasporto di passeggeri su strada e per ferrovia, il quale *“ha lo scopo di definire con quali modalità le autorità competenti possono intervenire, nel rispetto del diritto comunitario, nel settore dei trasporti pubblici di passeggeri per garantire la fornitura di servizi di interesse generale”*.

Il rapporto tra l'autorità e l'operatore è regolato attraverso un contratto di servizio, costituito da *“uno o più atti giuridicamente vincolanti che formalizzano l'accordo tra un'autorità competente e un operatore di servizio pubblico mediante il quale all'operatore stesso è affidata la gestione e la fornitura dei servizi di trasporto pubblico di passeggeri soggetti agli obblighi di servizio pubblico”*<sup>3</sup>.

I contratti di servizio e le norme generali:

*“a) definiscono con chiarezza gli obblighi di servizio pubblico che l'operatore del servizio pubblico deve assolvere e le zone geografiche interessate;*

*b) stabiliscono in anticipo, in modo obiettivo e trasparente i parametri in base ai quali deve essere calcolata l'eventuale compensazione e la natura e la portata degli eventuali diritti di esclusiva concessi, in modo da impedire una compensazione eccessiva;*

*c) definiscono le modalità di ripartizione dei costi connessi alla fornitura di servizi”*<sup>4</sup>.

Il Regolamento, inoltre, disciplina le modalità di affidamento del servizio di TPL:

- affidamento attraverso procedure di gara;
- aggiudicazione diretta dei contratti di servizio pubblico di trasporto per ferrovia e dei contratti di servizio pubblico il cui valore annuo medio stimato è inferiore a 1 milione di euro oppure che riguardano la fornitura di servizi di trasporto pubblico di passeggeri inferiore a 300000 km all'anno (affidamento “sotto soglia”);
- fornitura dei servizi da parte delle stesse autorità o attraverso un soggetto giuridicamente distinto ma su cui l'ente esercita un controllo analogo a quello che esercita sulle proprie strutture. (Parlamento Europeo e Consiglio 2007)

La **legge 244/2007**, Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato, nota come Finanziaria 2008, istituisce l'Osservatorio nazionale sulle politiche

---

<sup>3</sup> Regolamento (CE) n. 1370/2007 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 ottobre 2007, relativo ai servizi pubblici di trasporto di passeggeri su strada e per ferrovia e che abroga i regolamenti del Consiglio (CEE) n. 1191/69 e (CEE) n. 1107/70.

<sup>4</sup> Art.4, comma 1, del Regolamento CE n 1370/2007.

del trasporto pubblico locale, che ha come obiettivo creare una banca dati e un sistema informativo pubblico correlati a quelli regionali e di assicurare la verifica dell'andamento del settore e del completamento del processo di riforma.<sup>5</sup>

Sono inoltre presenti disposizioni volte a incidere sugli aspetti finanziari: le Regioni a statuto ordinario ottengono le risorse necessarie attraverso la compartecipazione al gettito dell'accisa sul gasolio per autotrazione e pertanto i trasferimenti statali vengono soppressi.

Un altro cambiamento presente in questa Finanziaria è *“l’istituzione del Fondo per la promozione e il sostegno dello sviluppo del trasporto pubblico locale: era previsto che questo fondo fosse ripartito sulla base di criteri di premialità, legati al miglioramento della qualità dei servizi offerti, alla mobilità pubblica e alla tutela dell’ambiente”*. (Casagrande 2015)

## *1.2 Normativa europea sulla qualità del servizio di TPL*

La norma europea **UNI EN 13816:2002** specifica il requisito per definire, individuare e misurare la qualità del servizio nel trasporto pubblico di passeggeri (PPT) e fornisce disposizioni per la scelta dei relativi metodi di misurazione. È destinata ad essere utilizzata dai fornitori di servizi nella presentazione e nel monitoraggio dei loro servizi, ma è anche raccomandato per l'uso da parte delle autorità e agenzie responsabili per l'acquisto di servizi PPT nella preparazione degli inviti a presentare offerte. Il suo utilizzo promuove la traduzione delle aspettative e delle percezioni di qualità dei clienti in parametri di qualità fattibili, misurabili e gestibili. È riconosciuto che un singolo individuo o azienda, o due o più parti che condividono la responsabilità per la prestazione di un servizio PPT in cooperazione (ad esempio, autorità e operatore) possono, in pratica, cercare di rispettare la norma. In quest'ultima situazione, è fortemente raccomandato che il rapporto tra le parti sia regolato da un accordo formale (clausola 5.2). È importante notare che è il servizio, non il fornitore di servizi, che è conforme allo standard. L'allegato A riporta l'elenco completo dei criteri di qualità, l'allegato B fornisce un glossario dei termini, l'allegato C tratta gli aspetti della misurazione della prestazione. Lo standard è destinato a essere applicabile ai servizi PPT, come definito nella clausola 2.1, ma non è necessario escludere altri servizi di trasporto (ad esempio i sistemi di noleggio e taxi).

---

<sup>5</sup> Art.1, comma 300 della Legge 24 dicembre 2007, n. 244.

La norma distingue tra 4 tipi di qualità del servizio:

- dal punto di vista del cliente/utente la *qualità attesa* e la *qualità percepita*;
- dal punto di vista dell'organizzazione che eroga il servizio la *qualità progettata* e la *qualità erogata*.

Questi aspetti sono posti in relazione secondo un principio ciclico (qualità del servizio attesa » qualità del servizio progettata » qualità del servizio erogata » qualità del servizio percepita » qualità del servizio attesa ecc....). La qualità erogata è il livello di qualità ottenuto su base quotidiana ed è misurata dal punto di vista del cliente/utente. La norma illustra il significato delle differenze tra le 4 qualità del servizio e, in particolare, la diversità tra qualità attesa e qualità percepita: la prima rappresenta il livello di qualità richiesto dal cliente, la seconda rappresenta il livello di qualità effettivamente percepito dal cliente all'atto della fruizione del servizio; dal punto di vista dell'erogatore del servizio si può distinguere il livello di qualità che l'azienda si prefigge di erogare ai propri clienti rispetto al livello di qualità effettivamente realizzato dall'Azienda.



Figura 1-2: Principio ciclico di qualità, secondo la norma UNI EN 13816. (Ferpress s.d.)

La qualità del servizio di trasporto, in base agli standard della norma, è definita attraverso una griglia di macro-criteri ricondotti a 8 categorie principali:

- 1) Disponibilità
- 2) Accessibilità
- 3) Informazioni
- 4) Tempo
- 5) Attenzione al cliente
- 6) Comfort
- 7) Sicurezza
- 8) Impatto ambientale

Questi criteri, a loro volta, sono suddivisi in 2 sottolivelli che vengono fatti corrispondere a singoli indicatori di qualità.

La certificazione secondo la UNI EN 13816:2002 implica che l'organizzazione nell'ambito del proprio sistema di gestione per la qualità (esplicitamente richiamato dalla norma) assicuri il rispetto dei criteri qualità e relativi sottolivelli, individuando specifiche misure di soddisfazione e i metodi di misurazione. Di particolare interesse il fatto che la norma suggerisca, tra le misure per la prestazione dei servizi, oltre alle tradizionali indagini sulla soddisfazione del cliente (ISC) e alle misurazioni dirette della prestazione (MDM), anche le indagini cliente misterioso (ICM) basate il più possibile su osservazioni obiettive effettuate da osservatori in incognito opportunamente addestrati. (Certificazione di servizio secondo UNI EN 13816 s.d.)

Tra gli indicatori di qualità del servizio, elencati all'appendice A della norma, la categoria maggiormente importante per l'oggetto di studio è la *disponibilità*, la quale viene suddivisa nelle seguenti categorie:

- Rete:
  - Distanza tra due punti;
  - Necessità di collegamenti;
  - Area coperta;
- Operatività:
  - Frequenza;
  - Fattore di carico del veicolo.

Il fattore di carico del veicolo, infatti, è strettamente connesso al conteggio dei passeggeri presenti sul veicolo e al numero di posti offerti dall' esercente del servizio.

### 1.3 Quadro normativo italiano relativo al conteggio dei passeggeri nel TPL

Il recente decreto **D.P.C.M. dell'11 marzo 2013** definisce i criteri e le modalità con cui ripartire il Fondo nazionale per il concorso dello Stato agli oneri del trasporto pubblico locale, anche ferroviario, nelle regioni a statuto ordinario.

Visto l'art. 16-bis del decreto-legge n. 95/2012, secondo il quale i criteri di cui al comma 3 del medesimo articolo sono, in particolare, finalizzati ad incentivare le regioni e gli enti locali a razionalizzare ed efficientare la programmazione e la gestione dei servizi relativi al trasporto pubblico locale, anche ferroviario, l'obiettivo è ottenere "*un'offerta di servizio piu' idonea, piu' efficiente ed economica per il soddisfacimento della domanda di*

*trasporto pubblico" al fine di conseguire "la progressiva riduzione dei servizi offerti in eccesso in relazione alla domanda e il corrispondente incremento qualitativo e quantitativo dei servizi a domanda elevata verificato attraverso l'incremento annuale del load factor calcolato su base regionale nella misura che sarà determinata in sede di revisione triennale del presente D.P.C.M. ai sensi del successivo art. 4." (Gazzetta Ufficiale 2013)*

Viene definito come load factor il coefficiente d'occupazione dei mezzi, calcolato con il rapporto tra il numero di passeggeri per km trasportati e il numero di posti per km offerti.

Secondo il decreto nel primo triennio di applicazione l'obiettivo risulta verificato attraverso l'incremento del 2,5% del numero dei passeggeri trasportati su base regionale, determinato anche attraverso la valutazione del numero dei titoli di viaggio.

Il soddisfacimento dell'obiettivo di cui al punto b) del richiamato art. 16-bis, finalizzato a conseguire *"il progressivo incremento del rapporto tra ricavi da traffico e costi operativi"* è verificato attraverso l'incremento, su base annua, rispetto all'anno precedente, del rapporto calcolato su base regionale tra ricavi da traffico e la somma dei ricavi da traffico e dei corrispettivi di servizio al netto della quota relativa all'infrastruttura di almeno lo 0,03 per rapporti di partenza inferiori o uguali allo 0,20.

Il soddisfacimento dell'obiettivo di cui al punto d) del richiamato art. 16-bis, finalizzato a conseguire *"la definizione di livelli occupazionali appropriati"* è verificato attraverso il mantenimento o l'incremento dei livelli occupazionali di settore.

Il soddisfacimento dell'obiettivo di cui al punto e) del richiamato art. 16-bis, finalizzato a conseguire *"la previsione di idonei strumenti di monitoraggio e di verifica"* è verificato attraverso la trasmissione all'Osservatorio per il trasporto pubblico locale e alle regioni dei dati richiesti dal Ministero delle infrastrutture e dei trasporti anche ai fini delle verifiche di cui ai punti precedenti.

La ripartizione delle risorse del Fondo nazionale per il concorso finanziario dello Stato agli oneri del trasporto pubblico locale è descritta negli articoli 2 e 3. In particolare, l'articolo 2 stabilisce che il 90% delle risorse è distribuito alle Regioni in base alle percentuali riportate nella tabella allegata al decreto (per il Piemonte tale percentuale è il 9,84%). L'articolo 3 definisce come deve essere ripartito il rimanente 10%, sulla base dell'offerta di servizio, dell'incremento del rapporto tra ricavi da traffico/costi operativi e dei livelli occupazionali.

L'impatto maggiore, a seguito del decreto, ricade principalmente sulle aziende meno efficienti, in quanto viene premiato l'incremento del load factor e non il valore assoluto

raggiunto, dunque ricompensando gli erogatori del servizio che si muovono verso una maggiore efficienza dell'offerta. Per le aziende già di partenza efficienti risulterebbe difficile incrementare ulteriormente un load factor elevato.

Il numero di posti offerti è un dato facilmente reperibile conoscendo la capacità dei veicoli e il tragitto degli stessi; per il numero di passeggeri trasportati, invece, il dato non è immediato e occorre utilizzare degli strumenti di conteggio automatico a bordo, alcuni dei quali verranno descritti nei paragrafi successivi, con il focus particolare sulla strumentazione utilizzata per svolgere la seguente tesi.

Nel 2016 il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ha promulgato il **Decreto Interministeriale n. 345 del 28/10/2016** in cui vengono descritte le caratteristiche che devono possedere i veicoli di nuova acquisizione dalle aziende di trasporto pubblico affinché siano finanziabili: una delle caratteristiche è la dotazione di un dispositivo contapasseggeri, motivo per cui il presente decreto rappresenta un presupposto fondamentale per lo svolgimento della tesi.

In particolare, all'art.2:

1. *“Il presente decreto provvede a programmare il riparto alle regioni delle risorse di cui all'articolo 1, comma 83, della legge 27 dicembre 2013 n.147, come rifinanziate dalla tabella E, allegata alla legge 23 dicembre 2014, n.190, destinate, ai sensi dell'articolo 1, comma 223, della citata legge n.190 del 2014, al rinnovo dei parchi automobilistici destinati al trasporto pubblico locale regionale e interregionale.*
2. *Gli autobus destinati al rinnovo dei parchi automobilistici di cui al comma 1 devono possedere le seguenti caratteristiche:*
  - a) *Più recente classe di emissione di gas di scarico o assenza di emissioni;*
  - b) *Dotazione di dispositivo di conteggio dei passeggeri in salita e discesa;*
  - c) *Predisposizione per il rilevamento posizione durante la corsa;*
  - d) *Predisposizione per la validazione elettronica a bordo dei titoli di viaggio.” (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 2016)*

Negli articoli successivi viene descritto il sistema di attribuzione dei finanziamenti, basato sui criteri della legge n. 190 del 2014: in particolare, all'art. 3 del D.I. 345 viene utilizzato il criterio del *“migliore rapporto tra posto/km prodotti e passeggeri trasportati”* per attribuire il 15% del Fondo alle regioni.

Inoltre, sono presenti dei vincoli sull'acquisto di veicoli finanziabili agli art. 17 e 18 per cui:

*“I veicoli acquistati con le risorse assegnate con il presente decreto devono essere di proprietà di un ente pubblico. Possono, altresì, essere di proprietà di un soggetto terzo, purché ricorra un vincolo di reversibilità all'ente pubblico istituzionalmente competente per il servizio, ovvero ai nuovi aggiudicatari del servizio, previo riscatto dell'eventuale quota residua di ammortamento del soggetto terzo stesso, o, nei casi di cui al punto 1 della misura 5 dell'allegato A alla deliberazione n. 49 del 2015 dell'Autorità di regolazione dei trasporti, del valore di subentro di cui al punto 4 della medesima misura.”<sup>6</sup>*

e inoltre

*“I veicoli acquistati con le risorse assegnate con il presente decreto possono essere utilizzati esclusivamente per i servizi di trasporto pubblico locale, regionale, interregionale e transfrontaliero.”<sup>7</sup>*

Lo schema di atto d'obbligo al rispetto del vincolo di reversibilità previsto dei precedenti articoli è stato approvato dalla Regione Piemonte – Direzione Opere pubbliche, difesa del suolo, montagna, foreste, protezione civile, trasporti e logistica con **D.D. n. 198 del 25/01/2018**.

Con la **DGR n. 40-5004 del 08/05/2017** viene definito il Piano autobus della Regione Piemonte, il quale stabilisce il diritto al cofinanziamento dei nuovi autobus e, inoltre, demanda all'Agenzia della Mobilità Piemontese tutte le attività tecnico-amministrative legate alla programmazione, gestione, attuazione, verifica, contribuzione e rendicontazione degli investimenti per il rinnovo del materiale rotabile destinato ai servizi di TPL oggetto di finanziamento con le risorse disponibili nel triennio 2017-2019.

La Regione Piemonte, in conformità con l'art.2 comma 2 del D.I. n 345 del 28/10/2016, prevede di dotare i nuovi veicoli del TPL con sistemi tecnologici in grado di contare il numero di passeggeri saliti e scesi ad ogni fermata, al fine di ottenere una stima precisa dei passeggeri trasportati sia come controllo sull'evasione tariffaria, sia per il calcolo dei *load factors* dei veicoli. Per incentivare gli erogatori del servizio, viene prevista la contribuzione fino al 50% del costo d'acquisto per i veicoli immatricolati a partire dal 2015.

---

<sup>6</sup> Art.17 D.I. 345 del 28/10/2016.

<sup>7</sup> Art.18 D.I. 345 del 28/10/2016.

#### *1.4 Sviluppo degli ITS in Europa e in Italia: normativa, obiettivi e benefici*

Negli ultimi anni, visto l'incremento di domanda di mobilità, le aziende di trasporto hanno preso coscienza dell'importanza di introdurre nuovi sistemi di trasporto intelligenti: infatti, l'evolversi della tecnologia ha incentivato un mutamento nella gestione delle informazioni e nel controllo della mobilità, ottimizzando l'uso delle infrastrutture, dei veicoli e delle piattaforme logistiche.

Le prime attività di Ricerca e Sviluppo sugli ITS (Intelligent Transport Systems) risalgono alla metà degli anni 80, principalmente negli Stati Uniti e in Giappone. A partire dai primi anni 90, anche la Commissione Europea ha finanziato numerosi programmi di ricerca e implementazione di applicazioni ITS, a supporto dei piani di sviluppo adottati dalle politiche nazionali.

La direttiva **EU 2010/40/EU** (7 Luglio 2010) sul "*Quadro generale per la diffusione dei sistemi di trasporto intelligenti nel settore del trasporto stradale e nelle interfacce con altri modi di trasporto*" definisce questi sistemi di trasporto intelligenti come tecnologie basate sull'interazione fra informatica, telecomunicazioni e uso combinato dei media, che permettono di affrontare in modo innovativo i problemi legati alla mobilità pubblica e privata, attraverso lo sviluppo di soluzioni orientate alla sicurezza, efficienza, efficacia, economicità e rispetto dell'ambiente.

L'obiettivo generale della direttiva è introdurre le specifiche tecniche per attuare le normative deliberate e per armonizzare l'approccio alla diffusione degli ITS in tutta l'Unione europea.

La Commissione europea classifica gli ITS come sistemi per:

- Gestione del traffico e della mobilità;
- Informazioni utente;
- Gestione dei trasporti pubblici;
- Flotta e gestione delle merci;
- Pedaggio elettronico;
- Controllo avanzato del veicolo per la sicurezza del trasporto;
- Gestione delle emergenze e degli incidenti.

Occorre inoltre citare i sistemi per la gestione del trasporto ferroviario e del trasporto marittimo, mentre per il trasporto aereo esistono procedure e caratteristiche particolari.

La direttiva ha individuato sei azioni prioritarie per l'applicazione delle specifiche tecniche, di cui quattro sono state adottate come regolamenti delegati dalla Commissione:

- (a) fornitura di servizi di informazione di viaggio multimodale su scala UE;

- (b) fornitura di servizi di informazione sul traffico in tempo reale su scala UE;
- (c) dati e procedure per la fornitura, ove possibile, di informazioni minime universali sul traffico relative alla sicurezza stradale gratuite per gli utenti;
- (d) la disposizione armonizzata per un eCall interoperabile a livello UE;
- (e) fornitura di servizi di informazione per parcheggi sicuri e protetti per camion e veicoli commerciali;
- (f) prestazione di servizi di prenotazione per parcheggi sicuri e protetti per camion e veicoli commerciali.

Prima di adottare le specifiche, la Commissione valuta la loro conformità con l'essere efficaci ed efficienti, essere di supporto alla continuità dei servizi e la retrocompatibilità, il rispetto dell'infrastruttura esistente, promuovere l'uguaglianza di accesso, fornire servizi di tempistica e posizionamento accurati, facilitare l'intermodalità. (Parlamento europeo e Consiglio dell'Unione europea 2010)



Figura 1-3: Principi di valutazione degli ITS. (Commissione Europea 2010)

Attualmente gli ITS possono essere considerati strumenti indispensabili per la gestione della mobilità nelle aree urbane e metropolitane: quasi l'80% delle Aziende di Trasporto Pubblico Locale sono dotate di sistemi di localizzazione e monitoraggio delle flotte, mirati a migliorare l'offerta del servizio.

La Commissione Europea ha infine pubblicato quattro Regolamenti Delegati, che integrano la Direttiva 2010/40/UE e che pertanto costituiscono norme comunitarie da rispettare nel momento in cui, come avvenuto, l'Italia ha recepito la Direttiva 2010/40/UE. Tali Regolamenti Delegati sono:

- il *Regolamento Delegato (UE) della Commissione n. 305/2013 del 26 novembre 2012* che integra la Direttiva 2010/40/UE del Parlamento europeo e del Consiglio per quanto riguarda la predisposizione armonizzata in tutto il territorio

dell'Unione europea di un servizio elettronico di chiamata di emergenza (eCall) interoperabile, pubblicato in GUCE il 3 Aprile 2013;

- il *Regolamento Delegato (UE) della Commissione n. 885/2013 del 15 Maggio 2013* che integra la Direttiva 2010/40/UE del Parlamento europeo e del Consiglio per quanto riguarda la fornitura di servizi d'informazione per aree di parcheggio sicure per gli automezzi pesanti e i veicoli commerciali, pubblicato in GUCE il 18 Settembre 2013;
- il *Regolamento Delegato (UE) della Commissione n. 886/2013 del 15 Maggio 2013* che integra la Direttiva 2010/40/UE del Parlamento europeo e del Consiglio per quanto riguarda i dati e le procedure per la fornitura, ove possibile, di informazioni minime universali di traffico gratuite per la sicurezza stradale, pubblicato in GUCE il 18 Settembre 2013;
- il *Regolamento Delegato (UE) della Commissione n. 962/2015 del 18 dicembre 2014* che integra la Direttiva 2010/40/UE del Parlamento europeo e del Consiglio relativamente alla predisposizione in tutto il territorio dell'Unione europea di servizi di informazione sul traffico in tempo reale, pubblicato in GUCE il 23 Giugno 2015. (TTS Italia 2016)

Di seguito viene riportata un'immagine in cui si schematizza lo sviluppo degli ITS dal 2010 al 2017 a livello europeo.

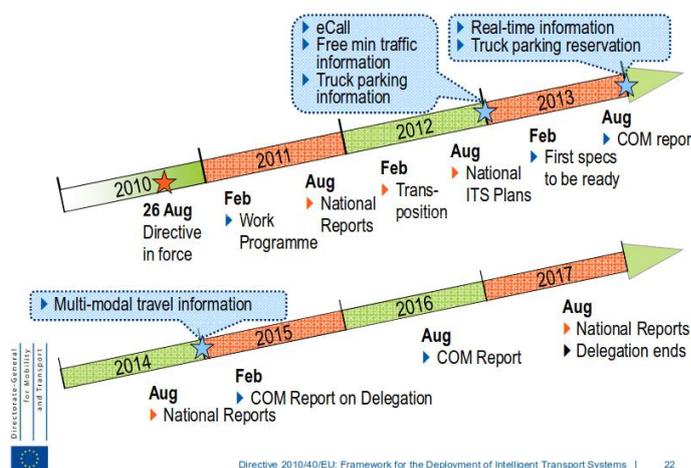


Figura 1-4: Linea temporale dello sviluppo degli ITS in Europa. (Commissione Europea 2010)

I benefici apportati da un'evoluzione dei sistemi ITS rappresentano una valida motivazione per continuare a incentivare lo sviluppo del fenomeno; fra i benefici riscontrabili si riportano: riduzione dei tempi di spostamento, diminuzione del numero di incidenti, diminuzione delle congestioni, riduzione delle emissioni inquinanti e riduzione dei consumi energetici.

I dati della Commissione Europea nel Libro Bianco “La politica europea dei trasporti fino al 2010: il momento delle scelte” rivelano che, in diverse applicazioni realizzate nei paesi europei, sono stati ottenuti una riduzione dei tempi di spostamento del 20%, una performance della capacità della rete più elevata (5-10%), una diminuzione del numero di incidenti (10-15%), una diminuzione delle congestioni (circa 15%), un decremento delle emissioni inquinanti (circa 10%) e una riduzione dei consumi energetici (circa 12%). (TTS Italia 2016)

L'Italia è uno dei Paesi Europei a più alta densità di traffico interno che si distribuisce in maniera non uniforme lungo tutta la sua rete di trasporti che comprende 168 porti, una rete ferroviaria di 20.392km, una rete stradale (strade statali, regionali, provinciali, comunali) di circa 254.686km, una rete autostradale di 6.668 km (di cui 5.724,4 km a pedaggio) e 45 aeroporti certificati Enac. (TTS Italia 2016)

L'offerta infrastrutturale risulta ancora non completamente adeguata alla domanda, con esternalità pesanti in termini di congestione, inquinamento ambientale e sicurezza, con elevata vulnerabilità verso eventi di tipo eccezionale.

L'Italia ha recepito la Direttiva con l'**Art.8 del Decreto-Legge del 18 Ottobre 2012 n. 179**, e con il **Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 1 Febbraio 2013** sulla Diffusione dei sistemi di trasporto intelligenti (ITS) in Italia; si è dotata di un **Piano d'Azione ITS Nazionale** nel Febbraio del 2014, obbligo comunitario previsto dalla Direttiva 2010/40/UE e contenente le azioni pianificate a livello nazionale sugli ITS in un orizzonte temporale di cinque anni nelle quattro aree prioritarie stabilite dalla Direttiva Europea, e le relative misure di attuazione.

I Sistemi ITS per la gestione del traffico e della mobilità sono in esercizio in numerose città italiane, tra cui Roma, Torino, Milano, Firenze, Bologna, Genova, Perugia, Napoli, Brescia, Salerno, Bari, Verona, Venezia tra le più importanti. Inoltre, come emerge da uno studio effettuato da Asstra, oltre il 50% delle Aziende di Trasporto Pubblico Locale sono dotate di sistemi di localizzazione e monitoraggio delle flotte mirati a migliorare l'offerta del servizio (TTS Italia 2016).

Tali tecnologie, infatti, offrono la possibilità di monitorare in tempo reale lo stato del servizio e di costruirne uno storico sulla base del quale pianificare e ottimizzare la flotta.

#### *1.4.1 Applicazioni ITS al conteggio passeggeri: i sistemi APC*

Le applicazioni degli ITS nel trasporto pubblico sono molteplici: in particolare, sono in via di sviluppo diverse tecnologie il cui scopo è quantificare la domanda di trasporto attraverso il conteggio dei passeggeri a bordo dei mezzi.

Le metodologie utilizzate per la rilevazione del numero di passeggeri sono molto diversificate e possono essere suddivise in due categorie:

1. Indipendente dal biglietto di viaggio:
  - a) Rilievo di singole persone;
  - b) Rilievo del carico complessivo;
2. Dipendente dal biglietto di viaggio.

#### *1.4.1.1 Rilevazione dei passeggeri indipendente dal biglietto di viaggio*

Nel primo caso, si può procedere con un conteggio diretto, basato sul rilievo del singolo passeggero, oppure indiretto, attribuendo un peso medio per ogni passeggero e conoscendo il peso del veicolo. (Pinna - Dalla Chiara - Deflorio 2010)

Il rilievo di singole persone può essere effettuato in maniera manuale, attraverso un operatore sia direttamente a bordo del veicolo sia attraverso il conteggio a video, se è presente un sistema di videosorveglianza. Questo tipo di conteggio risulta essere abbastanza preciso ma dispendioso in termini di tempo e personale coinvolto nell'operazione.

In alternativa, per permettere un controllo continuo e veloce, esistono dei sistemi automatici **APC** (Automatic Passenger Counting) che possono essere installati a bordo del veicolo, i quali riescono a garantire anche precisioni molto alte. Tra i principali sistemi si possono citare i sensori ad infrarosso attivi, i sensori ad infrarosso passivi, i sensori ad infrarosso attivi e passivi, le telecamere stereoscopiche, la videosorveglianza con tecniche di computer vision.

I **sensori ad infrarosso attivi** sono composti da un trasmettitore a LED e un ricevitore in corrispondenza delle porte dell'autobus, creando un raggio puntuale continuo che attraversa il varco di ingresso. Quando si verifica l'interruzione del raggio, dunque il ricevitore non registra più il segnale, il fenomeno viene interpretato dal sistema come l'ingresso o l'uscita dal mezzo; generalmente vengono disposti più sensori per ogni porta – minimo 2- in modo da poter discriminare la direzione del movimento e poter distinguere i passeggeri entranti da quelli uscenti.

I difetti di questa tecnologia risiedono nell'eccessivo costo che comporta l'installazione di più sensori per porta, oltre agli evidenti errori che si possono verificare nel caso di passaggio simultaneo di più passeggeri.

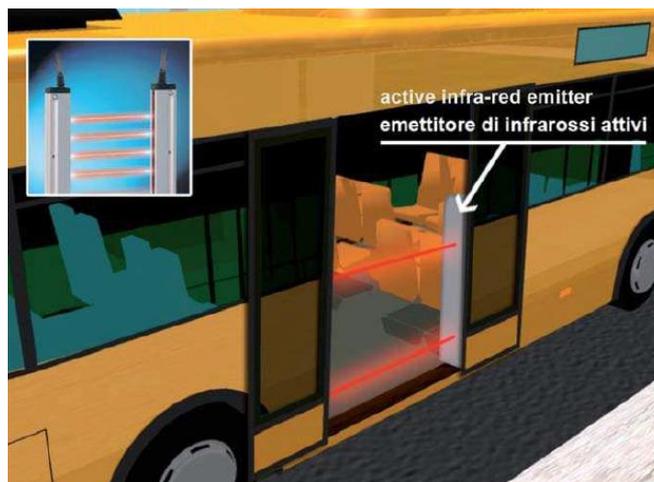


Figura 1-5: Esempio di emettitore ad infrarossi attivi installato su un autobus. (Pinna - Dalla Chiara - Deflorio 2010)

I **sensori ad infrarosso passivi**, grazie ad una lente di Fresnel, suddividono l'unico raggio prodotto in tanti fasci, creando così un'area di rilevazione volumetrica. Il dispositivo utilizzato è di tipo piroelettrico, ossia è sensibile alla variazione di temperatura data dalla radiazione infrarossa emessa dai corpi.

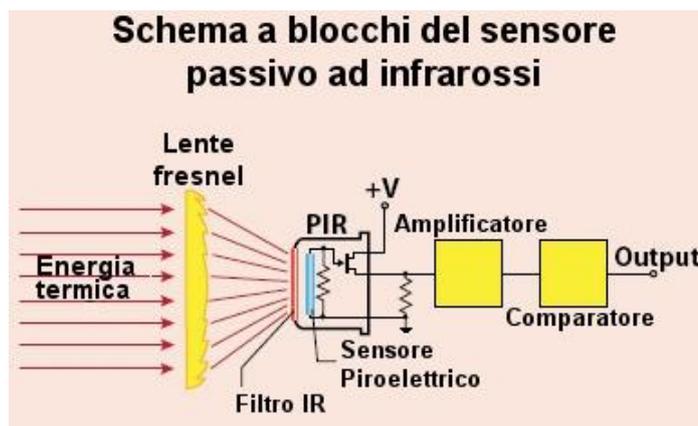


Figura 1-6: Esempio di sistema a infrarossi passivo. (Sensore infrarosso passivo PIR s.d.)

Anche per questa tecnologia si richiede spesso l'installazione di più di un sensore per porta, incrementando così il costo del sistema.



Figura 1-7: Esempi di sensori ad infrarossi passivi. (Pinna - Dalla Chiara - Deflorio 2010)

In alcuni sensori sono unite le due tecnologie in modo da sfruttare sia la variazione di calore prodotta nell'area di rilevazione, sia la funzione attiva che emette luce infrarossa e rileva le radiazioni riflesse dai corpi attraverso un ricevitore integrato nello stesso componente.

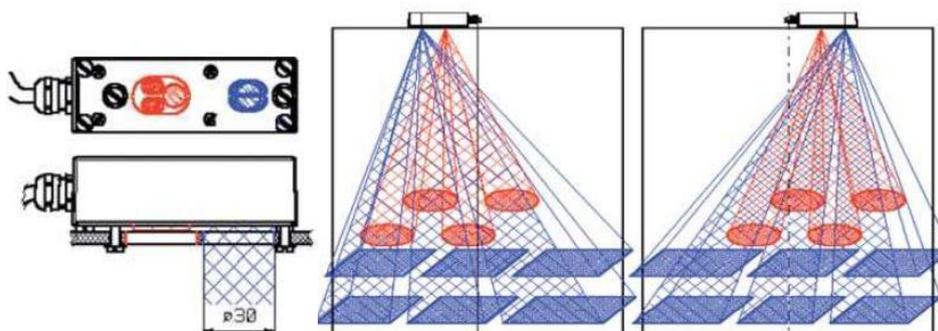


Figura 1-8: Sensore ad infrarossi con componenti passive, in blu, e attive, in rosso. (Pinna - Dalla Chiara - Deflorio 2010)

Un altro strumento per contare singolarmente i passeggeri saliti e discesi sono le pedane in lega metallica capaci di deformarsi se soggette a un carico, conosciute come **treadle mats**. Questo sistema viene installato sui gradini di accesso agli autobus ed è di tipo on/off: la deformazione della piastra chiude il contatto del reticolo e fornisce così un segnale che viene tradotto dalla CPU come il passaggio di una persona, nel caso in cui si sia superato il peso minimo di attivazione; inoltre, sono utilizzati soltanto i dati rilevati durante l'apertura delle porte, in modo da evitare eventuali errori dovuti alla sosta o al passaggio di utenti durante la corsa del veicolo.



Figura 1-9: Esempio di pedana deformante. (Pinna - Dalla Chiara - Deflorio 2010)

Un difetto di questo sistema risiede nella necessità di avere più di un gradino per porta su cui installare le pedane, altrimenti non è possibile rilevare la direzione di movimento e, di conseguenza, distinguere i saliti dai discesi. Un ulteriore limite è rappresentato dalla difficoltà nell'installare o sostituire tali strumenti. (Pinna - Dalla Chiara - Deflorio 2010)

Un ulteriore sistema di conteggio è quello basato sulla stereoscopia: le **telecamere stereoscopiche** sono dotate di due obiettivi paralleli, distanti tra loro come gli occhi umani; questa tecnologia permette la visione binoculare e creazione di immagini tridimensionali. (Wikipedia 2016)

Nei sistemi conta-persone vengono applicate le telecamere stereoscopiche (o telecamere 3D) per il conteggio dei flussi; generalmente si tratta di un sensore dotato di due telecamere sistemato su ogni porta dell'autobus che cattura le immagini della zona sottostante, ricostruisce in modo tridimensionale le sagome dei passeggeri in ingresso o in uscita e unisce il dato relativo ai passeggeri con quello relativo alla posizione, ricavato dall'AVM.



Figura 1-10: Esempi di telecamere stereoscopiche. (SELSAT s.d.) (Eurotech s.d.)

Il trasferimento dei dati può avvenire tramite Ethernet. Le interfacce I/O digitali integrate a bordo possono essere utilizzate per comunicare direttamente con porte intelligenti o sistemi di controllo del flusso, garantendo sempre una funzionalità ottimale: ad esempio, è possibile interrompere il conteggio quando le porte sono chiuse.



Figura 1-11: Esempio di un sistema installato sulle porte di un autobus e un treno. (Eurotech s.d.)

In alcune applicazioni, grazie ai LED infrarossi ad alta luminosità integrati, il sistema può funzionare in qualsiasi condizione di illuminazione.

Il vantaggio di questo sistema è la facilità dell'installazione: grazie alla forma della sua maschera frontale permette di essere montato ed incorporato in corrispondenza delle porte, diventando quasi invisibile. Il pannello ottico può anche essere inclinato per consentire il montaggio su posizioni che sono irregolari o non direttamente sopra l'area di rilevamento desiderato. (SELSAT s.d.)

Anche in questo caso, lo svantaggio maggiore risiede nel costo del sistema, infatti per ogni telecamera l'ordine di grandezza della spesa è di migliaia di euro.

Anche se meno sviluppata della precedente, la diffusa Televisione a Circuito Chiuso o **Closed Circuit Television (CCTV)** può essere utilizzata nel conteggio passeggeri. Per CCTV si intende l'uso di telecamere che acquisiscono, elaborano e registrano le immagini: gli impianti CCTV sono utilizzati prevalentemente come sistemi di sicurezza che registrano 24 ore su 24 e permettono l'utilizzo delle immagini registrate in caso di necessità.

Ogni telecamera svolge la funzione di registratore di immagini, grazie a una memoria di storage locale. L'elevata standardizzazione dei dispositivi e dell'architettura globale del sistema permette l'utilizzo di un'unità centrale di raccolta (hard disk di rete o DVR) al quale le camere possono inviare i dati salvati per metterli a disposizione in un unico punto di raccolta remoto.

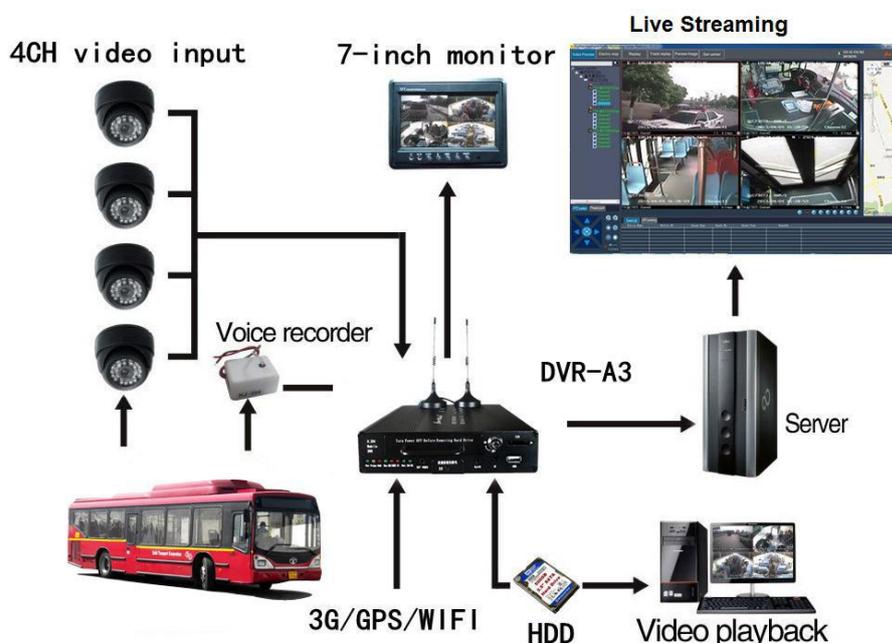


Figura 1-12: Esempio di sistema con CCTV.

Esistono due tipi di videosorveglianza che differiscono principalmente per la modalità con cui il segnale viene trasmesso dalla telecamera al dispositivo di visualizzazione e registrazione:

- le telecamere analogiche producono un segnale video analogico che può essere riprodotto da un apposito apparato (videoregistratore digitale);
- le telecamere digitali (IP o Network camera) generano un flusso video digitale e utilizzano gli encoder e i protocolli necessari a rendere tale flusso inviabile su una rete dati (LAN o WAN).

La differenza nella natura del flusso video si ripercuote sull'architettura di rete: le telecamere analogiche richiedono un cavo dedicato per il collegamento di ognuna delle telecamere al dispositivo di registratore o al convertitore analogico/digitale; le telecamere IP sono collegabili mediante cavo Ethernet al resto degli apparati di bordo.

L'impianto analogico presenta un costo inferiore, a discapito sia della qualità del video (720x576 pixel) sia della possibilità di applicare tecniche di video analisi; l'impianto digitale ha un costo iniziale maggiore, tuttavia costituisce un sistema con una scalabilità

maggiore - per la possibilità di aggiungere telecamere senza sostituire o adeguare altri dispositivi - e con una maggiore qualità dell'immagine (con una risoluzione di 1,3 Megapixel si ha una dimensione dell'immagine pari a 1280x1024 pixel).

Nel settore del TPL i sistemi CCTV svolgono principalmente la funzione di videosorveglianza e di sicurezza, ma, se vengono applicati algoritmi o affiancati da conteggi manuali, possono essere utilizzati anche come sistemi di conteggio dei passeggeri (si veda casi di studio citati al capitolo 3).

Il rilievo del carico complessivo può essere stimato attraverso diverse tecnologie, sia inserite all'interno della pavimentazione stradale sia installate sul veicolo.

Nel primo caso, tra i sistemi principali si possono citare quelli *WIM* (*Weigh In Motion*), i quali permettono di stimare il numero di passeggeri su un veicolo, al netto del peso del veicolo vuoto e del carburante, mediante il carico a terra del mezzo, rilevato prima e dopo le fermate.

Il vantaggio di questa tecnologia risiede nella misurazione dei veicoli in movimento, senza la necessità che questi si debbano fermare sul sito di misurazione, rendendo così la pesatura più efficiente.

Si tratta sostanzialmente di sensori, di varie tipologie, inseriti direttamente o per mezzo di profilati, di diversa forma a seconda delle configurazioni, sulle rotaie o in appositi solchi ricavati nella carreggiata stradale, perpendicolare alla direzione del flusso del traffico.

Oggi nei sistemi WIM vengono utilizzati sensori realizzati con quattro tecnologie diverse: piezoelettrico (polimero o ceramica), quarzo, piastra di piegatura e capacitivo.

Dal punto di vista del metodo di installazione, i sensori WIM sono suddivisi in due gruppi:

- Sensori installati con un piccolo taglio sul pavimento a una profondità di 2 - 10 cm a seconda del tipo e in questo caso, il sensore non ha contatto diretto con la ruota del veicolo e il carico viene trasmesso al sensore dalla pavimentazione e dalla malta di installazione (che viene utilizzata per riempire il taglio). I sensori in polimeri e piezo-ceramica sono montati con questa tecnologia (figura a);
- Sensori installati con un taglio nella pavimentazione al livello della superficie e in questo caso, il sensore ha un contatto diretto con la ruota del veicolo. Quarzo, piastra di piegatura e i sensori capacitivi sono montati in questa tecnologia (figure b, c, d). (Piotr Burnos, Dawid Rys 2017)

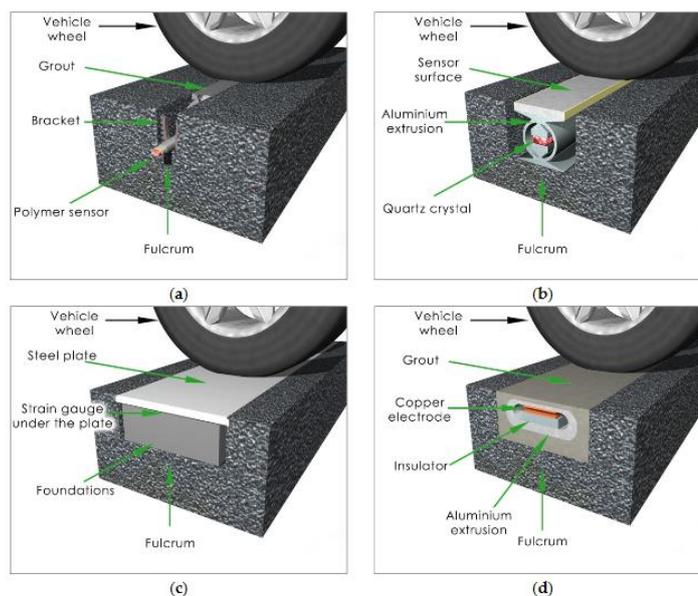


Figura 1-13: Tipologie di sensori WIM. (a) Installazione con taglio in profondità in materiale polimerico. (b) Installazione in superficie con quarzo. (c) Installazione in superficie con piastra di acciaio. (d) Installazione in superficie con sensore capacitivo. (Piotr Burnos, Dawid Rys 2017)

Un sistema di rilevazione è costituito da:

- “sensori di prossimità” capaci di misurare flussi, distanze interveicolari, velocità e lunghezze dei diversi veicoli, stradali o su rotaia che siano;
- sensori di varia tipologia capaci di fornire, anche mediante software dedicato, i pesi per asse, le distanze tra gli assi di ciascun veicolo così da risalire, quindi, alle differenti sagome transitate;
- unità centrali, capaci di elaborare e gestire le informazioni provenienti dai sensori e dai rilevatori induttivi, e di immagazzinarli;
- unità di alimentazione (a batterie, elettriche, ad energia solare);
- sistema di connessione tra le diverse stazioni, via modem, GSM o GPRS;
- programmi dedicati per l’analisi e l’elaborazione statistica dei dati raccolti, nonché programmi di assicurazione della qualità delle misure.

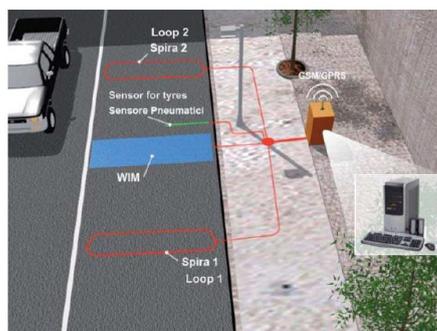


Figura 1-14: Esempio di una stazione di rilevazione WIM (Pinna - Dalla Chiara - Deflorio 2010)

Grazie ad appositi programmi, è possibile poi ricavare le sollecitazioni statiche elaborando i dati di quelle dinamiche.

Tra le applicazioni si possono citare: osservazioni di traffico in tempo reale, applicazioni al pedaggio autostradale, studi statistici ed economici sui flussi di traffico, classificazioni delle sezioni stradali in base alla presenza di mezzi pesanti, studi per la manutenzione delle pavimentazioni, studi ambientali sull'inquinamento correlato ai flussi di traffico.

Ai fini del conteggio passeggeri, i sistemi WIM forniscono informazioni di tipo disaggregato ossia solo sul carico del mezzo e delle sue variazioni, ad esempio tra una fermata e un'altra, ma questo non permette di risalire al numero di passeggeri che sono usciti ed entrati nel mezzo: il carico potrebbe ad esempio rimanere pressoché costante ma da esso non si è in grado di dedurre se i passeggeri sono rimasti gli stessi o si è verificato uno scambio di flussi.

Nell'ambito del conteggio automatico possono essere integrate ad altri sistemi APC per una verifica in tempo reale o programmata in alcuni periodi dell'anno per verificare l'affidabilità dei dati ottenuti.

Per quanto riguarda i sistemi di rilevamento del carico complessivo direttamente sul veicolo, esistono delle celle di carico da installare sul mezzo, a complemento di altri sistemi APC.

In letteratura non sono presenti molte applicazioni al conteggio passeggeri per quest'ultima tecnologia, verranno tuttavia citati alcuni studi a riguardo nel capitolo 3 e sarà descritta in maniera approfondita la sperimentazione di tale sistema nella trattazione di questa tesi.

#### *1.4.1.2 Rilevazione dei passeggeri dipendente dal titolo di viaggio*

In diverse realtà, il conteggio dei passeggeri viene effettuato attraverso il sistema di bigliettazione, quindi rilevando direttamente il numero di passeggeri in ingresso e in uscita dal mezzo.

I presupposti, affinché il sistema sia effettivamente rappresentativo del numero di passeggeri trasportati, si basano sull'idea che tutte le persone effettuino il check-in e il check-out, senza evasioni.

Le obliterate sono dei dispositivi, generalmente posti in corrispondenza delle porte d'entrata dei mezzi pubblici, che servono a validare il titolo di viaggio in ingresso e, talvolta, in uscita.

Quelle di vecchia generazione prevedevano l'utilizzo di biglietti cartacei e all'interno dell'apparecchio era presente un contatore; di recente, invece, in molte realtà è in corso la sostituzione dei biglietti cartacei con carte elettroniche dotate di tecnologia contactless o con biglietti per smartphone dotati di NFC<sup>8</sup>, per cui è possibile ricavare dati su linea, direzione e mezzo (numero di matricola), fermata a cui sale l'utente (origine dello spostamento all'interno della rete di trasporto pubblico), numero di tessera, tipo di abbonamento (settimanale, mensile, annuale, riduzioni particolari per studenti, anziani, ecc.) e informazioni personali dell'abbonato.



*Figura 1-15: In alto esempi di oblitratrici di vecchia generazione a Milano (Milano Today s.d.) e Genova (Genova | Il Secolo XIX s.d.), in basso validatori contactless a Modena (Modena Today s.d.) e Amsterdam (Tourist Buddy Amsterdam s.d.).*

Lo svantaggio di questo metodo è che si può rilevare solo quella quota di utenza che utilizza i supporti elettronici (tessera a microchip con tecnologia contactless, altro tipo di smart card, ecc.), ossia principalmente gli abbonati al servizio di trasporto pubblico, e quindi si vanno a perdere i dati dei biglietti di singola corsa. Esistono però realtà in cui in un'unica tessera si possono caricare uno o più titoli di viaggio: dal semplice biglietto ordinario al carnet agli abbonamenti per ogni categoria di utente e durata.

Per utilizzare tali tecnologie come conteggio dei passeggeri a bordo dei mezzi, occorre che i titoli di viaggio vengano validati sia in ingresso che in uscita, altrimenti si è in possesso del numero di passeggeri saliti a ciascuna fermata, ma non del numero di passeggeri scesi, perdendo così il dato sull'effettiva occupazione dei veicoli.

<sup>8</sup> La comunicazione in prossimità, anche chiamata Near-Field Communication (NFC), è una tecnologia che fornisce connettività senza fili (RF) bidirezionale a corto raggio (fino a un massimo di 10 cm).



## 2 Caso di studio: Gruppo Torinese Trasporti S.p.A.

### 2.1 Gtt azienda e rapporti con Città e Regione

Il **Gruppo Torinese Trasporti S.p.A.** è una società per azioni controllata al 100% dalla società FCT Holding S.r.l., controllata dal Comune di Torino. L'azienda GTT S.p.a. nasce nel 2003 dalla fusione dell'Azienda Torinese per la Mobilità (ATM) e della Società per Azioni Torinese Trasporti Intercomunali (SATTI), entrambe facenti capo al Comune di Torino e costituenti, precedentemente, il consorzio Trasporti Torinesi.

Il Gruppo Torinese Trasporti è una Società Italiana leader nel settore della mobilità, con circa 200 milioni di passeggeri all'anno, connotata da forti caratteristiche di intermodalità.

Svolge attività riguardanti:

- trasporto con linea 1 della metropolitana automatica di Torino;
- trasporto di linea urbano e suburbano di superficie;
- trasporto su autolinee urbane di Ivrea e extraurbane regionali;
- trasporto su ferrovia (linee SFMA – Torino Ceres e SFM1 – Canavesana; tratta Torino Porta Susa – Trofarello – Chieri in sub affidamento da Trenitalia);
- gestione della sosta a pagamento nel Comune di Torino;
- gestione della segnaletica per la mobilità del Comune di Torino;
- servizi turistici quali navigazione sul Po, ascensore della Mole Antonelliana, tranvia a cremagliera Sassi – Superga, tram ristorante, linea tranviaria storica, treno a vapore del Museo Ferroviario Piemontese, navetta che collega il Castello di Rivoli alla metropolitana, bus che collega Torino con la Reggia di Venaria. (GTT S.p.A. 2016)

Le società partecipate da GTT sono le seguenti:

- 5T Srl;
- APAM ESERCIZIO SpA;
- ATC ESERCIZIO SpA;
- BUS COMPANY Srl;
- EXTRA.TO Scarl;
- MILLERIVOLI Srl;
- NOS NORD OVEST SERVIZI SpA;
- SCAT - SOCIETÀ CONSORTILE ALESSANDRINA TRASPORTI a r.l.;
- TPL LINEA Srl;

mentre le società controllate da GTT sono:

- CA.NOVA SpA;
- MECCANICA MORETTA Srl;
- TORINO PARCHEGGI Srl.

L'azienda GTT è stata tra i precursori nell'adozione di sistemi ITS in Italia: nel 1982 è stato introdotto il sistema AVM (Advanced Vehicle Monitoring), in grado di controllare in tempo reale la posizione e l'avanzamento del veicolo, contestualmente alla creazione del cosiddetto "Consorzio SIS" (Sistema Informativo del Servizio) tra l'azienda Italtel, all'epoca leader delle telecomunicazioni, e l'azienda MIZAR, esperta in informatica.

Nel corso degli anni, il consorzio SIS si è trasformato in Consorzio 5T (Tecnologie Telematiche Trasporti Traffico Torino) da cui è nata nel 2001, su mandato della Città di Torino, la società 5T, la cui composizione societaria era all'epoca la seguente:

- GTT (66,6%)
- AEM Torino (23,9%)
- FIAT AUTO (5,2%)
- MIZAR Automazione (2,6%)
- CSST (1,7%)

Nel 2008 tutte le quote sociali di 5T erano concentrate in un unico soggetto, a seguito della cessione delle quote detenute in 5T da soggetti privati a favore della società GTT, così oggi tale composizione è variata in:

- GTT (35%)
- Città di Torino (30%)
- Regione Piemonte (30%)
- Città Metropolitana di Torino (5%)

In tal modo 5T è diventata una società in house di gestione servizi pubblici locali per la città di Torino, lasciando alle risorse interne di GTT la gestione del sistema informativo del servizio e di tutte le attività collaterali (previsioni di arrivo in fermata, calcolo percorsi, etc..).

Con la Legge Regionale Piemonte 1/2015 del 27/01/2015 è stata istituita la nuova **Agenzia della Mobilità Piemontese (AMP)**, la quale sostituisce l'Agenzia della Mobilità Metropolitana e Regionale per la programmazione del trasporto pubblico dell'intera regione Piemonte. (GTT S.p.A. 2016)

La città di Torino fa parte dell'Area Metropolitana Torinese, insieme ai 31 comuni della cintura aderenti all'Agenzia Mobilità Piemonte (AMP); la superficie dell'Area si estende per 838 km<sup>2</sup> e comprende una popolazione di 1.555.518 abitanti. L'Area Metropolitana si colloca all'interno della Provincia di Torino, ora confluita nel nuovo Ente territoriale di area vasta denominato "Città Metropolitana", una delle otto province della Regione Piemonte.

Il comune di Torino si estende per 130 km<sup>2</sup> pari al 16% dell'intera area, mentre la parte restante comprende i territori dei comuni della cintura.



Figura 2-1: Area Metropolitana Torinese. (<http://mtm.torino.it/it/agenzia/chi-siamo/area-metropolitana>)

L'Agenzia svolge un ruolo fondamentale per quanto riguarda la pianificazione della mobilità, la gestione del trasporto pubblico e dei contratti di servizio con gli enti erogatori di tale servizio, con l'obiettivo di creare una rete di trasporti il più possibile integrata e funzionale all'interno dell'area metropolitana.

Le scelte aziendali per la gestione del trasporto variano con la domanda di trasporto all'interno del territorio di competenza: in ambito urbano (Torino e cintura) e in periodo diurno (dalle 6 alle 21) le linee sono gestite a intervallo, sulla base dell'arco temporale fissato dall'Ufficio di Pianificazione. Nelle ore notturne, invece, per l'extraurbano e per alcune linee della rete suburbana i passaggi degli autobus sono gestiti a orario, con frequenze ridotte rispetto alla situazione precedente. Sulla base del numero di utenti da servire le linee autobus urbane sono operate con mezzi di varie lunghezze e capacità: veicoli da 10 metri (2 porte), 12 metri (3 porte) e autobus snodati (18 metri, 4 porte) sulle

linee di forza. La rete extraurbana, invece, è gestita da autobus da 12 metri e 2 porte. (Martino 2017)

La rete di superficie automobilistica di Torino e dell'area suburbana è servita da 88 linee attive sul Comune di Torino e nei 21 Comuni della prima cintura. Nei giorni di venerdì, sabato e prefestivi è previsto il servizio notturno con 10 linee di autobus a intervalli di un'ora. La rete tranviaria è costituita da 8 linee e la lunghezza complessiva dei binari è pari a 200 km. Per quanto riguarda il trasporto extraurbano, dal 2010 è gestito dal consorzio Extra.To, di cui GTT è membro, e le linee servite sono circa 70. (GTT S.p.A. 2016)

Attualmente il parco veicolare è composto da 204 tram e 1321 autobus, rinnovato nel 2017 con l'acquisto di 20 autobus elettrici da 12 m.

## 2.2 Dotazione ITS dell'azienda

Vista l'esigenza di garantire agli utenti una regolarità del servizio e una maggior qualità, si decise di affidare a MIZAR, dal 2010 SWARCO-MIZAR (in seguito alla sua acquisizione da parte della multinazionale SWARCO), la creazione del software **SIS** alla base degli apparati AVM installati a bordo delle vetture.

Il software ideato da MIZAR, si basava sulla costruzione topologica della rete stradale, con i percorsi delle diverse linee esercite, suddivisi in una sequenza progressiva di archi e nodi. I percorsi venivano inseriti da remoto su uno speciale supporto chiamato *tabellotto*, posto all'interno della vettura. Attraverso questo apparato l'autista aveva la possibilità di qualificarsi, ossia di associare ad una specifica vettura il proprio turno guida e la linea in esercizio. Attualmente questo sistema è ancora in uso, seppur rinnovato.

La localizzazione del veicolo veniva identificata attraverso un odometro, il quale inviava i dati alla centrale operativa mediante un ponte radio a due ripetitori; durante il tragitto, un elaboratore di bordo verificava la corrispondenza tra le sequenze dei *maxiarco* che la vettura stava percorrendo e quelle salvate sul tabellotto e, se queste non erano coerenti, la centrale perdeva la localizzazione della vettura.

Attualmente la localizzazione del veicolo avviene mediante un sistema satellitare (GPS), coadiuvato da un odometro e da un giroscopio gestiti da un computer di bordo. Il tabellotto del vecchio SIS è ancora presente ma non ha più alcuna interazione nel sistema: serve solo come segno distintivo per il turno dell'autobus.

Le comunicazioni vocali e il trasferimento dei dati avvengono tramite la rete GSM/GPRS alla centrale operativa, situata in un edificio posto a fianco del deposito Nizza. L'apparato entra in funzione con la semplice rotazione della chiave di avviamento del veicolo e resta attivo, grazie ad una batteria, per 30 minuti dal momento in cui l'autobus viene spento.

Inoltre, esiste un pulsante di emergenza che consente di entrare in fonìa unidirezionale con il mezzo, permettendo di sentire ciò che accade a bordo. In caso di allarme, per intervenire velocemente, esiste una linea diretta con le forze dell'ordine ed una linea diretta con i mezzi di soccorso, in caso di incidente o di malore dei passeggeri.

Nel corso del 2014 è stato deciso dall'esercizio di GTT di intraprendere l'evoluzione del proprio sistema AVM con l'introduzione della versione detta **SIS-Evo**, dato che la precedente non risulta compatibile con le versioni di Windows successive alla versione Xp. I dati provenienti dalla localizzazione e salvati nel database non sono utilizzati solamente per la regolarizzazione del servizio, ma permettono l'utilizzo di prodotti che possono risultare utili per altre operazioni. Tra questi troviamo FlashNet, un applicativo web che garantisce l'interoperabilità con il resto dei programmi aziendali e rappresenta l'interfaccia grafica del sistema SIS-Evo.

Nel 2016 è stato testato il nuovo software SIS-Evo su alcune linee per monitorare la stabilità; il totale switch a questo nuovo sistema non è ancora concluso e l'azienda è in una fase di transizione tra il vecchio SIS e il nuovo SIS-EVO.

### *2.2.1 Lo switch di bordo*

Per garantire il dialogo tra gli apparati, sulla maggior parte degli autobus è presente uno switch, il quale permette di realizzare una rete di bordo affidabile. Ciascun dispositivo si troverà all'interno di una rete locale composta da un massimo di 254 apparati connessi tra loro. Per ciascun dispositivo è noto ed assegnato a priori l'indirizzo IP (Internet Protocol) sulla rete locale.

La tipologia di trasmissione identificata è di tipo UDP<sup>9</sup>/IP, con invio temporizzato (o ad evento, a seconda della tipologia di dato) di pacchetti in modalità push su indirizzamento broadcast o multicast configurabile.

Di seguito viene mostrata in maniera schematica la rete di bordo, con tutti gli apparati collegati e relativi indirizzi IP.

---

<sup>9</sup> User Datagram Protocol è un protocollo di tipo connectionless. Non gestisce il riordinamento dei pacchetti né la ritrasmissione di quelli persi, ed è perciò generalmente considerato di minore affidabilità. In compenso è molto rapido ed efficiente per le applicazioni "leggere" o time-sensitive.

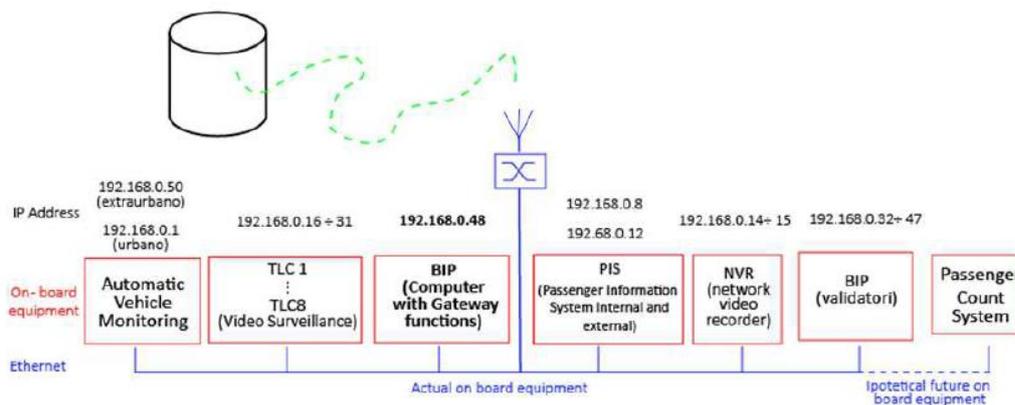


Figura 2-2: Schema della rete di bordo attuale nei veicoli GTT e EXTRATO. (Toccaceli 2018)

Gli switch presenti possono essere tradizionali o PoE (Power over Ethernet)<sup>10</sup>: per i primi viene utilizzata la LAN per le comunicazioni e i dispositivi allacciati sono alimentati a 24V dall'autobus; quelli PoE, di nuova generazione, utilizzano i cavi Ethernet sia per le comunicazioni che per l'alimentazione, ridimensionando così il numero di cavi necessari.

### 2.2.2 Il dispositivo AVM

Un sistema AVM si compone di due fasi: la prima rappresentata dalla raccolta dati sulla posizione e velocità del veicolo, resa possibile grazie alla presenza a bordo di odometri e strumenti di navigazione satellitare; la seconda fase è la trasmissione dei dati sul servizio.

Ogni veicolo è dotato di 4 antenne adibite al monitoraggio della flotta e allo scambio dei dati: 2 antenne sono utilizzate per la trasmissione dei dati con la centrale operativa e sfruttano il GPRS, un'antenna GPS per la geolocalizzazione del veicolo e un'antenna Wi-fi per lo scarico dei dati in deposito.

All'interno del dispositivo AVM è presente un computer con sistema operativo Windows CE 4.0 e due modem integrati che utilizzano un protocollo GPRS, sia per il traffico dati sia per le comunicazioni vocali bordo-centrale. L'AVM è collegata a sensori di apertura porte e di accensione del veicolo, mentre per la connessione con gli altri apparati di bordo viene utilizzato il router di bordo, con collegamento su rete LAN.

<sup>10</sup> La tecnologia PoE (Power over Ethernet) è una funzionalità di rete definita dagli standard IEEE 802.3af e 802.3at.



Figura 2-3: Esempio di un apparato AVM.

Ogni autista all'inizio del servizio esegue la qualifica del veicolo con il proprio turno e la linea che deve effettuare, attraverso un monitor touch screen a LCD. In caso contrario la centrale operativa non riesce a stabilire il contatto con la vettura e non ha la possibilità di localizzarla.

Il GPS, inoltre, fornisce la posizione del veicolo nel formato WGS84, successivamente trasformato in coordinate cartesiane che hanno l'origine degli assi coincidente con la posizione di piazza Castello a Torino.

L'AVM, come detto in precedenza, comunica con gli altri apparati attraverso lo switch di bordo, incapsulando le informazioni in pacchetti IP. Sugli autobus urbani questi pacchetti IP vengono inviati con una struttura definita dal protocollo proprietario **INFO\_NET**, mentre su quelli extraurbani si utilizza una struttura, in parte differente dalla precedente, secondo il protocollo **INFO\_NET2**.

Nonostante i pacchetti contengano informazioni differenti, per ognuno di questi è stata stabilita una lunghezza comune (11 byte) dell'*header*, che definisce la tipologia di dato trasmesso. Le informazioni veicolate dal pacchetto sono contenute nel *payload*, che ha una lunghezza variabile tra un protocollo e un altro. La frequenza di invio di questi pacchetti è 1Hz.

#### 2.2.2.1 Protocollo di scambio dati **INFO\_NET**

L'header del pacchetto ha la seguente struttura:

4D	h	I	N	F	O	_	N	E	T	\0		
----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	--	--

Tabella 2-1: Struttura dell'header dei pacchetti **INFO\_NET**.

Il contenuto del payload ha una lunghezza di 60 byte, a partire dall'offset 17, e le informazioni veicolate sono riassunte dalla tabella sottostante.

<b>Campo</b>	<b>Tipo</b>	<b>bit</b>	<b>Offset</b>	<b>Descrizione</b>
<b>Datetime</b>	unsigned long	32	<b>17</b>	Data/ora in secondi dal 1/1/1970
<b>Doors</b>	byte	8	<b>21</b>	Stato porte
<b>Fix</b>	byte	8	<b>22</b>	Validità posizione GPS
<b>Latitude</b>	float	32	<b>23</b>	Latitudine
<b>Longitude</b>	float	32	<b>27</b>	Longitudine
<b>Speed</b>	unsigned char	8	<b>31</b>	Velocità in Km/h (255=dato non valido)
<b>Loc</b>	byte	8	<b>32</b>	Stato localizzazione
<b>Line</b>	char(5)	-	<b>33</b>	Codice linea (max 4 caratteri + null)
<b>Shift</b>	char(4)	-	<b>38</b>	Turno veicolare (max 3+null)
<b>Dest</b>	char(9)	-	<b>42</b>	Codice fermata capolinea (max 8+null)
<b>Current</b>	char(9)	-	<b>51</b>	Codice fermata corrente (max 8+null)
<b>Next</b>	char(9)	-	<b>60</b>	Codice prossima fermata (max 8+null)
<b>Area</b>	byte	8	<b>69</b>	Stato area di fermata
<b>Vehicle</b>	unsigned short	16	<b>70</b>	ID veicolo
<b>Direction</b>	char	8	<b>72</b>	'A' / 'R' / '?'
<b>Driver</b>	unsigned long	32	<b>73</b>	Identificativo autista
			<b>77</b>	

Tabella 2-2: Payload dei pacchetti INFO\_NET. (5T 2012)

Le informazioni contenute nel pacchetto riguardano quindi l'orario di emissione del pacchetto, lo stato delle porte, la posizione, la velocità, la linea, il turno veicolare, la fermata corrente e quella di destinazione, l'identificativo del veicolo secondo la codifica aziendale, la direzione e il codice autista.

Di seguito è presente, a titolo di esempio, un pacchetto trasmesso dall'AVM con i dati in esadecimale secondo la modalità di trasmissione LSB<sup>11</sup> (Least Significant Bit). Sono stati evidenziati i campi più significativi con relativa legenda.

0000	ff ff ff ff ff ff 00 60 3b 05 0c 9a 08 00 45 00	.....` ;.....E.
0010	00 69 d8 b1 00 00 80 11 df 81 c0 a8 00 01 c0 a8	.i..... .....
0020	00 ff 1b 58 cb 20 00 55 12 22 4d 49 4e 46 4f 5f	...X. .U ."MINFO_
0030	4e 45 54 00 00 01 ff 42 80 00 01 cc 73 e9 4b 00	NET....B ....s.K.
0040	01 ad 11 34 42 3d c7 f3 40 00 01 36 33 20 20 00	...4B=.. @..63 .
0050	37 20 20 00 31 36 33 32 00 00 00 00 00 00 00	7 .1632 .....
0060	00 00 00 00 00 00 31 38 39 31 00 00 00 00 00	.....18 91.....
0070	c0 0a 52 b4 cd 0f 00	..R....



Figura 2-4:Contenuto di un pacchetto IP trasmesso secondo l'INFO\_NET.

2.2.2.2 Protocollo di scambio dati INFO\_NET2

L'header del pacchetto ha la seguente struttura:

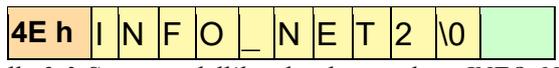


Tabella 2-3:Struttura dell'header dei pacchetti INFO\_NET2.

Il contenuto del pacchetto ha una lunghezza di 84 byte, partendo dall'offset 17; rispetto al protocollo INFO\_NET sono presenti più campi: in particolare, il campo "Company" relativo alla compagnia che gestisce l'autobus, il campo "AVM", il campo "Status" e "Timing" relativi a funzioni avanzate di info-utenza, il campo "Trip" riguardante il codice della corsa. Quest'ultimo campo rappresenta la sostanziale differenza tra i due protocolli, derivata dalla differente gestione dei turni: per il caso extraurbano si utilizzano le corse, invece per il caso urbano si utilizzano i turni macchina.

<sup>11</sup> In informatica, si intende la memorizzazione che inizia dal byte meno significativo per finire col più significativo. Per convertire il dato in decimale occorre prima capovolgere i byte dall'ultimo al primo.

<b>Campo</b>	<b>Tipo</b>	<b>Bit</b>	<b>Offset</b>	<b>Descrizione</b>
<b>Datetime</b>	unsigned long	32	<b>17</b>	Data/ora dal 1/1/1970
<b>Doors</b>	byte	8	<b>21</b>	Stato porte
<b>Fix</b>	byte	8	<b>22</b>	Validità posizione GPS
<b>Latitude</b>	float	32	<b>23</b>	Latitudine
<b>Longitude</b>	float	32	<b>27</b>	Longitudine
<b>Speed</b>	unsigned char	8	<b>31</b>	Velocità in Km/h (255=dato non valido)
<b>Loc</b>	byte	8	<b>32</b>	Stato localizzazione
<b>Line</b>	char(7)	-	<b>33</b>	Codice linea ( <i>max 6 caratteri + null</i> )
<b>Shift</b>	char(7)	-	<b>40</b>	Turno veicolare ( <i>max 6 caratteri + null</i> )
<b>Dest</b>	char(9)	-	<b>47</b>	Codice fermata capolinea ( <i>max 8 + null</i> )
<b>Current</b>	char(9)	-	<b>56</b>	Codice fermata corrente ( <i>max 8 + null</i> )
<b>Next</b>	char(9)	-	<b>65</b>	Codice prossima fermata ( <i>max 8 + null</i> )
<b>Area</b>	byte	8	<b>74</b>	Stato area di fermata
<b>Vehicle</b>	unsigned short	16	<b>75</b>	ID veicolo
<b>Direction</b>	char	8	<b>77</b>	'A' / 'R' / '?'
<b>Driver</b>	unsigned long	32	<b>78</b>	Identificativo autista
<b>Company</b>	char(4)	-	<b>82</b>	Codice vettore ( <i>max 3 caratteri + null</i> )
<b>AVM</b>	char(3)	-	<b>86</b>	Codice AVM ( <i>max 2 caratteri + null</i> )
<b>Status</b>	byte	8	<b>89</b>	Stato di esercizio del veicolo
<b>Timing</b>	short	16	<b>90</b>	Tempo alla partenza / anticipo / ritardo
<b>Trip</b>	Char(9)	-	<b>92</b>	Codice corsa ( <i>max 8 caratteri + null</i> )
			<b>101</b>	

Tabella 2-4: Payload dei pacchetti INFO\_NET2. (5T 2012)

Inoltre, i campi “Line” e “Shift” prevedono un numero maggiore di caratteri rispetto al protocollo INFO\_NET.

### 2.2.3 Il sistema di bigliettazione elettronica

Per quanto riguarda la scelta dei titoli di viaggio, su tutta la rete GTT è utilizzabile il **BIP** (Biglietto Integrato Piemonte), un supporto elettronico su cui è possibile caricare diverse tipologie di abbonamento sulla base della zona e del periodo di utilizzo, al fine di ottenere una bigliettazione intelligente.

I dispositivi per la bigliettazione elettronica, cosiddetti validatori, sono stati introdotti nelle vetture esercenti il servizio urbano, extraurbano e nelle stazioni della metropolitana a partire dal 2008, in seguito al progetto regionale BIP.

La modalità di validazione dei titoli di viaggio è differente: il servizio extraurbano prevede la validazione obbligatoria in ingresso, con possibilità di acquisto del titolo di viaggio a bordo dal conducente. (Martino 2017)

Sulla rete urbana, invece, la salita e la discesa sono permesse attraverso tutte le porte dell'autobus, con obbligo di validazione dei titoli a inizio viaggio da maggio 2017, al fine di contrastare l'evasione e ottenere dati utili per razionalizzare l'offerta.

Dal 7 maggio 2018 l'azienda ha cambiato il sistema di bigliettazione urbana: non sono più disponibili i biglietti cartacei e sono stati sostituiti da biglietti con tecnologia cip on paper o biglietti elettronici caricabili su smartcard. Sulla stessa card è possibile caricare qualsiasi formula di abbonamento urbano e il biglietto ordinario di singola corsa.



Figura 2-5: Titolo di viaggio del tipo bip card. (<http://gtt.to.it>)

La smart card (ISO 144B) permette di caricare i titoli di viaggio elettronici acquistabili online e inoltre consente l'interoperabilità con altri modi di trasporto, quali il bike sharing o il car sharing.

A bordo dei mezzi sono presenti sia le obliterate – per il caso dei biglietti suburbani che rimangono cartacei – sia i validatori elettronici, i quali utilizzano la tecnologia contact-less.



Figura 2-6: A sinistra validatore elettronico per bip card, a destra obliterate per biglietti cartacei.

Dal punto di vista informatico, la Regione Piemonte ha definito l'architettura e le specifiche tecniche alle quali i diversi attori (circa 100 aziende di trasporto pubblico operanti su tutto il territorio regionale) devono attenersi per la trasmissione dei dati sulle validazioni elettroniche.

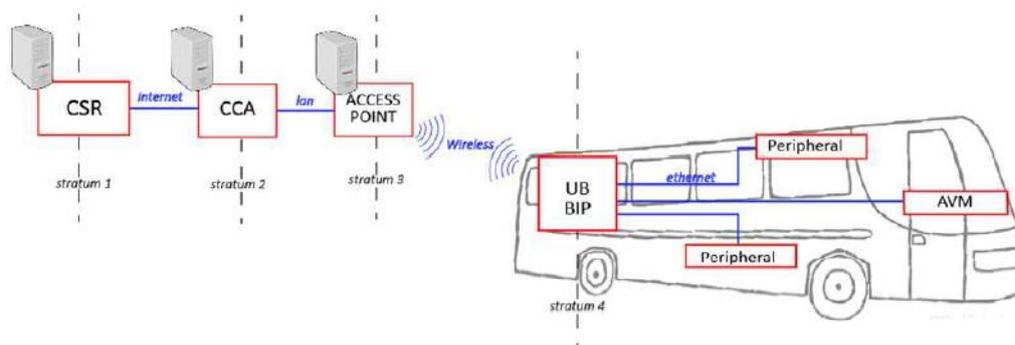


Figura 2-7: Architettura per la trasmissione dati sulle validazioni elettroniche dall'UB di bordo ai Centri di Raccolta Aziendali e Regionale. (Toccaceli 2018)

I dati degli utenti, provenienti dai diversi validatori (ordinati per data, ora, vettura, fermata, linea), vengono raccolti da un computer di bordo, denominato Unità di Bordo (UB). Quando la vettura rientra in deposito a fine servizio, tali dati vengono inviati tramite Wifi al database del Centro Controllo Aziendale (CCA), dal quale ogni azienda ha la possibilità di estrarre i report sulle validazioni avvenute durante il proprio servizio e stimare la domanda di trasporto.

I dati vengono inoltre trasmessi al CSR (Centro Servizi Regionale), il quale ha il compito di raccogliere i dati da tutti i CCA e affidarli all’Agenzia della Mobilità Piemontese. (Toccaceli 2018)

Per la trasmissione dei dati sul sistema di bigliettazione sono utilizzati due protocolli aziendali: uno è chiamato **INFO\_BIP** e l’altro **INFO\_BIP2**. I pacchetti trasmessi sono uguali per i primi 73 byte, ma il secondo rappresenta un’estensione del primo.

### 2.2.3.1 Protocollo di comunicazione INFO\_BIP e INFO\_BIP2

La struttura del pacchetto è simile a quella dell’INFO\_NET e INFO\_NET2: i primi 11 byte sono destinati all’header, mentre il contenuto informativo è trasportato dal payload.

All’interno del payload sono presenti alcuni campi utilizzati per la diagnostica degli apparati BIP: il numero di validatori funzionanti (CnvStatus) rispetto al numero totale di validati a bordo (CnvTotal), ad esempio, può essere utilizzato come indicatore di funzionalità dei dispositivi. Dunque, il CnvStatus *“funge da bitmask rispetto a quello totale, e ciò permette di applicare la logica della differenza tra validatori totali - validatori funzionanti, risparmiare spazio utilizzato per la trasmissione dei dati ed avere comunque l’informazione sui dispositivi guasti. Il campo ApplStatus, invece, è indicativo della corretta o mancata comunicazione tra l’apparato AVM e il BIP e ad esso vengono assegnati dei codici differenti in base al tipo di errore della comunicazione”*. (Toccaceli 2018)

<b>Campo</b>	<b>Tipo</b>	<b>bit</b>	<b>Offset</b>	<b>Descrizione</b>
<b>Datetime</b>	unsigned long	32	<b>17</b>	Data/ora dal 1/1/1970 (vedere nota)
<b>ApplMode</b>	unsigned char	8	<b>21</b>	Stato applicativo
<b>ApplStatus</b>	unsigned char	8	<b>22</b>	Stato diagnostico / codice errore
<b>ServiceStatus</b>	unsigned char	8	<b>23</b>	Stato servizio
<b>CnvTotal</b>	unsigned char	8	<b>24</b>	Numero totale di validatori a bordo
<b>CnvServiceCount</b>	unsigned char	8	<b>25</b>	Numero validatori in servizio e pronti
<b>CnvStatus</b>	unsigned short	16	<b>26</b>	Validatori funzionanti (bitmask)
<b>LocalityType</b>	unsigned char	8	<b>28</b>	Riservato per espansioni future (default=0)

<b>LocalityValue</b>	unsigned short	16	<b>29</b>	Località tariffaria (nullo se ServiceStatus=0)
<b>MessageMode</b>	unsigned char	8	<b>31</b>	Modo di utilizzo del campo MessageText
<b>MessageText</b>	char(32)	-	<b>32</b>	Messaggio di testo libero ( <i>max 31+null</i> )
<b>Fix</b>	Char	8	<b>64</b>	Validità posizione GPS rilevata dal BIP
<b>Latitude</b>	Float	32	<b>65</b>	Latitudine
<b>Longitude</b>	Float	32	<b>69</b>	Longitudine
			<b>73</b>	

Tabella 2-5: struttura dati del pacchetto INFO\_BIP e dei primi 73 byte del pacchetto INFO\_BIP2. (5T 2012)

Per quanto riguarda l'INFO\_BIP2, dal 74°byte in poi sono stati aggiunti 8 campi, la cui informazione riguarda la corretta trasmissione e ricezione della posizione.

<b>Campo</b>	<b>Tipo</b>	<b>bit</b>	<b>Offset</b>	<b>Descrizione</b>
<b>GpsSignalLevel</b>	unsigned char	8	<b>73</b>	Livello del segnale GPS (0÷10)
<b>GprsSignalLevel</b>	unsigned char	8	<b>74</b>	Livello del segnale GPRS (0÷10)
<b>WiFiSignalLevel</b>	unsigned char	8	<b>75</b>	Livello del segnale Wireless Lan (0÷10)
<b>IPLinkStatus</b>	unsigned char	8	<b>76</b>	Stato link IP corrente
<b>LocalityCodeBip</b>	unsigned int	32	<b>77</b>	Codice BIP della località (derivato ISTAT), range 0..0xFFFFFFFF e cioè' 24 bit, il valore 0 significa linea non definita

<b>LocalityDescriptionBip</b>	char(41)	-	<b>81</b>	Nome località per esteso (max 40+null)
<b>LineCodeBip</b>	unsigned int	32	<b>162</b>	Codice della linea "BIP" (range 0..0xFFFFFFFF e cioè 24 bit, il valore 0 significa linea non definita)
<b>LineDescriptionBip</b>	char(41)	-	<b>166</b>	Descrizione della linea BIP esteso (max 40+null)
			<b>207</b>	

Tabella 2-6: struttura dati del pacchetto INFO\_BIP2 dal 74° byte in avanti

#### 2.2.4 Il sistema di videosorveglianza

A bordo della maggior parte dei veicoli sono presenti sistemi di videosorveglianza, con lo scopo di garantire la sicurezza sia dei passeggeri che degli autisti. Il numero delle telecamere varia in base alla lunghezza della vettura (con un minimo di 4 in quelle da 12m, a 5 telecamere per le vetture da 18 m, fino ad un massimo di 8 per i tram da 34m) e la loro disposizione è stata progettata per coprire l'intera area degli autobus.



Figura 2-8: Esempio di NVR e telecamera PoE del sistema Ameli Ip5000.

La percentuale di veicoli in servizio urbani dotati di videosorveglianza attiva è circa del 70%, di cui 214 veicoli sono equipaggiati con videosorveglianza analogica e 313 con videosorveglianza digitale. Le telecamere analogiche sono accoppiate ad un sistema di videosorveglianza del tipo Elsag e Ameli Vigila, quelle digitali Elsag Nobu, Ameli Svs2000, Ameli Ip5000; la videosorveglianza Elsag Nobu e Ameli Ip5000 hanno la tecnologia PoE (si veda cap. 1.4.1.1). Gli autobus extraurbani dotati di videosorveglianza attiva sono il 20%, con sistema del tipo Ameli Ip5000. Infine, la flotta di tram ha il 55% di mezzi attrezzati con videosorveglianza, anch'essa del tipo Ameli Ip5000.

La registrazione dei filmati è ottenuta grazie alla presenza a bordo di un apparato **NVR** (Network Video Recorder), mentre l'archiviazione avviene su appositi hard disk per un periodo massimo di 7 giorni, dopo i quali avviene la sovrascrittura con i file più recenti.

Nei capitoli successivi verrà descritto in modo più approfondito il sistema di videosorveglianza a bordo del veicolo utilizzato per la sperimentazione.

### 3 Metodologia e strumentazione utilizzata

Il conteggio passeggeri è un argomento che attrae un grande interesse in parecchi campi e le soluzioni proposte sono tra le più disparate. Negli ultimi anni sono stati effettuati diversi studi sul conteggio passeggeri effettuato tramite computer vision: si veda ad esempio lo studio fatto dall'Università di Parma nel 2014 (Bernini, Bombini, Buzzoni, Cerri, Grisleri 2014) con approccio stereoscopico, utilizzando una coppia di telecamere per ogni porta in posizione zenitale. Un altro studio effettuato dalla Kaunas University of Technology in Lituania, ha dimostrato come l'utilizzo di algoritmi di computer vision applicati al conteggio passeggeri da video possa portare ad accuratezze di circa 90% (P. Lengvenis, R. Simutis, V. Vaitkus, R. Maskeliunas 2013).

Le principali tecnologie conta-passeggeri presenti sul mercato, realizzate ad hoc, dichiarano valori di accuratezza del 90-95%, le quali però comportano dei costi per l'acquisto e l'installazione.

I veicoli posseduti dall'azienda di trasporto pubblico torinese sono dotati di telecamere per fini di sicurezza e, nonostante non siano di tipo stereoscopico e la loro posizione non sia zenitale rispetto alle porte, si potrebbero applicare tecniche di video analisi per fini di conteggio. In letteratura non sono stati trovati esempi di computer vision applicata nelle condizioni appena esposte, tuttavia è stato riscontrato uno studio legato a questo tema: nel 2016 in India è stato pubblicato un articolo su un sistema di conteggio passeggeri all'interno degli ascensori, basato su tecniche di riconoscimento facciale applicate ai video della sorveglianza con CCTV (N. V. Rajeesh Kumar, G. DhanaSekar, M. Dennis 2016).

Le sole telecamere, però, potrebbero non essere sufficienti ad ottenere un conteggio accurato, dunque si è pensato di utilizzare anche un secondo sistema basato sul peso del veicolo. Anche per quest'ultimo sistema, nell'ambito del trasporto pubblico su autobus, non sono stati riscontrati argomenti in letteratura; tuttavia è stato svolto uno studio in campo ferroviario nella città di Copenhagen (B. F. Nielsen, L. Frolich, O.A. Nielsen, D. Filges 2014), il quale ha dimostrato come rispetto alle tecnologie che rilevano i passeggeri entrati e usciti un sistema di conteggio passeggeri basato sul peso sia più robusto, in quanto la stima ad ogni fermata non dipende dalle misure precedenti. Lo studio ha attestato come l'approccio basato sul peso fornisca un conteggio dei passeggeri paragonabile a un sistema APC con infrarossi. Un ulteriore studio è stato svolto a Waltham in Massachusetts, dove è stata dimostrata la fattibilità di utilizzare degli accelerometri per stimare di carico dei passeggeri sui vagoni ferroviari, rilevando il

cambiamento di vibrazioni. (Saurav R. Tuladhar, Peter Khomchuk, and Siva Sivananthan 2018).

L'intento di questa tesi è di riutilizzare delle tecnologie già presenti a bordo e sintetizzarle in un sistema combinato, realizzabile con i dati provenienti dalla videosorveglianza a bordo, a cui sono applicate tecniche di video analisi, e dal circuito pneumatico delle sospensioni su cui sono stati installati sensori di carico per misurare la pressione circolante.

I dati relativi ai sensori di pressione sono stati raccolti in un single-board computer, la cui descrizione è presente nei capitoli successivi, per essere poi analizzati offline insieme ai video di sorveglianza.

### *3.1 Scelta degli autobus di riferimento*

Per effettuare la sperimentazione è stata individuata in primis la categoria di veicoli: gli autobus elettrici BYD acquisiti da GTT nel 2017, modello a 2 assi K9UB con lunghezza di circa 12m; l'alimentazione è elettrica e la capacità delle batterie è di 324 kWh. All'allegato 1 è presente la scheda tecnica del veicolo.

Questi veicoli sono dotati di 3 porte, le due posteriori con apertura a scorrimento e quella anteriore con apertura in rotazione; il numero massimo di passeggeri trasportabili è pari a 84 o, nel caso sia presente una carrozzella, scende a 78.

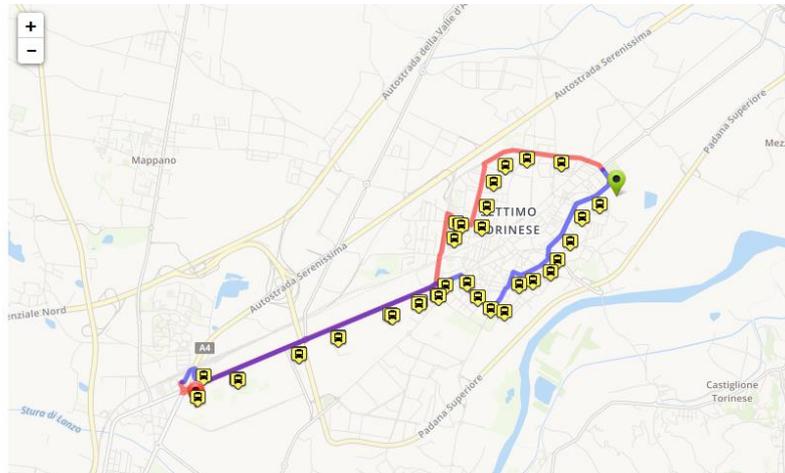
Una centralina di tipo ECAS (Electronically Controlled Air Suspension) controlla le sospensioni pneumatiche che garantiscono l'assetto e il bilanciamento dell'autobus, permettendo l'utilizzo di sensori per misurare la pressione dell'aria inviata a ogni cuscinetto (si veda cap. 3.2.3 per la descrizione completa della centralina).

Le telecamere sono digitali Hikvision, con videosorveglianza del tipo Ameli IP5000, adatte per applicare tecniche di videoanalisi (si veda cap. 3.2.1 per la descrizione delle telecamere).

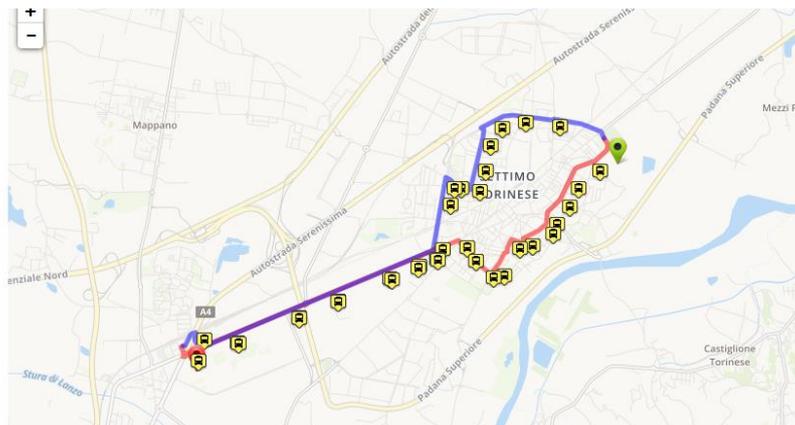
La flotta GTT è composta da 20 di questi veicoli, con ID compreso tra 30E e 49E, immatricolati nel 2017, i quali servono principalmente 4 linee: la SE1 e la SE2, ossia due linee in circolazione nella città di Settimo, la linea 19 e la linea 6 operanti nella città di Torino.

La linea SE1 è una circolare, i capolinea sono da Park Stura a Via Lombardia a Settimo (in Figura 3-1 in rosso) con 17 fermate intermedie, e nel senso opposto viceversa (in

Figura 3-1 in blu) con 18 fermate intermedie. La linea SE2 ha gli stessi capolinea, ma il percorso è in senso opposto (in Figura 3-2 in rosso da Park Stura a Via Lombardia e in blu il ritorno) con 18 fermate in andata (in rosso) e 17 a ritorno (in blu).



*Figura 3-1: Percorso della linea SE1.*



*Figura 3-2: Percorso della linea SE2.*

La linea 19 è anch'essa circolare, i capolinea sono in Corso Cadore e Piazza Solferino, con 17 fermate intermedie in un senso (in rosso in Figura 3-3) e 21 nell'altro (in blu in Figura 3-3).

Infine, la linea 6 va da Piazza Hermada a Piazza Carlo Felice (in rosso Figura 3-4) con 13 fermate intermedie e viceversa (in blu) con altrettante fermate.

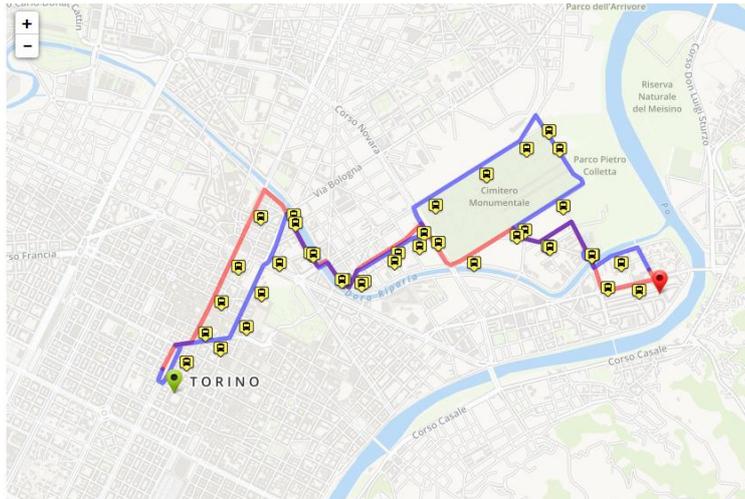


Figura 3-3: Percorso della linea 19.

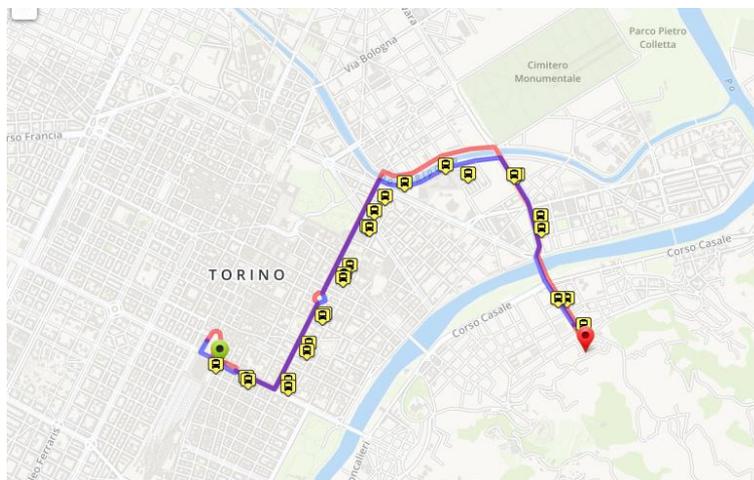


Figura 3-4: Percorso della linea 6.

Il veicolo scelto per la sperimentazione è il 33E, in quanto al momento dell'installazione del sistema di conteggio era già presente in officina per manutenzione, non dovendo così tenere fermo un ulteriore veicolo per il montaggio e garantendo le esigenze di servizio aziendali.



Figura 3-5: Veicolo 33E utilizzato per la sperimentazione.

### 3.2 Utilizzo di tecnologie in dotazione ai veicoli

#### 3.2.1 Videosorveglianza a bordo

Gli autobus su cui sono stati installati i sensori sono dotati di videosorveglianza digitale del tipo Ameli IP5000, con 4 telecamere Hikvision. La risoluzione dei video è 720x576 con 12fps e il formato è di tipo H.264 che viene poi crittografato dal registratore Ameli con formato proprietario. Per ogni telecamera i video sono frammentati in file della durata di circa 1 minuto, salvati su un hard disk dal NVR.

La videosorveglianza è stata installata con lo scopo di garantire la security del trasporto pubblico, ovvero la sicurezza relativa ad azioni deliberate all'interno del veicolo. La posizione delle telecamere è stata quindi studiata in modo da non avere punti ciechi all'interno dell'autobus, per garantire la completa vigilanza; le prime tre sono distribuite per avere un punto di osservazione anche delle porte e sono integrate all'autobus, invece la quarta telecamera è stata inserita successivamente dall'azienda per avere una maggiore copertura dell'area posteriore nel veicolo.

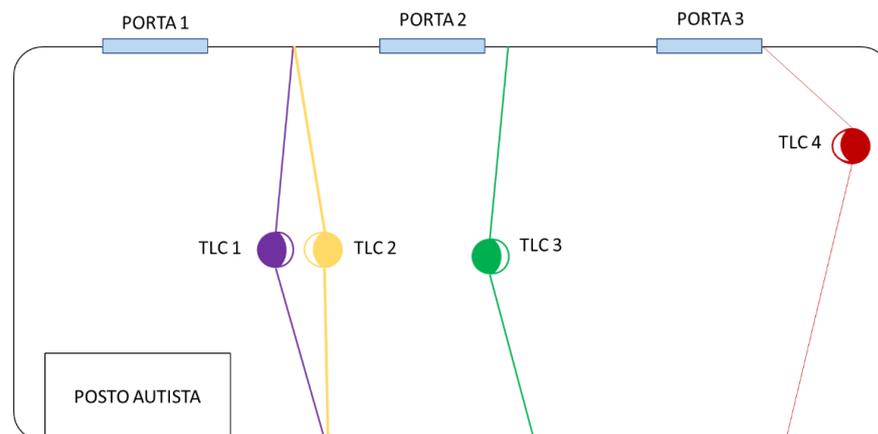


Figura 3-6: Schema delle telecamere di bordo.

Ogni telecamera ha un indirizzo IP ed è collegata allo switch di bordo, potendo così inviare lo streaming video al registratore NVR, collegato anch'esso allo switch con indirizzo IP pari a 192.168.0.15.

Il client FileZilla, un software opensource, ha permesso il trasferimento dei file video attraverso la rete secondo il protocollo FTP (File Transfer Protocol) dal NVR al computer.

Per visualizzare i file è stato utilizzato il software Viewer, fornito all'azienda da Ameli, il quale si compone di due parti: SvsViewer e Viewer3000. La componente utilizzata è stata Viewer3000, la quale consente sia la visualizzazione continua delle 4 telecamere

contemporaneamente, sia l'accorpamento e la successiva conversione dei video nel formato standard “.avi”.

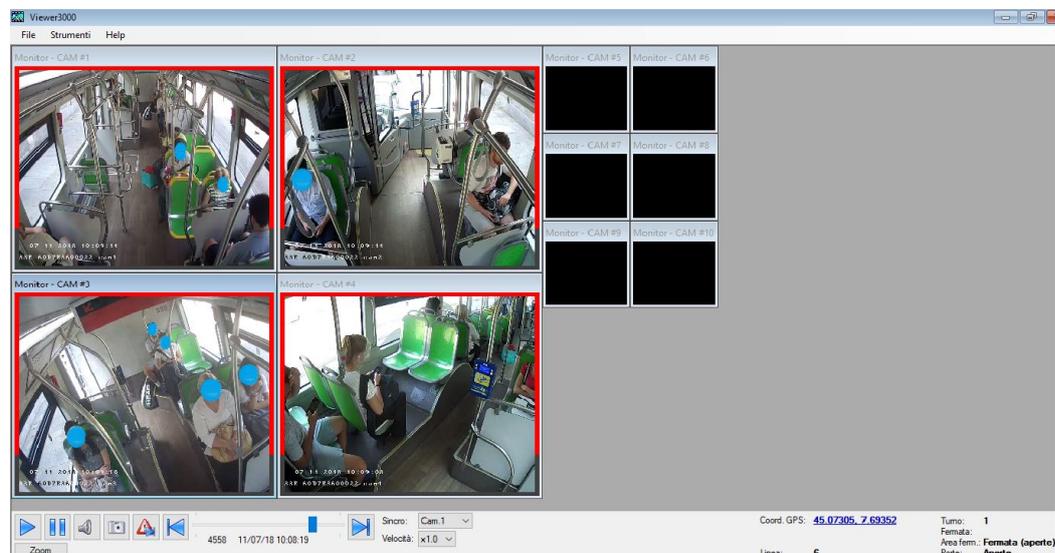


Figura 3-7: Visualizzazione dei video di sorveglianza con Viewer3000.

L'interfaccia del software Viewer3000 consente inoltre di visualizzare le coordinate GPS, corrispondenti alla posizione del veicolo nel momento in cui l'immagine video è stata tratta, la linea servita dal veicolo, il turno macchina, la fermata corrente e lo stato delle porte (si vedano le informazioni in basso a destra in Figura 3-7). È possibile modificare la velocità del video, metterlo in pausa e successivamente riprendere la registrazione attraverso i tasti appositi (in basso a sinistra in Figura 3-7).

I video sono stati utilizzati in primo luogo per avere un'idea delle inquadrature e delle eventuali possibilità di conteggio: infatti, a causa della struttura dell'autobus sono presenti degli ostacoli, quali maniglie e elementi tubolari, che impediscono la completa visibilità sulla scena; inoltre a causa della visuale non diretta sulle porte, non è possibile contare in maniera automatica i passeggeri in ingresso e uscita dall'autobus, ma è possibile contare quelli a bordo tra due fermate successive.

Successivamente, la funzione dei video è stata duplice in quanto hanno permesso sia il conteggio di tipo manuale che l'applicazione del software di video analisi, con la metodologia spiegata in seguito.

Le immagini estrapolate dalle telecamere sugli autobus sono state trattate ai sensi dell'art. 100 D.lgs. 30 giugno 2003 n°196 – “Codice in materia di protezione dei dati personali”, il quale asserisce che *“Al fine di promuovere e sostenere la ricerca e la collaborazione in campo scientifico e tecnologico i soggetti pubblici, ivi comprese le università e gli enti di ricerca, possono con autonome determinazioni comunicare e diffondere, anche a*

*privati e per via telematica, dati relativi ad attività di studio e di ricerca, a laureati, dottori di ricerca, tecnici e tecnologi, ricercatori, docenti, esperti e studiosi, con esclusione di quelli sensibili o giudiziari.” e dell’art. 89 GDPR 679/16 – “Regolamento europeo sulla protezione dei dati personali”, per cui secondo il Comma 1 “Il trattamento a fini di archiviazione nel pubblico interesse, di ricerca scientifica o storica o a fini statistici è soggetto a garanzie adeguate per i diritti e le libertà dell’interessato, in conformità del presente regolamento. Tali garanzie assicurano che siano state predisposte misure tecniche e organizzative, in particolare al fine di garantire il rispetto del principio della minimizzazione dei dati. Tali misure possono includere la pseudonimizzazione, purché le finalità in questione possano essere conseguite in tal modo. Qualora possano essere conseguite attraverso il trattamento ulteriore che non consenta o non consenta più di identificare l’interessato, tali finalità devono essere conseguite in tal modo.” e secondo il Comma 2 “Se i dati personali sono trattati a fini di ricerca scientifica o storica o a fini statistici, il diritto dell’Unione o degli Stati membri può prevedere deroghe ai diritti di cui agli articoli 15, 16, 18 e 21, fatte salve le condizioni e le garanzie di cui al paragrafo 1 del presente articolo, nella misura in cui tali diritti rischiano di rendere impossibile o di pregiudicare gravemente il conseguimento delle finalità specifiche e tali deroghe sono necessarie al conseguimento di dette finalità.”.*

### 3.2.2 Architettura del CANbus

Si è pensato di accoppiare il sistema di videosorveglianza con un secondo, basato sul carico complessivo che grava sul veicolo, ricavabile dal valore di pressione dell’aria inviata dalla centralina alle sospensioni pneumatiche, che garantisce l’assetto del veicolo al variare del peso dei passeggeri.

Inizialmente, con la premessa di non installare nessuna tecnologia nuova all’interno dell’autobus, si è partiti da un’ipotesi secondo cui sulla rete **CANbus** ci fosse il dato relativo alla pressione delle sospensioni, utilizzabile ad esempio per scopi diagnostici.

Il CAN (Controller Area Network) è uno standard sviluppato nel 1983 dalla società R. Bosch per il trasferimento dei dati nei veicoli a motore. Questo bus permette a microcontrollori e apparati di comunicare tra loro, senza la necessità di un computer; la sua tecnologia si può collocare nei livelli 1 e 2 (Physical and Data Link Layers) del modello ISO-OSI. Questo modello rappresenta uno standard per la progettazione dell’architettura logica di una rete, la quale viene suddivisa in 7 livelli gerarchici: il livello più basso rappresenta quello fisico, mentre quello più alto il livello applicativo; i vari livelli comprendono sia componenti hardware che software.

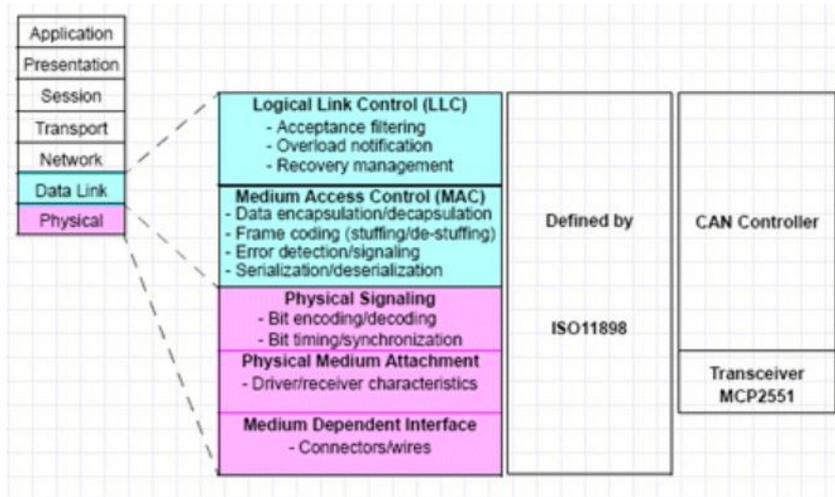


Figura 3-8: Il CAN nel modello ISO-OSI. (CAN s.d.)

Il CAN è uno standard di bus seriale multi-master per il collegamento di centraline elettroniche (ECU) note anche come nodi. Ogni nodo è abilitato a mandare e ricevere messaggi ed è costituito da:

- una CPU (Central Processing Unit), microprocessor o host processor;
- un Controller, spesso parte integrante del microcontrollore;
- un Transceiver.

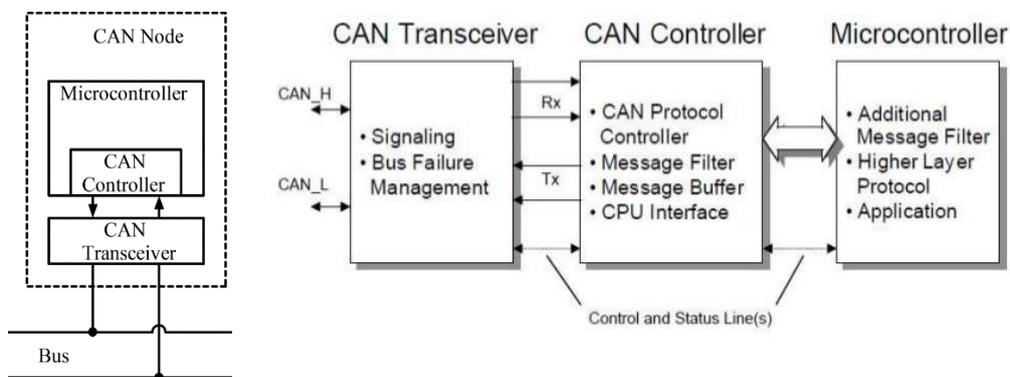


Figura 3-9: Architettura dei nodi di una rete CANbus. (CANbus s.d.)

Il processore decide cosa significano i messaggi ricevuti e quali messaggi desidera trasmettere. Sensori, attuatori e dispositivi di controllo possono essere collegati al processor.

Il controller in ricezione memorizza i bit seriali ricevuti dal bus fino a quando non è disponibile un intero messaggio, che può quindi essere prelevato dal processore; in invio manda i messaggi di trasmissione a un controller CAN, che trasmette i bit in modo seriale sul bus quando questo è libero.

Il transceiver converte il flusso di dati dai livelli CANbus ai livelli utilizzati dal controller CAN e viceversa. Di solito ha un circuito di protezione per proteggere il controller CAN.

Sulla rete CAN possono viaggiare informazioni relative ad esempio al motore, al consumo di carburante, alla velocità di guida, all'apertura delle porte, agli allarmi e all'aria condizionata.

### 3.2.3 *Circuito pneumatico e sistema ECAS*

Il sistema di sospensioni pneumatiche è del tipo ECAS (Electronically Controlled Air Suspension), ossia un sistema a controllo elettronico, con un gran numero di funzioni.

I sistemi a sospensione pneumatica sono stati utilizzati nei veicoli dalla metà degli anni '50, soprattutto negli autobus. I vantaggi delle sospensioni pneumatiche rispetto a quelle meccaniche (molle in acciaio) sono i seguenti:

- aumento del comfort di marcia a causa della minore velocità della molla e bassa frequenza naturale;
- altezza del veicolo costante indipendentemente dal carico;
- attivazione precisa dei freni dipendente dal carico, attraverso l'uso della pressione dell'aria;
- funzione di inginocchiamento (abbassamento di un lato del veicolo per facilitare l'entrata e l'uscita).

Il sistema di controllo è stato inizialmente progettato con pure valvole di livellamento funzionanti meccanicamente, subito dopo sono stati sviluppati sistemi di controllo elettromeccanici. Ciò è servito per migliorare la facilità di funzionamento e facilitare i processi di innalzamento/abbassamento.

L'utilizzo di centraline elettroniche è stato un miglioramento determinante rispetto al sistema convenzionale: tra gli effetti vi è la riduzione del consumo di aria mentre il veicolo è in movimento, alta velocità di tutti i processi di controllo grazie alla valvola con una grande sezione trasversale, facile installazione in quanto è richiesta solo una linea d'aria dall'elettrovalvola a ciascun soffiato e uno al serbatoio di stoccaggio, miglior sicurezza e funzionalità di diagnostica.

Il sistema ECAS in un bus è costituito dai seguenti componenti:

- un'unità elettronica ECAS (ECU);
- sensori di distanza che mantengono costante l'altezza del telaio rispetto alla pavimentazione;

- elettrovalvole, gestite elettricamente e dotate di un attuatore meccanico che regola la pressione nei soffietti;
- soffietto (molla ad aria);
- interruttori sul cruscotto.

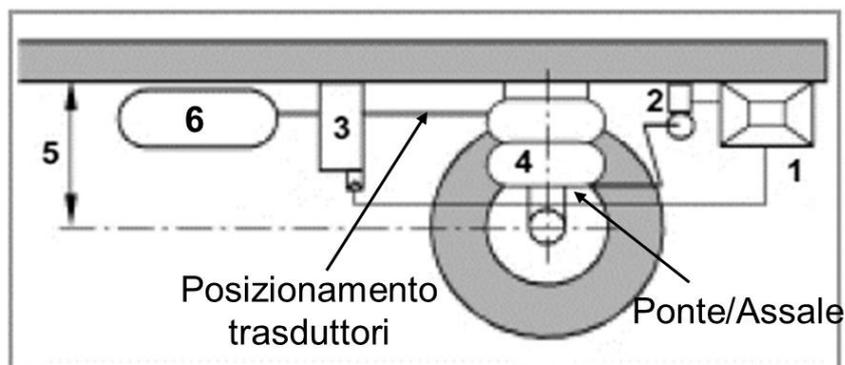


Figura 3-10: Esempio di un sistema ECAS. 1) ECU; 2) sensori di livello; 3) elettrovalvola; 4) soffietto; 5) livello nominale; 6) serbatoio d'aria. (WABCO 2017)

L'unità di controllo elettronica è il cuore del sistema ECAS e si trova all'interno del bus; i singoli componenti sono collegati con la centralina tramite connessioni a spina.

Il sensore di livello funge da trasmettitore per il rilevamento continuo di eventuali cambiamenti nello spazio tra il telaio e la pavimentazione stradale, cercando di mantenere tale valore costante, sulla base delle impostazioni contenute nella centralina.

Controllate dalla centralina come un attuatore, le elettrovalvole convertono la tensione applicata in un processo di aspirazione/scarico dell'aria, ossia aumentano, abbassano o mantengono il volume d'aria nei soffietti delle sospensioni pneumatiche. Lo spazio e il tempo di installazione richiesti sono ridotti al minimo combinando più elettrovalvole in un blocco compatto.

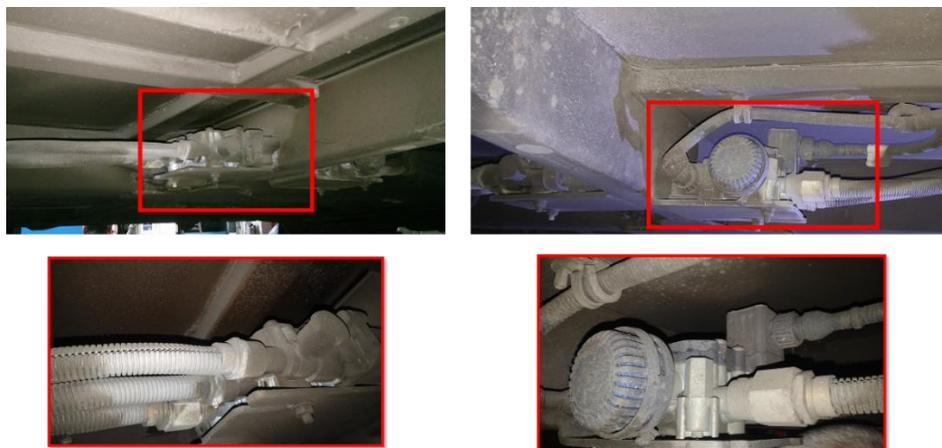


Figura 3-11: Elettrovalvole del circuito pneumatico nel sistema ECAS del veicolo 33E.

Come si vede nello schema del sistema ECAS, è possibile inserire dei trasduttori di pressione, ossia dei sensori che misurino i valori di pressione dell'aria presente nel circuito, posizionandoli tra la valvola elettromeccanica e i soffietti; in questo modo il sensore risente delle variazioni di pressione inviate dalla valvola alla molla d'aria.

La generazione più recente dei sistemi ECAS ha funzionalità di CANbus e le informazioni vengono trasmesse tramite identificatori SAE-CAN.

Poiché i sensori, gli attuatori e gli interruttori sono distribuiti in tutto il veicolo, in precedenza era necessaria una grande quantità di cavi per collegare i relativi dispositivi all'elettronica di controllo corrispondente. Invece, al posto di utilizzare un circuito elettrico per ogni segnale trasmesso, il CANbus si basa su una piattaforma di comunicazione che regola la trasmissione di messaggi tra più dispositivi.

Sul veicolo usato nella sperimentazione sono presenti 3 sensori di livello: 2 sul ponte, ossia l'asse posteriore con forza motrice di trazione, 1 sull'assale, ossia l'asse sterzante anteriore.

Lo schema del circuito pneumatico presente all'allegato 2 mostra la disposizione delle valvole e dei soffietti (o molle d'aria). Come si può notare, per gli pneumatici anteriori è presente una coppia di soffietti, mentre per gli pneumatici posteriori sono presenti 2 coppie di soffietti, garantendo il sostegno sull'asse trainante.

### 3.3 Utilizzo di tecnologie non in dotazione ai veicoli

Dopo un'accurata analisi con l'azienda, si è giunti alla conclusione che l'ipotesi di partenza non fosse perseguibile: infatti, su alcuni autobus esistono dei sensori il cui compito è misurare la pressione, tuttavia non risulta attivo il loro canale sul CAN, oppure in alcuni casi è presente il dato di pressione ma non sono dotati di videosorveglianza digitale; in altri casi, invece, non sono presenti i sensori da cui attingere le informazioni.

Inoltre, qualora il dato fosse disponibile sulla rete CAN bisognerebbe avere un livello di sensibilità tale da riconoscere la variazione di pressione data dalla salita o discesa di un passeggero, con una certa affidabilità.

Per queste ragioni, si è scelto di procedere con l'installazione di trasduttori di pressione che utilizzino come comunicazione la rete CAN, i cui messaggi saranno chiusi in pacchetti IP da un convertitore, in modo da congiungersi allo switch della rete di bordo su cui viaggia il resto delle informazioni.

### 3.3.1 *Trasduttori di pressione*

In commercio esistono diversi tipi di sensori, quelli più adatti per questo progetto sono i **CMP (CANopen Miniature Pressure-Transmitter) 8270/8826** prodotti dalla Trafag Italia, la filiale italiana di Trafag AG con sede in Svizzera, specializzata nella produzione di sensori di pressione, trasduttori di pressione, trasmettitori di pressione, pressostati, termostati, controllo densità gas, indicatori. Ciò che rende tali sensori adatti allo scopo di questa tesi è il loro metodo di comunicazione basato sul CAN, la certificazione EN50155<sup>12</sup> che garantisce il loro uso in ambienti particolarmente ostili e il range di pressione a cui possono lavorare (0.001-10 bar).

I sensori acquistati sono 8, di cui 4 da installare su un veicolo e il resto come riserva, nel caso di danneggiamento durante la corsa del veicolo.



*Figura 3-12: Trasduttore di pressione CMP. (Trafag AG 2012)*

Il CMP è un trasduttore di pressione di precisione con interfaccia CANopen secondo le specifiche CiA (CAN in Automation).

L'interfaccia CAN fisica corrisponde alla specifica DIN ISO 11898. Un sistema CAN-Bus secondo il modello ISO-OSI mostra che il CAN può solo definire i due livelli inferiori e il CANopen definisce il settimo livello (application layer).

---

<sup>12</sup> EN 50155: 2017 è uno standard internazionale che riguarda le apparecchiature elettroniche utilizzate nel materiale rotabile per applicazioni ferroviarie. Lo standard copre aspetti di queste apparecchiature elettroniche, tra cui temperatura, umidità, urti, vibrazioni e altri parametri.

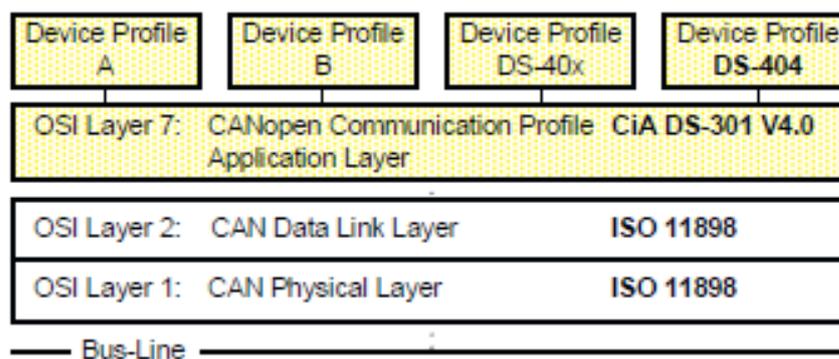


Figura 3-13: CANopen secondo il modello ISO-OSI. (Trafag AG 2012)

I profili di comunicazione e dispositivo CANopen sono stati pubblicati come profili DS-301 e DS-40x dall'organizzazione CAN internazionale CiA. Il profilo DS-301 definisce il "COME" della comunicazione, mentre il "COSA" (significato dei dati) è definito dai requisiti del singolo dispositivo. Le unità di misurazione e controllo si basano sul profilo del dispositivo DS-404 (Dispositivi di misurazione e Controller ad anello chiuso).

Per mezzo di un sensore di film sottile su acciaio, la pressione viene misurata con una risoluzione di 20 Bit / s ( $\Delta\Sigma$ -converter), la temperatura con una risoluzione di 13 bit. Ogni 1 ms il valore della pressione viene campionato matematicamente, linearizzato e termoregolato. La soluzione risultante è limitata a 13 bit (0 - 2000 h). Due Moving-Average-Filters variabili, uno per la pressione (1ms - 65s) e uno per la temperatura (0.1s - 1.82 h) garantiscono una filtrazione di misura ottimale. I valori del campo di misura mappabili (si veda "Mapping Mode ") sono disponibili per tutti i tipi di dati (Float, Integer32/24/16) e per tutte le principali unità di misura (bar, Pa, psi, mmHg, atm, at, ° C, ° F, K). Il nodo supporta tutti i baudrates (velocità di trasmissione) CiA da 10kbit/s a 1Mbit/s e il formato CAN 2.0 A / B.

### CiA standard bit timing

Table Index <sup>1)</sup>	Baudrate	Index 2001H Baudrate	
0h	1 MBit/s	1000d	03E8h
1h	800 kBit/s	800d	0320h
2h	500 kBit/s	500d	01F4h
3h	250 kBit/s	250d	00FAh
4h	125 kBit/s	125d	007Dh
5h	100 kBit/s	100d	0064h
6h	50 kBit/s	50d	0032h
7h	20 kBit/s	20d	0014h
8h	10 kBit/s	10d	000Ah
9h	Automatic bit rate detection	0d	0000h

<sup>1)</sup> Table Index for LSS, Table Selector = 1 (CiA standard bit timing)

Figura 3-14: Baudrate secondo lo standard CiA. (Trafag AG 2012)

Il profilo di comunicazione è di tipo CANopen, ossia aperto e basato sul CAN di alto livello (application layer nel modello ISO-OSI), sviluppato dal CiA (CAN in Automation) e adottato per la standardizzazione internazionale. Il CANopen è costituito dalle definizioni del protocollo (communication profile) e dei profili dispositivo che standardizzano i contenuti dei dati per le varie classi di dispositivi; definisce, inoltre, i tipi di trasmissione per i dati di input e di output (PDO, Process Data Objects):

- Timer driven: i messaggi vengono inviati se è trascorso un periodo di tempo specificato;
- Event driven: i messaggi vengono inviati non appena i loro contenuti sono cambiati (al verificarsi di un evento specifico dell'oggetto);
- Cyclic synchronous: un messaggio SYNC fa sì che i dispositivi misurino o/e inviino misurazioni effettive;
- Requested: un messaggio di richiesta dati CAN fa sì che il dispositivo invii i suoi dati di misurazione.

Il profilo di comunicazione CANopen si basa su un dizionario di oggetti. Il profilo di comunicazione DS-301 definisce due tipi di Data Objects e un numero di oggetti speciali richiesti per sincronizzazione (SYNC), emergenza (EMCY), Heartbeat e Network Management (NMT). Il Process Data Objects (PDO) consente la trasmissione di dati in tempo reale e i Service Data Objects (SDO) consentono l'accesso al dizionario degli oggetti. Il dizionario degli oggetti contiene tutte le impostazioni (parametri) dell'unità.

I parametri sono letti e scritti all'indirizzo (multiplexor) corrispondente, costituito da un indice a 16 bit (index) e un sottoindice (subindex) a 8 bit che indirizza i dati rilevanti nel dizionario degli oggetti.

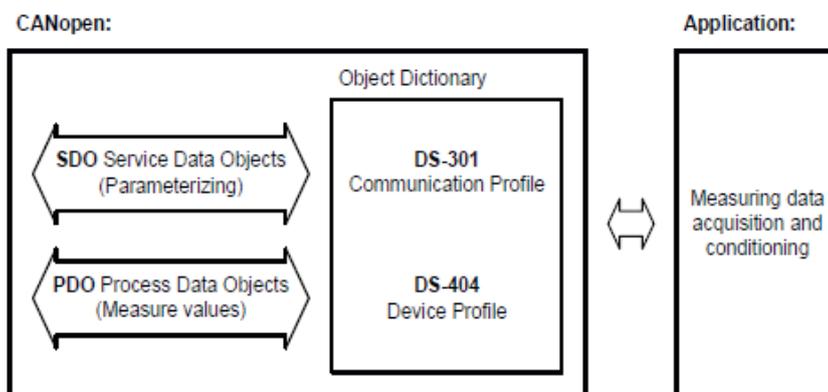


Figura 3-15: Schema del sistema con dizionario degli oggetti, SDO e PDO. (Trafag AG 2012)

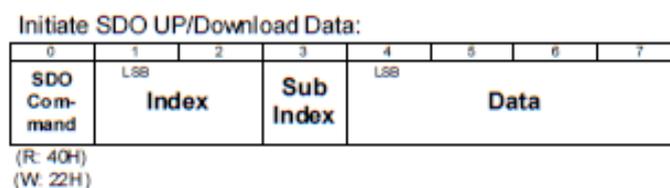
Il Transmission Type determina quando viene trasmesso un valore di misurazione (PDO). Il Transmission Type 254 è specifico del dispositivo, tutti gli altri tipi di trasmissione sono definiti nella comunicazione profilo DS-301; il Transmission Type 254 trasmette il PDO corrispondente dopo un evento di pressione o temperatura. Un evento viene generato quando la pressione o la temperatura cambiano più del valore delta preimpostato o passano una delle due soglie di commutazione.

Quale evento provoca la trasmissione del PDO è definito dalla Event Mask. Se per la trasmissione ciclica viene utilizzato l'Event Timer, una trasmissione ha luogo solo nel caso in cui il valore misurato sia oltre la soglia superiore o al di sotto della soglia inferiore. L'isteresi regolabile delle due soglie risiede sempre al di sotto della soglia superiore e al di sopra della soglia inferiore.

Il MAPPING MODE determina cosa viene trasmesso dal PDO, predefinito in una tabella di mapping, e possono essere trasmessi 4 messaggi CAN per la pressione e 4 per la temperatura, assegnati da due tipologie di eventi:

- la pressione passa sopra o sotto il limite inferiore;
- la pressione passa sopra o sotto il limite superiore;
- la temperatura passa sopra o sotto il limite inferiore;
- la temperatura passa sopra o sotto il limite superiore.

Ogni messaggio trasmesso può contenere fino a 8 bytes ma il Mapping Entry determina quanti di questi bytes sono realmente trasmessi, infatti i valori possono essere a 8, 16, 32 o 64 bits. La struttura del messaggio ricevuto dal sensore è la seguente:



*Figura 3-16: Struttura dei messaggi ricevuti dal sensore. (Trafag AG 2012)*

Il primo byte determina se il messaggio sia di lettura (40h) o di scrittura (22h); “index” e “sub index”, come detto in precedenza, rappresentano l'indirizzo dell'informazione corrispondente; infine il “data” è il contenuto del messaggio, con ogni byte pari a 0 nel caso di lettura.

Il sensore risponde con un messaggio che ha la stessa struttura ma con il primo byte differente, a seconda della tipologia di informazione richiesta.

Inoltre, ogni messaggio è caratterizzato da un COB-ID, il quale identifica la tipologia di dato e la direzione del messaggio (inviato dal sensore o ricevuto da esso); le tipologie principali utilizzate in questo progetto sono riportate nella tabella sottostante.

<b>COB-ID</b>	<b>TIPOLOGIA</b>	<b>DATO</b>
00h	Ricezione	INIZIALIZZAZIONE
600h+nodeID	Ricezione	SDO
580h+nodeID	Trasmissione	SDO
180h+nodeID	Trasmissione	PDO1 (pressione)
280h+nodeID	Trasmissione	PDO2 (temperatura)
700h+nodeID	Trasmissione	HEARTBEAT
80h+nodeID	Trasmissione	EMERGENCY

*Tabella 3-1: Sintesi dei principali COB-ID del sensore.*

Nel documento all'allegato 3, viene riportato il manuale da cui sono state tratte le precedenti informazioni sui sensori, con annesse tabelle per la Event Mask e per gli indirizzi corrispondenti ad ogni parametro da impostare. Nelle tabelle "Communication Profile Area", "Standardised Device profile area", "Manufacturer Specific Profile Area" sono descritti i contenuti di ogni indirizzo e l'accessibilità delle informazioni contenute: alcune celle sono di sola lettura (RO), altre di sola scrittura (WO) e infine celle in cui è possibile leggere o scrivere (RW). Tutte le informazioni sono scritte in esadecimale con modalità LSB (si veda cap. 2.2.2.1 per la definizione).

Per programmare i sensori è stato utilizzato un dispositivo in possesso dell'azienda, dotato di un connettore maschio seriale per il segnale CAN e uno USB per il collegamento al PC. Il collegamento tra un sensore e questo dispositivo è stato effettuato utilizzando un connettore M12 a 5 poli, a cui sono stati saldati i cavi di alimentazione e i cavi segnale per CAN H e CAN L. I cavi di alimentazione sono stati poi collegati ad un trasformatore per ottenere 24 V, invece i cavi segnale sono stati saldati nell'altra estremità ad un connettore femmina seriale. Il connettore femmina è stato congiunto al dispositivo, il quale a sua volta è stato allacciato alla porta USB del PC.

Attraverso il software proprietario del dispositivo CAN/USB è stato possibile interfacciarsi ai sensori. Il software consente la connessione dopo aver impostato il baud rate dei sensori, in questo caso 100 kbit/s, e permette di dialogare con i sensori.

I sensori, inizialmente, erano impostati con parametri di default dalla casa produttrice; la trasmissione dei dati avveniva solo a seguito di un'interrogazione, rendendo i sensori non idonei all'acquisizione automatica di dati. Il primo passo è stato cambiare questa

impostazione, imponendo l'invio di dati nel momento in cui i sensori sono alimentati (si veda "Autostart without NMT Msg. Sending: 08h" all'index **1F80H**). Successivamente, è stato impostato anche il campo "Start\_Mode\_Selection" (index **2200H**) al valore "auto" (61 75 74 6F in esadecimale).

Inoltre, i sensori necessitavano di un messaggio di partenza per stabilire quale fosse il baudrate del dispositivo con cui comunicare, per impostare successivamente in automatico il proprio. Questo rappresentava un ulteriore impedimento all'invio automatico di dati da parte del sensore. Per risolvere questo problema è stato modificato il campo relativo al baudrate del sensore, impostando il valore di 250 kbit/s ("FA" all'index **2001H**).

Successivamente, è stato modificato l'ID dei sensori (all'index **2000H**), che di default è sempre pari a 01, impostando i valori 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08 sulla base delle ultime due cifre del numero seriale sul sensore, in modo che ognuno fosse distinguibile in maniera univoca.

Al fine di assicurarsi che ogni sensore riceva l'alimentazione e sia funzionante, è stato modificato il "Producer Heartbeat Time" (index **1017H**), ossia una sorta di avviso automatico, imponendo la trasmissione ogni 1000 ms (03E8 in esadecimale). In questo modo, una volta al secondo ogni sensore trasmette un messaggio con COB-ID pari a 700+nodeID, attestando di essere attivo.

Di default viene trasmesso un solo PDO, relativo alla pressione, con periodicità di 1000 ms; per testare anche la funzione che misura la temperatura, è stato attivato un secondo PDO, modificando i campi del "Transmit PDO2 Parameter" (all'index **1810H**): il campo con subindex 1H, inizialmente impostato come "80000280+nodeID", è stato modificato in "00000280+nodeID"; la frequenza di trasmissione (al subindex 5H) è stata trasformata da 0 a 1000 ms. Infine, per completare la corretta trasmissione del PDO2, sono stati impostati i "PDO2 Application Parameter" (index **2101H**), seguendo il formato del PDO1: il "Mapping\_Mode" pari a 09h (subindex 1H, valore ottenuto dalla tabella "Prepared variable mapping") corrispondente a valori interi di temperatura a 32 bit, con "Event\_Mask" pari a 20 (subindex 2H, la maschera corrisponde il binario 0010 0000).

Infine, per fissare le modifiche apportate, è presente una funzione di salvataggio (index **1010H**) utilizzabile scrivendo "save" in esadecimale nella cella corrispondente (subindex 1H, i caratteri ASCII in esadecimale diventano 73 61 76 65).

La sintesi di quanto appena descritto è presente nell'immagine sottostante, in cui è presente l'elenco dei messaggi inviati ai sensori per la modifica dei parametri. Nello

specifico, questi sono relativi al sensore con ID pari a 1, per tutti gli altri è stato sufficiente modificare il COB-ID con il corrispondente node ID. Il DLC indica la lunghezza in bytes del messaggio inviato al sensore. La struttura del campo data è descritta alla Figura 3-16.

Message	DLC	Data
601h	8	22 10 10 01 73 61 76 65
601h	8	22 01 18 01 81 02 00 00
601h	8	40 01 18 01 81 02 00 00
601h	8	22 01 18 05 08 3E 00 00
601h	8	40 01 18 05 00 00 00 00
601h	8	22 80 1F 00 08 00 00 00
601h	8	22 01 20 00 FA 00 00 00
601h	8	40 01 20 00 00 00 00 00
601h	8	22 01 21 01 09 00 00 00
601h	8	22 01 21 02 20 00 00 00
601h	8	22 00 22 00 61 75 74 6F
601h	8	40 00 22 00 00 00 00 00
601h	8	22 00 20 00 08 00 00 00
601h	8	40 00 20 00 00 00 00 00
601h	8	40 00 12 02 00 00 00 00

Transmit

Connected to PCAN-USB (250 kBit/s) Overruns: 0 QXmtFull: 0

Figura 3-17: Insieme dei messaggi inviati al sensore con ID pari a 1.

Per ogni messaggio trasmesso, il sensore risponde con un messaggio di conferma o di errore rispetto alla modifica da apportare. Il COB-ID per la modifica di un parametro è pari a 580+nodeID, per il messaggio di “Heartbeat” è 700+nodeID, per la trasmissione del valore di pressione misurato è 180+nodeID e per la temperatura 280+nodeID.

Message	DLC	Data
181h	5	FE FF FF FF 00
182h	5	F9 FF FF FF 00
183h	5	FE FF FF FF 00
184h	5	FF FF FF FF 00
281h	5	1D 00 00 00 00
282h	5	1D 00 00 00 00
283h	5	1C 00 00 00 00
284h	5	1C 00 00 00 00
581h	8	43 01 18 01 81 02 00 00
701h	1	05
702h	1	05
703h	1	05
704h	1	05

Receive

Figura 3-18: Insieme dei messaggi inviati da 4 sensori.

### 3.3.2 Convertitore CAN/IP

Per l’acquisizione dei dati provenienti dai sensori è stato necessario uno strumento che impacchettasse le informazioni, in modo da utilizzare la rete LAN a bordo dell’autobus.

In commercio esistono diverse tipologie e, dopo svariati contatti con aziende produttrici, è stato possibile ottenerne uno in prestito d’uso: l’azienda fornitrice è la METATRONIX, una società del gruppo METATRON, focalizzata sui sistemi di controllo elettronico automobilistico e sull’ingegnerizzazione di veicoli a metano. L’azienda ha reso disponibile fra i suoi prodotti il convertitore **FMS2IP** del brand Digigroup.



*Figura 3-19: Convertitore FMS2IP. (Digigroup s.d.)*

FMS2IP è una piattaforma Linux embedded automobilistica, progettata per incapsulare i dati che viaggiano sulla rete CAN in pacchetti IP e basata sullo standard FMS (Fleet Management System).

Questo standard è un sistema di comunicazione nato nel 2002, quando sei dei maggiori produttori di camion (Volvo, Scania, Iveco, MAN, DAF, Mercedes-Benz) hanno deciso di creare un'interfaccia standard per acquisire informazioni relative ai veicoli.

Prima dell'introduzione di questo standard, sul mercato erano presenti diversi sistemi di comunicazione specifici all'interno dei veicoli e per essere in grado di acquisire le informazioni era necessaria la conoscenza di ciascun sistema.

Dopo l'istituzione dello standard FMS è necessario imparare solo un linguaggio, indipendentemente dall'OEM (Original Equipment Manufacturer) che ha prodotto il veicolo.

Lo standard stesso è stato un enorme passo avanti nella gestione della flotta, poiché i dispositivi telematici (AVL, Automatic Vehicle Location) possono accedere alle informazioni tecniche del veicolo senza la necessità di sviluppi specifici del veicolo stesso. (Fleet Management System Standard (FMS Standard) 2013)

I protocolli standard FMS di basso livello sono:

- Application layer – SAE J1939/71;
- Data link layer – SAE J1939/21;
- Physical layer – ISO 11898-2 High-speed CAN, 250 kbit/s bus speed;
- Physical connectors – Not standardized. (ACEA Working Group HDEI/BCEI 2012)

Nello specifico, il FMS2IP può essere configurato per trasmettere verso una LAN i messaggi letti sul CANbus FMS di ingresso. Il modulo legge i messaggi dal CAN FMS di ingresso e trasmette come messaggi UDP sull'uscita LAN Ethernet con un protocollo

documentato proprietario, mantenendo lo stesso formato, struttura e frequenza dei messaggi FMS originali.

Il formato del messaggio secondo lo standard FMS è il seguente, dove il PGN (Parameter Group Number) indica un indirizzo a 16 bit che identifica la funzione di un messaggio e i dati associati, il DLC contiene la dimensione del dato e i bytes da B0 a B7 contengono il dato trasportato dal pacchetto.

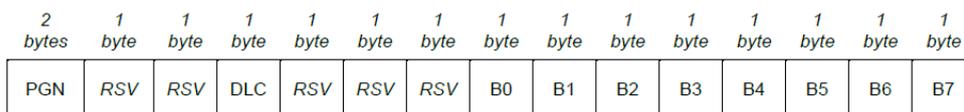


Figura 3-20: Formato del messaggio trasmesso via UDP secondo lo standard FMS.

FMS2IP può essere configurato per filtrare i messaggi CAN da trasferire alla LAN attraverso un'interfaccia web, in cui sono presenti delle maschere sui bit; nel caso specifico, non sono stati applicati filtri e tutti i messaggi derivanti dai sensori vengono convertiti in pacchetti IP. È anche possibile eseguire una personalizzazione del firmware interno per la gestione speciale dei messaggi o delle applicazioni personalizzate.

Per consentire la comunicazione con gli altri dispositivi di bordo (par. 2.2.1) è stato impostato l'indirizzo IP del dispositivo (192.168.0.154) dalla pagina web.

Le caratteristiche tecniche sono riassunte nella seguente tabella.

PROCESSOR	ARM9 @ 75 Mhz
OPERATING SYSTEM	Linux Embedded
MEMORY	8 MB Flash 16 MB SDRAM
INTERFACE	1x CAN (FMS, FMS2, FMS3) - DB25 connector (including +24V) 1x LAN - M12 Ethernet connector, 4 ways Female D-coded 1x Digital INPUT
LAN	10/100Base-T 10/100 Mbps (auto sensing) Full or Half-duplex (auto sensing)
LINUX Network Services	TCP/UDP, ICMP, ARP, RARP, BOOTP, DNS, DHCP, TFTP, Telnet, bridge-utils 1.4, cherokee 0.99.9, iproute2 2.6.38, net-snmp 5.4.2, openntpd 3.9p1, ppp 2.4.4
POWER	9-36 VDC, overvoltage & polarity inversion protection Consumption 1.5W
TEMPERATURE	Operating -30° to +70° C, +80° for 30 min. Storage -40° to +90° C
ENVIRONMENTAL	Standard IP 54 (IP67 on request)
HUMIDITY	5-90% relative humidity non condensing
CERTIFICATION & COMPLIANCE	Environmental: E-mark ECE R10-04 EN 13149 parts 7/8/9 (as required by EBSF European Project and ITxPT Initiative)  EN 50155 (Humidity, Ambient air temperature, Storage temperature) <sup>2</sup> EN 50155 (Power supply voltage interruption, Surges, Isolation resist.) <sup>2</sup> EN 60068-2-64 (Vibration, broad-band random and guidance) <sup>2</sup>  LAN Interface: FCC Part 15 Class B, EN 55022 Class B, EN 61000-3-2 and EN 61000-3-3 ICES-003 Class B, VCCI Class II, AS 3548, FCC Part 15 Sub C Section 15.247 IC RSS-210 Issue 5 Section 6.2.2(o), EN 300 328, EN 301 489-17, UL 60950-1 EN 60950 (EU), CSA C22.2, No. 60950, EN 55024

Figura 3-21: Caratteristiche tecniche FMS2IP. (Digigroup s.d.)

### 3.3.3 Unità di memorizzazione a bordo

Una delle scelte fondamentali per la funzionalità del sistema è stata l'unità di memorizzazione e calcolo a bordo del veicolo: infatti, da essa sono derivate la metodologia di acquisizione dei dati e le modalità di analisi dei video di sorveglianza.

Le alternative a disposizione erano due: la prima rappresentata da un box pc fanless (senza ventole) con certificazione ferroviaria EN50155, adatto alle vibrazioni e alle temperature presenti sugli autobus, con una buona capacità di calcolo per svolgere la video analisi; la seconda rappresentata da un computer a scheda singola (single board computer) con un singolo circuito stampato dotato di microprocessore, memoria, input / output (I / O) e altre funzionalità richieste a un computer funzionale, ma a basso costo.

L'idea iniziale era quella di memorizzare e processare i dati provenienti dai sensori e dalle telecamere direttamente a bordo del veicolo in tempo reale. Il vantaggio sarebbe stato, sostanzialmente, la scarsa quantità di dati da inviare a un server remoto, vista l'impossibilità di inviare in real-time i video di sorveglianza a causa della capacità di banda gprs in dotazione ai veicoli.

Inoltre, il dispositivo a bordo avrebbe dovuto essere il più economico possibile, al fine di rendere l'intero sistema di conteggio dei passeggeri competitivo rispetto ai sistemi già proposti dal mercato.

Si è scelto di utilizzare come unità di memorizzazione dei dati la seconda alternativa, rappresentata nella fattispecie da un Raspberry Pi, ossia un single-board computer sviluppato nel Regno Unito dalla Raspberry Pi Foundation. Questa scelta ha avuto tuttavia delle ripercussioni sulle modalità di analisi dei dati: infatti, il basso costo del sistema va a discapito della capacità di calcolo, rendendo impossibile l'applicazione delle tecniche di video analisi complesse messe a disposizione, con conseguente inattuabilità di un conteggio in tempo reale.

Di conseguenza, le operazioni di calcolo sui dati provenienti dai sensori e dai video, descritte nei capitoli successivi, sono state fatte a posteriori, con l'ausilio di un computer.

La Raspberry Pi Foundation diffonde ufficialmente sistemi operativi basati su GNU/Linux, fra cui NOOBS e Raspbian. Il modello scelto è il Raspberry Pi 3 e le caratteristiche tecniche sono le seguenti:

- Quad Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 64bit CPU;
- 1GB RAM;
- BCM43438 wireless LAN and Bluetooth Low Energy (BLE) on board;
- 100 Base Ethernet;

- 40-pin extended GPIO;
- 4 USB 2 ports;
- 4 Pole stereo output and composite video port;
- Full size HDMI;
- CSI camera port for connecting a Raspberry Pi camera;
- DSI display port for connecting a Raspberry Pi touchscreen display;
- Micro SD port for loading your operating system and storing data;
- Upgraded switched Micro USB power source up to 2.5A.



*Figura 3-22:Raspberry pi 3.*

È stata inserita una scheda SD da 32 GB, sulla quale è stato installato come sistema operativo Raspbian.

Per permettere al Raspberry di dialogare sulla rete di bordo dell'autobus (par. 2.2.1), è stato impostato un indirizzo IP statico (192.168.0.66) modificando il file "dhcpcd.conf", in modo che l'indirizzo non corrispondesse a nessun altro dispositivo già presente in rete.

Successivamente, è stato installato TCPdump, un programma in grado di catturare i pacchetti IP viaggianti sulla rete a cui il computer è collegato.

Il software va avviato da linea di comando e può essere utilizzato con parametri e filtri che consentono di controllare come e/o quali pacchetti visualizzare. Nello specifico i comandi utilizzati sono stati i seguenti.

PARAMETRO	FUNZIONE
-i	ascolta solo su un'interfaccia (es -i eth0)
src host	mostra il traffico dalla sorgente con un IP fissato
-n	mostra gli indirizzi ip
-c	mostra solo un certo numero di pacchetti (es -c 1)
-s	indica la quantità in bytes di un pacchetto catturato
-vv	incrementa il numero delle informazioni
-xx	mostra i pacchetti in formato ASCII ed esadecimale

Tabella 3-2: Sintesi dei parametri utilizzati come argomento del programma TCPdump.

Utilizzando TCPdump è dunque possibile attingere alle informazioni trasmesse con i pacchetti IP sia dall'AVM (par. 2.2.2.1) che dal FMS2IP.

È possibile salvare i pacchetti IP catturati attraverso una redirectione dell'output del comando TCPdump (“comando > file”) su un file di testo. Si è scelto di dividere la cattura dei pacchetti dell'AVM da quella dei pacchetti del FMS2IP in due file di testo, creati ad ogni nuova accensione del Raspberry. Le coppie di files create sono state organizzate in cartelle differenti. Per rendere univoci i files e le cartelle, si è deciso di utilizzare l'istante in cui ha inizio l'acquisizione: per fare ciò, poiché il Raspberry non è dotato di batteria e non conserva il corretto orario dopo lo spegnimento, è stato necessario utilizzare come sincronizzazione l'orario e la data contenuti nell'AVM.

Per automatizzare il processo di acquisizione dei pacchetti sono stati eseguiti due script interpretabili da *Bash*: quest'ultimo è un interprete di comandi che permette all'utente di comunicare col sistema operativo attraverso una serie di funzioni predefinite, o di eseguire più programmi e script a cascata.

In particolare, in uno script con uno sleep di 60 secondi - per permettere all'interfaccia di rete di avviarsi - viene catturato per primo un solo pacchetto dall'AVM, da cui si estrae e si salva in una variabile “Timestamp1” l'orario e la data in valore esadecimale, trasformato poi in decimale in secondi dal 1 Gennaio 1970 (il campo timestamp del protocollo INFO\_NET) e salvati nella variabile “Timestamp”; successivamente viene creata, o se esiste già viene cercata, una cartella nominata “avm” e inizia l'acquisizione di tutti i pacchetti dell'AVM, redirezionati su un file di testo il cui nome è composto dal

valore assunto dalla variabile “Timestampd” preceduto dalla sigla “avm” (il nome sarà del tipo “avm1530244978.txt”).

Un secondo script, con uno sleep di 60 secondi, cattura un primo pacchetto dall’AVM affinché si possa memorizzare data e ora di inizio acquisizione. In seguito, dopo aver creato (se non esiste) o cercato la cartella “can”, viene memorizzata l’acquisizione dei pacchetti IP provenienti dal FMS2IP, relativi ai sensori, in un file di testo il cui nome contenga il valore del timestamp e la sigla “can” (il nome sarà del tipo “can1530244978.txt”).



Figura 3-23: Schema a blocchi degli script di acquisizione dall’AVM e dal FMS2IP.

Di seguito viene riportato un esempio del contenuto di un pacchetto IP con le informazioni relative ai sensori.

```

03:18:06.346424 IP (tos 0x0, ttl 64, id 0, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 41)
192.168.0.154.40422 > 192.168.0.255.10001: [udp sum ok] UDP, length 13
0x0000: ffff ffff ffff 0040 9dae f963 0800 4500
0x0010: 0029 0000 4000 4011 b7da c0a8 009a c0a8
0x0020: 00ff 9de6 2711 0015 14d3 8401 0000 0500
0x0030: 0000 la0e 0000 0000 0000 0000
  
```



Figura 3-24: Esempio di un pacchetto inviato dal dispositivo FMS2IP, salvato sul file di testo.

<b>Campo</b>	<b>Valore</b>	<b>Significato</b>
<b>SRC HOST</b>	192.168.0.154	Indirizzo IP della sorgente;
<b>MESSAGE ID</b>	84 01	Messaggio 184 (LSB): dato di pressione dal sensore con ID pari a 4;
<b>DLC</b>	05 00	Numero di bytes del messaggio;
<b>VALUE</b>	1a 0e 00 00 00	Valore di pressione in esadecimale (LSB) pari a 3610 mBar.

*Tabella 3-3: Descrizione dei campi utilizzati del pacchetto proveniente dal FMS2IP.*

Dall'AVM la frequenza è di 1 pacchetto al secondo, mentre dai sensori si hanno 8 pacchetti al secondo -uno di pressione e uno di temperatura per ogni sensore- e ogni 10 secondi 1 pacchetto di Heartbeat time da ogni sensore.

Per automatizzare il lancio degli script all'accensione del dispositivo è stato utilizzato *Crontab*, il quale consente la pianificazione di comandi, ovvero permette la registrazione di questi presso il sistema per essere poi mandati in esecuzione periodicamente in maniera automatica e in background dal sistema stesso.

Inoltre, al fine di evitare la memorizzazione di file fino all'esaurimento della memoria, è stato inserito uno script da lanciare all'accensione del Raspberry per eliminare i file più vecchi di 8 giorni. La scelta temporale è stata dettata dal fatto che anche il NVR elimina i video con questa frequenza, dunque risulterebbe poco utile conservare i dati dei sensori senza avere il riscontro con i video.

Anche per questo script la sincronizzazione temporale avviene catturando un pacchetto dall'AVM e salvandolo in un file di testo "sinc.txt".

Successivamente, quest'ultimo viene letto e si salvano i bytes relativi al timestamp in una variabile chiamata "timestamp1"; è possibile trasformare il valore da esadecimale a binario come nei casi precedenti e viene salvato nella variabile "timestamp". In questo modo si conosce l'istante in cui il Raspberry inizia l'acquisizione. In un'altra variabile "timestamptarget" viene memorizzato un valore di timestamp pari a 8 giorni prima, sottraendo 691200 secondi a "timestamp"; per eliminare tutti i file creati prima di quella data è sufficiente utilizzare le prime 5 cifre di "timestamptarget", in quanto sono i secondi che variano tra due giorni consecutivi. Questo permette di eliminare le cartelle nominate

con il timestamp di inizio acquisizione, nonostante non si conoscano le ore, i minuti e i secondi esatti in cui è avvenuta ma solamente il giorno.

Il comando utilizzato per la rimozione è “rm -rf” seguito dal percorso della cartella da rimuovere. Il nome della cartella si aggiornerà automaticamente con la sincronizzazione e corrisponderà all’ottavo giorno precedente.

Gli script sopracitati sono inseriti all’allegato 4.

Nei capitoli successivi verrà descritto il metodo con cui questi dati sono stati analizzati.

### *3.3.4 Tecniche di video analisi*

Per il sistema di conteggio basato sui video di sorveglianza sono state applicate tecniche di video analisi; a causa della scarsa capacità di calcolo del Raspberry, occorre specificare che tali tecniche sono state applicate offline a posteriori, estraendo le registrazioni del NVR e utilizzando un PC con caratteristiche più prestanti.

Lo sviluppo del software di conteggio è stato effettuato dalla TechnoAware, azienda fondata nel 2003 che nasce dall'esperienza e dalla competenza del gruppo di ricerca ISIP40 dell'Università di Genova, uno dei maggiori esperti mondiali di analisi video.

Il processo di riconoscimento delle persone all’interno dell’autobus si è rivelato difficile per due motivazioni principali: la posizione delle telecamere e il movimento di oggetti. La prima difficoltà riguarda la posizione delle telecamere e le relative inquadrature, che si rivelano essere poco adatte al conteggio di persone in ingresso e uscita dall’autobus, in quanto il loro scopo primario è la sorveglianza interna del veicolo. Le telecamere adibite al conteggio di persone, invece, solitamente sono poste in posizione zenitale sulle porte e consentono una visuale chiara di ciò che accade nella zona sottostante, permettendo un conteggio di persone entrate e uscite piuttosto accurato.

La seconda difficoltà riguarda il background non statico della scena, anche in condizioni di autobus vuoto per la presenza ad esempio di porte in apertura e chiusura, oggetti presenti oltre i vetri di porte e finestre, i quali rendono difficile la segmentazione delle immagini e il tracking degli oggetti target in movimento nel tempo. Con segmentazione delle immagini si intende la suddivisione di un frame video in zone omogenee, dentro cui cercare i vettori di movimento.

La soluzione a questi problemi, proposta dalla Technoaware, si basa sull’utilizzo di reti neurali addestrate al riconoscimento di persone. Nel campo dell'apprendimento automatico, una rete neurale artificiale è un modello matematico composto da "neuroni" artificiali, ispirato alla rete neurale biologica. Nella maggior parte dei casi una rete neurale

artificiale è un sistema adattivo che cambia la sua struttura basata su informazioni esterne o interne che scorrono attraverso la rete durante la fase di apprendimento.

L'utilità dei modelli di rete neurale risiede nel fatto che queste possono essere usate per comprendere una funzione utilizzando solo le osservazioni sui dati. Ciò è particolarmente utile nelle applicazioni in cui la complessità dei dati o la difficoltà di elaborazione rende la progettazione di una tale funzione irrealizzabile con i normali procedimenti di analisi manuale. Il riconoscimento di volti, più in generale, oggetti sono tra i campi di applicazione di questi modelli.

Le tecniche classiche prevedono il riconoscimento delle sagome grazie alla differenza con il background vuoto, invece questo tipo di analisi si basa su file di training, i quali sono l'output di una fase di allenamento su veri e falsi ma anche un input (insieme ai video) del software di conteggio.

La prima fase, ossia quella relativa al training, è stata effettuata con il software gratuito Cascade Trainer GUI, un programma che può essere utilizzato per addestrare, testare e migliorare i modelli di classificatore a cascata (Cascading Classifiers), ossia modelli che utilizzano informazioni raccolte e le classificano in maniera ricorsiva. Il software utilizza un'interfaccia grafica per impostare i parametri e facilitare l'uso degli strumenti OpenCV per la formazione e il test dei classificatori.

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) è una libreria di strumenti di computer vision, con funzioni utili al riconoscimento di oggetti, rilasciata sotto una licenza BSD e quindi è gratuita sia per uso accademico che commerciale. Ha interfacce C ++, Python e Java e supporta Windows, Linux, Mac OS, iOS e Android. OpenCV è stato progettato per l'efficienza computazionale e con una forte attenzione per le applicazioni in tempo reale. Scritto in C / C ++ ottimizzato, la libreria può trarre vantaggio dall'elaborazione multi-core.

I classificatori a cascata vengono addestrati con diverse centinaia di visualizzazioni di campioni "positivi" di un particolare oggetto e immagini "negative" arbitrarie della stessa dimensione. Dopo che il classificatore è stato addestrato, può essere applicato a una regione di un'immagine e rilevare l'oggetto in questione. Per cercare l'oggetto nell'intero frame, la finestra di ricerca può essere spostata sull'immagine e controllare ogni posizione per il classificatore. Questo processo è più comunemente utilizzato nell'elaborazione delle immagini per il rilevamento e il tracciamento degli oggetti, ossia il riconoscimento e il riconoscimento facciale.

Nello specifico, attraverso l'interfaccia sono stati scelti in una prima iterazione circa 100 positivi e 1000 negativi, come da indicazione degli sviluppatori del software di analisi, ricavati da un video di prova. La funzione utilizzata è chiamata "Cropper", in cui è possibile inserire il percorso del video da cui estrarre i ritagli e la cartella di destinazione dei ritagli stessi; i positivi e i negativi sono stati estratti in due momenti differenti e salvati in due cartelle.

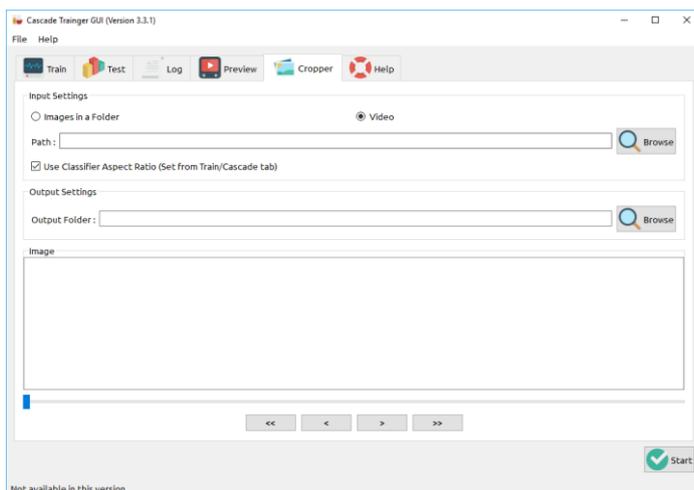


Figura 3-25: Interfaccia Cascade Trainer GUI per la fase di ritaglio dei positivi e negativi.

Successivamente, è stato eseguito il training, il quale ha come output un file in formato ".xml". Occorre impostare diversi parametri prima di avviarlo, tra i quali il massimo numero di iterazioni per raggiungere la convergenza, la grandezza dei ritagli e altri parametri in cui sono stati lasciati i valori di default. L'unico parametro modificato è stato la dimensione dei ritagli, in quanto sono stati distinti i positivi per le persone in piedi (20x60) e quelli per le persone sedute (40x40), ottenendo due training differenti.

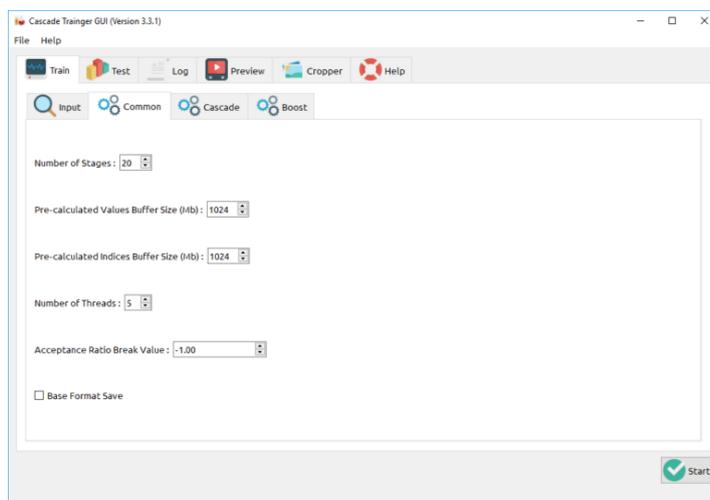


Figura 3-26: Interfaccia Cascade Trainer GUI per la fase di Train, definizione dei parametri Common.

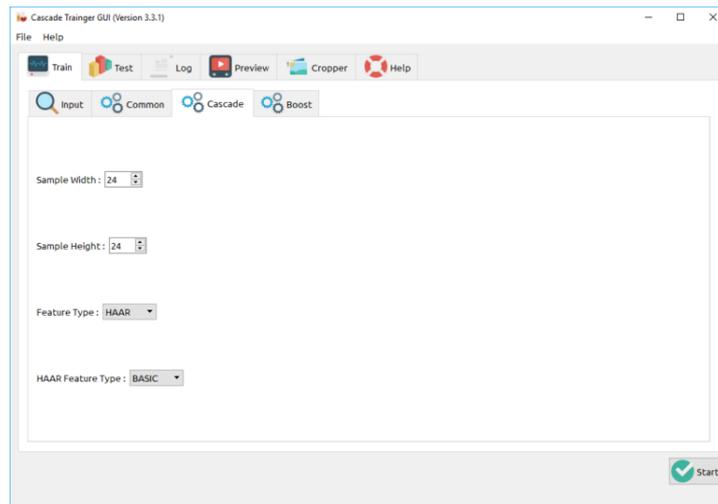


Figura 3-27: Interfaccia Cascade Trainer GUI per la fase di Train, definizione dei parametri Cascade.

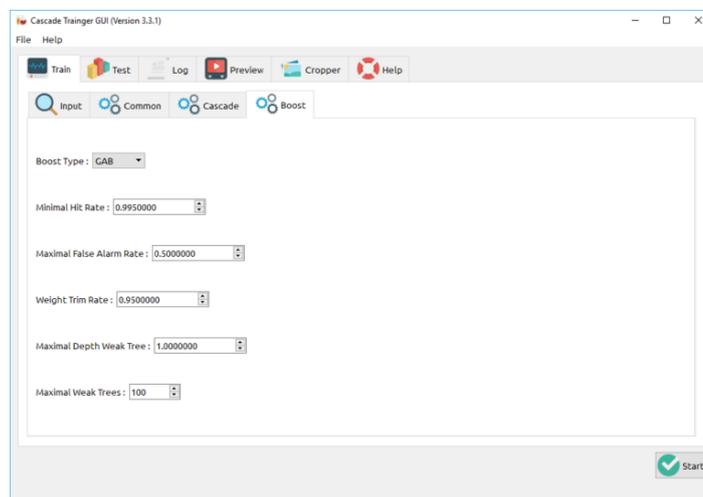


Figura 3-28: Interfaccia Cascade Trainer GUI per la fase di Train, definizione dei parametri Boost.

Dopo il training viene creata una cartella “classifier”, al cui interno sono presenti diversi file XML: "Params.xml" contiene i parametri usati per l'allenamento, "Cascade.xml" è l'effettivo classificatore a cascata se il training è stato completato con successo, "Neg.lst", "pos.lst" e "pos\_samples.vec" sono file temporanei creati per addestrare il classificatore e possono anche essere rimossi senza alcun effetto.

Per verificare l'efficacia del training è possibile eseguire un test, il quale prevede in input il file "Cascade.xml" e il video su cui eseguire la prova, in output una cartella in cui vengono salvati gli oggetti riconosciuti.

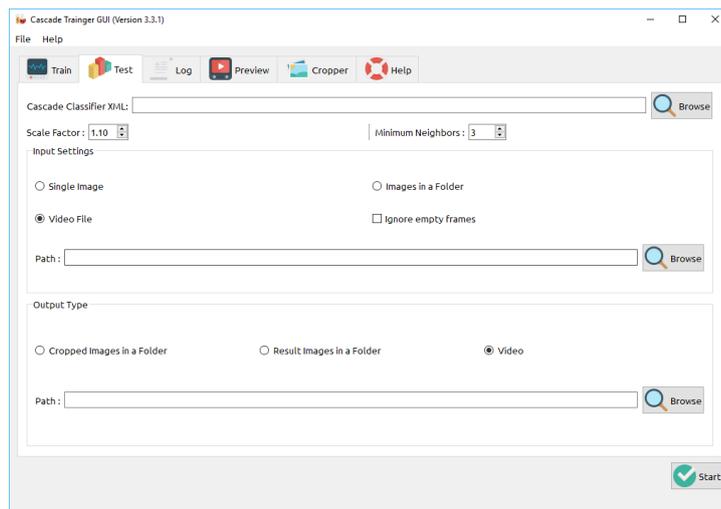


Figura 3-29: Interfaccia Cascade Trainer GUI per la fase di Test.

Nel caso in cui siano presenti falsi positivi, è possibile effettuare una seconda iterazione inserendo i falsi positivi nella cartella dei falsi, precedentemente creata, e rieseguendo i passaggi descritti.

La seconda fase, ossia il riconoscimento e conteggio di persone dai video, è stato effettuato grazie al software proprietario della Technoaware, i cui algoritmi si basano su una variante dell'algoritmo di Viola e Jones, che è stato il primo classificatore a cascata per il riconoscimento facciale.

Innanzitutto, per configurare il test occorre istanziare le telecamere con cui visualizzare i video: nello specifico, sono state create 3 telecamere, corrispondenti alle prime 3 presenti sul veicolo. La quarta telecamera è stata ritenuta poco utile al fine di contare le persone.

Per ogni telecamera creata occorre impostare il percorso da cui si accede al file video (in formato AVI), la data e l'orario di inizio. I video sono stati inoltre ridimensionati, con un fattore di scala pari a 2, al fine di velocizzare il processo di analisi e consentire l'applicazione del software a due telecamere contemporaneamente.

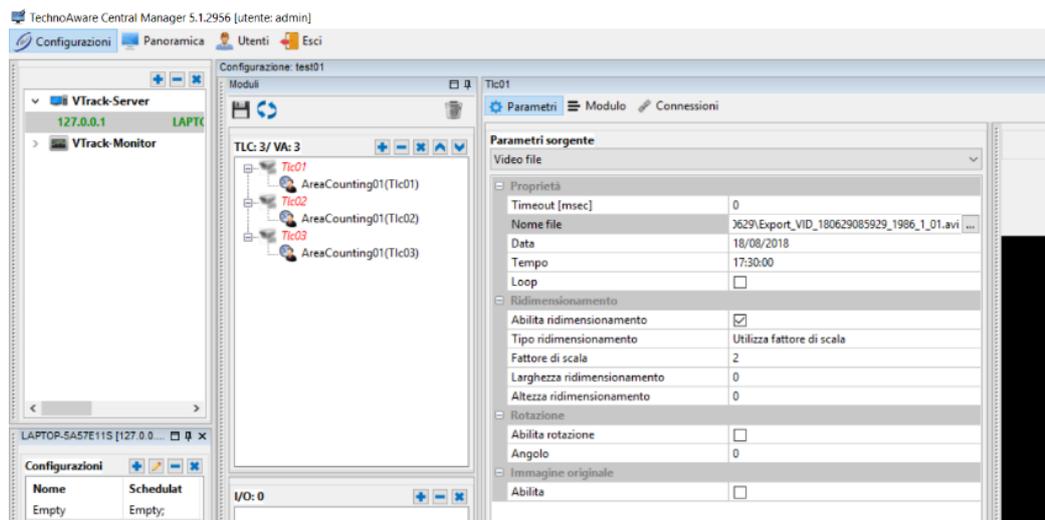


Figura 3-30: Parametri di configurazione delle telecamere su VTrack.

Successivamente, per ogni telecamera si crea una Area Counting, ossia si disegna a video l'area dentro la quale si vogliono contare gli oggetti. In questo modo, è possibile eliminare le eventuali parti di sovrapposizione tra le 3 telecamere e le zone dell'autobus in cui non compaiono mai passeggeri.

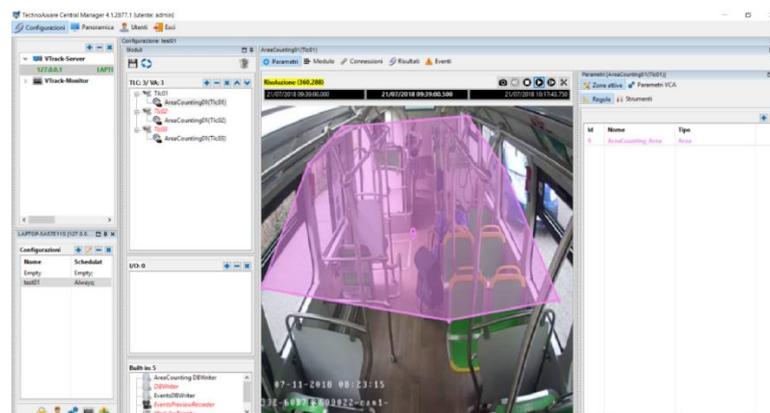


Figura 3-31: Area Counting della telecamera 1.

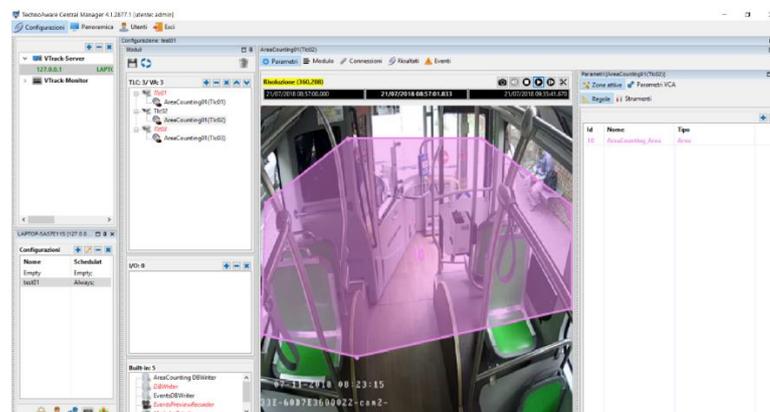


Figura 3-32: Area Counting della telecamera 2.

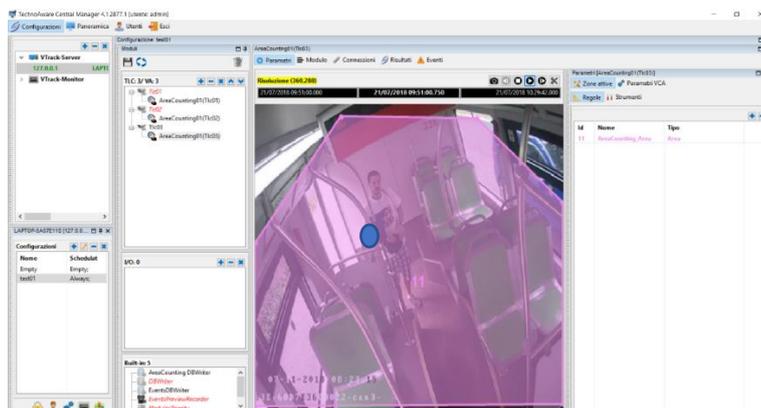


Figura 3-33: Area Counting della telecamera 3.

Ogni area è caratterizzata da parametri che determinano il livello di accuratezza dell'analisi. I parametri di estrazione delle regioni definiscono le dimensioni dei ritagli e la risoluzione dei frame.

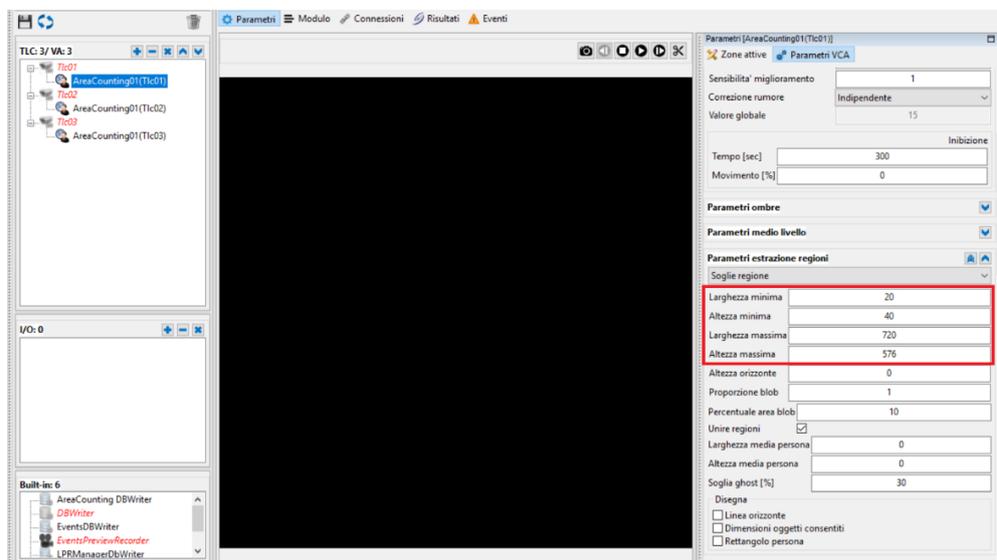


Figura 3-34: Parametri di estrazione delle regioni.

I parametri di inseguimento definiscono il tempo di persistenza minima affinché un target sia riconosciuto come una persona e il tempo di massima mancanza, oltre il quale un oggetto che ricompare nella stessa posizione viene conteggiato come un'altra persona. Infine, nei parametri "modello di detenzione" occorre inserire il percorso del file "cascade.xml" generato durante il training e la sensibilità del riconoscimento: minore sarà la sensibilità e maggiori saranno gli oggetti riconosciuti, inclusi falsi positivi e quindi a discapito della qualità.

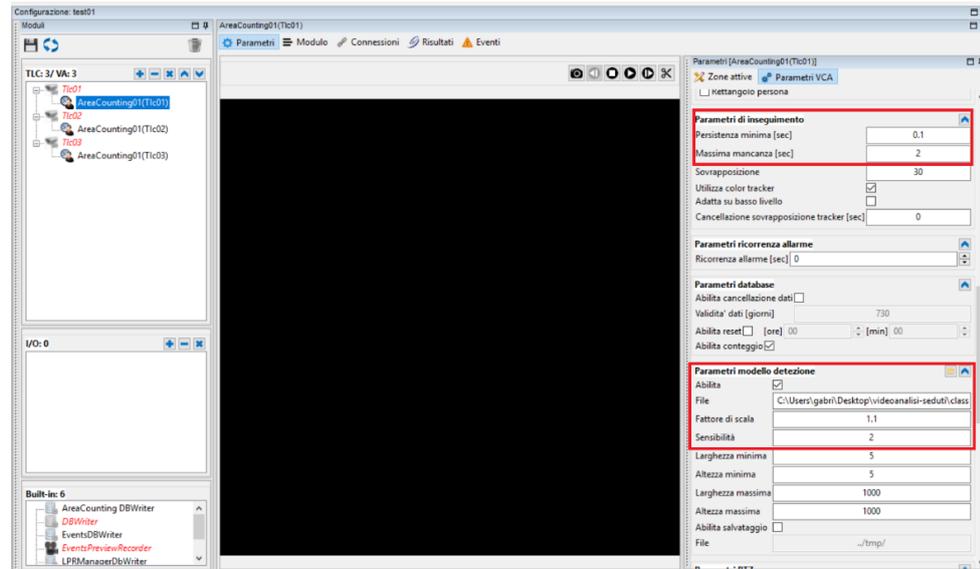


Figura 3-35: Parametri di inseguimento e parametri modello di detezione.

I restanti parametri non sono stati modificati e vengono utilizzati con i valori di default.

Una volta fatta partire l'analisi, è possibile visualizzare quali oggetti vengono riconosciuti e come sta procedendo il software attraverso l'interfaccia "Risultati".

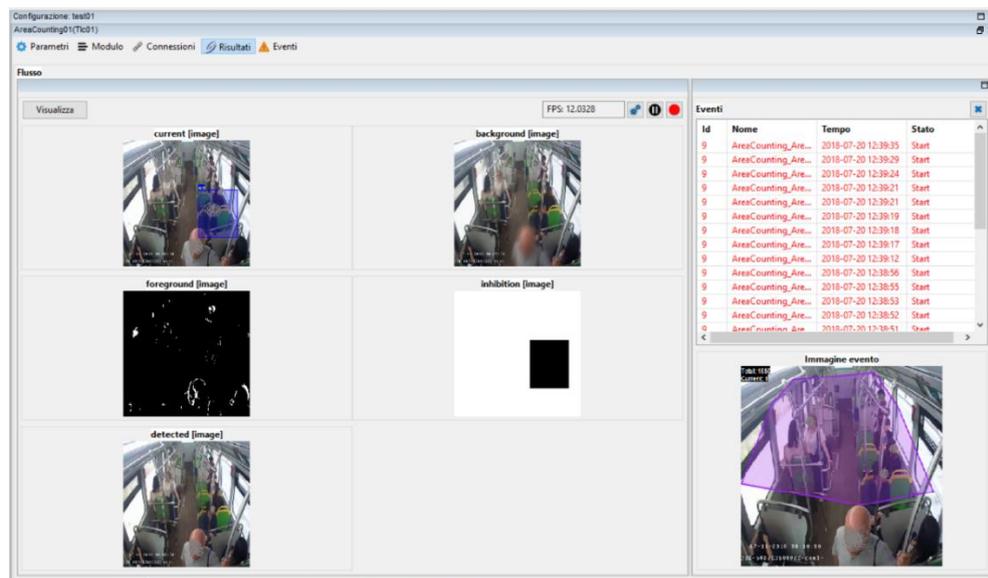


Figura 3-36: Esempio di visualizzazione dei risultati del riconoscimento sulla telecamera 1.

I dati di ciascuna analisi vengono inviati ad un server a cui è possibile accedere attraverso un web client. Per ogni Area Counting esiste un'interfaccia web, attraverso delle query si può inserire il giorno e l'orario di inizio e fine dell'analisi, l'intervallo di tempo con cui si vogliono discretizzare i dati e si possono scaricare i dati di conteggio come file in formato CSV.

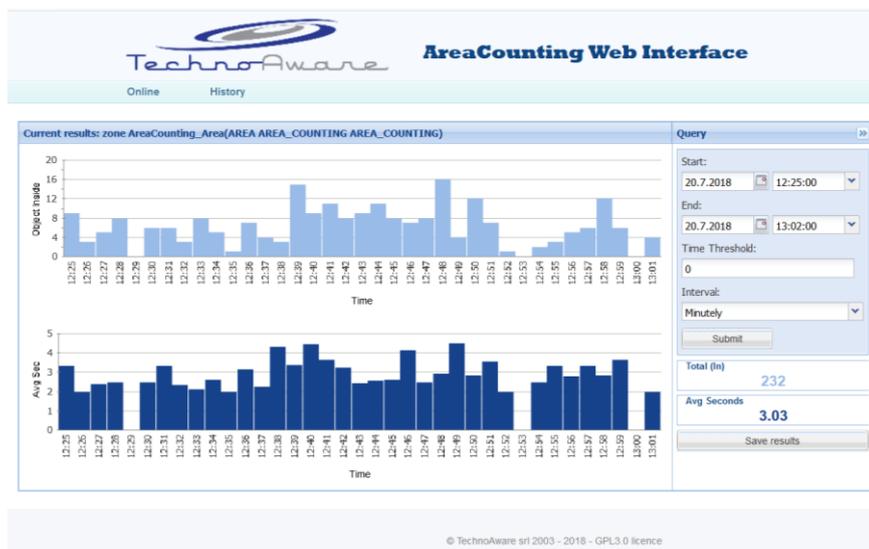


Figura 3-37: Esempio dell'interfaccia web con cui ottenere i file output dell'analisi.

Per determinare quale fosse il set di parametri più idoneo alle immagini sono state effettuate delle prove su alcuni video messi a disposizione prima della sperimentazione.

I parametri da variare per modificare la qualità dell'analisi sono la persistenza minima, la massima mancanza e la sensibilità. Si è notato che la variazione della massima mancanza influenza meno la qualità rispetto agli altri due parametri, dunque è stato fissato pari a 2 secondi: se un oggetto viene perso e poi ritrovato nella stessa posizione in meno di 2 secondi allora non viene conteggiato 2 volte.

Per definire gli altri due parametri sono stati impiegati i 3 video già utilizzati durante il training, uno per ogni telecamera, è stata applicata l'analisi e l'output è stato confrontato con il conteggio manuale per poter stimare l'errore relativo. È stata ripetuta l'analisi variando la combinazione dei parametri, fino a minimizzare l'errore relativo. Per le 3 telecamere sono stati ottenuti valori dei parametri differenti.

TLC	Persistenza minima [s]	Massima mancanza [s]	Sensibilità
1	0,1	2	1
2	0,2	2	2
3	0,2	2	1

Tabella 3-4: Set di parametri iniziali per la videoanalisi.

I parametri soprariportati rappresentano il punto di partenza per effettuare l'analisi vera e propria, i cui risultati verranno descritti nei capitoli successivi.

### 3.4 *Banco di prova in laboratorio*

In primo luogo, è stato realizzato il prototipo della scatola conta-passeggeri in laboratorio: è stato utilizzato come contenitore una scatola rettangolare in plastica IP 21, ossia con l'interno protetto contro corpi solidi di dimensioni superiori a 12 mm e protetto da caduta verticale di gocce d'acqua, in cui erano presenti dei fori laterali attraverso i quali far passare i cavi. Dentro la scatola è stata inserita una piastra in alluminio, vincolata per mezzo di 4 viti.

All'interno sono presenti un interruttore e un fusibile vincolati a una guida DIN; un alimentatore è vincolato con una fascetta inserita in due fori; il dispositivo FMS2IP è stato fermato alla piastra sottostante con dei bulloni passanti negli appositi ganci; tra il Raspberry e il FMS2IP sono stati inseriti due fogli termici adesivi, i quali aderiscono tra loro grazie a un nastro biadesivo - che permette al Raspberry di essere fissato - e isolano termicamente i due dispositivi.

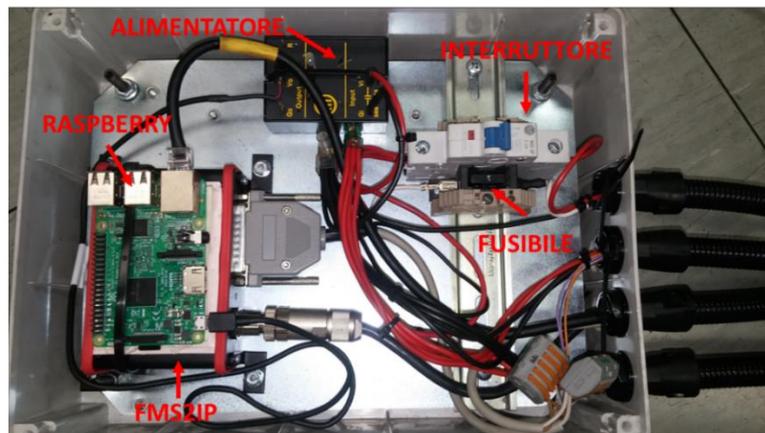


Figura 3-38: Dettaglio della scatola conta-passeggeri di laboratorio.

L'alimentazione della scatola è stata presa da un trasformatore in laboratorio, il quale prende in input 230V e restituisce una tensione di 24V DC, per emulare la situazione a bordo del veicolo. L'interruttore magnetotermico garantisce la protezione del sistema per eventuali sbalzi di corrente in ingresso, con una portata di 2A e un range di tensione 12/48V.

La tensione viene ripartita tra più componenti in parallelo: l'alimentatore interno, il dispositivo FMS2IP e i 4 sensori. L'alimentatore prende in ingresso i 24V DC e fornisce in output 5V DC, destinati all'alimentazione del Raspberry. I 4 sensori sono collegati alla scatola attraverso dei connettori a 4 vie, i quali consentono la connessione del segnale CAN e dell'alimentazione.

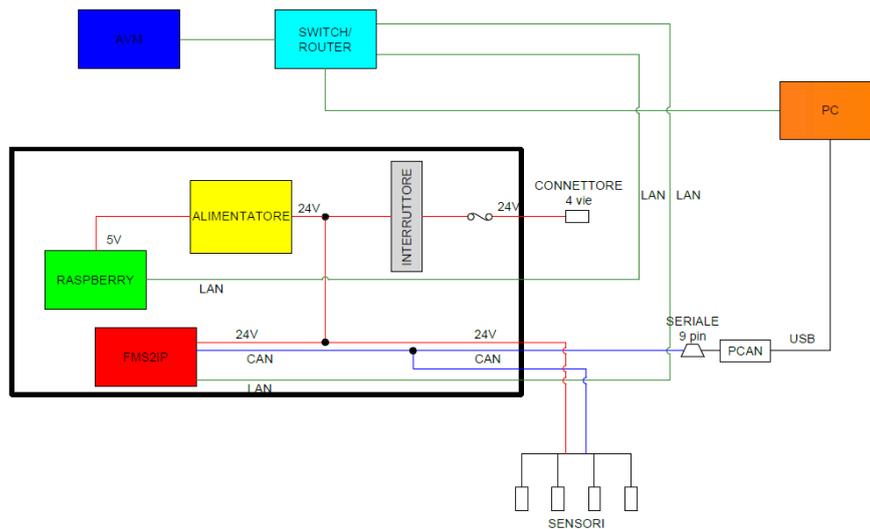
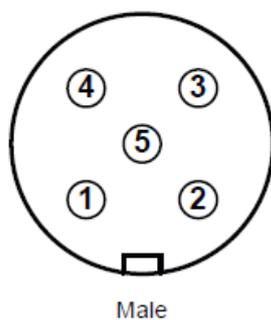


Figura 3-39: Schema della scatola conta-passeggeri (contorno spesso) collegata alla rete in laboratorio.

Il segnale CAN, proveniente dai sensori, è stato sdoppiato: un collegamento raggiunge il dispositivo che lo converte in pacchetti IP (il FMS2IP), mentre un secondo collegamento termina con un connettore seriale, al quale è possibile collegare il PCAN con uscita USB. Quest'ultimo collegamento risulta necessario per avere un controllo sui sensori: infatti, con il solo dispositivo FMS2IP non è possibile programmarli o, in caso di pacchetti IP vuoti, non è possibile controllare se il problema risieda nei sensori (ad esempio mancata alimentazione) o nella rete.

Sui sensori sono stati inseriti dei connettori M12 a 5 poli e di seguito viene rappresentata l'assegnazione dei PIN.



Pin	Signal	Description
1	(CAN_SHLD)	Shield / Housing
2	+24 VDC	Positiv supply / 8...32V
3	GND	Ground / 0V
4	CAN_H	CAN_H bus line (dominant high)
5	CAN_L	CAN_L bus line (dominant low)

Figura 3-40: Schema dei pin per il connettore M12 a 5 poli.

Per i collegamenti dei 4 sensori con il connettore seriale a 9 pin è stata adottata la seguente convenzione.

CONNETTORE M12	SERIALE 9 PIN	SEGNALE
Pin 4 – tinta unita	Pin 7 - marrone	CAN_H
Pin 5 – bicolore	Pin 2 - bianco	CAN_L

Tabella 3-5: Connessione dei sensori con seriale.

Per programmare i sensori e interfacciarsi ad essi è stato utilizzato il sopracitato PCAN, corredato di software installato sul PC.

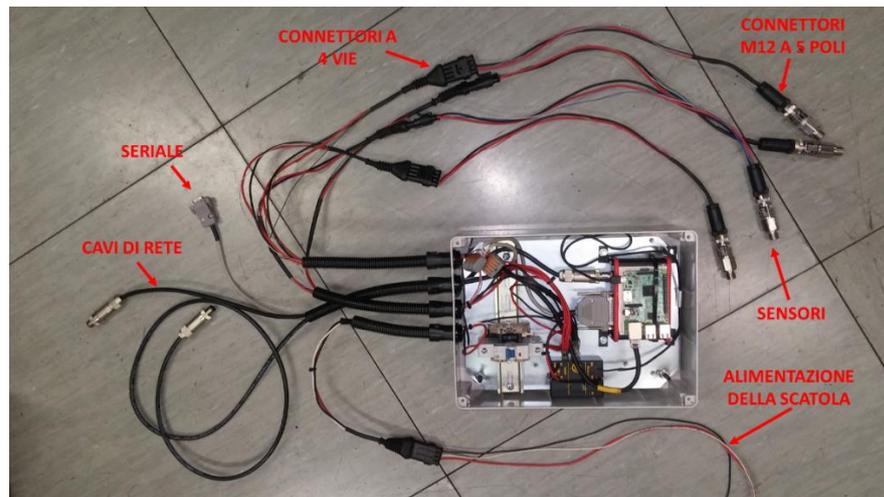


Figura 3-41: Sintesi delle connessioni della scatola conta-passeggeri in laboratorio.

Il Raspberry e il dispositivo FMS2IP sono stati collegati attraverso un cavo di rete allo switch, garantendo la comunicazione con il dispositivo AVM presente in laboratorio e permettendo così la simulazione della situazione sull'autobus.

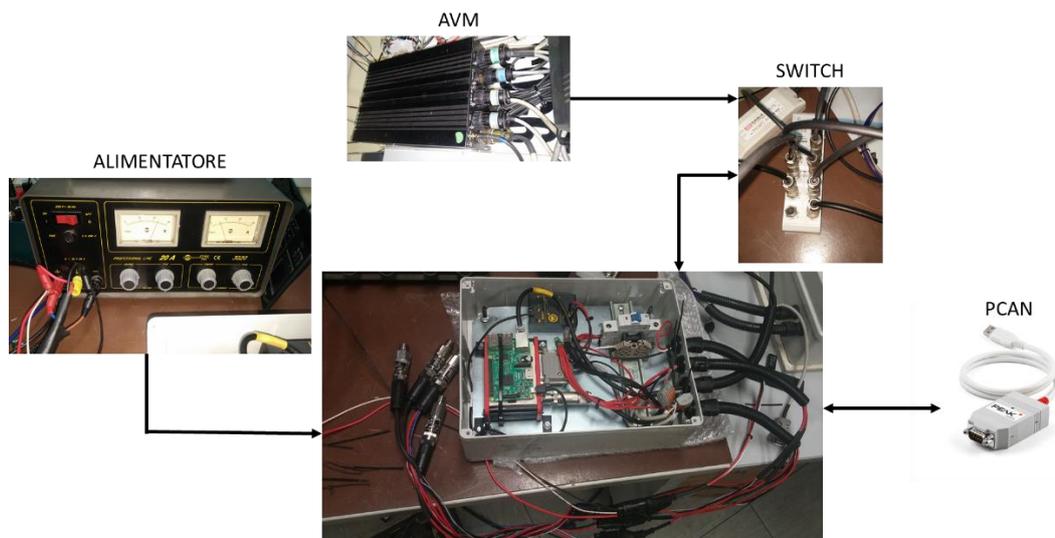


Figura 3-42: Schema della rete di prova in laboratorio.

Il primo step è stato collegare i sensori e programmarli attraverso il PC con PCAN-view, secondo le procedure descritte al capitolo 3.3.1. Successivamente, sono stati testati i

sensori con un compressore in laboratorio, in modo da verificare che la lettura da manometro e la lettura dei sensori fosse coerente, e sono stati alimentati e disalimentati più volte per verificare che i messaggi venissero inviati in autonomia.

In secondo luogo, sono stati impostati i parametri del dispositivo che impacchetta le informazioni dei sensori (FMS2IP), affinché ci fosse compatibilità con il baudrate, ed è stata effettuata una prova di cattura dei pacchetti con il software Wireshark. Questo software, compatibile con Windows, usa la libreria di TCPdump per catturare pacchetti IP sulla rete e permette di visualizzare il contenuto degli stessi. In questo modo è risultato immediato verificare che i pacchetti non fossero vuoti e che, inoltre, il messaggio trasportato fosse lo stesso visualizzato con il PCAN-view.

Infine, per realizzare la cattura e il salvataggio dei pacchetti provenienti dal CAN e dall'apparato AVM, è stato programmato il Raspberry con gli script descritti precedentemente e sono state effettuate delle prove con successive accensioni e spegnimenti, per valutare l'automatizzazione del processo.

### 3.5 Montaggio sul veicolo

Dopo aver programmato i sensori e aver effettuato le prove in laboratorio, si è passati all'installazione del sistema sul veicolo.

I sensori di pressione descritti in precedenza sono stati inseriti, attraverso un giunto a T, tra l'elettrovalvola e ciascun tubo del circuito pneumatico collegato alle sospensioni, sotto il veicolo.



Figura 3-43: Attacco del tubo pneumatico all'elettrovalvola, prima dell'installazione dei sensori.

Gli attacchi del giunto per il distributore ECAS sono 22x1.5 maschio e per i tubi 22x1.5 femmina, mentre per i sensori 1/4" G femmina. Poiché vi era un'incompatibilità con il diametro dei giunti in commercio, in officina è stato realizzato un giunto a T compatibile

con il diametro del foro (Figura 3-43 a destra), il diametro del tubo pneumatico e il diametro del sensore. Per collocare i sensori in posizione parallela alla pavimentazione, tra il tubo e la base inferiore del veicolo, per evitare possibili urti, è stato utilizzato un ulteriore raccordo a gomito.

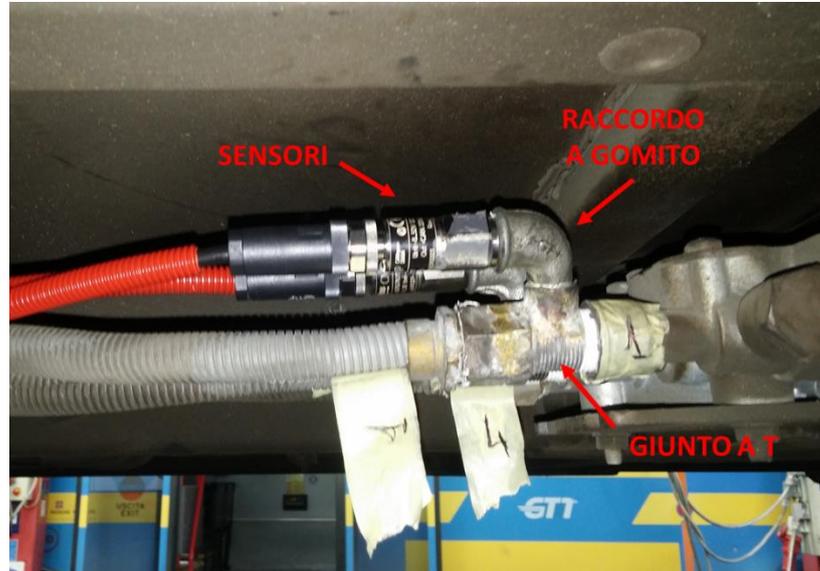


Figura 3-44: Installazione dei sensori con giunto.



Figura 3-45: Installazione dei 4 sensori.

Dopo aver inserito i sensori, sono stati tirati i rispettivi cavi, corredati di corrugato ignifugo e idrorepellente, fino a raggiungere una scatola di derivazione, anch'essa posizionata sotto il veicolo.

La scatola di derivazione è certificata IP65, ossia l'interno è totalmente protetto contro le polveri e i getti d'acqua, vista la sua posizione sotto il veicolo; è vincolata al telaio del veicolo attraverso due bulloni passanti negli appositi ganci, esterni ad essa, e viene usata come punto di connessione dei 4 cavi provenienti dai sensori, in modo da avere in uscita un unico cavo con segnale CAN e alimentazione.



*Figura 3-46: Scatola di derivazione.*

All'interno del connettore del sensore più distante dalla scatola è presente una resistenza da 120 ohm sui cavi CAN H e CAN L, in quanto il circuito prevede una tale resistenza ai due estremi della linea.



*Figura 3-47: Scatola di derivazione vincolata al telaio.*

Il cavo uscente dalla scatola di derivazione è stato fatto salire a sinistra del posto autista, successivamente passa nel vano che si trova sopra il parabrezza, dove raggiunge il resto dei cavi già presenti, per arrivare fino alla scatola di bordo posta a lato dello switch.

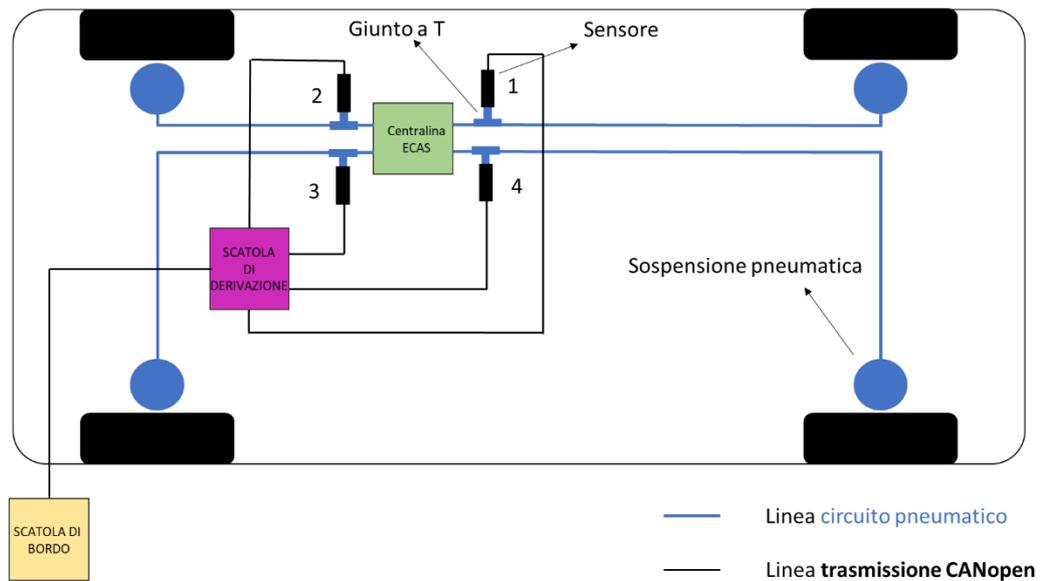


Figura 3-48: Schema delle componenti installate sotto il veicolo.

La posizione della scatola a bordo, fulcro del sistema di conteggio, è stata scelta in modo che fosse più vicina possibile allo switch, dentro lo stesso vano; per il fissaggio è stata utilizzata una piastra in alluminio, vincolata al telaio con dei bulloni già presenti (Figura 3-49), a cui sono stati bloccati lo switch e la scatola del conta-passeggeri (Figura 3-50).

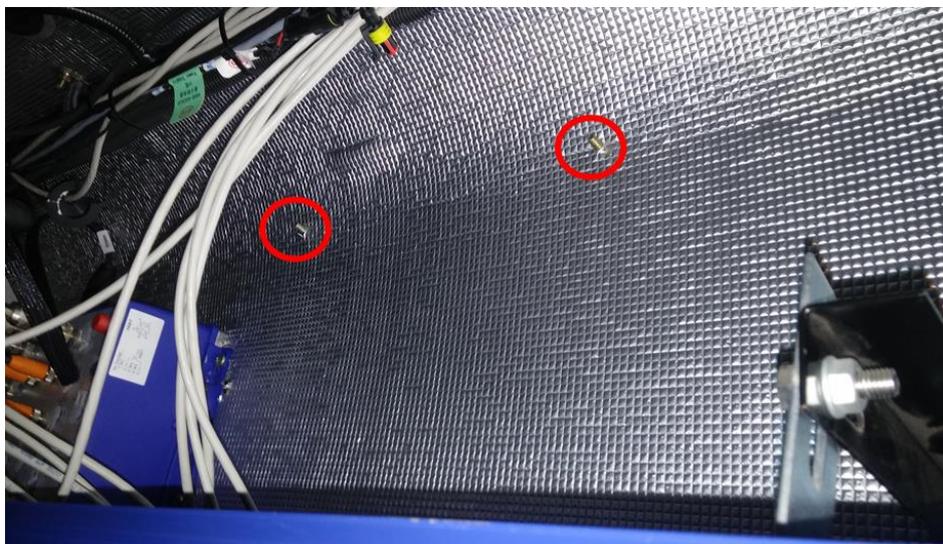


Figura 3-49: Vano dove è collocato lo switch, prima dell'installazione.



Figura 3-50: Vano dopo l'installazione della scatola conta-passeggeri.

La scatola di bordo (in Figura 3-51) ha in ingresso la tensione a 24V, ricavata dall'autobus; l'interno della scatola ha subito una variazione rispetto al modello usato in laboratorio: i 24V vengono distribuiti in parallelo tra l'alimentatore, il dispositivo FMS2IP e il cavo che arriva alla scatola di derivazione posta sotto l'autobus, dunque indirettamente anche ai sensori.

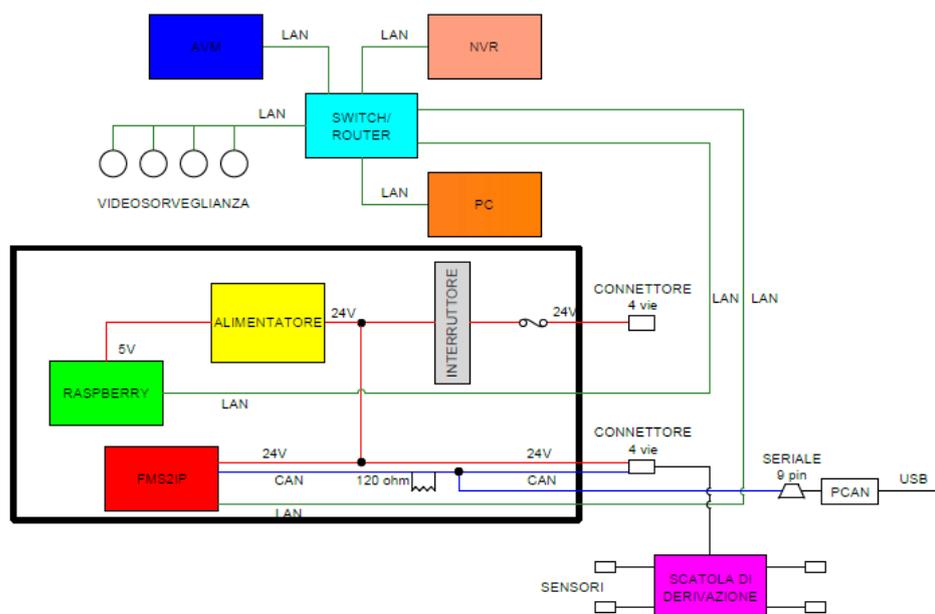


Figura 3-51: Schema della scatola di bordo, segnata dal contorno più spesso, collegata alla rete di bordo tramite lo switch.

Il Raspberry e il dispositivo FMS2IP continuano ad essere collegati attraverso un cavo di rete allo switch, garantendo la comunicazione tra tutti gli apparati di bordo.

Il segnale CAN proveniente dai sensori passa attraverso la scatola di derivazione, dunque non sono più presenti 4 connettori sulla scatola a bordo – uno per ogni sensore – ma un connettore unico, a 4 vie, a cui allacciare il cavo che porta il segnale e l'alimentazione fino a bordo veicolo.

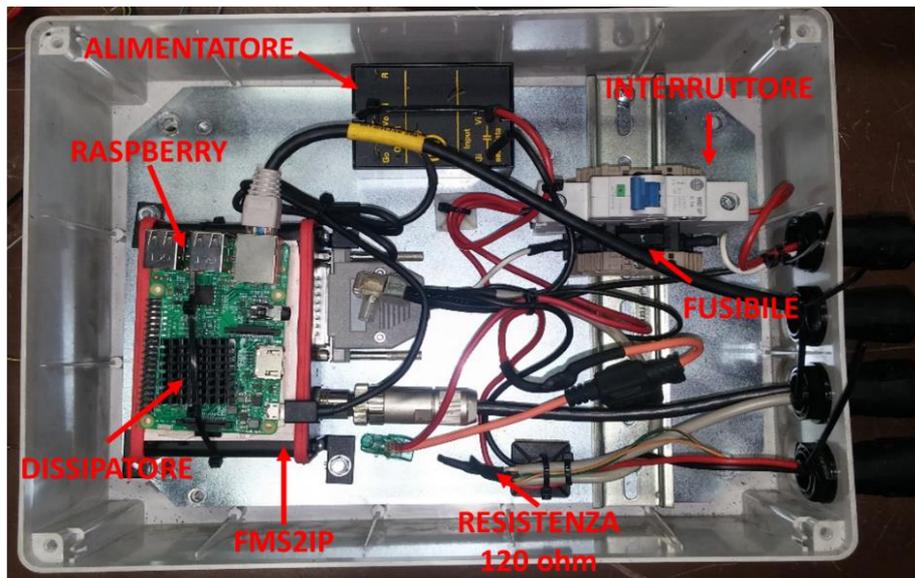


Figura 3-52: Particolare della scatola di bordo.

Per evitare che si generi eccessivo calore all'interno della scatola, sulla CPU del Raspberry è stato fissato un dissipatore. Per essere sicuri che il Raspberry aderisse al dispositivo sotto di lui e che il dissipatore rimanesse sulla CPU, è stata utilizzata anche una fascetta che lega insieme le componenti.

All'interno della scatola di bordo è anche stata inserita una resistenza da 120 ohm sulla rete CAN, in parallelo rispetto a quella nella scatola di derivazione in modo da raggiungere complessivamente una resistenza da 60 ohm. In precedenza, poiché la lunghezza della linea in laboratorio era molto ridotta, era stata inserita una resistenza da 60 ohm nel connettore di uno dei sensori.

Sono stati utilizzati, inoltre, dei dissipatori di vibrazioni per evitare che la scatola subisca oscillazioni durante il moto.

La presenza del PC nello schema indica la possibilità di scaricare i dati provenienti sia dalle telecamere che dalla scatola di conteggio attraverso lo switch.



#### 4 Raccolta dei dati e analisi dei risultati

La raccolta dei dati dei sensori di pressione è stata effettuata per mezzo del Raspberry, invece i video sono stati raccolti attraverso un pc, quest'ultimo utilizzato anche per il conteggio manuale.

I dati risalgono alla prima settimana di operatività dei sensori, a cavallo dei mesi di giugno e luglio 2018. Considerando come una tratta la distanza tra due fermate successive di una linea, è stato utilizzato come universo (N) il numero di tratte a settimana effettuato da un veicolo. La scelta di utilizzare come riferimento una settimana di dati dipende dal modo in cui l'azienda gestisce i turni: infatti, ogni settimana vengono definiti i turni macchina e gli orari che un veicolo assegnato ad una determinata linea deve svolgere. Dunque, ogni settimana il numero di corse, inteso come tragitto tra un capolinea e un altro, potenzialmente può variare e inoltre il veicolo attrezzato per la sperimentazione potrebbe essere utilizzato su linee non di interesse per la presente tesi.

Per determinare un numero iniziale di corse da monitorare sono state avanzate alcune ipotesi: l'intervallo di confidenza al 95%, dunque la variabile standardizzata  $z$  è pari a 1.96, il coefficiente di variazione (CV) pari a 0.5 e un errore di campionamento ( $e$ ) pari al 10%.

Applicando le formule

$$n' = \frac{CV^2 \cdot z^2}{e^2};$$

$$n = \frac{n'}{1 + \frac{n'}{N}}$$

si ricava il numero di tratte a settimana, ossia la dimensione del campione ( $n$ ), pari a 95. Dividendo per il numero di tratte per ogni corsa, si ottiene il numero di corse corrispondenti, arrotondato per eccesso, pari a 6.

Sono state dunque utilizzate inizialmente le prime 6 corse effettuate dal veicolo, corrispondenti alla linea SE2 tra le 5:00 e le 11:00 del giorno 29/06/2018. Durante l'analisi è stato riscontrato un numero molto basso di passeggeri, sia a causa dell'orario di inizio del turno macchina (circa le 5:00 di mattina) sia per il poco affollamento di persone che frequentano la linea.

Successivamente, per effettuare un'analisi con dati più cospicui, sono state raccolte altre corse nella giornata del 11/07/2018 e nella giornata del 13/07/2018, effettuate sulla linea 6. Come si può notare nella Figura 3-4, dove è stato raffigurato il percorso della linea 6, il veicolo ha come capolinea Piazza Carlo Felice e percorre un tragitto passante vicino al

campus Einaudi, raccogliendo così sia una porzione di utenti che ha come origine/destinazione la stazione di Porta Nuova, sia la porzione di utenti che frequenta l'università durante la sessione esami estiva.

Inoltre, si è deciso di analizzare i nuovi dati in una fascia oraria differente rispetto alla precedente, approssimativamente tra le 8:00 e le 11:00, in modo da raccogliere un maggior numero di presenze sul veicolo, tra le 11:00 e le 14:00, tra le 17:30 e le 20:30.

Data la minore lunghezza e il minor tempo di pausa ai capolinea della linea 6 rispetto alla SE2, il numero di ore monitorate con la successiva raccolta di dati è minore, ma il numero di corse è lo stesso. Complessivamente sono state raccolte e valutate 30 corse, suddivise in 5 tornate da 6 corse.

#### *4.1 Elaborazione dei dati di pressione*

I dati relativi ai sensori, come già detto nei precedenti capitoli, sono raccolti a partire dai pacchetti IP ricevuti dal Raspberry in un file di testo del tipo "can1530244978.txt", in cui la sigla "can" specifica il canale da cui provengono i dati e il numero rappresenta l'istante in cui ha avuto inizio l'acquisizione, espresso in secondi dal 01/01/1970.

Per rendere agevoli le operazioni sui dati è stato indispensabile raggruppare le informazioni necessarie del file di testo in un file CSV, in cui le righe rappresentano ogni pacchetto memorizzato, mentre le cui colonne sono i campi MESSAGEID, DLC, VALUE del pacchetto IP (descritti nella Tabella 3-3) con l'aggiunta del momento di inizio acquisizione chiamato START e il timestamp aggiornato di ogni messaggio chiamato TIME (espressi entrambi in secondi dal 01/01/1970).

Per eseguire in maniera automatica la conversione del file da TXT a CSV è stato utilizzato uno script interpretabile da Bash. Lo script viene lanciato da un pc dopo la raccolta dei file di testo e prende come input da linea di comando il file TXT da convertire; legge nel nome il timestamp e lo usa per nominare una cartella in cui salvare l'output. Il programma legge il file di input per righe e attraverso un processo di parsing cerca nei bytes di ogni pacchetto i valori relativi all'orario, al tipo di messaggio, al DLC e alla pressione misurata.

```

03:18:06.346424 IP (tos 0x0, ttl 64, id 0, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 41)
 192.168.0.154.40422 > 192.168.0.255.10001: [udp sum ok] UDP, length 13
0x0000: ffff ffff ffff 0040 9dae f963 0800 4500
0x0010: 0029 0000 4000 4011 b7da c0a8 009a c0a8
0x0020: 00ff 9de6 2711 0015 14d3 8401 0000 0500
0x0030: 0000 la0e 0000 0000 0000 0000

```

TIME   
MESSAGE ID   
DLC   
VALUE

Figura 4-1: Campi del pacchetto IP dei sensori utilizzati per il file CSV.

Nello specifico, è stata individuata la riga in cui è presente ogni campo ed è stato utilizzato un carattere che fosse univoco in ogni pacchetto per caratterizzare la riga: ad esempio, l'orario del pacchetto si trova nella riga in cui compare la parola "IP", dunque sono stati memorizzati i bytes relativi alle ore, minuti e secondi per trasformarli in un orario espresso in secondi. Quest'orario non sarà quello corretto ma sarà quello definito dal Raspberry (che, come detto in precedenza, tiene in memoria l'orario di spegnimento precedente), dunque è necessario sincronizzarlo utilizzando il timestamp di inizio acquisizione presente nel nome del file input, salvato in una variabile "START". Il primo pacchetto avrà dunque come TIME il valore temporale contenuto in START, invece per le righe successive verrà aggiornato TIME sommando il delta ottenuto tra l'orario del pacchetto precedente con quello ricorrente.

I campi MESSAGEID e DLC si trovano nella riga caratterizzata da "0x0020", invece VALUE nella stessa riga dei caratteri "0x0030"; i valori corrispondenti ai campi vengono rintracciati imponendo dopo quanti bytes rispetto all'inizio della riga si trovano. Inoltre, i bytes del pacchetto sono scritti in modalità LSB ma nel file CSV vengono invertiti.

Viene riportato di seguito un esempio dell'output, in cui sono evidenziati i messaggi relativi alla pressione dei quattro sensori.

START	TIME	MESSAGEID	DLC	VALUE
1530244978	1530244978	0	0	0
1530244978	1530244978	704	1	5
1530244978	1530244978	184	5	0d7e
1530244978	1530244978	284	5	15
1530244978	1530244978	701	1	5
1530244978	1530244978	181	5	0ddc
1530244978	1530244978	281	5	16
1530244978	1530244978	702	1	5
1530244978	1530244978	182	5	0f94
1530244978	1530244978	282	5	16
1530244978	1530244978	703	1	5
1530244978	1530244978	183	5	0fa8

1530244978	1530244978	283	5	16
1530244978	1530244978	0	0	0
1530244978	1530244979	0	0	0
1530244978	1530244979	184	5	0d7e
1530244978	1530244979	284	5	15
1530244978	1530244979	181	5	0ddb
1530244978	1530244979	281	5	16
1530244978	1530244979	182	5	0f94
1530244978	1530244979	282	5	16
1530244978	1530244979	183	5	0fa8
1530244978	1530244979	283	5	16

*Tabella 4-1: Esempio del file CSV di output con i dati dei sensori.*

I messaggi sono identificabili dal MESSAGEID; ogni secondo viene inviato da ciascun sensore il valore misurato della pressione (180+nodeID) e il valore misurato della temperatura (280+nodeID), mentre ogni 10 secondi un messaggio di Heartbeat (700+nodeID). Le righe con i valori nulli si hanno in corrispondenza del cambio di timestamp.

I soli dati di pressione non sono tuttavia sufficienti per determinare il numero di persone a bordo: infatti, durante il tragitto dell'autobus possono esserci delle oscillazioni del veicolo che determinano l'incremento o l'abbassamento del flusso d'aria diretto alle sospensioni, a causa ad esempio della presenza di fossi sulla pavimentazione o per le accelerazioni del veicolo stesso. È necessario dunque escludere i dati rilevati durante la fase di moto per eliminare il maggior numero di variabili che possono influenzare la variazione di pressione nel circuito pneumatico. Il discriminante tra la fase di moto e la fase di sosta in fermata è lo stato delle porte, ossia il valore che assume il campo DOORS nei pacchetti IP emessi dall'AVM.

Inoltre, dagli stessi pacchetti è possibile ricavare il timestamp dal campo DATETIME, il codice della linea dal campo LINE, quello del turno dal campo SHIFT, la direzione del veicolo conoscendo il capolinea con il codice del campo DEST, la fermata in cui si trova con il campo CURRENT e il codice del veicolo da VEHICLE.

Come nel caso precedente, i pacchetti IP vengono memorizzati dal Raspberry in file di testo, a cui viene applicato a posteriori uno script di conversione da TXT a CSV (Allegato 5). La procedura è la stessa: viene creata la cartella nominata con il timestamp preso dal file di input del tipo "avm1530244978.txt". Nel caso sia già stata creata la cartella con lo script precedente, viene saltato questo passaggio in modo da avere un'unica cartella con dentro due file CSV (quello con sigla "can" e quello con sigla "avm").

Per trovare i campi in precedenza elencati, viene eseguito un parsing con la stessa procedura dello script per i dati di pressione.

```
04:18:06.203508 IP (tos 0x0, ttl 128, id 26, offset 0, flags [none], proto UDP (17), length 105)
192.168.0.1.7000 > 192.168.0.255.52000: [udp sum ok] rx type 91 cid 4f5f4e45 call# 1409286145 seq -12419072 ser 24424245 (77)
0x0000: ffff ffff ffff 0060 3b05 0d02 0800 4500
0x0010: 0069 001a 0000 8011 b819 c0a8 0001 c0a8
0x0020: 00ff 1b58 cb20 0055 2dbc 4d49 4e46 4f5f
0x0030: 4e45 5400 0001 ff42 8000 0174 a435 5400
0x0040: 01b6 4b34 425a 8df6 4000 0420 2020 2000
0x0050: 2020 2000 0000 0000 0000 0000 00 0000
0x0060: 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 00ff
0x0070: 2000 3f00 0000 00
```

Figura 4-2: Campi del pacchetto IP dell'AVM utilizzati per il file CSV.

I bytes contenenti il valore del timestamp e lo stato delle porte si trovano alla riga contenente i caratteri “0x0030”; quelli per il codice linea alla riga che inizia con “0x0040”; il turno e la destinazione alla riga con “0x0050”; una parte dei bytes per il codice della fermata si trovano alla riga con “0x0050” e una parte in quella successiva caratterizzata da “0x0060”; infine, il codice del veicolo si trova alla riga con “0x0070”.

Di seguito viene riportato un esempio dell’output in formato CSV.

TIMESTAMP	DOORS	LINE	SHIFT	DEST	CURRENT	VEHICLEID
1530244979	0	20202020	202030	0	0	21
1530244980	0	20202020	202030	0	0	21

Tabella 4-2: Esempio del file CSV di output con i dati dell'AVM.

Il campo DOORS assume il valore 0 quando le porte sono chiuse e il valore 1 quando le porte sono aperte. Tutti gli altri campi sono in esadecimale.

#### 4.2 Raccolta dei dati con conteggio manuale

Nell’ambito di questa tesi, il conteggio manuale viene considerato per semplicità privo di errori, dunque rappresenta il valore con cui confrontare le due tecnologie per poter stimare l’errore di ciascuna.

Per rendere il processo più accurato si è scelto di contare manualmente sui video, in quanto è possibile avanzare alle parti di filmato in cui c’è lo scambio di passeggeri e, eventualmente, arretrare per riguardare alcune parti in cui il conteggio risulta difficile.

Nel file excel derivato dal file csv in cui sono contenuti i dati dell’AVM sono stati memorizzati manualmente per ogni porta i secondi (utilizzando il timestamp) in cui uno o più passeggeri sale sul veicolo o scende da esso. Successivamente, per ogni secondo è stato calcolato il numero di passeggeri a bordo attraverso le seguenti formule.

Timestamp	Conteggio manuale		
	Saliti	Discesi	$B^{manual} = \text{passeggeri a bordo}$
Condizione iniziale	-	-	$B_0^{manual} = 0$
1	$a_1$	$b_1$	$B_1^{manual} = B_0^{manual} + (a_1 - b_1)$
2	$a_2$	$b_2$	$B_2^{manual} = B_1^{manual} + (a_2 - b_2)$
...	...	...	...
k	$a_k$	$b_k$	$B_k^{manual} = B_{k-1}^{manual} + (a_k - b_k)$
n	$a_n$	$b_n$	$B_n^{manual} = B_{n-1}^{manual} + (a_n - b_n) = 0$

Tabella 4-3: Metodologia per il conteggio manuale dei passeggeri a bordo.

In tabella  $a_k$  e  $b_k$  sono i valori complessivi sulle 3 porte del veicolo. Occorre specificare che il numero iniziale e il numero finale di passeggeri a bordo è pari a 0 per il caso generico; se si considera come condizione iniziale la partenza da un capolinea e come finale l'arrivo al capolinea, non sempre l'ipotesi che i passeggeri a bordo siano pari a 0 è verificata: infatti, può accadere che nelle linee circolari (si veda ad esempio la SE1 e SE2) gli utenti non scendano al capolinea ma a una delle fermate successive, dunque  $B_n$  e  $B_0$  della corsa successiva non saranno nulli. Se invece si considera un turno macchina, la condizione iniziale sarà l'uscita dal deposito del veicolo e la condizione finale il rientro, dunque  $B_0$  e  $B_n$  saranno nulli.

Inoltre, sono stati considerati come passeggeri solamente coloro che sono tenuti ad avere un titolo di viaggio, escludendo dunque carrozzine, passeggini, animali e bambini visibilmente al di sotto di 11 anni.

Il file risultante sarà nominato con la sigla "pax", seguita dal timestamp di inizio (ad esempio pax1530244978.xlsx) e sarà salvato nella stessa cartella dei dati AVM e CAN.

In questo modo è possibile unire i dati del conteggio manuale con i dati dei sistemi automatici attraverso la sincronizzazione con il timestamp.

### 4.3 Elaborazione dei dati dell'analisi video

La video analisi ha come output un file in formato CSV per ogni video e per ogni telecamera, dunque se si analizzano 6 corse si avranno in totale 18 file. All'interno dei file sono presenti 3 colonne: la prima riguarda orario e data in cui è stata effettuata l'analisi, la seconda il numero di persone contate e la terza in cui è indicato mediamente per quanto tempo i target sono stati rilevati.

I dati sono stati aggregati per minuto, dunque ogni riga rappresenta un minuto del video in cui è stato rilevato qualcosa e in corrispondenza del conteggio viene effettuata una somma tra gli oggetti riconosciuti durante quel minuto.

Per poter unire i dati del conteggio manuale, dei sensori e della video analisi è necessario sincronizzare l'orario: infatti, la data in cui è stata effettuata l'analisi (colonna TIME del file) non corrisponde alla data effettiva nel video. Inoltre, l'analisi video ha un grado di complessità tale per cui può impiegare un tempo maggiore o minore (a seconda della complessità della scena) rispetto alla durata della registrazione senza avere un rapporto costante. La soluzione adoperata consiste in diversi passaggi: è stata trasformata la prima colonna in Unix Epoch; conoscendo l'orario di inizio e fine della registrazione si impostano quelli come orario corretto della prima riga e dell'ultima, in una colonna nuova; si effettua la differenza tra il timestamp iniziale e finale sia dell'analisi che della registrazione e si effettua il rapporto delle differenze, ottenendo così un coefficiente; ad ogni riga si somma il timestamp precedente con un valore dato dal prodotto del coefficiente trovato e una differenza, quest'ultima calcolata tra il timestamp fittizio della riga precedente e quello della riga ricorrente.

Si riporta di seguito un esempio del file ottenuto, salvato in formato XLSX; la colonna "9 INSIDE" contiene il numero di passeggeri riconosciuti.

TIME	9 INSIDE	Avg Sec	UNIX_TEO	UNIX_REALE	END_reale
22/08/2018 12:20	1	2	1534940400	1531295852	1531297394
22/08/2018 12:21	0	0	1534940460	1531295902	
...					
22/08/2018 12:51	0	0	1534942260	1531297394	

Tabella 4-4: Esempio del file in formato XLSX con i dati dell'analisi video.

#### 4.4 Unione dei dati

Raccolti tutti i dati necessari per effettuare l'analisi, sono stati uniti tutti i file ottenuti in un unico documento, utilizzando come elemento di congiunzione il timestamp. In questo modo, per ogni secondo si possono conoscere i valori di pressione, il numero di passeggeri contati manualmente e il numero di passeggeri contati dall'analisi video, con l'aggiunta delle informazioni sullo stato delle porte e sulla linea.

Per effettuare quanto detto è stato utilizzato uno script in linguaggio Python, il quale sfrutta la libreria open source *pandas* per l'analisi dei dati.

Il programma prende da linea di comando il nome della cartella in cui sono presenti i file dei sensori e del conteggio manuale (costituito da un valore di timestamp); dal file con

sigla “avm” prende il timestamp e lo stato delle porte; organizza i dati del file con sigla “can” come se fosse una tabella pivot: per ogni secondo prende i valori di pressione sui 4 sensori, li colloca in 4 colonne e li somma in modo da ottenere un valore di pressione complessivo (SUM).

A causa di alcune interferenze può succedere che per alcuni secondi non vengano inviati dati dai sensori, dunque si potrebbero verificare delle righe in cui non compaiono tutti i valori di pressione. Per evitare che siano presenti dei buchi tra i dati è stata utilizzata una funzione della libreria, la quale riempie le righe vuote con un’interpolazione tra il valore precedente e il valore successivo per ogni sensore e, sommando i nuovi valori di pressione, si ottiene il campo SUM\_FILTER.

Dal file con sigla “pax”, in cui ogni riga corrisponde ad un secondo, vengono prese le colonne con i conteggi di passeggeri entrati e usciti per ogni porta, il numero complessivo di entrati/usciti dal veicolo (IN/OUT) e il bilancio dei passeggeri a bordo (PAXTOT).

I valori realmente interessanti, come già detto in precedenza, sono quelli raccolti durante la sosta in fermata del veicolo, quando le variazioni di pressione sono indipendenti dalla marcia. Il file viene quindi filtrato sulla base del valore assunto dal campo DOORS e vengono riportati solamente i dati in cui il campo è pari a 1. Per evidenziare il momento di apertura delle porte si utilizza una colonna CHANGE, in cui compare il valore 18000 in corrispondenza del cambio di DOORS da 0 (porte chiuse) a 1 (porte aperte).

Anche i dati della video analisi sono stati uniti con una sorta di tabella pivot, in modo da avere i conteggi delle 3 telecamere su una stessa riga (CAM1, CAM2, CAM3), per poi essere sommati nella colonna VIDEO\_SUM. Tuttavia, con questi ultimi dati si presenta un problema: le righe di tutti gli altri file rappresentano un tempo espresso in secondi, invece i dati dell’analisi video sono raccolti in minuti, in quanto il software lavora ad evento e discretizzare i dati in secondi risulterebbe privo di senso visto che per interi minuti può non essere riconosciuto nulla. Inoltre, il momento in cui il software riconosce maggiormente le persone è durante il moto tra una fermata e la successiva, quando la scena non subisce troppe variazioni e non ci sono scambi di passeggeri, al contrario del sistema basato sulla pressione.

Se si considera l’autobus durante la fase di moto come un sistema chiuso, per il principio di conservazione il numero di passeggeri all’interno non può variare, dunque tra tutti i valori di persone riconosciute nell’intervallo di tempo tra due fermate si può effettuare la moda, trovando così un unico valore di passeggeri da confrontare con il conteggio manuale. Per tutti i secondi in cui il veicolo è in fermata viene utilizzato il valore della

moda come valore costante del conteggio da video (VIDEO\_SUM), il quale si aggiornerà ad ogni apertura porte.

In una seconda iterazione, come descritto al capitolo 4.5.3, è stata applicata la video analisi durante le fermate al capolinea con le porte aperte, dunque la colonna VIDEO\_SUM rappresenta i passeggeri contati dal software durante quei momenti, senza la necessità di effettuare la moda tra i valori.

Il file di output complessivo di quest'ultimo script è in formato CSV, nominato con la sigla "results\_complete" seguita dal timestamp di riferimento (del tipo results\_complete153128947); è generato inoltre un altro file con la suddivisione in corse in formato XLSX e un file in formato CSV per ogni corsa, nel caso si vogliono fare delle considerazioni sulle singole corse. Di seguito viene riportato un esempio del file riassuntivo di tutti i dati.

TIMESTAMP	DOORS	CHANGE	SENSOR_1	SENSOR_2	SENSOR_3	SENSOR_4	SUM	SUM_FILTER	IN1	OUT1	IN2	OUT2	IN3	OUT3	IN	OUT	PAXTOT	CAM1	CAM2	CAM3	VIDEO_SUM
1531300925	1		3992	4790	4790	3934	17506	17508	0	0	0	0	0	0	0	0	20	2	4	8	14
1531300926	1		3995	4692	4696	3975	17358	17508	0	0	0	0	0	0	0	0	20	2	4	8	14
1531301124	1	18000	3894	4997	4537	3740	17168	17168	0	0	1	0	0	0	1	19	5	0	1	6	6
1531301125	1		3869	4926	4478	3726	16999	16999	0	1	0	2	0	0	0	3	16	5	0	1	6
1531301126	1		3864	4833	4426	3724	16847	16847	0	1	0	1	0	0	0	2	14	5	0	1	6
1531301127	1		3869	4724	4393	3708	16694	16694	0	1	0	1	0	0	0	2	12	5	0	1	6
1531301128	1		3861	4677	4416	3673	16627	16627	0	1	0	1	0	0	0	2	10	5	0	1	6
1531301129	1		3864	4642	4427	3658	16591	16591	0	0	1	0	0	0	1	9	5	0	1	6	6
1531301130	1		3854	4624	4432	3654	16564	16564	0	0	1	0	0	0	1	8	5	0	1	6	6
1531301131	1		3851	4604	4447	3643	16545	16545	0	0	1	0	0	0	1	7	5	0	1	6	6
1531301132	1		3851	4597	4461	3643	16552	16552	0	0	0	0	0	0	0	7	5	0	1	6	6
1531301133	1		3846	4582	4450	3653	16531	16531	0	0	0	0	0	0	0	7	5	0	1	6	6
1531301134	1		3853	4566	4462	3651	16532	16532	0	0	0	0	0	0	0	7	5	0	1	6	6
1531301135	1		3908	4458	4329	3676	16371	16532	0	0	0	0	0	0	0	7	5	0	1	6	6
1531301136	1		3878	4444	4301	3695	16318	16532	0	0	0	0	0	0	0	7	5	0	1	6	6
1531301229	1	18000	3808	4498	4606	3690	16602	16602	0	0	0	0	0	0	0	7	5	0	4	9	9
1531301230	1		3822	4483	4619	3670	16594	16594	1	0	1	0	0	0	2	9	5	0	4	9	9
1531301231	1		3829	4499	4606	3670	16604	16604	0	0	0	0	0	0	0	9	5	0	4	9	9
1531301232	1		3841	4492	4602	3664	16599	16599	0	0	0	0	0	0	0	9	5	0	4	9	9
1531301233	1		3891	4400	4487	3680	16458	16458	0	0	0	0	0	0	0	9	5	0	4	9	9
1531301234	1		3919	4310	4429	3715	16373	16458	0	0	0	0	0	0	0	9	5	0	4	9	9
1531301235	1		3894	4291	4260	3739	16184	16458	0	0	0	0	0	0	0	9	5	0	4	9	9
1531301390	1	18000	3664	4659	4483	3698	16504	16504	0	0	1	0	0	0	1	8	5	0	2	7	7
1531301391	1		3652	4633	4511	3673	16469	16469	1	0	0	1	0	1	1	2	7	5	0	2	7

Tabella 4-5: Esempio del file di sintesi di tutti i dati raccolti.

Lo script utilizzato è inserito all'Allegato 6.

#### 4.5 Analisi dei risultati e stima degli errori

Di seguito vengono presentati i risultati ottenuti dalle singole tecnologie applicate e, successivamente, viene proposto e analizzato un metodo per stimare il numero di passeggeri con la sintesi dei due sistemi, secondo l'idea di compensare le carenze di uno con i punti di forza dell'altro.

##### 4.5.1 Sistema basato sui trasduttori di pressione

Visto l'obiettivo di valutare il numero di passeggeri è stato necessario definire una relazione tra i valori di pressione e il numero di persone presenti sull'autobus; pertanto è stato costruito un grafico combinato per ogni linea analizzata, in cui in ascissa compaiono

gli orari, in ordinata a sinistra i valori di pressione in mBar (linea blu nel grafico) e in ordinata a destra il numero di passeggeri a bordo del veicolo (linea arancione nel grafico). Tutti i valori sono stati raccolti mentre le porte erano aperte, sia in fermata che ai capolinea.

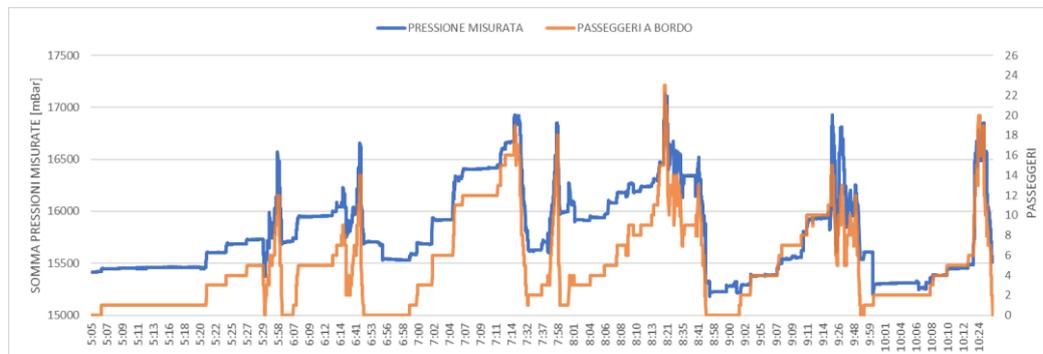


Figura 4-3: Grafico relativo ai dati analizzati nella giornata 29-06-2018 sulla linea SE2.

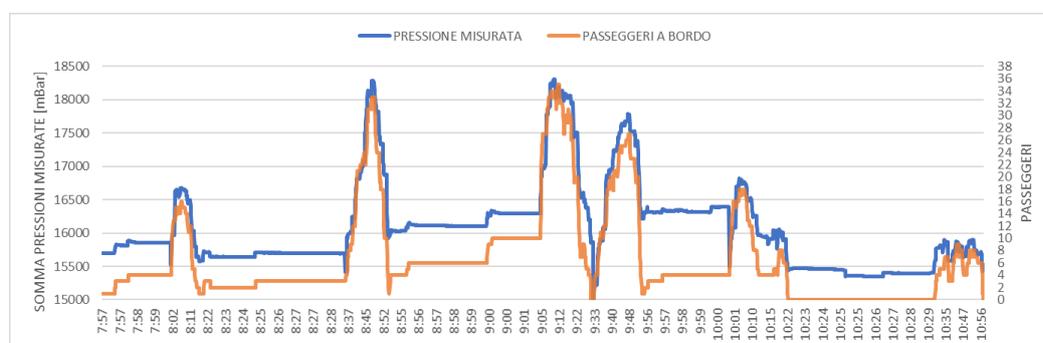


Figura 4-4: Grafico relativo ai dati analizzati nella giornata 11-07-2018, durante la prima raccolta, sulla linea 6.

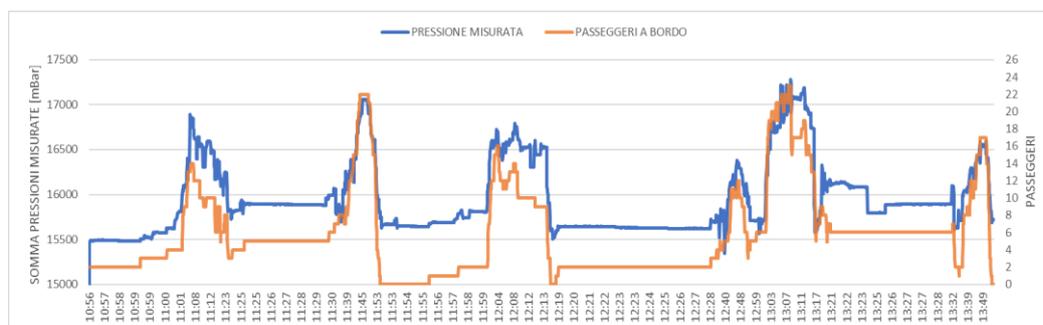


Figura 4-5: Grafico relativo ai dati analizzati nella giornata 11-07-2018, durante la seconda raccolta, sulla linea 6.



Figura 4-6: Grafico relativo ai dati analizzati nella giornata 11-07-2018, durante la terza raccolta, sulla linea 6.

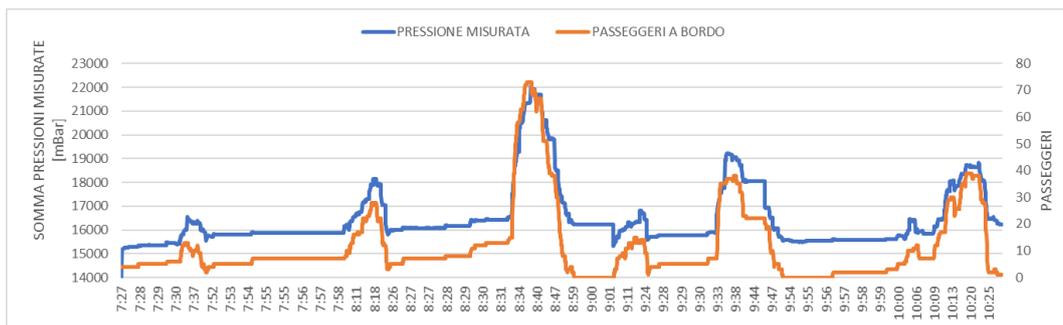


Figura 4-7: Grafico relativo ai dati analizzati nella giornata 13-07-2018, sulla linea 6.

Come si può notare dai grafici, vi è una stretta relazione tra il numero di persone a bordo contate manualmente e la pressione inviata alle sospensioni per sorreggere il carico, anche se il rapporto non è sempre costante.

Inoltre, è stato costruito un grafico in cui si potesse vedere l'andamento della pressione al variare dei passeggeri: la tendenza risulta essere tale da poter ipotizzare l'uso di un modello lineare. È stata utilizzata una regressione lineare in modo da stimare i parametri per costruire il modello. Una volta stimati i parametri, è stato calcolato il numero di passeggeri secondo la formulazione:

$$PAXTEO = a \cdot SUM\_FILTER + b$$

dove a rappresenta il coefficiente angolare e b l'intercetta.

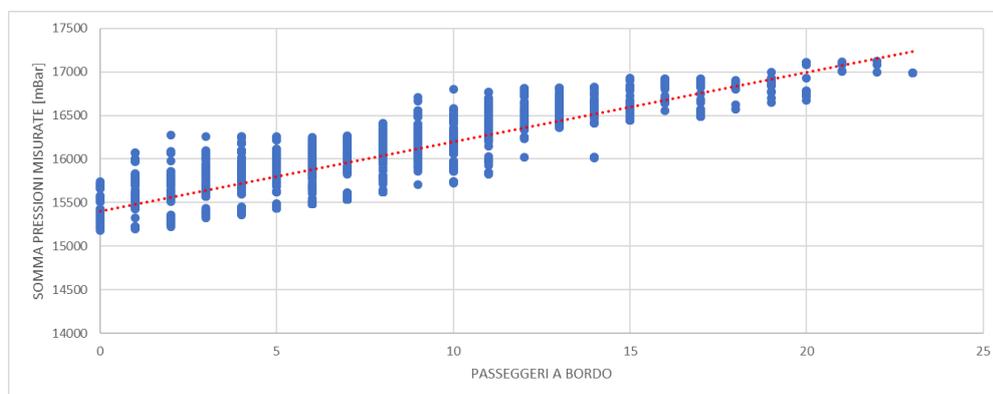


Figura 4-8: Valori di pressione al variare del numero di passeggeri per le corse del 29-06-2018.

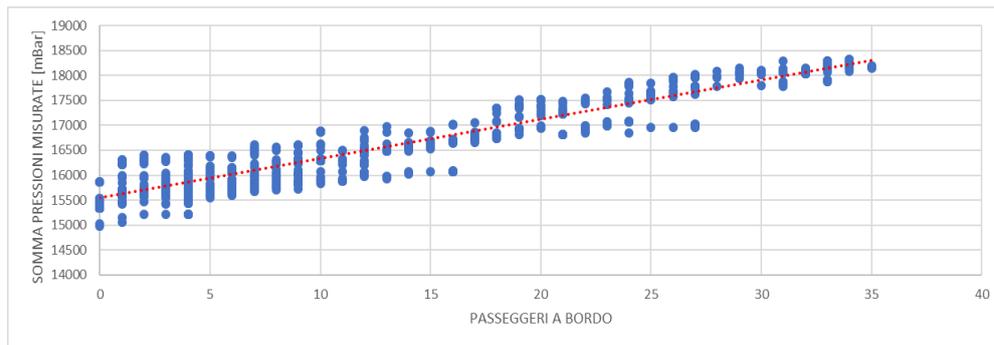


Figura 4-9: Valori di pressione al variare del numero di passeggeri per le corse del 11-07-2018, dalle 08:00 alle 11:00 circa.

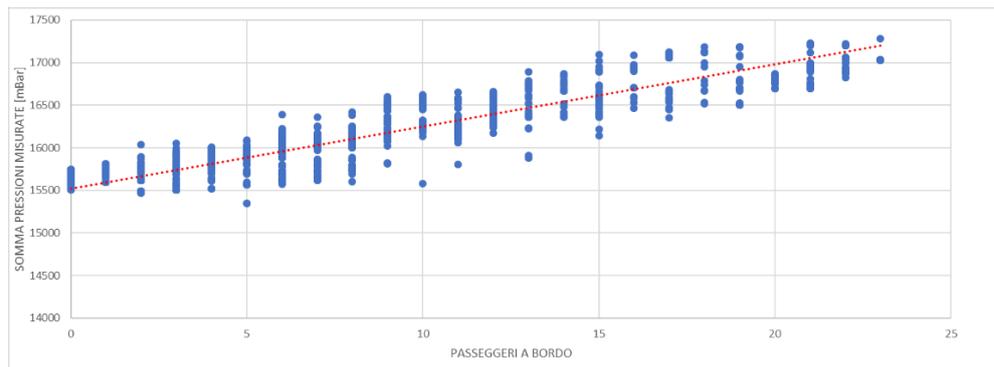


Figura 4-10: Valori di pressione al variare del numero di passeggeri per le corse del 11-07-2018, dalle 11:00 alle 14:00 circa.

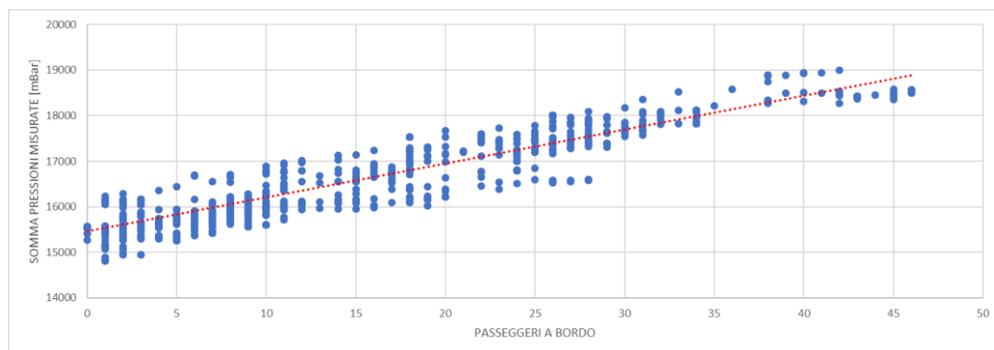


Figura 4-11: Valori di pressione al variare del numero di passeggeri per le corse del 11-07-2018, dalle 17:30 alle 20:30 circa.

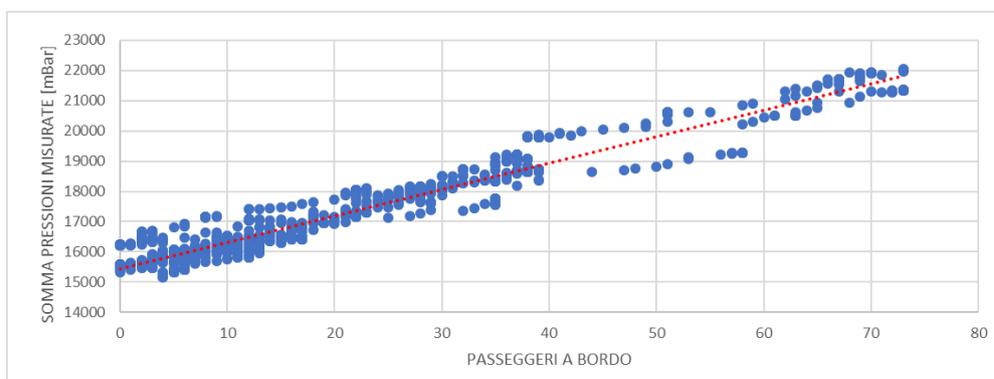


Figura 4-12: Valori di pressione al variare del numero di passeggeri per le corse del 13-07-2018.

Per i campioni analizzati sono stati ottenuti i seguenti parametri.

DATA	ORA	LINEA	COEFFICIENTE ANGOLARE	INTERCETTA
29/06/2018	05:05-10:37	SE2	0,00933	-142,367
11/07/2018	07:57-10:56	6	0,01103	-170,708
11/07/2018	10:56-13:53	6	0.01141	-176.128
11/07/2018	17:24-20:28	6	0.01083	-165.814
13/07/2018	07:27-10:26	6	0,01051	-161,425

Tabella 4-6: Sintesi dei parametri ottenuti dalle regressioni lineari.

Successivamente, per ogni valore di pressione è stato stimato il numero di passeggeri corrispondenti, calcolati con la formulazione lineare, salvati nel campo PAXTEO; i valori ottenuti sono stati confrontati con i passeggeri contati manualmente ed è stato stimato l'errore relativo secondo la formula:

$$ERRORE_{rel} = \frac{|PAXTOT - PAXTEO|}{PAXTOT} [\%].$$

Come si può notare dalla formula, al denominatore è presente un numero che può assumere anche valori nulli nel caso non siano presenti passeggeri sull'autobus. Per risolvere i problemi ad esso connessi, si è scelto di imporre un errore nullo nel caso in cui al numeratore entrambi i termini siano pari a 0, mentre nel caso in cui solo PAXTOT sia pari a 0 l'errore viene impostato pari al 100%. È possibile, inoltre, che ci siano errori maggiori del 100% in quanto può accadere che i passeggeri stimati siano molto lontani rispetto ai passeggeri reali.

Per visualizzare la distribuzione degli errori è stato costruito un istogramma in cui in ascissa sono presenti i valori di errore trovati, suddivisi in intervalli, e in ordinata il numero di campioni corrispondenti agli intervalli di errore.

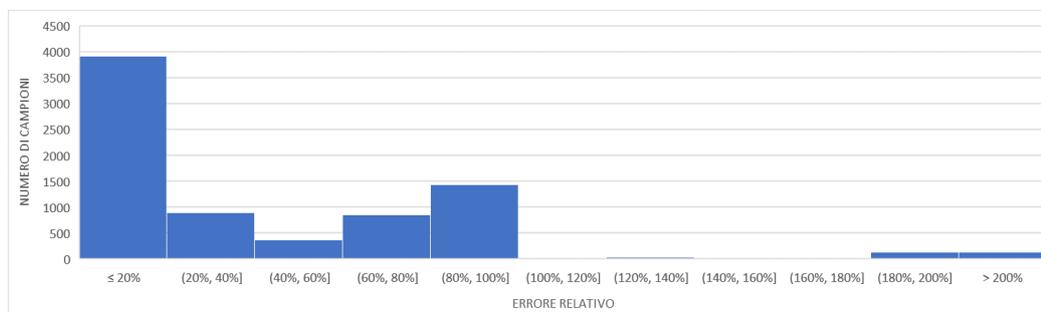


Figura 4-13: Distribuzione degli errori relativi per il conteggio da pressione nella giornata del 29/06/2018.

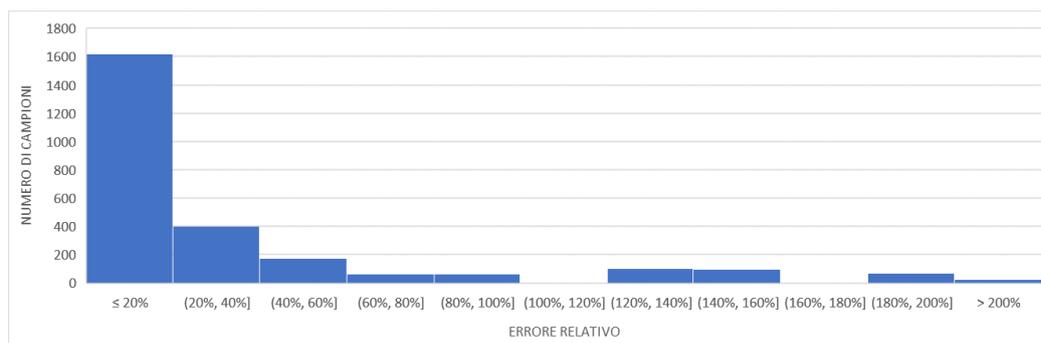


Figura 4-14: Distribuzione degli errori relativi per il conteggio da pressione nella giornata del 11/07/2018 per la fascia 08:00-11:00 circa.

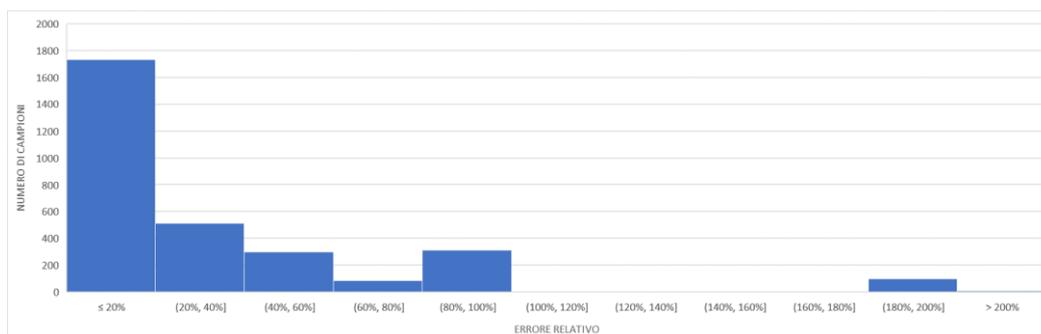


Figura 4-15: Distribuzione degli errori relativi per il conteggio da pressione nella giornata del 11/07/2018 per la fascia 11:00-14:00 circa.

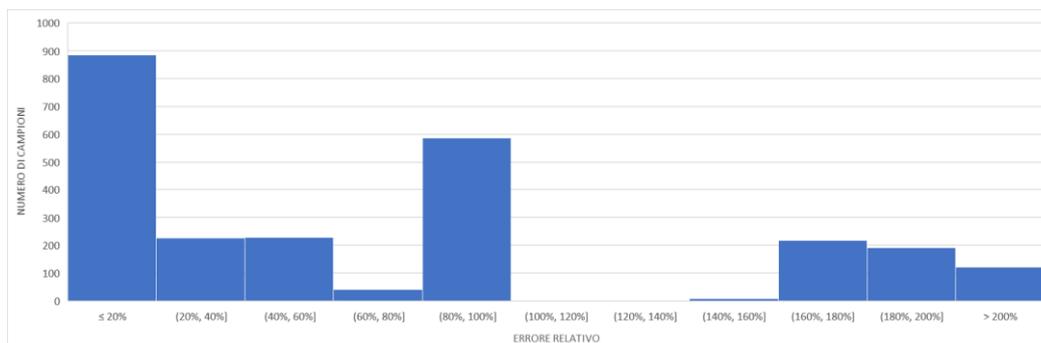


Figura 4-16: Distribuzione degli errori relativi per il conteggio da pressione nella giornata del 11/07/2018 per la fascia 17:30-20:30 circa.

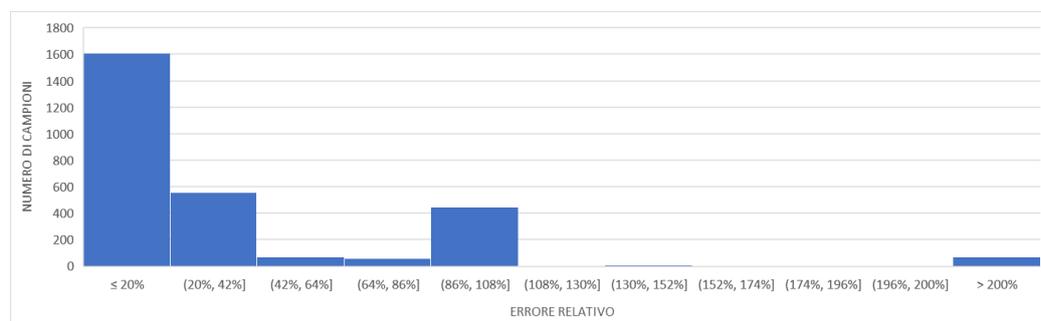


Figura 4-17: Distribuzione degli errori relativi per il conteggio da pressione nella giornata del 13/07/2018.

Come si può notare dalle immagini, la maggior parte dei dati presenta errori sotto il 20%; tuttavia sono presenti alcuni errori maggiori del 100%. A causa dei valori di errore esageratamente alti, la deviazione standard assume valori molto elevati e il valore della

media può essere influenzato pesantemente, diventando un estimatore poco efficiente; la mediana, invece, essendo un parametro d'ordine, non risente di questi valori e quindi si presenta come un indice più robusto.

Di seguito vengono rappresentati i valori ottenuti per le tre serie di dati, dopo aver stimato l'errore rispetto al conteggio manuale in ogni secondo.

DATA	ORA	LINEA	MEDIA ERRORI	DEVIAZIONE STANDARD	MEDIANA ERRORI
29/06/2018	05:05-10:37	SE2	60%	0,73	50%
11/07/2018	07:57-10:56	6	36%	0,65	17%
11/07/2018	10:56-13:53	6	33%	0,45	17%
11/07/2018	17:24-20:28	6	101%	1,65	50%
13/07/2018	07:27-10:26	6	43%	0,88	15%

Tabella 4-7: Riassunto degli errori relativi tra il conteggio manuale e quello derivato dalla pressione.

Inoltre, è stata fatta una rappresentazione grafica dell'andamento dei passeggeri ottenuti dal conteggio manuale (in arancione) e di quello dei passeggeri ottenuti dal modello lineare (in viola), al fine di valutare la bontà dei risultati sulla base della sovrapposizione delle due curve. Come si può notare dai grafici, vi è una buona sovrapposizione dei valori per carichi elevati, mentre con meno di 10 passeggeri si presentano i distacchi maggiori tra i due valori.

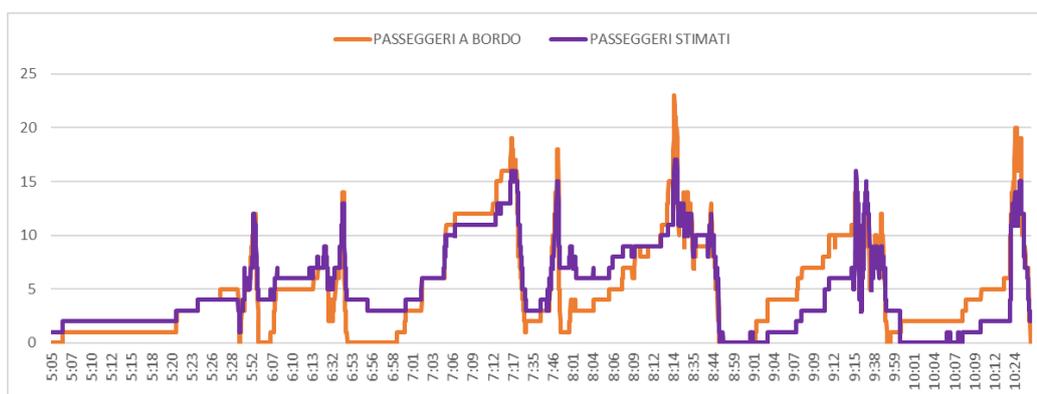


Figura 4-18: Confronto tra conteggio manuale e conteggio derivato dai sensori di pressione per le corse del 29/06/2018.

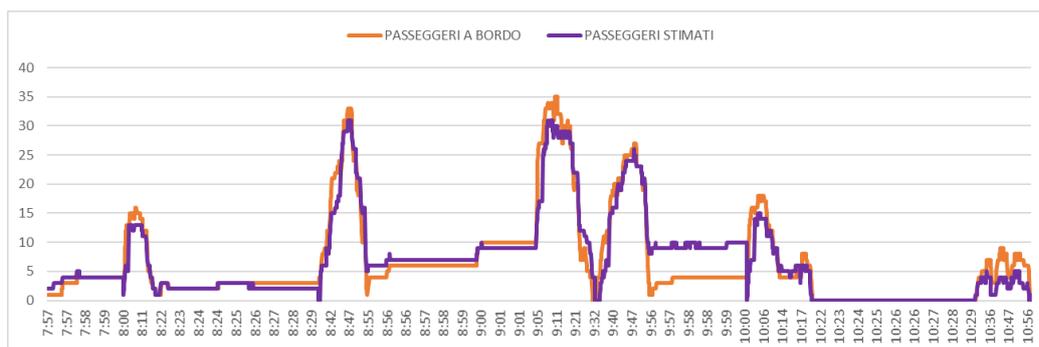


Figura 4-19: Confronto tra conteggio manuale e conteggio derivato dai sensori di pressione per le corse del 11/07/2018 nella prima raccolta.

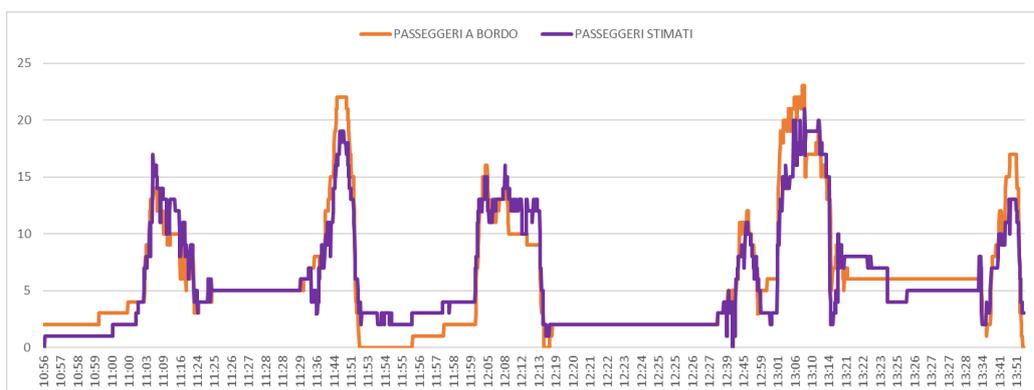


Figura 4-20: Confronto tra conteggio manuale e conteggio derivato dai sensori di pressione per le corse del 11/07/2018 nella seconda raccolta.

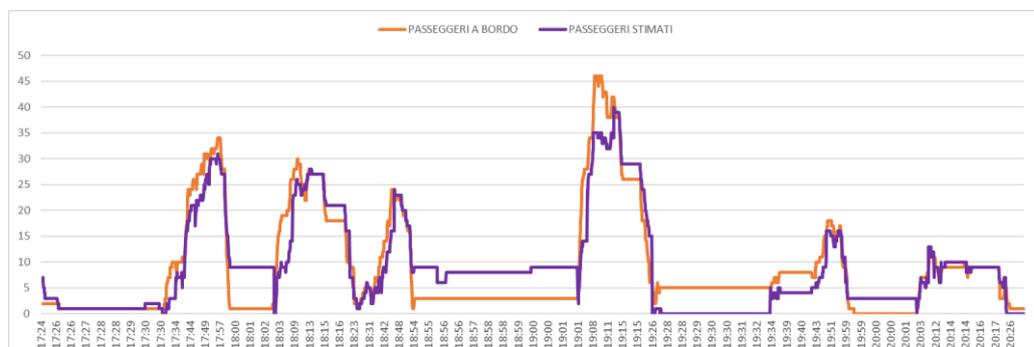


Figura 4-21: Confronto tra conteggio manuale e conteggio derivato dai sensori di pressione per le corse del 11/07/2018 nella terza raccolta.

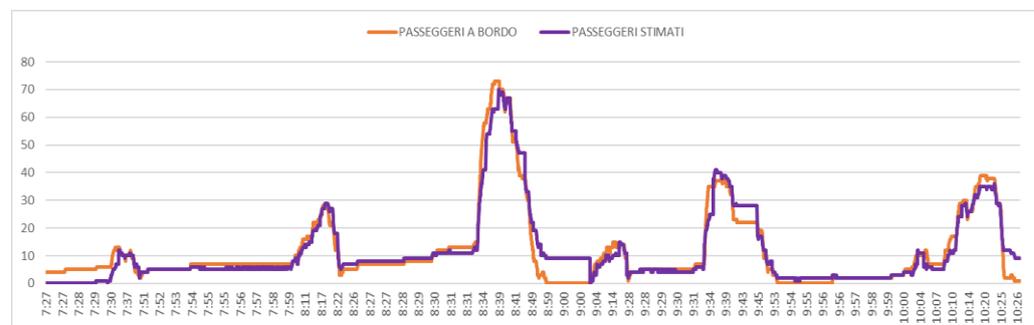


Figura 4-22: Confronto tra conteggio manuale e conteggio derivato dai sensori di pressione per le corse del 13/07/2018.

Bassi valori di carico influenzano poco le variazioni di pressione, dunque risulta poco adatto il modello lineare per questi casi; ciò spiega l'andamento dei grafici sopra esposti. Quest'ipotesi viene confermata dal fatto che nelle corse del 11/07/2018 e del 13/07/2018 il numero di passeggeri trasportato è maggiore e ad esso corrisponde un errore relativo mediamente inferiore, infatti la sovrapposizione delle due curve per questi casi risulta essere migliore.

Nei casi precedenti è stato calcolato l'errore tra il numero di passeggeri contati manualmente e il numero dei passeggeri stimati dal modello per ogni secondo di acquisizione dei dati. Tuttavia, la stima istantanea dei passeggeri durante la fermata non rappresenta un dato rilevante, in quanto le informazioni che interessano a livello trasportistico sono il numero di persone a bordo dopo la chiusura delle porte e il numero di saliti e discesi complessivo per ogni fermata: infatti, il primo numero può essere utilizzato per il calcolo dei fattori di carico, conoscendo anche i km percorsi e il numero di posti offerto, il secondo numero può essere utilizzato negli studi di domanda sulle fermate.

Al fine dunque di dare un unico valore di passeggeri a bordo per ogni fermata effettuata, si è pensato di utilizzare soltanto il numero di persone stimate dal modello nel secondo precedente alla chiusura delle porte, ossia l'ultimo dato in cui il campo DOORS è pari a 1 per ciascuna fermata. Nel file sono presenti consecutivamente tutti gli istanti in cui le porte sono aperte per ciascuna fermata; la riga in cui il campo CHANGE è pari a 18000 individua l'istante di apertura porte della fermata n-esima, pertanto la riga precedente individua l'ultimo istante di apertura porte della fermata (n-1).

Di seguito vengono sintetizzati la media e la mediana degli errori relativi ottenuti con le considerazioni soprariportate.

<b>DATA</b>	<b>ORA</b>	<b>LINEA</b>	<b>MEDIA ERRORI</b>	<b>DEVIAZIONE STANDARD</b>	<b>MEDIANA ERRORI</b>
29/06/2018	05:05-10:37	SE2	29%	0,46	16%
11/07/2018	07:57-10:56	6	28%	0,27	17%
11/07/2018	10:56-13:53	6	22%	0,20	17%
11/07/2018	17:24-20:28	6	47%	0,98	24%
13/07/2018	07:27-10:26	6	22%	0,37	9%

*Tabella 4-8: Riassunto degli errori relativi tra il conteggio manuale e quello derivato dalla pressione, per ogni fermata.*

#### 4.5.2 Sistema basato sull'analisi video

I dati ottenuti dalla videosorveglianza con l'applicazione del software sono stati confrontati con il conteggio manuale.

In una prima iterazione, vista la metodologia adottata per assegnare un unico valore di passeggeri durante il moto del veicolo, l'errore viene calcolato soltanto all'istante di tempo in cui si aprono le porte, in quanto il momento in cui avviene lo scambio di passeggeri sarà successivo a quell'evento.

Come nel caso della pressione, l'errore relativo è calcolato con la seguente espressione:

$$ERRORE_{rel} = \frac{|PAXTOT - VIDEO\_SUM|}{PAXTOT}$$

in cui, come già detto, VIDEO\_SUM rappresenta il conteggio fatto automaticamente.

Come per il caso precedente, la deviazione standard ha valori molto alti, dunque la media non è un buon indicatore della distribuzione degli errori e viene utilizzata la mediana.

DATA	ORA	LINEA	MEDIA ERRORE	DEVIAZIONE STANDARD	MEDIANA ERRORE
29/06/2018	05:05-10:37	SE2	77%	1,19	50%
11/07/2018	07:57-10:56	6	79%	1,50	38%
13/07/2018	07:27-10:26	6	59%	0,59	41%

Tabella 4-9: Riassunto degli errori relativi per il sistema basato sulla videosorveglianza.

Nei grafici sottostanti si può notare come per valori piccoli di passeggeri a bordo ci siano errori estremamente elevati, i quali incidono fortemente sulla media ma non sulla mediana.

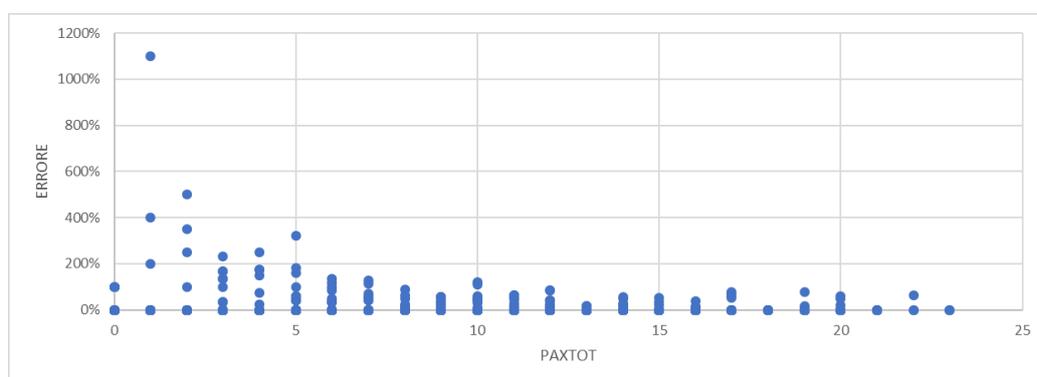


Figura 4-23: Grafico relativo all'andamento dell'errore della video analisi al variare dei passeggeri a bordo nella giornata del 29/06/2018.

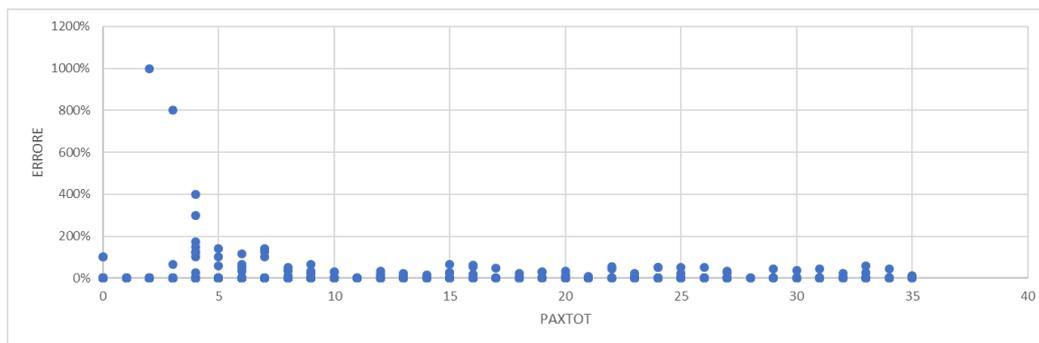


Figura 4-24: Grafico relativo all'andamento dell'errore della video analisi al variare dei passeggeri a bordo nella giornata del 11/07/2018.

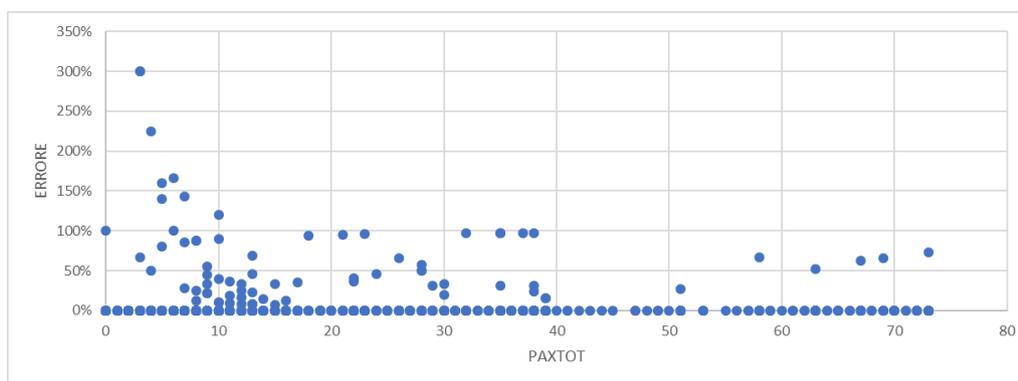


Figura 4-25: Grafico relativo all'andamento dell'errore della video analisi al variare dei passeggeri a bordo nella giornata del 13/07/2018.

Rispetto alle considerazioni fatte precedentemente, sono stati cambiati alcuni parametri con cui lavora il software per le prime due tornate: in particolare, si è notato che la telecamera 1 rilevava un numero eccessivo di passeggeri, dunque è stato modificato il parametro di sensibilità con il valore 2, in modo da eliminare eventuali falsi positivi. Dopo questa operazione è stato rivalutato l'errore e si è riscontrato un miglioramento della media e della deviazione standard, a discapito però della mediana.

DATA	LINEA	MEDIA ERRORE	DEVIAZIONE STANDARD	MEDIANA ERRORE
29/06/2018	SE2	61%	54%	60%
11/07/2018	6	74%	91%	67%

Tabella 4-10: Riassunto degli errori relativi per il sistema basato sulla videosorveglianza, dopo la modifica ai parametri della telecamera 1.

Poiché l'errore risulta essere comunque elevato, è stato modificato anche il parametro sensibilità sulla telecamera 3, tuttavia il risultato ottenuto risulta essere peggiore rispetto al caso precedente, dunque è stata ripristinata la situazione iniziale con i parametri esposti al capitolo 3.3.4.

In una seconda iterazione, per cercare di migliorare la stima dei passeggeri delle telecamere in vista di un'integrazione con il conteggio da pressione, la video analisi è stata applicata solo alle registrazioni dei capolinea nella giornata del 11/07/2018, per le tornate 11:00-14:00 e 17:30-20:30. Il conteggio manuale è stato poi confrontato con i valori restituiti dalla video analisi durante la sosta.

Anche in questo caso i dati sono stati raccolti ogni minuto e non ogni secondo, quindi per poter confrontare dei dati coerenti non si possono utilizzare i conteggi manuali istantanei ma si utilizza il valore prima della chiusura delle porte.

DATA	ORA	LINEA	MEDIA ERRORE	DEVIAZIONE STANDARD	MEDIANA ERRORE
11/07/2018	10:56-13:53	6	58%	0,44	50%
11/07/2018	17:24-20:28	6	85%	1,09	71%

*Tabella 4-11: Riassunto degli errori relativi per il sistema basato sulla videosorveglianza nella seconda iterazione.*

Gli errori ottenuti sono dell'ordine di grandezza della prima iterazione, probabilmente perché durante la fermata avviene lo scambio di passeggeri e questo causa un disturbo alla corretta individuazione dei target per il software, restituendo un numero di passeggeri eccedente quello reale.

Inoltre, gli errori molto alti ottenuti con la video analisi sono causati principalmente dalla posizione delle telecamere, le quali non consentono una corretta visualizzazione dei passeggeri a bordo per scopi di conteggio, essendo installate per scopi di sicurezza. Infatti, come si può notare dalle immagini sotto riportate, gli stessi passeggeri si coprono vicendevolmente, impedendo la corretta individuazione da parte del software della figura umana, sia in condizioni di autobus pieno che mediamente vuoto.



*Figura 4-26: Potenziali errori per la video analisi con sovrapposizione di persone.*

Un'ulteriore fonte di errore per i video sono le aste verticali che fanno parte della struttura dell'autobus, le quali costituiscono un ostacolo alla visuale.

### 4.5.3 Integrazione delle due tecnologie

I paragrafi precedenti contengono l'analisi delle due tecnologie, ciascuna esaminata singolarmente. Riassumendo quanto detto finora, durante la fase di fermata viene rilevata la pressione e attraverso un modello lineare si stimano i passeggeri a bordo; il dato finale da utilizzare è stato quello dell'istante prima della chiusura delle porte, ossia l'ultimo valore corrispondente a DOORS=1.

Nella prima iterazione, è stata applicata la video analisi durante il moto del veicolo, quando DOORS=0, con valori di conteggio differenti ogni minuto; il valore finale considerato è stato la moda del numero di persone rilevate durante la fase di moto.

Dunque, dopo ogni fermata è stato ottenuto un numero di passeggeri stimato con la pressione e un numero di passeggeri stimato con la video analisi, da confrontare con il numero di passeggeri reali contati manualmente per calcolare l'errore dei due sistemi.

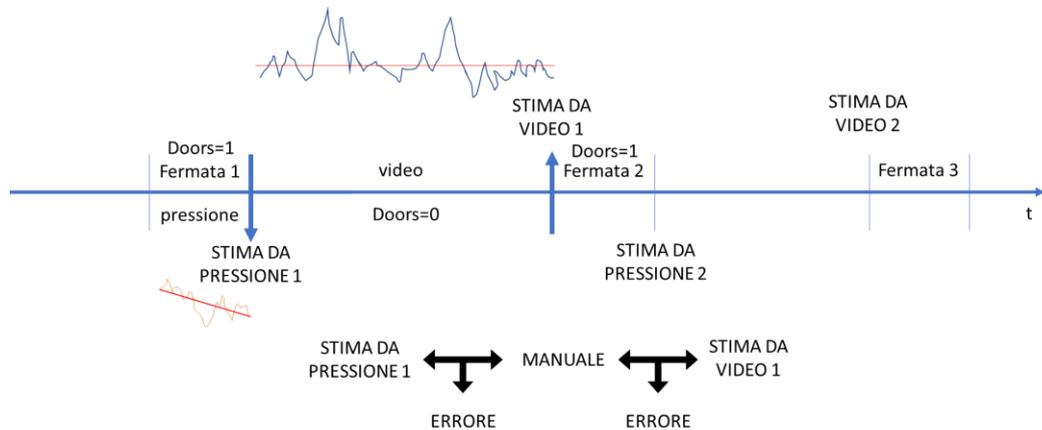


Figura 4-27: Schema dei sistemi di conteggio della prima iterazione.

I presupposti di questa tesi prevedevano l'utilizzo accoppiato di queste tecnologie, poiché era stato previsto che singolarmente si sarebbero ottenute accuratezze più basse rispetto ai sistemi pensati ad hoc.

Dalle precedenti considerazioni, emerge come il sistema basato sulle sospensioni sia il più accurato ai fini del conteggio, ottenendo valori di errore molto alti solo nei casi di pochi passeggeri a bordo (come si nota da Figura 4-18 a Figura 4-22). Al contrario, la video analisi risulta essere più accurata nei casi con pochi passeggeri da rilevare, dunque potrebbe essere utilizzata per sopperire alle carenze del conteggio da pressione.

Usando i dati del 29/06/2018, il primo blocco del 11/07/2018 e quelli del 13/07/2018, si è pensato di realizzare una combinazione lineare del numero di passeggeri ottenuto con la pressione (STIMA DA PRESSIONE, nello schema sopra) e quello ottenuto con la video

analisi (STIMA DA VIDEO, nello schema sopra) per ogni fermata, attribuendo dei pesi differenti. Sono stati costruiti 3 scenari con le seguenti combinazioni:

- 1)  $\text{Passeggeri stimati} = 0,6 \cdot \text{passeggeri da pressione} + 0,4 \cdot \text{passeggeri da video}$
- 2)  $\text{Passeggeri stimati} = 0,7 \cdot \text{passeggeri da pressione} + 0,3 \cdot \text{passeggeri da video}$
- 3)  $\text{Passeggeri stimati} = 0,8 \cdot \text{passeggeri da pressione} + 0,2 \cdot \text{passeggeri da video}$

ed è stato definito il campo di validità dei valori ottenuti dalla sola pressione e dei valori calcolati con la combinazione. Sperimentalmente si è notato che nell'intorno di 5 passeggeri la stima con la sola pressione ha delle lacune maggiori, dunque si è pensato di utilizzare il valore 6 come target: se il valore della combinazione è minore di 6, allora si utilizza come stima dei passeggeri, altrimenti vengono tenuti in considerazione solo i valori derivati dai trasduttori di pressione.

Per ogni coppia di coefficienti sono stati costruiti dei grafici con il numero di passeggeri reale (in giallo nel grafico), ossia contato manualmente, il numero di passeggeri ottenuti con la succitata combinazione (in verde nel grafico) e il numero di passeggeri stimato con la sola pressione (in blu nel grafico).

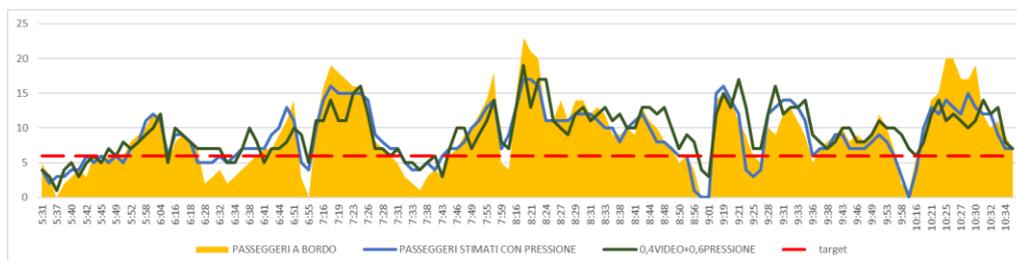


Figura 4-28: Grafico che sintetizza il numero di passeggeri a bordo, la stima con la pressione e la stima con la combinazione 0,6/0,4 per le corse del 29-06-2018.

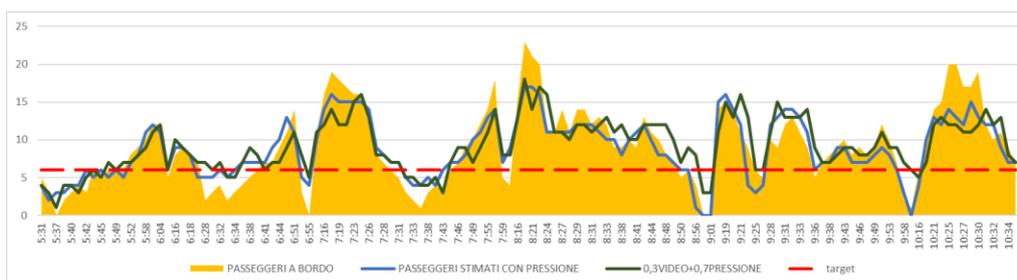


Figura 4-29: Grafico che sintetizza il numero di passeggeri a bordo, la stima con la pressione e la stima con la combinazione 0,7/0,3 per le corse del 29-06-2018.

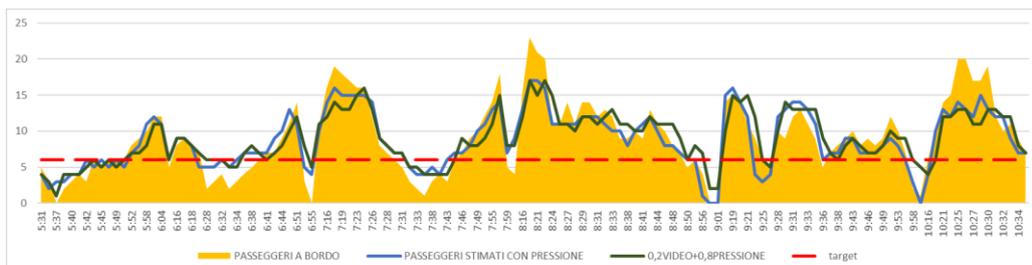


Figura 4-30: Grafico che sintetizza il numero di passeggeri a bordo, la stima con la pressione e la stima con la combinazione 0,8/0,2 per le corse del 29-06-2018.

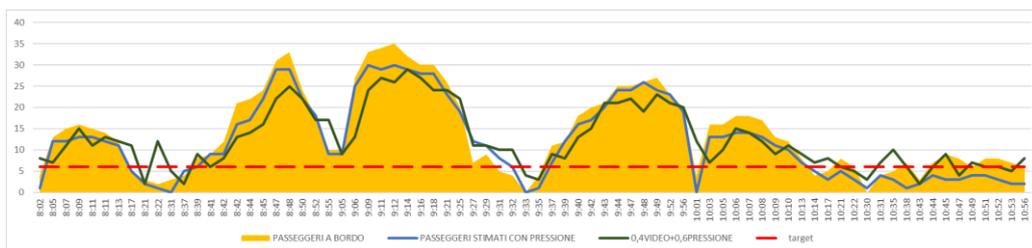


Figura 4-31: Grafico che sintetizza il numero di passeggeri a bordo, la stima con la pressione e la stima con la combinazione 0,6/0,4 per le corse del 11-07-2018.

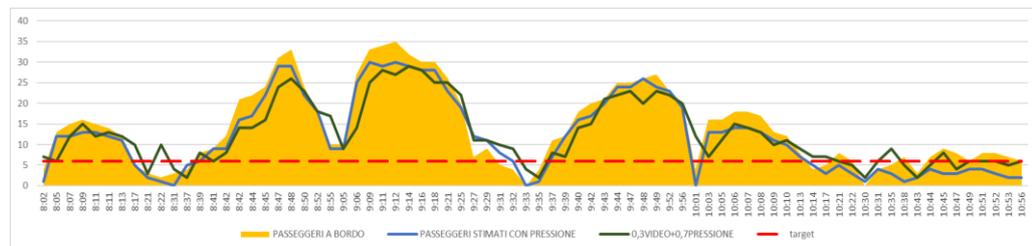


Figura 4-32: Grafico che sintetizza il numero di passeggeri a bordo, la stima con la pressione e la stima con la combinazione 0,7/0,3 per le corse del 11-07-2018.

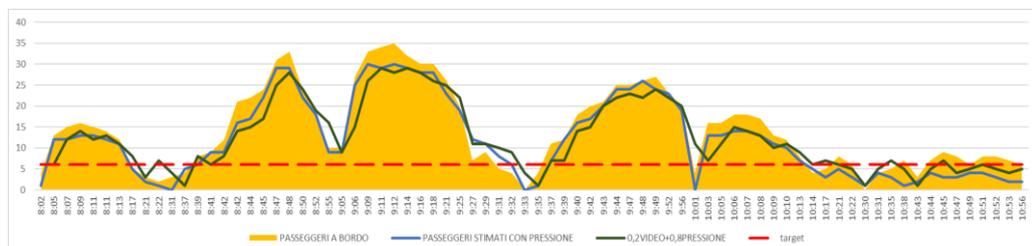


Figura 4-33: Grafico che sintetizza il numero di passeggeri a bordo, la stima con la pressione e la stima con la combinazione 0,8/0,2 per le corse del 11-07-2018.

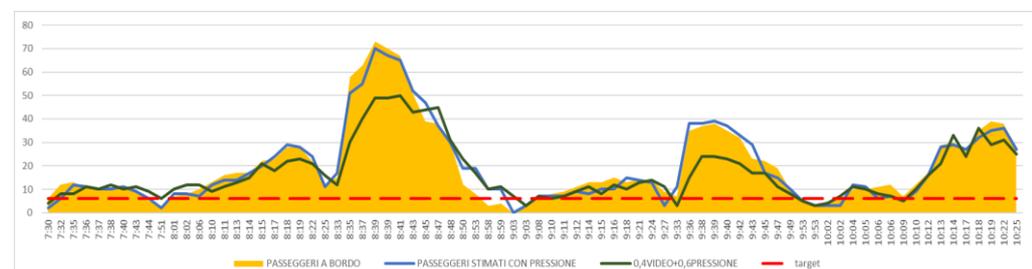


Figura 4-34: Grafico che sintetizza il numero di passeggeri a bordo, la stima con la pressione e la stima con la combinazione 0,6/0,4 per le corse del 13-07-2018.

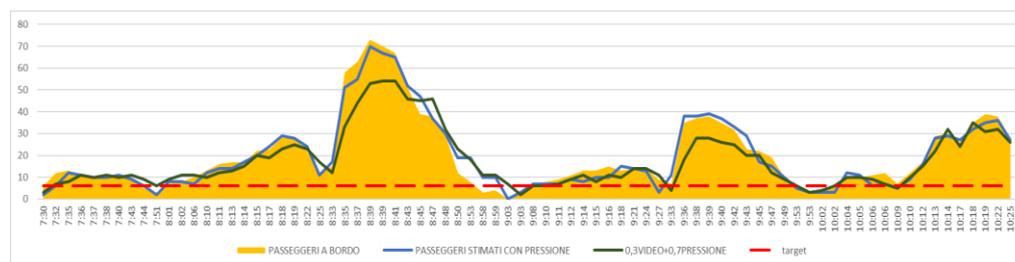


Figura 4-35: Grafico che sintetizza il numero di passeggeri a bordo, la stima con la pressione e la stima con la combinazione 0,7/0,3 per le corse del 13-07-2018.

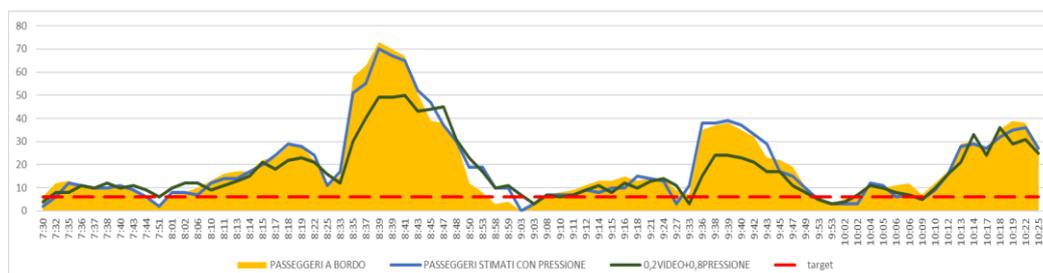


Figura 4-36 Grafico che sintetizza il numero di passeggeri a bordo, la stima con la pressione e la stima con la combinazione 0,8/0,2 per le corse del 13-07-2018.

Successivamente, sono stati calcolati gli errori relativi tra i passeggeri contati manualmente e i passeggeri stimati con il metodo di combinazione.

COMBINAZIONE	MEDIA PRIMA	MEDIANA PRIMA	MEDIA DOPO	MEDIANA DOPO
1 (0,6-0,4)	29,4%	16,2%	31,4%	16,7%
2 (0,7-0,3)	29,4%	16,2%	31,0%	16,7%
3 (0,8-0,2)	29,4%	16,2%	32,7%	15,8%

Tabella 4-12: Errori relativi prima e dopo le combinazioni per le corse del 29-06-2018.

COMBINAZIONE	MEDIA PRIMA	MEDIANA PRIMA	MEDIA DOPO	MEDIANA DOPO
1 (0,6-0,4)	27,6%	17,2%	26,9%	17,2%
2 (0,7-0,3)	27,6%	17,2%	25,3%	16,7%
3 (0,8-0,2)	27,6%	17,2%	25,6%	16,7%

Tabella 4-13: Errori relativi prima e dopo le combinazioni per le corse del 11-07-2018.

COMBINAZIONE	MEDIA PRIMA	MEDIANA PRIMA	MEDIA DOPO	MEDIANA DOPO
1 (0,6-0,4)	21,5%	9,1%	20,8%	9,1%
2 (0,7-0,3)	21,5%	9,1%	21,3%	9,5%
3 (0,8-0,2)	21,5%	9,1%	21,4%	9,5%

Tabella 4-14: Errori relativi prima e dopo le combinazioni per le corse del 13-07-2018.

Come si può notare dalle tabelle, la combinazione porta ad un lieve miglioramento nella media delle corse del 11/07/2018 e 13/07/2018 (circa 1-2%), evidenziate in verde, mentre un lieve peggioramento nelle corse del 29/06/2018, evidenziate in rosso. La mediana risulta migliorata di poco nelle corse del 29/06/2018 e del 11/07/2018.

Nella seconda iterazione, invece, la video analisi è stata applicata solo alle fermate di capolinea, in cui teoricamente il numero di passeggeri non è elevato, e il valore considerato per i passeggeri a bordo è quello corrispondente all'ultimo minuto di analisi. Per le fermate intermedie sono state utilizzate solo le stime ottenute con la pressione.

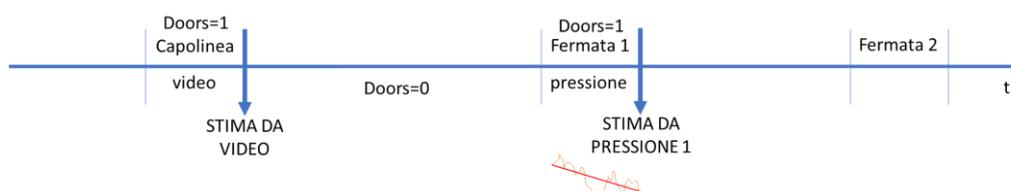


Figura 4-37: Schema dei sistemi di conteggio della seconda iterazione.

Di seguito vengono riportati i grafici relativi al conteggio dei due sistemi ai capolinea delle corse rilevate nell'intervallo 11:00-14:00 e 17:30-20:30 del 11/07/2018.

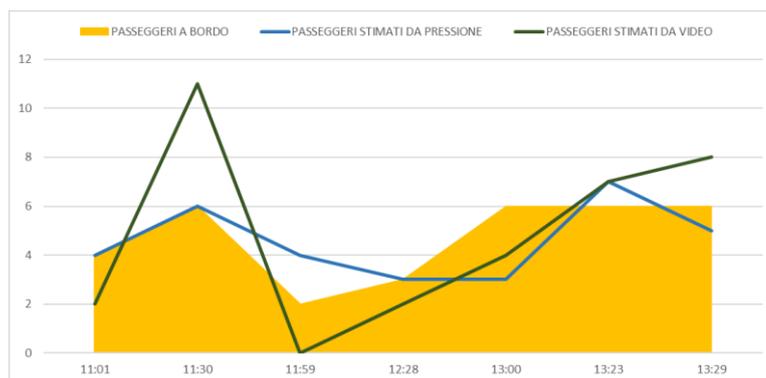


Figura 4-38: Stima dei passeggeri ai capolinea con i due sistemi nella prima tornata del 11/07/2018.

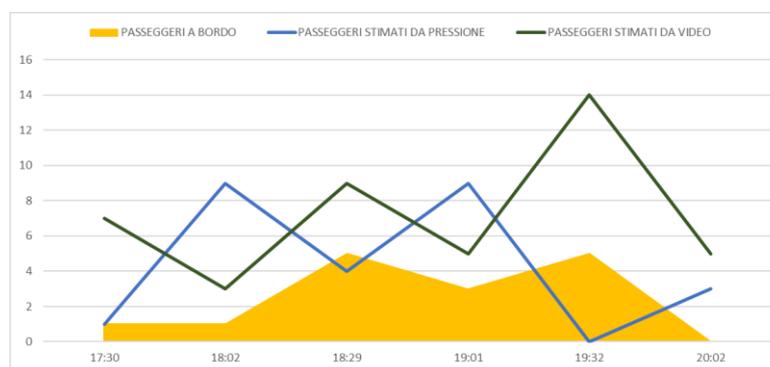


Figura 4-39: Stima dei passeggeri ai capolinea con i due sistemi nella seconda tornata del 11/07/2018.

Come si può evincere dai grafici, in alcuni casi l'uso della video analisi ai capolinea costituisce un miglioramento della misura. Per capire se il metodo costituisce effettivamente un miglioramento complessivo della misura, è stato calcolato l'errore relativo del conteggio con l'utilizzo della video analisi ai capolinea e della pressione nelle fermate intermedie, successivamente confrontato con gli errori dati dalla sola pressione.

<b>ORA</b>	<b>MEDIA PRESSIONE</b>	<b>MEDIANA PRESSIONE</b>	<b>MEDIA VIDEO + PRESSIONE</b>	<b>MEDIANA VIDEO + PRESSIONE</b>
10:56- 13:53	22%	17%	24%	18%
17:24- 20:28	47%	24%	47%	25%

*Tabella 4-15: Sintesi degli errori per il metodo combinato della seconda iterazione.*

In entrambi i casi l'utilizzo della video analisi ai capolinea si è rivelata essere svantaggiosa, seppur di poco. Inoltre, il numero di fermate per ogni corsa in cui si considera il valore dato dalla pressione è circa 13, invece il capolinea rappresenta una sola fermata, dunque l'influenza che ha sul valore medio di errore è irrisoria. Essendo quindi poco affidabile il conteggio fatto dal software in queste condizioni, risulta poco proficuo utilizzarlo come strumento di taratura per il numero di passeggeri iniziali ad ogni corsa.

#### *4.6 Future implementazioni*

La stima dei passeggeri attraverso la pressione nelle sospensioni è stata fatta su ogni tornata di dati con coefficienti angolari e intercetta differenti, sulla base dei valori ottenuti dalle regressioni lineari. Nel caso di un sistema automatico di conteggio che sfrutti un modello lineare per correlare la pressione e il numero di passeggeri, occorre definire un unico valore per il coefficiente angolare e l'intercetta.

Per definire questi valori occorrono delle analisi più approfondite, in modo da tarare il sistema nelle diverse condizioni di veicolo vuoto o carico.

Con i dati raccolti per questa tesi è stata avanzata l'ipotesi di poter mediare i valori di coefficiente angolare e intercetta, successivamente utilizzati per ricalcolare il numero di passeggeri su ogni corsa e il conseguente errore relativo.

<b>DATA</b>	<b>ORA</b>	<b>COEFFICIENTE ANGOLARE</b>	<b>INTERCETTA</b>
29/06	05:05-10:37	0.00933	-142.367
11/07	07:57-10:56	0.01103	-170.708
11/07	10:56-13:53	0.01051	-161.425
11/07	17:24-20:28	0.01141	-176.129
13/07	07:27-10:26	0.01083	-165.814
	<b>media</b>	<b>0.01062</b>	<b>-163.288</b>

Tabella 4-16: Stima del coefficiente angolare e dell'intercetta per il modello lineare, mediati sui valori delle corse.

Per ogni gruppo di dati sono stati quindi calcolati i passeggeri a bordo come in precedenza e di seguito vengono riportati i risultati ottenuti.

<b>DATA</b>	<b>ORA</b>	<b>LINEA</b>	<b>MEDIA ERRORI</b>	<b>MEDIANA ERRORI</b>
29/06/2018	05:05-10:37	SE2	29,2%	16,7%
11/07/2018	07:57-10:56	6	23,0%	13,4%
11/07/2018	10:56-13:53	6	24,4%	18,2%
11/07/2018	17:24-20:28	6	50,0%	28,6%
13/07/2018	07:27-10:26	6	21,5%	9,1%

Tabella 4-17: Errori nella stima da pressione con intercetta e coefficiente angolare mediati.

Inoltre, in vista di un conteggio passeggeri completamente automatizzato, a bordo del veicolo, è stato creato il relativo protocollo di comunicazione chiamato INFO\_PAX, il quale permette l'invio dei dati sulla rete internet di bordo.

#### 4.6.1 Protocollo di comunicazione INFO\_PAX

I pacchetti contengono le informazioni relative al conteggio dei passeggeri a bordo del mezzo e al tipo di sistema di rilevamento utilizzato. La struttura, per retro-compatibilità, sarà la stessa dei protocolli visti in precedenza (cap. 2.2), già utilizzati dall'azienda.

In vista di più dispositivi che integrano le informazioni rilevate, questi pacchetti possono essere inviati da ciascuno di essi, in quanto tra le informazioni veicolate compaiono anche la tipologia di sensore da cui si origina il messaggio e l'eventuale id, nel caso in cui per la stessa tipologia esistano più componenti; qualora i sensori inviino le informazioni ad un'unità centrale di acquisizione ed elaborazione (Master), sarà quest'ultima ad inviare un unico pacchetto.

4E	h	I	N	F	O	_	P	A	X	\0	\0	
----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	--

Tabella 4-18: Header del pacchetto INFO\_PAX.

La frequenza di invio del pacchetto dipende dal conta-passeggeri utilizzato: infatti, se il sistema prevede l'invio di pacchetti all'apertura e chiusura porte si avranno delle informazioni ad evento; in altri casi, invece, il sistema di conteggio potrebbe avere una periodicità fissata.

La struttura dati prevede l'utilizzo di alcune informazioni inviate dall'AVM (fino all'offset 63), con l'aggiunta di quelle sul sistema di conteggio e il conteggio stesso. Nella tabella sottostante sono riassunti i campi previsti.

Il protocollo è stato pensato per un qualsiasi sistema di conteggio, sia sugli autobus urbani che su quelli extra-urbani, infatti è presente anche il codice corsa (trip).

Il campo DOORS discrimina il momento in cui viene azionato il conteggio; il campo CURRENT indica il codice della fermata in cui sono saliti o scesi i passeggeri; PAXIN rappresenta il numero di passeggeri rilevati dai singoli sensori o calcolati dal master in ingresso ad ogni fermata, mentre PAXOUT quelli in uscita; PAXONBOARD indica il numero di passeggeri a bordo del mezzo, dopo la chiusura delle porte, stimato attraverso un sistema di conteggio automatico oppure ricavato del numero di passeggeri entrati/usciti durante la fermata e a bordo prima della fermata.

Nel caso sia il master a fornire il pacchetto è indispensabile che il valore sia con segno, in quanto rappresenta un controllo per eventuali errori di PAXIN o PAXOUT (il caso di valore negativo in PAXONBOARD deve essere scartato poiché non sarebbe fisicamente accettabile).

SENSORTYPE indica, se presenti diverse tipologie di conteggio passeggeri a bordo, da quale tecnologia è stato generato il pacchetto; SENSORID indica a quale sensore appartiene il messaggio del pacchetto. Nel caso di un sistema a singolo sensore, il valore sarà pari al master; altrimenti il valore (univoco) è crescente dalla cabina di guida al fondo del veicolo.

VALUE rappresenta il valore misurato dal sensore, nel caso in cui la tecnologia si basi sul rilevamento di parametri fisici (ad esempio rilevamento di pressione) o parametri calcolati dal sensore stesso o dal master.

Gli ultimi due campi hanno scopi diagnostici, per informare su eventuali disservizi.

<b>Campo</b>	<b>Tipo</b>	bit	<b>Offset</b>	<b>Descrizione</b>
<b>TIMESTAMP</b>	unsigned long	32	<b>17</b>	Data/ora dal 1/1/1970
<b>DOORS</b>	Byte	8	<b>21</b>	Stato porte
<b>LINE</b>	char(7)	-	<b>22</b>	Codice linea (max 6 caratteri+null)
<b>SHIFT</b>	char(7)	-	<b>29</b>	Turno veicolare (max 6 caratteri+null)
<b>TRIP</b>	char(9)	-	<b>36</b>	Codice corsa (max 8 caratteri+null)
<b>DEST</b>	char(9)	-	<b>45</b>	Codice fermata capolinea (max8+null)
<b>CURRENT</b>	char(9)	-	<b>54</b>	Codice fermata corrente (max 8 caratteri+null)
<b>VEHICLE</b>	unsigned short	16	<b>63</b>	ID veicolo
<b>PAXIN</b>	Int	16	<b>65</b>	Numero di passeggeri entrati alla fermata corrente
<b>PAXOUT</b>	Int	16	<b>67</b>	Numero di passeggeri usciti alla fermata corrente
<b>PAXONBOARD</b>	Int	16	<b>69</b>	Passeggeri a bordo dopo la chiusura delle porte
<b>SENSORTYPE</b>	Byte	8	<b>71</b>	Tecnologia utilizzata per il conteggio
<b>SENSORID</b>	Byte	8	<b>72</b>	ID del sensore
<b>NUM</b>	Byte	8	<b>73</b>	Numero di sensori in servizio
<b>VALUE</b>	Float	16	<b>74</b>	Parametro misurato dal sensore
<b>APPSTATUS</b>	unsigned char	8	<b>76</b>	Stato diagnostico/codice errore
<b>SENSORSTATUS</b>	Char(2)	16	<b>77</b>	Sensori funzionanti (bitmask)
			<b>79</b>	

Tabella 4-19: Struttura dati protocollo INFO\_PAX.



## 5 Conclusioni

Nei capitoli precedenti sono state esposte le analisi relative al conteggio passeggeri attraverso due diverse tecnologie, la computer vision e i trasduttori di pressione, nonché i risultati ottenuti. Con le attuali tecnologie presenti a bordo non è stato possibile effettuare un conteggio dei passeggeri in real-time, in quanto la video analisi necessita di grosse capacità di calcolo, di conseguenza tutti i dati sono stati raccolti ed elaborati a posteriori.

La computer vision, come già detto in precedenza, è stata applicata in via sperimentale ai video provenienti dalle telecamere di bordo, le quali non sono state installate per scopi di conteggio ma per puri scopi di sicurezza, dunque la loro posizione non risulta ottimale e l'accuratezza ottenuta è dell'ordine del 50%. L'errore molto elevato dipende dalle interferenze presenti sulla scena, date dal passaggio di persone e veicoli oltre i vetri di porte e finestre, dalla variazione delle condizioni di illuminazione, dal movimento delle porte e dalla struttura stessa dell'autobus con le aste di sostegno verticali e le maniglie. Inoltre, molto spesso nel caso di veicolo con carico elevato i passeggeri stessi si coprono a vicenda, impedendo così la corretta individuazione delle figure da parte del software.

Una soluzione plausibile per evitare i disturbi nelle immagini e che garantirebbe accuratezze sicuramente migliori sarebbe spostare le telecamere più vicino alle porte per contare i passeggeri saliti e discesi, tuttavia con questa operazione non si garantirebbe più la totale copertura visiva del veicolo e cadrebbe l'ipotesi di partenza di riutilizzare una tecnologia già a bordo per altri scopi.

Di conseguenza, come ci si aspettava inizialmente, la video analisi da sola non risulta essere uno strumento valido per un conteggio passeggeri affidabile, ma piuttosto potrebbe costituire un ausilio al conteggio da pressione in determinati casi.

Con i trasduttori di pressione è possibile ricavare un modello, tale per cui ci sia una stretta correlazione tra l'andamento della pressione dell'aria e quello del numero di passeggeri a bordo. Tuttavia, il peso medio di un passeggero varia in genere a seconda della stagione; inoltre possono essere presenti passeggeri il cui peso si discosta in maniera eccessiva da quello medio (ad esempio persone disabili in sedia a rotelle o bambini) e questo fattore potrebbe causare oscillazioni significative del numero di passeggeri a bordo stimato rispetto a quello effettivo.

Secondo le analisi svolte, il valore mediano è più appropriato della media aritmetica per esprimere un valore sintetico della distribuzione degli errori, in quanto la distribuzione è molto asimmetrica. Nel caso dei passeggeri stimati con le misure di pressione la mediana degli errori assume valori prossimi al 17%, a cui corrisponde un'accuratezza del 83%.

Accoppiare le due tecnologie con il metodo della combinazione tra la stima ottenuta dalla video analisi e la stima ottenuta dalla pressione porta un miglioramento nell'accuratezza del 1-2%.

Nel caso si volesse applicare il sistema combinato per un conteggio dei passeggeri real-time si presentano due alternative. La prima consiste nel realizzare la video analisi da remoto, inviando i video all'esterno del veicolo, con necessità di banda elevata per il trasferimento dei file, superiore a quella garantita attualmente dalla rete cellulare in upload, e relativo innalzamento dei costi nel caso la tecnologia lo permettesse. In alternativa si potrebbe installare a bordo un computer di tipo automotive, molto più prestante di un Raspberry, al quale sono connessi costi non indifferenti. Queste soluzioni però non rappresentano una valida alternativa, in termini di rapporto costo/beneficio, all'acquisto di un sistema pensato appositamente per il conteggio passeggeri, dotato di accuratezze dichiarate dell'ordine del 90%.

Inoltre, la computer vision verrebbe applicata per rilevare fino a 5 passeggeri, dunque i benefici sarebbero irrilevanti per l'azienda soprattutto se comparati ai costi.

Tuttavia, se si considera il sistema basato sui trasduttori di pressione, gli errori più grossolani si hanno in corrispondenza di pochi passeggeri, in quanto la differenza tra il numero stimato e il numero reale ha un peso molto maggiore. Se si utilizza tale sistema per stimare l'ordine di grandezza del numero complessivo di passeggeri trasportati, il numero di questi che non viene correttamente contato è trascurabile rispetto al totale cumulato nel tempo, pertanto il sistema basato sui trasduttori di pressione costituisce per l'azienda un metodo efficiente e replicabile soprattutto su quei veicoli che non necessitano di sensori e già contengono le informazioni di pressione sulla rete CAN.

In conclusione, si può affermare che la presenza di un conta-passeggeri può essere utile negli ambiti in cui l'ingegneria Civile interviene, infatti consente di confrontare il numero di passeggeri a bordo con le validazioni, al fine di minimizzare l'evasione e permette di monitorare la domanda di trasporto in maniera automatica, evitando conteggi manuali a campione, in modo da poter pianificare e ottimizzare le risorse delle aziende di trasporto pubblico in maniera efficiente.

**Ringraziamenti professionali**

Innanzitutto, vorrei ringraziare Alberto Gallizia per avermi aiutato con gli acquisti e per la realizzazione di uno degli script adoperati nell'analisi dei dati.

Ringrazio Simone De Titta e Gianluca Gera della TechnoAware per il software utilizzato durante la video analisi, Michela Franz e Luca Boasso della Metatronix per il dispositivo di conversione da rete CAN a LAN.

Vorrei ringraziare l'azienda GTT per avermi concesso di svolgere questo progetto con persone competenti e disponibili. Nello specifico, l'ufficio Ingegneria della Manutenzione/Prodotto Bus e l'officina del comprensorio Tortona per aver permesso l'installazione dei componenti e avermi ospitato durante la raccolta dei dati, con particolare menzione all'Ing. Pietro Urso per aver seguito con me la scelta e l'installazione dei sensori.

Ringrazio i membri dell'ufficio Sistemi e Progetti Telematici Mauro, Paolo, Vincenzo e Luca per la loro completa disponibilità; ringrazio Gianni e i componenti del laboratorio SPT, esprimo la mia più grande gratitudine a Enzo per la pazienza e la professionalità che ha avuto nel montare i componenti in laboratorio, e il suo collega Tony per aver contribuito con lui all'installazione sul veicolo.

Infine, vorrei dire un Grazie al mio Tutor aziendale, l'Ing. Alberto Forchino, per avermi fatto studiare il modello ISO OSI, per le ramanzine e per i momenti di scherzo di questi 11 mesi, rendendo la realizzazione di questa tesi un'esperienza di arricchimento professionale e personale.



---

**Riferimenti**

Genova | *Il Secolo XIX*. s.d. [http://www.ilsecoloxix.it/p/genova/2013/01/29/APwXV4bE-biglietti\\_rincari\\_sui.shtml](http://www.ilsecoloxix.it/p/genova/2013/01/29/APwXV4bE-biglietti_rincari_sui.shtml).

5T. «LINEE GUIDA RETE VEICOLARE DI BORDO E PROTOCOLLO SCAMBIO DATI FLOTTE GTT ED EXTRATO.» 2012.

ACEA Working Group HDEI/BCEI. «FMS-Standard description Version 03.» 2012.

Asstra, Hermes, Anav e Isfort. *Una leva per la ripresa, 10° rapporto sulla mobilità in Italia*. Bologna, 2013.

B. F. Nielsen, L. Frolich, O.A. Nielsen, D. Filges. «Estimating passenger numbers in trains using existing weighing capabilities.» *Transportmetrica A: Transport Science*, 2014.

Bernini, Bombini, Buzzoni, Cerri, Grisleri. «An Embedded System for Counting Passengers in Public Transportation Vehicles.» Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, University of Parma, 2014.

CAN. s.d. <http://www.webalice.it/mlando/ferrari/can.htm> (consultato il giorno Maggio 03, 2018).

CANbus. s.d. [https://en.wikipedia.org/wiki/CAN\\_bus](https://en.wikipedia.org/wiki/CAN_bus) (consultato il giorno Maggio 03, 2018).

Casagrande, Alice. *Le metodologie per la rilevazione dell'utenza del trasporto pubblico locale*. 2015.

Certificazione di servizio secondo UNI EN 13816. s.d. <https://www.ancis.it/Certificazione/Servizi/TrasportoPubblico> (consultato il giorno Giugno 04, 2018).

Commissione Europea. *ec.europa.eu*. Settembre 2010. [https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/its/road/doc/2010\\_09\\_15\\_its\\_directive\\_2010-40-eu-standard.pdf](https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/its/road/doc/2010_09_15_its_directive_2010-40-eu-standard.pdf) (consultato il giorno Aprile 2018).

«D.lgs 422/97.» *Gazzetta Ufficiale*, Novembre 1997.

*Decreto Interministeriale n.345*. (28 Ottobre 2016).

*Definizione dei criteri e delle modalita' con cui ripartire il Fondo nazionale per il concorso dello Stato agli oneri del trasporto pubblico locale, anche ferroviario, nelle regioni a statuto ordinario.* (11 Marzo 2013).

Digigroup. *metatronix*. s.d. <http://www.metatronix.it/img/product/FMS2IP.png> (consultato il giorno Maggio 18, 2018).

Eurotech. *Dispositivi di conteggio persone e passeggeri*. s.d. <https://www.eurotech.com/it/prodotti/dispositivi+mobili/conteggio+passeggeri+persone> (consultato il giorno Maggio 07, 2018).

—. *DynaPCN 10-20*. s.d. <https://www.eurotech.com/it/prodotti/DynaPCN%2010-20> (consultato il giorno Maggio 07, 2018).

*Ferpress*. s.d. [https://www.ferpress.it/wp-content/uploads/2017/09/Certificazione-UNI-EN-13816\\_ATB-Settimana-della-Mobilit%C3%A0-2017.pdf](https://www.ferpress.it/wp-content/uploads/2017/09/Certificazione-UNI-EN-13816_ATB-Settimana-della-Mobilit%C3%A0-2017.pdf) (consultato il giorno Giugno 04, 2018).

*Fleet Management System Standard (FMS Standard)*. 19 Dicembre 2013. <http://fmgateway.com/glossary/fleet-management-system-standard-fms-standard> (consultato il giorno Maggio 25, 2018).

*Gazzetta Ufficiale*. (1 gennaio 2004).

GTT S.p.A. «Bilancio d'esercizio al 31 dicembre 2016.» 2016.

Isfort – Istituto Superiore di Formazione e Ricerca per i Trasporti. *IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE LA RICERCA DELL'EFFICIENZA ATTRAVERSO LE RIFORME*. 2014.

Martino, Veronica. «Effetti della validazione obbligatoria sulla velocità commerciale degli autobus: caso studio sulla Linea 18 della Città di Torino.» Tesi di Laurea Magistrale, 2017.

*Milano Today*. s.d. <http://www.milanotoday.it/cronaca/metro-gratis-20-aprile-2012.html>.

*Modena Today*. s.d. <http://www.modenatoday.it/cronaca/mi-muovo-multibus-biglietto-integrato-emilia-romagna.html>.

N. V. Rajeesh Kumar, G. DhanaSekar, M. Dennis. «Application Of Face Detection System For Passenger Counting In Lifts Using Haar Features.» Department of Computer Science Engineering, Sathyabama University, Tamil Nadu, India, 2016.

- P. Lengvenis, R. Simutis, V. Vaitkus, R. Maskeliunas. «Application of Computer Vision Systems for Passenger Counting in Public Transport.» Department of Process Control, Kaunas University of Technology, 2013.
- Parlamento europeo e Consiglio dell'Unione europea. «Direttiva 2010/40/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 7 luglio 2010, sul quadro generale per la diffusione dei sistemi di trasporto intelligenti nel settore del trasporto stradale e nelle interfacce con altri modi di trasporto.» *Gazzetta ufficiale dell'Unione Europea*, 7 Luglio 2010: 1-14.
- Parlamento Europeo e Consiglio. «REGOLAMENTO (CE) N. 1370/2007 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 23 ottobre 2007 relativo ai servizi pubblici di trasporto di passeggeri su strada e per ferdel Consiglio (CEE) n. 1191/69 e (CEE) n. 1107/70.» *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea*, 2007.
- Pinna - Dalla Chiara - Deflorio. «Rilievo automatico dei passeggeri e del carico dei veicoli.» *Ingegneria ferroviaria*, 2010.
- Piotr Burnos, Dawid Rys. «The Effect of Flexible Pavement Mechanics on the Accuracy of Axle Load Sensors in VehicleWeigh-in-Motion Systems.» *Sensors*, 2017.
- Saurav R. Tuladhar, Peter Khomchuk, and Siva Sivananthan. «Estimating Passenger Loading on Train Cars Using Accelerometer.» 02 Agosto 2018.
- SELSAT. *CONTAPASSEGGERI*. s.d. <http://www.selectadigitalservice.it/ita/dettaglio-prodotti.php?id=19> (consultato il giorno Maggio 07, 2018).
- Sensore infrarosso passivo PIR*. s.d. [http://www.adrirobot.it/sensori/pir\\_sensor/pir\\_sensor.htm](http://www.adrirobot.it/sensori/pir_sensor/pir_sensor.htm) (consultato il giorno Maggio 02, 2018).
- Toccaceli, Claudia. «La qualità del servizio di trasporto pubblico locale: il modello di gestione adottato dall'azienda torinese GTT.» Tesi di Laurea Magistrale, 2018.
- Tourist Buddy Amsterdam*. s.d. <http://www.touristbuddy.nl/travel-tickets-amsterdam.php>.
- Trafrag AG. «Operating Instructions (Software)- 8270/8826 CANopen Miniature Pressure-Transmitter CMP Version 2.0.» Manuale, 2012.
- TTS Italia. «Il Mercato dei Sistemi Intelligenti di Trasporto in Italia: quadro attuale e prospettive.» *TTSitalia*. Luglio 2016. [http://www.ttsitalia.it/file/Pubblicazioni%20TTS/Documento%20mercato%20ITS\\_Final\\_Def.pdf](http://www.ttsitalia.it/file/Pubblicazioni%20TTS/Documento%20mercato%20ITS_Final_Def.pdf).

WABCO. *ECAS for buses*. WABCO Europe BVBA, 2017, 4.

Wikipedia. *Fotocamera stereoscopica*. 2016.  
[https://it.wikipedia.org/wiki/Fotocamera\\_stereoscopica](https://it.wikipedia.org/wiki/Fotocamera_stereoscopica) (consultato il giorno Maggio 07, 2018).

—. *Rete neurale artificiale*. 22 Luglio 2018 .  
[https://it.wikipedia.org/wiki/Rete\\_neurale\\_artificiale](https://it.wikipedia.org/wiki/Rete_neurale_artificiale) (consultato il giorno Agosto 24, 2018).