

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

Tesi di Laurea Magistrale

Sviluppo e sperimentazione di un sistema automatico
di conteggio passeggeri su autobus in esercizio



Relatore:

Prof. Ing. Bruno Dalla Chiara

Correlatori esterni (GTT):

Ing. Marco Zanini

Ing. Pietro Urso

Candidato:

Ciro Maria Granatiero

Dicembre 2020

*A mio nonno,
che oggi sarebbe la persona più felice del mondo.*

*Ai miei genitori,
che hanno reso tutto possibile.*

Indice

Sommario	1
Glossario.....	3
Introduzione ed obiettivi	4
1. Il trasporto pubblico locale.....	7
1.1. Genesi ed evoluzione del TPL in Italia.....	7
1.2. Criterio di valutazione della qualità - Normativa Europea.....	12
1.3. Normativa italiana per sistemi APC nel TPL.....	14
2. ITS – Intelligent transport system	18
2.1. Diffusione in Europa degli ITS	18
2.2. Sistemi APC – Stato dell’arte	24
2.2.1. Sistemi APC dipendenti dal titolo di viaggio.....	28
2.2.2. Sistemi APC indipendenti dal titolo di viaggio	31
2.2.2.1. Controllo di tipo diretto	32
2.2.2.1.1. Sensori infrarossi attivi	32
2.2.2.1.2. Sensori infrarossi passivi.....	34
2.2.2.1.3. Sensori infrarossi attivi e passivi	35
2.2.2.1.4. Telecamere stereoscopiche	36
2.2.2.1.5. Telecamere a circuito chiuso	37
2.2.2.2. Controllo di tipo indiretto	39
2.2.2.2.1. Sistemi a pedana - Treadle mat.....	39
2.2.2.2.2. Sistemi Weight In Motion (WIM)	42
3. Gruppo Torinese Trasporti S.p.A.	46
3.1. Cenni storici sul trasporto pubblico torinese.....	46
3.2. Controlli e partecipazioni aziendali	49
3.3. Agenzia della Mobilità Piemontese.....	50
3.4. Tecnologie ITS utilizzate dal Gruppo Trasporti Torinese.....	53
3.4.1. Switch di bordo.....	55
3.4.2. Sistema AVM	57
3.4.2.1. Protocollo di comunicazione INFO_NET	58
3.4.2.2. Protocollo di comunicazione INFO_NET_2	61
3.4.3. Sistema BIP – Biglietto Integrato Piemonte	62
3.4.3.1. Protocollo di comunicazione INFO_BIP	65
3.4.3.2. Protocollo di comunicazione INFO_BIP2.....	66

4.	Strumentazione utilizzata	68
4.1.	Veicolo utilizzato e linee effettuate	68
4.2.	Tecnologie presenti sull'autobus	72
4.2.1.	Sistema CANbus.....	72
4.2.2.	Circuito delle sospensioni pneumatiche ECAS.....	74
4.3.	Tecnologie implementate	77
4.3.1.	Descrizione dei trasduttori di pressione.....	77
4.3.2.	Convertitore dei dati CAN/IP.....	83
4.3.3.	La memorizzazione dei dati – Raspberry Pi.....	86
4.3.4.	Installazione del sistema sul mezzo	88
5.	Raccolta dati.....	92
5.1.	Conteggio manuale	92
5.2.	Elaborazione dei dati CAN e AVM.....	94
5.3.	Unione dei dati provenienti dai due differenti sistemi	97
6.	Analisi dati rilevati.....	101
6.1.	Cenni di statistica	101
6.1.1.	Regressione lineare	101
6.1.2.	Distribuzione Gaussiana degli errori.....	104
6.2.	Valutazione dei dati acquisiti	106
6.2.1.	Individuazione del miglior intervallo di tempo di acquisizione dei dati.....	106
6.2.2.	Confronto tra passeggeri teorici e passeggeri valutati con conteggio manuale	123
6.2.3.	Valutazione delle differenze.....	129
6.2.4.	Stima dei parametri di regressione complessivi per applicazioni future.....	131
6.2.5.	Influenza delle variabili analizzate sui parametri di regressione	134
6.2.6.	Taratura del mezzo con il primo valore di pressione giornaliero fornito dai trasduttori.....	138
6.2.7.	Coefficienti di regressione da applicare per valutazioni future.....	140
6.3.	Accuratezza del sistema	144
6.4.	Future implementazioni.....	148
7.	Conclusioni	151
	Ringraziamenti professionali.....	154
	Allegati	155
	Bibliografia.....	156
	Sitografia.....	159

Sommario

A partire dagli anni '90, l'introduzione degli ITS (Intelligent Transport Systems) ha radicalmente cambiato il modo di viaggiare, andando a migliorare il trasporto, pubblico e privato, nei suoi aspetti più disparati, come la qualità del servizio offerto o i tempi di percorrenza di un arco infrastrutturale.

In particolare, i sistemi APC (Automatic Passengers Counting) rappresentano una categoria di sistemi ITS particolarmente interessante per le aziende di trasporto pubblico locale al fine di monitorare i flussi presenti sulla propria flotta ed ottimizzare il servizio offerto, programmando le linee a seconda del coefficiente di occupazione dei vari mezzi in esercizio ed eventualmente intervenendo in tempo reale in caso di necessità conoscendo i passeggeri a bordo dei mezzi interessati dal provvedimento.

Partendo da uno studio di tesi condotto nel 2018 dall'ing. Rossella Trancuccio, in cui si ponevano le basi per lo sviluppo di un innovativo sistema di conteggio basato sul rilievo del carico sulle sospensioni pneumatiche degli autobus nonché sull'elaborazione di immagini video e venivano confrontati i dati di una settimana derivanti dalle due differenti tecnologie di conteggio automatico dei passeggeri, in questo elaborato si è proposto di sperimentare il sistema che presentava la minore percentuale di errore: quello che si avvale dei trasduttori di pressione installati sulle sospensioni pneumatiche del mezzo. In seguito, si è valutata l'efficienza del sistema a seconda di alcune variabili che si verificano durante il singolo giorno, come l'alternarsi di fattori di riempimento molto alti in particolari fasce di orario durante l'intero anno, la variazione della tipologia di utenza, il comportamento dei trasduttori a seconda delle differenze di temperatura che si hanno tra la stagione estiva ed autunnale, oppure ancora al variare dell'istante di rilevamento dei dati.

Allo scopo di valutare il comportamento e l'influenza dei fattori, sono stati effettuati conteggi manuali, considerati privi di errori, attraverso i quali è stato possibile definire un modello che restituisca il numero delle persone presenti sul mezzo al variare dei dati di pressione ricevuti dai trasduttori.

Sommario

L'elaborato di tesi è svolto in collaborazione con l'azienda di trasporto pubblico torinese, il Gruppo Torinese Trasporti (GTT) S.p.A., che ha fornito il mezzo sul quale sono stati installati i trasduttori di pressione utilizzati e rientranti nel sistema pensato ed acquistato nelle sue componenti oltre descritte dal Politecnico di Torino in sinergia con GTT, collegati agli altri apparati di bordo mediante un dispositivo installato sul mezzo che permette di far connettere il sistema alla rete LAN.

Glossario

APC – Automatic passenger counting

AMP – Agenzia della Mobilità Piemontese

AVM - Advanced Vehicle Monitoring

BIP – Biglietto Integrato Piemonte

CAN – Controller Area Network

FNT – Fondo Nazionale Trasporti

GTT – Gruppo Torinese Trasporti

ITS – Intelligent transport systems

PDO – Process Data Objects

PPT – Public passengers transport

SIS – Sistema Informativo dei Servizi

TPL – Trasporto pubblico locale

WIM – Weight In Motion

Introduzione ed obiettivi

Definire la qualità di un sistema di trasporto pubblico può dipendere da vari fattori. Si può andare a valutare il comfort e la sicurezza all'interno del veicolo, il tempo necessario per effettuare i vari percorsi, l'accessibilità delle fermate, la vicinanza di esse rispetto ad attrazioni pubbliche, il collegamento tra i percorsi, in modo tale da soddisfare quanto più possibile le esigenze degli utilizzatori.

Gli utenti, in varie indagini riguardanti la qualità del trasporto pubblico, hanno mostrato particolare apprezzamento verso un sistema con minore tempo di attesa, tempo di viaggio, comfort e livello di occupazione.

Le aziende di trasporto pubblico e le normative europee sono molto attente a valutare ciò che influenza la velocità operativa, i tempi di attesa alla fermata, l'affidabilità nel tempo di viaggio, il benessere dei passeggeri, la scelta del percorso ed i livelli ottimali di frequenza e di dimensione del veicolo. In particolare, si presta attenzione sulla densità dei passeggeri alle fermate o a bordo mezzo. Le stesse normative stanno evolvendo verso nuove tecnologie riguardanti il conteggio passeggeri proponendo di utilizzare, per la contribuzione pubblica, parametri inerenti al fattore di carico.

La conoscenza dei livelli occupazionali di un mezzo di trasporto o di una linea offre, dunque, vantaggi sia per le aziende erogatrici del servizio, sia per gli enti che regolano il finanziamento poiché, le prime, necessitano di dati di domanda per ottimizzare e migliorare il servizio offerto, mentre le amministrazioni a seconda del coefficiente di occupazionale riescono a ripartite in maniera più efficace le risorse destinate al trasporto pubblico locale.

L'azienda di trasporto Gruppo Torinese Trasporti (GTT) S.p.a. negli ultimi anni ha introdotto varie campagne volte a valutare la domanda dei passeggeri a bordo mezzo, come la campagna BIP o l'introduzione di tornelli all'ingresso della porta anteriore del mezzo non producendo, però, gli effetti desiderati in quanto si è notato come l'utenza tenda a non bippare, oppure come tale operazione possa essere difficoltosa se il mezzo risulta avere valori occupazionali elevati. È di recente installazione un sistema di tornelli sugli autobus di

linea, posizionato all'ingresso della porta anteriore. Si è però notato come l'apertura delle altre porte per la discesa dei passeggeri permetta la salita degli stessi non solo dalla porta anteriore, ma anche dalle altre due, andando ad annullare l'effettivo vantaggio portato da tale sistema. Inoltre, date le disposizioni vigenti riguardo il trasporto pubblico per attenuare la diffusione del Covid-19, non avviene l'apertura della porta anteriore per impedire l'ingresso e la vicinanza dei passeggeri con l'autista, andando così a rendere inutilizzabile i tornelli.

L'azienda Gruppo Torinese Trasporti, nel rinnovamento del proprio materiale rotabile avvenuto negli anni 2017-2019, ha imposto la presenza di un sistema conta-passeggeri come vincolo al finanziamento per i nuovi autobus. Nel 2018, l'ing. Rossella Trancuccio ha svolto, sotto la supervisione del Prof. Ing. Bruno Dalla Chiara, una tesi in cui veniva, per la prima volta, introdotto su veicoli a gomma, come gli autobus, un sistema di conteggio automatico basato su trasduttori di pressione, ovvero sensori che, applicati alle sospensioni pneumatiche degli autobus, permettono di misurare la pressione dell'aria inviata a quest'ultime per stimare il carico a bordo mezzo. Nello studio effettuato, venivano confrontati i dati provenienti dalla prima settimana di utilizzo dei sensori con le elaborazioni delle immagini provenienti dalle telecamere di videosorveglianza presenti sul mezzo. Il confronto tra i due sistemi ha permesso di definire come il sistema basato sui trasduttori di pressione installati sulle sospensioni pneumatiche sia affidabile anche su mezzi a gomma, presentando una percentuale di errore minore rispetto al sistema basato sulla computer vision.

In letteratura si è notato come fra le varie tipologie di conteggio automatico dei passeggeri a bordo mezzo, solo in uno studio condotto nel 2014 effettuato in campo ferroviario nella capitale danese Copenhagen da B.F. Nielsen, L. Frolich, O.A. Nielsen e D. Filges, si è valutato come sia possibile ottenere una stima del numero dei passeggeri presenti sul mezzo a partire dal peso rilevato dai sensori applicati sulle sospensioni pneumatiche del mezzo.

Partendo da questa analisi, si è pensato dunque di andare a sperimentare il metodo su un arco temporale maggiore, per valutare una serie di parametri che potrebbero influenzare il sistema al fine di ottenere una percentuale di errore il più possibile minore, tenendo presente che un sistema basato sul peso presenta una serie di incertezze maggiori, dato la variabilità dello stesso fra i vari passeggeri che utilizzano il trasporto pubblico.

Oltre a calibrare un modello utilizzabile dall'azienda di trasporto pubblico sia in tempo reale per valutare il numero dei passeggeri presenti sul mezzo, sia a cadenze mensili o stagionali per condurre delle analisi precisi sui flussi di passeggeri che utilizzano la linea, lo studio condotto, alla luce della pandemia globale in atto, che ha portato a diverse limitazioni a bordo dei mezzi pubblici al fine di ridurre quanto più possibile gli assembramenti che si possono verificare soprattutto in alcune ore di picco, risulta utile anche per fornire indicazioni sulla percentuale di occupazione del mezzo ai passeggeri che attendono sulla banchina prima che essi salgano sul mezzo mediante indicazioni alla fermata, oppure tramite app o sito internet.

1. Il trasporto pubblico locale

La definizione di Trasporto Pubblico Locale è possibile trovarla nell'articolo 1 della legge quadro n°151 del 1981, la quale indica come trasporto pubblico locale 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”*.

Sulla base di tale definizione è possibile andare a descrivere tutte le evoluzioni che nel corso del tempo hanno portato all'attuale organizzazione di un sistema, che da oltre un secolo, svolge un servizio pubblico e che in particolar modo a seguito dell'urbanizzazione sempre crescente nelle varie città, ricopre un ruolo fondamentale per tutti quei problemi, come congestione delle reti viarie o inquinamento atmosferico, presenti nelle aree urbane.

1.1. Genesi ed evoluzione del TPL in Italia

Prima del 1972, se non in alcune città più industrializzate del Nord Italia, non si aveva un significativo utilizzo dei mezzi pubblici, portando lo Stato Italiano a considerare il trasporto pubblico esattamente come gli altri servizi pubblici, senza una normativa che regolamentasse le disposizioni per tale settore.

Il 14 Gennaio 1972, il decreto presidenziale n°5, diede vita per la prima volta ad un trasferimento delle funzioni amministrative riguardanti le tramvie e le linee automobilistiche di interesse regionale dallo Stato alle Regioni a Statuto Ordinario.

Successivamente, il D.P.R. n°616 del 24 Luglio 1977, attribuì alle Regioni non solo il ruolo amministrativo ma anche quello di pianificazione poiché si stava assistendo alla morte del trasporto pubblico con diminuzione di domanda dovuta a condizioni generali scadenti. Il deficit di gestione via via crescente portò a forte indebitamento delle aziende pubbliche, risanato con conseguente incremento del debito pubblico.

La profonda crisi degli anni '70 ha portato al collasso del sistema creando profondi deficit nei bilanci aziendali. L'introduzione di normative organiche volte a migliorare e modificare il servizio sono state il primo passo per una regionalizzazione del TPL. La legge quadro n°151 del 1981 per l'ordinamento, la ristrutturazione ed il potenziamento dei trasporti

pubblici locali portò all'istituzione del Fondo Nazionale Trasporti per il ripiano dei disavanzi di esercizio e per gli investimenti nel settore. Di seguito a tale legge, infatti, le regioni hanno potuto esercitare direttamente il servizio, creando delle società pubbliche, oppure cedendolo ad aziende private.

La principale novità di tale legge, oltre alla regionalizzazione del servizio, è l'introduzione del costo economico standardizzato. Tale costo definisce, da parte di ciascuna regione, dei livelli di finanziamento alle imprese sulla base di principi di gestione aziendale produttivi e di fattori differenti per ciascuna realtà come la velocità media di esercizio o la densità dell'utenza per chilometro, discostandosi dal costo storico al fine di incentivare le imprese a migliorare il servizio sulla base della produttività ed efficienza.

La non definizione di un costo standard, con conseguente libertà di definizione dello stesso da parte delle regioni, si è mostrato presto il tallone d'Achille di tale legge, portando a forti disparità tra le varie regioni dovute alla mancanza di una metodologia unica e di criteri standard per tutto il territorio nazionale. Infatti, vi sono state regioni che hanno adottato metodi in linea con le normative precedenti, ovvero basandosi su un costo storico, altre regioni, invece, hanno valutato il costo standard in funzione delle risorse disponibili, mentre solo poche hanno realmente individuato un costo standard e poi attuato meccanismi volti a promuovere e migliorare la gestione delle imprese.

La legge quadro mostrava molteplici lacune in merito alla limitazione di un trade on - trade off tra ente regolatore e ente proprietario del servizio portando le stesse imprese ad assumere un ruolo di programmatore dei servizi non basandosi sulle reali esigenze degli utenti, bensì sulle opportunità per le stesse. Inoltre, con tale norma vi è una mancanza di un organo pubblico per il controllo della qualità e dell'efficienza del servizio offerto dalle aziende.

Vi è, però, l'introduzione del Fondo Nazionale Trasporti, differenziandolo in una parte dedicata al pareggio dei debiti di esercizio ed un'altra agli investimenti. L'erogazione e distribuzione di tale fondo era compito del Ministero dei Trasporti, che lo assegnava sulla base dei servizi effettuati, delle caratteristiche del territorio nel quale i servizi vengono

offerti e le condizioni di bilancio delle aziende stesse. Inoltre, il fondo, prevedeva la distribuzione del 10% di esso alle aziende al fine di incentivare quelle con maggiore margine di miglioramento del proprio indice gestionale. L'assegnazione di tale 10%, è stato oggetto di controversie, poiché ha portato gran parte delle aziende fornitrici del servizio all'essere contrarie, in quanto andava a premiare le aziende meno efficienti, portando alla rivalutazione della ripartizione di tale percentuale sulla base della spesa storica rilevata nel 1983.

Tale riforma, come dichiarato anche dalla Corte dei Conti, ha garantito alle aziende erogatrici del TPL il pareggio dei disavanzi di bilancio, mediante interventi straordinari dello Stato, portando inequivocabilmente ad un incremento del debito pubblico.

Si arriva al 1997, anno di emanazione del D.Lgs. n°422, il cosiddetto "decreto legge Burlando" che ha posto fine agli interventi statali che appianavano i debiti delle aziende. Inoltre, il DL ha decentrato funzioni e compiti in materia di trasporto pubblico regionale e locale e la conseguente liberalizzazione del settore mediante l'affidamento del TPL con procedure concorsuali per la scelta del gestore a società per azioni o cooperative a responsabilità limitata. Tale affidamento avviene mediante l'introduzione di contratti di servizio, in modo tale da disciplinare i rapporti tra Ente pubblico e Società affidataria del servizio. Tali contratti stipulano, prima del loro periodo di validità, la completa corrispondenza tra oneri per servizi e risorse disponibili, al netto dei proventi derivanti dall'acquisto di biglietti o abbonamenti da parte dell'utenza.

La programmazione dei servizi compete, dunque, alle Regioni che, come stabilito dall'articolo 14, ai comma 2 e 3:

- Definiscono gli indirizzi per la pianificazione dei trasporti locali ed in particolare per i piani di bacino;
- 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, 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;

- Approvano il programma triennale dei servizi di trasporto pubblico locale attraverso cui attuare il piano regionale;
- Definiscono, insieme agli enti locali e nel rispetto dei criteri di omogeneità tra regioni, quantità e standard di qualità dei servizi di TPL.

Le Regioni stabiliscono, inoltre, la ripartizione delle competenze in materia di trasporto pubblico locale, delegando agli enti locali tutte le funzioni e i compiti che non richiedono l'unitario esercizio regionale.

In particolare, dunque, con tale decreto, vi è l'obbligo di trasformazione, entro il 2000 delle aziende pubbliche definite speciali, o dei consorzi, in società per azioni o cooperative a responsabilità limitata. Vi è adesso una netta differenza tra ente regolatore (Regione) e società responsabile della gestione (S.p.a. o cooperative). Tale differenza è sancita e normata, come detto precedentemente, con il contratto di servizio. Mediante tale contratto si assiste all'introduzione, da parte del legislatore, di una regolamentazione riguardo alla copertura finanziaria, ponendo fine alla copertura indiscriminata dei bilanci come avveniva precedentemente. Dal 1° Gennaio 2000, infatti, al netto dei costi dell'infrastruttura, il rapporto tra ricavi da traffico e costi operativi deve essere almeno pari a 0.35. Il grado di copertura medio dei costi operativi nel corso degli anni è arrivato al massimo al 33.3% nel 2017, dunque tale obiettivo non è raggiunto a livello nazionale, però, come evidenziato da varie relazioni, come quella presentata da Campanini et al., 2019 per l'Associazione Trasporti (AssTra) è soddisfatto solamente nelle aree geografiche del nord Italia, ma con grande disomogeneità per quanto riguarda il resto della penisola, arrivando a valori anche inferiori al 20 (vedi tabella 1). Un'ulteriore tabella mostra l'efficienza in funzione della grandezza dell'impresa, mostrando come l'efficienza sia direttamente proporzionale alla grandezza dell'ente erogatore del servizio (vedi tabella 2).

Il trasporto pubblico locale

Tabella 1. Rapporto ricavi da traffico/costi operativi in funzione delle aree geografiche (AssTra 2019)

		Italia	Nord- Est	Nord- Ovest	Centro	Sud e Isole
Rapporto ricavi da traffico/costi operativi	2012	29,5%	35,9%	34,7%	26,1%	18,5%
	2015	31,4%	38,2%	37,4%	27,1%	20,3%
	2016	31,6%	39,8%	37,7%	27,2%	19,9%
	2017	33,3%	43,1%	38,3%	28,6%	22,1%
	var.% (2012-2017)	13,0%	20,2%	10,2%	9,7%	19,6%
	var.% media annua	2,1%	3,1%	1,6%	1,6%	3,0%

Fonte: Elaborazioni ASSTRA su dati da siti aziendali

Tabella 2. Rapporto ricavi da traffico/costi operativi in funzione della dimensione delle aziende (AssTra 2019)

		Totale complessivo	grandi imprese	medie imprese	piccole imprese
Rapporto ricavi da traffico/costi operativi	2012	29,5%	29,8%	27,5%	n.d.
	2015	31,4%	31,6%	29,6%	23,9%
	2016	31,6%	31,9%	30,1%	23,7%
	2017	33,3%	33,5%	32,2%	25,0%
	var.% (2012-2017)	13,0%	12,5%	17,0%	
	var.% media annua	2,1%	2,0%	2,7%	

Fonte: Elaborazioni ASSTRA su dati da siti aziendali

Nel 2017, l'ammontare del trasferimento pubblico, ossia la copertura da parte dello Stato, della parte rimanente si aggirava intorno alla cifra di 11 miliardi di euro (Osservatorio TPL, 2016) contro gli 8 miliardi di euro stanziati nel 2016.

Con l'art. 37 del Decreto Legge 6 dicembre 2011, n°201 viene istituita l'Autorità di Regolazione dei Trasporti con funzioni di regolazione e controllo per i servizi di trasporto pubblico regionale e locale. I compiti sono:

- Garantire l'efficienza produttiva delle gestioni, il contenimento dei costi e le condizioni di accesso eque e non discriminatorie alle infrastrutture;
- Definire, se necessario, i criteri per fissare le tariffe verificandone la corretta applicazione;
- Stabilire le condizioni minime di qualità dei servizi di trasporto connotati da oneri di servizio pubblico, individuate secondo caratteristiche territoriali di domanda e offerta;
- Definire il contenuto minimo degli specifici diritti degli utenti;

- Delineare gli schemi dei bandi delle gare per l'assegnazione dei servizi di trasporto in esclusiva e delle convenzioni, da inserire nei capitolati delle medesime gare.

Infine, le norme contenute nell'art. 48 del Decreto Legge 24 aprile 2017, n°50, ribadiscono l'obbligo per le Regioni di determinare i bacini di mobilità del trasporto pubblico regionale e locale e i relativi enti di governo. Tali bacini devono ricomprendere un'utenza minima di 350000 abitanti. Dimensioni inferiori sono ammissibili solo se il bacino coincide con il territorio di una provincia o di una città metropolitana.

1.2. Criterio di valutazione della qualità - Normativa Europea

La misura per valutare la qualità di un trasporto pubblico di passeggeri (PPT) è definita nella norma europea UNI EN 13816/2002. La norma si focalizza sul concetto di qualità al fine di definire e valutare un sistema di TPL, ponendola come requisito fondamentale anche nelle gare pubbliche per l'assegnazione di servizi PPT, dunque, l'azienda vincitrice del bando di gara è obbligata ad un monitoraggio della qualità andando a rispecchiare quelle che sono le aspettative e gli standard di comfort e qualità attesi dagli utilizzatori del servizio. Qualora, il servizio pubblico e la responsabilità per la prestazione offerta siano, come nel caso italiano, forniti non da un unico soggetto, ma da un organo regolatore e da un operatore che lo eroga, è consigliato che lo standard minimo da rispettare sia definito in fase concorsuale.

La norma è suddivisa in allegati:

- A, elenco completo dei criteri di qualità;
- B, glossario dei termini;
- C, elementi per la misurazione della prestazione.

La norma riporta una duplice visione della qualità, ovvero dal punto di vista dell'utente, il quale prima di usufruire di un servizio ha un'aspettativa di qualità (*qualità attesa*) e nel momento di utilizzo del servizio ne riscontra un'altra (*qualità percepita*) che potrà essere in linea, superiore o inferiore con quanto atteso. L'ente che fornisce il servizio, nella fase preliminare si pone come obiettivo quello di fornire all'utenza un livello qualitativo almeno

pari a quello prestabilito in fase di gara (*qualità progettata*) e durante la messa in funzione del servizio ne verifica la reale applicazione di quanto progettato (*qualità erogata*). Queste quattro definizioni sono poste ciclicamente in relazione con l'azienda portata a rispettare dei parametri normati, ma i cui standard provengono da analisi sulla qualità attesa da parte dell'utenza (customer satisfaction), l'azienda eroga un certo livello qualitativo, il quale è poi valutato dall'utente che ne percepisce il valore nel momento di utilizzo del sistema.

I criteri per cui la qualità è definita nell'allegato A sono otto:

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

La norma ha come scopo quello di andare a definire e dare una certificazione univoca della qualità affinché l'ente fornitore del PPT rispetti ed assicuri lo standard atteso dall'utenza. La stessa norma, infatti, fornisce vari metodi di misurazione che vanno dalle classiche indagini sulla soddisfazione del cliente (ISC) con domande poste direttamente a chi usufruisce del servizio, a criteri di misurazione diretta (MDM), fino ad arrivare a tecniche che tentano di rimanere il più possibile oggettive, come l'indagine del cliente misterioso (ICM).

Tra i criteri di definizione della qualità del servizio, quello che più si lega all'oggetto della tesi effettuata è il primo, ossia il criterio di disponibilità, suddiviso in due categorie:

1. Disponibilità della rete, valutata come:
 - Distanza tra due punti;
 - Necessità di collegamenti;

- Area coperta;
2. Operatività, a sua volta divisa in:
- Frequenza
 - Fattore di carico del veicolo.

È proprio quest'ultimo parametro quello che più si lega allo studio effettuato, perché legato al numero di passeggeri presenti sul sistema da valutare, dunque per andare a definire correttamente il livello di qualità offerto è necessario avere a disposizione un efficiente sistema APC.

1.3. Normativa italiana per sistemi APC nel TPL

Con il D.P.C.M. dell'11/03/2013 vengono illustrate le modalità ed i criteri con i quali ripartire il FNT e definire il contributo statale nei bilanci aziendali del trasporto pubblico. Viene posto come obiettivo quello di migliorare l'efficienza del trasporto pubblico, andando a sviluppare un modello migliore, in grado di soddisfare in maniera più efficiente la domanda, andando a ridurre i servizi offerti e non usufruiti, altresì migliorando la qualità dei servizi o incrementando la quantità dove vi è una domanda elevata, verificando ciò con il *load factor* (fattore di carico), definito su base regionale e ridefinito a cadenza triennale.

Il load factor rappresenta il coefficiente di occupazione dei mezzi, definito come:

$$C.O. (coefficiente di occupazione) = \frac{\text{pax trasportati al km}}{\text{posti offerti (disponibili) al km}}$$

Il denominatore di tale rapporto è facilmente valutabile, conoscendo la flotta a disposizione dell'azienda, e conoscendo dunque, mezzo per mezzo, la sua capacità. Il numero dei passeggeri trasportati, ossia la quantità al numeratore, non è un dato di cui si dispone con la stessa semplicità rispetto al precedente. Tale valore può essere valutato con una serie di sistemi APC, i quali saranno descritti successivamente, ed uno dei quali è oggetto di sperimentazione della tesi in esame.

Tornando al D.P.C.M., esso identifica nell'incremento del 2.5% dei passeggeri su base regionale l'obiettivo per il primo triennio. Fino ad allora il controllo del numero dei

Il trasporto pubblico locale

passengeri avveniva principalmente mediante valutazione e conteggio del numero dei titoli di viaggio venduti. Nonostante l'obiettivo di incremento del 2.5% sia su base triennale, vi è comunque una verifica annuale per ottenere un progressivo incremento del rapporto tra ricavi da traffico e costi operativi.

Vengono definiti dei livelli occupazionali appropriati, verificati mediante un incremento di tali livelli, o al più, un mantenimento degli stessi rispetto l'anno precedente.

Successivamente, si prevedono idonei strumenti di monitoraggio e verifica dei livelli di occupazione. Tali livelli, una volta verificati, devono essere trasmessi all'Osservatorio per il trasporto pubblico locale, alle Regioni ed al Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

Il 90% delle risorse del FNT è destinato alle Regioni mediante percentuali riportate in una tabella allegata al decreto, di seguito è riportata quella relativa al 2019, in cui si evince che per il Piemonte è destinata la quota del 9.83%.

Tabella 3. Ripartizione FNT per regione relativa all'anno 2019 (mit.gov.it)

REGIONI	Percentuali di Riparto	Risorse da erogare alle Regioni a titolo di anticipazione 2019	Importo decurtazione anno 2015 (F.do TPL 2016) 1 RATA	quota penalità 1 RATA redistribuita ANNO 2018	EROGATO
ABRUZZO	2,69	104.863.690,61	0,00	149.176,07	105.012.866,68
BASILICATA	1,55	60.423.316,15	563.705,36	85.956,47	59.945.567,26
CALABRIA	4,28	166.846.318,15	0,00	237.350,78	167.083.668,92
CAMPANIA	11,07	431.539.425,67	0,00	613.895,58	432.153.321,25
EMILIA ROMAGNA	7,38	287.692.950,45	0,00	409.263,72	288.102.214,17
LAZIO	11,67	454.929.096,44	4.244.155,87	647.169,05	451.332.109,63
LIGURIA	4,08	159.049.761,22	0,00	226.259,62	159.276.020,84
LOMBARDIA	17,36	676.741.140,89	0,00	962.712,49	677.703.853,38
MARCHE	2,17	84.592.642,61	0,00	120.339,06	84.712.981,67
MOLISE	0,71	27.677.777,08	0,00	39.373,61	27.717.150,69
PIEMONTE	9,83	383.200.772,75	0,00	545.130,40	383.745.903,15
PUGLIA	8,09	315.370.727,52	0,00	448.637,33	315.819.364,85
TOSCANA	8,83	344.217.988,14	0,00	489.674,61	344.707.662,75
UMBRIA	2,03	79.135.052,77	738.272,19	112.575,25	78.509.355,83
VENETO	8,27	322.387.628,75	0,00	458.619,37	322.846.248,13
TOTALE	100,00	3.898.668.289,20	5.546.133,42	5.546.133,42	3.898.668.289,20

Il restante 10% viene ripartito sulla base dell'offerta di servizio, andando a valutare il rapporto tra i ricavi da traffico/costi operativi e coefficiente di occupazione.

Le aziende meno efficienti, ovvero quelle aventi un incremento maggiore del livello occupazionale (load factor), sono quelle che maggiormente incidono sul restante 10%, poiché, come detto, viene valutato l'incremento del load factor e non il coefficiente occupazionale in valore assoluto. Vengono cioè premiate le aziende che più migliorano nell'arco triennale, ossia quelle che partendo da un load factor minore hanno migliorato maggiormente tale valore. Aziende già efficienti all'inizio della valutazione triennale, difficilmente possono incrementare tale valore in maniera considerevole.

Inoltre, con il Decreto Interministeriale n°345 del 28/10/2016 emanato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti vengono definite le modalità di finanziamento per il rinnovo dei parchi automobilistici destinati al TPL.

Vengono poste come condizioni sine qua non:

- Veicoli che siano quanto più possibili ecosostenibili, ovvero che abbiano come classe di emissione dei gas, la più recente, oppure che siano ad emissione 0, autobus elettrici, come quello oggetto della seguente tesi;
- Veicoli che abbiano in dotazione un dispositivo di conteggio passeggeri quanto più possibile affidabile. Il mezzo scelto per la seguente tesi, come sarà descritto al capitolo 3, anche se di recente costruzione, partecipava ad un bando di gara appena precedente alla data di promulgazione del decreto (2015), dunque non provvisto di un sistema APC. Lo scopo della tesi è proprio quello di dotare di un sistema APC i mezzi sprovvisti nelle modalità che saranno descritte nei capitoli successivi;
- Veicoli aventi un sistema di validazione elettronica dei titoli di viaggio.

Viene, inoltre, delineato il criterio del migliore rapporto tra posto/km prodotti e passeggeri trasportati per l'attribuzione del 15% del FNT e imposto il criterio di reversibilità per i veicoli acquistati, ossia essi devono essere di proprietà dell'ente pubblico o di un soggetto terzo purché se durante il periodo di ammortamento qualora vi sia un cambio di azienda

competente all'erogazione del servizio, la quota residua sia riscattata dai nuovi aggiudicatori.

Per quanto riguarda la situazione regionale in Piemonte, il D.I. n°345 del 28/10/2016 decreta come tutti i nuovi veicoli siano dotati di un sistema per il conteggio automatico dei passeggeri ad ogni fermata, per poter valutare il coefficiente di riempimento, utile, come sopradetto, per andare ad attribuire il finanziamento del restante 10%, ma anche per poter andare a valutare la differenza tra numero di titoli di viaggio venduti e l'effettivo utilizzo della rete, dunque un parametro di evasione tariffaria. Per promuovere tale tipologia di veicoli, ovvero veicoli green, con sistemi APC e con validazione elettronica dei biglietti viene fornito alle aziende operanti nel TPL una copertura dei costi di acquisti fino ad un massimo del 50% per l'acquisto dei nuovi mezzi.

2. ITS – Intelligent transport system

Nella direttiva europea EU 2010/40/EU del 07/07/10 dal titolo *“Quadro generale per la diffusione dei sistemi di trasporto intelligenti nel settore del trasporto stradale e nelle interfacce con altri modi di trasporto”*, più precisamente al comma 3 e 4 troviamo le definizioni di ITS come segue:

c.3: I sistemi di trasporto intelligenti (ITS) sono applicazioni avanzate che, senza essere dotate di intelligenza in senso proprio, mirano a fornire servizi innovativi relativamente ai diversi modi di trasporto e alla gestione del traffico e consentono a vari utenti di essere meglio informati e di fare un uso più sicuro, maggiormente coordinato e più «intelligente» delle reti di trasporto.

c.4: Gli ITS integrano le telecomunicazioni, l'elettronica e le tecnologie dell'informazione con l'ingegneria dei trasporti al fine di pianificare, progettare, rendere operativi, sottoporre a manutenzione e gestire i sistemi di trasporto.

In definitiva, mediante l'uso degli ITS, basati su tecnologie di tipo informatico e/o telecomunicazione, si ha come obiettivo quello di risolvere, con strumenti innovativi, problemi legati alla mobilità e logistica in ambito stradale, ferroviario, aereo o navale.

2.1. Diffusione in Europa degli ITS

A partire dagli anni '80 sono iniziate le prime attività di ricerca e sviluppo di queste tecnologie volte ad ottimizzare l'uso delle infrastrutture e delle reti stradali sia in ambito urbano che extraurbano in modo efficace, sicuro ed ecosostenibile. I paesi precursori sono stati Giappone e USA, mentre negli anni '90 è l'Europa a sensibilizzarsi, con l'introduzione di una serie di programmi mirati all'attuazione e diffusione di sistemi ITS per migliorare il trasporto pubblico e privato. Il progressivo incremento della domanda di mobilità avvenuto a partire dagli anni del boom economico ha infatti portato, principalmente nelle città e nei Paesi più industrializzati, a livelli di congestione impossibili da sostenere che ha inevitabilmente portato ad una modifica dei piani di mobilità, resi più efficienti grazie ai sistemi ITS.

La sopracitata direttiva europea (EU 2010/40/EU), mira dunque a fissare delle linee guida per l'introduzione e la diffusione dei sistemi ITS in tutte le nazioni facenti parte dell'UE dopo il confortante periodo di sperimentazione avvenuto a cavallo del nuovo millennio, nel quale si sono riscontrati notevoli benefici come la riduzione dei tempi di spostamento, diminuzione del numero di incidenti, diminuzione delle congestioni, riduzione delle emissioni inquinanti e riduzione dei consumi energetici. Per quanto concerne in particolare l'Italia, una delle prime città a muoversi verso tale innovativo settore è stata Torino che, ha inaugurato la prima metropolitana a guida automatica di tipo VAL (Veicolo Automatico Leggero) in Italia nel 2006 in occasione dei XX Giochi Olimpici Invernali, la cui tipologia di guida richiede un sistema di Controllo Automatico dei Treni (ATC) progettato specificatamente per tali veicoli in modo da garantire la massima sicurezza. Inoltre, è operativo un sistema telematico di controllo del traffico con il quale si è ottenuta, già con i dati del 2005, una riduzione dei tempi di viaggio per il traffico privato nell'area controllata dal sistema del 20% circa, ed un aumento del 17% della velocità commerciale dei mezzi pubblici grazie alla gestione della priorità semaforica (5T Torino).

Sempre nella Direttiva EU 2010/40/EU, si classificano gli ITS come sistemi dediti a:

- 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.

Vengono, inoltre, definite delle aree prioritarie per lo sviluppo e l'uso degli ITS:

- uso ottimale di dati su strada, traffico e viaggi, al fine di consentire agli utenti della strada di pianificare viaggi;
- continuità dei servizi ITS di gestione del traffico e delle consegne (cioè servizi che valgono in tutto il territorio europeo e non solo in ambito nazionale, che dunque non si interrompono con l'attraversamento delle frontiere);
- applicazioni ITS relative alla sicurezza stradale (incidenti, rischi di visibilità ridotta o di persone, animali e detriti sulla strada segnalati in tempo reale);
- collegamento dei veicoli con l'infrastruttura di trasporto equipaggiando ogni mezzo con tali sistemi per consentire loro di scambiare dati o informazioni.

All'interno di tali aree, la direttiva, individua sei azioni prioritarie per l'applicazione delle specifiche tecniche:

1. fornitura di servizi di informazione di viaggio multimodale in tutto il territorio europeo;
2. informazioni sul traffico in tempo reale su scala UE;
3. sistemi utili alla fornitura di informazioni sul traffico connesse alla sicurezza stradale gratuite per gli utenti;
4. la disposizione armonizzata per un eCall interoperabile a livello europeo (in caso di grave incidente stradale, il servizio eCall compone automaticamente il numero di emergenza unico europeo 112 e comunica la posizione di un veicolo ai servizi di emergenza);
5. servizi dedicati a fornire informazioni per parcheggi sicuri e protetti per automezzi pesanti e veicoli commerciali;
6. Oltre a fornire informazioni sulla posizione di tali aree sicure, fornire servizi di prenotazione per le suddette.

I Paesi membri dell'UE devono garantire che vengano attuate le specifiche relative all'applicazione degli ITS adottate dalla Commissione Europea. Tuttavia, viene lasciato ai singoli Paesi il diritto di decidere sull'uso degli ITS all'interno del proprio territorio nazionale. Prima di adottare le specifiche, la Commissione valuta la loro conformità dei

sistemi attraverso i principi di efficacia, efficienza, rispetto dell'infrastruttura esistente, uguaglianza di accesso, accuratezza nel fornire dati geolocalizzati ed in tempo reale, ausilio all'intermodalità dei trasporti.

L'introduzione di tali sistemi ha portato, in breve tempo, a benefici riportati dalla stessa Commissione Europea nel Libro Bianco "La politica europea dei trasporti fino al 2010: il momento delle scelte", che mostra i seguenti risultati:

- riduzione dei tempi di spostamento dell'ordine del 20%;
- aumento della capacità della rete del 5÷10%;
- diminuzione del numero di incidenti del 10÷15% grazie a strategie coordinate di informazione e controllo, con un aumento anche delle percentuali di sopravvivenza, dovuto ai sistemi automatici di segnalazione degli incidenti e di gestione delle situazioni di emergenza;
- diminuzione delle congestioni di circa il 15%;
- decremento delle emissioni inquinanti del 10% e del consumo energetico del 12%

Oggi, a distanza di dieci anni dall'emanazione di tali direttive, possiamo dire che sia a livello italiano, sia a livello europeo, si è ben recepita l'importanza di una corretta valutazione i dati di traffico al fine di migliorare la qualità del servizio offerto, tant'è che in Italia, la percentuale di aziende di TPL dotate di ITS superi il 50%.

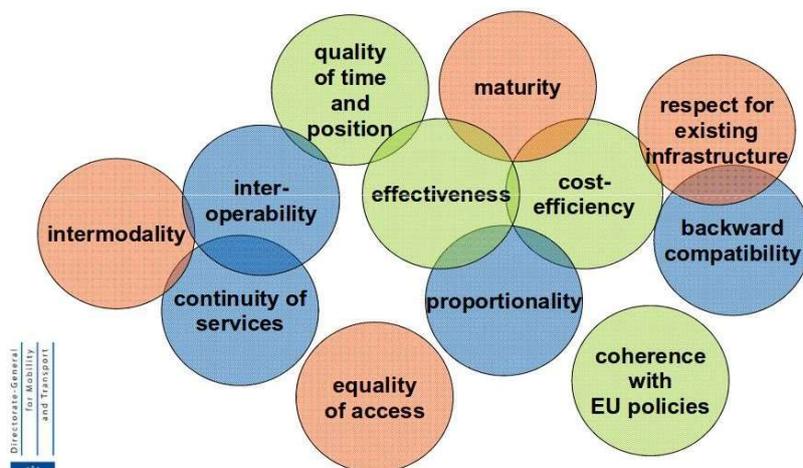


Figura 1. Principi di valutazione del ITS (Commissione europea 2010)

Negli anni a seguire alla promulgazione della direttiva 2010/40/UE, la stessa Commissione Europea ha pubblicato quattro Regolamenti Delegati, allo scopo di integrare quanto definito nella direttiva del 2010:

1. Regolamento Delegato n°305/2013 del 26/11/2012, pubblicato in GUCE il 03/04/2013, che integra quanto detto nella Direttiva n°40/2010 per quanto concerne la predisposizione armonizzata su tutto il territorio degli Stati facenti parti l'UE di un servizio di chiamata di emergenza, già sopra definito eCall;
2. Regolamento Delegato n°885/2013 del 15/05/2013, pubblicato in GUCE il 18/09/2013, che integra quanto detto nella Direttiva n°40/2010 per quanto concerne la fornitura di servizi di informazione per aree di parcheggio sicure per automezzi pesanti e/o veicoli commerciali;
3. Regolamento Delegato n°886/2013 del 15/05/2013, pubblicato in GUCE il 18/09/2013, che integra quanto detto nella Direttiva n°40/2010 per quanto concerne la diffusione dei dati e delle informazioni minime relative alla sicurezza stradale;
4. Regolamento Delegato n°962/2015 del 18/12/2014, pubblicato in GUCE il 23/06/2015, che integra quanto detto nella Direttiva n°40/2010 per quanto concerne la predisposizione su ogni tipologia di infrastruttura e su tutto il territorio facente parte dell'UE di sistemi di informazione in tempo reale riguardante sicurezza e informazioni di traffico.

Ogni tipologia di intervento, definito nella Direttiva del 2010, è stato espresso attraverso una linea temporale, presente al momento della presentazione al Congresso Europeo e sottoriportata, nella quale a partire proprio dall'anno di promulgazione (2010), per i sette anni a seguire, vi sono, step by step, tutte le introduzioni a livello di ITS da compiere.

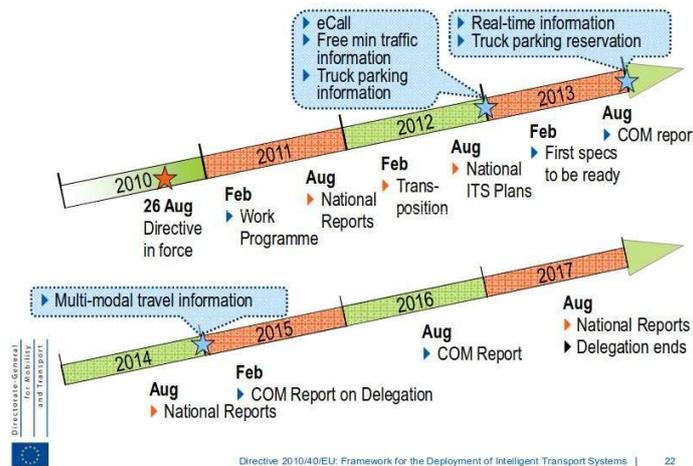


Figura 2. Linea temporale è espresso lo sviluppo degli ITS in Europa (Commissione europea 2010)

Le prime normative italiane a seguito della Direttiva Europea, sono avvenute 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. L'anno seguente, nel 2014, vi è la nascita di un Piano d'Azione ITS, un obbligo comunitario previsto dalla Direttiva 2010/40/UE, il quale fornisce una pianificazione per un arco temporale di un lustro in materia di ITS sull'intero territorio nazionale.

Ad oggi, diversi studi condotti da AssTra e da TTS (Associazione Italiana della Telematica per i Trasporti e la Sicurezza) hanno mostrato come la maggioranza delle aziende di TPL utilizzino i sistemi ITS per una valutazione efficiente della localizzazione e del monitoraggio dei mezzi con lo scopo di migliorare il servizio offerto e la sua qualità. Grazie a Mediante tali sistemi, le società erogatrici del TPL sono in grado di effettuare monitoraggi in tempo reale circa lo stato del servizio, in modo da poterne costruire uno storico sulla base del quale pianificare e ottimizzare la flotta.

2.2. Sistemi APC – Stato dell’arte

Le applicazioni degli ITS nel trasporto pubblico sono molteplici, ed il loro utilizzo agevola ogni componente della catena, non solo gli utilizzatori del servizio. In particolare, il rapporto tra organo finanziatore del servizio (lo Stato) ed organo erogatore (ossia l’azienda) prevede, come visto nel capitolo precedentemente, un finanziamento fisso, più una parte dipendente dal coefficiente di occupazione. Per valutare tale coefficiente è necessario quantificare la domanda di trasporto, ed in particolare il numero dei passeggeri a bordo mezzo. La tecnologia di ITS che aiuta in ciò è definita APC (Automatic passengers counting).

Lo sviluppo e la sperimentazione delle tecnologie APC non rappresentano esattamente delle novità, infatti fin dai primi anni ’80 alcune società di trasporto pubblico locale canadesi e americano hanno iniziato a valutare i benefici di tali tecnologie, portando, nel corso degli anni, ad una serie di sistemi che saranno mostrati in modo specifico a partire dai paragrafi successivi. È possibile affermare come le metodologie utilizzate per conteggio automatico dei passeggeri si dividano sostanzialmente in due macrocategorie. La prima, stima il numero dei passeggeri andando ad analizzare i dati provenienti dai sistemi di validazione del biglietto presenti sul mezzo, andando a condurre analisi di tipo finanziario. La seconda categoria, invece, è indipendente dai titoli di viaggio, e presenta una varietà di sistemi concorrenziali, ciascuno dei quali presenta differenti pregi e difetti. All’interno dei sistemi APC indipendenti dai titoli di viaggio troviamo un’ulteriore divisione, ossia tra i sistemi che misurano il numero dei passeggeri in modo diretto, ossia sul rilievo delle singole persone, e sistemi che valutano il carico complessivo presente sul mezzo, stimando così il numero dei passeggeri in modo indiretto.

Le tecnologie utilizzate per la valutazione diretta del numero dei passeggeri presenti sul mezzo sono sostanzialmente quello che utilizzano le consolidate treadle mats e sensori ad infrarossi, attivi, passivi o combinati. Le treadle mats, anche se tecnologicamente valide, non vengono comunemente utilizzate nei veicoli moderni in quanto risultano non molto affidabili in veicoli non aventi all’ingresso né gradini che possono valutare l’ingresso o l’uscita dei passeggeri, né separatori di flussi all’ingresso del mezzo. Infatti, gli autobus

utilizzati in ambito urbano sono a pianale ribassato e con porte ampie in modo da permettere la anche la salita e discesa contemporanea dei passeggeri. I sensori infrarossi rappresentano invece il sistema più utilizzato a bordo dei mezzi acquistati dalle aziende di trasporto pubblico locale, per via della loro affidabilità e della reperibilità in commercio.

Sono molteplici infatti gli studi in letteratura circa sistemi di questo tipo a partire da quello condotto da Attanucci e Vozzolo pubblicato nel 1983, i quali hanno applicato in 12 città nel Nord America un sistema combinato di pedane e sensori infrarossi ottenendo accuratezza di circa 91.5% con una valutazione più precisa dei passeggeri in salita piuttosto che quelli che scendono dal mezzo. Nel corso degli anni, soprattutto in America si sono andati a sviluppare gli APC che utilizzano sensori infrarossi, ma uno degli studi più recenti ed interessante, è stato svolto in Italia e pubblicato nel 2014 da Barabino, Di Francesco e Mozzoni, i quali hanno sviluppato un modello in cui non è dichiarata l'accuratezza, ma presenta errori contenuti, andando a sottostimare sia i passeggeri in fase di salita che quelli in fase di discesa. Lo studio stima gli errori mediante la distribuzione degli errori, andando quindi a valutare l'intervallo di confidenza degli stessi ed il relativo scarto quadratico medio e l'errore medio assoluto, confrontando i dati ottenuti con delle informazioni fornite direttamente dagli autisti mediante monitor di bordo.

Recentemente, sta prendendo sempre più piede un'altra tecnologia volta a valutare il numero dei passeggeri a bordo mezzo in modo diretto, la quale sfrutta l'elaborazione delle immagini video provenienti da telecamere posizionate sul mezzo. Tali tecnologie utilizzano algoritmi che riescono a rilevare il movimento dei passeggeri, ovvero se essi salgono o scendono dal mezzo, come quello utilizzato nello studio effettuato da Chen et al. del 2008, i quali dichiarano un'accuratezza del 92% in media. L'algoritmo utilizza una telecamera zenitale nell'autobus per catturare il flusso di passeggeri in modo bidirezionale. Il fotogramma catturato viene prima diviso in molti blocchi e ogni blocco è classificato in base al suo vettore di movimento. Se la quantità di blocchi di vettori di movimento simili è maggiore di una soglia, quei blocchi sono considerati come appartenenti alla stessa persona in movimento.

A seguito di tale studio, data l'affidabilità dichiarata, si è proseguito con il conteggio passeggeri effettuato tramite computer vision. Particolarmente interessanti risultano due studi condotti da università; il primo, effettuato dall'Università di Parma (Bernini, Bombini, Buzzoni, Cerri, Grisleri) nel 2014, ha introdotto un approccio in cui le immagini non provengono più da una sola telecamera zenitale, bensì da una coppia di telecamere per ogni porta, sempre poste in posizione zenitale, le quali riescono a fornire una visione stereoscopica. Il secondo studio, condotto da Nasir et al. della Universiti Malaysia Perlis-UniMAP (Malesia) e pubblicato nel 2018, sempre utilizzando le immagini presenti sul mezzo, modificando i colori da RGB a HSV ha sviluppato un modello basato sul colore della pelle dei passeggeri, riuscendo ad ottenere un'accuratezza del 90.64% su 25 immagini analizzate.

È inoltre opportuno menzionare, anche se non sarà descritto nei paragrafi successivi, una tecnologia basata sul rilevamento dei dispositivi WI-FI presenti sul mezzo, i cui studi appartengono all'ultimo lustro, ovvero a seguito della nascita e diffusione degli smartphone e della connessione internet mobile. Si segnala quindi un sistema denominato iABACUS, pubblicato nel marzo 2020 da Nitti, Pinna, Pinton e Pilloni (appartenenti all'Università di Cagliari) e Barabino (Università di Brescia). La collaborazione tra le due università ha portato allo sviluppo di un sistema i cui risultati dei test mostrano un'accuratezza del 100% in caso statico e quasi il 94% nel caso dinamico, con un errore che appare in particolar modo quando due fermate dell'autobus sono molto vicine l'una all'altra. È opportuno specificare come tali valori siano stati ottenuti con una simulazione del percorso effettuato da un autobus di linea, al cui interno vi era un numero preciso di passeggeri con dispositivo WI-FI, ma tali dati non sono ancora stati confermati con un autobus in esercizio. Inoltre, sempre sul mezzo utilizzato per lo studio oggetto di questa tesi si sta sviluppando un sistema WI-FI sotto la supervisione del prof. Casetti del Politecnico di Torino.

Quest'elaborato di tesi mira a sviluppare e sperimentare in esercizio un sistema il cui unico studio presente in letteratura appartiene al campo ferroviario. Il sistema è basato sulla

valutazione del carico presente sul mezzo mediante dei trasduttori di pressione applicati sulle sospensioni pneumatiche del mezzo.

Lo studio, svolto nella città di Copenaghen da Nielsen et al. e presentato nel 2014, ha mostrato, mediante analisi statistiche basate sulla distribuzione dell'errore, un sistema che, nonostante le incertezze che possono aversi con una valutazione dei passeggeri di tipo indiretta l'errore sul numero totale dei passeggeri risultava relativamente basso, pur non presentando il valore di accuratezza. Un sistema di questo tipo presenta dei costi minori rispetto a sistemi di tipo infrarosso, allo stesso tempo presenta un modello più robusto perché si basa sulla pressione agente sul mezzo e non da valutazioni precedenti, come invece accade con sistemi la cui valutazione è di tipo diretto. Il difetto di un sistema basato sul carico è quello di non poter valutare, se non mediante l'integrazione di un altro sistema APC, il numero dei passeggeri saliti o scesi alla fermata, ma solo il suo incremento o decremento.

Sfruttando i dati incoraggianti provenienti da tale studio e il relativo vuoto in letteratura di una sua applicazione in veicoli su gomma, si è scelto di sviluppare tale APC, provando a calibrare un modello robusto, che tenga conto dei fattori più influenti come temperatura e numero dei passeggeri presenti sul mezzo.

2.2.1. Sistemi APC dipendenti dal titolo di viaggio

Tali soluzioni vengono identificate con l'acronimo ERF (Electronic Registering Fareboxes) e si basano su stime del numero passeggeri mediante tre diversi metodi. Il primo metodo si basa su una stima di tipo esclusivamente finanziario, ossia si sceglie una linea e si valutano i ricavi provenienti da essa andando poi a risalire al numero di passeggeri.

Un'ulteriore valutazione, sempre di tipo finanziario, è possibile farla dotando i mezzi di apparecchi per l'acquisto mediante carta di credito del titolo di viaggio, tali sistemi permettono dunque, come per le nuove obliterateci come quella mostrata in figura 3, di ottenere informazioni riguardanti la localizzazione dell'operazione. A partire da Giugno 2020 alcuni autobus della flotta GTT, come quello oggetto della nostra tesi, sono dotati di tale sistema, ma è chiaro come sia presente principalmente per facilitare l'acquisto del biglietto singolo a bordo del mezzo anche a chi ne è sprovvisto, ma non rappresenta per il trasporto pubblico un sistema affidabile per il conteggio passeggeri.



Figura 3. Macchina obliterateci che consenta l'acquisto del biglietto mediante carta di credito

Le appena descritte tipologie rappresentano sistemi di APC molto più adatti a tipologie di trasporto come quello aereo e non ben si sposano con il TPL.

Il sistema di conteggio passeggeri basato sulla valutazione del titolo di viaggio più utilizzato nell'ambito del TPL è quello relativo alla validazione del titolo stesso mediante l'obliterazione all'ingresso e, ove presente, all'uscita.

La precisione e, dunque, l'affidabilità di tale sistema, si basa sulla condizione che tutti i passeggeri debbano collaborare, ovvero che oltre ad acquistare il biglietto, essi debbano effettuare un check-in al momento del loro ingresso nel sistema ed un check-out all'atto di uscita. Di conseguenza, è chiaro come in alcune tipologie di sistemi di TPL, come in quelli ad impianto fisso, sia più efficace ed in altri meno. Un sistema di tipo metropolitano, presenta quelle che vengono definite barriere all'ingresso, completamente differenti rispetto ad un autobus di linea. In un autobus nonostante vi siano le macchine obliteratorici poste in corrispondenza delle porte di ingresso, esse non sempre vengono utilizzate, ma soprattutto, anche qualora la totalità dei passeggeri saliti convalidasse il proprio titolo di viaggio, non si avrebbero informazioni sulle fermate in cui essi scendono dal mezzo.



Figura 4. Tornelli presenti nella metropolitana di Torino.



Figura 5. Tornelli posti per una sperimentazione sull'autobus utilizzato nello studio svolto

In questa fase, per quanto riguarda il territorio torinese si sta assistendo ad un sostanziale cambiamento dei sistemi di convalida biglietto a bordo degli autobus, avvenuto a causa della sostituzione titoli di viaggio cartacei con biglietti contactless o con biglietti telematici acquistabili direttamente da smartphone dotati di tecnologia NFC (Near Field Communication, connettività tra due sistemi a corto raggio, massimo 10 cm). Mediante tali apparecchi, il cui protocollo di comunicazione verrà descritto nei paragrafi successivi, è possibile geolocalizzare il luogo in cui avviene l'obliterazione del biglietto, operazione generalmente fatta appena saliti a bordo mezzo, dunque permette di identificare i passeggeri saliti ad una fermata ed inoltre identificare il passeggero salito grazie a tutte le informazioni (numero tessera, tipologia di abbonamento, ecc..) presenti sulla tessera.



Figura 6. Vecchia tipologia di oblitratrice



Figura 7. Nuova tipologia di oblitratrice, affiancata da Giugno 2020 da quella in figura 3

2.2.2. Sistemi APC indipendenti dal titolo di viaggio

I sistemi non basati sui titoli di viaggio si differenziano, come detto precedentemente, in due macrocategorie, all'interno delle quali vi sono una serie di differenti tecnologie sperimentate negli ultimi anni e che sempre più sono utilizzate dalle aziende pubbliche, principalmente per il trasporto su gomma dove, al contrario di sistemi di trasporto ad impianto fisso, la presenza di tornelli all'ingresso non garantisce un conteggio affidabile.

2.2.2.1. Controllo di tipo diretto

Si può procedere mediante una valutazione di tipo diretto, ossia basato sul conteggio delle singole persone, che può essere fatto manualmente tramite un operatore incaricato a bordo del veicolo, oppure mediante una valutazione fatta da remoto in sala video, dove utilizzando il sistema di videosorveglianza, un personale incaricato, conta le persone presenti sul veicolo. Se il conteggio manuale, considerato privo di errori, viene sempre fatto per conoscere l'affidabilità di un sistema automatico, il secondo metodo, anch'esso molto affidabile, è dispendioso sia in termini di tempo che di personale incaricato.

Tuttavia, il punto di equilibrio tra costi ed affidabilità è costituito dai sistemi APC, i quali permettono un controllo continuo, e dopo un costo fisso iniziale dovuto all'installazione e all'effettiva messa in funzione del sistema presentano nel corso del tempo solamente dei costi di manutenzione, notevolmente più bassi di un conteggio basato sull'osservazione delle singole persone.

2.2.2.1.1. Sensori infrarossi attivi

Altre tipologie di sistemi APC sono costituite dai sensori infrarossi, telecamere stereoscopiche, tecniche di computer vision basate sulle telecamere di videosorveglianza presenti a bordo mezzo.

L'applicazione di sistemi ad infrarossi è ormai ad oggi diffusa per quanto riguarda gli strumenti APC. Essa, sfruttando le radiazioni infrarosse (onde elettromagnetiche aventi lunghezza d'onda λ compresa tra 0.75 mm ed 1 m) e la piroelettricità di un materiale isolante (induzione di una carica elettrica proporzionale alla variazione nel tempo della temperatura) permette un conteggio passeggeri mediante due tipologie di sensori.

Sensori definiti di tipo attivo sono composti da un LED che trasmette il segnale e da un ricevitore rappresentato dal materiale piroelettrico che, dunque, converte il flusso di energia emesso in un segnale elettrico. Il LED emettitore del segnale a infrarossi è posizionato in prossimità delle entrate del mezzo, emettendo un segnale continuo che attraversa in modo orizzontale o verticale l'ingresso, in base alla posizione del LED stesso, diretto verso il

ricevitore posizionato parallelamente al ricevitore ad una distanza tale da poter essere attraversato da un passeggero. Al momento dell'ingresso o dell'uscita di un passeggero, il fascio di infrarossi viene interrotto ed il ricevitore non rileva più il segnale. Se, vi è un solo emettitore, dunque un solo fascio di infrarossi, è impossibile andare ad identificare la direzione di attraversamento del passeggero che ha interrotto il raggio emesso, vi è dunque la necessità di un'installazione doppia disposta in modo parallelo, in modo da definire chiaramente quale dei due raggi emessi sia stato interrotto precedentemente, e dunque poter valutare in modo preciso il numero dei passeggeri saliti e dei passeggeri scesi. Se, come nella maggior parte dei mezzi pubblici i varchi di ingresso hanno dimensioni tali da consentire l'attraversamento di più di un passeggero, dispositivi disposti in modo tale che il raggio emesso sia orizzontale rendono il dato falsato, poiché potrebbero essere attraversati contemporaneamente da due passeggeri andando, però, a rilevare un solo attraversamento. Si potrebbe risolvere tale problema andando a posizionare il trasmettitore in modo tale che il fascio di infrarossi emesso sia verticale e dividendo ogni varco di ingresso con due fasci affiancati e indipendenti. Ciò comporterebbe dunque la presenza, per ogni porta, di due fasci affiancati per valutare un potenziale passaggio contemporaneo dei passeggeri, operazione molto frequente alle fermate, più altri due sensori disposti parallelamente ai primi per controllare la direzione di attraversamento da parte degli stessi. Il limite dei sensori infrarossi di tipo attivo è proprio costituito dal grande numero di sensori da applicare per ogni porta, che, unito anche al numero di porte del mezzo, rendono necessario l'impiego di 8 o 12 sensori per ogni veicolo, portando ad un livello di onerosità elevato tale sistema, nonostante il suo principio di funzionamento sia altamente valido ed affidabile.

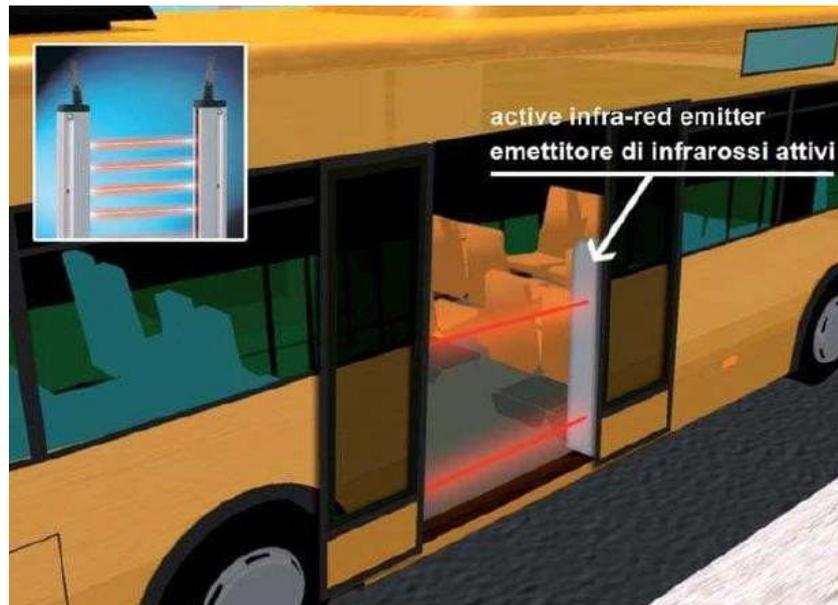


Figura 8. Emettitore infrarossi attivo installato su un autobus (Pinna, Dalla Chiara e Deflorio)

2.2.2.1.2. Sensori infrarossi passivi

Negli I-R di tipo passivo la piroelettricità del materiale è sfruttata in modo da renderlo un sensore termico, sensibile alle variazioni termiche rilevate dal fascio dovute all'attraversamento dello stesso. Mentre nei sensori di tipo attivo il fascio infrarosso è puntuale, con i sensori di tipo passivo non si ha lo stesso; vi è infatti la generazione di un unico raggio, il quale però è orientato verso una lente di Frasnell che può essere costituita da un materiale plastico o da una superficie a specchio, la differenza tra i materiali comportano una rifrazione differente del raggio. La lente di Frasnell rappresenta la differenza tra il raggio puntuale degli I-R attivi ed il fascio di raggio degli I-R passivi. Il passaggio in quest'area data dal fascio infrarosso causa un improvviso aumento di temperatura, il quale genera il segnale di attraversamento.

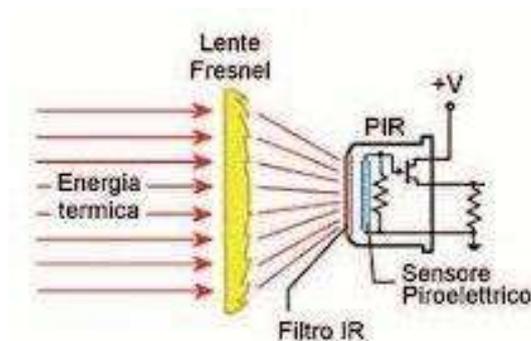


Figura 9. Schema con le varie componenti di un sistema infrarossi passivo

Anche se l'area individuata dal fascio non è puntuale, al fine di evitare errori nel conteggio e individuare correttamente la direzione di attraversamento dei passeggeri è importante una corretta installazione, oltre ad un numero di sensori per ogni porta che varia in funzione della larghezza della stessa, arrivando a fino a 3 sensori per porte per larghezze maggiori di 1.5 metri.

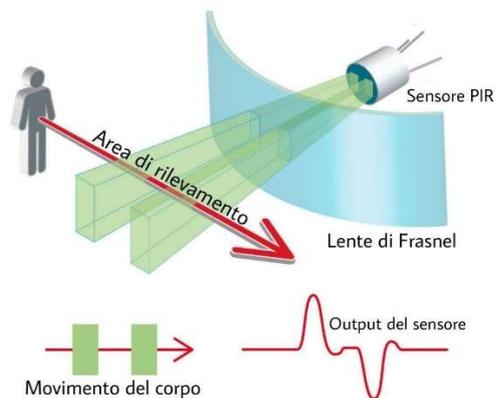


Figura 10. Principio di funzionamento di un sistema infrarossi passivo



Figura 11. Esempio di sensore infrarosso passivo

2.2.2.1.3. Sensori infrarossi attivi e passivi

Sfruttando le peculiarità delle due soluzioni I-R sono stati prodotti dei sistemi che combinano i due sistemi, aventi cioè, sia una componente attiva che sfrutta la riflessività delle radiazioni che avvengono al momento del passaggio di un corpo attraverso il fascio,

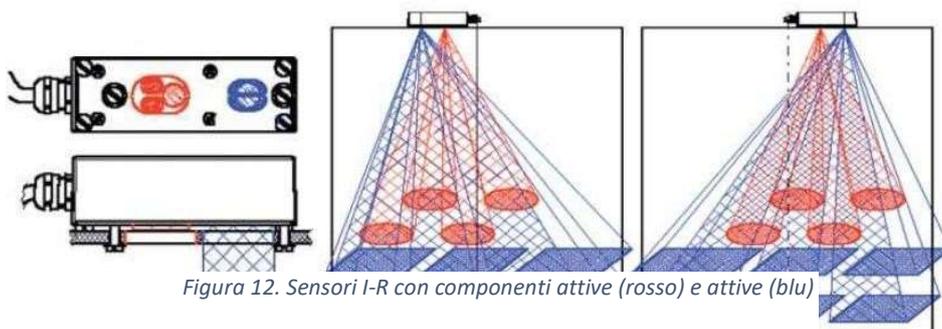


Figura 12. Sensori I-R con componenti attive (rosso) e attive (blu)

sia una componente passiva che in grado di percepire il repentino cambiamento di temperatura mediante il sensore piroelettrico. Il conteggio dei passeggeri avviene in modo separato tra le due componenti, attraverso la combinazione separata e il principio dell'analisi campione dei flussi in movimento in un'area attraversata da raggi infrarossi denominata IRMA (InfraRed Motion Analyzer) si vanno a valutare ed compensare le differenze tra i due metodi.

2.2.2.1.4. Telecamere stereoscopiche

Vi sono, infine, sensori ottici detti OPS (optical sensor) in grado di rilevare le sagome dei passeggeri ed effettuare un conteggio, come le telecamere stereoscopiche. Quest'ultime, sono formate da due obiettivi paralleli, che come se fossero gli occhi umani, riescono, grazie alla tecnologia computer vision a ricostruire immagini tridimensionali in grado di individuare la presenza di passeggeri.

Generalmente tali telecamere vengono posizionate su ogni porta del mezzo per individuare un'area di competenza, riuscendo a distinguere, con la visione binoculare, le sagome dei passeggeri da quelle di oggetti o animali. Per associare il dato dei conteggi dei passeggeri effettuati ad una posizione, si integra il dato sul conteggio al sistema AVM, che fornisce i dati relativi alla posizione. Un sistema di questo tipo è utilizzato a Bergamo comunica i dati mediante un sistema cloud. Inoltre, le interfacce I/O digitali possono comunicare con porte intelligenti, in grado di valutare il flusso non in continuo, ma solamente quando vi è un effettivo transito dei passeggeri, ossia quando le porte sono aperte.

Il sistema può essere integrato ad altri, come sistemi LED infrarossi per consentire un conteggio ottimale in qualsiasi condizione di illuminazione. Tali sistemi vengono scelti per la loro accuratezza ai fini del conteggio e alla facilità di installazione data dalla forma che ben si presta all'applicazione sulle porte e mascheramento ottimale con il veicolo. Il principale problema derivante tale tecnologia risiede, però, nel costo, infatti, ogni telecamera stereoscopica può superare il migliaio di euro.



Figura 13. Telecamere poste all'ingresso del T1 Tramway delle Tranvie Elettriche Bergamasche (www.eurotech.com)

2.2.2.1.5. Telecamere a circuito chiuso

La Closed Circuit Television (CCTV), anche se meno sviluppata dal punto di vista tecnologico rispetto alle telecamere stereoscopiche, può essere integrata ad un sistema APC principale. Gli impianti CCTV chiuso vengono infatti installate non tanto per il conteggio automatico, ma per un fine di sorveglianza, acquisendo le immagini a bordo mezzo per tutta la durata di attivazione dello stesso per essere visionate in caso di necessità come i furti, rimanendo memorizzate su una memoria storage in un'unità centrale come hard disk.

A seconda della modalità di trasmissione del segnale dalla telecamera al dispositivo di visualizzazione e registrazione, i sistemi di videosorveglianza possono essere classificati in due differenti tipologie:

- telecamere analogiche, le quali producono un segnale video analogico, riproducibile da un apposito apparato (videoregistratore digitale);
- telecamere digitali (IP o Network camera), che 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).

In base alla tipologia di telecamera utilizzata, e dunque in base alla differente natura del flusso video, cambia l'architettura di rete. Il sistema analogico richiede un cavo dedicato per il collegamento di ogni telecamera al dispositivo di registratore o al convertitore analogico/digitale. Le telecamere digitali, invece, sono collegabili mediante cavo Ethernet al resto degli apparati di bordo.

Ovviamente, vi è una differenza di costo tra i due impianti. Un sistema di analogico presenta un costo inferiore dato da una minore qualità video (720x576 pixel) e dall'impossibilità di utilizzare tale sistema per tecniche di video analisi. I costi maggiori di un impianto digitale sono, invece, rappresentati da una maggiore risoluzione dell'immagine (2048x1536 pixel dati da una videocamera di 3 Megapixel ormai largamente utilizzati in sistemi di videosorveglianza) e dalla possibilità di aggiungere telecamere senza sostituire o adeguare altri dispositivi.

Il ruolo svolto principalmente dall'applicazione di sistemi CCTV nel TPL è quello di videosorveglianza e di sicurezza in caso di furti o di altre situazioni valutabili con immagini conservate per 24/48 ore. La tesi della dottoressa Trancuccio ha mostrato come, se vengono applicati algoritmi o affiancati da conteggi manuali, tali possono essere utilizzati anche come sistemi di conteggio dei passeggeri, anche se con risultati non elevati data la posizione delle telecamere a bordo mezzo.

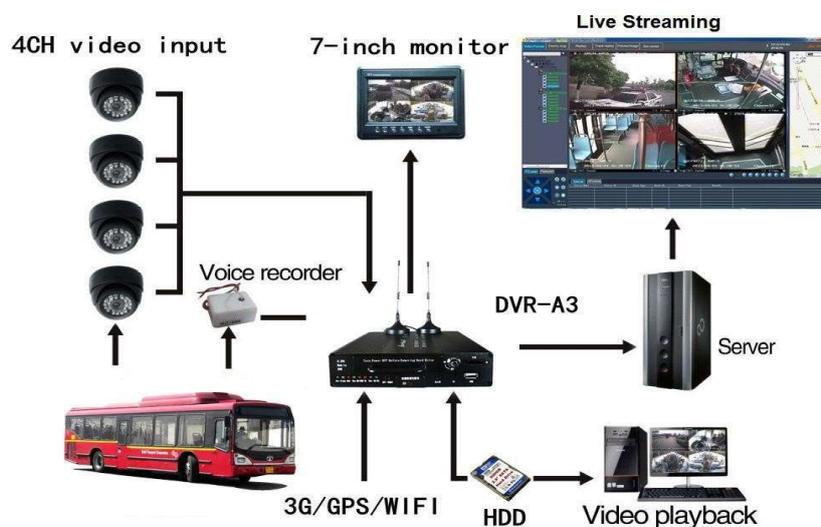


Figura 14. Esempio di sistema utilizzando le telecamere a circuito chiuso

2.2.2.2. Controllo di tipo indiretto

Se i sistemi di controllo diretti permettevano di sfruttare tecnologie che, come dice la definizione stessa, andavano a valutare in modo diretto il numero dei passeggeri presenti sul mezzo, dei sistemi di controllo di tipo indiretto, sfruttano altri sistemi, quasi sempre il peso, per arrivare ad un numero dei passeggeri che avrà sempre come variabile il peso degli stessi, ma che andando a svolgere delle sperimentazioni su ampi archi temporali e comprendendo le maggiori variabili che influenzano il risultato, possono portare ad affidabilità elevate. Tali sistemi, basati come detto su una valutazione del carico complessivo a bordo del mezzo, differiscono principalmente sulla posizione dei sensori che individuano il carico, quest'ultimi possono essere posizionati o sulle sospensioni, come i trasduttori di pressione utilizzati in questa tesi, oppure su piastre poste a terra che fungono come una bilancia rilevando il peso presente su di esse

2.2.2.2.1. Sistemi a pedana - Treadle mat

Esaminate le tecnologie infrarosse, vi sono altri dispositivi APC basati sulla valutazione del peso a bordo mezzo. Tale valutazione può avvenire mediante pedane in lega metallica poste all'ingresso dei varchi del veicolo e denominate treadle mat, capaci di deformarsi una volta soggette all'applicazione di un peso, andando a chiudere il contatto, dando così un segnale valutabile come la presenza di un corpo estraneo. Il montaggio di tali sistemi non è complicato ma deve essere studiato accuratamente il posizionamento al fine di evitare complicazioni come il non calpestio della pedana da parte dei passeggeri o l'infiltrazione di sabbia o pietre, risolvibili tramite un regolare pulizia, o acqua, sconsigliandone dunque l'utilizzo in luoghi con clima particolarmente rigido od umido. Il segnale delle treadle mat è, come per la tecnologia infrarossa attiva, di tipo on/off rendendo semplice il processo di elaborazione della CPU. Inoltre, le moderne pedane riescono ad avere notevole accuratezza (per alcuni costruttori maggiore al 95%) riuscendo, secondo la PerMetrics Technologies a distinguere tra il peso di un passeggero e quello di un animale domestico o di una borsa grazie a tre accorgimenti. Il primo è quello di attivazione del sensore solamente con pesi superiori ai 15kg, evitando cioè, di valutare pesi dovuti a carichi inferiori, mentre un

ulteriore valutazione è fatta andando a considerare solamente la deformazione in un breve lasso di tempo, evitando cioè di compiere errori dovuti allo stazionamento sulla pedana dei passeggeri, l'ultima limitazione, che nelle prime applicazioni era la causa delle maggiori discrepanze tra il conteggio manuale e i dati forniti dai sensori a pedana dopo analisi fatta dal CPU, è quella di attivare le treadle mat solamente nel momento in cui le porte sono aperte. Questi accorgimenti tecnici, uniti ad una regolare manutenzione e pulizia, rendono le padane affidabili ed utilizzabili anche per un decennio. Il loro utilizzo, legato alla grande accuratezza della tecnologia ed ai costi inferiori rispetto ai sensori infrarossi, la rendono largamente utilizzata in linee ferroviarie e tranviarie poiché gli ingressi presentano grandezze nell'ordine del metro e mezzo, richiedendo l'applicazione di una sola treadle mat, ed inoltre poiché tale tipologia di trasporto presenta all'ingresso dei gradini in grado di valutare la direzione di attraversamento del varco, ovvero se un passeggero sale o scende dal mezzo, al contrario dei moderni autobus cittadini a pianale ribassato.

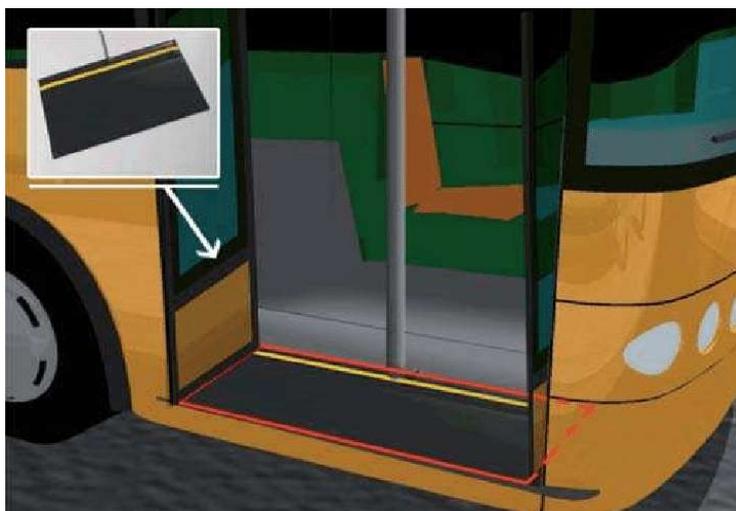


Figura 15. Treadle mats (Pinna, Dalla Chiara, Deflorio)

Per un confronto ottimale è riportata di seguito una la tabella 1 presente nell'articolo "Rilievo automatico dei passeggeri e del carico dei veicoli" scritto dal Dott. Ing. Pinna, Prof. Ing. Dalla Chiara e Dott. Ing. Deflorio.

Tabella 4. Confronto tra treadle mats e sistema infrarossi (Pinna, Dalla Chiara, Deflorio)

ITS – Intelligent transport system

Pedane deformanti (<i>Treadle mats</i>)	Infrarossi - IR
Molto accurate (se le condizioni di utilizzo sono ottimali, anche sopra il 95%) <i>Very accurate (even over 95% in optimum conditions of use)</i>	Generalmente meno accurate delle pedane (si pensa a circa 90%) <i>Generally less accurate than the treadle mats (estimated approx. 90%)</i>
Non è richiesta una manutenzione preventiva <i>No preventive maintenance required</i>	È consigliabile una pulizia giornaliera dei sensori <i>Daily cleaning of the sensors is recommended</i>
Non visibili ai passeggeri <i>Not visible to the passengers</i>	Visibile ai passeggeri <i>Visible to the passengers</i>
Meno problemi di attivazioni del contatore errate per oggetti estranei <i>Less issues of erroneous counter activations due to foreign objects</i>	Più probabilità di false attivazioni <i>Higher likelihood of erroneous activations</i>
Facile installazione anche con porte larghe con uso di corrimano <i>Easy installation also in case of large doors with the use of handrails</i>	Più difficile installazione nel caso di utilizzo di 2 o 3 sensori per porta <i>More difficult installation if 2 or 3 sensors are used on each door</i>
Necessità di ingressi adeguati con almeno due scalini <i>Need for appropriate gates, with at least two steps</i>	Praticamente installabili su qualunque tipo di veicolo <i>They can be virtually installed on any kind of vehicle</i>
Installazione generalmente più complessa <i>Generally more complex installation</i>	Installazione più semplice con un sensore ma necessità di maggior precisione <i>Simpler installation with a sensor, but higher accuracy required</i>
Sostituzione generalmente più difficile <i>Generally more difficult replacement</i>	Sostituzione più semplice <i>Easier replacement</i>
Non suscettibili ad emissioni elettrostatiche <i>Not susceptible to electrostatic emissions</i>	Potenzialmente suscettibile a radiazioni elettrostatiche <i>Potentially susceptible to electrostatic radiations</i>
Necessità di flussi di passeggeri più lenti e possibilmente a "fila unica" <i>Need of slower passenger flows, possibly in "single row"</i>	Capacità di gestire flussi "più veloci" di passeggeri in transito e anche più compatti <i>Capability of managing "faster" and more compact flows of passengers</i>
Parti meccaniche in movimento più sensibili sporcizia e condizioni ambientali <i>Mechanical parts in movement more sensitive to dirt and environment conditions</i>	Assenza di parti mobili <i>No moving parts</i>

2.2.2.2.2. Sistemi Weight In Motion (WIM)

I sistemi di tipo Weight In Motion sono dei dispositivi che possono avere molteplici impieghi e, dato l'ingente costo dovuto all'acquisto, installazione e manutenzione, non

vengono utilizzati solamente con per il conteggio dei passeggeri, anzi spesso funge solo come sistema di supporto ed integrazione ad un sistema APC principale. I sistemi WIM sono costituiti da sensori posti su rotaie o su solchi ricavati nella carreggiata stradale opportunamente isolati da agenti chimici e/o atmosferici che potrebbero compromettere il corretto funzionamento, i quali individuano le sollecitazioni dovute al passaggio dei veicoli e permettono di fare una stima sul numero dei passeggeri, una volta conosciuto il peso del veicolo comprensivo del conducente ed il livello di carburante nel serbatoio. Il principale utilizzo di un tale sistema è quello di monitorare in tempo reale il traffico presente sull'infrastruttura e di farne le relative analisi. Mediante sistemi WIM, infatti, è possibile compiere valutazioni di tipo:

- Finanziario, andando ad applicare un pedaggio proporzionale al traffico e dunque al deterioramento che esso causa all'infrastruttura;
- Statistico, conoscendo i flussi di traffico, il peso dei veicoli, la tipologia di quest'ultimi che permette di identificare correttamente la tipologia infrastrutturale, infatti, se i sensori WIM rilevano una maggioranza di veicoli transitanti a due assi, l'utilizzo fatto della sezione stradale è di tipo locale, mentre se vi è una grande quantità di veicoli a 4 assi, dunque di autoarticolati o autotreni, il trasporto a lunga distanza costituisce un'importante quota per tale sezione stradale;
- Ambientale, infatti, tra i valori che influenzano l'inquinamento ambientale vi è chiaramente il numero di veicoli transitanti ed il loro peso, infatti, vari studi hanno dimostrato come all'aumentare del carico crescono proporzionalmente le emissioni.
- Manutentivo, stimando i flussi di traffico è possibile andare a stimare una stima del PSI (Present Serviceability Index) e del PCI (Pavement Condition Index), con le conseguenti curve di decadimento delle prestazioni.

Applicando un sistema WIM in corrispondenza di una fermata del trasporto pubblico, è possibile stimare il peso del mezzo transitante prima e o la fermata, valutando dunque i passeggeri presenti su di esso, anche se non è possibile mediante questa tecnologia stabile il numero dei passeggeri saliti o scesi alla fermata, ad esempio se il peso del mezzo prima e

dopo la fermata è corrispondente all'incremento di un passeggero, mediante sensori WIM, non è possibile dire se vi è salito un solo passeggero o la differenza tra passeggeri saliti e scesi è di un passeggero.

Un sistema WIM fornisce una valutazione dei dati di tipo disaggregato. In un sistema completo, infatti, si inseriscono dei sensori in prossimità della fermata, sia precedentemente che successivamente, in modo tale da riuscire a valutare la variazione di peso avvenuta alla fermata. Anche con sistemi in grado di calcolare il carico in maniera molto precisa non è possibile risalire al numero dei passeggeri saliti o scesi dal mezzo, ad esempio, se non vi è una variazione significativa di carico non si riesce a risalire ad uno scambio di passeggeri, ugual numero di passeggeri in ingresso ed in uscita, o se sul mezzo non è avvenuto alcuno scambio. A completare un sistema WIM, oltre ad i sensori capaci di valutare il carico totale, il carico per asse e la distanza tra assi, vi sono:

- Sensori di prossimità, in grado di misurare flussi, distanza tra veicoli, velocità di transito e lunghezza di quest'ultimi;
- CPU che elaborano e gestiscono le informazioni provenienti dai sensori;
- Software dedicati all'analisi e all'elaborazione dei dati raccolti;
- Unità per l'alimentazione che possono essere a batterie, ad energia elettrica o energia solare;
- Sistemi di comunicazione tra le varie stazioni contenenti i sensori, la quale può avvenire via modem, GSM o GPRS.

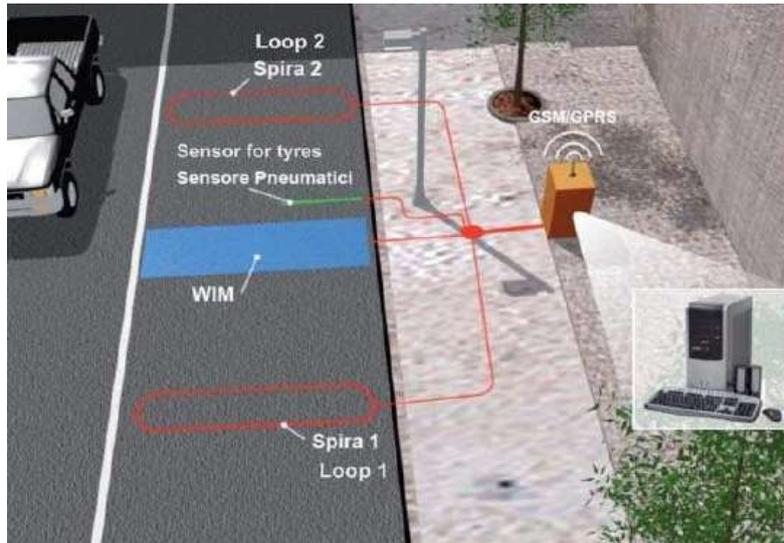


Figura 16. Esempio stazione di rilevamento WIM (Pinna, Dalla Chiara, Deflorio)

3. Gruppo Torinese Trasporti S.p.A.

La tesi svolta è avvenuta, come già citato nei capitoli precedenti, presso l'azienda di trasporto pubblico torinese. Il Gruppo Torinese Trasporti, più comunemente chiamato GTT, rappresenta un'azienda pubblica costituita in forma di società per azioni, il cui capitale è detenuto in toto o in parte, direttamente o indirettamente, dall'Ente pubblico che affida alla società attività strumentali o di produzione. Tale forma fa definire la società come in house, e permette una migliore organizzazione dell'Ente nell'erogazione dei servizi pubblici, in questo caso il trasporto pubblico. La società ad oggi, è infatti controllata nella sua totalità delle quote azionarie da FCT Holding S.r.l., la quale a sua volta, è controllata dal Comune di Torino.

3.1. Cenni storici sul trasporto pubblico torinese

Il trasporto pubblico nell'area torinese ha origine il 28 novembre 1906, quando il Consiglio Comunale deliberò il riscatto della rete tranviaria della Società Elettricità Alta Italia e la municipalizzazione del servizio con la costituzione dell'Azienda Tranvie Municipali (ATM), nel corso degli anni cambierà il nome ma non l'acronimo, diventando Azienda Torinese per la Mobilità. Nel corso degli anni, in particolar modo a seguito del decreto Burlando, descritto nel primo capitolo, la società cambierà stato giuridico, passando da municipalizzata ad Azienda Speciale, fino a diventare un'odierna Società per Azioni. La storia dell'azienda GTT S.p.a. nasce nel 2003 dalla fusione dell'Azienda Torinese per la Mobilità e della Società per Azioni Torinese Trasporti Intercomunali (SATTI), le quali costituivano il consorzio Torinese Trasporti, ed entrambe già controllate interamente dal Comune di Torino.

La storia societaria, unita alla costante ricerca di sviluppo, rendono l'azienda una delle più grandi del settore italiano. Come descritto precedentemente, fin dalla sua nascita vi erano degli accenni di intermodalità, come il trasporto cittadino, il quale in origine avveniva con tram a cavallo, uniti alla rete tranviaria a cremagliera Sassi-Superga, la quale è tuttora in funzione. Arrivata oggi a soddisfare il bisogno di mobilità di circa 200 milioni di passeggeri

all'anno, aumentando nel corso degli anni l'intermodalità dell'offerta, la quale oggi comprende:

- Trasporto metropolitano automatico con:
 - linea 1 in funzione dal 2006 ed ancora oggi in fase di espansione del tratto, sono previste nel prossimo anno le inaugurazioni delle fermate "Italia '61 – Regione Piemonte" e "Piazza Bengasi" che allungheranno la linea in direzione Lingotto, mentre dal lato opposto sono già state definite ulteriori quattro fermate, alcune in stato avanzato;
 - linea 2, approvata nel 2009 da parte della Regione Piemonte, con i primi scavi previsti nel 2024;
- Trasporto di linea urbano e suburbano di superficie;
- Trasporto su autolinee urbane di Ivrea ed extraurbane regionali;
- Trasporto su ferrovia (linee SFMA – Torino Ceres e SFM1 – Canavesana; tratta Torino Porta Susa – Trofarello – Chieri in sub affidamento da Trenitalia).
- Tranvia a cremagliera Sassi – Superga

Oltre alle varie forme di trasporto, alla società sono affidate:

- 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;
 - tram ristorante;
 - linea tranviaria storica, alcuni tram storici, una volta restaurati sono stati messi in funzione per un trasporto non di tipo urbano ma prettamente turistico;
 - 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.



Figura 17. Fine '800, primi tram a Torino, piazza Vittorio Veneto (Archivio GTT)

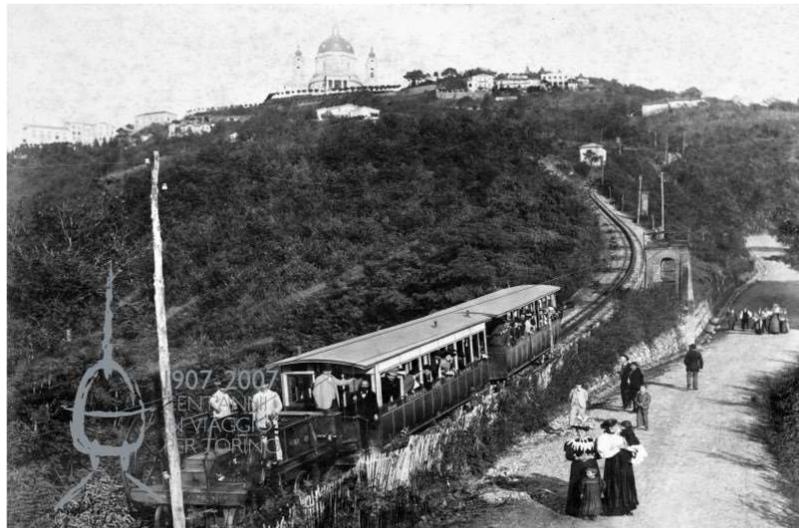


Figura 18. Fine '800, la funicolare Sassi-Superga (Brogi, Archivio Storico della Città di Torino)



Figura 19. 1928, Via Sacchi: inaugurazione della linea intercomunale elettrificata Torino-Orbassano (Archivio GTT)

3.2. Controlli e partecipazioni aziendali

Essendo una società pubblica, sul proprio sito troviamo tutte le informazioni riguardanti le società controllate direttamente, ossia società nelle quali il Gruppo possiede la totalità delle quote, o società partecipatarie, ossia società nelle quali le quote appartengono a più gruppi societari.

In particolare, mediante dati aggiornati al 28/08/2020, le società controllate sono:

- CA.NOVA SpA;
- MECCANICA MORETTA Srl, la quale è però in liquidazione.

Mentre, quelle in cui vi è una partecipazione societaria sono le seguenti, con in parentesi riportata la percentuale di partecipazione:

- EXTRA.TO Scarl (38.05%);
- BUS COMPANY Srl (30%);
- NOS NORD OVEST SERVIZI SpA (15%);
- TPL LINEA Srl (12.24%);
- SCAT - SOCIETÀ CONSORTILE ALESSANDRINA TRASPORTI a r.l. (5.84%);
- TURISMO TORINO E PROVINCIA Scarl (0.2994%);
- ATC ESERCIZIO SpA (0.10%);
- APAM ESERCIZIO SpA (una sola azione pari a €0.49);

Fin da 1982, come prima azienda italiana operante nel trasporto pubblico, e tra le prime in Europa, il Gruppo Trasporti Torinese ha intravisto tra i primi studi provenienti da Stati Uniti e Giappone l'importanza degli ITS. Infatti, a partire da tale anno la flotta in possesso all'azienda possiede un sistema mediante il quale è possibile controllare in tempo reale posizione e cambiamento di quest'ultima nel tempo, che ancora oggi, con le dovute evoluzioni, costituisce uno strumento essenziale per studi come quello svolto in questa tesi, denominato AVM (Advanced Vehicle Monitoring). In concomitanza all'introduzione dell'AVM, vi è la nascita del Consorzio SIS, acronimo di Sistema Informativo del Servizio, avvenuto mediante una collaborazione tra due aziende allora leader nei propri settori, ossia

tra l'Italtel (settore telecomunicazioni) e MIZAR (settore informatico). Il Consorzio SIS nel corso degli anni è divenuto prima Consorzio 5T, dove le cinque T stanno per Tecnologie Telematiche Trasporti Traffico Torino. Da questo consorzio, vi è la nascita nel 2001 di una società denominata 5T, su mandato della Città di Torino, la cui quota di partecipazione societaria in possesso del Gruppo Trasporti Torinese al momento della sua istituzione era del 66.6%, divenendo una società controllata nel 2008, a seguito della cessione delle quote detenute in 5T da soggetti privati a favore della società GTT. Nel corso degli scorsi anni la società è divenuta una in house, con quote di partecipazione cedute da GTT a Città di Torino, Regione Piemonte e Città Metropolitana di Torino, fino ad arrivare ad oggi a non possedere più quote.

3.3. Agenzia della Mobilità Piemontese

Con la prima Legge Regionale emanata nel 2015 dalla Regione Piemonte (L.R. n°1/2015 del 27/01/2015), vi è la sostituzione dell'Agenzia della Mobilità Metropolitana e Regionale con l'Agenzia della Mobilità Piemontese (AMP), la quale possiede il compito di programmazione il trasporto pubblico dell'intera regione Piemonte. L'AMP svolge tale ruolo per 31 comuni dell'Area Metropolitana Torinese, in cui il Comune di Torino rappresenta il capoluogo e si estende per una superficie pari a 130 km² e comprendendo una popolazione di circa 870 milioni abitanti (dati aggiornati al 31/05/2020). L'Area Metropolitana Torinese è un'area facente parte della Città Metropolitana di Torino, Ente territoriale di area vasta che, a partire dal 2015, ha sostituito la Provincia di Torino, e la quale rappresenta il più grande Ente di area vasta italiano, con 312 comuni. La presenza all'interno dell'AMP di 31 comuni, rispetto ai 312 della Città Metropolitana di Torino, indica come l'AMP programmi il trasporto nel comune di Torino e nei comuni limitrofi, i quali costituiscono la sua cintura.

Il ruolo svolto dall'AMP è, dunque, quello di fornire ai comuni dell'Area Metropolitana una rete di trasporti che sia il più possibile ottimale, andando a pianificare i servizi di trasporto in modo tale da rendere efficiente, non solo all'interno dei singoli comuni, il trasporto pubblico.



Figura 20. Comuni dell'Area Metropolitana Torinese

Valutata attentamente la domanda di trasporto all'interno dell'Area, vengono pianificati efficacemente i trasporti in ambito urbano ed extraurbano, sia nelle ore diurne (fascia 6-21), sia nelle ore notturne dove logicamente si avrà meno richiesta, andando ad assegnare tra le varie tipologie di mezzi a disposizione quella più confacente all'esigenza di domanda. Infatti, il parco mezzi a disposizione del Gruppo Trasporti Torinese è composto da circa 1050 mezzi, di cui circa 700 dedite alle 88 linee urbane e suburbane (ai quali nella prossima primavera si andranno a sommare altri 50 bus elettrici per i quali è in fase di assegnazione il bando di gara), le cui grandezze variano tra autobus 10 metri a 2 porte, 12 metri a 3 porte ed autosnodati da 18 metri e 4 porte, quest'ultimi assegnati a linee principali le quali hanno domande di trasporto elevate. È giusto ricordare che il trasporto urbano, oltre che dalle 88 linee svolte dagli autobus, è completato con 8 linee tranviarie. La differenza della flotta autobus, circa 300, è assegnata alle 70 linee di trasporto extraurbano, svolto solitamente da autobus da 12 metri a 3 porte, la cui gestione, a partire dal 2010, è affidata alla società Extra.To. Bisogna, inoltre, prevedere un parco mezzi adeguatamente ampio a soddisfare,

oltre che le corse programmate, eventuali problemi che possono sorgere quotidianamente senza andare a modificare la regolarità del trasporto pubblico.



Figura 21. BYD K7 da circa 9 metri e 2 porte. (Bizzi - www.tplitalia.it)



Figura 212. Mercedes-Benz Conecto da 12 metri e 3 porte



Figura 22. Irisbus Citelis da 18 metri a 4 porte

3.4. Tecnologie ITS utilizzate dal Gruppo Trasporti Torinese

Come appena descritto nel paragrafo 3.2, la comprensione dei vantaggi che i sistemi ITS avrebbero portato sia agli utenti sia all'azienda in fase di programmazione e acquisizione dei dati di traffico ha portato alla nascita del software SIS-Sistema Informativo del Servizio basato sull'informazioni acquisite dagli AVM integrati in ogni vettura. La creazione del software SIS è stata affidata fin dall'inizio ad una delle migliori aziende sul panorama italiano dal punto di vista informatico, ossia alla MIZAR, che nel 2010 diviene SWARCO-MIZAR a seguito dell'unione tra le due società.

Il SIS nel corso degli anni si è evoluto ma presenta ancora gli aspetti base introdotti fin della prima versione del software creato da MIZAR. Già nella sua prima versione, infatti, troviamo quelli che ancora adesso costituiscono i concetti cardine per definire una rete stradale dal punto di vista della pianificazione dei trasporti, ossia la definizione di archi e nodi. Mediante archi e nodi si andavano a creare i percorsi effettuati dalle varie linee, i quali venivano inseriti da remoto su un supporto chiamato tabellotto posto all'interno di ogni vettura. Grazie al tabellotto, era possibile per l'autista inserire le proprie credenziali, associando il mezzo, la linea ed il turno effettuato.

Contestualmente, avveniva la localizzazione del veicolo da parte del sistema AVM, resa possibile grazie all'odometro, uno strumento basato sul principio dei contagiri ed in grado di misurare la lunghezza del percorso svolto da un veicolo. L'odometro una volta calcolati i dati circa il percorso svolto, li inviava alla centrale operativa mediante un ponte radio a

due ripetitori. Attraverso i dati provenienti da tale strumento era possibile effettuare un confronto ed una verifica tra i due sistemi, infatti, grazie ad un elaboratore di bordo, in fase di esercizio, ossia durante la percorrenza di una linea, si valutava la corrispondenza tra le sequenze degli archi che la vettura stava percorrendo e quelle salvate sul tabellone e, qualora non vi fosse una corrispondenza tra le due, avveniva una perdita di localizzazione del mezzo da parte della centrale. Adesso, il tabellone è sostituito con un monitor touch screen a LCD, attraverso il quale avviene la qualifica del conducente all'inizio del servizio, riportando oltre al proprio identificativo, quello del mezzo, della linea percorsa e del turno effettuato. Qualora non si riuscisse ad effettuare l'identificazione, non si avrà collegamento tra autobus e centrale operativa, è come se l'autobus viaggiasse isolato, senza conoscenza della sua posizione in tempo reale.

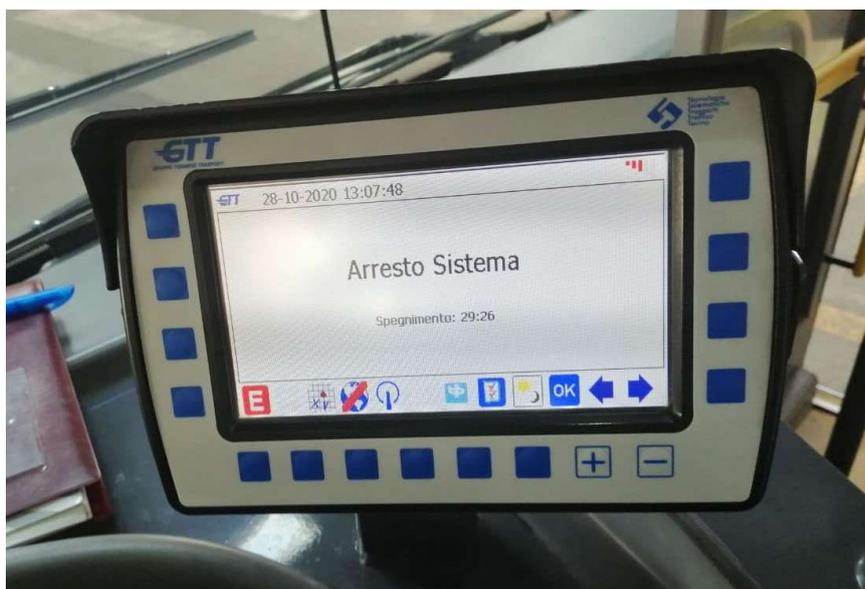


Figura 24. Schermo LCD che ha sostituito il vecchio tabellone

Il servizio di localizzazione avviene grazie alle più moderne tecniche di GPS satellitare, il quale ha come supporto di verifica sempre un odometro, oltre che da un giroscopio, i quali sono gestiti dal computer di bordo. La comunicazione tra mezzo e centrale operativa avviene mediante una rete GSM/GPRS in cui oltre al trasferimento dei dati, è possibile lo scambio di comunicazioni verbali. In caso di emergenza, inoltre, esiste un pulsante che una volta azionato mette in comunicazione il mezzo in maniera unidirezionale con la centrale, permettendo di ascoltare le cose che vengono dette sul mezzo. Oltre a tale comando, vi è un

ulteriore che permette di collegarsi direttamente con le forze dell'ordine o con il soccorso al fine di intervenire tempestivamente in caso di problemi di sicurezza o malore di passeggeri o autista, anche a seguito di incidenti.

Con la modernizzazione dei sistemi operativi utilizzati al centro di controllo, la cui sede è in Via Nizza in un palazzo adiacente al depositivo GTT-Nizza, si è verificato un problema tecnico, ovvero che il sistema AVM risultava obsoleto per le versioni dei sistemi operativi Windows successive alla versione XP. A partire dal 2014 è stato necessario dunque evolvere il sistema AVM introducendo una nuova versione denominata SIS-Evo, la quale dopo due anni di progettazione è stata introdotta su alcuni mezzi in fase sperimentale, portando ad un totale passaggio dal vecchio SIS all'odierno SIS-Evo avvenuto solamente di recente. I dati forniti dal SIS nel corso degli anni si sono evoluti anch'essi con l'evolversi della tecnologia, non come tipologia di dati, ma come applicazione degli stessi, infatti, oggi non vengono utilizzati per molteplici applicazioni, che al momento dell'introduzione del servizio non erano neanche pensabili, rendendo il sistema anche interoperabile con i vari programmi aziendali grazie all'applicativo web FlashNet, il quale mostra su gli altri programmi utilizzati in azienda che richiedono le informazioni provenienti dal SIS-Evo l'interfaccia grafica di quest'ultimo.

3.4.1. Switch di bordo

È chiaro che il dialogo tra gli apparati deve essere garantito attraverso una rete di bordo affidabile, che non perda informazioni e soprattutto che permetta il dialogo tra i vari sistemi. Tale compito è affidato ad uno switch di bordo, presente sulla maggior parte degli autobus appartenenti alla flotta aziendale. Si hanno due diverse tipologie di switch:

- Tradizionali, i quali utilizzano la rete LAN per le comunicazioni e i dispositivi collegati ad essi sono alimentati a 24V.
- PoE (Power over Ethernet) 10, sono degli switch di nuova generazione, i quali utilizzano i cavi Ethernet sia per le comunicazioni che per l'alimentazione, andando ad avere un minor numero di cavi necessari.

Ad ogni dispositivo collegato è assegnato un indirizzo IP, acronimo di Internet Protocol, il quale lo rende indentificabile sulla rete locale di cui fa parte, la quale può possedere un massimo di 254 apparati interconnessi tra loro.

Il protocollo di trasmissione dei dati è di tipo User Datagram Protocol UDP9/IP, un protocollo di tipo connectionless che non gestisce il riordinamento dei pacchetti né la ritrasmissione di quelli persi, e per tali motivi non è considerato tra i più affidabili. L'UDP9/IP viene scelto però qualora si richieda come requisito la rapidità e la trasmissione di definite leggere o time-sensitive, ossia invio di dati con invio temporizzati, oppure ad evento in modalità push su indirizzamento broadcast o multicast configurabile.

Per una schematizzazione grafica della schermata di rete si riporta la figura sottostante, in cui è possibile visualizzare gli apparati connessi con i relativi indirizzi IP.

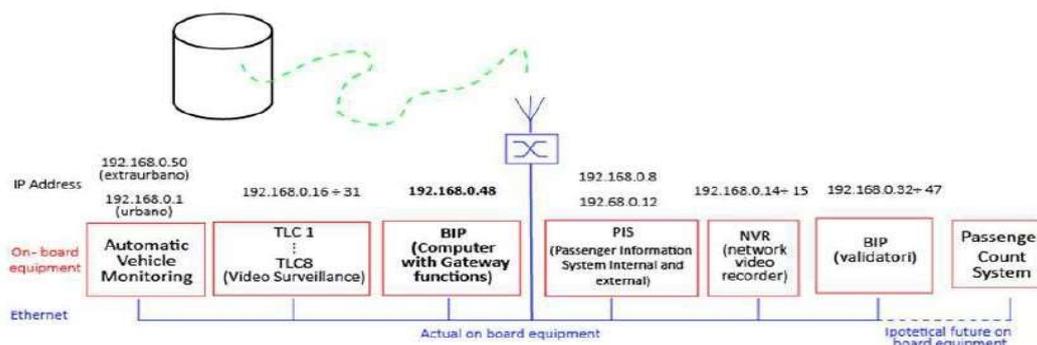


Figura 23. Schema di rete con relativi dispositivi connessi (Toccaceli, 2018)

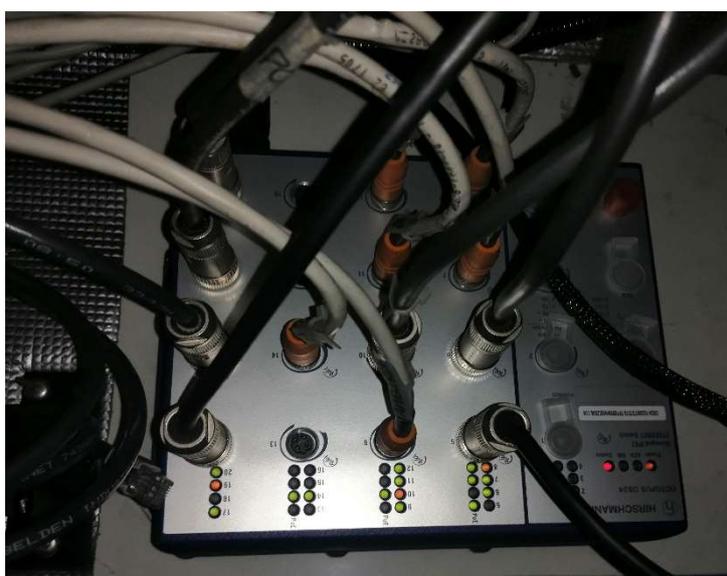


Figura 26. Switch presente sulla vettura utilizzata per lo studio.

3.4.2. Sistema AVM

Come si evince da quanto appena scritto, un sistema AVM, per essere completo, deve essere svolgere due funzioni, la prima quella di acquisizione dei dati riguardanti la posizione e la velocità del veicolo, la quale è effettuata grazie alla presenza di odometri e strumentazione satellitare GPS a bordo mezzo. La seconda funzione, fondamentale per la conoscenza dei dati acquisiti, è la trasmissione di quest'ultimi.

Per ogni mezzo, infatti, vi sono a disposizione 2 antenne dedite solamente alla trasmissione dei dati alla centrale operativa, le quali sfruttano il protocollo GPRS. Vi sono inoltre altre 2 antenne che svolgono ruoli diversi, la prima, un'antenna GPS risulta necessaria per il monitoraggio e la conoscenza della posizione del mezzo, l'ultima invece, è un antenna WI-FI che permette un collegamento più veloce tra mezzo e dispositivo collegabile, ad esempio per lo scarico stesso dei dati.

Un dispositivo AVM possiede al suo interno un computer con un sistema operativo CE 4.0 oltre a due modem integrati, i quali sfruttano lo stesso protocollo utilizzato per la trasmissione dati, ossia GPRS. I modem vengono utilizzati sia per il traffico dati sia per le comunicazioni vocali che avvengono tra mezzo e centrale operativa. L'AVM, inoltre, è collegato a sensori di apertura porte e di accensione del veicolo, infatti entra in funzione all'accensione del mezzo ma non si spegne all'istante di spegnimento, poiché vi è una batteria che lo tiene acceso per altri 30 minuti dallo spegnimento del mezzo. Per la connessione tra il sistema AVM e gli altri apparati di bordo avviene mediante l'utilizzo di un router di bordo, il quale presenta un collegamento alla rete di tipo LAN.

I dati di localizzazione provenienti dal GPS sono forniti nel formato WGS84, e vengono successivamente trasformati in coordinate cartesiane le cui origini sono coincidenti con la posizione di Piazza Castello a Torino. 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.

Come verrà descritto nel capitolo successivo, l'AVM, comunica con gli altri sistemi presenti sul mezzo mediante lo switch di bordo, con i dati contenuti in pacchetti IP. I pacchetti IP saranno inviati al sistema di controllo con due strutture differenti a seconda che gli autobus percorrano linee urbane o extraurbane. Per gli urbani la struttura di invio è definita dal protocollo proprietario INFO_NET, mentre per gli extraurbani la struttura utilizzata è in gran parte simile, ma si differenzia in alcuni, per cui il protocollo è denominato INFO_NET2.

La differenza tra i pacchetti è contenuta in alcune informazioni trasmesse. I pacchetti hanno però in comune, oltre che la maggior parte delle informazioni, la lunghezza dell'header ed è di 11 byte, la quale identifica la tipologia del dato trasmesso. Le informazioni presenti nel pacchetto sono contenute nel payload, i quali sono inviati con una frequenza di 1Hz.

3.4.2.1. Protocollo di comunicazione INFO NET

Dalla documentazione fornita da 5T, denominata "Linee guida rete veicolare di bordo e protocollo scambio dati flotte GTT ed EXTRATO", è possibile andare a descrivere in maniera efficace i due protocolli. Partendo dal protocollo utilizzato dagli autobus urbani, ossia INFO_NET, che presenta un header del pacchetto con struttura:

Tabella 5. Struttura dell'header dei pacchetti INFO_NET

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

Successivamente è tabellato il contenuto del payload, avente lunghezza di 60 byte, partendo dall'offset 17.

Tabella 6. Payload del pacchetto INFO_NET.

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

I restanti byte, fino ad arrivare alla lunghezza totale di 60 sono destinati a future implementazioni. Mediante a tali pacchetti, come si evince dalla tabella, è possibile andare ad individuare una serie di informazioni utili per l'analisi dei dati:

- Orario di emissione del pacchetto corrispondente ai secondi a partire dal 1° Gennaio 1970 secondo fuso orario ed ora legali, presumendo che l'orologio di bordo sia mantenuto sincronizzato con il segnale GPS;
- Doors, che segnala lo stato delle porte del mezzo, ovvero se esse sono aperte (valore = 1) o chiuse (valore = 0);
- Fix indica la validità della localizzazione GPS, ed è un booleano, ovvero indica valore 0 se il dato di localizzazione non è valido e 1 qualora lo sia;
- Latitude e longitude rappresentano le coordinate di posizione del veicolo e sono espresse in gradi decimali N/E secondo il sistema WGS84. È chiaro come tali dati siano forniti soltanto quando la localizzazione è valida, ovvero per Fix = 1;
- Speed è ancora oggetto di implementazione, poiché fornisce la velocità istantanea in km/h, ma non fornisce un valore sempre pari a 0 o 255, valore che indica un dato non disponibile;

- Loc è espresso con un valore da 1 a 4 indicante lo stato di localizzazione elaborato dall'AVM;
- Line indica il codice della linea nella quale il mezzo sta effettuando il suo servizio;
- Shift è una stinga che permette di associare il mezzo che percorre la linea anche al turno effettuato;
- Dest rappresenta il codice della fermata capolinea per la tratta effettuata;
- Il valore presente nel Current, indica la fermata servita dal mezzo;
- Next, invece, il valore della fermata successiva al current;
- Area è espresso da valori compresi tra -1 e 4, i quali indicano se il mezzo si trova nell'intorno di una fermata. Ogni valore indica una particolare condizione;
- Vehicle indica l'ID del veicolo, coincidente con la matricola data dall'azienda al veicolo;
- Direction indica se il percorso effettuato sia di andata o di ritorno dal capolinea principale;
- Driver mostra il codice ID associato a ciascun autista.

È possibile mostrare di seguito un esempio del pacchetto INFO_BUS trasmesso dal sistema AVM, con i dati in formato esadecimale, secondo una modalità di trasmissione LSB (Least Significant Byte), una memorizzazione di tipo informatico che parte dal byte meno significativo fino ad arrivare al più significativo. Per convertire un dato memorizzato in LSB occorre dunque preliminarmente capovolgere i byte dall'ultimo fino ad arrivare al primo.

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...Bs.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 00	7 .1632
0060	00 00 00 00 00 00 31 38 39 31 00 00 00 00 00 0018 91.....
0070	c0 0a 52 b4 cd 0f 00	..R....



Figura 27. Contenuto del pacchetto IP trasmesso dal protocollo INFO_NET. (Trancuccio, 2018)

3.4.2.2. Protocollo di comunicazione INFO NET 2

Sempre su “Linee guida rete veicolare di bordo e protocollo scambio dati flotte GTT ed EXTRATO” possiamo andare a vedere la descrizione per quanto riguarda le linee gestite da Extra.To, ossia linee extraurbane che utilizzano un protocollo di comunicazione INFO_NET2, il quale presenta un header del tipo:

Tabella 7. Struttura dell'header dei pacchetti INFO_NET2

4E	h	I	N	F	O	_	N	E	T	2	\0	
----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	--

Il pacchetto fornito dall'INFO_NET2 ha una lunghezza di 84 byte, dunque di 24 byte maggiore rispetto al protocollo utilizzato dagli autobus urbani, come mostra il payload descritto di seguito, partendo dall'offset 17

Tabella 8. Payload del pacchetto INFO_NET2

Campo	Tipo	bit	Offset	Descrizione
Datetime	unsigned long	32	17	Data e ora in secondi dal 1/1/1970
Doors	byte	8	21	Stato porte
Fix	byte	8	22	Validità posizione GPS
Latitude	float	32	23	Latitudine
Longitude	float	32	27	Longitudine
Speed	unsigned char	8	31	Velocità in km/h
Loc	byte	8	32	Stato localizzazione
Line	char (7)	-	33	Codice linea (max 6 caratteri + null)
Shift	char (7)	-	40	Turno veicolare (max 6 car + null)
Dest	char (9)	-	47	Codice fermata capolinea (max 8 car + null)
Current	char (9)	-	56	Codice fermata corrente (max 8 car + null)
Next	char (9)	-	65	Codice prossima fermata (max 8 car + null)
Area	byte	8	74	Stato area di fermata
Vehicle	unsigned short	16	75	ID veicolo
Direction	char	8	77	Andata "A"/Ritorno "R"
Driver	unsigned long	32	78	Identificativo autista
Company	char (4)	-	82	Codice vettore (max 3 car + null)
AVM	char (5)	-	86	Codice AVM (max 2 car + null)
Status	byte	8	89	Stato di esercizio del veicolo
Timing	short	16	90	Tempo alla partenza / anticipo / ritardo
Trip	char (9)	-	92	Codice corsa (max 8 car + null)

In tale payload si nota come i campi "Line" e "Shift" abbiano una lunghezza in caratteri maggiore rispetto al protocollo precedentemente descritto, oltre alla presenza di ulteriori cinque campi utilizzati solamente con il protocollo INFO_NET2, in particolare troviamo:

- Company, il quale rappresenta il codice dell'azienda proprietaria del mezzo, per conoscere ogni valore a quale compagnia corrisponde si rimanda alla documentazione;
- AVM, che fornisce un codice in base alla tipologia di sistema Advanced Vehicle Monitoring montato sul mezzo;
- Lo Status indica lo stato (in linea, capolinea, ecc.) del mezzo all'istante dato dal Datatime;
- Timing, che permette di conoscere il tempo in secondi di un eventuale anticipo o ritardo, qualora il sistema AVM lo supporti;
- Trip, infine, indica il codice della corsa effettuata dal mezzo. Tale campo rappresenta la differenza principale tra i due protocolli, derivante dalla differente gestione dei turni, poiché in ambito urbano si utilizzano i turni macchina, mentre in ambito extraurbano le corse.

3.4.3. Sistema BIP – Biglietto Integrato Piemonte

Il Biglietto Integrato Piemonte rappresenta una smart card utilizzabile su tutta la rete del Gruppo Torinese Trasporti, all'interno della quale è possibile caricare diverse tipologie di abbonamento, differenti sia per la zona nelle quali possono essere utilizzati, sia per la durata degli stessi, in modo tale da ottenere una bigliettazione intelligente. Insieme alla tessera intelligente, sono stati introdotti su tutti i veicoli della flotta del gruppo (dunque autobus e tram urbani ed extraurbani, ma anche all'ingresso della metropolitana) dei dispositivi, come quelli mostrati in figura 7, che sfruttano tecnologia contact-less per la lettura del biglietto elettronico.

A partire da maggio 2018 per scelta aziendale, è cambiato il sistema di bigliettazione urbana. È infatti avvenuta la sostituzione di qualsiasi forma di biglietto cartaceo con biglietti aventi

tecnologia cip on paper oppure con titoli caricabili su tessera BIP come quelle illustrate di seguito.



Figura 28. Tessere BIP utilizzate da GTT (www.gtt.to.it)

La validazione del biglietto avviene in maniera differente a seconda del servizio svolto dal mezzo, infatti, per i mezzi urbani, è consentita la salita e la discesa dei passeggeri in tutte le porte del mezzo, con l'obbligo, a partire da maggio 2017 di validare il titolo di viaggio in modo tale sia da contrastare l'evasione, sia di ottenere informazioni utili sui flussi di traffico. I dati ottenuti dal 2018 non sono però incoraggianti, in quanto la popolazione non ha ben recepito tale strumento, convalidando poche volte il biglietto anche quando lo ha veramente acquistato, non aiutando così la comprensione della domanda.

Per quanto riguarda il servizio extraurbano, invece, la salita passeggeri è consentita solamente dalla porta anteriore, con obbligo di validazione all'ingresso e possibilità di acquisto del titolo di viaggio anche a bordo mezzo qualora si fosse sprovvisti. In quest'ultimo caso è lo stesso autista a provvedere alla vendita del biglietto.

Mediante le tessere BIP è inoltre possibile possedere in un'unica smart card, oltre che qualsiasi tipo di titolo di viaggio acquistabili online o nei punti vendita GTT, anche abbonamenti di altri modi di trasporto, come il bike o car sharing, avendo come scopo quello dell'utilizzo di un sistema coordinato di trasporti, facilitando il cosiddetto trasporto multimodale.

All'interno del Piemonte vi sono circa 100 aziende di trasporto pubblico, ed è stata direttamente la Regione a definire l'architettura di trasmissione dei dati derivanti dalla validazione elettronica dei titoli di viaggio.

Durante l'esercizio i singoli dati (con le relative informazioni come orario, vettura e linea) rilevati dagli apparecchi di validazione vengono raccolti in un computer di bordo di cui ogni mezzo è dotato, tale computer viene chiamato Unità di Bordo (UB). A fine turno, quando l'autobus rientra in deposito, avviene l'invio dei dati immagazzinati durante la giornata al database del Centro Controllo Aziendale (CCA) tramite Wi-Fi. In questo modo è possibile valutare la domanda di trasporto sulla base delle validazioni del titolo di viaggio avvenute durante la singola giornata. Fino al CCA i dati sono ancora all'interno dell'azienda, ma è opportuno che essi vengano inviati ad organi regionali come il Centro Servizi Regionale (CSR) che ha il ruolo di raccogliere tutti i dati provenienti dai singoli CCA ed inviarli all'Agenzia della Mobilità Piemontese.

Di seguito è presente un'illustrazione (presente nella tesi di Toccaceli) nella quale si nota graficamente quanto appena descritto.

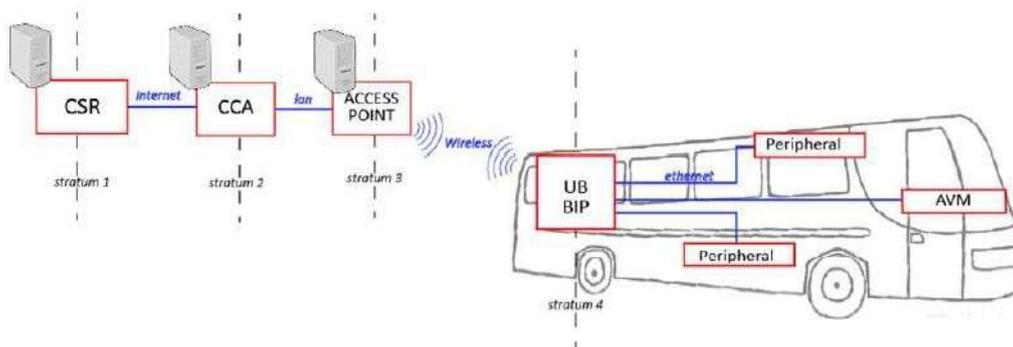


Figura 29. Architettura per la trasmissione dati dall'UB ai CCA e CSR (Toccaceli, 2018)

La trasmissione dal sistema di validazione all'UB vengono utilizzati due protocolli denominati INFO_BIP ed INFO_BIP2, di cui il secondo rappresenta un'estensione del primo dopo il 73esimo byte.

3.4.3.1. Protocollo di comunicazione INFO BIP

Tabella 9. Header del pacchetto INFO_BIP

49 h	I	N	F	O	_	B	I	P	\0	
------	---	---	---	---	---	---	---	---	----	--

Il protocollo presenta una struttura simile a quelli di trasmissione dati dell'AVM, anche per una combinazione dei dati a posteriori. Proprio come i pacchetti dell'INFO_NET, i primi 11 byte sono destinati all'header, mentre le informazioni sono nel payload che segue.

Nel payload si hanno dei campi utili sia per ricevere le informazioni lette dai validatori, sia per effettuare una diagnostica sullo stato del sistema BIP.

Tabella 10. Payload del pacchetto INFO_BIP

Campo	Tipo	bit	Offset	Descrizione
Datetime	unsigned long	32	17	Data e ora in secondi dal 1/1/1970
ApplMode	unsigned char	8	21	Stato applicativo
ApplStatus	unsigned char	8	22	Stato diagnostico/codice errore
ServiceStatus	unsigned char	8	23	Stato servizio
CnvTotal	unsigned char	8	24	Numero totale di validatori a bordo
CnvServiceCount	unsigned char	8	25	Numero validatori in servizio e pronti
CnvStatus	unsigned short	16	26	Validatori funzionanti (bitmask)
LocalityType	unsigned char	8	28	Riservato per espansioni future (default=0)
LocalityValue	unsigned short	16	29	Località tariffaria (nullo se ServiceStatus=0)
MessageMode	unsigned char	8	31	Modo di utilizzo del campo MessageText
MessageText	char (32)	-	32	Messaggio di testo libero (max31+null)
Fix	Char	8	64	Validità posizione GPS rilevata dal BIP
Latitude	Float	32	65	Latitudine
Longitude	Float	32	69	Longitudine

Come per il protocollo INFO_NET, ogni campo ha il suo significato, in particolare:

- Datetime indica l'ora di riferimento del sistema di bigliettazione espressa in secondi a partire dal 1/1/1970 già corretta con fuso orario locale o ora legale, la quale è indicata anche sui validatori. Tale ora è la medesima del sistema AVM ma non è collegata, dunque in caso di anomalie, i due orari potrebbero non coincidere;
- Il campo ApplMode presenta diversi valori a seconda dello stato del sistema di bigliettazione. I valori assunti sono compresi da 0 a 9 e si rimanda alle "Linee guida

rete veicolare di bordo e protocollo di scambio dati flotte GTT ed EXTRATO” per la spiegazione di ciascun valore;

- ApplStatus presenta dei valori indicanti lo stato diagnostico del sistema. Il valore 0 indica l’assenza di problemi, mentre i valori 1, 2 e 3 mostrano un codice associato all’errore;
- ServiceStatus, come ApplStatus, mostra dei codici per indicare lo stato di servizio dell’applicazione di bigliettazione, con valori che variano da 0 a 3;
- Il campo CnvTotal indica il numero di validatori presenti sul mezzo;
- CvnStatus, invece, mostra quanti validatori, tra tutti quelli presenti sul mezzo sono effettivamente funzionanti. Tale campo funge da bitmask, permettendo di sfruttare la differenza tra dispositivi totali (CnvTotal) e quelli che realmente rilevano delle informazioni (CvnStatus), riuscendo sia a risparmiare spazio per la trasmissione dei dati, sia a ricavare mediante differenza, il numero dei dispositivi guasti;
- LocalityValue rappresenta un ID numerico della località tariffaria, ed è associato al ServiceStatus, infatti, se quest’ultimo vale 0, allora anche questo campo è nullo.
- Il campo MessageMode indica il modo di utilizzo del campo successivo, ovvero MessageText;
- MessageText è un messaggio di testo libero che deve essere considerato solo se il valore del campo precedente è 1;
- Gli ultimi tre campi, ovvero Fix, Latitude e Longitude riportano i dati di geolocalizzazione del sistema.

3.4.3.2. Protocollo di comunicazione INFO BIP2

Tabella 11. Header del pacchetto INFO_BIP2

D	1	h	I	N	F	O	_	B	I	P	2	\0	
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	--

Come detto in precedenza, tale pacchetto rappresenta solo un’estensione del pacchetto INFO_BIP, a partire dal primo byte disponibile, dopo i 72 già utilizzati dai campi precedentemente descritti.

Tabella 12. Payload del pacchetto INFO_BIP2

Campo	Tipo	bit	Offset	Descrizione
Datetime	unsigned long	32	17	Data e ora in secondi dal 1/1/1970
ApplMode	unsigned char	8	21	Stato applicativo
ApplStatus	unsigned char	8	22	Stato diagnostico/codice errore
ServiceStatus	unsigned char	8	23	Stato servizio
CnvTotal	unsigned char	8	24	Numero totale di validatori a bordo
CnvServiceCount	unsigned char	8	25	Numero validatori in servizio e pronti
CnvStatus	unsigned short	16	26	Validatori funzionanti (bitmask)
LocalityType	unsigned char	8	28	Riservato per espansioni future (default=0)
LocalityValue	unsigned short	16	29	Località tariffaria (nullo se ServiceStatus=0)
MessageMode	unsigned char	8	31	Modo di utilizzo del campo MessageText
MessageText	char (32)	-	32	Messaggio di testo libero (max31+null)
Fix	Char	8	64	Validità posizione GPS rilevata dal BIP
Latitude	Float	32	65	Latitudine
Longitude	Float	32	69	Longitudine
GpsSignalLevel	unsigned char	8	73	Livello del segnale GPS (0+10)
GprsSignalLevel	unsigned char	8	74	Livello del segnale GPRS (0+10)
WiFiSignalLevel	unsigned char	8	75	Livello del segnale Wireless Lan (0+10)
IPLinkStatus	unsigned char	8	76	Stato link IP corrente
LocalityCodeBip	unsigned int	32	77	Codice BIP della località
LocalityDescriptionBip	char (41)	-	81	Nome della località per esteso (max 40+null)
LineCodeBip	unsigned int	32	162	Codice BIP della linea
LineDescriptionBip	char (41)	-	166	Descrizione della linea BIP esteso (max 40+null)

A partire dal campo successivo a Latitude e Longitude, troviamo:

- Gps/Gprs/WiFi SignalLevel che riporta un valore compreso tra 0 e 10 del segnale rilevato per ciascun sistema;
- IPLinkStatus mostra lo stato della connessione IP con il relativo canale utilizzato. I valori accettati sono compresi tra 0 e 3;
- Il campo LocalityCodeBip riporta il codice della località derivato dalla codifica ISTAT. È codificato su 32 bit anche se è un intero a 24 bit, dunque i valori assumibili vanno da 1 a 16777215 (FFFFFFh);
- LocalityDescriptionBip mostra il nome esteso della località riportata dal LocalitCodeBip;
- LineCodeBip e LineDescriptionBip ripetono per la linea esattamente quanto fatto per la località nei due campi precedenti.

4. Strumentazione utilizzata

Sulla base di quanto detto nei capitoli precedenti, si può procedere con la descrizione di quanto utilizzato nello studio effettuato.

Lo scopo della tesi è quello di valutare su un ampio arco temporale, che comprenda forti differenze nelle variabili che possono influenzare i dati rilevati, dei parametri di regressione che permettano di effettuare in maniera automatica un conteggio affidabile del numero dei passeggeri presenti sul mezzo, partendo dalla pressione rilevata dei trasduttori di pressione posti sulle sospensioni pneumatiche del mezzo.

4.1. Veicolo utilizzato e linee effettuate

Lo studio parte da una preliminare analisi, effettuata nel 2018 dall'ing. Rossella Trancuccio, la quale ha confrontato nei primi giorni di applicazione, la precisione nel conteggio passeggeri avvenuto con tecniche di computer vision che utilizzano le telecamere di videosorveglianza presenti sul mezzo e i trasduttori di pressione installati per lo studio da lei svolto. Il mezzo utilizzato è quindi il medesimo dello studio di tesi effettuato nel 2018, ovvero un autobus di circa 12m ad alimentazione elettrica, con capacità delle batterie di 324 kWh, della società cinese Build Your Dreams (BYD) ed acquistato nel 2017 dal Gruppo Torinese Trasporti. L'ID della vettura, assegnato direttamente da GTT in fase d'acquisto, è il 33E, in cui la E indica l'alimentazione elettrica dello stesso. I veicoli elettrici, di cui è previsto l'acquisto di ulteriori vetture, allo stato attuale sono 20 per quanto riguarda veicoli BYD K9 da 12 metri, con l'ID che parte da 30E fino a 49E, ed ulteriori 8 veicoli BYD K7 di misura poco inferiore ai 9 metri. Di seguito è mostrato in figura l'autobus utilizzato per la sperimentazione, il giorno della presentazione della flotta elettrica.

La scheda tecnica del veicolo utilizzato per lo studio effettuato, mostrato nell'immagine seguente, è riportata all'allegato 1.



Figura 30. Veicolo 33E della BYD

Come mostrato in figura, il veicolo presenta 3 porte per la salita e discesa dei passeggeri, le cui due posteriori sono a scorrimento, mentre quella anteriore presenta apertura a rotazione. La capienza massima del veicolo è di 84 passeggeri, che scendono a 78 in caso di presenza di passeggeri in carrozzella. Data la pandemia durante la quale la tesi è stata effettuata, in cui si è reso necessario attuare un distanziamento sociale, la porta anteriore non è disponibile per la salita o discesa dei passeggeri per non consentire contatti tra passeggeri ed autista, mentre la salita è consentita solamente dalla porta posteriore e la discesa dalla porta centrale. Inoltre, nel corso dei mesi la capienza massima ha subito delle serie di limitazioni a seconda della fase e dello stato del contagio sul territorio.

Le linee svolte da questa tipologia di veicoli sono principalmente due operanti nel comune di Torino (linea 6 e linea 19) e due in quello di Settimo Torinese (SE1 e SE2). Di seguito troviamo i percorsi svolti da ciascuna di esse, in cui in blu è rappresentato il percorso di andata e in rosso il percorso di ritorno.

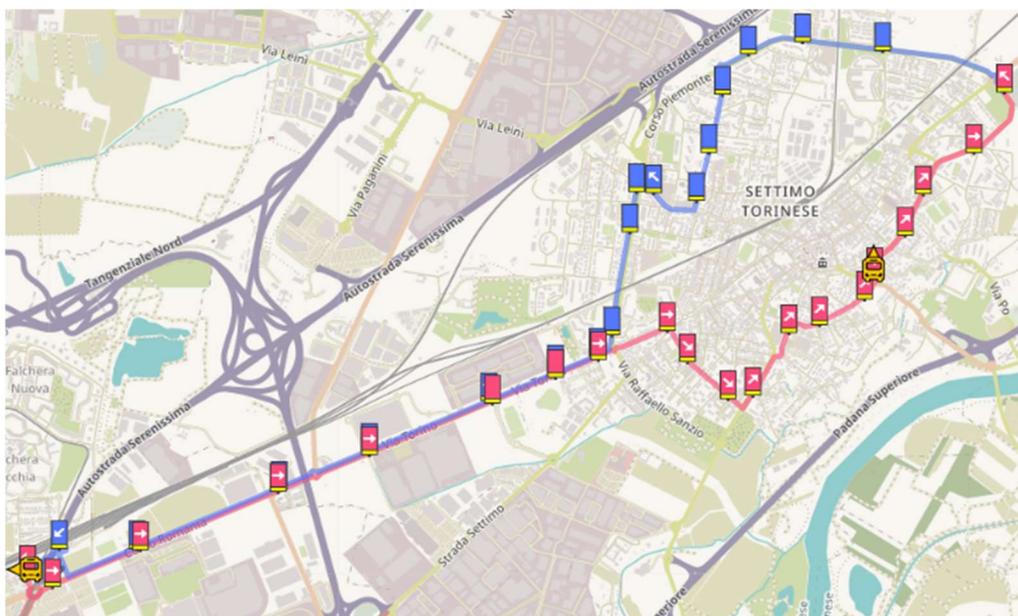


Figura 34. Percorso svolto dalla linea SE2. (<https://falco.5t.torino.it/>)

In particolare, le linee su cui sono stati effettuati conteggi manuali, sono state le linee 6 e 19. La linea 6, come si vede dalla figura 5, ha il capolinea in Piazza Carlo Felice, ovvero nella piazza antistante la stazione di Torino Porta Nuova e, nel suo percorso fatto di 15 fermate sia all'andata che al ritorno, passa nella centrale Via Accademia Albertina che interseca Via Po' all'altezza della Mole Antonelliana e della sede dell'Università di Torino di Palazzo Nuovo. Inoltre, prima di arrivare al capolinea di piazza Hermada, passa dal Campus Einaudi e dal deposito GTT Tortona. Si capisce dunque come la linea 6 sia una linea prettamente utilizzata da studenti, in quanto il capolinea è in un hub come la stazione di Torino Porta Nuova, da cui passano svariati treni regionali provenienti o diretti verso le città della cintura di Torino, la linea della metropolitana ed una serie di autobus che raggiungono in maniera capillare tutti i quartieri di Torino.

La linea 19, invece, ha come capolinea Corso Bolzano, ovvero l'altra principale stazione di Torino, Porta Susa. Durante il suo percorso composto da 18 fermate nel tratto di andata e 23 in quello di ritorno, sono principalmente 4 i luoghi di interesse per i quali tale linea passa, ovvero il mercato di Porta Palazzo, il Campus Einaudi (anche se la fermata è nella sponda opposta del Dora Riparia), il Cimitero Monumentale ed il Primo Liceo Artistico Statale. Data la varietà dei luoghi di interesse, frequentati da differenti tipologie di passeggeri, rende la

linea molto utilizzata, in particolar modo nelle prime ore della mattinata, in cui i passeggeri sono per lo più studenti e anziani.

Le linee SE1 ed SE2 sono linee circolari, operanti nel comune di Settimo Torinese, aventi gli stessi capolinea, ovvero Park Stura e Via Lombardia, ma il percorso è svolto in direzione opposta per le due linee, come si evince dai colori opposti delle figure 7 e 8.

4.2. Tecnologie presenti sull'autobus

Di seguito saranno illustrate tutte le tecnologie già presenti sul veicolo al momento dell'acquisto e grazie alle quali è stato possibile installare ed integrare i trasduttori di pressione, i quali rilevano le variazioni di pressione dell'aria inviata dalla centralina alle sospensioni pneumatiche del mezzo, riuscendo così a far rimanere in equilibrio il veicolo non facendo subire tale variazione ai passeggeri, ricavando dunque, un sistema basato sul carico complessivo presente sul veicolo.

4.2.1. Sistema CANbus

Il sistema Controller Area Network (CAN) è uno standard utilizzato per la prima volta nel 1983 dalla Bosch, che consente il trasferimento dei dati nei veicoli a motore. Mediante tale sistema, già presente nel mezzo utilizzato per lo studio effettuato, i vari apparati riescono ad interagire tra loro, senza l'ausilio di un computer. L'architettura del sistema può essere suddivisa in due livelli del modello ISO-OSI, ovvero Physical and Data Link Layers. Tale modello, dal 1983 ad oggi, costituisce uno standard per la progettazione di architetture logiche di una rete, divisa in sette livelli nel quale si hanno sia componenti hardware che software, partendo dall'inferiore, quello fisico, fino ad arrivare al più alto livello applicativo.

Dalla rete CANbus dunque si ricava il valore di pressione dell'aria rilevato dai trasduttori di pressione posti sulle sospensioni pneumatiche del mezzo, avendo così un sistema basato sul carico complessivo presente sul veicolo.

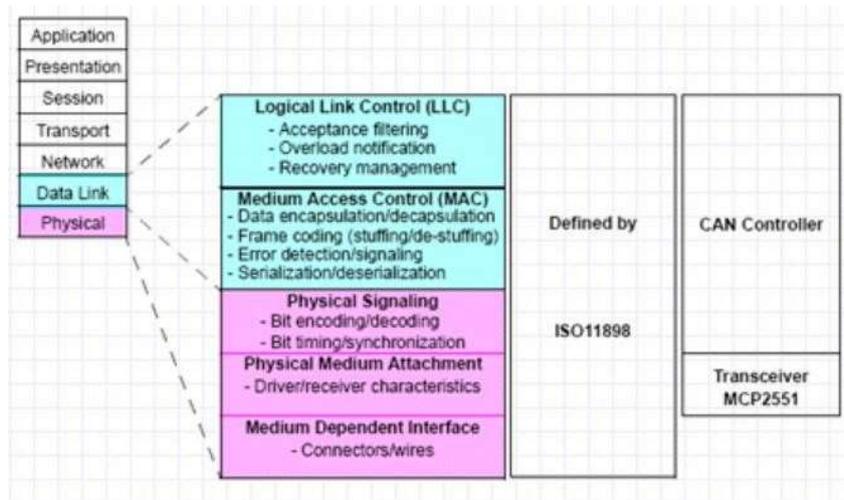


Figura 35. CAN modello ISO-OSI

Il CAN rappresenta in sintesi uno standard seriale per i bus per il collegamento di nodi costituiti da centraline elettroniche (ECU), i quali possono inviare e ricevere messaggi.

Un sistema CAN è composto da tre componenti:

- CAN Transceiver, grazie alla quale è possibile convertire il flusso dei dati dei vari livelli CANbus utilizzati dalla componente successiva;
- CAN Controller, tale componente spesso può essere integrata al microcontroller. Il controller riceve e memorizza i bit seriali dal bus fino a che non si forma un intero messaggio, il quale può essere trasferito alla componente successiva, ovvero il processore;
- CPU (Central Processing Unit), un microprocessor o host processor. Mediante al processore si riesce a codificare e comprendere il significato dei messaggi inviati dal controller, e dunque, quali messaggi ricevuti inviare. Al processore sono collegati i sensori, attuatori e dispositivi di controllo.

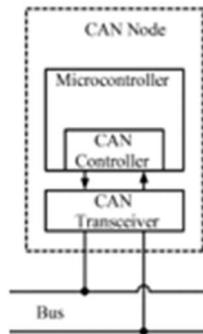


Figura 36. Architettura a nodi di una rete CANbus

Sulla rete CANbus, dunque, come si vedrà in seguito, con l'acquisizione dei pacchetti inviati dal sistema, viaggiano tutte le informazioni relative al motore, velocità di guida, consumo del carburante e, a seguito dell'installazione sul mezzo dei trasduttori di pressione, anche i dati provenienti da ogni singolo sensore posto sulle sospensioni pneumatiche del mezzo.

4.2.2. Circuito delle sospensioni pneumatiche ECAS

Le sospensioni pneumatiche sono di tipo Electronically Controlled Air Suspension (ECAS), il quale, grazie al controllo elettronico, permette di ricavare una serie di informazioni utili alla rilevazione dei dati necessari alle analisi effettuate nel corso dello studio.

Un sistema di tipo ECAS è costituito dai seguenti elementi:

- Sensori di distanza, i quali riescono a mantenere costante l'altezza del telaio del veicolo rispetto alla pavimentazione stradale;
- Unità di controllo ECAS (ECU);
- Elettrovalvole, le quali come definito nello stesso nome sono gestite in modo elettrico e dotate di un attuatore meccanico, utile a regolare la pressione all'interno dei soffietti;
- I soffietti appena citati;
- Interruttori presenti sul cruscotto del mezzo.

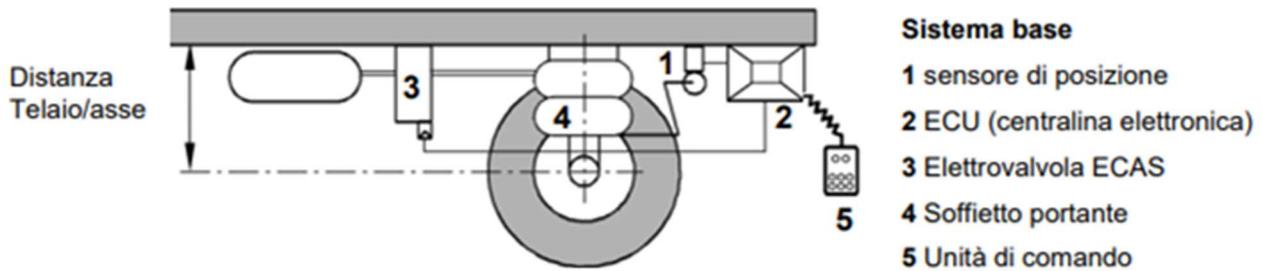


Figura 37. Componenti basi del sistema ECAS. (www.wabco-auto.com)

Le sospensioni di tipo pneumatico sono presenti sui veicoli pesanti, come gli autobus, a partire dagli anni '50, poiché presentano una serie di vantaggi se confrontate con le sospensioni in acciaio. Infatti, grazie a tale sistema si riscontrano una serie di benefici, come:

- Aumento del comfort dovuto alla minore velocità della molla a causa di una bassa frequenza naturale delle molle pneumatiche rispetto a quelle in acciaio;
- Altezza costante del veicolo, indipendentemente dal carico;
- Abbassamento di un solo lato delle molle per consentire in modo più agevole la salita o discesa dei passeggeri in fermata, tale funzione è detta inginocchiamento;
- Attivazione precisa dei freni dipendente grazie alla variazione della pressione dell'aria all'interno delle sospensioni.

Inizialmente, il sistema di controllo veniva progettato con semplici valvole di livellamento, funzionanti in modo meccanico, divenute in seguito elettromeccaniche. In questo modo si è riusciti ad ottenere un migliore funzionamento a livello di impianto, in modo particolare per quel che riguarda tutti quei processi di innalzamento e abbassamento del mezzo, portando ad un auto-livellamento complessivo.

Inoltre, con l'introduzione delle centraline elettroniche si è riusciti a ridurre il consumo dell'aria durante la fase di moto del veicolo che permettono un controllo più rapido grazie alla valvola avente grande sezione trasversale e di facile installazione poiché richiede una sola linea d'aria dall'elettrovalvola a ciascun soffietto e una per il serbatoio di stoccaggio, che garantisce una migliore sicurezza e funzionalità a livello diagnostico.

Tornando dunque alle componenti mostrate nella figura precedente, la ECU, ovvero la centralina elettronica rappresenta l'elemento base per il funzionamento del sistema. Essa si trova all'interno del bus ed è collegata ai singoli componenti tramite connessioni a spina.

Grazie al sensore di livello è possibile monitorare costantemente i cambiamenti nello spazio tra telaio e la pavimentazione stradale, provando a far rimanere tale distanza costante, basandosi sulle impostazioni fornite dalla centralina.

Le elettrovalvole, controllate dalla centralina, riescono a controllare il volume dell'aria contenuta nei soffietti delle sospensioni pneumatiche, convertendo la tensione in un processo di tipo pneumatico con aspirazione o scarico dell'aria a seconda della necessità.



Figura 38. Elettrovalvole del circuito ECAS presente sul veicolo 33E. (Trancuccio, 2018)

Sfruttando il sistema ECAS già presente sul mezzo, è stato possibile provvedere all'istallazione dei trasduttori di pressione, ovvero dei sensori che rilevano la pressione dell'aria presente nel circuito. I trasduttori, al fine di riuscire a valutare in modo corretto la variazione di pressione inviata dalla valvola alla molla d'aria, sono stati inseriti tra la valvola elettromeccanica e i soffietti. Grazie ai recenti sistemi ECAS, di cui il nostro mezzo è dotato, vi sono presenti le funzionalità CANbus, per cui è possibile trasmettere le informazioni mediante identificatori SAE-CAN.

Sensori, attuatori e interruttori sono distribuiti su tutto il veicolo, dunque sarebbero necessari un gran quantitativo di cavi per il collegamento dei vari dispositivi alla relativa elettronica di controllo. Invece, il CANbus non utilizza un circuito elettronico per ogni segnale trasmesso, ma si basa su una piattaforma di comunicazione capace di regolare la trasmissione dei messaggi tra i vari dispositivi.

Sulla 33E, ovvero la vettura utilizzata nello studio di tesi effettuato, sono presenti 3 sensori di livello. I primi 2 sono sul ponte, ovvero l'asse posteriore con forza motrice di trazione, mentre il terzo è sull'assiale, l'asse sterzante anteriore. Il circuito pneumatico della vettura, presenta una coppia di soffietti per ogni singolo pneumatico anteriore, mentre posteriormente, ciascun pneumatico è dotato di due coppie di soffietti al fine di garantire maggior sostegno all'asse trainante.

Nell'allegato 2 è presente lo schema del circuito pneumatico.

4.3. Tecnologie implementate

Non tutti gli autobus della flotta presenta già al momento del loro acquisto dei sensori che rilevano la pressione dell'aria nel circuito, e anche qualora li posseggano, non sempre è attivo il loro canale sul CAN di bordo. Inoltre, andrebbe comunque valutata l'affidabilità e la sensibilità dei sensori alla variazione di pressione che avviene durante la salita o discesa dei passeggeri.

Il mezzo utilizzato, prima dello studio avvenuto nel 2018 effettuato dall'ing. Rossella Trancuccio, non presentava i trasduttori di pressione, i quali sono stati installati appositamente per la tesi. I trasduttori utilizzano la rete CAN per la comunicazione, con i messaggi contenuti in pacchetti IP in un convertitore, in modo tale da congiungersi con lo switch della rete di bordo, laddove viaggiano anche le informazioni provenienti dall'AVM come visto nel precedente capitolo.

4.3.1. Descrizione dei trasduttori di pressione

Tra i vari trasduttori di pressione in commercio, sono stati scelti ed utilizzati i trasduttori prodotti dalla Trafag Italia, modello CMP – CANopen Miniature Pressure Transmitter 8270/8826. I trasduttori sono prodotti nella filiale italiana dell'azienda, con sede principale in Svizzera, denominata Trafag AG. L'azienda, a partire dalla sua fondazione nel 1942, si è via via specializzata nella produzione di sistemi che riescono a rilevare in modo affidabile le variazioni di pressione, come trasduttori, sensori e trasmettitori. La scelta è ricaduta su tali dispositivi proprio per il sistema di comunicazione basato sul CAN, ed inoltre per la

loro certificazione EN50155, ovvero uno standard internazionale riguardante le apparecchiature elettroniche applicate in campo ferroviario che permette l'utilizzo dei trasduttori anche in ambienti ostili, andando a considerate temperature, umidità, urti e vibrazioni, rilevando anche piccole variazioni di pressione, con un errore massimo nell'ordine dei 10 bar.



Figura 39. Trasduttore di pressione CMP utilizzato. (<https://www.trafagitalia.com/>)

I trasduttori CMP sono installati in ciascuna delle condotte pneumatiche e presenta un'interfaccia CANopen con specifiche CAN in Automation (CiA). L'interfaccia CAN fisica specifica DIN ISO 11898 e il sistema CANbus con modello ISO-OSI permette di far definire al CAN solo i due livelli inferiori, mentre il settimo livello, denominato application layer, è definito dal CANopen.

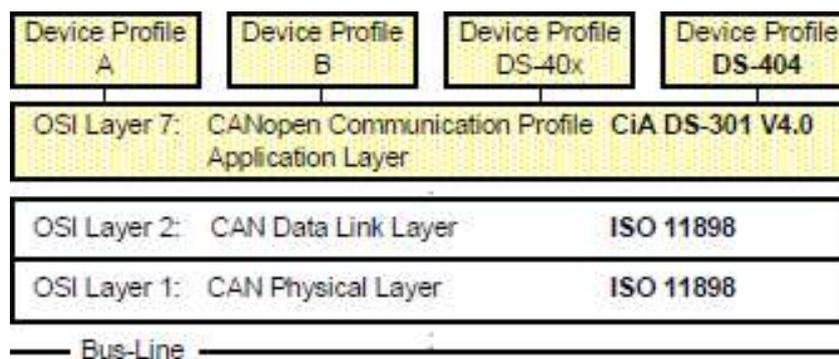


Figura 40. CANopen definito con modello ISO-OSI (<https://www.trafagitalia.com/>)

I profili di comunicazione sono pubblicati come profili DS-301, mentre il dispositivo CANopen come profilo DS-40. La pubblicazione è fatta dall'organizzazione CAN internazionale con specifiche CiA. Con il profilo DS-301 è possibile definire quello che viene definito l'"HOW" della comunicazione, mentre il "WHAT", ovvero il significato dei dati, è

definito con i requisiti del singolo dispositivo. Le unità di misurazione e controllo, invece, si basano sul profilo del dispositivo DS-404, un profilo che definisce i dispositivi di misurazione e controller ad anello chiuso.

La pressione viene rilevata mediante un sensore di film sottile su acciaio, con una risoluzione di 20 bit/s, campionato, linearizzato e termoregolato matematicamente ogni ms, mentre la temperatura con risoluzione di 13 bit. Inoltre, il sensore presenta 2 Moving-Average-Filters variabili, uno utilizzato per la pressione e uno per la temperatura, che garantiscono una misura filtrata ottimale. Dal Mapping Mode è possibile visualizzare i campi di misura mappabili per tutti i tipi di dati e per tutte le unità di misura (come bar, Pa, psi, mmHg, atm, at, °C, °F, K). La velocità di trasmissione supportata, definita baudrate, delle informazioni CiA, possono variare in tutto il range, partendo da 10kbit/s fino a 1Mbit/s con formato CAN 2.0 A/B.

Tabella 13. Baudrate secondo lo standard CiA (<https://www.trafagitalia.com/>)

CiA standard bit timing

Table Index ¹⁾	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

Come detto precedentemente, il profilo di comunicazione, motivo per il quale è stata scelta tale tipologia di trasduttore, è CANopen, ossia un profilo aperto e basato sul CAN di alto livello (application layer nel modello ISO-OSI), sviluppato dal CiA e adottato per la standardizzazione internazionale. Il CANopen è costituito dal communication profile (definizioni del protocollo) e dei profili di ogni dispositivo, i quali standardizzano i contenuti dei dati per le varie classi dei dispositivi. Sempre il CANopen definisce i tipi di Process Data Objects (PDO) per la trasmissione dei dati di input e di output, i quali possono essere definiti come:

- Timer driven, messaggi inviati una volta trascorso un periodo di tempo definito;
- Event driven, messaggi inviati non appena cambia il loro contenuto, ossia quando si verifica uno specifico evento;
- Cyclic synchronous, un messaggio SYNC che permette ai dispositivi di misurare o inviare misurazioni effettive;
- Requested, messaggio di richiesta dei dati CAN in modo tale che il dispositivo invii i dati di misurazione.

La comunicazione di tipo CANopen si basa su un dizionario di oggetti. Con il profilo di comunicazione DS-301 vengono definiti due tipi di Data Objects e un numero di oggetti speciali per la sincronizzazione (SYNC), emergenza (EMCY), Heartbeat e Network Management (NMT). I PDO (Process Data Objects) consente l'invio dei dati in tempo reale, mentre i SDO (Service Data Objects) permettono l'accesso al dizionario degli oggetti, il quale contiene tutte le impostazioni dell'unità.

I parametri utilizzati sono scritti e letti nel multiplexor (indirizzo) corrispondente, costituito da un indice (index) a 16 bit ed un sottoindice (subindex) a 8 bit che utilizza i dati corretti dal dizionario degli oggetti.

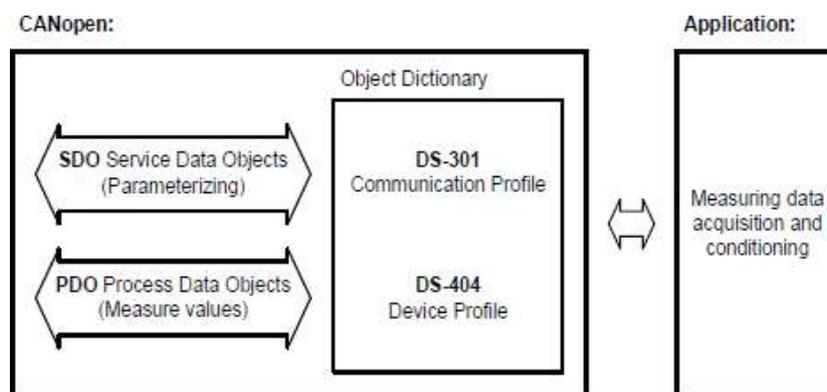


Figura 41. Schema del sistema, dizionario degli oggetti, SDO e PDO (<https://www.trafaqitalia.com/>)

Mediante il Transmission Type viene determinato il momento di trasmissione di un valore di misurazione (PDO). Il Transmission Type specifico del dispositivo è 254, il quale trasmette il PDO corrispondente dopo uno specifico evento di pressione o temperatura, mentre tutte le altre tipologie di trasmissione sono definite nel profilo di comunicazione DS-301. Un evento di pressione o temperatura viene generato nel momento in cui la variazione

di uno dei due valori sia maggiore del delta preimpostato, oppure oltrepassano la relativa soglia di commutazione.

L'Event Mask definisce quale evento provoca la trasmissione del PDO. Per una trasmissione ciclica si utilizza l'Event Timer e la trasmissione del dato si ha solo nel momento in cui il valore misurato sia superiore o inferiore alla soglia massima o minima preimpostata.

Con il Mapping Mode è possibile definire cosa viene trasmesso dal PDO in modo predefinito in una tabella di mapping. Possono essere trasmessi 4 messaggi CAN per le informazioni di pressione e 4 per la temperatura andando a definire due tipologie di eventi, ovvero pressione superiore o inferiore al limite superiore o inferiore posto, e ripetere i medesimi eventi per la temperatura.

Ciascun messaggio trasmesso può essere costituito da un massimo di 8 bytes, ma è il Mapping Mode a determinare quanti bytes vengano realmente trasmessi, poiché i valori possono essere 8, 16, 32, fino ad un massimo di 64 bits.

Sul sito della Trafag è inoltre possibile visualizzare la struttura del messaggio ricevuto dal sensore, la quale è riportata di seguito.

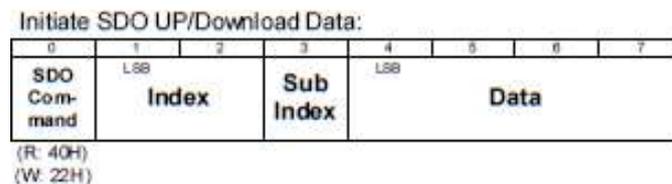


Figura 42. Struttura del messaggio ricevuto dal sensore (<https://www.trafaqitalia.com/>)

Il primo byte consente di determinare se il messaggio è di lettura (reading - 40h) oppure di scrittura (writing - 22h), mentre i campi index e sub index rappresentano l'indirizzo dell'informazione presente nel campo. Per ultimo troviamo il data, il quale costituisce il contenuto del messaggio, riportando byte pari a 0 in caso di lettura.

Il sensore risponde con un messaggio avente la stessa struttura, ma con il primo byte invertito a seconda della tipologia di informazione ricevuta.

Ogni messaggio è inoltre caratterizzato da un COB-ID, mediante il quale è possibile identificare la tipologia di dato e la direzione del messaggio, ovvero se esso è inviato o ricevuto dal sensore. È possibile riportare in tabella le principali tipologie di messaggio utilizzate nello studio svolto.

Tabella 14. Principali COB-ID utilizzati

COB-ID	TIPOLOGIA	DATO
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

Tali informazioni sono presenti nell'allegato 3, dove troviamo anche le tabelle per la Event Mask e per gli indirizzi per ciascun parametro da impostare. In particolare, nelle tabelle denominate "Communication Profile Area", "Standardised Device Profile Area" e "Manufactured Specific Profile Area" sono descritti i contenuti per ogni indirizzo e l'accessibilità delle informazioni contenute. Alcune informazioni sono di sola lettura e la loro sigla è RO, se invece, le informazioni sono di sola scrittura, esse avranno sigla WO, mentre dove è possibile sia leggere che scrivere, la sigla sarà RW. Si specifica, inoltre, che tutte le informazioni sono scritte in formato esadecimale con modalità LSB, che, come detto precedentemente, è acronimo di Least Significant Bit, ovvero una memorizzazione che parte dal byte meno significativo per arrivare a quello più significativo.

La programmazione dei sensori è avvenuta nel 2018 con lo studio di tesi svolto dall'ing. Trancuccio, di seguito dunque si riportano le principali informazioni per una futura programmazione su altri veicoli, come già in programma per un mezzo sempre dell'azienda BYD, ma modello K7 di lunghezza pari a circa 9m, in cui sono stati montati a febbraio 2020 i trasduttori di pressione per scopi futuri.

Mediante un dispositivo di proprietà GTT, avente un connettore seriale maschio per ricevere segnale CAN e un cavo USB per collegamento al PC, è stato possibile programmare i sensori. Il collegamento del dispositivo con i sensori è avvenuto grazie ad un connettore M12 a 5 poli, al quale sono stati saldati i cavi di alimentazione e quelli segnale per CAN H e CAN L. In seguito, i cavi di alimentazione sono stati collegati ad un trasformatore per ottenere una tensione di 24 V, mentre, i cavi segnale sono stati saldati nell'altra estremità ad un connettore femmina seriale, il quale è stato collegato al dispositivo, quest'ultimo collegato al PC mediante cavo USB. Il software proprietario del dispositivo CAN/USB ha permesso di interfacciarsi ai sensori consentendo la connessione solo dopo aver impostato la baudrate, che nel caso dei sensori installati sulla vettura 33E è di 100 kbit/s.

Non appena montati, i sensori presentano una serie di parametri di fabbrica da modificare. Infatti, senza cambiare le impostazioni di default, l'acquisizione dei dati non avviene in modo automatico, ma se interrogati. Tale impostazione è stata quindi cambiata, con un invio dei dati che avviene non appena il bus, e dunque li stessi sensori, sono alimentati.

Per tutte le altre modifiche effettuate si rimanda alla tesi della dottoressa Trancuccio, la quale ha impostato i parametri tali che i sensori sia utilizzabili in maniera ottimale negli studi futuri, come quello svolta in questa tesi. Inoltre, all'allegato 3, è possibile trovare il manuale Operating Instruction (Software) della Trafag, nel quale sono indicate tutte le informazioni sui sensori, con annesse tabelle per la Event Mask e per gli indirizzi corrispondenti ad ogni parametro da impostare.

4.3.2. Convertitore dei dati CAN/IP

I dati inviati dai sensori necessitano di uno strumento che permetta di raccogliere le informazioni in pacchetti per essere inviati mediante la rete LAN a bordo del mezzo.

Lo strumento a bordo della vettura utilizzata per questa sperimentazione è stato fornito ad uso gratuito dall'azienda Metatronix, una società appartenente al gruppo Metatron, specializzata in sistemi di controllo elettronico su veicoli. Il convertitore fornito dall'azienda è il modello FMS2IP della Digigroup mostrato dell'immagine seguente.



Figura 433. Convertitore FMS2IP della Digigroup (<http://www.digigroup.com>)

Il convertitore FMS2IP è una piattaforma Linux embedded, basata su uno standard Fleet Management System (FMS), progettata appositamente per raccogliere in pacchetti IP i dati relativi al CAN di bordo. Lo standard FMS è un sistema di comunicazione relativamente recente, nato nel 2002, grazie alla collaborazione tra le sei principali case produttrici di camion (Mercedes-Benz, Iveco, DAF, Scania, MAN e Volvo) che ha permesso la creazione di un'unica interfaccia per l'acquisizione di informazioni dei veicoli. L'FMS ha permesso di utilizzare un solo linguaggio, indipendentemente dall'Original Equipment Manufacturer che ha prodotto il mezzo, in questo caso BYD.

L'introduzione dello standard FMS ha portato notevoli benefici nella gestione dell'intera flotta, infatti, grazie ad esso, i dispositivi telematici come l'AVL (Automatic Vehicle Location) riescono ad accedere alle informazioni tecniche del veicolo senza particolari problemi che prima si venivano a creare e che rendevano necessario lo sviluppo di sistemi specifici per ogni singolo veicolo.

Dunque, il convertitore FMS2IP è stato configurato per trasmettere per inviare grazie alla linea LAN i messaggi letti sul CANbus FMS di ingresso. In particolare, il modulo legge i messaggi dal CAN FMS di ingresso e trasmette gli stessi come UDP sull'uscita LAN Ethernet facendo rimanere invariato formato, struttura e frequenza dei messaggi FMS originali.

Di seguito, è riportato il formato del messaggio secondo lo standard FMS in cui il PGN, ovvero Parameter Group Number, rappresenta un indirizzo a 16 bit, il quale identifica sia la funzione del messaggio, sia i dati relativi allo stesso. Invece, il DLC mostra la dimensione del dato e i bytes che vanno da B0 a B7 contengono il dato specifico trasportato dal pacchetto.

Strumentazione utilizzata

2 bytes	1 byte													
PGN	RSV	RSV	DLC	RSV	RSV	RSV	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7

Figura 44. Formato del messaggio trasmesso mediante UDP con standard FMS. (<http://www.digigroup.com>)

Sempre grazie al convertitore FMS2IP è possibile filtrare i dati CAN da inviare con rete LAN. Tale operazione è possibile con un'interfaccia web nella quale sono presenti delle maschere sui bit. Per i dati presenti nella tesi effettuata, i dati provenienti dal CAN non sono stati filtrati ma solamente convertiti in pacchetti IP. È inoltre possibile eseguire una personalizzazione del firmware interno per la gestione sia dei messaggi, sia di applicazioni speciali che possono presentarsi.

Infine, il convertitore è collegato con lo switch di bordo, ovvero il dispositivo che permette la comunicazione con i vari apparati, in particolare, per lo scopo dello studio effettuato, è di fondamentale importanza la comunicazione tra il sistema CAN e quello AVM.

Per facilitare la connessione tra convertitore e switch, è stato impostato l'indirizzo IP del convertitore come 192.168.0.154 dalla pagina web dello stesso.

È riportata di seguito in tabella la scheda tecnica del convertitore FMS2IP in cui sono illustrate le varie caratteristiche.

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) ² EN 50155 (Power supply voltage interruption, Surges, Isolation resist.) ² EN 60068-2-64 (Vibration, broad-band random and guidance) ² 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 45. Scheda tecnica del convertitore FMS2IP. (<http://www.digigroup.com>)

4.3.3. La memorizzazione dei dati – Raspberry Pi

È necessario che i dati inviati in pacchetti IP vengano memorizzati in un sistema che permetta l'acquisizione anche a distanza di qualche settimana. La scelta di un sistema di questo tipo è ricaduta su un single board computer, ovvero su un computer a scheda con un singolo circuito stampato e dotato di microprocessore, memoria, input/output (I/O), porta USB e HDMI ed una serie di altre componenti, comunemente chiamato Raspberry Pi, dal nome dell'azienda inglese che lo produce. Inoltre, un single board computer non presenta costi eccessivi, non andando ad incidere sul costo totale del sistema.

Il modello scelto è il Raspberry Pi 3 con le seguenti caratteristiche:

- 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.

Tutti i dispositivi della Raspberry Pi sono sistemi operativi basati su GNU/Linux.



Figura 46. Raspberry Pi 3. (<https://www.raspberrypi.org>)

Per consentire la memorizzazione dei dati, all'interno del Raspberry, è stata inserita una scheda SD da 32GB, la quale permette, a seconda dell'utilizzo del bus, una memorizzazione dei dati di circa un mese, senza che essi vengano eliminati. Per consentire al Raspberry di interagire e ricevere le informazioni dai vari apparati descritti nei paragrafi precedenti, è stato necessario il collegamento dello stesso con la rete di bordo del mezzo impostando un IP statico 192.168.0.66. Inoltre, al fine di intercettare i pacchetti IP provenienti dal CAN (FMS2IP) o dall'AVM che viaggiano sulla rete a cui il computer è collegato, è stata necessaria l'installazione di un software denominato TCPdump, il quale va avviato da linea di comando e consente di visualizzare solamente alcuni pacchetti andando ad applicare dei filtri. Tale operazione verrà fatta a posteriori, ovvero a seguito di uno scarico completo dei pacchetti, con degli script specifici, in modo tale da acquisire comunque tutti i dati ed effettuare in seguito un filtraggio.

Tutti i pacchetti IP acquisiti, mediante il TCPdump, sono salvati in file di testo. Inoltre, si è scelto, così di acquisire tutti i pacchetti IP, di farlo separatamente per quelli provenienti dall'AVM e quelli dell'FMS2IP, i quali inviano un file di testo ciascuno ad ogni accensione del veicolo.

Il processo di acquisizione automatica dei pacchetti IP avviene mediante l'esecuzione di script, uno per l'AVM e uno per FMS2IP, interpretabili da Bash, ovvero un interprete di comandi, il quale permette all'utente di poter effettuare alcune funzioni predefinite interfacciandosi con il sistema operativo. Il sistema AVM invia pacchetti con la frequenza di un pacchetto al secondo, mentre i pacchetti CAN sono 8 per ogni istante di tempo, questo perché ciascun dei 4 sensori invia un dato di pressione e uno di temperatura al secondo, inoltre, a cadenza di 10 secondi ciascun sensore invia un pacchetto di Heartbeat time. Al fine di automatizzare il lancio degli script nel momento dell'accensione del veicolo, è stato utilizzato un sistema, denominato Crontab, che consente la registrazione di comandi per poi essere eseguiti periodicamente in modo automatico oppure in background. Gli script saranno descritti in maniera più approfondita nel seguente capitolo.

4.3.4. Installazione del sistema sul mezzo

In questo paragrafo sono presenti una serie di immagini, quasi tutte prese dalla tesi della dottoressa Trancuccio, nella quale il sistema è stato prima provato a banco in laboratorio per valutarne il corretto funzionamento ed in seguito di è provveduta l'istallazione. Nelle immagini è possibile vedere le varie componenti descritte. A bordo del mezzo, nella parte anteriore è presente una scatola all'interno della quale è presente il Raspberry e l'FMS2IP oltre all'alimentazione e l'interruttore.

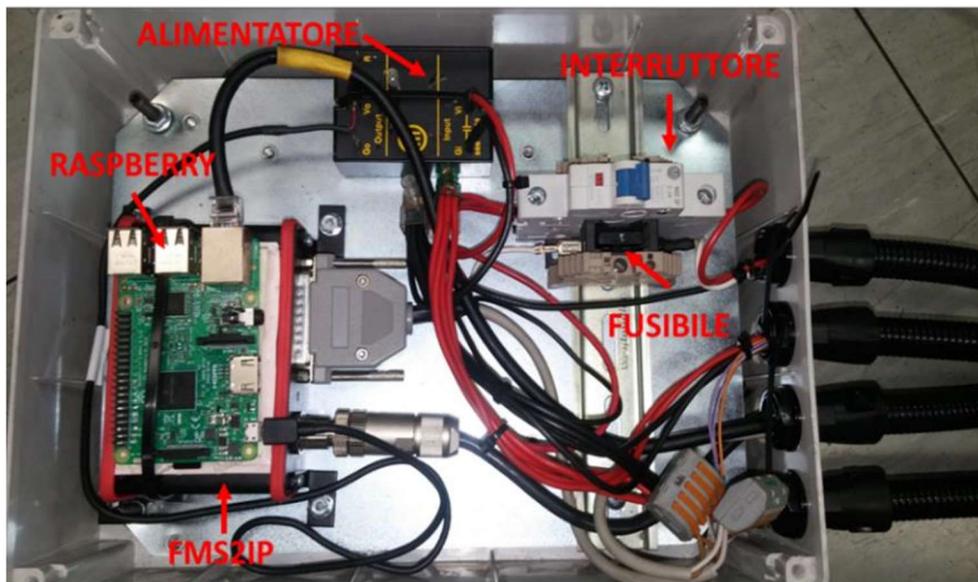


Figura 47. Scatola all'interno della quale troviamo le varie componenti. (Trancuccio, 2018)

I 4 sensori della Trafag, posizionati nella parte sottostante del mezzo, per riuscire ad interfacciarsi con l'FMS2IP e per essere alimentati sono collegati alla scatola mediante connettori a 4 vie in laboratorio, mentre, in funzione sarà presente un unico cavo che collega la scatola istallata sul mezzo (mostrata in figura) con una scatola di derivazione insieme ai sensori al di sotto.

Strumentazione utilizzata

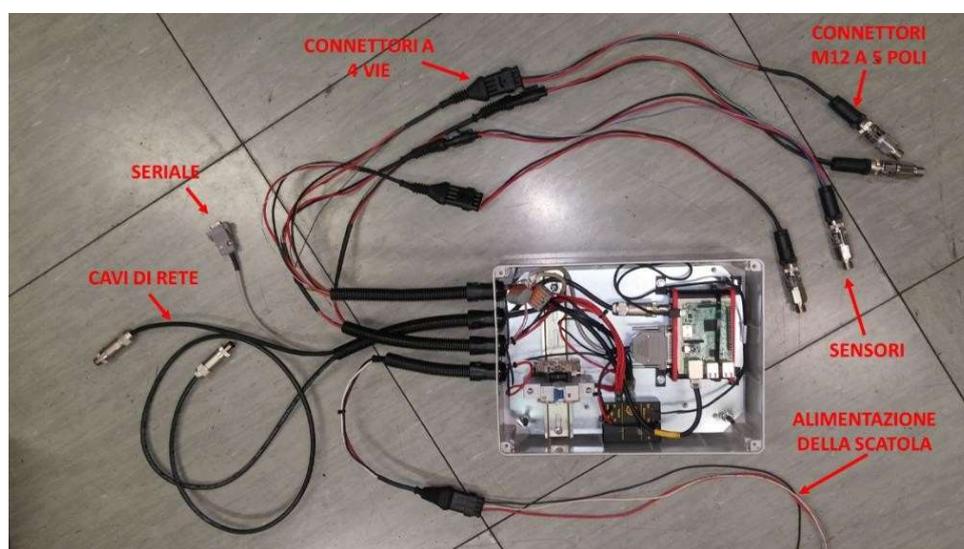
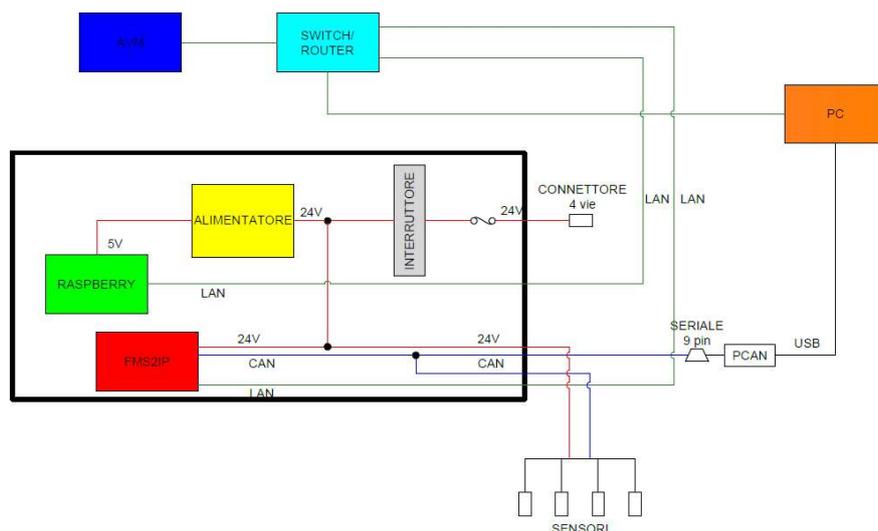


Figura 48. Schema e foto del sistema. (Trancuccio, 2018)

Come si evince dalla figura appena mostrata, sui sensori sono montati dei connettori M12 a 5 poli (per lo schema dei PIN si veda lo studio di tesi precedente). Inoltre, sia il Raspberry Pi che il dispositivo FMS2IP sono collegati allo switch di bordo per mezzo di un cavo di rete, al fine di garantire la comunicazione dei due sistemi con l'AVM.

Una volta eseguita la programmazione dei sensori, è stato possibile effettuare il montaggio della scatola e dei sensori sul veicolo scelto, ovvero il 33E. In particolare, i sensori sono stati inseriti tra l'elettrovalvola e ciascun tubo pneumatico collegato alle sospensioni, collegandoli in posizione parallela alla pavimentazione stradale grazie a dei raccordi a gomito, tra il tubo e la base inferiore del veicolo, per evitare possibili urti che possono verificarsi in caso di sobbalzi.

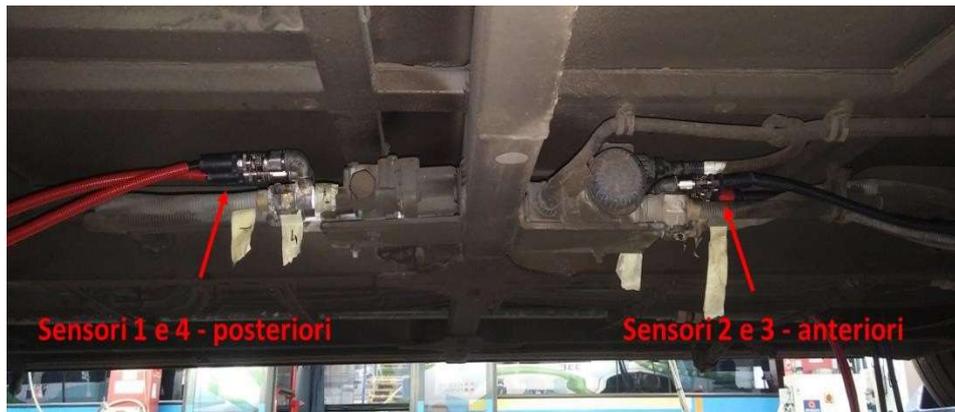


Figura 49. Trasduttori di pressione installati nella parte inferiore del mezzo. (Trancuccio, 2018)

Una volta installati i cavi sono stati collegati mediante cavi ignifughi e idrorepellenti ad una scatola di derivazione, posizionata anch'essa sotto il mezzo. La scatola di derivazione presenta certificazione IP65, ossia protetta da polveri e getti d'acqua, e rappresenta il punto di connessione di ciascun cavo proveniente dai sensori, in modo tale da avere come uscita della scatola di derivazione un unico cavo collegato con alimentazione e segnale CAN. Il cavo uscente è quindi portato fin sopra il mezzo per arrivare alla scatola di bordo, assemblata in laboratorio, posizionata a lato dello switch.

La scatola presente a bordo mezzo è stata posizionata in modo tale da essere il più vicino possibile allo switch, riponendola nello stesso vano, vincolandola al telaio.

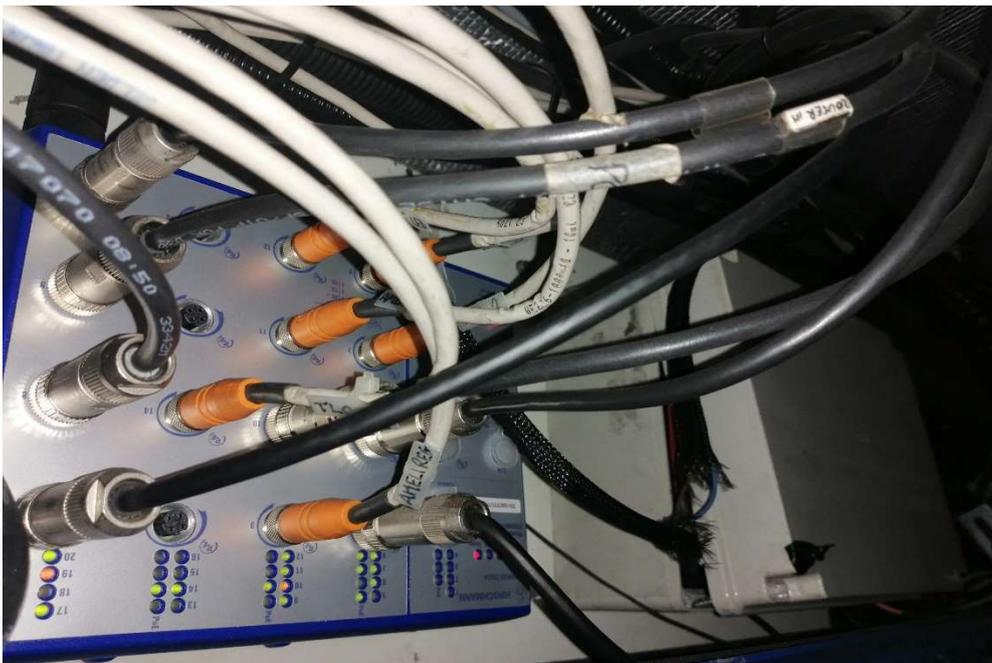


Figura 50. Vano presente sul mezzo nel quale è installata la scatola adiacente allo switch

Dato che i dispositivi sono contenuti all'interno di una scatola chiusa, la quale a sua volta è riposta in un vano chiuso, sulla CPU del Raspberry è stato fissato un dissipatore. Inoltre, sempre all'interno della scatola, sulla rete CAN, è stata inserita una resistenza da 120Ω in parallelo alla scatola di derivazione in modo tale da raggiungere una resistenza 60Ω .

5. Raccolta dati

Descritto il sistema nelle varie componenti e le normative che hanno reso il conteggio automatico dei passeggeri necessario sia per l'azienda erogatrice del sistema, sia per i passeggeri che lo utilizzano, è stato sviluppato e calibrato un modello di conteggio automatico dei passeggeri a bordo mezzo basato sui trasduttori di pressione.

La sperimentazione del sistema è avvenuta a partire da Giugno 2020 fino ad Ottobre 2020, con conteggi manuali, in modo tale da avere un numero preciso e considerato privo di errori dei passeggeri presenti sul mezzo. Sono state effettuate 43 corse a/r con 581 acquisizioni utili andando a considerare le variabili che maggiormente possono influenzare il risultato finale. Sulla base dei conteggi è stato possibile effettuare delle analisi a posteriori andando ad ottenere dei parametri affidabili per una regressione in cui le variabili sono i passeggeri presenti sul mezzo ed un valore di riferimento della pressione ricavato dai pacchetti acquisiti.

5.1. Conteggio manuale

Per ottenere un modello quanto più preciso possibile sono stati condotti dei conteggi manuali, considerati per semplicità privi di errori, effettuati a bordo mezzo in un periodo che va da 29/06/2020 al 22/10/2020 nel quale si è cercato di valutare nel modo più eterogeneo possibile i passeggeri che utilizzano il sistema. Per ogni giorno nel quale è stato effettuato il conteggio è stato utilizzato un file excel, come quello riportato di seguito, creato appositamente per tale operazione, nel quale venivano annotate una serie di informazioni:

Tabella 15. Esempio del file excel utilizzato

LINEA 6							
ANDATA							
PROGRESSIVO FERMATA	N° FERMATA	NOME FERMATA	ORARIO PARTENZA	PASSEGGERI SALITI	PASSEGGERI SCESI	PASSEGGERI BORDO MEZZO	NOTE
1	3582	Porta Nuova cap				0	
2	39	Porta Nuova				0	
3	1945	Cario Alberto				0	
4	761	Vittorio Emanuele II				0	
5	775	Cavour				0	
6	773	Giolitti				0	
7	770	Po				0	
8	3540	Verdi				0	
9	768	Auditorium				0	
10	640	Santa Giulia				0	
11	3244	Campus Einaudi				0	
12	2287	Stabilimento GTT Tortona				0	
13	2289	Belgio				0	
14	2015	Borromini				0	
15	3232	Hermada				0	
N.B. Nel conteggio passeggeri non è considerato l'autista							

Il file contiene una serie di fogli indicanti le linee effettuabili dal mezzo utilizzato per la tesi. Per ogni linea sono state indicate il numero della fermata ed il nome della stessa, sia per la tratta di andata, che per la tratta di ritorno. Per rendere immediata l'annotazione delle informazioni utili, sono state create altre cinque colonne:

- Orario partenza, nel quale è annotato l'orario in cui il mezzo parte dalla fermata di interesse. Tale colonna è fondamentale in fase di analisi per far coincidere il conteggio manuale con i dati provenienti dai file .csv scaricati dal mezzo, in particolar modo quando si hanno problemi di localizzazione del mezzo, ovvero quando il FIX del protocollo di comunicazione descritto al capitolo 3 indica valore 0;
- Passeggeri saliti e passeggeri scesi sono le colonne nelle quali è possibile indicare sia i passeggeri saliti che scesi dal mezzo alla fermata considerata. Tali colonne sono utili sia per calcolare in modo automatico il numero dei passeggeri presenti sul mezzo ed indicato nella colonna successiva, sia per le valutazioni effettuabili per rendere il modello più efficiente possibile, valutando ad esempio quelle fermate in cui sia ha un numero simile di passeggeri saliti e scesi, che altrimenti non sarebbe stato riscontrabile valutando solamente il numero dei passeggeri a bordo mezzo al momento della partenza dello stesso da una fermata. Infatti, prendendo come riferimento due fermate successive presenti nella tabella soprastante, se alla fermata 768 Auditorium sono presenti 5 passeggeri ed alla fermata successiva, 640 Santa Giulia, salgono 4 passeggeri e scendono in egual numero, avremo sull'autobus sempre 5 passeggeri, ma potremmo avere differenze di pressione rilevate, giustificabili dal fatto che non si hanno più gli stessi 5 passeggeri a bordo mezzo;
- Passeggeri bordo mezzo, utilizza una formula di excel per calcolare in maniera automatica il valore di tale cella, partendo dalla due colonne precedenti, infatti per la prima fermata, quella rappresentante il capolinea avremo:

$$Pax_{bordo\ mezzo} = Pax_{saliti};$$

mentre, per le fermate successive alla prima si utilizza un'altra formula:

$$Pax_{bordo\ mezzo_i} = Pax_{bordo\ mezzo_{i-1}} + (Pax_{saliti_i} - Pax_{scesi_i})$$

dove: $i = \text{fermata considerata}$

$i - 1 = \text{fermata precedente}$

- Note, indica una colonna nelle quali è possibile annotare una serie di informazioni utili nella calibrazione del modello, come ad esempio la presenza di una serie di passeggeri di età visibilmente inferiore a 11 anni, la presenza di passeggeri diversamente abili con carrozzine o passeggeri con animali di taglia grande.

5.2. Elaborazione dei dati CAN e AVM

Come descritto precedentemente, i dati provenienti dai trasduttori di pressione sono raccolti a partire dai pacchetti IP ricevuti dal Raspberry in un file di testo di tipo “can1593544242-20200630_191042.txt”, dove la sigla iniziale can indica il canale da cui provengono i dati e il timestamp rappresenta l’istante in cui è avvenuto l’inizio dell’acquisizione, espresso in secondi dal 01/01/1970 non in formato UTC, ma già espresso con il fuso orario presente in Italia.

Data la mole di file in formato txt è stato creato uno script interpretabile da Bash per eseguire in maniera automatica la conversione del file da .txt a file in formato .csv, in modo tale da essere facilmente elaborati in fogli di calcolo. Lo script viene avviato da un pc una volta avvenuta la raccolta dei file di testo ed utilizza come input il file TXT creando un file CSV del medesimo nome salvato in una cartella dedicata. 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.

```

TIME
10:18:07.238587 IP (tos 0x0, ttl 64, id 0, offset 0, flags [DF], proto UDP (17), length 41)
192.168.0.154.56369 > 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 dc31 2711 0015 2a88 8401 0000 0500 DLC
 0x0030: 0000 c60d 0000 0000 0000 0000
                VALUE          MESSAGE ID
    
```

Figura 50. Esempio del file .txt proveniente dal CAN in cui sono indicati i campi utilizzati per la creazione del file .csv

Nella figura appena riportata vi è un esempio di pacchetto IP proveniente dal can, in cui sono cerchiati i bytes di nostro interesse, i quali sono poi convertiti da formato esadecimale

al formato più adatto per ogni tipologia di dato. Ad esempio, l'orario del pacchetto, cerchiato in color arancio, si trova nella riga in cui compare la parola "IP", vengono dunque memorizzati i bytes relativi alle ore, minuti e secondi e trasformati in un orario espresso in secondi. Il primo pacchetto avrà dunque come DATETIME il valore temporale derivante dalla sincronizzazione avvenuta con il pacchetto AVM, invece per le righe successive verrà aggiornato il DATETIME sommando un delta rispetto all'orario del pacchetto precedente.

I campi MESSAGEID e DLC si trovano nella riga 0x0020, mentre VALUE si trova nella riga seguente, quella dei caratteri 0x0030. I valori relativi ai campi di interesse vengono individuati 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.

Il file .csv presenta in ogni riga un pacchetto ricevuto, mentre in colonna vi sono i campi MESSAGEID, DLC, VALUE del pacchetto IP convertiti dal file can, con l'aggiunta della prima colonna DATETIME che indica l'orario convertito dal timestamp, conversione effettuata direttamente dallo script.

Di seguito è mostrato un esempio di file in formato .csv relativo alla conversione di un file .txt proveniente dal CAN, come quello riportato nella figura precedente.

DATETIME	TIMESTAMP	MESSAGEID	DLC	VALUE
22:36:04	1593642964	184	5	3323
22:36:04	1593642964	284	5	24
22:36:04	1593642964	181	5	3642
22:36:04	1593642964	281	5	24
22:36:04	1593642964	182	5	4154
22:36:04	1593642964	282	5	24
22:36:04	1593642964	183	5	4162
22:36:04	1593642964	283	5	24
22:36:04	1593642964	0	0	0
22:36:04	1593642965	0	0	0

Figura 51. Esempio di file proveniente dal CAN convertito in formato .csv

Per ogni secondo di acquisizione vi sono dieci righe, escludendo le ultime due nulle, a partire dalla seconda riga, a righe alterne, troviamo i valori di pressione in mBar relativi ad ogni trasduttore di pressione, mentre nelle altre vi è il valore di temperatura rilevato da

ciascun sensore. L'identificazione del messaggio, con la distinzione appena descritta è presente nella colonna MESSAGEID, infatti se in tale colonna si ha un messaggio del tipo 180+nodeID il valore contenuto nella colonna VALUE indica un valore di pressione in mBar misurato, mentre la temperatura è indicata da un messaggio di tipo 280+nodeID. Ogni 10 secondi, inoltre vi è un messaggio di Heartbeat 700+nodeID. Le ultime due righe presentano valore nullo e vi sono ad ogni cambio di timestamp.

I valori di pressione come è intuibile dalla visione di un file .csv sono forniti per ogni istante in cui il mezzo è in funzione, dunque per avere una valutazione precisa ed una calibrazione corretta del modello, acquisire e valutare ogni istante può portare ad errori dovuti a tutti quei fattori che influenzano la stabilità del mezzo come le oscillazioni che può subire l'autobus durante il tragitto che compie, determinando un aumento o una diminuzione del flusso d'aria diretto alle sospensioni pneumatiche come ad esempio le irregolarità della pavimentazione stradale.

È necessario dunque andare a porre delle condizioni riguardo la scelta dei dati da acquisire per poi compiere l'analisi, andando ad eliminare tutti quegli istanti relativi alla fase di moto nella quale si hanno una serie di variabili che possono alterare la pressione presente all'interno del circuito pneumatico. In ausilio arriva il valore del campo DOORS presente nei pacchetti IP emessi dall'AVM, come descritto nel paragrafo 3.4.2.1., il quale permette di andare a valutare in modo semplice, se il mezzo è in fase di moto (valore = 0, porte chiuse) oppure in sosta alla fermata (valore = 1, porte aperte).

Nei pacchetti AVM, inoltre, si ricava il timestamp dal campo DATETIME, necessario per andare a creare un unico file in cui si hanno sia le informazioni provenienti dai pacchetti CAN sia quelle provenienti dai pacchetti AVM. Infatti, avendo come contenuto informazioni differenti, l'unico elemento in comune tra i due pacchetti di dati è l'istante di trasmissione dell'informazione.

Come per i pacchetti IP relativi al CAN, anche quelli dell'AVM, vengono memorizzati all'interno del Raspberry in file di testo nel formato .txt di tipo "avm1593544242-20200630_191042.txt" e mediante lo stesso script descritto precedentemente per i file

provenienti dal CAN, avviene a posteriori una conversione dal formato .txt a formato .csv, andando a salvare i file con uguale denominazione in una cartella al cui interno vi sono sia i file provenienti dai pacchetti IP acquisiti dall'AVM, sia quelli acquisiti dal CAN, entrambi in formato .csv.

Oltre al TIMESTAMP ed ai valori di DOORS, il parsing eseguito permette di elaborare e convertire dal file .txt i campi FIX, LONGITUDE, LATITUDE, SPEED, LINE, SHIFT, DEST, CURRENT e VEHICLE, i cui significati e possibili valori sono stati descritti nei capitoli precedenti. Di seguito è mostrato un esempio proveniente dall'AVM sia di file .txt con relative indicazioni riguardanti i bytes nei quali troviamo le informazioni, sia di file .csv in cui i bytes sono convertiti.

```
09:10:56.394945 IP (tos 0x0, ttl 128, id 13709, offset 0, flags [none], proto UDP (17), length 105)
 192.168.0.1.7000 > 192.168.0.255.52000: [udp sum ok] rx type 95 cid 4f5f4e45 call# 1409286145 seq -12419072 ser 327
0x0000: ffff ffff ffff 0060 3b05 0d02 0800 4500
0x0010: 0069 358d 0000 8011 82a6 c0a8 0001 c0a8
0x0020: 00ff 1b58 cb20 0055 0af3 4d49 4e46 4f5f
0x0030: 4e45 5400 0001 ff42 8000 01f3 6b89 5f00 DATETIME DOORS
0x0040: 0141 4b34 42fd e9f5 4000 0101 3920 2000 LINE FIX LATITUDE LONGITUDE
0x0050: 3120 2000 3231 3239 0000 0000 0000 0000 SHIFT DESTINATION CURRENT
0x0060: 0000 0000 0000 3234 3300 0000 0000 0000
0x0070: 2100 4101 2217 00 VEHICLE ID
```

Figura 52. Esempio del file .txt proveniente dall'AVM in cui sono indicati i campi utilizzati per la creazione del file .csv

DATETIME	TIMESTAMP	DOORS	FIX	LONGITUDE	LATITUDE	SPEED	LINE	SHIFT	DEST	CURRENT	VEHICLE
06:10:42	1601273442	0	0	45.072479	7.693289	-1	6	3	3582		33
06:10:43	1601273443	0	0	45.072479	7.693289	-1	6	3	3582		33
06:10:44	1601273444	0	1	45.072033	7.693086	-1	6	3	3582		33
06:10:45	1601273445	0	1	45.072033	7.693065	23	6	3	3582		33
06:10:46	1601273446	0	0	45.072033	7.693065	-1	6	3	3582		33
06:10:47	1601273447	1	1	45.071949	7.693043	-1	6	3	3582	2620	33
06:10:48	1601273448	1	0	45.071949	7.693043	-1	6	3	3582	2620	33
06:10:49	1601273449	1	0	45.071949	7.693043	-1	6	3	3582	2620	33
06:10:50	1601273450	1	0	45.071949	7.693043	-1	6	3	3582	2620	33
06:10:51	1601273451	1	0	45.071949	7.693043	-1	6	3	3582	2620	33

Figura 53. Esempio di file proveniente dall'AVM convertito in formato .csv

5.3. Unione dei dati provenienti dai due differenti sistemi

Raccolti tutti i dati necessari per effettuare l'analisi, sempre mediante uno script denominato "CSV merger" è stato dapprima possibile andare ad unire i file contenuti nella cartella .csv, ove vi erano presenti i file di testo convertiti in formato .csv sia relativi agli AVM, sia relativi al CAN. L'elemento di congiunzione al fine di poter ottenere un unico file all'interno del quale sono contenute entrambe le informazioni, è il timestamp. Una volta avviato lo script

Raccolta dati

eseguito in linguaggio C si viene a creare una cartella contenente dei file in formato .csv in cui ogni singolo file si mostra come segue:

DATETIME	TIMESTAMP	DOORS	FIX	LONGITUDE	LATITUDE	SPEED	LINE	SHIFT	DEST	CURRENT	VEHICLE	P_REF	TEMP
20/10/2020 13:53	1603201982	0	0	45.074638	7.704583	-1		0			33	22448	16
20/10/2020 13:53	1603201983	0	0	45.074638	7.704583	-1		0			33	22448	16
20/10/2020 13:53	1603201984	0	0	45.074638	7.704583	-1		0			33	22448	16
20/10/2020 13:53	1603201985	0	0	45.074638	7.704583	-1		0			33	22450	16
20/10/2020 13:53	1603201986	0	0	45.074638	7.704583	-1		0			33	22448	16
20/10/2020 13:53	1603201987	0	0	45.074638	7.704583	-1		0			33	22449	16
20/10/2020 13:53	1603201988	0	0	45.074638	7.704583	-1		0			33	22450	16
20/10/2020 13:53	1603201989	0	0	45.074638	7.704583	-1		0			33	22450	16
20/10/2020 13:53	1603201990	0	0	45.074638	7.704583	-1		0			33	22449	16
20/10/2020 13:53	1603201991	0	0	45.074638	7.704583	-1		0			33	22449	16
20/10/2020 13:53	1603201992	0	0	45.074638	7.704583	-1		0			33	22448	16
20/10/2020 13:53	1603201993	0	0	45.074638	7.704583	-1		0			33	22448	16

Figura 54. Esempio di file merged in formato .csv

All'interno di questo file si trovano per ogni secondo in cui il mezzo è in funzione (in realtà sia il sistema AVM che CAN fornisce informazioni anche per circa 30 minuti a seguito dello spegnimento dell'autobus), le principali informazioni provenienti dall'AVM e descritte precedentemente e i dati di pressione provenienti dai sensori, ovvero dal CAN. È opportuno far notare come il valore "P_REF" non costituisca una somma delle 4 pressioni rilevate dal sensore, poiché al posteriore sono presenti due cilindri pneumatici, dunque il valore contenuto all'interno della cella "P_REF" indica un valore di riferimento della pressione, ovvero un valore medio di ogni in mBar di pressione su ogni cilindro moltiplicato per 6, ovvero moltiplicato per il numero di cilindri pneumatici presenti sul mezzo.

Una volta uniti i file .csv provenienti dall'AVM e dal CAN, si è provveduto ad un filtraggio degli stessi. Con il termine filtraggio si intende la scelta di un criterio di selezione dei dati al fine di individuare in maniera automatica solamente gli istanti di interesse per le analisi svolte. In particolare, per eliminare tutte quelle oscillazioni che possono alterare e falsare i dati provenienti dai trasduttori di pressione, si è andato ad individuare degli istanti di acquisizione. Sono dunque stati creati tre differenti script in modo tale da valutare quale periodo di osservazione sia il migliore. Il termine periodo indica come nei file filtrati, contenuti all'interno di una cartella creata automaticamente una volta avviato lo script, il valore della cella "P_REF" non sia un valore di pressione di un singolo istante, in quanto possono verificarsi una serie anomalie che conducono ad un dato falsato oppure ad una non

rilevazione del dato. Per far fronte a tali problemi si è scelto di valutare differentemente tre diversi periodi di acquisizione, ricavati grazie all'avvio di altrettanti script.

I primi due script indicano un valore di pressione riferito agli ultimi 3 o 2 secondi in cui il campo "DOORS" indica come valore 1, ovvero media i valori di pressione relativi agli ultimi 3 o 2 secondi in cui le porte del mezzo sono aperte per consentire l'ingresso dei passeggeri. Sulla base di considerazioni fatte in seguito è stato scelto di valutare un periodo di acquisizione completamente differente, ovvero invece di considerare gli ultimi istanti prima dell'apertura delle porte, si è scelto di andare a valutare la media degli ultimi due secondi prima dell'apertura delle stesse. Se prima si analizzavano gli ultimi istanti in cui le porte del mezzo erano aperte, ovvero quando il campo "DOORS" mostrava valore 1, adesso la valutazione è fatta sulla media degli ultimi istanti in cui tale valore è pari a 0, ovvero gli istanti precedenti all'apertura delle porte alla fermata successiva.

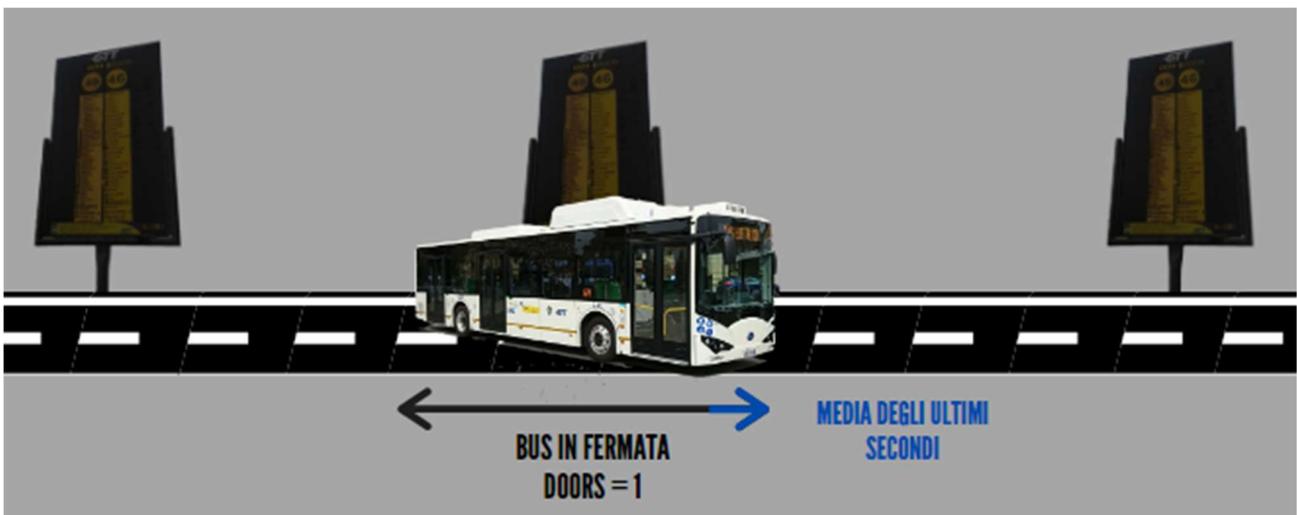


Figura 4. Illustrazione grafica rappresentante il periodo di acquisizione dei primi due script

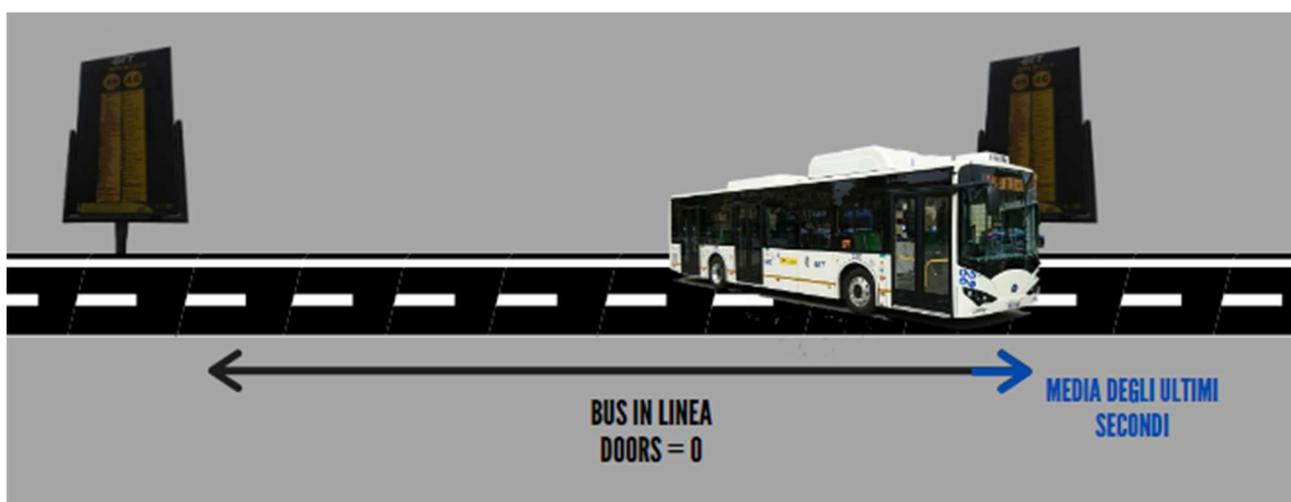


Figura 56. Illustrazione grafica rappresentante il periodo di acquisizione dell'ultimo script

Una volta acquisiti i file .csv filtrati delle informazioni utili per le nostre analisi, è stato possibile andare ad unire tali file con i conteggi manuali in un unico foglio di calcolo in formato excel prendendo dai file filtrati solamente l'intervallo corrispondente ai conteggi manuali.

Gli allegati 3,4 e 5 presentano gli script utilizzati nelle tre fasi descritte in questo capitolo, ovvero:

- Allegato 3, script che permette di convertire i file da formato .txt a formato .csv sia per i dati provenienti dal sistema AVM che per i dati provenienti dal CAN;
- Allegato 4, script che permette di unire in un unico file di formato .csv i file provenienti dall'AVM e dal CAN;
- Allegato 5, script che permette di filtrare i dati in base al criterio di selezione scelto.

6. Analisi dati rilevati

Una volta effettuata l'acquisizione dei dati e l'unione di essi in un unico file contenente le varie informazioni nelle modalità descritte nel capitolo precedente, è stato possibile procedere con l'analisi dei dati, mediante l'ausilio di concetti statistici, utilizzati per descrivere, a seconda delle variabili prese in considerazione, quale fosse quella avente affidabilità migliore.

6.1. Cenni di statistica

Nei paragrafi seguenti verranno mostrate brevi nozioni di statistica utilizzate in fase di analisi dati al fine di giustificare le considerazioni finali.

6.1.1. Regressione lineare

La regressione è una tecnica statistica utilizzata per studiare le relazioni che intercorrono tra due o più fenomeni (variabili), cercando una funzione che esprima tale dipendenza in media. Dunque, esprimere una relazione tra due variabili utilizzando la regressione significa introdurre una correlazione tra di esse, infatti:

- La variabile X è detta variabile indipendente o esplicativa
- La variabile Y è detta variabile dipendente o di risposta

Il tipo di regressione che studieremo noi è chiamata regressione lineare, anche detta dei minimi quadrati.

Denotando con x la variabile indipendente stimata e con \hat{y} la variabile dipendente stimata, il problema che ci poniamo è quello di determinare dei coefficienti reali a e b per i quali sussiste la seguente relazione lineare tra le due variabili:

$$\hat{y} = ax + b$$

Tale relazione esprime la miglior retta interpolatrice dei punti del piano (x_i, y_i) utilizzando il metodo dei minimi quadrati, un metodo che permette di ottenere la migliore approssimazione minimizzando la somma dei quadrati delle differenze tra i dati osservati e i dati teorici.

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \min$$

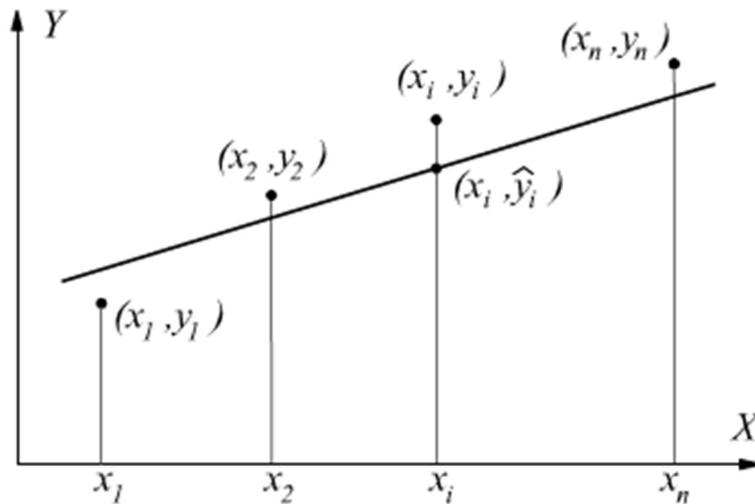


Figura 5. Grafico di regressione lineare

Qualsiasi altra retta tracciata nel grafico avrà una sommatoria maggiore delle distanze tra i valori osservati e teorici.

Nel grafico appena mostrato, sono indicati con:

- $y_i = \text{valori osservati}$
- $\hat{y}_i = \text{valori teorici}$

La retta di regressione $\hat{y} = ax + b$ esprime dunque dei valori teorici riferiti alle variabili analizzate ed i parametri a e b indicano:

- a è coefficiente angolare della retta, ossia quanto varia in media \hat{y} all'aumentare di x . Un incremento unitario di x , porta la variabile \hat{y} ad aumentare di una quantità pari ad a . Graficamente il coefficiente angolare indica la tangente dell'angolo che si forma tra la retta di regressione e l'orizzontale.
- b viene definita intercetta, ovvero il valore della variabile \hat{y} per $x = 0$. Infatti, presa l'equazione della retta di regressione e posto $x = 0$, si nota come $\hat{y} = b$.

È, inoltre, possibile ottenere delle formulazioni analitiche dei parametri a e b , partendo dall'espressione che minimizza la distanza tra i valori teorici e i valori osservati. Tali formulazioni non saranno mostrate in quando la retta di regressione verrà fornita

direttamente dal foglio di calcolo utilizzato partendo dalle variabili X (nel caso studio il numero dei passeggeri a bordo mezzo valutato mediante al conteggio manuale) e Y (nel caso studio valor medio di pressione su ogni sospensione pneumatica moltiplicato per 6) fornite.

Un altro parametro fondamentale per la valutazione della bontà dell'adattamento del modello rispetto ai dati osservati è il coefficiente di determinazione R^2 , esprimibile con il rapporto:

$$R^2 = \frac{DEV_{regressione}}{DEV_{totale}}$$

Dove:

- $DEV_{regressione} = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2$
- $DEV_{totale} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$

Il coefficiente di determinazione R^2 può assumere valori $0 \leq R^2 \leq 1$ e maggiore è il suo valore, dunque minore la devianza della regressione, migliore sarà l'adattamento della retta di regressione trovata ai dati osservati. Nel caso, come quello in esame, di regressione lineare semplice, si può dimostrare come il coefficiente di determinazione R^2 costituisce il quadrato del coefficiente di correlazione lineare o coefficiente di correlazione di Pearson r , ovvero $R^2 = r^2$.

Dove r^2 è espresso dal rapporto

$$r = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y}$$

Ossia date le due variabili statistiche esaminate X e Y, il coefficiente di correlazione lineare è definito dal rapporto tra la loro covarianza e il prodotto delle rispettive deviazioni standard. Il coefficiente può assumere valori $-1 \leq r \leq 1$, e per valori di $r > 0$ le due variabili hanno una correlazione diretta, mentre se il valore del coefficiente è negativo, la correlazione tra le due variabili è inversa. Come nel caso del coefficiente di determinazione, anche per valori del coefficiente di correlazione elevati in valore assoluto, dunque per valori

tendenti a ± 1 , si ha una correlazione forte tra le due variabili, mentre per valori nell'intorno di 0 rappresentano una correlazione debole o nulla.

6.1.2. Distribuzione Gaussiana degli errori

Quando si effettua un gran numero di misure in condizioni simili, fatte con lo stesso strumento, dallo stesso operatore e col medesimo metodo analitico la distribuzione delle rilevazioni tende a concentrarsi attorno ad un singolo valor medio e l'istogramma associato assume una forma a campana che può essere approssimata con una funzione reale nota come funzione di Gauss o funzione normale.

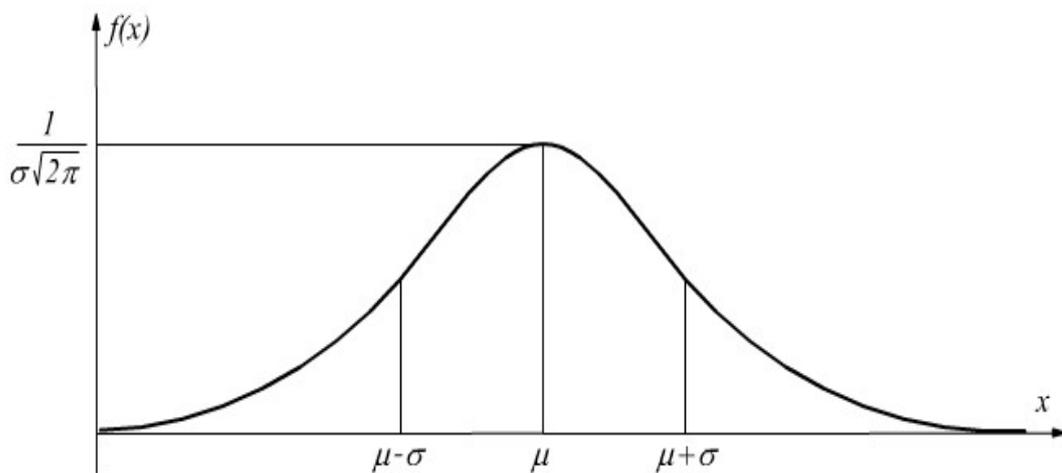


Figura 6. Classico andamento a campana di una distribuzione Gaussiana

La curva di Gauss rappresenta la più importante distribuzione continua trovando numerose applicazioni nei più disparati ambiti, ed è detta anche curva di distribuzione normale o curva degli errori accidentali. Affinché una distribuzione venga definita di tipo gaussiano, essa deve rispettare diverse proprietà, come:

- Simmetria rispetto al valor medio μ ;
- Il valore di μ oltre ad essere il valor medio della distribuzione, coincide anche con la moda e con la mediana della distribuzione;
- L'asse delle ascisse è un asse asintotico;
- Per valori di $x < \mu$ la curva è crescente, viceversa, per valori di $x > \mu$ la curva è decrescente;
- La distribuzione possiede due punti di flesso, corrispondenti ai valori di $x = \mu \pm \sigma$.

I due parametri che caratterizzano la distribuzione sono dunque la media μ e la deviazione standard σ . La media μ oltre a coincidere con moda e mediana, costituisce un parametro di posizione, infatti, al variare del valore μ , la curva trasla a sinistra o a destra sull'asse x. Il parametro σ è detto deviazione standard e rappresenta la radice quadrata della media dei quadrati degli scarti, la sua formulazione è dunque:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n}}$$

La deviazione standard indica graficamente un parametro di variabilità, ossia si può notare graficamente come al suo variare, varia l'ampiezza della curva, mostrando quanto i valori si discostano dalla media.

L'esperimento condotto da Gauss, fatto con 1000 osservazioni, ha portato alla definizione di intervalli noti di probabilità, definita la deviazione standard σ ; si è potuto notare come all'interno dell'area formata dalla curva e dai valori di $\pm\sigma$ ricadessero 683 osservazioni, ossia il 68.3%. Portando invece la delimitazione a $\pm 2\sigma$, ricade il 95.4% delle misure osservate, mentre per $\pm 3\sigma$ si hanno 997 osservazioni, pari dunque al 99.7%.

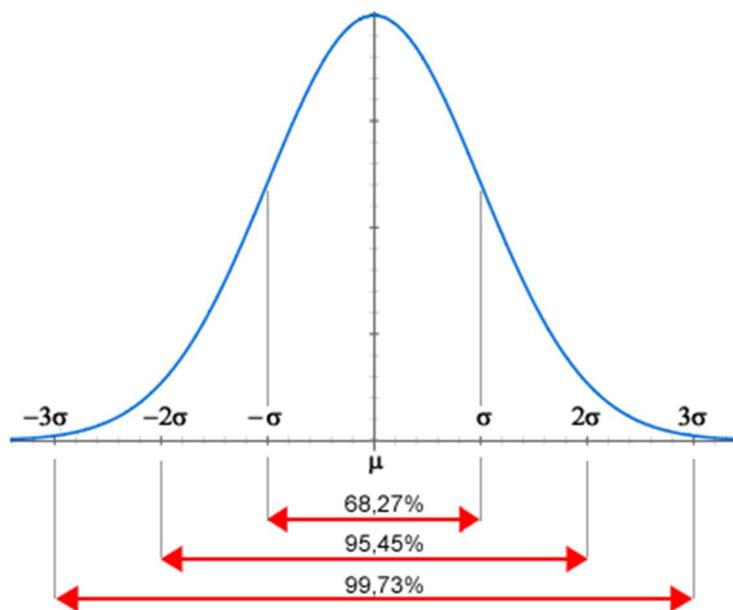


Figura 7. Rappresentazione degli intervalli di confidenza di una distribuzione normale

6.2. Valutazione dei dati acquisiti

Utilizzando i dati acquisiti è stato possibile procedere all'analisi di essi andando a valutare tutti quelle variabili che nel lungo periodo possono influenzare il sistema di conteggio automatico, arrivando ad avere, alla fine del periodo di sperimentazione, un APC calibrato ed utilizzabile dall'azienda di trasporto pubblico per organizzare in maniera più efficiente le linee sulla base dei flussi di traffico stimati in maniera corretta e per fornire, in particolar modo in un periodo come quello attuale in cui è necessario avere un distanziamento sociale, delle informazioni utili ai passeggeri che aspettano il mezzo alla fermata circa la percentuale di occupazione dell'autobus.

6.2.1. Individuazione del miglior intervallo di tempo di acquisizione dei dati

In primo luogo è stata fatta una valutazione riguardante l'intervallo di tempo di acquisizione dei dati. Infatti, mediante l'utilizzo di tre script simili si è andato a porre attenzione su tre periodi di acquisizione differenti. La scelta del termine periodo o intervallo di tempo indica che non sono stati considerati solamente un istante di tempo, poiché in un singolo secondo possono verificarsi delle anomalie improvvise che possono portare o ad avere un'acquisizione nulla oppure falsata da anomalie.

Originariamente, si è scelto di andare a confrontare un differente intervallo di tempo relativo agli ultimi secondi in cui il mezzo presenta le porte aperte prima che lo stesso parta dalla fermata. Il confronto è stato fatto andando a considerare prima la media del valore di pressione e temperatura relativa agli ultimi 3 secondi in cui le porte sono aperte (campo DOORS = 1), ripetendo tale analisi considerando gli ultimi 2 secondi in cui si hanno le porte aperte, andando cioè a valutare quale dei due periodi dia una migliore stima del numero dei passeggeri a bordo mezzo.

Per altre considerazioni che verranno mostrare in seguito, si è scelto di andare a creare un ulteriore script, in cui si sposta concettualmente il periodo di acquisizione. Infatti, se prima venivano valutati gli ultimi istanti in cui il mezzo presenta le porte aperte, con tale script si è andato ad acquisire informazioni di pressione e temperatura dai trasduttori negli istanti precedenti all'apertura delle porte, quegli istanti cioè, nei quali il mezzo arriva alla fermata

ma non ha ancora non ha aperto le porte per far scendere i passeggeri. La valutazione in questo caso è fatta sugli ultimi 2 secondi in cui il campo DOORS presenta valore pari a 0, valore che indica porte chiuse. Non sono stati scelti gli ultimi 3 secondi per due motivazioni differenti: in primis, come verrà mostrato di seguito, valutando un intervallo di 2 o 3 secondi non incide in modo significativo sull'accuratezza del modello, in secondo luogo, considerare un intervallo di tempo maggiore, andando a prendere degli istanti in cui il mezzo è ancora in movimento, può portare a degli errori maggiori poiché si possono avere dei sobbalzi dovuti ad una non perfetta pavimentazione stradale o a delle istantanee variazioni di accelerazioni nel tempo (jerk), le quali si hanno principalmente in fase di accelerazione e frenatura.

Per ogni giorno in cui sono stati effettuati i conteggi manuali, partendo dal file .csv unito alle informazioni provenienti dai pacchetti AVM e CAN, è stato possibile post-analizzare andando ad integrare tale file con dati del numero di passeggeri a bordo mezzo provenienti dal conteggio manuale. Basandosi sui concetti statistici espressi nel paragrafo precedente, mediante la regressione lineare è stato possibile andare a valutare la correlazione tra due variabili. Le due variabili nelle regressioni mostrate in seguito, sono:

- Variabile X, numero dei passeggeri presenti sull'autobus valutato mediante conteggio manuale;
- Variabile Y, valore di riferimento della pressione, infatti non avremo la somma delle pressioni provenienti dai quattro sensori, poiché posteriormente si ha un trasduttore di pressione applicato a due cilindri pneumatici, il valore di pressione proveniente dai sensori posteriori va raddoppiato. Dunque, sulle ordinate avremo il valore medio di pressione applicato su ogni cilindro moltiplicato per il numero di sospensioni pneumatiche, dunque per 6.

Al fine di valutare il miglior intervallo di acquisizione, vengono riportati di seguito le regressioni lineari per ogni giorno in cui è stato effettuato il conteggio manuale. Nel titolo sono indicate le date a cui la regressione si riferisce, ed un codice che identifica l'intervallo di acquisizione considerato:

Analisi dati rilevati

- 3 s, indica che il valore di riferimento della pressione è ottenuto mediando gli ultimi 3 secondi in cui le porte del mezzo sono aperte prima di partire dalla fermata;
- 2 s, indica che il valore di riferimento della pressione è ottenuto mediando gli ultimi 2 secondi in cui le porte del mezzo sono aperte prima di partire dalla fermata;
- 2 s preap., indica che il valore di riferimento della pressione è ottenuto mediando gli ultimi 2 secondi in cui le porte del mezzo sono chiuse prima di aprirsi per permettere la salita o discesa dei passeggeri alla fermata.

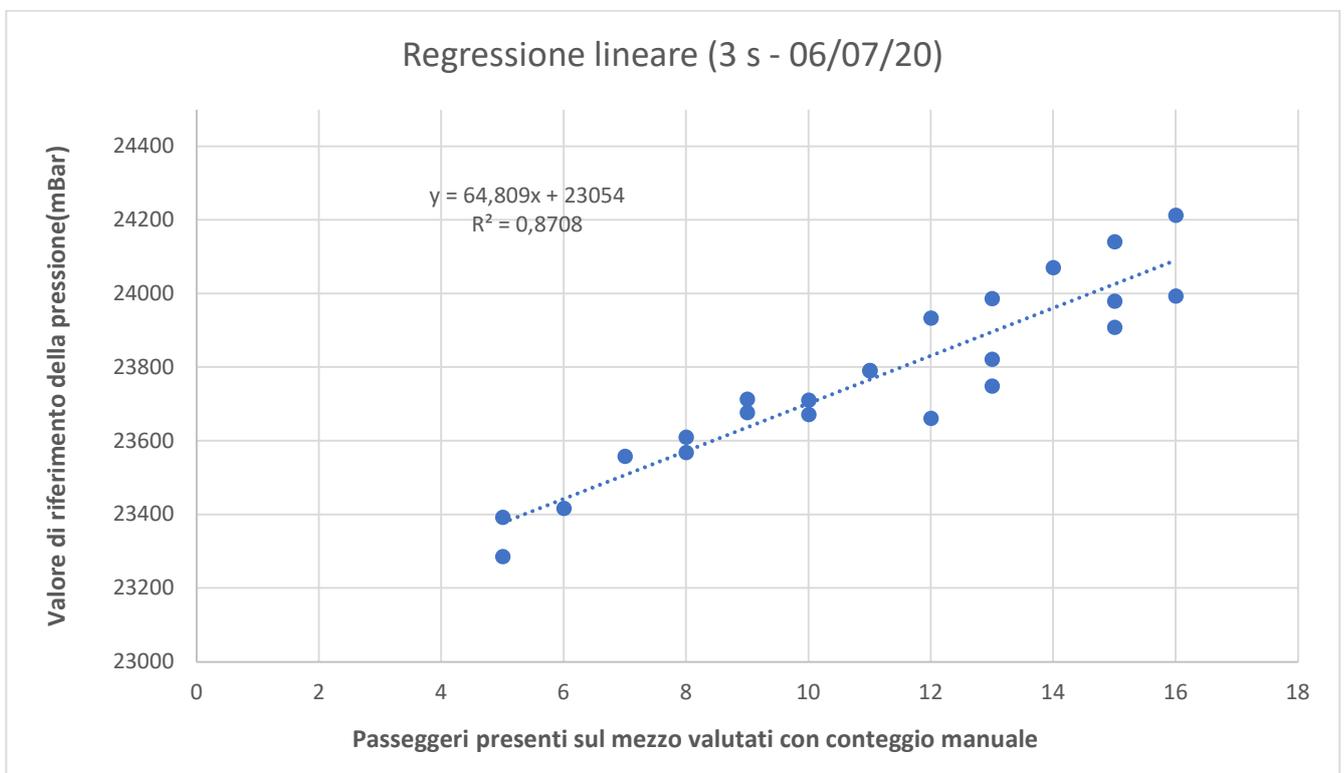


Figura 60: Grafico di regressione relativo al 06/07/20 considerando gli ultimi 3 secondi in cui il campo DOORS ha valore 1

Analisi dati rilevati

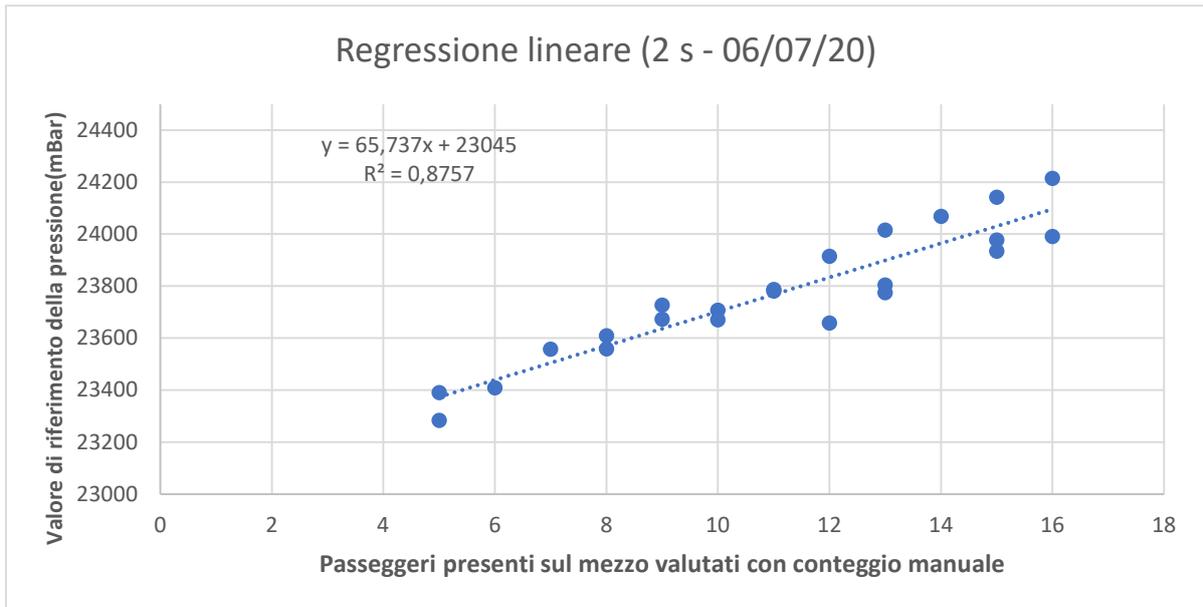


Figura 8. Grafico di regressione relativo al 06/07/20 considerando gli ultimi 2 secondi in cui il campo DOORS ha valore 1

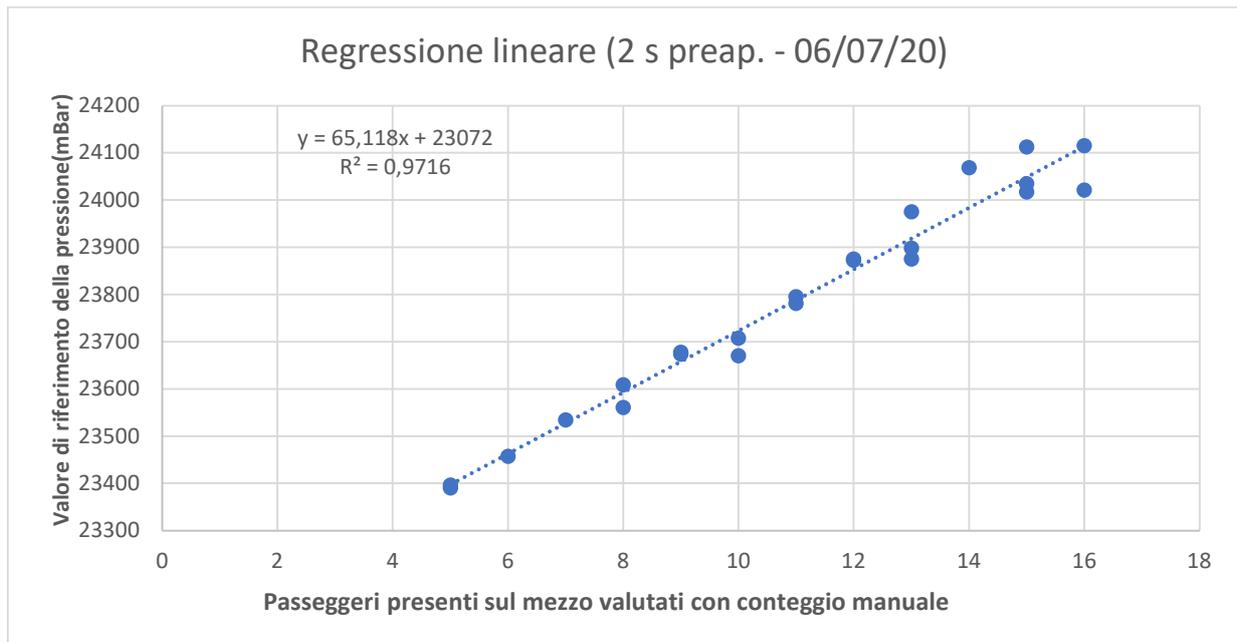


Figura 9. Grafico di regressione relativo al 06/07/20 considerando gli ultimi 2 secondi in cui il campo DOORS ha valore 0

Analisi dati rilevati

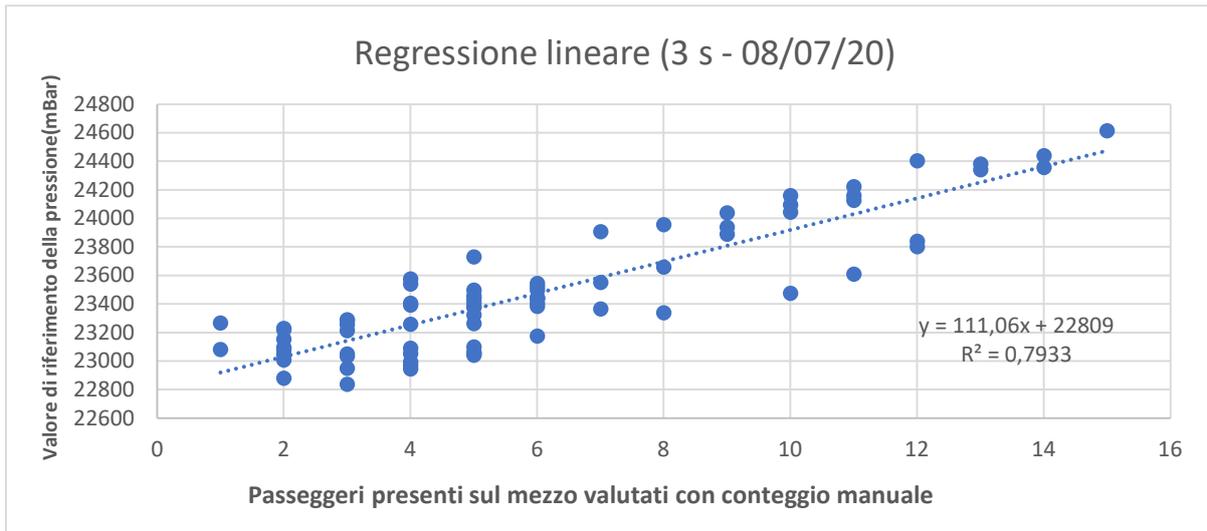


Figura 10. Grafico di regressione relativo al 08/07/20 considerando gli ultimi 3 secondi in cui il campo DOORS ha valore 1

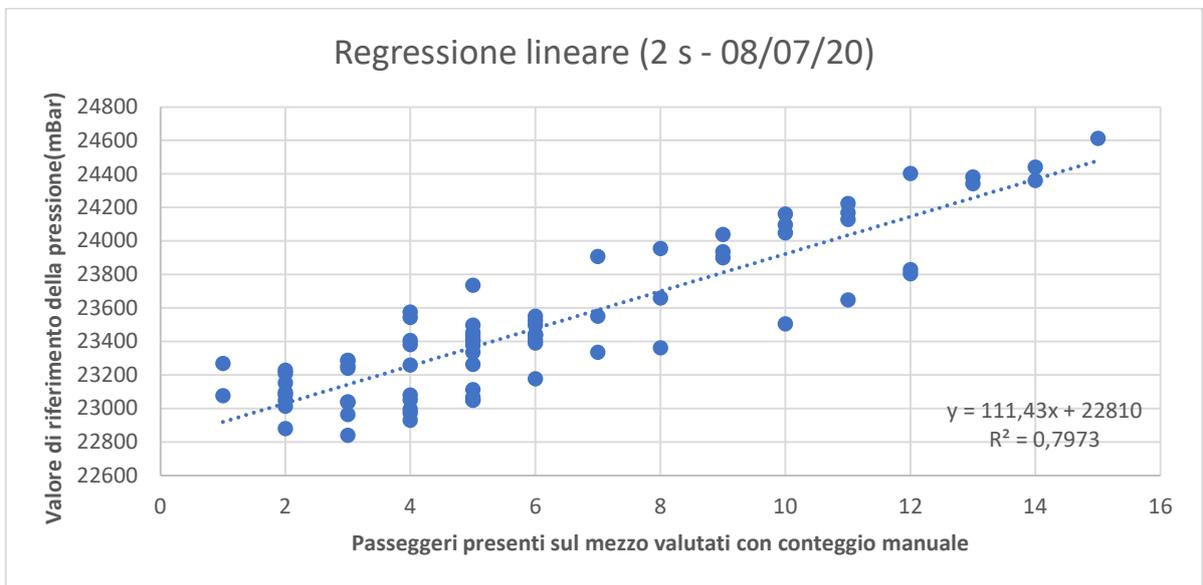


Figura 64. Grafico di regressione relativo al 08/07/20 considerando gli ultimi 2 secondi in cui il campo DOORS ha valore 1

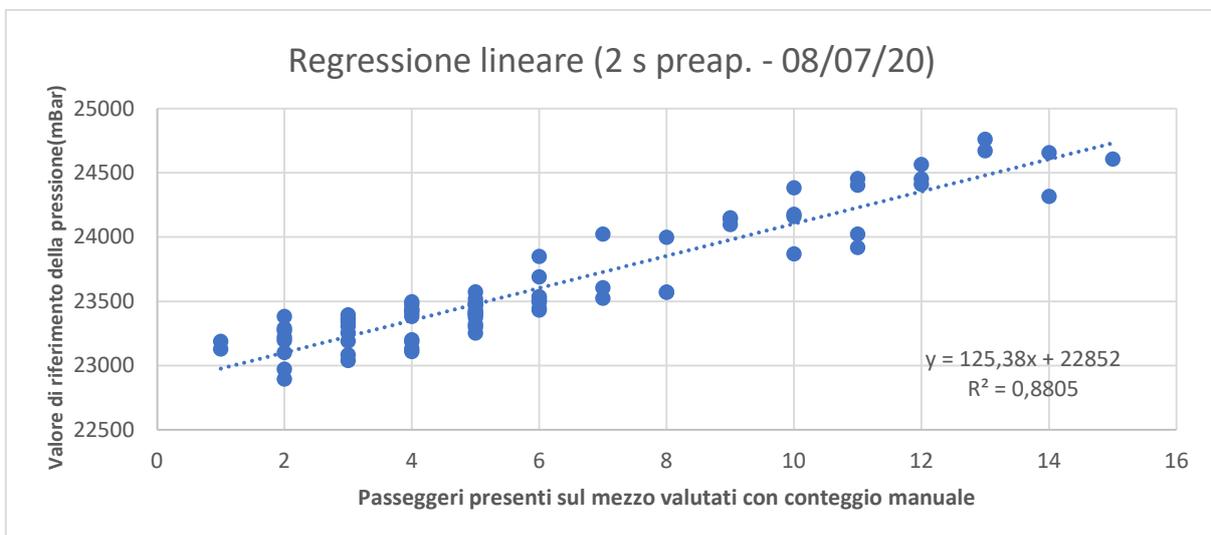


Figura 65. Grafico di regressione relativo al 08/07/20 considerando gli ultimi 2 secondi in cui il campo DOORS ha valore 0

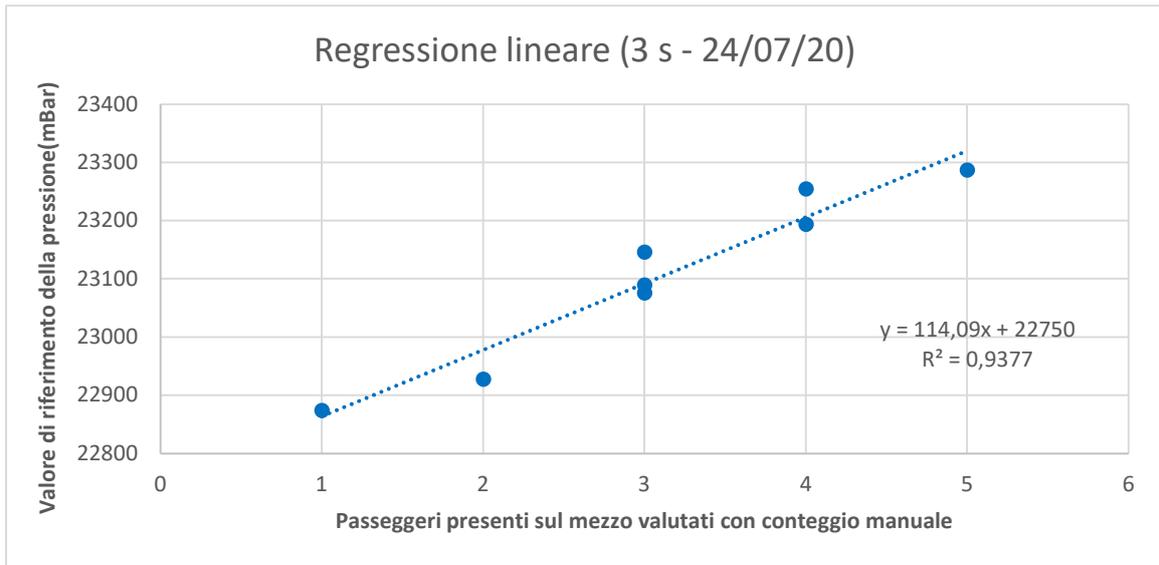


Figura 66. Grafico di regressione relativo al 24/07/20 considerando gli ultimi 3 secondi in cui il campo DOORS ha valore 1

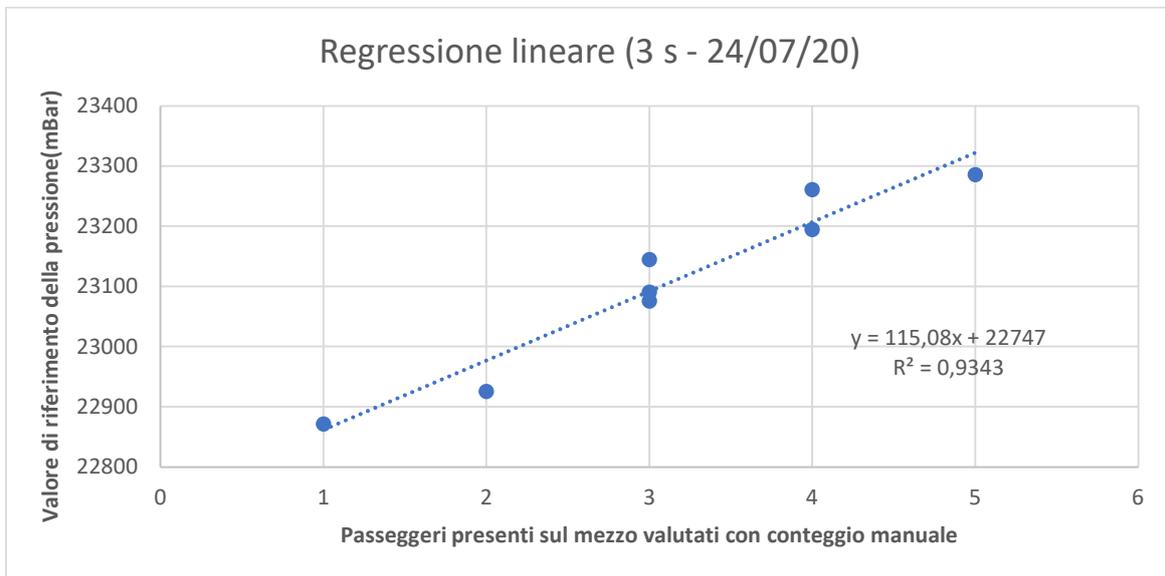


Figura 11. Grafico di regressione relativo al 24/07/20 considerando gli ultimi 2 secondi in cui il campo DOORS ha valore 1

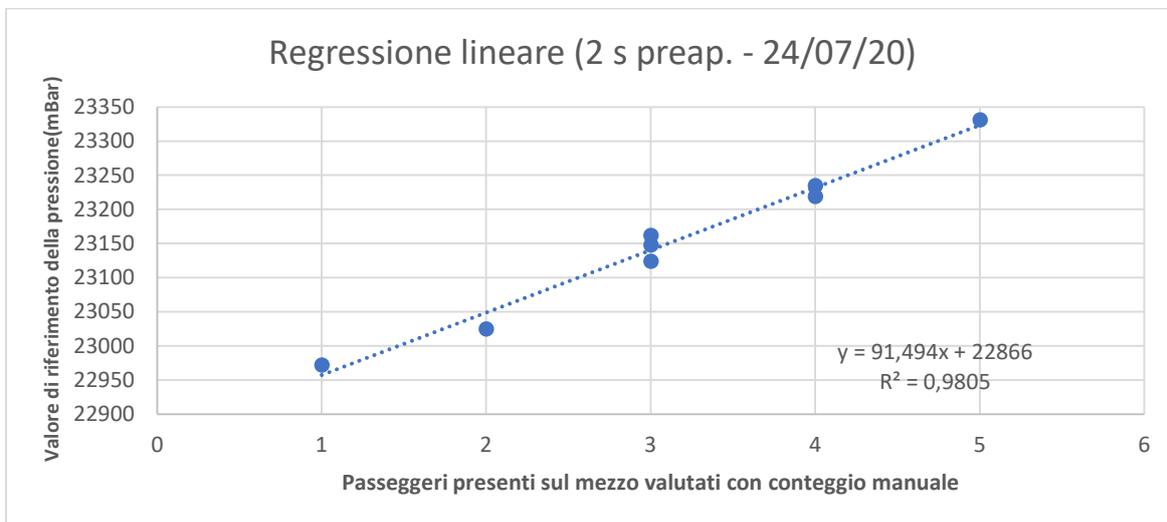


Figura 12. Grafico di regressione relativo al 24/07/20 considerando gli ultimi 2 secondi in cui il campo DOORS ha valore 0

Analisi dati rilevati

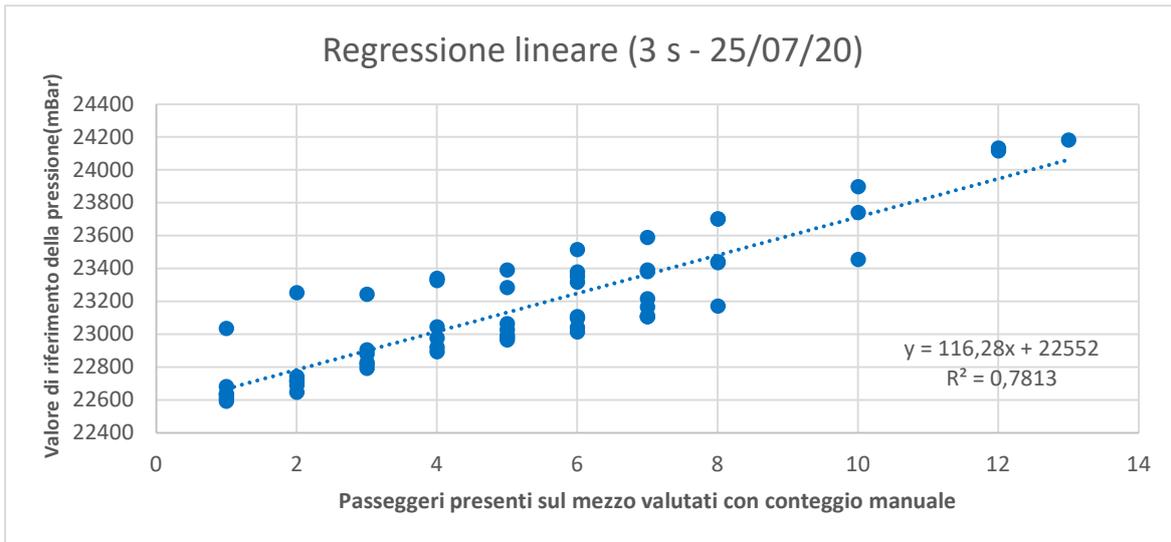


Figura 69. Grafico di regressione relativo al 25/07/20 considerando gli ultimi 3 secondi in cui il campo DOORS ha valore 1

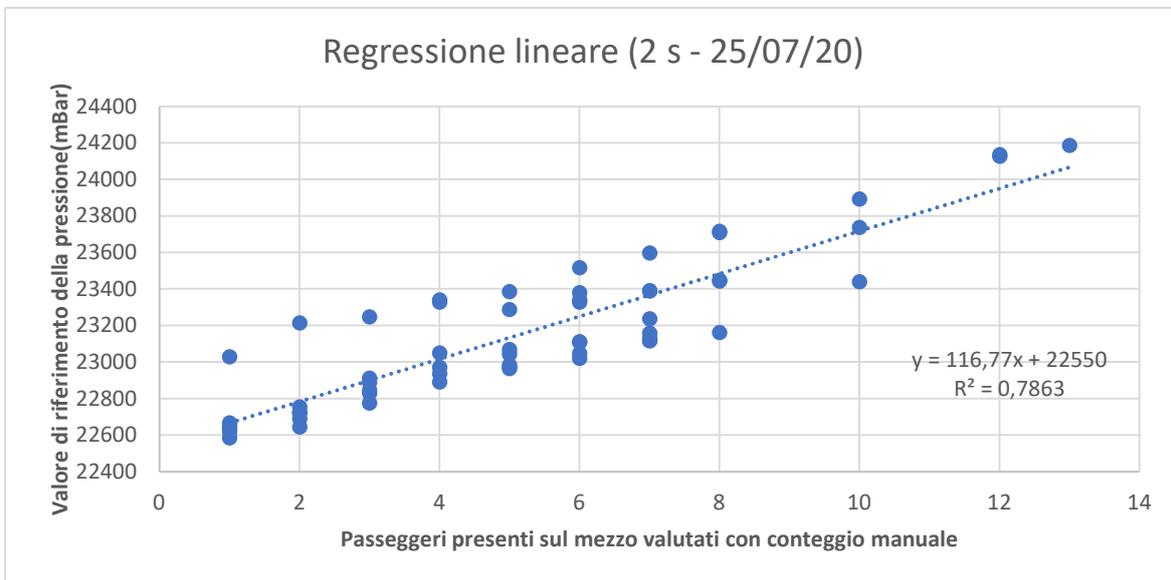


Figura 70. Grafico di regressione relativo al 25/07/20 considerando gli ultimi 2 secondi in cui il campo DOORS ha valore 1

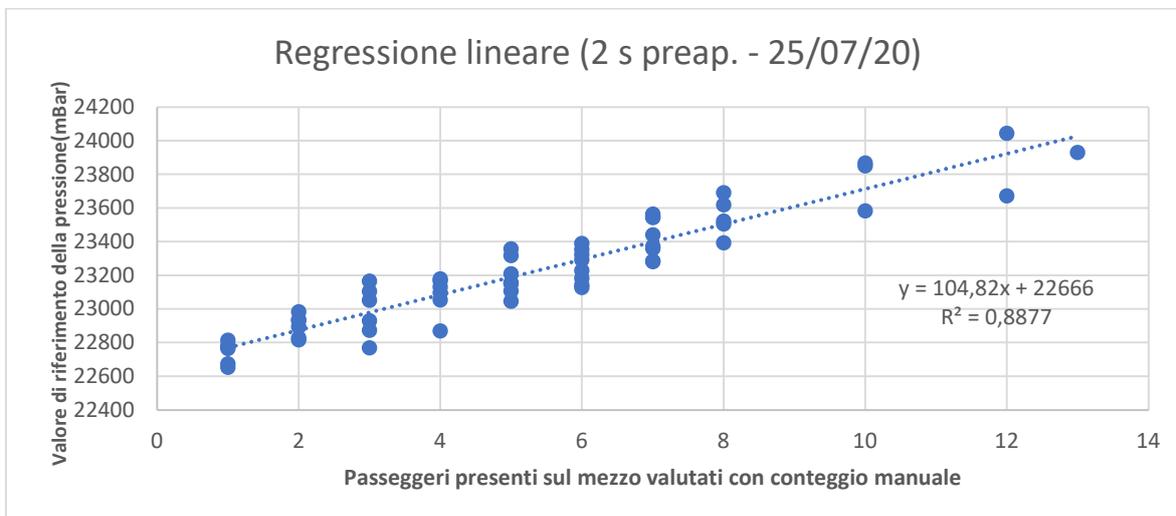


Figura 13. Grafico di regressione relativo al 25/07/20 considerando gli ultimi 2 secondi in cui il campo DOORS ha valore 0

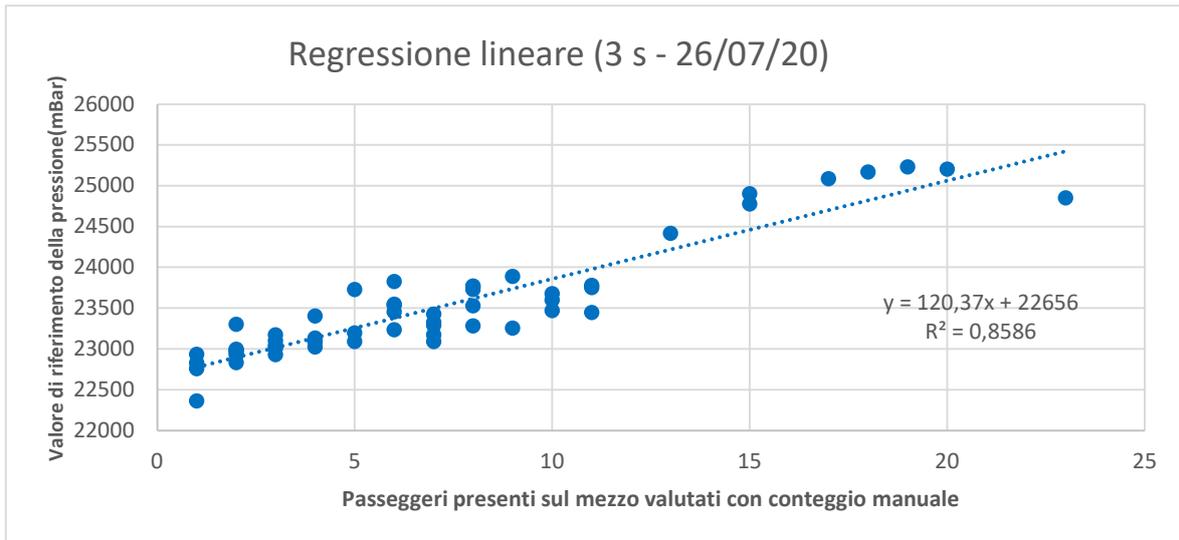


Figura 72. Grafico di regressione relativo al 26/07/20 considerando gli ultimi 3 secondi in cui il campo DOORS ha valore 1

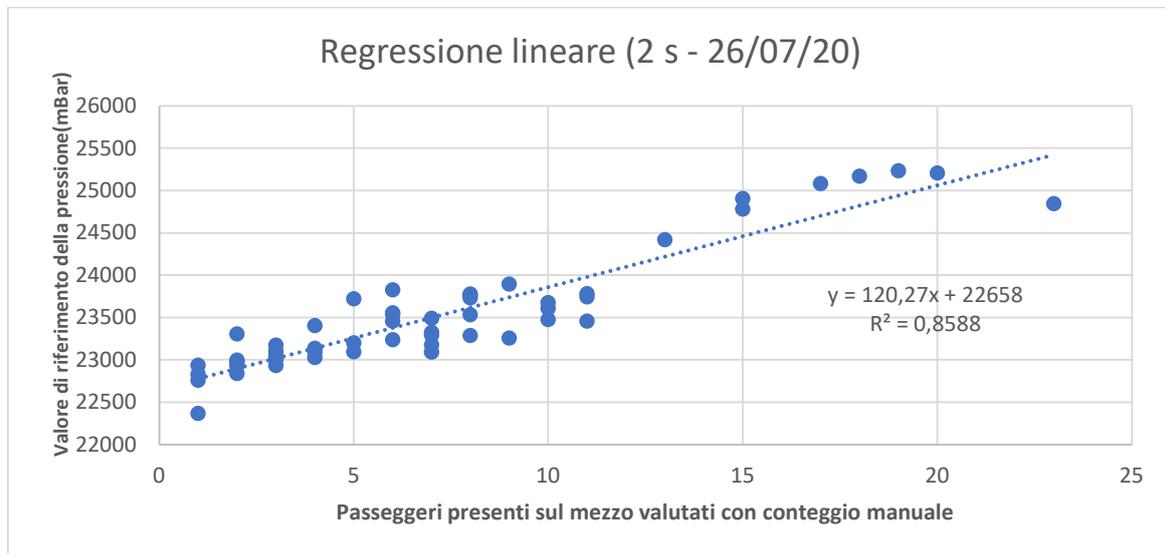


Figura 73. Grafico di regressione relativo al 26/07/20 considerando gli ultimi 2 secondi in cui il campo DOORS ha valore 1

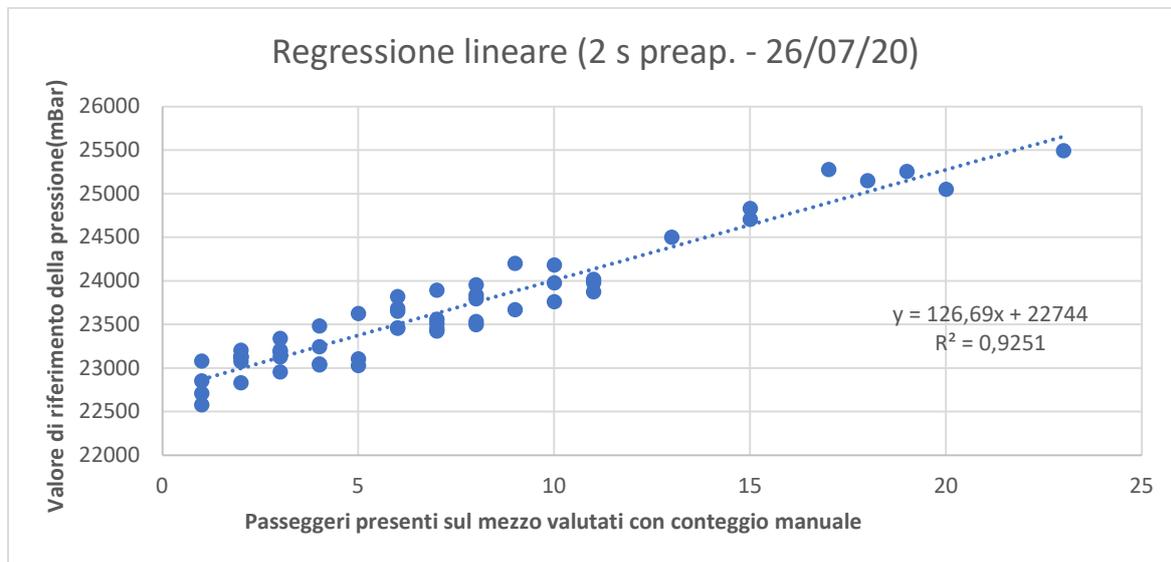


Figura 74. Grafico di regressione relativo al 26/07/20 considerando gli ultimi 2 secondi in cui il campo DOORS ha valore 0

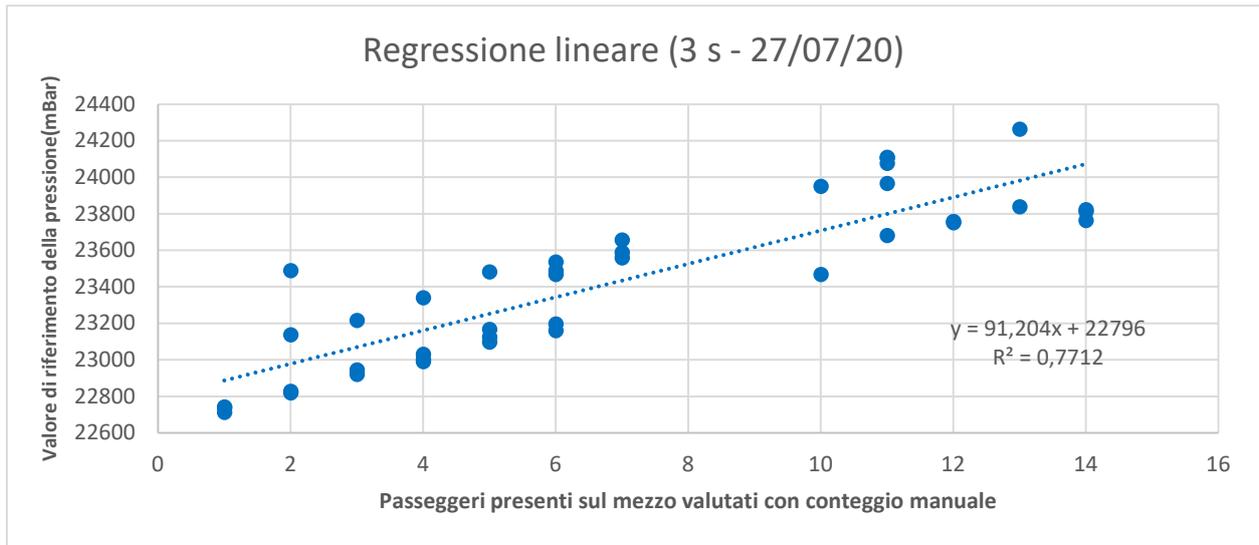


Figura 75. Grafico di regressione relativo al 27/07/20 considerando gli ultimi 3 secondi in cui il campo DOORS ha valore 1

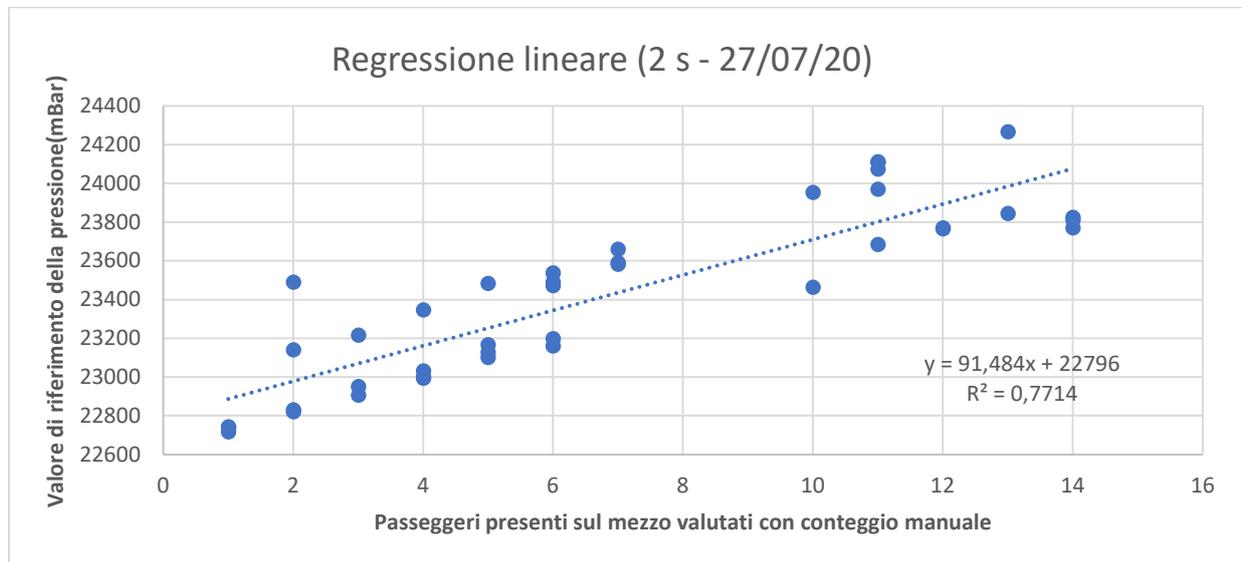


Figura 76. Grafico di regressione relativo al 27/07/20 considerando gli ultimi 2 secondi in cui il campo DOORS ha valore 1

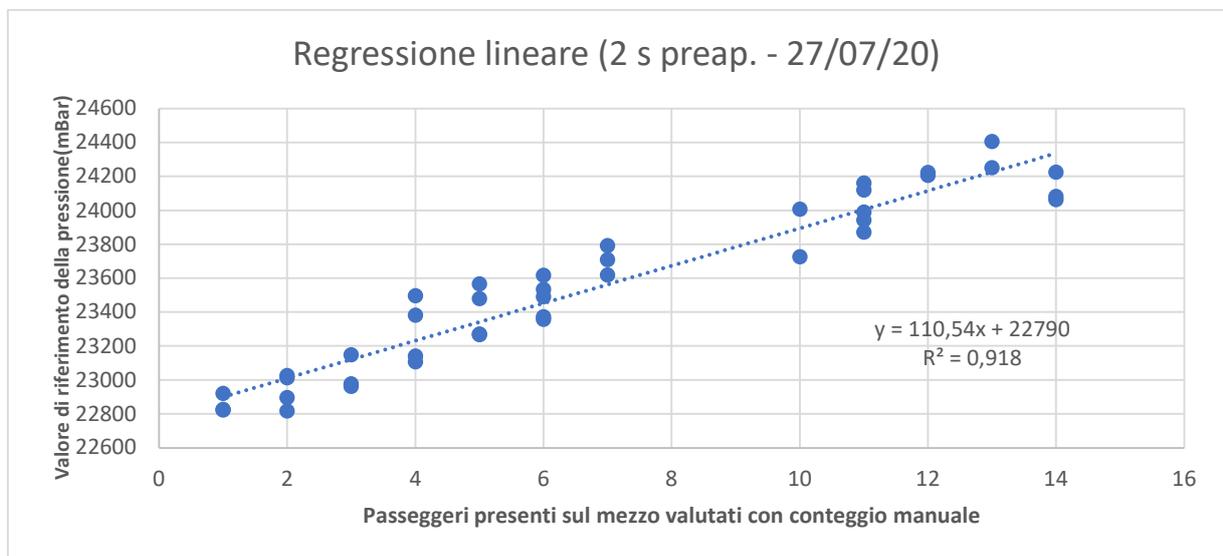


Figura 77. Grafico di regressione relativo al 27/07/20 considerando gli ultimi 2 secondi in cui il campo DOORS ha valore 0

Analisi dati rilevati

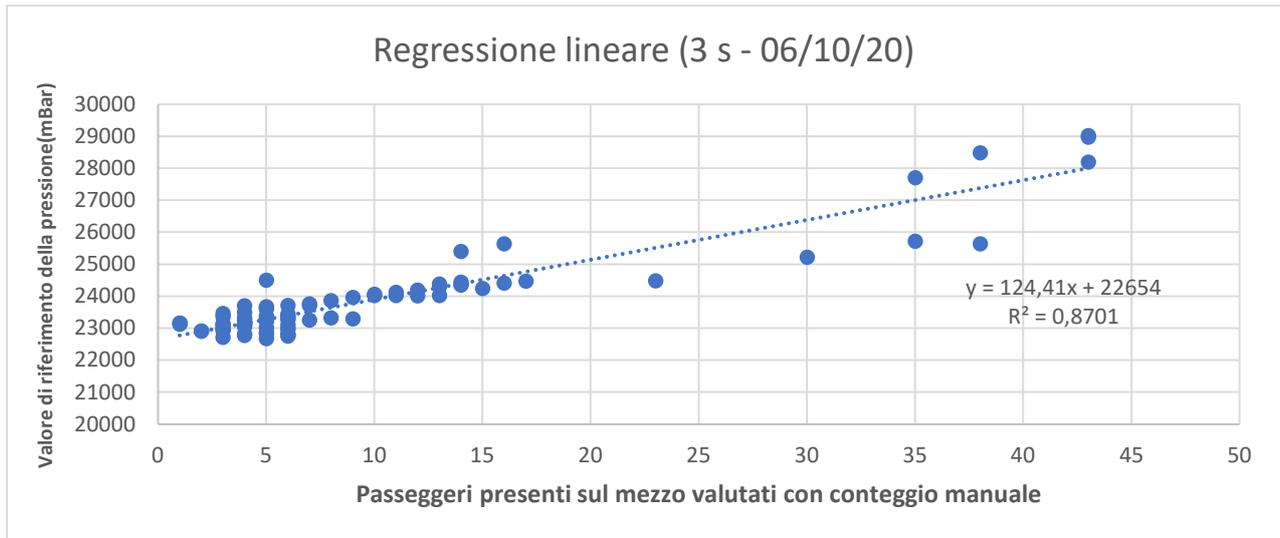


Figura 78. Grafico di regressione relativo al 06/10/20 considerando gli ultimi 3 secondi in cui il campo DOORS ha valore 1

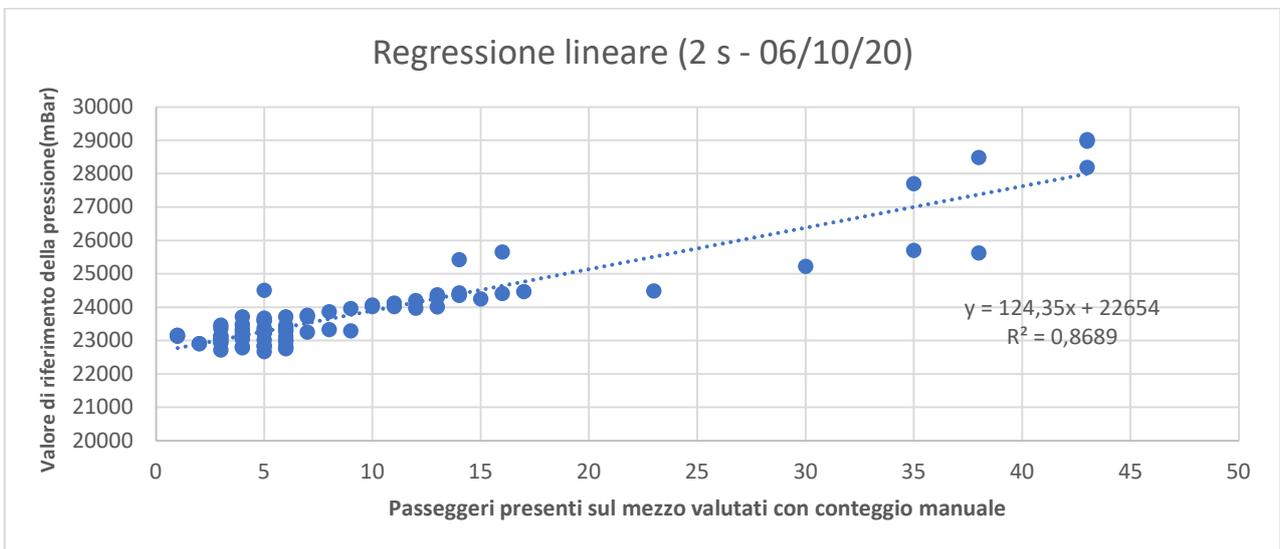


Figura 79. Grafico di regressione relativo al 06/10/20 considerando gli ultimi 2 secondi in cui il campo DOORS ha valore 1

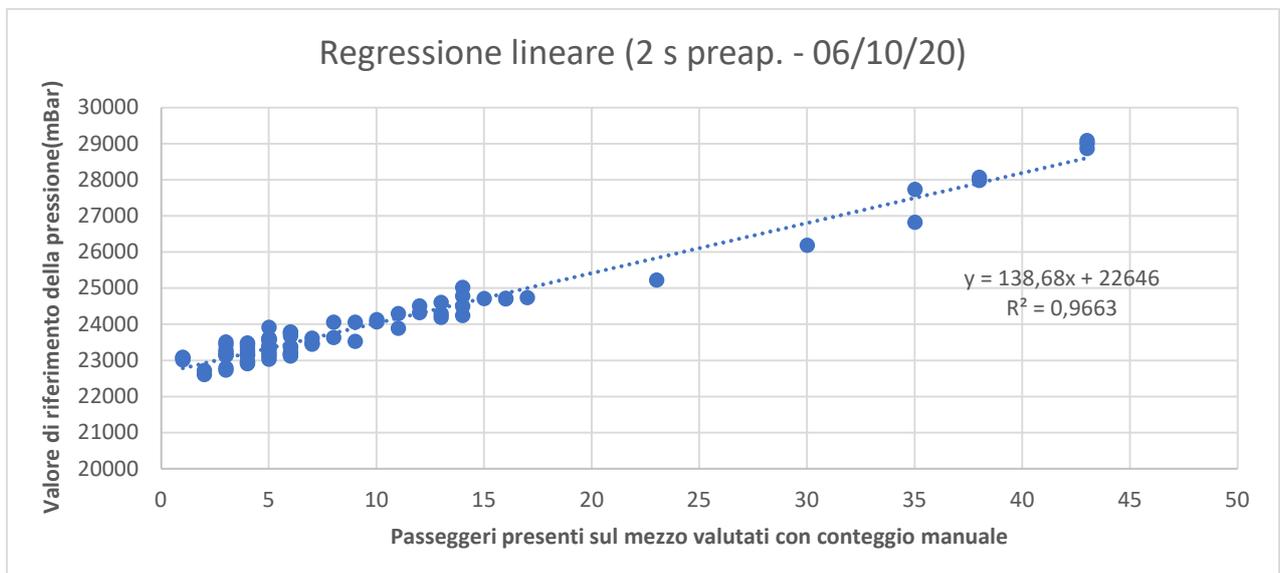


Figura 80. Grafico di regressione relativo al 06/10/20 considerando gli ultimi 2 secondi in cui il campo DOORS ha valore 0

Analisi dati rilevati

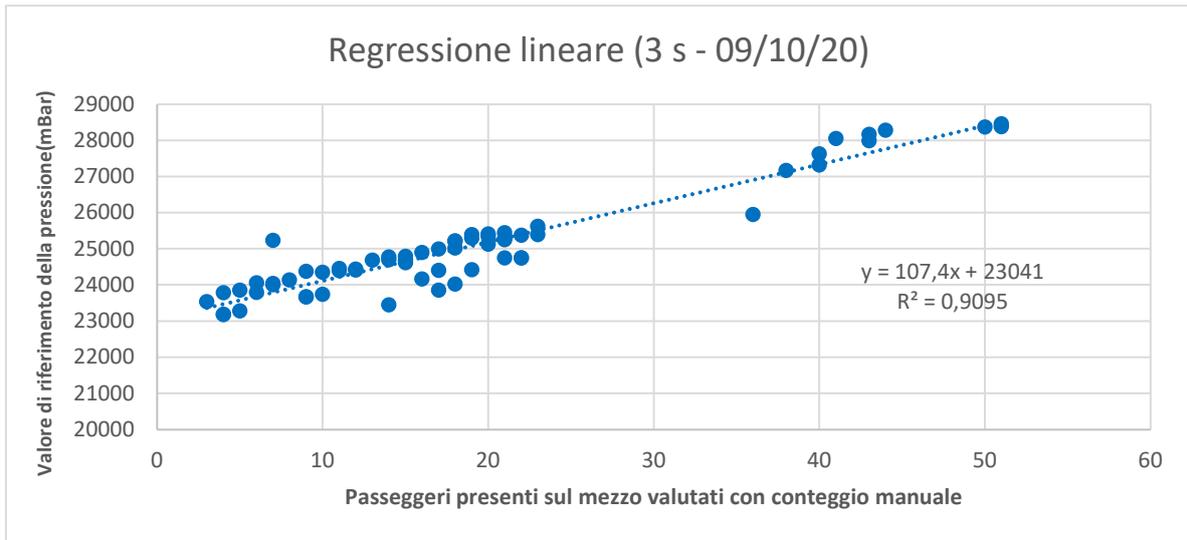


Figura 81. Grafico di regressione relativo al 09/10/20 considerando gli ultimi 3 secondi in cui il campo DOORS ha valore 1

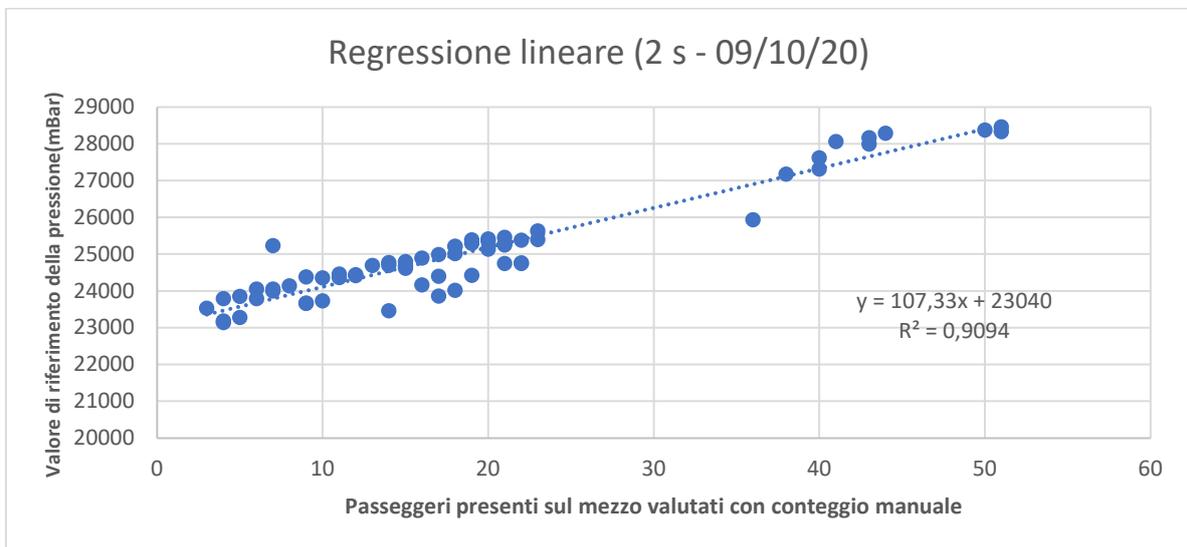


Figura 82. Grafico di regressione relativo al 09/10/20 considerando gli ultimi 2 secondi in cui il campo DOORS ha valore 1

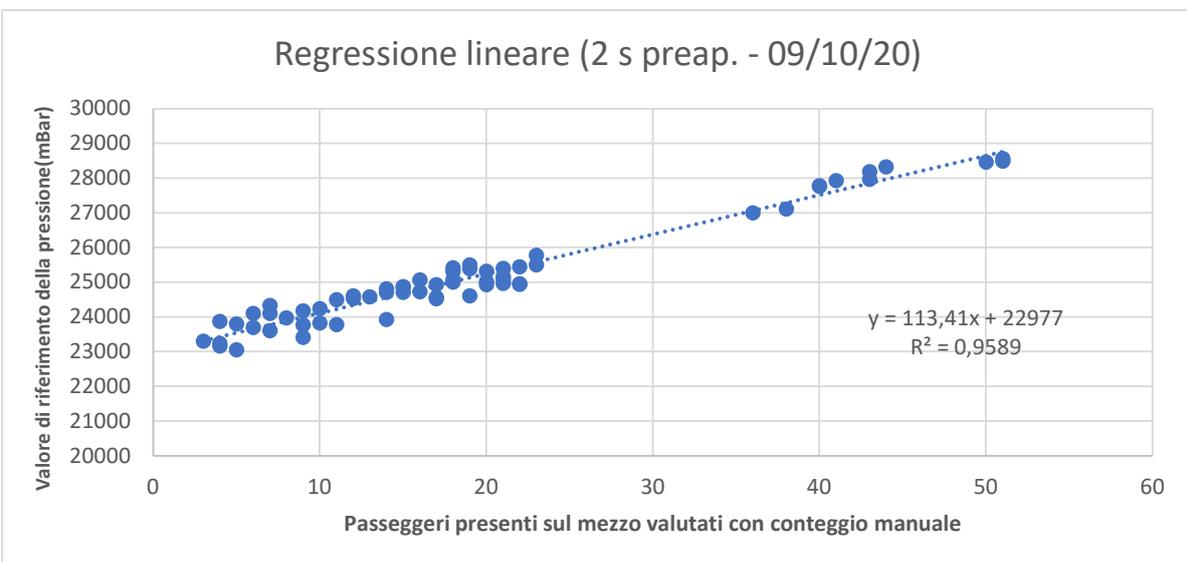


Figura 83. Grafico di regressione relativo al 09/10/20 considerando gli ultimi 2 secondi in cui il campo DOORS ha valore 0

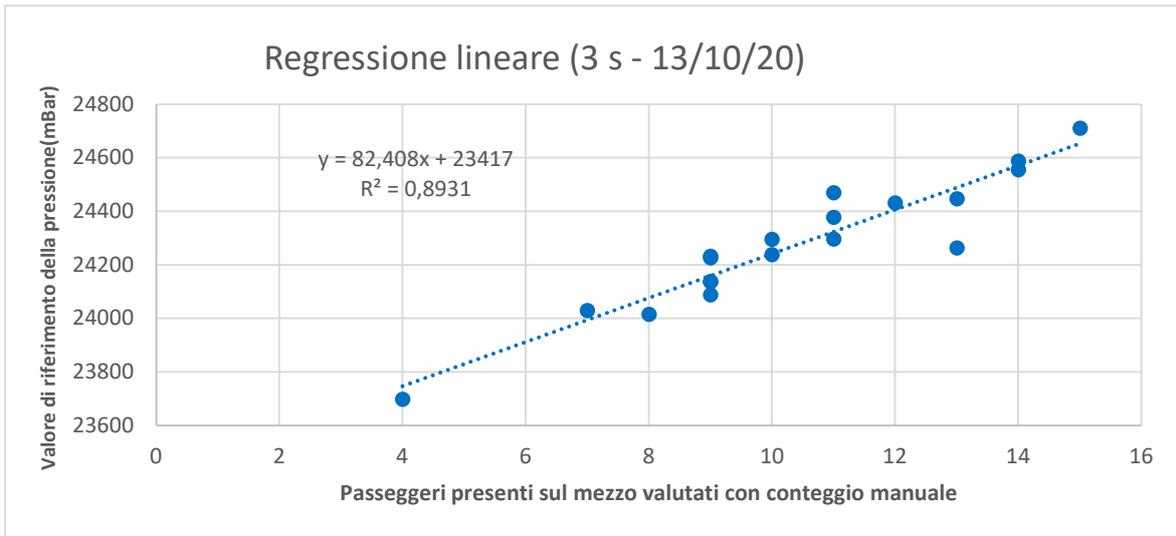


Figura 84. Grafico di regressione relativo al 13/10/20 considerando gli ultimi 3 secondi in cui il campo DOORS ha valore 1

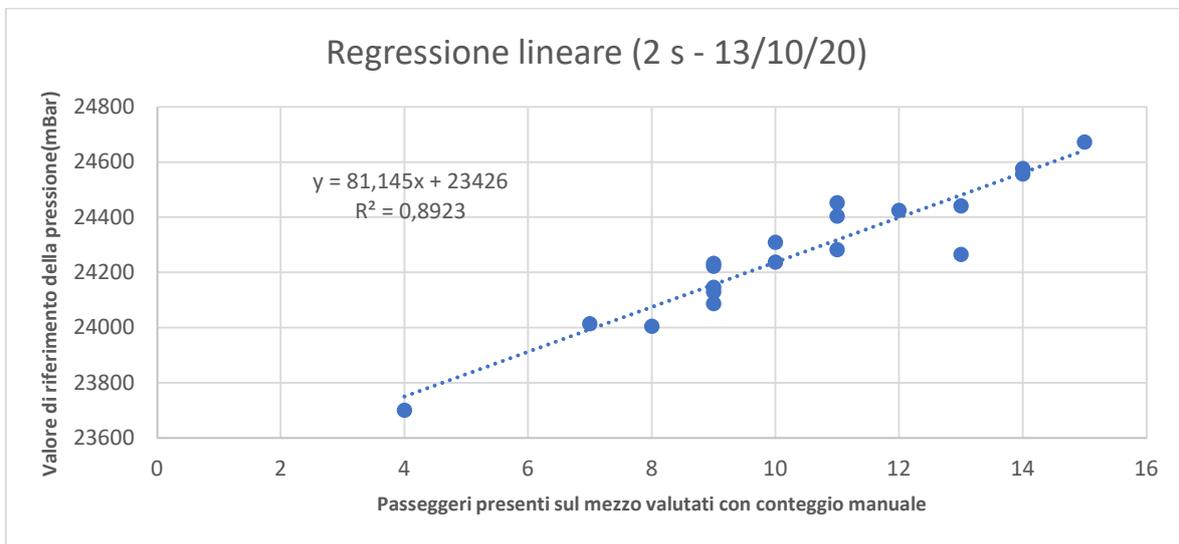


Figura 85. Grafico di regressione relativo al 13/10/20 considerando gli ultimi 2 secondi in cui il campo DOORS ha valore 1

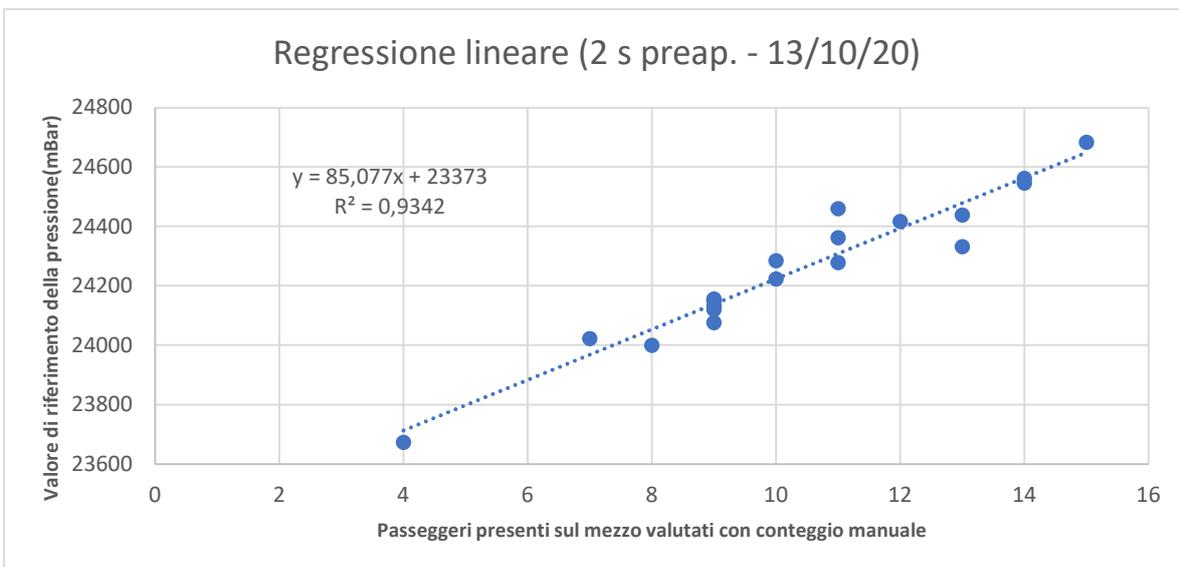


Figura 86. Grafico di regressione relativo al 13/10/20 considerando gli ultimi 2 secondi in cui il campo DOORS ha valore 0

Analisi dati rilevati

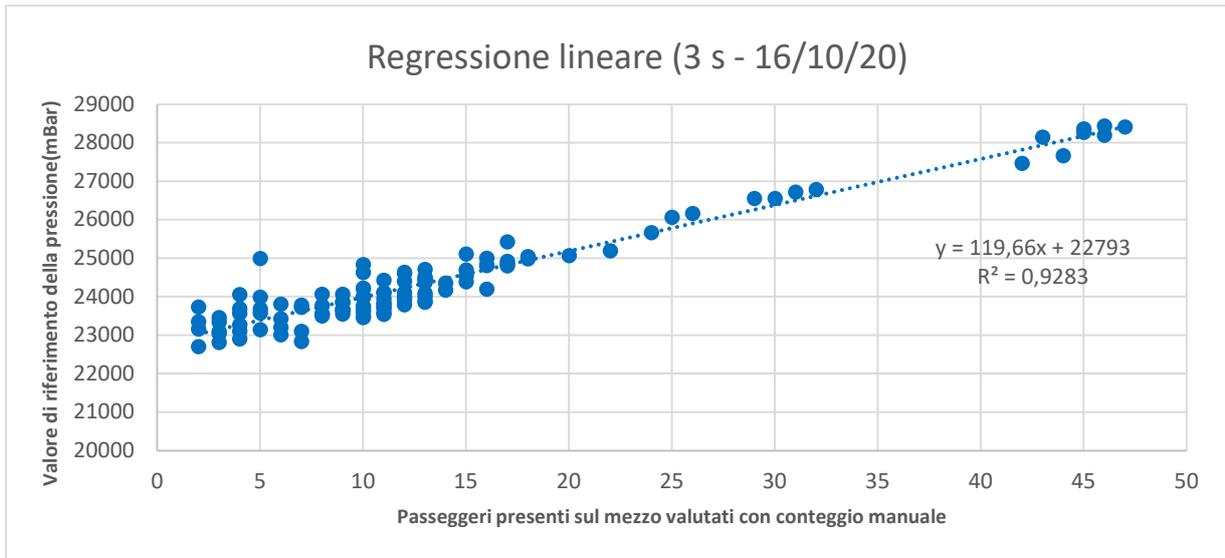


Figura 87. Grafico di regressione relativo al 16/10/20 considerando gli ultimi 3 secondi in cui il campo DOORS ha valore 1

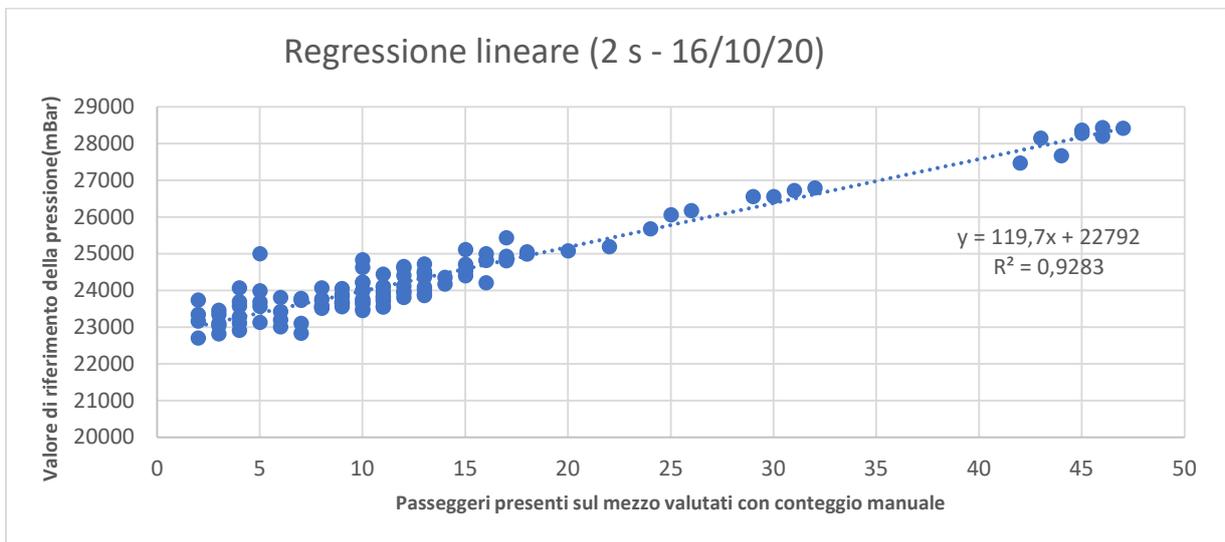


Figura 88. Grafico di regressione relativo al 16/10/20 considerando gli ultimi 2 secondi in cui il campo DOORS ha valore 1

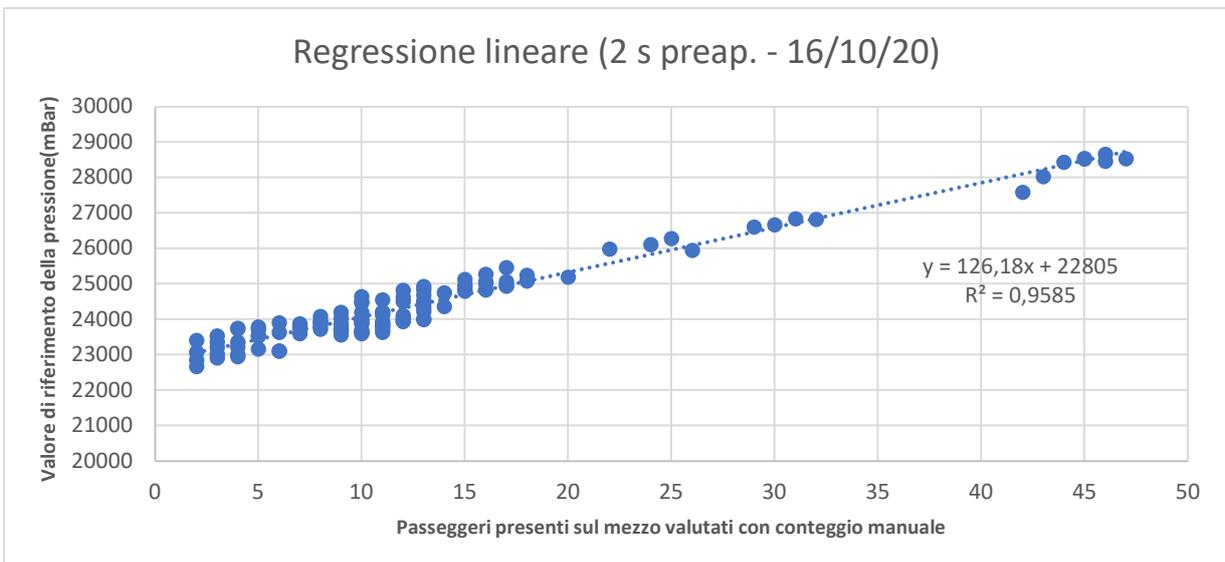


Figura 89. Grafico di regressione relativo al 16/10/20 considerando gli ultimi 2 secondi in cui il campo DOORS ha valore 0

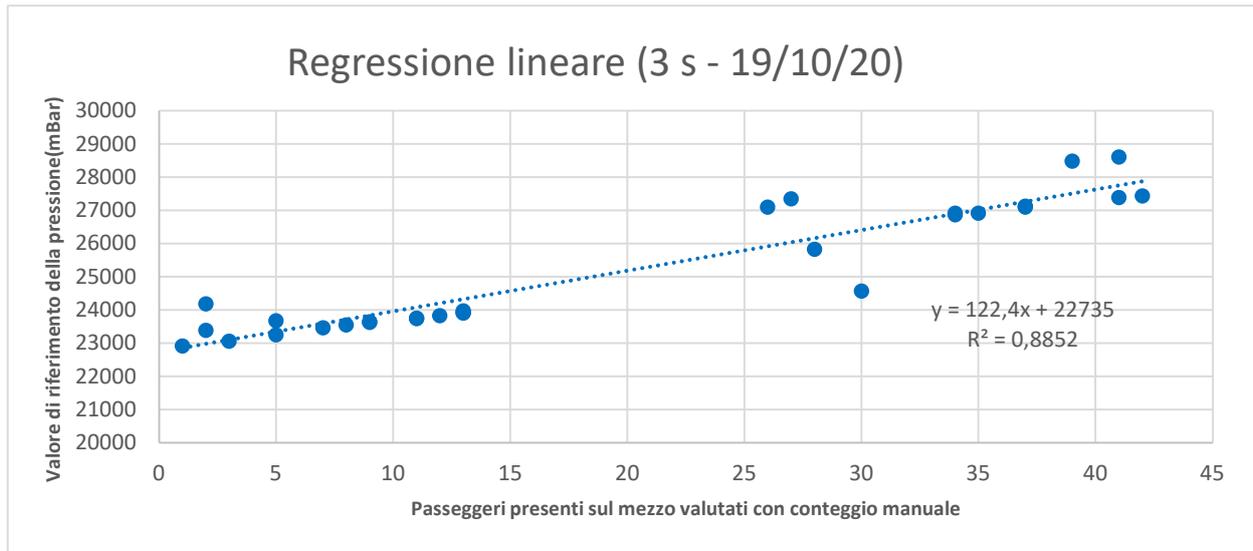


Figura 90. Grafico di regressione relativo al 19/10/20 considerando gli ultimi 3 secondi in cui il campo DOORS ha valore 1

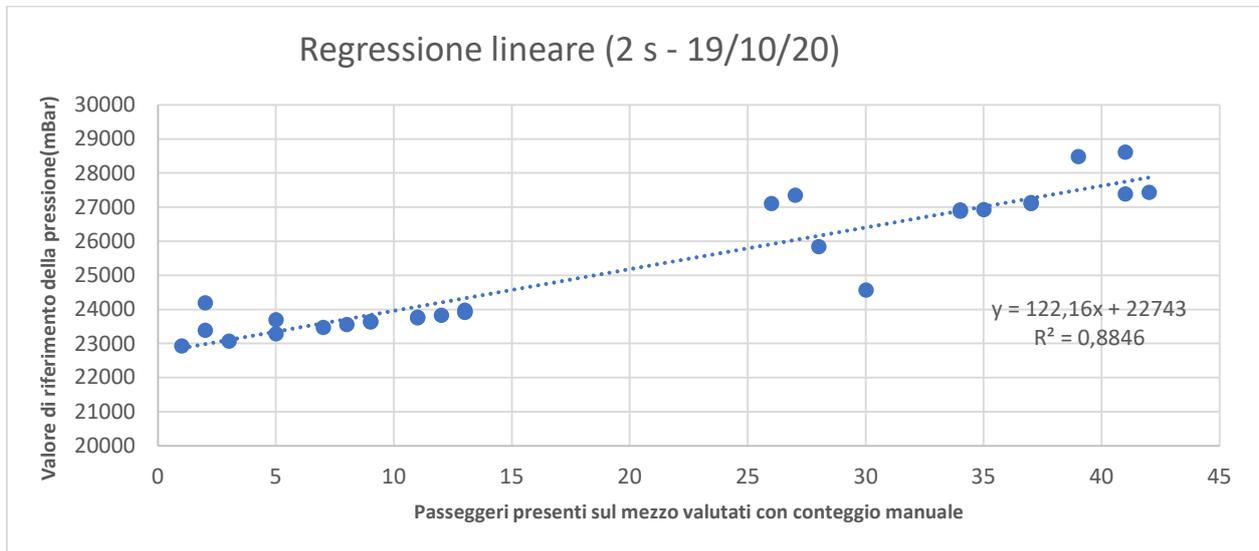


Figura 91. Grafico di regressione relativo al 19/10/20 considerando gli ultimi 2 secondi in cui il campo DOORS ha valore 1

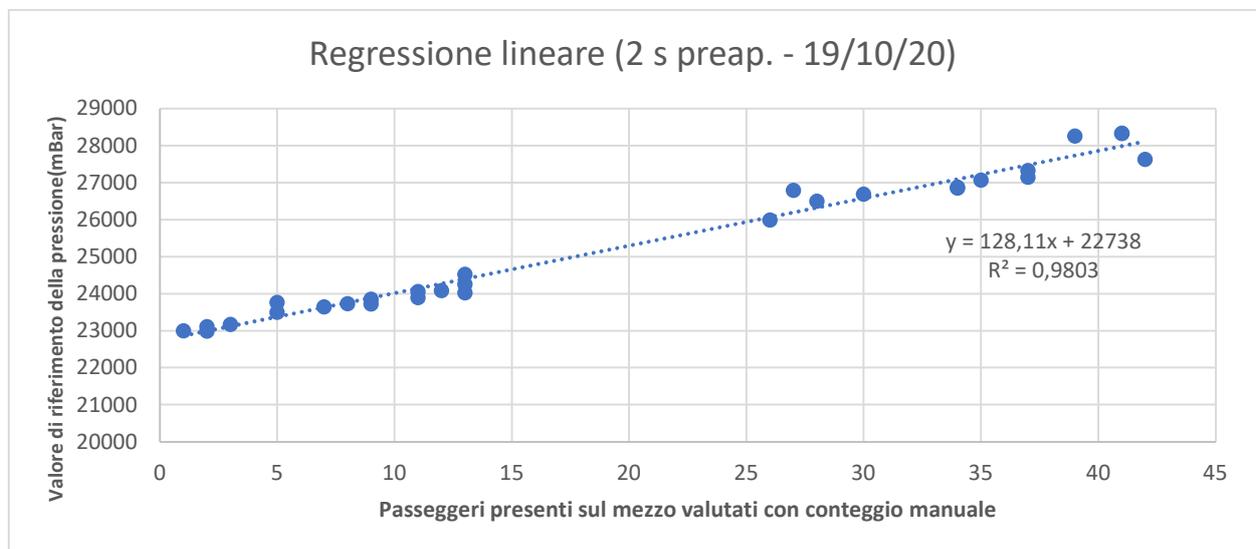


Figura 92. Grafico di regressione relativo al 16/10/20 considerando gli ultimi 2 secondi in cui il campo DOORS ha valore 0

Analisi dati rilevati

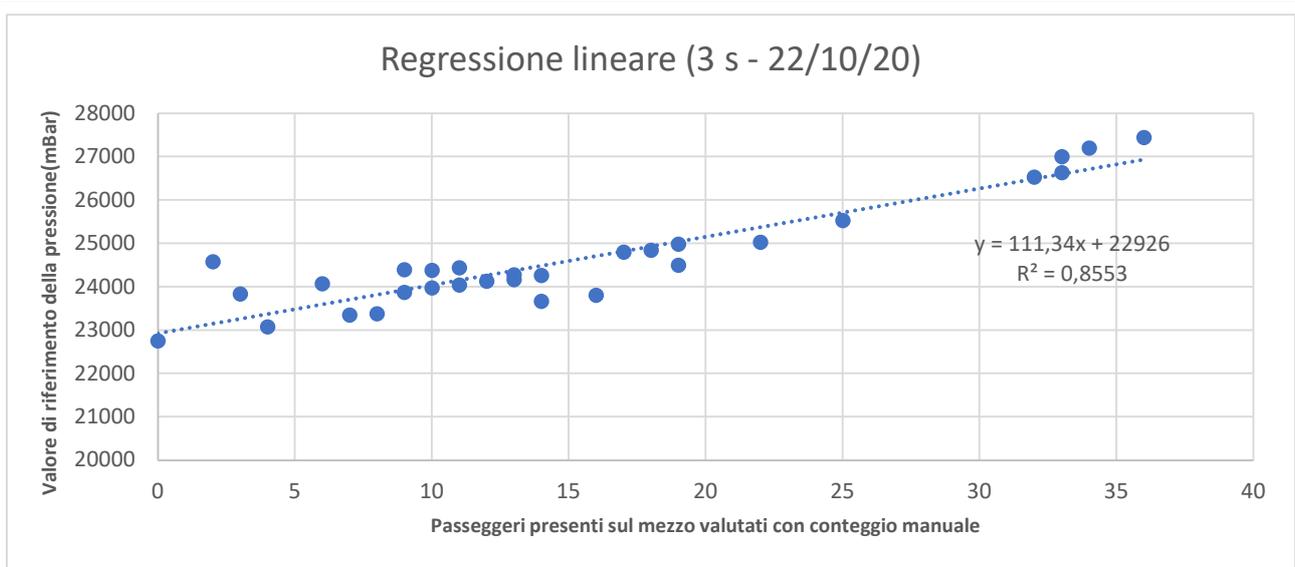


Figura 93. Grafico di regressione relativo al 22/10/20 considerando gli ultimi 3 secondi in cui il campo DOORS ha valore 1

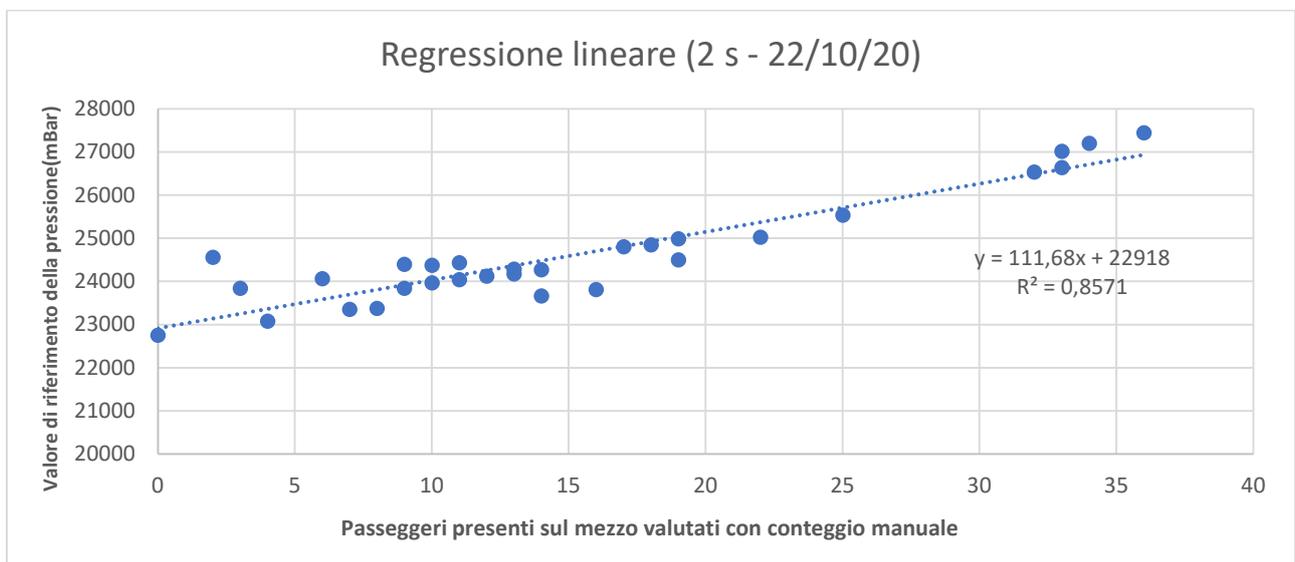


Figura 94. Grafico di regressione relativo al 22/10/20 considerando gli ultimi 2 secondi in cui il campo DOORS ha valore 1

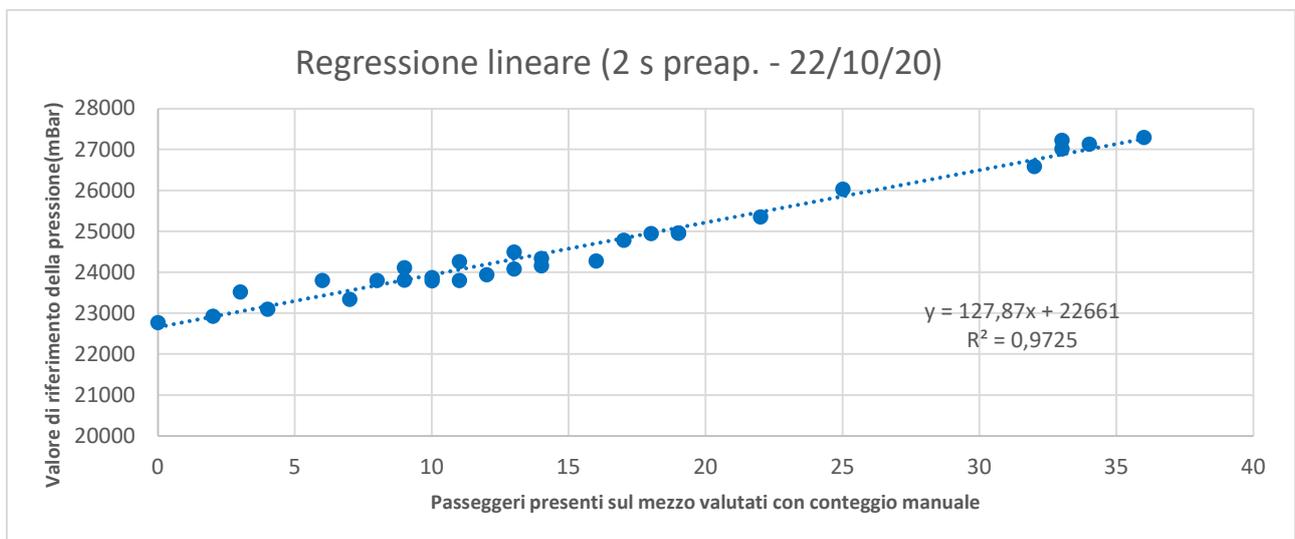


Figura 95. Grafico di regressione relativo al 22/10/20 considerando gli ultimi 2 secondi in cui il campo DOORS ha valore 0

Di seguito è riportata una tabella riassuntiva dei grafici appena mostrati, per valutare in maniera sintetica, quale tra gli intervalli di valutazione sia il più corretto. La scelta del miglior intervallo di tempo nel quale acquisire i dati è ricaduta su quello che presenta il più alto coefficiente di determinazione R^2 per i giorni analizzati.

Tabella 16. Tabella indicante i coefficienti di determinazione per ogni giorno in cui è stato effettuato il conteggio manuale

Coefficiente di determinazione R^2		Intervallo di valutazione		
		3 s	2 s	2 s preap.
Date di rilevamento	06/07/2020	0.8708	0.8757	0.9716
	08/07/2020	0.7933	0.7973	0.8805
	24/07/2020	0.9377	0.9343	0.9805
	25/07/2020	0.7813	0.7863	0.8877
	26/07/2020	0.8586	0.8588	0.9251
	27/07/2020	0.7712	0.7714	0.918
	06/10/2020	0.8701	0.8689	0.9663
	09/10/2020	0.9095	0.9094	0.9589
	13/10/2020	0.8931	0.8923	0.9342
	16/10/2020	0.9283	0.9283	0.9585
	19/10/2020	0.8852	0.8846	0.9803
	22/10/2020	0.8553	0.8571	0.9725

Come si evince dalla tabella appena illustrata, andare a considerare la media degli ultimi due secondi antecedenti all'apertura delle porte è la soluzione che presenta il più alto coefficiente di determinazione R^2 , dunque è l'intervallo che meglio adatta la retta di regressione ai dati osservati, in ogni giorno in cui sono stati condotti conteggi manuali. I valori di R^2 sono comunque sempre maggiori di 0.75 per ogni intervallo di tempo considerato, ciò sta ad indicare un corretto funzionamento del sistema APC utilizzando i trasduttori di pressione. Inoltre, sempre dalla tabella, è possibile riscontare come ci siano differenze minime tra i primi due intervalli di acquisizione valutati. Andare a considerare la media degli ultimi 2 o 3 secondi in cui le porte del mezzo sono aperte prima di ripartire, dunque, non presenta grandi differenze nel coefficiente R^2 , differenze che invece si manifestano spostando l'intervallo di acquisizione non più prima che il mezzo riparta, bensì

agli ultimi istanti prima che arrivi alla fermata successiva. Inoltre, è stato rilevato, nel corso delle analisi effettuate che, in particolar modo nelle fermate in cui avviene la salita o la discesa di un elevato numero di passeggeri, come ad esempio le fermate in prossimità delle scuole o delle università, i primi due intervalli, che acquisiscono i valori di pressione prima della chiusura delle porte, non riescono a leggere in modo corretto l'elevata differenza di passeggeri saliti o scesi dal mezzo che si verifica. Ciò può essere ricondotto al fatto che tali intervalli siano appena successivi alla salita o discesa di un gran numero di persone e le sospensioni pneumatiche per i primi secondi tendano comunque ad ammortizzare il notevole incremento o decremento di pressione a bordo mezzo che si viene a creare, stabilizzando tale variazione in un arco temporale maggiore, portando dunque a dei bias sistematici se si considerano intervalli di acquisizione come nei primi due casi. Andando a scegliere un intervallo di tempo altrettanto affidabile ma sufficientemente lontano da queste forti variazioni di passeggeri a bordo mezzo, come l'ultimo intervallo di acquisizione considerato, porta ad una calibrazione maggiormente affidabile del modello.

Per giustificare tale spiegazione sono riportati di seguito due grafici che mostrano l'andamento della pressione tra due fermate successive presi con un intervallo che inizia e finisce con gli ultimi due secondi in cui il campo DOORS=0.

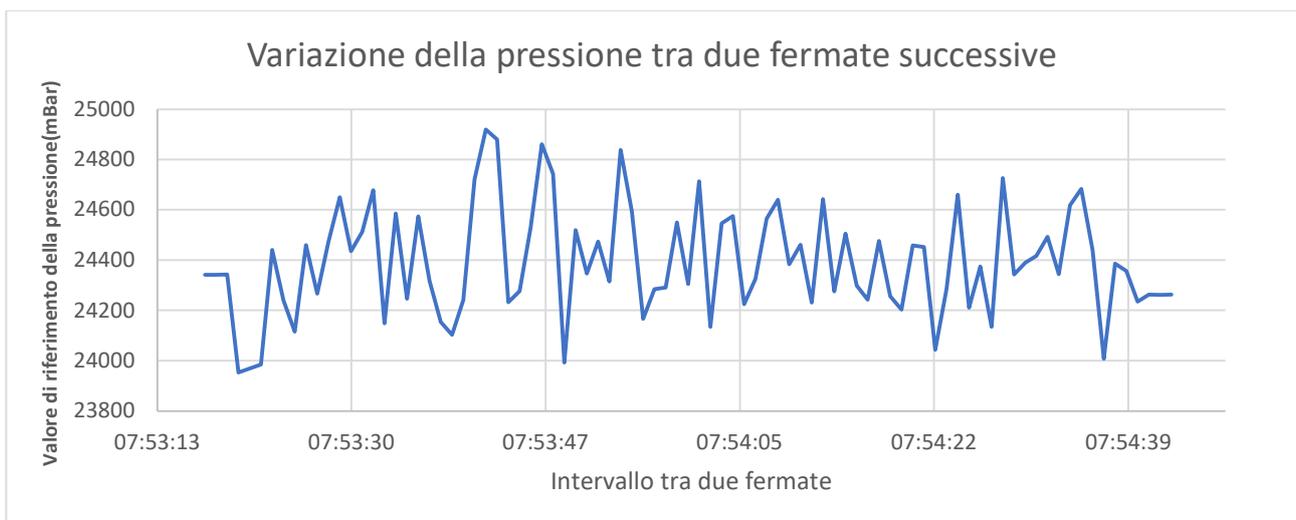


Figura 96. Variazione della pressione tra due fermate successive in data 13/10

In questo primo esempio preso in data 13/10 la differenza tra passeggeri scesi e saliti non è notevole, ma si nota in maniera abbastanza semplice come nei primi secondi, ovvero quelli

precedenti all'apertura delle porte, la pressione si mantiene quasi costante, mentre subito dopo si ha una rapida diminuzione, seguita subito da un altrettanto rapido incremento della pressione, dovuto prima alla discesa e salita dei passeggeri. Durante la corsa la pressione varia in maniera notevole e questo è dovuto ai sobbalzi ed al movimento delle persone presenti sul mezzo. Alla fine del grafico l'andamento torna ad essere costante, e questo giustifica quanto appena mostrato.

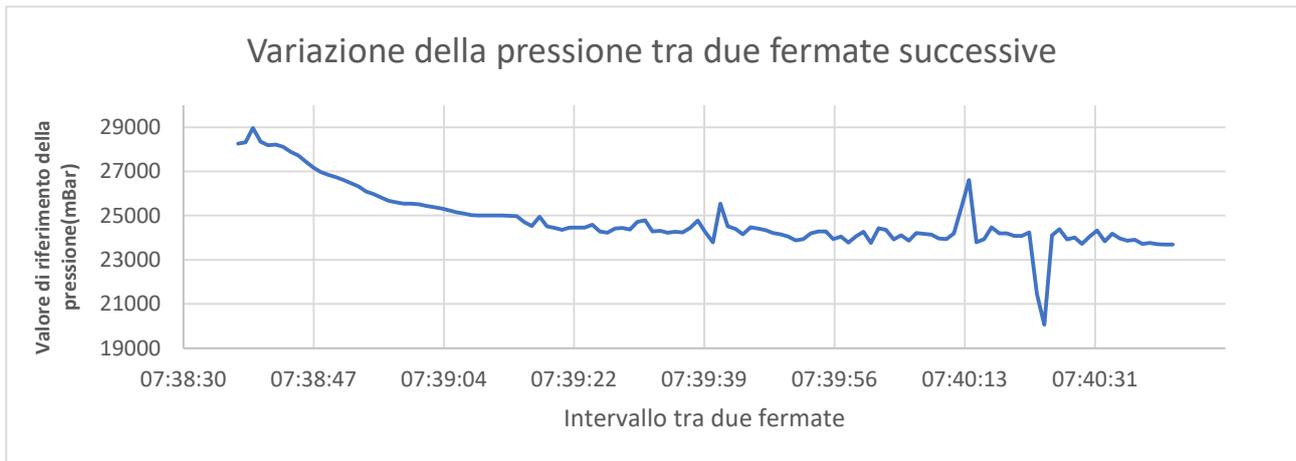


Figura 97. Variazione della pressione tra due fermate successive in data 13/10

Il secondo esempio è preso dal conteggio manuale effettuato in data 16/10. In particolare, è stato scelto un intervallo dove la prima fermata è Carcano, ovvero la fermata della scuola, con una discesa di ben 41 passeggeri. Come riscontrato dal confronto tra i tre intervalli di tempo, si nota come per i primi secondi a seguito della chiusura delle porte avviene un costante decremento del valore della pressione, e questo giustifica quanto supposto in precedenza, ovvero che in casi come questo, in cui si ha una notevole differenza tra passeggeri saliti e scesi, le sospensioni pneumatiche non ne risentano subito ma in maniera graduale. Dopo la diminuzione della pressione si riverificano le rapide variazioni che dovute ai sobbalzi, per poi ritornare costante negli ultimi secondi.

6.2.2. Confronto tra passeggeri teorici e passeggeri valutati con conteggio manuale

Una volta definito quale sia l'intervallo di valutazione nel quale andare ad acquisire i dati, partendo dalla retta di regressione $\hat{y} = ax + b$, dove nel nostro caso la variabile x

rappresenta il numero di passeggeri a bordo mezzo valutati mediante conteggio manuale e la variabile y il valore di riferimento della pressione, possiamo quindi riscrivere l'equazione:

$$\text{Valore di riferimento pressione} = a(\text{Pax bordo mezzo}) + b$$

Dunque, grazie alla retta di regressione fornita direttamente dal foglio di calcolo, è possibile ricavare i valori dei parametri a e b , i quali rappresentano rispettivamente coefficiente angolare ed intercetta della retta. Con la formula inversa, è possibile andare a calcolare il numero dei passeggeri a bordo mezzo definiti teorici, ovvero il numero dei passeggeri presenti sul mezzo valutati mediante i parametri di regressione:

$$\text{Pax teorici} = \frac{\text{Valore di riferimento pressione} - b}{a}$$

Di seguito, vi è una rappresentazione grafica delle differenze in termini di passeggeri presenti sul mezzo valutati sia mediante conteggio manuale, sia mediante l'utilizzo dei parametri provenienti dalla regressione lineare valutate lungo l'arco temporale in cui è avvenuto il rilevamento manuale.

Occorre precisare che il numero dei passeggeri teorici ricavato con la formula presente nella pagina precedente è approssimato al valore di 0.5 in quanto non avrebbe senso una valutazione dei passeggeri stimati se non con numeri interi, riferendoci a delle persone fisiche.

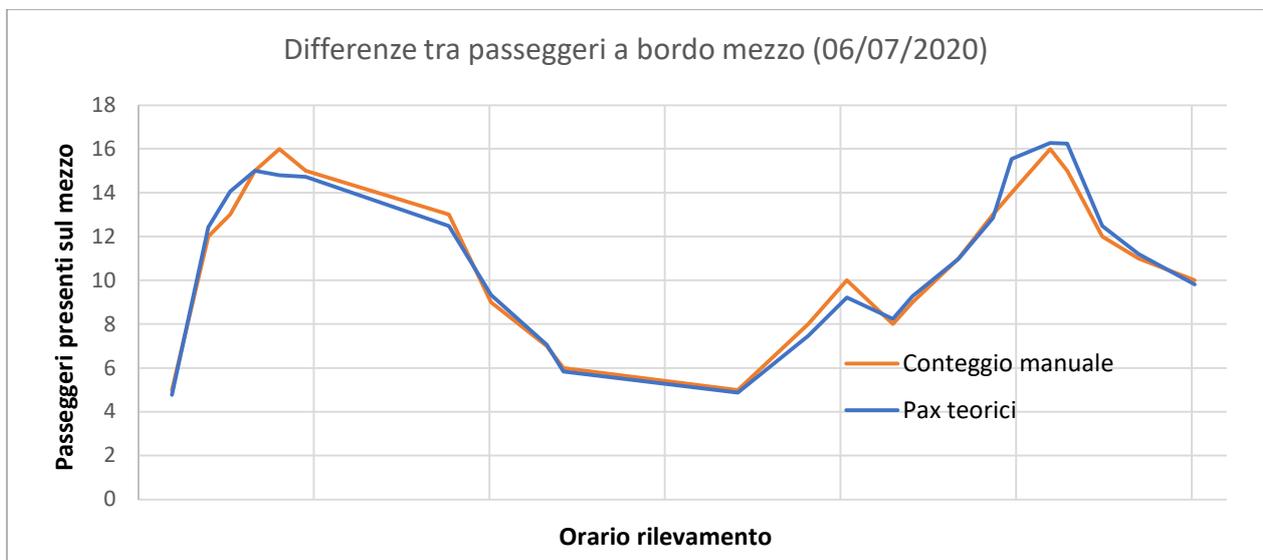


Figura 98. Confronto tra conteggio manuale e conteggio mediante parametri di regressione per le rilevazioni del 06/07/2020

Analisi dati rilevati

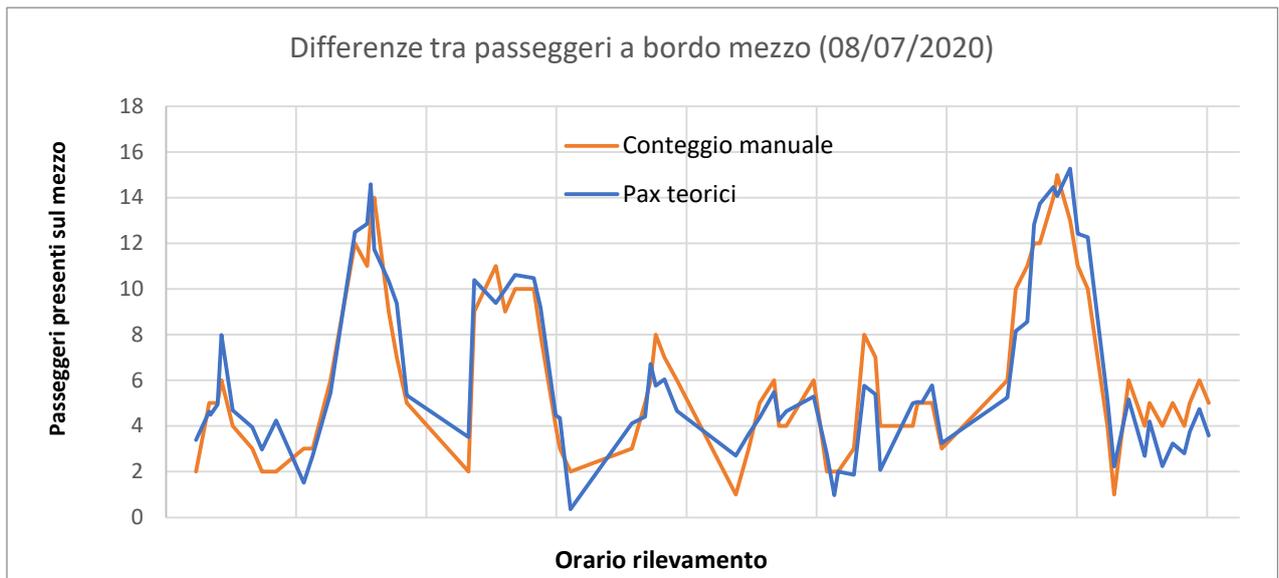


Figura 99. Confronto tra conteggio manuale e conteggio mediante parametri di regressione per le rilevazioni del 08/07/2020

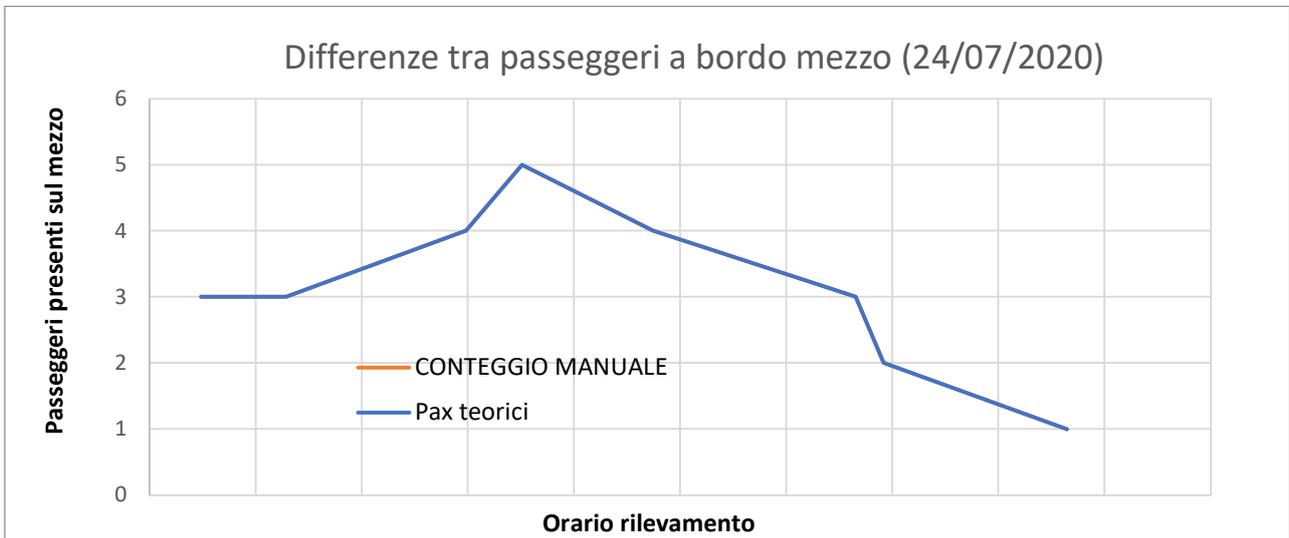


Figura 100. Confronto tra conteggio manuale e conteggio mediante parametri di regressione per le rilevazioni del 24/07/2020

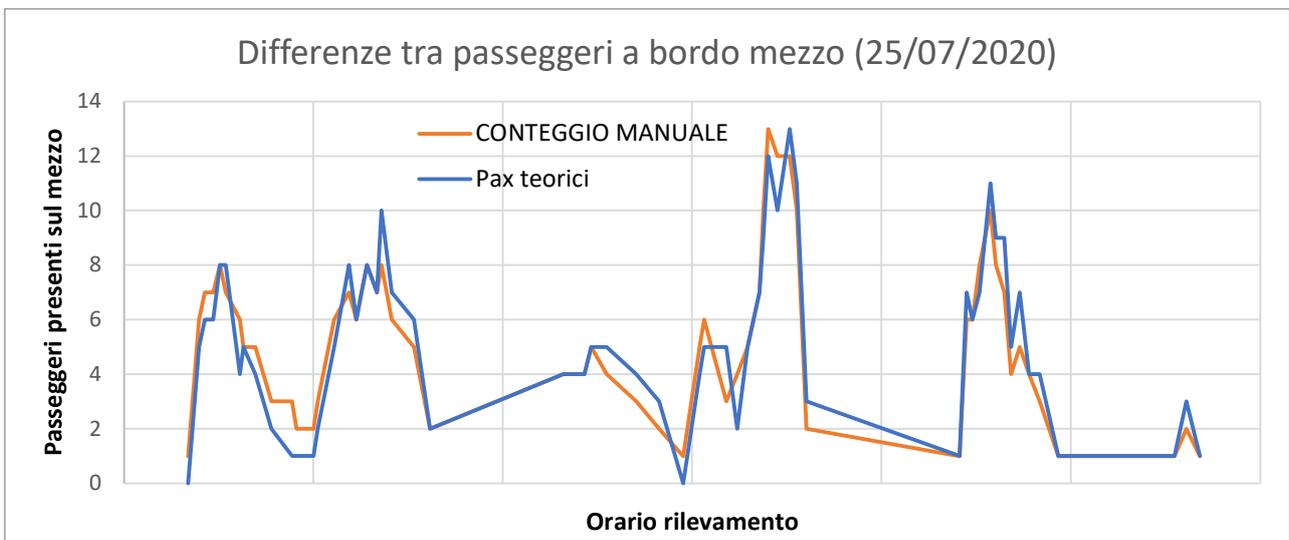


Figura 101. Confronto tra conteggio manuale e conteggio mediante parametri di regressione per le rilevazioni del 25/07/2020

Analisi dati rilevati

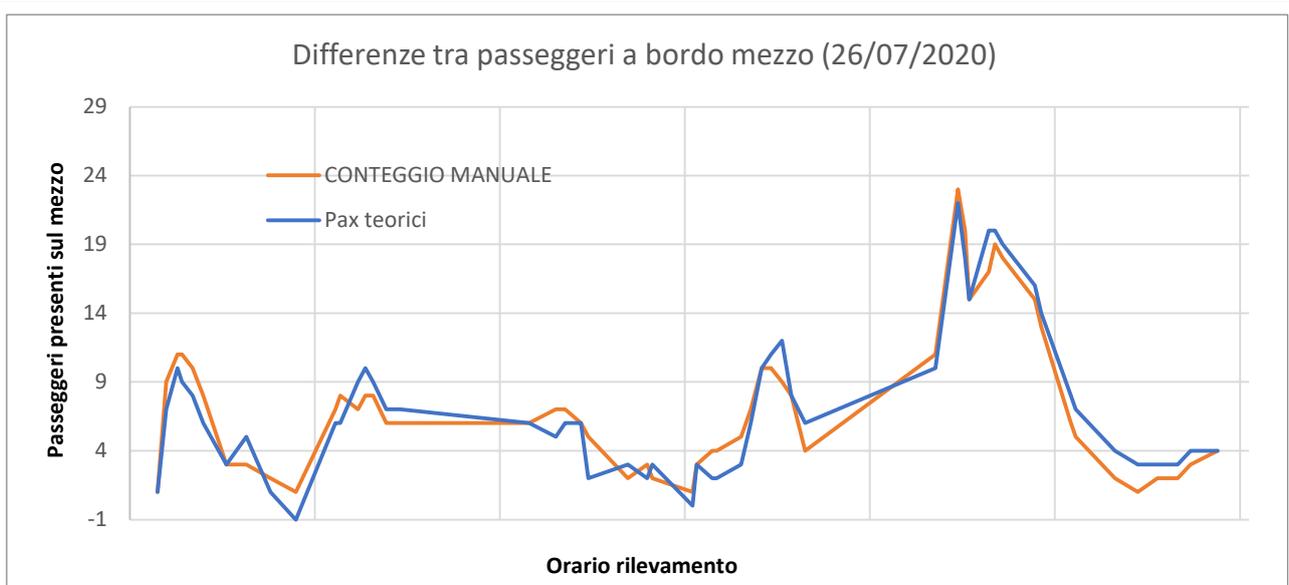


Figura 102. Confronto tra conteggio manuale e conteggio mediante parametri di regressione per le rilevazioni del 26/07/2020

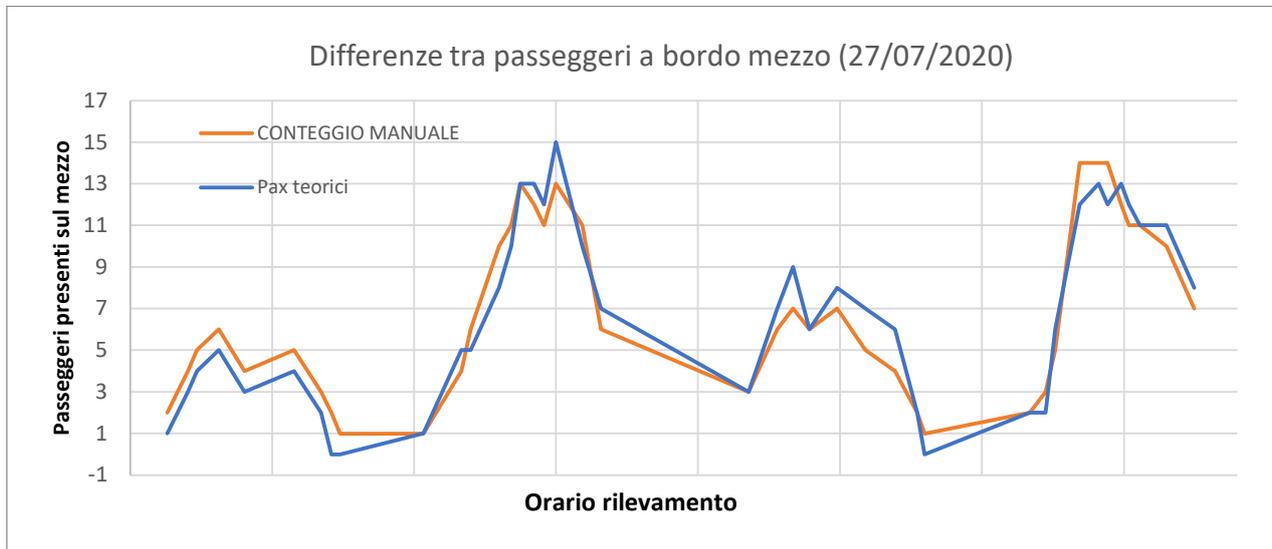


Figura 103. Confronto tra conteggio manuale e conteggio mediante parametri di regressione per le rilevazioni del 27/07/2020

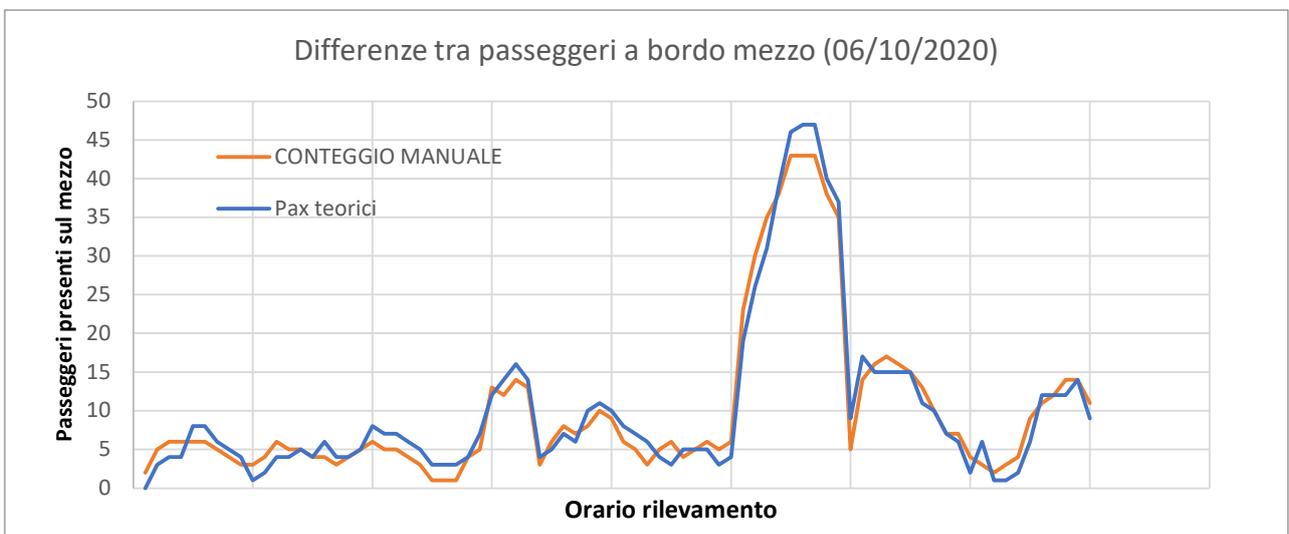


Figura 104. Confronto tra conteggio manuale e conteggio mediante parametri di regressione per le rilevazioni del 06/10/2020

Analisi dati rilevati

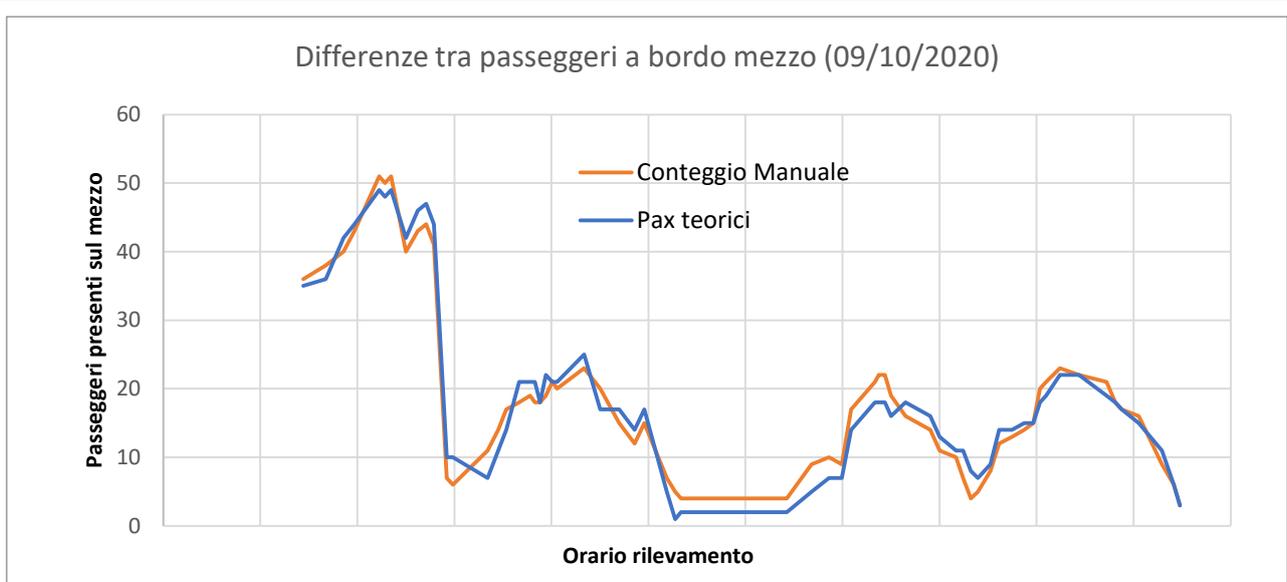


Figura 105. Confronto tra conteggio manuale e conteggio mediante parametri di regressione per le rilevazioni del 09/10/2020

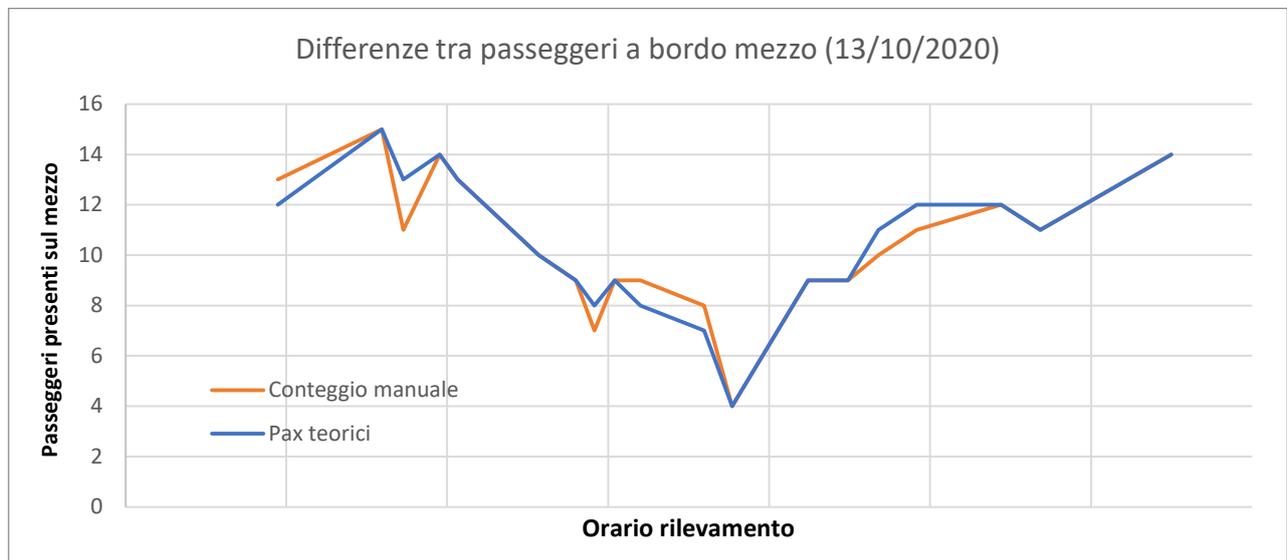


Figura 106. Confronto tra conteggio manuale e conteggio mediante parametri di regressione per le rilevazioni del 13/10/2020

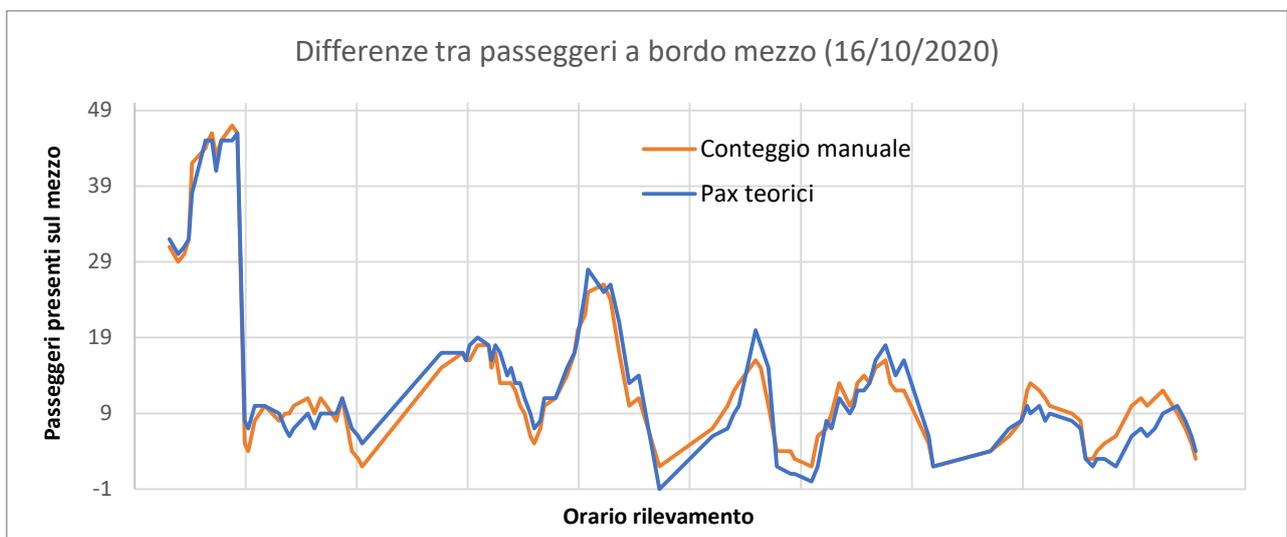


Figura 107. Confronto tra conteggio manuale e conteggio mediante parametri di regressione per le rilevazioni del 16/10/2020

Analisi dati rilevati

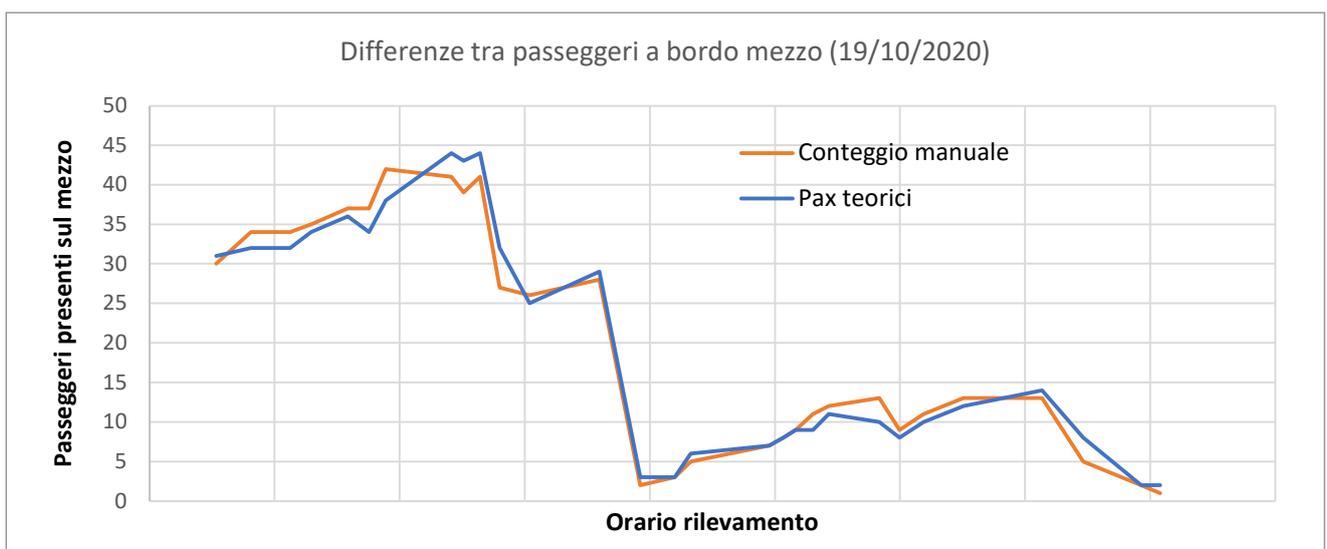


Figura 108. Confronto tra conteggio manuale e conteggio mediante parametri di regressione per le rilevazioni del 19/10/2020

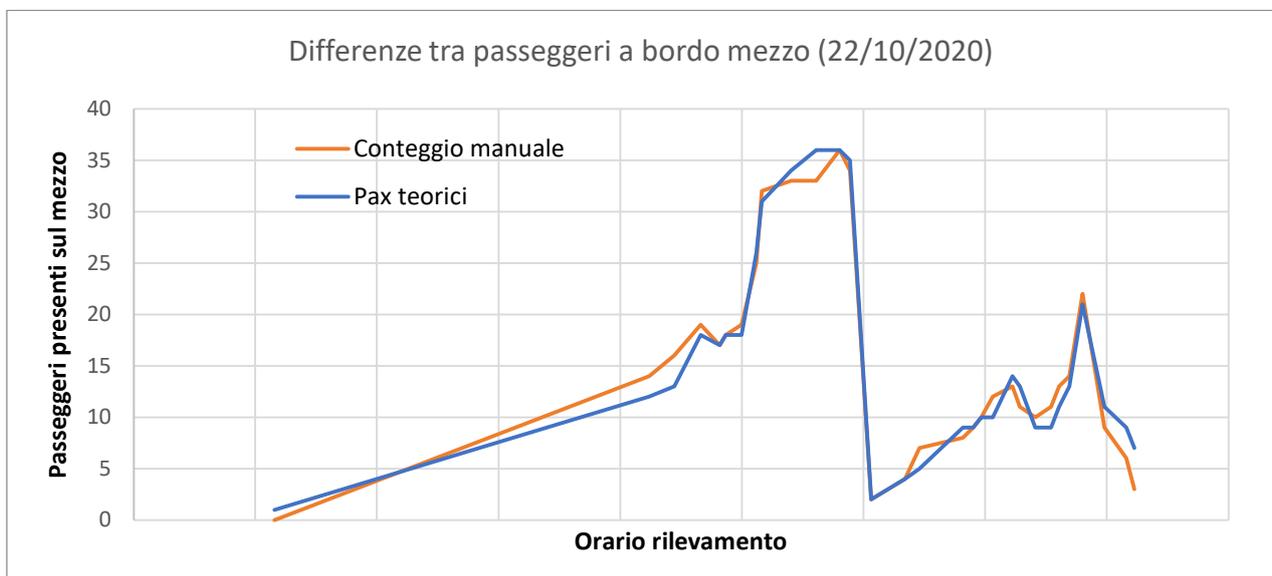


Figura 109. Confronto tra conteggio manuale e conteggio mediante parametri di regressione per le rilevazioni del 22/10/2020

Si può notare come le curve per larghi tratti si sovrappongono o differiscano di poco, il che corrisponde ad una differenza tra numero di passeggeri valutato mediante conteggio manuale e numero di passeggeri ricavato tramite i parametri di regressione minima.

Già dal coefficiente di determinazione, ma in particolar modo a seguito dei grafici soprariportati si evince come il modello sia affidabile a prescindere dal numero dei passeggeri presenti sul mezzo. Infatti, a seguito del periodo estivo in cui la linea effettuata dal mezzo veniva poco utilizzata, nei conteggi effettuati nel mese di ottobre, soprattutto in orari precedenti l'ingresso scolastico si sono ottenuti dei numeri elevati (maggiori alle 40 persone) di passeggeri presenti sul mezzo, il che, in base alle limitazioni imposte nell'attuale

periodo, indica coefficienti di riempimento maggiori all'80%. La tabella indicante il coefficiente di determinazione mostra come, per tutte le valutazioni avvenute nel mese di ottobre, la correlazione tra le due variabili sia sempre nell'ordine dello 0.95, in che indica una quasi perfetta corrispondenza tra modello e dati osservati, ancor di più di quello che avviene nel periodo estivo, nel quale non si avevano elevati coefficienti di riempimento.

6.2.3. Valutazione delle differenze

Dopo aver visto graficamente l'andamento delle curve rappresentanti il valore dei passeggeri a bordo mezzo valutati mediante parametri di regressione e conteggio manuale, considerando quest'ultimo privo di errori per definizione, è possibile definire quanto le differenze si discostino dal valore nullo, il quale indica una perfetta corrispondenza del modello stimato con il conteggio manuale. Di seguito è quindi mostrato un istogramma di errori, dove sono illustrate le differenze tra numero dei passeggeri valutato mediante conteggio manuale e numero dei passeggeri ricavato con i parametri di regressione. È opportuno ricordare come quest'ultimo valore sia approssimato all'intero più vicino.

Sull'asse delle ascisse troviamo gli intervalli di differenze indicati, mentre sulle ordinate è presente la frequenza di ripetizione dell'errore.

Per precisione, data la presenza di valori negativi, è stato scelto, e sarà fatto anche per le valutazioni successive come valore corretto il numero dei passeggeri proveniente da conteggio manuale, dunque la formula indicante le differenze è:

$$Pax \text{ conteggio manuale} - Pax \text{ teorici}$$

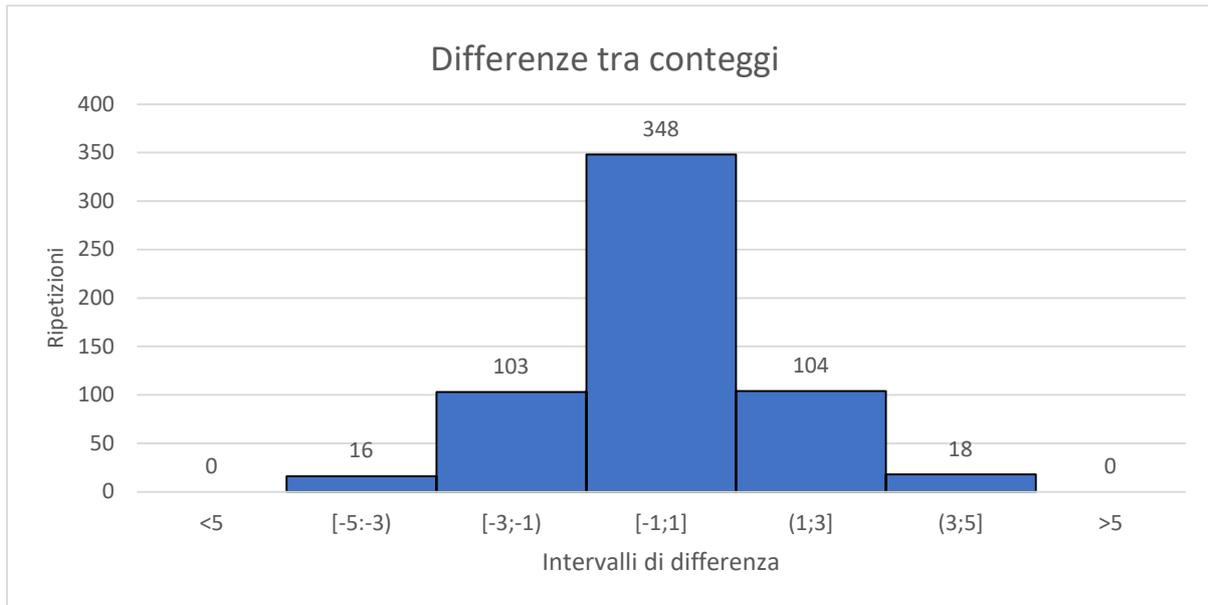


Figura 110. Istogramma che mostra le differenze tra conteggio manuale e parametri del modello

Tabella 17. Tabella riassuntiva delle differenze tra conteggi

Intervalli di differenza	Frequenza	Percentuale
<5	0	0%
[-5;-3)	16	2.7%
[-3;-1)	103	17.5%
[-1;1]	348	59.1%
(1;3]	104	17.7%
(3;5]	18	3.1%
>5	0	0%
Totale rilevazioni	589	

Dall'istogramma o dalla tabella appena riportate è semplice notare come per 345 rilevazioni su 581 eseguite, corrispondente al 59.4%, l'errore sia contenuto nel singolo passeggero, il che corrisponde ad un ottimo risultato, considerando come il nostro modello sia calibrato su valori di pressione, dunque su una misura correlata al peso dei passeggeri, il che può variare da persona a persona, così come possono far variare il valore di pressione tutti quei pesi presenti sul mezzo, ma che non necessitano di titolo di viaggio e non valutati nel conteggio manuale effettuato, come passeggeri con età inferiore ad 11 anni, carrozzine o passeggini, animali anche di taglia grande oppure la presenza di zaini in tratte frequentate da studenti o trolley nelle linee passanti dalla stazione di Porta Nuova.

Infine, per quasi il 95% delle rilevazioni l'errore è contenuto al di sotto delle 3 persone, un valore comunque buono sulla base di quanto appena detto. Al di sotto del 6% sono le differenze maggiori ai 3 passeggeri, di cui per la quasi totalità sono costituite da 4 persone, valori bassi, in particolar modo se si considera la loro presenza in osservazioni in cui il numero dei passeggeri era al di sopra delle 40 persone.

Il fattore più rilevante è rappresentato dalla quasi perfetta simmetria dei valori tra gli intervalli considerati, il che mostra già da questa prima analisi un andamento gaussiano della curva delle differenze in termini di numero passeggeri.

6.2.4. Stima dei parametri di regressione complessivi per applicazioni future

Quanto fatto finora mostra come il modello sia affidabile ed attendibile, l'obiettivo è però quello di andare a valutare dei parametri di regressione validi per le future applicazioni, ossia dei parametri utilizzabili per valutare il numero dei passeggeri presenti sul mezzo avendo a disposizione solo i valori di pressione acquisiti dai trasduttori di pressione.

Per fare ciò è opportuno per prima cosa andare a valutare una regressione lineare in cui sono presenti tutte le 607 rilevazioni manuali ed il relativo valore di pressione acquisito.

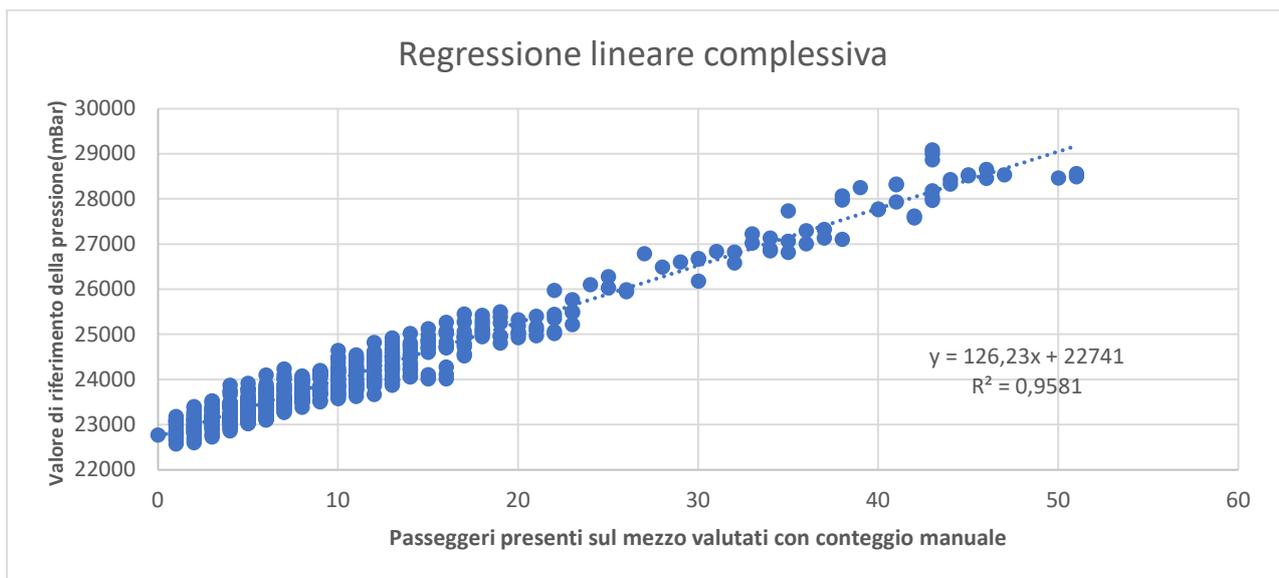


Figura 111. Grafico di regressione relativo a tutte le osservazioni effettuate

Il coefficiente di determinazione R^2 è a pari a 0.9581, che, come ampiamente descritto, indica una quasi ottima corrispondenza tra le due variabili. Tale valore non è però scontato, poiché, nonostante le regressioni effettuate per ogni singolo mostravano valori di R^2 elevati, questa regressione analizza tutte le acquisizioni effettuate da giugno ad ottobre, dunque osservazioni avvenute in periodi dell'anno, linee, fasce orarie e passeggeri sul mezzo fortemente differenti tra loro.

Partendo da questo coefficiente di determinazione, si è andato in primis a valutare, come fatto precedentemente, in modo grafico la differenza tra passeggeri presenti sul mezzo definiti mediante conteggio manuale e i passeggeri valutati mediante i parametri della regressione complessiva.

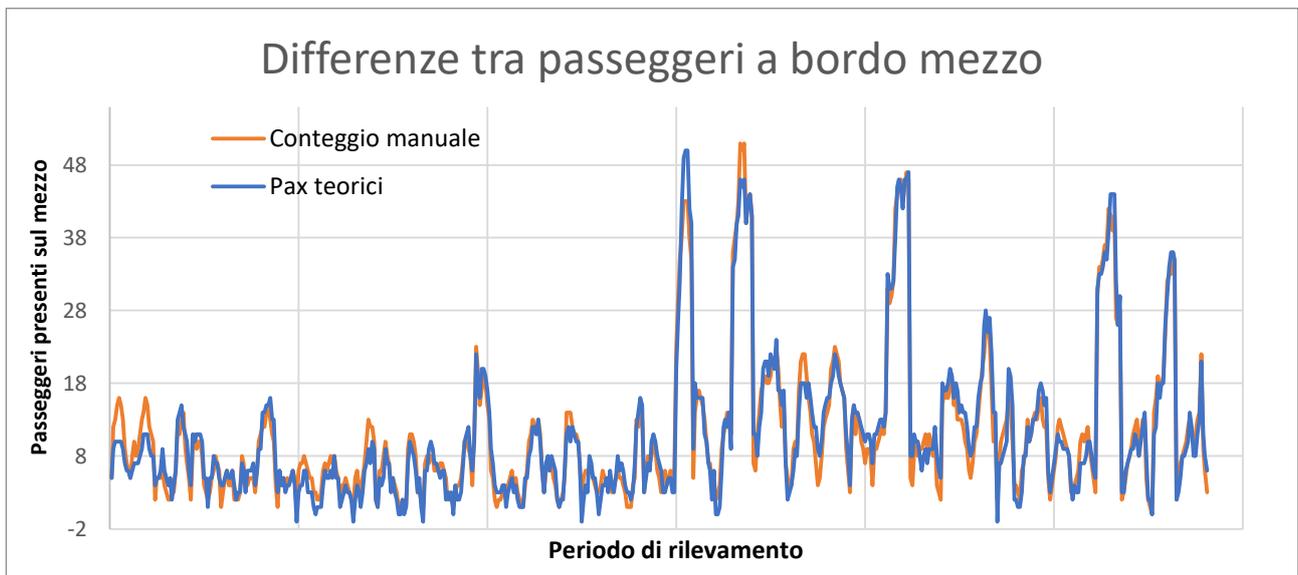


Figura 112. Confronto tra conteggio manuale e conteggio mediante parametri di regressione per tutte le rilevazioni

Se precedentemente l'asse x stava ad indicare le varie ore del giorno in cui venivano effettuati i rilevamenti, adesso indica tutto il periodo di tesi nel quale sono stati effettuati dei rilevamenti manuali. Si nota, infatti, come circa a metà grafico si hanno dei picchi di passeggeri, corrispondenti ai conteggi effettuati nel periodo di ottobre nelle prime ore della giornata (precedentemente alle ore 8:00), in cui si riscontrava a bordo del mezzo, la presenza di studenti. Il grafico, nonostante i parametri di regressione complessivi dell'intero arco temporale, mostra una buona sovrapposizione delle curve, valutabile con l'istogramma e la tabella mostrate in seguito, come fatto nel caso di rilevazioni giornaliere.

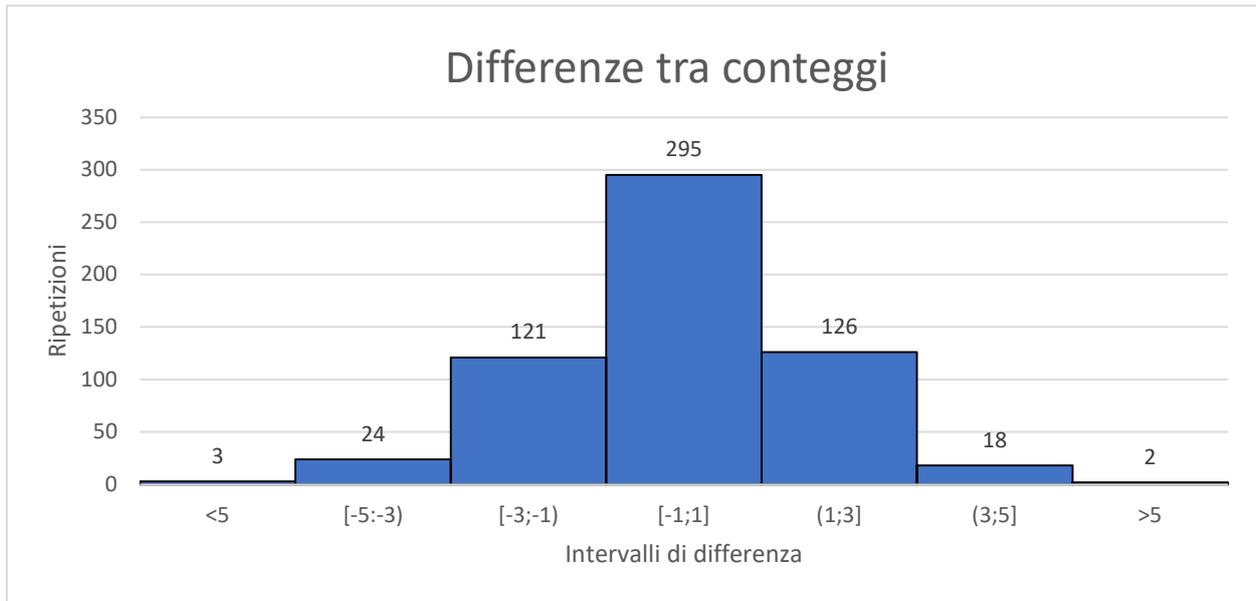


Figura 113. Istogramma che mostra le differenze tra conteggio manuale e parametri del modello complessivi

Tabella 18. Tabella riassuntiva delle differenze tra conteggi complessivi

Intervalli di differenza	Frequenza	Percentuale
<5	3	0.5%
[-5;-3)	24	4.1%
[-3;-1)	121	20.5%
[-1;1]	295	50.1%
(1;3]	126	21.4%
(3;5]	18	3.1%
>5	2	0.3%
Totale rilevazioni	589	

Come ipotizzabile a priori, con dei parametri generali, comprendenti 581 rilevazioni effettuate in un arco temporale così ampio, le differenze attorno al valore nullo si riducono. In particolare, nell'intervallo che va da -1 a 1, la percentuale della frequenza di ripetizione scende di circa il 9%, rimanendo comunque nella quasi totalità negli intervalli prossimi ad esso. Infatti, valori molto distanti dal valore nullo continuano ad essere comunque sotto il 10%, il che mostra una buona affidabilità del modello anche con dei parametri di regressione complessivi.

Successivamente verranno valutati alcuni fattori che possono rendere i parametri di regressione appena mostrati ancora più affinati di quanto già non lo siano quelli descritti in questo paragrafo.

6.2.5. Influenza delle variabili analizzate sui parametri di regressione

Nonostante la buona corrispondenza ottenuta con parametri generali, si è voluta analizzare l'incidenza di alcune variabili sui parametri di regressione e di conseguenza sulle differenze tra il numero di passeggeri valutati con conteggi manuali e modelli calibrati a seconda delle variabili. In particolare, si è andato ad analizzare differentemente le rilevazioni effettuate nel periodo estivo (giugno-luglio), e quelle avvenute nel mese di ottobre, in quanto nei due periodi sono stati effettuati all'incirca lo stesso un numero di rilevazioni, ma con grandi differenze in termini di numero di passeggeri presenti sul mezzo, temperature rilevate dai trasduttori durante le rilevazioni, e pavimentazioni stradali tra le linee svolte.

Di seguito sono quindi riportate due diverse analisi, la prima indicante le rilevazioni avvenute nel periodo estivo, mentre la seconda relativa alle osservazioni avvenute nel mese di ottobre. Dividendo i due periodi di osservazione, è possibile valutare l'influenza delle variabili nella calibrazione del modello, sulla base dell'andamento assunto dalle differenze fra i conteggi. Possiamo elencare brevemente le tre variabili analizzate per i due distinti periodi:

Rilevazioni giugno – luglio:

1) Temperatura media:

Tabella 19. Temperature medie giornaliere e dell'intero periodo giugno-luglio

DATA	TEMPERATURA GIORNALIERA MEDIA IN °C	TEMPERATURA DEL PERIODO MEDIA IN °C
06/07/2020	33.2	27.0
08/07/2020	26.7	
24/07/2020	24.4	
25/07/2020	22	
26/07/2020	31	
27/07/2020	24.4	

- 2) Numero massimo di passeggeri presenti sul mezzo: 23
- 3) Linea effettuata: linea 6, svolta in gran parte su pavimentazione stradale con contemporanea presenza di binari dovuti al passaggio della linea tranviaria, ma in particolar modo vi è un tratto centrale effettuato su una pavimentazione mista bitume-basolato che porta inevitabilmente a maggiori oscillazioni del mezzo, come mostrato nella figura seguente:



Figura 114. Pavimentazione presente nel tratto centrale della linea 6

Rilevazioni ottobre:

- 1) Temperatura media:

Tabella 20. Temperature medie giornaliere e dell'intero periodo di ottobre

DATA	TEMPERATURA GIORNALIERA MEDIA IN °C	TEMPERATURA DEL PERIODO MEDIA IN °C
06/10/2020	17	12.4
09/10/2020	13.4	
13/10/2020	8.7	
16/10/2020	10.8	
19/10/2020	11.6	
22/10/2020	12.9	

- 2) Numero massimo di passeggeri presenti sul mezzo: 51

3) Linea effettuata: linea 19, svolta su pavimentazione regolare, senza particolari oscillazioni precedenti alla fermata, ossia nel periodo di acquisizioni dei dati.

Svolgendo le medesime analisi generali fatte nel capitolo precedente e rapportandole solamente al periodo considerato possiamo andare a valutare l'influenza dei parametri:

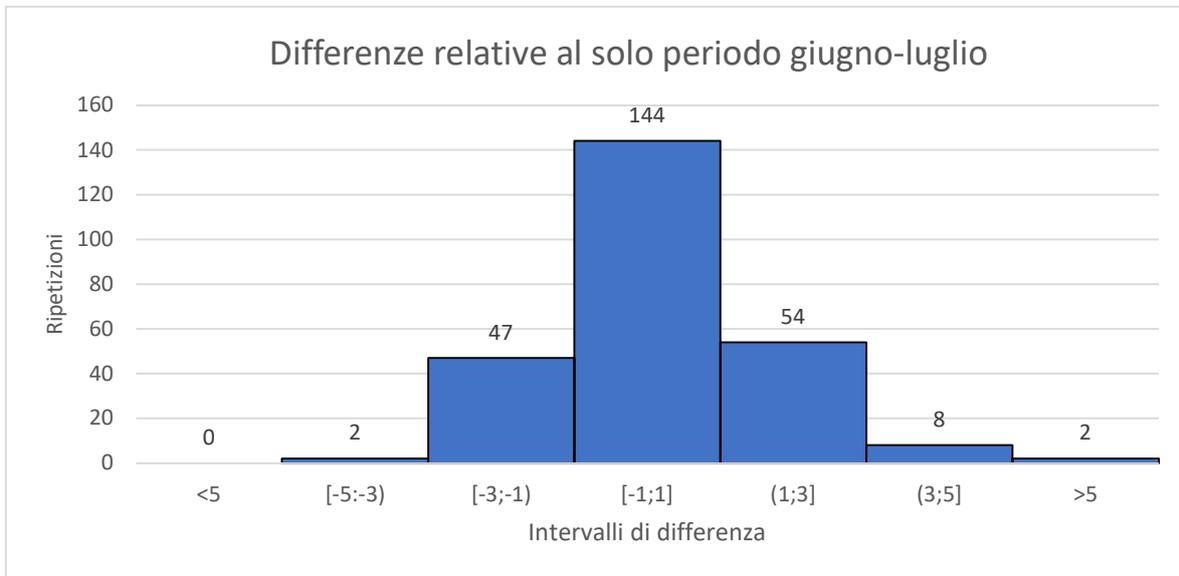


Figura 115. Istogramma che mostra le differenze tra conteggio manuale e parametri del modello complessivi riferiti al periodo giugno-luglio

Tabella 21. Tabella riassuntiva delle differenze tra conteggi per il periodo giugno-luglio

Intervalli di differenza	Frequenza	Percentuale
<5	0	0.00%
[-5;-3)	2	0.78%
[-3;-1)	47	18.29%
[-1;1]	144	56.03%
(1;3]	54	21.01%
(3;5]	8	3.11%
>5	2	0.78%
Totale rilevazioni	257	

Ricordando come le differenze mostrate provengano dalla formula

$$Pax\ conteggio\ manuale - Pax\ teorici$$

dove, in questo caso, i passeggeri teorici sono calcolati con i parametri di regressione complessivi, prevenienti dalla calibrazione eseguita nel paragrafo 2.2.4., ovvero:

$$Pax\ teorici = \frac{Valore\ di\ riferimento\ pressione - b}{a}$$

con: $a = 126.23$ e $b = 22741$

Dall'istogramma e dalla tabella si evince una leggera sottostima nella valutazione dei passeggeri teorici, come mostrato dalla maggiore frequenza degli istogrammi alla destra del valore nullo, ovvero (1;3), (3;5) e (>5) rispetto ai loro simmetrici, in particolare non si hanno osservazioni nei primi due intervalli, quelli con le maggiori differenze negative dal valore nullo, (<-5) e (-5;-3).

Poiché la regressione in cui venivano valutate tutte le osservazioni dell'intero periodo di tesi svolto indicava valori nel complesso regolari, ci aspettiamo che ripetendo l'analisi appena effettuata con le sole osservazioni svolte nel mese di ottobre, si verifichi una situazione inversa rispetto a quella descritta per il periodo estivo, con una leggera sopravvalutazione dei dati.

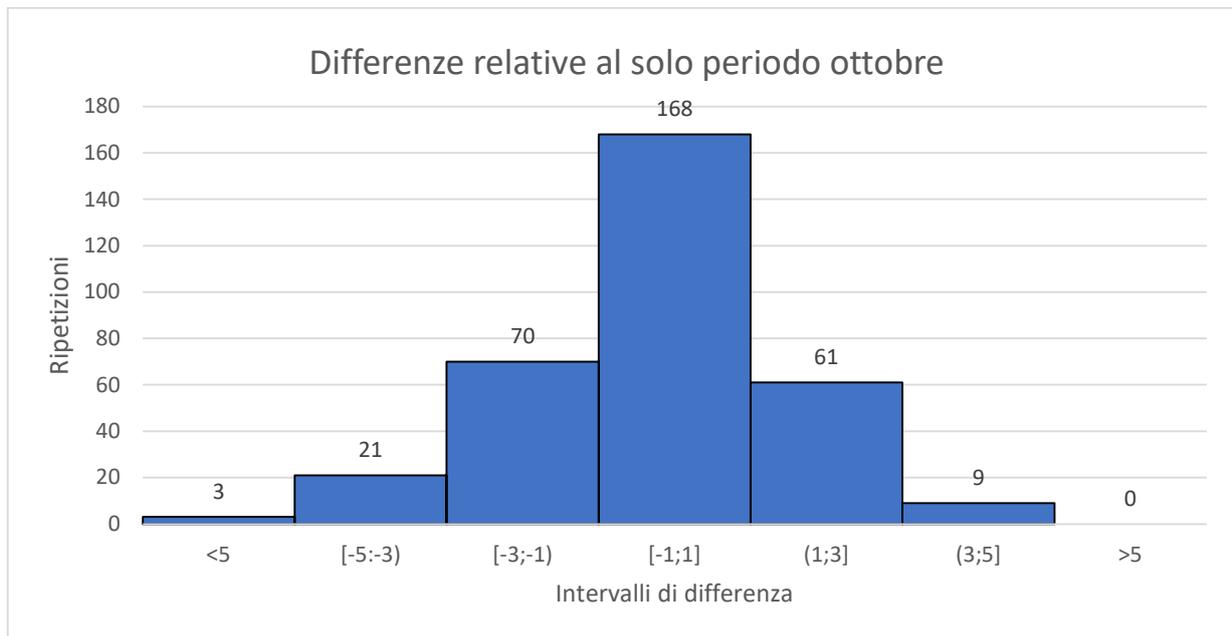


Figura 116. Istogramma che mostra le differenze tra conteggio manuale e parametri del modello complessivi riferiti al periodo di ottobre

Tabella 22. Tabella riassuntiva delle differenze tra conteggi per il periodo di ottobre

Intervalli di differenza	Frequenza	Percentuale
<5	3	0.90%
[-5;-3)	21	6.33%
[-3;-1)	70	21.08%
[-1;1]	168	50.60%
(1;3]	61	18.37%
(3;5]	9	2.71%
>5	0	0.00%
Totale rilevazioni	332	

Come era già stato analizzato, utilizzando i coefficienti di regressione complessivi alle sole valutazioni dei dati eseguite nel mese di ottobre, si ha una leggera sopravvalutazione in termini di passeggeri teorici calcolati.

6.2.6. Taratura del mezzo con il primo valore di pressione giornaliero fornito dai trasduttori

Essendo l'intercetta, ossia il parametro b della retta di regressione $\hat{y} = ax + b$, rappresentativa nel nostro caso del valore teorico di pressione quando sul mezzo non vi sono passeggeri, ma vi è solo l'autista, si è pensato di andare a valutare l'incidenza sulle differenze tra passeggeri valutati mediante conteggi manuali e passeggeri teorici valutati mediante formula inversa della retta di regressione andando a prendere come parametro b il valore pressione il primo valore giornaliero ricevuto dai trasduttori, il quale proviene al momento della prima apertura delle porte effettuata dal mezzo dopo la prima accensione giornaliera dello stesso effettuata in deposito, ossia quando presumibilmente sul mezzo vi è solo l'autista.

Se prima il numero teorico dei passeggeri presenti sul mezzo veniva calcolato con la formula inversa della retta di regressione, dove i coefficienti a e b derivavano dalla stessa retta di regressione, in questa valutazione si è provato a considerare il valore di intercetta pari al primo valore della giornata acquisito dai sensori, dunque la formula sarà:

$$Pax\ teorici = \frac{Valore\ di\ riferimento\ pressione - Primo\ valore\ giornaliero}{a}$$

Per evitare di mostrare una serie di grafici indicanti le differenze dei passeggeri per ogni singolo giorno, si è preferito riportare una tabella riassuntiva dove sono confrontati i valori di intercetta derivanti dalle regressioni lineari ed il primo valore di pressione della giornata. Per valutare quale metodo sia quello più affidabile è inoltre riportato un valore indicante la media delle differenze tra conteggio manuale e pax teorici valutati con i due distinti valori di intercetta. Il valor medio che più si avvicina allo zero indica il metodo migliore.

Tabella 23. Confronto tra medie delle differenze dei passeggeri presenti sul mezzo

Date di rilevamento	Parametro b calcolato con regressione	Media delle differenze	Parametro b primo valore giornaliero	Media delle differenze
06/07/2020	23072	0.13	22976	-1.802
08/07/2020	22852	-0.04	22519	-2.627
24/07/2020	22866	0	22686	-2
25/07/2020	22666	-0.017	22387	-2.724
26/07/2020	22744	-0.019	22639	-0.811
27/07/2020	22790	0.1	22466	-2.795
06/10/2020	22646	-0.15	22186	-3.513
09/10/2020	22977	0.016	23107	-1.873
13/10/2020	23375	-0.211	22507	-3.368
16/10/2020	22805	0.045	22917	0.901
19/10/2020	22738	-0.034	22918	1.414
22/10/2020	22661	0.067	22778	1.067

Come si evince dalla tabella appena riportata, andare a considerare come parametro b il primo valore di pressione proveniente dai sensori, anche se concettualmente giusto, porta ad una media maggiore fra le differenze di numero passeggeri valutato con conteggio manuale e numero di passeggeri valutato con i due differenti valori di intercetta. Il motivo di tale considerazione è sicuramente quello che come parametro a è stato comunque considerato un parametro calibrato con la regressione, dunque un parametro legato al coefficiente b proveniente dalla stessa. Per quanto corretto, andare a considerare il primo valore giornaliero di pressione fornito dai sensori implica una ricalibrazione del coefficiente angolare a , il quale non può più essere quello proveniente dalla regressione. Inoltre, se il

primo valore di pressione giornaliero viene considerato come un valore proveniente da un autobus in cui vi è solo l'autista presente sul mezzo, durante l'intera giornata di esercizio avvengono diversi cambi conducente, i quali avvengono in linea, dunque con la presenza di altri passeggeri sul mezzo che rende impossibile una ricalibrazione del parametro b . Per tutti questi motivi si ritiene corretto continuare con una calibrazione del modello sulla base dei parametri a e b valutati mediante una regressione su un arco temporale abbastanza lungo per valutare l'influenza di vari parametri.

6.2.7. Coefficienti di regressione da applicare per valutazioni future

Per calibrare nel modo più corretto possibile il modello da utilizzare nelle stime future dei passeggeri, sulla base delle osservazioni fatte nei paragrafi precedenti, in particolar modo dopo aver visto la leggera, ma pur presente, incidenza dei parametri precedentemente mostrati, si è pensato di condurre due analisi differenti, in modo da fornire due differenti coefficienti di regressione a e b in modo che le differenze siano quanto più possibile contenute attorno al valore nullo.

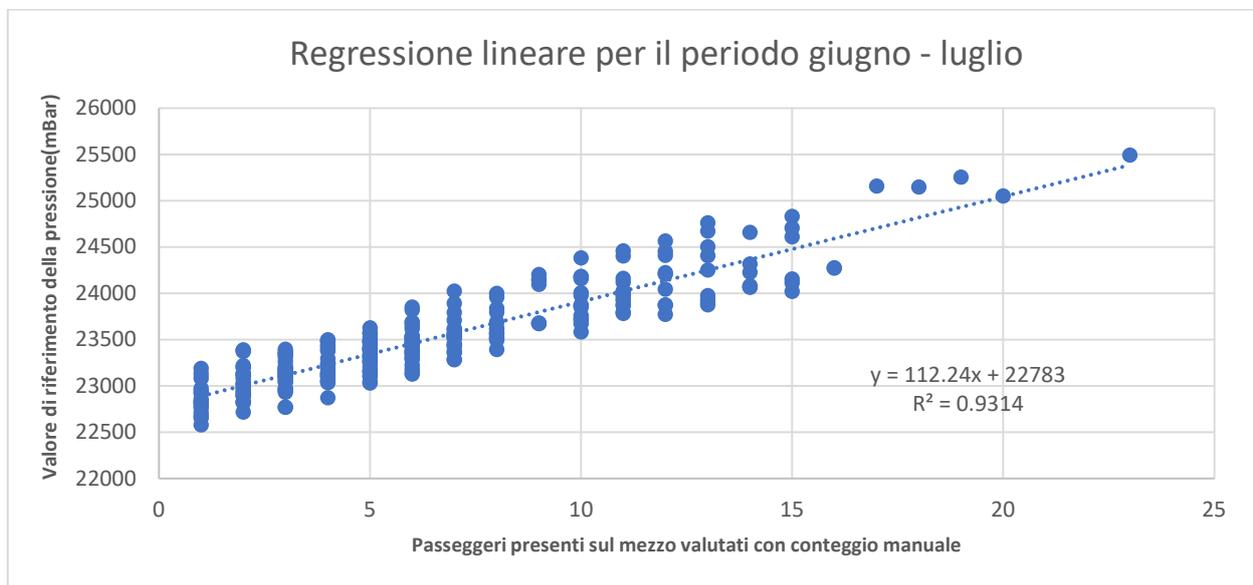


Figura 117. Regressione con la presenza delle sole rilevazioni avvenute nel periodo di giugno - luglio

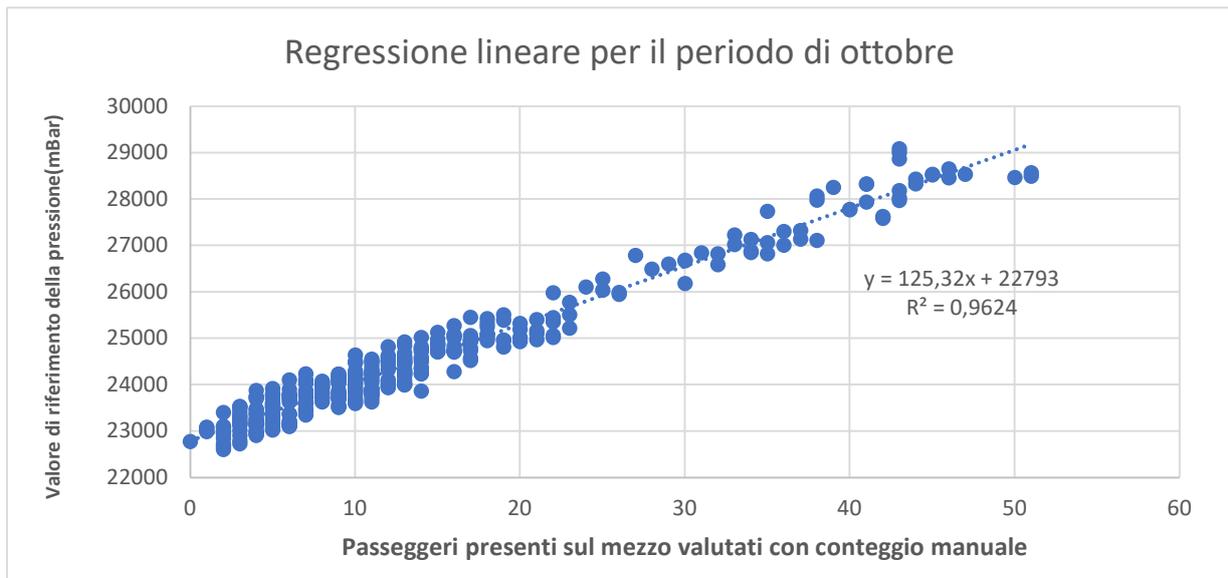


Figura 118. Regressione con la presenza delle sole rilevazioni avvenute nel periodo di ottobre

Dal coefficiente di determinazione si nota l'ottima corrispondenza tra le variabili analizzate nei due periodi analizzati, dunque è possibile procedere, partendo dalla due differenti rette di inclinazione e valutare per formula inversa il numero dei passeggeri teorici presenti sul mezzo, al fine di confrontare tale valore con i conteggi manuali effettuati:

- Retta di regressione periodo giugno – luglio:

$$\text{Valore di riferimento pressione} = 112,24(\text{Pax teorici}) + 22783$$

Prendendo il valore di riferimento della pressione acquisito dai trasduttori di pressione, possiamo definire il numero di passeggeri presenti sul mezzo, con la formula inversa:

$$\text{Pax teorici} = \frac{\text{Valore di riferimento pressione} - b}{a}$$

Analisi dati rilevati

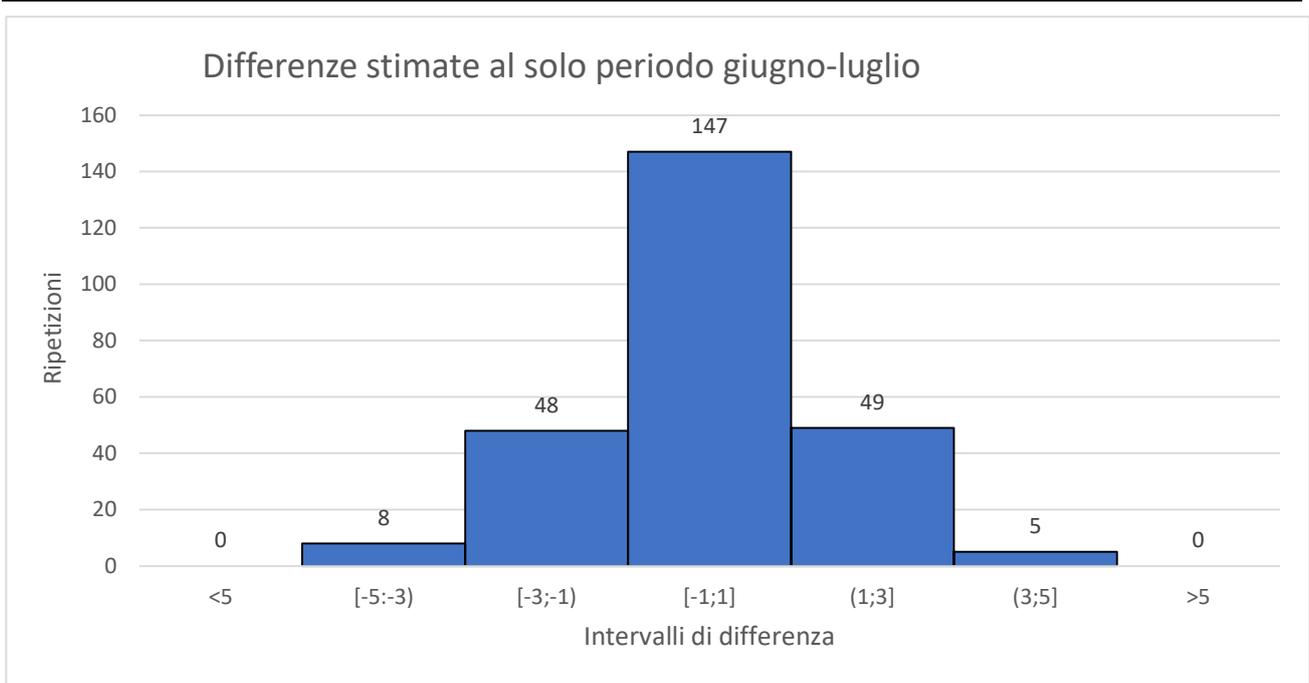


Figura 119. Istogramma che mostra le differenze tra conteggio manuale e parametri del modello di regressione stimati per le sole osservazioni di giugno-luglio

Tabella 24. Tabella riassuntiva delle differenze tra conteggi per le sole osservazioni di giugno-luglio

Intervalli di differenza	Frequenza	Percentuale
<5	0	0.00%
[-5;-3)	8	3.11%
[-3;-1)	48	18.68%
[-1;1]	147	57.20%
(1;3]	49	19.07%
(3;5]	5	1.95%
>5	0	0.00%
Totale rilevazioni	257	

- Retta di regressione periodo di ottobre:

$$\text{Valore di riferimento pressione} = 125.32(\text{Pax conteggio manuale}) + 22793$$

Prendendo il valore di riferimento della pressione acquisito dai trasduttori di pressione, possiamo definire il numero di passeggeri presenti sul mezzo, con la formula inversa:

$$\text{Pax teorici} = \frac{\text{Valore di riferimento pressione} - b}{a}$$

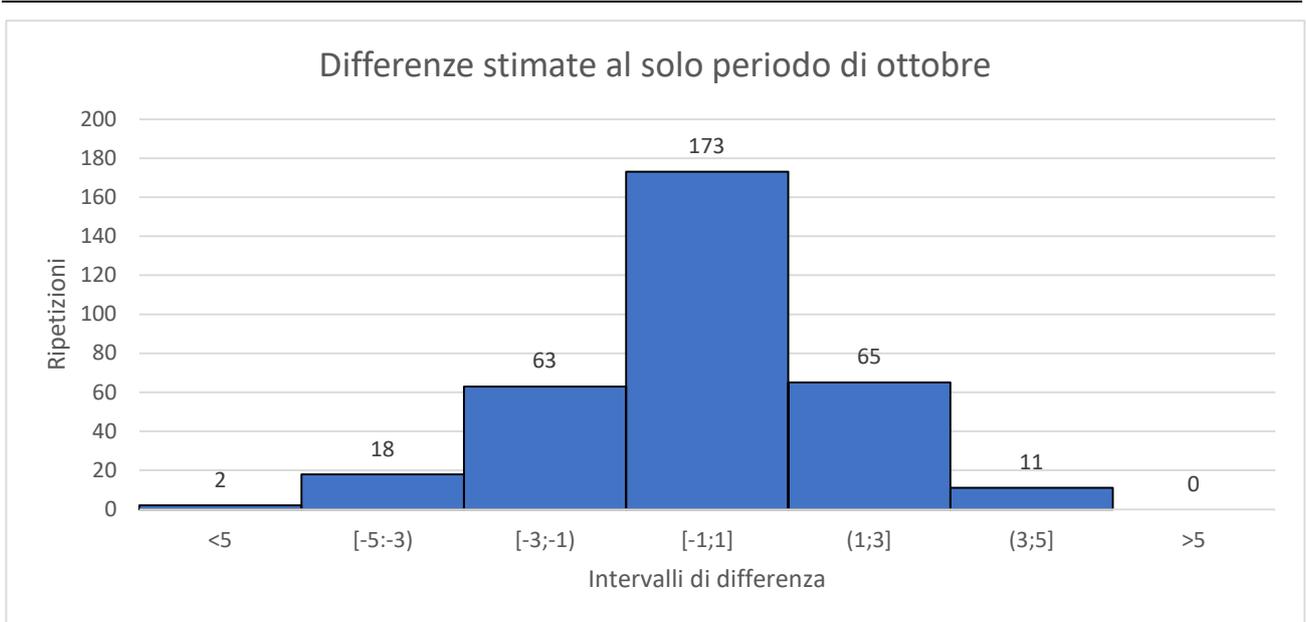


Figura 120. Istogramma che mostra le differenze tra conteggio manuale e parametri del modello di regressione stimati per le sole osservazioni di ottobre

Tabella 25. Tabella riassuntiva delle differenze tra conteggi per le sole osservazioni di ottobre

Intervalli di differenza	Frequenza	Percentuale
<5	2	0.60%
[-5;-3)	18	5.42%
[-3;-1)	63	18.98%
[-1;1]	173	52.11%
(1;3]	65	19.58%
(3;5]	11	3.31%
>5	0	0.00%
Totale rilevazioni	332	

Gli istogrammi e le tabelle illustrate mostrano una regolarità nell'andamento delle differenze, le quali si discostano in modo quasi perfettamente simmetrico dal valore nullo, non come mostrato nel paragrafo 2.2.5. in cui si verificava una sottovalutazione o sopravvalutazione nel numero dei passeggeri stimato a seconda del periodo analizzato.

Per entrambe le valutazioni, nell'intervallo definito ottimo, ovvero quello in cui le differenze sono contenute al massimo al singolo passeggero, si hanno percentuali maggiori al 50%, significando come oltre una valutazione su due riesce a stimare un numero dei passeggeri presenti sul mezzo con un errore contenuto al massimo ad un passeggero.

Inoltre, data la presenza di un numero dei passeggeri notevolmente maggiore nelle valutazioni effettuate nel mese di ottobre, si parla infatti di una presenza massima sul mezzo di oltre il doppio rispetto al periodo estivo, si ha una percentuale minore nel numero dei passeggeri nell'intervallo ottimo, nonostante un coefficiente di determinazione R^2 più alto rispetto alla regressione in cui si analizza il solo periodo estivo. Questo è giustificabile ricordando come la presenza sul mezzo di un numero maggiore di passeggeri a bordo amplifichi tutte quelle incertezze che si possono avere con una valutazione relativa al peso presente sul mezzo, una variabile che dipende da passeggero a passeggero, che con valori maggiori porta inevitabilmente ad avere precisioni leggermente inferiori.

Si può quindi affermare come valutare il numero dei passeggeri presenti sul mezzo con dei coefficienti di regressione differenti a seconda della condizione in cui siamo, porti ad una migliore conoscenza sia dei flussi di traffico sul lungo periodo, dove le analisi già mostrate nei paragrafi precedenti conducevano comunque ad ottimi risultati, in quanto nel lungo periodo le differenze, positive o negative tendono ad annullarsi, ma in particolar modo sull'analisi del numero dei passeggeri in tempo reale, indispensabile in un momento come questo in cui si devono rispettare norme di distanziamento sociale.

6.3. Accuratezza del sistema

Prima di andare a valutare l'accuratezza di un metodo, o nel nostro caso di un sistema, occorre andare a verificare la distribuzione normale degli errori. In questo caso si parla di errori e non di differenze, infatti, se nel corso delle analisi ci si è riferiti ad un numero approssimato a 0.5 dei passeggeri per avere un intero facilmente confrontabile, è opportuno in questo caso valutare gli errori, ovvero le differenze fra conteggio manuale e numero di passeggeri teorico non approssimato.

Sulla base di quanto emerso nei capitoli paragrafi precedenti, sono stati considerati due campioni separati di dati e per ognuno è stato valutato l'errore di ogni singola acquisizione al fine di verificare la distribuzione.

Per verificare l'andamento di una serie di dati è necessario calcolare la deviazione standard, il parametro σ che rappresenta la radice quadrata della media dei quadrati degli scarti

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n}}$$

Partendo dal campione di dati proveniente dalle osservazioni condotte nel periodo di giugno – luglio si ottiene una deviazione standard pari a $\sigma = 1.81$. Questo parametro ci indica quanto i valori siano prossimi al valor medio, infatti è possibile definire la deviazione standard anche scarto quadratico medio.

Definita la deviazione standard è possibile valutare l'ampiezza della curva attorno al valore medio, che in questo caso, parlando di errori, è rappresentato dal valore nullo.

Oltre al grafico è mostrata una tabella in cui sono indicati gli intervalli di confidenza definiti da Gauss in modo da confrontare l'andamento degli errori con la distribuzione normale.

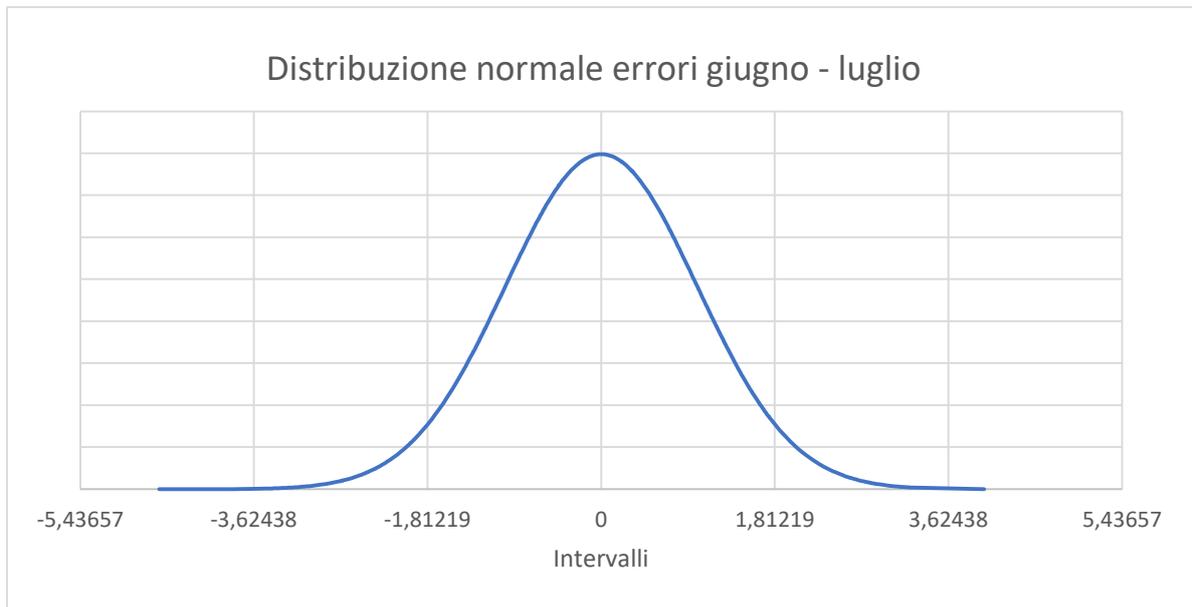


Figura 121. Gaussiana di errori riferita al periodo giugno – luglio

Tabella 26. Numero di errori presenti in ogni intervallo per la gaussiana del periodo giugno - luglio

Intervalli	Errori presenti nell'intervallo
$< -3\sigma$	0
$(-3\sigma; -2\sigma)$	8
$(-2\sigma; -\sigma)$	41
$(-\sigma; 0)$	71
$(0; \sigma)$	99
$(\sigma; 2\sigma)$	37
$(2\sigma; 3\sigma)$	1
$(> 3\sigma)$	0
Numero di campioni	257

Tabella 27. Intervalli di confidenza della gaussiana con campione di osservazioni giugno – luglio

Intervalli di confidenza	Percentuale
$\text{in } \pm \sigma$	66.15%
$\text{in } \pm 2\sigma$	96.50%
$\text{in } \pm 3\sigma$	100.00%

Ripetendo la medesima analisi con il campione di dati acquisito nel mese di ottobre, è stato possibile valutare gli errori, e la loro distanza dal valore nullo. In questo caso la deviazione standard è pari a $\sigma = 2.277$, leggermente maggiore di quella precedente, ma in linea con le valutazioni fatte nel paragrafo precedente, ovvero che tale campione di dati è riferito ad un periodo in cui vi erano molti più passeggeri presenti sul mezzo, dunque è normale aspettarci un leggero incremento della variazione media del campione rispetto al valore nullo.

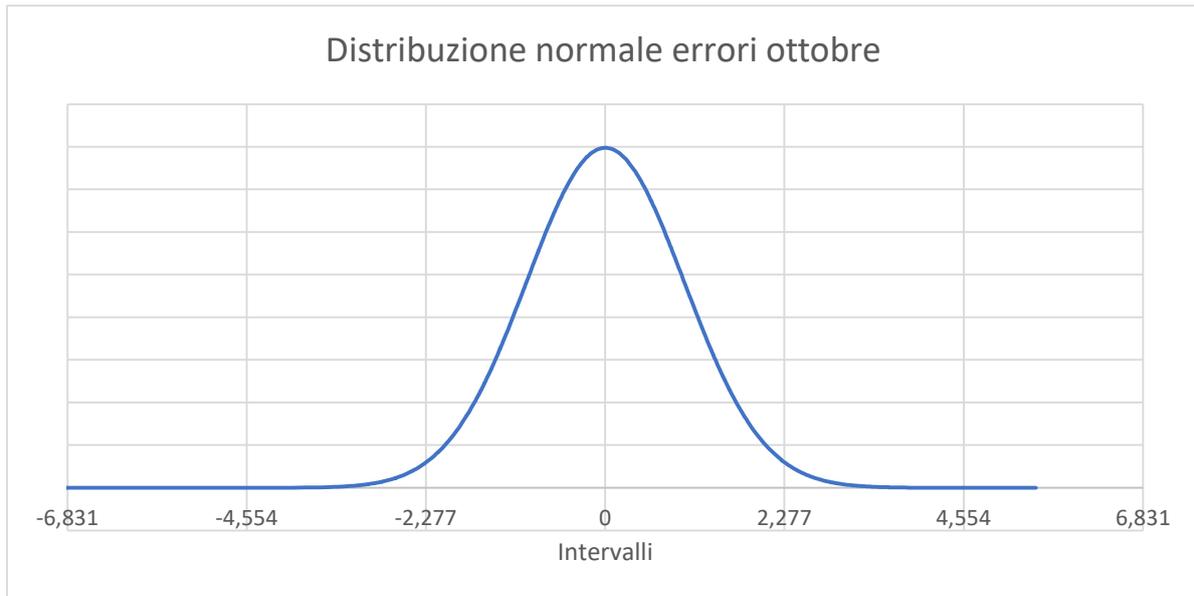


Figura 122. Gaussiana di errori riferita al periodo di ottobre

Tabella 28. Numero di errori presenti in ogni intervallo per la gaussiana del periodo di ottobre

Intervalli	Errori presenti nell'intervallo
$< -3\sigma$	1
$(-3\sigma; -2\sigma)$	6
$(-2\sigma; -\sigma)$	46
$(-\sigma; 0)$	118
$(0; \sigma)$	98
$(\sigma; 2\sigma)$	59
$(2\sigma; 3\sigma)$	4
$(> 3\sigma)$	0
Numero di campioni	332

Tabella 29. Intervalli di confidenza della gaussiana con campione di osservazioni di ottobre

Intervalli di confidenza	Percentuale
$\text{in } \pm \sigma$	65.06%
$\text{in } \pm 2\sigma$	96.69%
$\text{in } \pm 3\sigma$	99.70%

Per entrambi i campioni notiamo come la distribuzione degli errori si dispone in maniera del tutto simile ad una distribuzione gaussiana, come mostrato anche dalle tabelle nel quale è possibile valutare in percentuale il numero di campioni per ogni intervallo di confidenza. In particolare, per la distribuzione del periodo estivo più che gaussiana è di tipo triangolare, in quanto la totalità dei campioni è contenuta all'interno dell'intervallo di $\pm 3\sigma$.

Una volta definita la distribuzione del nostro campione di dati, è possibile valutare l'accuratezza del sistema partendo dal valore vero, ossia quel valore definito a priori come valore esatto, che nel nostro caso, parlando di errori, sarà pari a 0. Dato il nostro sistema è opportuno andare a definire un intervallo di valutazione delle differenze all'interno del quale andare a considerare le misure affidabili. Data l'incertezza sul peso dei passeggeri e la mole di passeggeri che salgono e scendono quotidianamente dal mezzo, è stato indicato un range di ± 3 persone, all'interno del quale andare a considerare la misura come affidabile. L'intervallo scelto è il medesimo per entrambi i parametri di regressione da utilizzare, considerando però come, per bassi valori di passeggeri presenti sul mezzo tale intervallo sia ampio, e le analisi effettuate portano ad un gran numero di differenze contenute all'interno dei due passeggeri.

Sulla base di quanto appena definito, mediante le tabelle 24 e 25 si può valutare la percentuale di osservazioni contenute all'interno dei ± 3 passeggeri, dove per entrambi i campioni superano il 90% (95.33% per il campione nei mesi di giugno – luglio e 90.67% per ottobre) portando un'accuratezza del sistema pari al circa il 93%.

Andando a valutare l'accuratezza dell'intera regressione, ovvero considerando la media degli errori e non la differenza per ogni singola osservazione si ottiene un'accuratezza ancora maggiore, ciò è in linea con il concetto stesso di retta di regressione, ovvero minima distanza tra i valori osservati e valori teorici.

6.4. Future implementazioni

Per rendere ancora più raffinato il modello si è pensato di andare ad implementare le informazioni provenienti dai pacchetti AVM oppure andando a considerare un ulteriore

pacchetto già in utilizzo ma non ancora disponibile per le acquisizioni in cui è possibile ricevere anche il valore della velocità.

In questo modo utilizzando la stessa, è possibile andare a calibrare un modello nel quale non vengono più valutati gli istanti di acquisizione come quelli precedenti all'apertura o alla chiusura delle porte come fatto nel corso di questo studio di tesi, bensì è possibile andare a rilevare la pressione agente sul mezzo alla sosta semaforica o durante un periodo abbastanza lungo in cui il campo DOORS indichi valore 0, ovvero porte chiuse, e la velocità sia nulla in modo da non risentire di sobbalzi anomali che possono verificarsi durante il moto. Si presume infatti, che durante la sosta semaforica le porte del mezzo siano chiuse (campo DOORS = 0), quindi non avviene la salita o discesa dei passeggeri, come invece può avvenire con i primi due periodi di acquisizione valutati, nei quali vi erano ancora le porte aperte che permettevano l'ingresso dei passeggeri. Inoltre, valutando i valori di pressione durante una sosta semaforica i passeggeri dovrebbero aver già trovato la loro collocazione all'interno dell'autobus, evitando dunque movimenti che si hanno prima della discesa o immediatamente dopo la salita sul mezzo.

L'unico svantaggio di un'acquisizione fatta con questo criterio è quello di non riuscire ad avere un valore di pressione per ogni fermata, poiché vi è la certezza sul fatto che durante due fermate successive il mezzo incontra un semaforo rosso, oppure si ferma per alcuni secondi. Per tale motivo un modello calibrato secondo tali criteri è utile per una valutazione sui flussi di traffico e non per fornire informazioni in tempo reale ai passeggeri che intendono prendere il mezzo, se non attraverso l'integrazione dei dati in fermata semaforica con i dati acquisiti nel periodo di acquisizione valutato nello studio svolto.

Dunque, una valutazione basata sull'elaborazione dei dati di pressione elaborati in fermata semaforica può portare ad un modello in cui le differenze tra numero dei passeggeri osservati e teorici siano maggiormente prossimi all'unità o al valore nullo, andando ad affinare in modo maggiore di quanto fatto in questo studio l'intervallo di errore.

Inoltre, nel mese di Febbraio 2020 sono stati installati i medesimi trasduttori di pressione descritti nei capitoli precedenti, su un altro autobus elettrico, un modello K7 da 9 metri

sempre della BYD. È dunque obiettivo quello di andare a rendere funzionante il sistema installato per poi andare a valutare se i parametri valutati per un altro veicolo siano validi anche su un altro modello, di dimensioni più piccole e che percorre linee differenti.

Infine, durante le riunioni effettuate è emersa la volontà di procedere con l'installazione del sistema su degli autobus Mercedes Conecto, acquistati ed entrati in linea nel 2019, ovvero a seguito del decreto che prevedeva come vincolo per l'acquisto la presenza di un sistema APC già montato di serie. Tale modello dunque presenta superiormente alle porte d'ingresso un sistema ad infrarossi. La volontà dell'azienda è dunque quella di andare a confrontare l'affidabilità del sistema già presente di serie, con i trasduttori di pressione da installare. Non essendo un autobus elettrico, un'importante variabile sarà data dalla presenza del carburante, il quale incide sul peso del veicolo e non si mantiene costante durante la giornata. Andrà quindi valutata una regressione che riesca a valutare i passeggeri presenti sul mezzo andando a considerare un decremento del peso dovuto al carburante consumato durante il susseguirsi giornaliero delle corse.

7. Conclusioni

Le analisi effettuate su un ampio arco temporale, come quello valutato in questo elaborato, hanno permesso di constatare sia l'affidabilità del sistema APC basato su una valutazione dei dati di pressione sia di valutarne tutti quei fattori che possono influenzare i dati puntuali sul conteggio dei passeggeri presenti sul mezzo, come la temperatura o il coefficiente di occupazione. Dato il particolare momento storico, con una pandemia globale in atto, dove un distanziamento sociale è fondamentale per prevenire il diffondersi dell'epidemia, è necessario utilizzare un affidabile sistema di conteggio automatico dei passeggeri allo scopo di rispettare le regole imposte ed al contempo non far perdere attrattività al trasporto pubblico, storicamente non florido, ma che negli ultimi anni cominciava ad essere considerato sempre più alternativo in un'ottica di trasporto intermodale, quanto mai necessaria in ambiti urbani come quello di Torino.

Infatti, come emerso da vari studi, tra cui un documento redatto da alcuni professori del Politecnico di Torino in sinergia con l'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino, un riversamento del 10-15% dell'utenza che utilizzava il trasporto pubblico in quello privato causerebbe una serie di problemi come congestione in particolari ore di punta, aumento dell'incidentalità e dell'inquinamento. Al fine di prevenire tale scenario, le analisi descritte nei capitoli precedenti hanno portato ad un risultato utile sia nel breve periodo andando a fornire indicazione ai passeggeri, ma anche nel medio-lungo, lasciando un modello calibrato ed affidabile, che l'azienda di trasporto pubblico può utilizzare per comprendere i flussi.

Si sono quindi calibrati due diversi modelli da utilizzare a seconda della temperatura atmosferica che permettono di calcolare il numero dei passeggeri presenti sul mezzo. Partendo infatti dal valore di pressione proveniente dal CAN è possibile stimare il numero dei passeggeri mediante la formula:

$$Pax\ stimati = \frac{Valore\ di\ riferimento\ pressione - b}{a}$$

I parametri, a seconda che la temperatura sia maggiore o minore dei 20°C sono:

- *Temperature maggiori a 20°C* $\begin{cases} a = 112.24 \\ b = 22783 \end{cases}$
- *Temperature minori a 20°C* $\begin{cases} a = 125.32 \\ b = 22793 \end{cases}$

Con tali parametri, è possibile valutare in tempo reale il numero dei passeggeri con un duplice scopo, ovvero quello di poter intervenire sulle linee direttamente dalla centrale operativa in caso di problemi durante l'esercizio, ma in particolar modo in un periodo come questo, quello di fornire una stima affidabile del numero dei passeggeri presenti sul mezzo che permette all'utenza che si appresta a salire sul mezzo di poter conoscere a priori il grado di riempimento dello stesso, mediante indicazioni che possono essere fornite direttamente in banchina, oppure su app o sito web.

Andando a classificare l'affollamento presente sul mezzo con indicazioni di tipo semaforico, permette di segnalare all'utenza se l'autobus in arrivo sia adeguatamente scarico (indicazione verde – coefficiente di riempimento <25%), utilizzabile (riempimento compreso tra 25/75%) o troppo affollato (>75%). Errori contenuti al di sotto delle 3 persone, come oltre il 90% di quelli valutati in questo studio, permettono di dare indicazioni abbastanza precise sul coefficiente di riempimento del mezzo.

Al contempo una programmazione basata su valori effettivi dei passeggeri che utilizzano la linea consente di effettuare delle valutazioni migliori sui flussi di traffico, sulla frequenza delle linee, in particolar modo nelle ore di punta. Tale studio non serve quindi solamente nel breve periodo, ma calibra dei parametri per la conoscenza dei passeggeri utili all'azienda di trasporto pubblico sia per contrastare l'evasione, sia per offrire un miglior servizio all'utenza, mediante una tecnologia che presenta costi minori, in particolar modo sui mezzi dove le informazioni sono già presenti nel CAN di bordo.

È possibile affermare come valutando opportunamente i vari fattori, come l'istante di acquisizione dei dati e la temperatura atmosferica, si arrivi alla calibrazione di un modello valido e ed utilizzabile per valutazioni future. È tuttavia necessario ricordare come un sistema basato sulla pressione agente sul veicolo implichi delle incertezze intrinseche come il peso di una singola persona può variare nel corso dell'anno, basti

pensare agli indumenti indossati, il cui peso è maggiore nel periodo invernale, specie considerando che tale considerazione vale per tutti i passeggeri. Oppure, sul mezzo può verificarsi la presenza di passeggeri il cui peso si discosta in modo notevole dalla media, come la presenza di bambini, mamme con passeggini o persone in sedia a rotelle.

In conclusione, diverse direttive hanno identificato gli ITS come sistemi necessari per un migliore utilizzo delle infrastrutture viarie, in particolar modo un sistema come quello valutato in questo studio porta vantaggio non solo all'azienda di trasporto pubblico, ma anche all'utenza, in particolar modo in un periodo come quello attuale in cui è indispensabile conoscere in modo automatico il numero di passeggeri presenti sul mezzo.

Ringraziamenti professionali

Giunti al termine di questo elaborato vorrei ringraziare tutti coloro che hanno partecipato e collaborato a quanto realizzato.

In primis vorrei ringraziare chi mi ha permesso di poter effettuare questa sperimentazione, ovvero il prof. Bruno Dalla Chiara, che nei vari progetti di tesi mi ha mostrato quest'affascinante opportunità di poter sviluppare un sistema utile non solo per l'azienda ma anche per la collettività.

Vorrei ringraziare l'azienda di trasporto pubblico GTT, l'ufficio Ingegneria della Manutenzione/Prodotto Bus e l'officina del comprensorio Tortona nelle figure dell'ing. Marco Zanini, ma in particolar modo dell'ing. Pietro Urso, il quale nell'arco di tutta la sperimentazione è stato il tutor aziendale che tutti vorrebbero, disponibile e sempre al mio fianco per supportare e dare consigli utilissimi anche nei momenti più difficili che una tesi svolta in un periodo particolare come questo porta con sé.

Inoltre, vorrei ringraziare Luca Colombo, compagno più che collega, grazie al quale è stato possibile eseguire lo scarico dei dati con i tre script dai lui sviluppati e con il quale ho condiviso questa bellissima esperienza di arricchimento umano e professionale.

Allegati

- [allegato 1] Scheda tecnica del Veicolo BYD K9UB.
- [allegato 2] Schema circuito pneumatico ECAS.
- [allegato 3] Operating Instruction (Software) Manual, Trafag.
- [allegato 4] Script di conversione per file di formato .txt in formato .csv.
- [allegato 5] Script di unione file .csv AVM e CAN .
- [allegato 6] Script di filtraggio dei dati in base ai criteri di selezione. I tre criteri di selezione utilizzano lo stesso script modificando solamente le righe di interesse.

Bibliografia

- [1] 5T, (2012), *Linee guida rete veicolare di bordo e protocollo scambio dati flotte GTT ed EXTRATO*, Torino.
- [2] AssTra – Associazione Trasporti, (2019), *Le aziende di TPL: alla ricerca della giusta rotta*, Roma, Marzo 2019.
- [3] AssTra – Associazione Trasporti e CLUB – ContactLess Users Board, (2012), *Quaderno per la diffusione e integrazione dei sistemi ITS nel TPL e nella mobilità*, Roma, Ottobre 2012.
- [4] Attanacci J., Vozzolo D., (1983), *Assessment of operational effectiveness, accuracy and costs of automatic passenger counters*, Transportation Research Board, Washington - District of Columbia (Stati Uniti d’America).
- [5] Barbarino B., Di Francesco M., Mozzoni S., (2014), *An offline framework for handling automatic passengers raw data in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, v.15, n. 6, pp. 2443-2456, Cagliari, Dicembre 2014.
- [6] Bernini N., Bombini L., Buzzoni M., Cerri P., Grisleri P., (2014), *An Embedded System for Counting Passengers in Public Transportation Vehicles in IEEE/ASME 10th International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA)*, Dipartimento di Ingegneria dell’Informazione, Università di Parma, Parma, 12 Settembre 2014.
- [7] Casagrande A., (2015), *Le metodologie per la rilevazione dell’utenza del trasporto pubblico locale*, Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile, Università di Padova, Padova, Luglio 2015.
- [8] Chen C., Chang Y., Chen T., Wang D., (2008), *People counting system for getting in/out of a bus based on video processing in Eighth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications*, Kaohsiung (Taiwan), 26 Novembre 2008.
- [9] Ciroi S., (2009), *Distribuzione Normale o di Gauss*, Dispense del corso, Università degli Studi di Padova, Padova.
- [10] Dalla Chiara B., Diana M., (2018), *Tecnica ed Economia dei Trasporti*, Dispense del Corso, Politecnico di Torino, Torino.

- [11] Decreto del Presidente del Consiglio, (2013), *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*, Roma, 26 Maggio 2017.
- [12] Eurotech, (2016), *"Counting Passengers via the cloud"*, Bergamo.
- [13] Gruppo Torinese Trasporti S.p.A, (2020), *Bilancio d'esercizio al 31 dicembre 2019*, Torino.
- [14] Isfort – Istituto Superiore di Formazione e Ricerca per i Trasporti, (2014), *Il trasporto pubblico locale la ricerca dell'efficienza attraverso le riforme*, Roma.
- [15] Martino V., (2017), *Effetti della validazione obbligatoria sulla velocità commerciale degli autobus: caso studio sulla Linea 18 della Città di Torino*, Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale, Politecnico di Torino, Torino, Luglio 2017.
- [16] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, (2016), *Decreto Interministeriale numero 345 del 28/10/2016*, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Roma, 14 Dicembre 2016.
- [17] Nasir A., Gharib N., Jaafar H., (2018), *Automatic Passenger Counting System Using Image Processing Based on Skin Colour Detection Approach in International Conference on Computational Approach in Smart Systems Design and Applications (ICASSDA)*, Universiti Malaysia Perlis (UniMAP), Kuching (Malaysia), 15 Agosto 2018.
- [18] Nielsen B., Frolich L., Nielsen O., Filges D., (2014), *Estimating passenger numbers in trains using existing weighing capabilities*, *Transportmetrica A: Transport Science*, v.10, n.6, Copenaghen.
- [19] Nitti M., Pinna F., Pintor L., Pilloni V., Barabino B., (2020), *iABACUS: A Wi-Fi-Based Automatic Bus Passenger Counting System*, Università di Cagliari e Università di Brescia, Cagliari, 19 Marzo 2020.
- [20] Olivo A., Maternini G., Barabino B., (2019), *Empirical Study of the Accuracy and Precision of Automatic Passenger Counting in European Bus Services*, *The Open Transportation Journal*, v.13, pp.250-260, Università di Cagliari e Università di Brescia, Cagliari, 2019.

- [21] Parlamento europeo e Consiglio dell'Unione europea, (2010), *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, Bruxelles, 7 Luglio 2010.
- [22] Parlamento Europeo e Consiglio dell'Unione europea, (2017), *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* del Consiglio (CEE) n. 1191/69 e (CEE) n. 1107/70, Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea, Bruxelles, 23 Ottobre 2007.
- [23] Parlamento Italiano, (1997), *Decreto Legislativo n. 422 - Conferimento alle regioni ed agli enti locali di funzioni e compiti in materia di trasporto pubblico locale*, Gazzetta Ufficiale, Roma, 19 novembre 1997.
- [24] Pinna I., Dalla Chiara B., Deflorio F.P., (2010), *Rilievo automatico dei passeggeri e del carico dei veicoli*, pp.101-138, Ingegneria ferroviaria, Politecnico di Torino, Torino.
- [25] Burnos P., Rys D., (2017), *The Effect of Flexible Pavement Mechanics on the Accuracy of Axle Load Sensors in Vehicle Weigh-in-Motion Systems*, Cracovia (Polonia), 7 Settembre 2017.
- [26] Tuladhar S., Khomchuk P., Sivananthan S., (2018), *Estimating Passenger Loading on Train Cars Using Accelerometer*, Cambridge (Stati Uniti d'America).
- [27] Toccaceli C., (2018), *La qualità del servizio di trasporto pubblico locale: il modello di gestione adottato dall'azienda torinese GTT*, Tesi di Laurea Magistrale in Pianificazione Territoriale, Urbanistica E Paesaggistico-Ambientale, Politecnico di Torino, Torino, Febbraio 2018.
- [28] TTS Italia –Telematica per i Trasporti e la Sicurezza, (2016), *Il Mercato dei Sistemi Intelligenti di Trasporto in Italia: quadro attuale e prospettive*, Roma, Luglio 2016.
- [29] Trancuccio R., (2018), *ITS nel trasporto pubblico locale: proposta di un sistema innovativo di conteggio passeggeri*, Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile, Politecnico di Torino, Torino, Ottobre 2018.
- [30] Zucca F., (2007), *Appunti di probabilità e statistica*, Politecnico di Milano, Milano.

Sitografia

- [sito 1] Il Trasporto Pubblico Locale (consultato in data 18/10/2020)
<https://reopenspl.invitalia.it/i-servizi-pubblici-locali/trasporto-pubblico-locale>
- [sito 2] Ripartizione delle risorse finanziarie per le regioni (consultato in data 18/10/2020) <http://www.mit.gov.it/sites/default/files/media/notizia/2019-02/tabella%20ripartizione%20TPL.pdf>
- [sito 3] CAN bus (consultato in data 6/11/2020) https://en.wikipedia.org/wiki/CAN_bus
- [sito 4] Contapassegeri PCN-1001 (consultato in data 15/10/2020)
<http://www.selectadigitalservice.it/ita/dettaglio-prodotti.php?id=19>
- [sito 5] Gtt, si chiude in positivo il primo esercizio con le nuove tariffe (consultato in data 25/10/2020) <https://www.lastampa.it/torino/2020/01/23/news/gtt-si-chiude-in-positivo-il-primo-esercizio-con-le-nuove-tariffe-1.38372335>
- [sito 6] Regolazione elettrica di livello per rimorchi con sospensioni ad aria (ECAS) (consultato in data 15/11/2020) <https://www.wabco-customercentre.com/catalog/docs/8150500253.pdf>
- [sito 7] Direttiva 2010/40/UE (consultato in data 20/10/2020) <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:207:0001:0013:it:PDF>