POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Rilievo automatico dei passeggeri e del carico dei veicoli / "Automatic passenger counting and vehicle load monitoring"

*Original*
Rilievo automatico dei passeggeri e del carico dei veicoli / "Automatic passenger counting and vehicle load monitoring" / Pinna, Ivano; DALLA CHIARA, Bruno; Deflorio, FRANCESCO PAOLO. - In: INGEGNERIA FERROVIARIA. - ISSN 0020-0956. - LXV:(2010), pp. 101-138.

*Availability:*
This version is available at: 11583/2317480 since:

*Publisher:*
CIFI - Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani

*Published*
DOI:

*Terms of use:*

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

(Article begins on next page)

12 October 2024

# Rilievo automatico dei passeggeri e del carico dei veicoli

# Automatic passenger counting and vehicle load monitoring

*Dott. Ing. Ivano PINNA(*) - Prof. Ing. Bruno DALLA CHIARA(*) - Dott. Ing. Francesco Paolo DEFLORIO(*)*

## 1. Premessa

L'articolo descrive e confronta le nuove tecnologie per il conteggio automatico dei passeggeri sui veicoli, siano essi su rotaia o su gomma, evidenziandone i vantaggi, le problematiche con indicazioni di massima sui rispettivi livelli di onerosità. Sono inclusi anche i sistemi di rilievo dei carichi in movimento, per la misura indiretta dei passeggeri trasportati, ed alcune proposte basate su soluzioni o applicazioni finora non riscontrate. Sono evidenziate alcune procedure per migliorare la qualità dei dati e verificarne la precisione oltre ad indicare metodi di studio dei dati stessi al fine di conoscere il flusso di mobilità di passeggeri di una determinata area.

## 2. Introduzione

Conoscere le caratteristiche della domanda di mobilità - ovvero l'origine e destinazione, il motivo e la frequenza di tutti gli spostamenti, la fascia oraria ed i mezzi utilizzati per effettuarli - è fondamentale per ottimizzare la gestione della rete, degli impianti di bordo e dei servizi di trasporto nonché per progettare gli interventi, sia nell'ambito del trasporto pubblico sia di quello privato.

In alcuni casi, la liberalizzazione del trasporto pubblico ha innescato un meccanismo competitivo che richiede alle aziende di considerare con sempre maggiore attenzione le opinioni di utenti che, al tempo stesso, esprimono bisogni differenziati e complessi.

I contratti stipulati tra le Pubbliche Amministrazioni e le aziende di trasporto definiscono il *livello di servizio* che queste ultime devono offrire agli utenti, prevedono il controllo del rispetto degli standard individuati e l'eventuale erogazione di sanzioni qualora questi non dovessero essere rispettati. Il buon esito dei servizi pubblici offerti ai passeggeri dipende anche dalla disponibilità di dati che rendono le attività operative trasparenti e meglio gestibili.

(*) Politecnico di Torino, Dipartimento DITIC-Trasporti.

## 1. Foreword

This article describes and compares the new technologies for the automatic counting of the passengers on both railway and road vehicles, highlighting their advantages and issues, with general indications on their respective levels of outlay. It also deals with the monitoring systems for weigh in motion, indirect measurement of the transported passengers and some proposals based upon solutions and/or applications which are not reported to have been tested so far. It also highlights some procedures aimed at improving the quality of data and ascertaining their accuracy, besides indicating methods for the analysis of collected data in order to estimate the flow of passengers in a given area.

## 2. Introduction

Knowing the characteristics of the travel demand – i.e. the origin and destination, the reason and frequency of all the trips, the time of the day and the means required to cover such trips – is essential to optimise the management of the network, of the on-board equipments and of the transport services, as well as to plan the actions to be undertaken in both the public and private transport systems.

In some cases, the liberalization of public transport has triggered a competitive mechanism which demands the companies to pay increasingly greater attention to the opinions of users who – at the same time – express diversified complex needs.

The contracts stipulated between the Public Authorities and the public transport agencies define the *level of service* that the latter are supposed to offer to the users, involve the monitoring of the compliance with the identified standards and the application of sanctions in case such standards are not met. A good public service offered to the passengers also depends on the availability of data which ensure transparency and better management to the operational activities.

(*) Politecnico di Torino, Dept. DITIC - Transport Engineering.

I *sistemi di conteggio passeggeri* e di analisi operativa del servizio sono uno dei fattori che possono fornire - ad aziende di trasporti, operatori del settore e ad autorità pubbliche - indicatori di performance e dati affidabili sul servizio. Questi dati rappresentano una base per definire e sviluppare le strategie di programmazione, gestione e pianificazione oltre ad essere fondamentali per un'equa ripartizione delle risorse finanziarie.

Scopo di questo articolo è mettere in luce le nuove *tecnologie per il conteggio automatico* dei passeggeri sui mezzi di trasporto, siano essi su rotaia o su gomma, evidenziandone i vantaggi, le problematiche ed indicazioni di massima sui rispettivi livelli di onerosità. Sono prese in esame alcune procedure per migliorare la qualità dei dati e verificarne la precisione.

Sebbene sia nota da diversi anni l'importanza di una conoscenza il più possibile precisa ed affidabile del flusso di passeggeri sui mezzi pubblici e di matrici O/D, questo articolo si pone in un contesto talvolta ancora di ricerca, soprattutto in Italia, dove le operazioni di conteggio passeggeri sono spesso effettuate in modo saltuario sul territorio con controlli di tipo manuale che, pur assicurando anche un buon livello di affidabilità, forniscono non di rado dati limitati e di utilizzabilità parziale; spesso è richiesto un'attività supplementare per riportare i dati su calcolatore, con un limite sulla dimensione del campione rispetto ad un sistema automatico.

Infatti, le procedure di tipo manuale, seppure possano arrivare a fornire valori di elevata accuratezza - tanto da essere prese come riferimento nello studio dell'accuratezza per i sistemi automatici - non presentano di regola un'omogeneità delle rilevazioni, essendo queste ultime legate inevitabilmente all'operatore che le esegue, quindi influenzate anche dalle fasce orarie - prima mattina piuttosto che le ultime ore della giornata - e da un lavoro ripetitivo. Inoltre, dovendo trasferire i dati sul calcolatore - a meno di una gestione informatizzata già da parte dell'operatore sul mezzo di trasporto con portatili o palmari - si aggiunge un campo d'incertezza che può creare ulteriori errori in fase di trascrizione dei dati, diminuendo così l'affidabilità del conteggio.

The *passenger counting* systems and operational analysis of the service are one of the factors which may provide transport agencies, operators of the industry and public authorities with reliable performance indicators and data on the service. Such data represent a basis to define and develop the strategies for the scheduling, management and planning, besides their being essential for a reasonable allocation of the financial resources.

This article is intended to deal with the new *automatic passenger counting technologies* on the means of transport – be they on either rail or road - highlighting their advantages, issues and general indications on the respective levels of outlay. Procedures to improve the quality of the data and ascertain their accuracy are also taken into exam.

Even though the awareness of the importance of a most possible accurate and reliable knowledge of the flow of passengers on public means, and thereafter the Origin-Destination (O/D) matrixes, has been stated for many years, this article still intends to operate in an investigation context, mainly in Italy, where the passenger counting operations are often developed irregularly throughout the territory and through manual procedures which – even though they ensure a good level of reliability – provide frequently limited and only partially usable data; further activity is often required to download such data on the computer, thus limiting the dimension of the sample as compared to an automatic system.

Even though they may be capable of providing highly accurate values, which can be taken as a reference point in analysing the precision of the automatic systems, the manual procedures are not homogeneous in their surveys, since they inevitably depend on the operator who performs them and - therefore – are also influenced by the time of the day (early morning versus the last hours of the day) and by repetitive labour. Furthermore, since the data are to be transferred on the computer - unless some computerized management system (e.g. PC's or palmtops) is made available to the operator on the means of transport - this adds uncertainty which may generate further errors in the transcription of the data and affect the reliability of the counting.

## 3. Il conteggio passeggeri

Il conteggio dei passeggeri è sempre stata un'importante attività nell'esercizio del trasporto pubblico: molte società misurano parte dei propri risultati basandosi sul numero di persone che usufruiscono del servizio. L'importanza di un'accurata analisi dei flussi di passeggeri è nota da decenni, come testimoniano alcuni lavori di ricerca svolti già nella metà degli anni ottanta [1, 2]: storicamente però il rilevamento dei dati è stato affidato a personale deputato ad annotare la situazione di carico sui mezzi di trasporto.

Ancora oggi la rilevazione manuale è il metodo più uti-

## 3. Passenger counting

Passenger counting has always been a key activity in developing public transport: many agencies measure part of their results on the number of people who use their service. The importance of an accurate analysis of the passenger flows has been known for decades, as witnessed by the research which had already been developed in the mid-nineteen eighties [1, 2]; however, the collection of the data has traditionally been committed to personnel appointed to report the load status on board the means of transport.

Nowadays, manual collection - by either filling pre-

lizzato, sia essa svolta compilando moduli prestampati o con ausilio di computer portatili messi a disposizione del personale per facilitarne l'archiviazione e ridurre i tempi di trascrizione dei dati.

È evidente che per un controllo continuo, veloce ed accurato, per l'aumento del numero di mezzi di trasporto e la crescente necessità di miglioramento delle condizioni di servizio, i sistemi di tipo manuale non sono oggi sufficienti e nasce l'esigenza di strumenti automatizzati; nulla vieta che possano essere affiancati, all'uopo, da sistemi tradizionali.

Sono presenti, nello scenario internazionale, alcuni esempi di aziende di trasporto presso le quali il numero di passeggeri viene stimato da analisi esclusivamente di ordine finanziario, ossia si risale al livello di traffico su una determinata linea esaminando i ricavi ad essa attribuiti: questa soluzione permette una stima generale dell'uso del servizio, con limiti evidenti per il supporto alla pianificazione e gestione a breve periodo.

Fra le odierne possibilità, esistono sistemi di rilevamento basati anch'essi su metodi di pagamento, come le biglietterie automatiche e l'uso di *smart card*; queste ultime, anche se prese in considerazione da alcune società, sono poco applicate oggi nel campo dei trasporti e per questo motivo le meno usate in una visione globale. Limite chiaro di tale tipo di conteggio è la percentuale di viaggiatori *non in regola* sui mezzi pubblici. Tuttavia se i viaggiatori possiedono il titolo di viaggio, il sistema risulta affidabile e permette di costruire anche matrici O/D dei viaggi effettuati, quindi rilevare le tratte di maggiore utilizzo.

Laddove possibile, tipicamente nei sistemi di trasporto ad impianto fisso in sede completamente protetta, vi è poi la possibilità di utilizzare *tornelli* nelle aree d'ingresso delle stazioni (ferrovie, metropolitane, impianti a fune, *people mover*) che permettono un conteggio accurato del flusso in entrata e uscita e, con facili accorgimenti, la conoscenza degli orari ad essi relativi.

Le soluzioni sopra citate, identificate in ambito internazionale anche con la sigla ERF (*Electronic Registering Fareboxes*), seppur di tipo automatico e con un notevole riscontro sul piano aziendale anche per il conteggio passeggeri, sono più adatte ad una trattazione sui mezzi di pagamento e non propriamente legate ai sistemi di conteggio passeggeri veri e propri. Inoltre, specie nel caso di tornelli, essi assumono interesse e validità limitatamente al caso di impianti fissi con sede completamente riservata ed accessi limitati alle stazioni con le caratteristiche descritte, ma di difficile applicazione per mezzi su gomma o nella maggior parte dei casi ferroviari: per questi motivi le tecnologie ERF non sono prese in considerazione in questo articolo.

Più consone e di maggior interesse ai fini di quest'analisi sono invece le tecnologie riconoscibili come APC (*Automatic Passenger Counting*), esaminate nel seguito; è im-

printed forms or with the support of PC's made available to the personnel to facilitate the filing and reduce the data transcription time - is still the most widely used method.

The manual systems are obviously unable to provide a continuous, fast and accurate control, because of the increased number of means of transport and of the growing need to improve the conditions of the service; hence the need of automated tools, which can be supported – if required – by traditional systems.

The international scenario shows examples of public transport agencies where the number of passengers is assessed by means of merely financial analyses, i.e. the level of traffic on a given line is estimated by ascertaining the revenues it is supposed to have generated: this solution enables a general appraisal on the utilization of the service, with obvious limits as regards the support to both planning and short-term management.

The options available nowadays include monitoring systems based on the payment methods, such as the fare collection machines and the use of smart cards. The latter - even though taken into consideration by some agencies - are little applied today in the transport industry and - for this reason -they are the least used ones in an overall perspective. The unmistakable limit in such type of counting is the percentage of *trespassing travellers* on the public vehicles. Nevertheless, if the travellers pay regularly, the system results to be reliable and also allows making O/D matrixes of the journeys and thus detecting the sections of highest use.

Wherever viable, typically in the transport systems and installations operating in fully protected lines, *turnstiles* at fare gates can be used in the access areas of the stations (railways, subways, cableways and *people movers*) to allow an accurate counting of the flow in infeed and outfeed and – through some easy solutions – the knowledge of the hours relevant to such flows.

The aforementioned solutions, which are internationally identified as ERF (*Electronic Registering Fareboxes*), even though automated and widely used by the agencies also for passenger counting, are more appropriate to deal with the means of payment and are not suitably connected to the actual counting systems. Furthermore, especially in the case of the turnstiles, they are of interest and valid only in the case of transport systems and installations operating in dedicated lines and access limited to the stations with the aforementioned characteristics. On the other hand, they are difficultly applied on the road means and in the largest part of the railway cases: this is why the ERF technologies are not taken into consideration in this article.

On the other hand, those technologies which are identified as APC (*Automatic Passenger Counting*), which shall be examined further on in this article, are more appropriate and of greater interest as related to this analysis. It is

portante sottolineare che, seppur ancora in una fase di sviluppo, oggigiorno le disponibilità sul mercato per le aziende di trasporto in termini di come contare i passeggeri sono più che mai varie e la complessità, le problematiche di vario tipo, le diverse combinazioni di tecnologie fanno sì che non esista al momento una soluzione migliore delle altre o economicamente vantaggiosa a priori, ma si debba analizzare in dettaglio ogni possibilità per poi applicarle alle diverse realtà aziendali.

L'obiettivo di questo articolo è proprio quello di esaminare le singole possibilità in termini di tecnologie di conteggio e nello stesso tempo fornire alcuni spunti nell'ambito della gestione dei dati, per avere infine un quadro generale che faciliti una scelta più argomentata e personalizzata di un sistema di conteggio automatico.

## 4. Strumenti e tecnologie

Le modalità di conteggio delle persone su tram, autobus e treni possono essere quindi raggruppate nelle due categorie seguenti.

1. Conteggio *indipendente* dal biglietto di viaggio:
   a. rilievo di *singole persone*, solitamente con tecnologie a bordo veicolo;
   b. rilievo del *carico complessivo* sul mezzo di trasporto, solitamente con tecnologie sulle sospensioni o a terra;
2. Conteggio *dipendente* dal biglietto di viaggio (soluzioni ERF).

Nel primo caso, il conteggio può essere basato sul rilievo o tentativo di rilievo delle singole persone oppure, in modo indiretto, tipicamente mediante la conoscenza del *peso* del veicolo, sotto l'abitacolo o sull'infrastruttura.

Qualunque sia il metodo utilizzato, l'obiettivo è ottenere un conteggio affidabile, accurato e preciso o comunque entro un margine d'errore contenuto in poche unità percentuali rispetto al numero esatto di persone presenti sul veicolo per trasporto pubblico.

Contestualmente è necessario contenere i costi, che sono legati non solo al tipo di tecnologia ma anche alla combinazione hardware-software connessa ad essa - che spesso può determinare la scelta di una determinata soluzione a causa di una miglior integrazione con prodotti già in dotazione al gestore, con interfaccia più intuitiva o maggiore affidabilità - piuttosto che l'utilizzo di più rilevatori contemporaneamente.

In merito ai costi, infatti, soluzioni di tipo (1a), ad esempio a doppio sensore, sono in genere a costo elevato rispetto ad alternative di tipo (1b); questo è dovuto essenzialmente alla necessità di realizzare apposite centraline per il conteggio: per esempio, in un autobus da 12 m, 3 porte, occorrono 6 sensori ed in genere 2 centraline, appositamente dedicate alla funzione di conteggio; i costi sa-

important to underline that – even though they are still at development stage – the passenger counting technologies available on the market to the agencies are extremely various and the complexity, the issues of different kinds, the different combinations of technologies are such that no solution can be considered to date as best or economically convenient *a priori*; every solution should be analyzed in detail for applying it thereafter to the actual conditions of the individual agency.

This article is intended to examine the different solutions of passenger counting technologies and – at the same time – to provide some suggestions as related to the management of data, in order to outline a general framework which may facilitate a more justifiable, customised choice of an automatic counting system.

## 4. Tools and technologies

The modalities to count the people on tramways, buses and trains can therefore be summarised in the two following categories, namely:

1. Counting *irrespective* on the ticket:
   a. monitoring of *single individuals*, usually by technologies on board the vehicle;
   b. monitoring of the *overall load* on the means of transport, with technologies applied to the suspensions or on the ground;
2. Counting *related to* the ticket (ERF solutions).

In the former case, the counting can be based either on the detection (or attempted detection) of the single individuals or indirectly, usually by ascertaining the *weight* of the vehicle under the passenger compartment or on the infrastructure.

Whatever the selected method is, the objective is obtaining a reliable, accurate counting, or – in any case – whose margin of error is contained within few percentage units as compared to the actual number of people present on the public transport vehicle.

At the same time, the cost of the system needs to be contained, and this is related not only to the type of technology, but also to the relevant hardware-software combination, which may often determine the selection of a given solution because of better integration with products already available to the service provider, with a more intuitive interface or greater reliability, rather than the use of more detection systems at the same time.

The (1a) type solutions – e.g. with double sensor – are generally more expensive than the (1b) ones; this is essentially due to the need of developing appropriate counting stations. For instance, in a 12 m, 3-door bus, 6 sensors and 2 dedicated stations are usually required; the cost would be remarkably reduced if the sensors were con-

rebbero sensibilmente ridotti se i sensori fossero allacciati al CAN di bordo, in quanto si potrebbe integrare la funzione di conteggio sulle centraline di bordo, che presenterebbero solo il costo marginale di tale funzione.

Il conteggio indipendente dal biglietto di viaggio deve essere realizzato con opportuni sensori in grado di rilevare il passaggio di persone attraverso dei varchi, normalmente le porte degli autobus, dei tram e dei treni [3]. A tal fine esistono sul mercato un certo numero di produttori di tecnologie APC in grado di svolgere questa funzione; una possibilità diffusa è basata sull'impiego di *sensori ad infrarossi*, che fungono da *interruttori attivi*; nel caso di *sistemi passivi* esiste la possibilità, studiata nelle prime applicazioni sperimentali in Italia, di usare sensori di tipo *piroelettrico*.

In alcune applicazioni, si utilizzano solamente interruttori ad infrarossi, in altre si usano doppi sensori (IR attivi e piroelettrici, ad esempio) al fine di aumentare l'affidabilità del conteggio.

Per quel che concerne questo argomento, i produttori sul mercato dichiarano un'accuratezza di misura del conteggio dei passeggeri con errore contenuto entro il 5 ÷ 10% sul totale dei passeggeri effettivamente presenti. Le prime esperienze in Italia, alcune in corso, non a cura degli scriventi, sono anche finalizzate a verificare l'effettiva bontà di tali dati, legata all'utilizzo intelligente dei sistemi automatici nonché ad un uso di procedure statistiche e di controllo dei dati stessi.

I sistemi di conteggio di classe (1a) sono tuttavia ancora in fase di sperimentazione e meriterebbero ulteriori indagini, sia nell'integrazione con CAN sia nella valutazione dell'affidabilità del conteggio.

Nei casi (1b), il conteggio può essere effettuato in modo indiretto, sulla base del carico a bordo oppure, sempre mediante la rilevazione del peso, ma direttamente attraverso sensori a piastra; ulteriore alternativa, oltre approfondita, è il rilievo del carico a terra del veicolo.

Nel primo caso, considerando un peso medio delle persone, si può rilevarne la quantità: il conteggio avviene con sensori di carico a terra oppure sulle sospensioni: ne esistono varie tipologie, ormai sperimentate anche in altri contesti. Il maggiore problema legato a questo ultimo tipo di conteggio è la variabilità del carico dinamico sugli ammortizzatori, oltre alla mancanza di una vera e propria sperimentazione sul campo documentata in letteratura.

Il costo, inoltre, risulta contenuto se la sperimentazione di base, per valutare gli effetti dinamici, viene effettuata su una medesima categoria di autobus o veicoli ferrotranviari; diverso sarebbe il caso di una serie di esperienze svolte su veicoli differenti.

Esiste anche la possibilità di operare con sensori termici applicati a telecamere che rientrano però, come principio di funzionamento, nel campo dei sensori ad infrarossi passivi, ossia piroelettrici.

nected to the on-board CAN, since the counting function could be integrated on the on-board stations, thus generating the sole marginal cost required for this function.

Counting irrespective on the ticket is to be carried out by means of appropriate sensors which may detect the passage of people through gates, usually the bus, tramway and train doors [3]. Some manufacturers of APC technologies supply equipment which can cover such function; a widespread solution is based upon the use of *infrared sensors*, which act as *active switches*; in case of *passive switches, pyrolectric sensors* can be used, as it has been developed in the first experimental applications in Italy.

In some of them, only infrared ray switches are used, in other ones, double sensors (e.g. active and pyroelectric IR) are used to enhance the reliability of the counting.

As far as this topic is concerned, the manufacturers declare accuracy in passenger counting with an error contained between 5 and 10% on the total amount of passengers which are actually present. The first experiences in Italy – some of which are still in progress, but not developed by the authors – are also aimed at ascertaining the soundness of such data, which depends on the intelligent utilization of the automatic systems, as well as to a use of statistic and data checking procedures.

However, the class (1a) counting systems are still at experimentation stage and would be worth further investigation both as related to the CAN integration and in the assessment of the counting reliability.

In the (1b) cases, counting can be developed indirectly, on the basis of the load on board or again by monitoring the weight but directly by means of plate sensors; a further alternative – which will be analyzed further on – is the detection of the vehicle load on the ground.

In the former case, the number of people can be detected by assuming the average weight of a person: the counting is performed by load sensors either on the ground or on the suspensions: various types are available, and are nowadays experimented in other contexts as well. The major disadvantage linked to this kind of counting is the variability of the dynamic load on the shock absorbers, besides the lack of some actual field experimentation documented in the literature.

Moreover, the cost will be contained if the basis experimentation developed to assess the dynamic effects is carried out on the same category of buses or tramways; the case of a series of experiences developed on diversified vehicles would be different.

The operation can also be performed by means of thermal sensors applied to cameras, whose operating principle is the same of the passive infrared (i.e. pyroelectric) sensors.

The technologies we have listed so far will be examined in different aspects further on; the advantages in the

Le tecnologie, ora solo elencate, vengono esaminate in vari aspetti nel seguito ma preme sottolineare i vantaggi che possono derivare dall'utilizzo di sistemi di conteggio automatico: se si è in grado di conoscere bene l'entità del traffico in diverse zone e nelle varie ore della giornata, è possibile gestire al meglio non solo il servizio in termini di numero di mezzi di trasporto ma anche di pianificazione migliore delle linee (in caso di mezzi su gomma o urbani su rotaia), di programmazione di eventuali periodi di manutenzione piuttosto che d'interventi su personale o su eventuali investimenti.

Il conteggio passeggeri con mezzi di tipo automatico permette di avere un numero di dati enorme, non solo in termini di flusso continuo di informazioni, ma anche come diversità delle informazioni stesse, trasmissibili con relativa semplicità e relazionabili fra loro per avere una visione globale del fenomeno.

In questo contesto s'inserisce la possibilità di abbinare sistemi di localizzazione automatica (AVLS, *automatic vehicle location systems*) agli APC - considerando che deve comunque esistere una rete per la trasmissione delle informazioni e non sempre si usano le onde radio o sistemi via modem - che permettono d'integrare i dati relativi alla situazione di carico, legati eventualmente a loro volta agli orari di salita e discesa alle fermate, a quelli di posizione per un monitoraggio continuo della linea [4].

### 4.1. Sensori ad infrarossi

La tecnologia ad infrarossi (radiazioni elettromagnetiche di lunghezza d'onda compresa tra 0.75 e 1000 mm) è una delle più collaudate per questo tipo d'impiego ed è infatti la soluzione più facilmente reperibile in commercio.

I rilevatori ad infrarossi possono essere suddivisi innanzitutto in due categorie:

a. sensori *di tipo attivo*, composti da un trasmettitore e da un ricevitore, creano un raggio puntuale ed agiscono con una rilevazione di tipo on/off;

b. sensori *di tipo passivo*, che suddividono l'unico raggio infrarosso prodotto in fasci creando un'area di rilevazione volumetrica.

I sensori ad infrarossi sono essenzialmente dei sensori *piroelettrici*: per chiarezza viene di seguito illustrato il principio di funzionamento del fenomeno piroelettrico (cfr. Appendice).

Per quanto riguarda l'utilizzo di sensori piroelettrici nel campo del conteggio di persone, si può pensare ad una soluzione del tipo attivo, ossia utilizzare una componente piroelettrica come ricevitore di un segnale lineare o puntuale termico dando così in uscita un segnale elettrico costante che viene modificato con l'interruzione del raggio, in modo del tutto simile ai componenti I-R attivi.

In alternativa, soluzione questa più utilizzata, il fenomeno piroelettrico è sfruttato come vero e proprio sensore termico negli I-R passivi.

use of automatic counting systems are in any case worth being underlined: if the entity of the traffic in different areas and in the different hours of the day can be known, the service can be managed at its best not only in terms of means of transport, but also for the optimum planning of the lines (in case of road means and/or urban railways), for the scheduling of maintenance periods, as well as for actions on the personnel and investments.

The counting of passengers by automatic means provides a huge amount of data, not only in terms of continuous flow of information, but also of diversified information which can be relatively easily transmitted and correlated in order to acquire an overall view of the phenomenon.

This context includes the capability of coupling the automatic vehicle location systems (AVLS) with the APCs – considering that a network for the transmission of the information needs to be installed in any case and that radio waves and modem systems are not already available – in order to merge the data relevant to the load status, linked with the infeed and outfeed times or timetables at the stops, with the position ones, for the continuous monitoring of the line [4].

### 4.1. Infrared sensors

The infra-red technology (electro-magnetic radiation of a wavelength included between 0.75 and 1000 mm) is one of the most proven ones for this kind of application, and is also the solution which can be most easily found in commerce.

First of all, the infra-red detectors can be divided into two categories, namely:

a. sensors of the *active type*, consisting of a transmitter and a receiver; they create a punctual ray and operate as on/off detection;

b. sensors of the *passive type*, which divide the sole infra-red ray into bundles, thus creating an area of volumetric detection.

The infra-red sensors are essentially *pyroelectric*; the operating principle of the pyroelectric phenomenon will be described in the Appendix.

As related to the use of pyroelectric sensors in the passenger counting, an active type solution can be devised, i.e. the use of a pyroelectric components as receiver of an either linear or punctual thermal sensor, thus providing a consistent electrical signal which is modified with the interruption of the ray, in a way which is fully similar to the active I-R components.

As an alternative, and this is the most widely applied solution, the pyroelectric phenomenon is used as an actual thermal sensor in the passive I-R's.

*4.1.1. Sensori ad infrarossi attivi*

I sensori di tipo attivo sono composti da un trasmettitore ed un ricevitore, indipendenti fra di loro, e creano una protezione raffigurabile come un "filo".

Con questa soluzione si sfruttano i LED come componenti attive, ossia l'emettitore ad infrarossi viene posto in prossimità dell'entrata o entrate del mezzo di trasporto e, quando attivato, emette un raggio che attraversa lateralmente o verticalmente il varco d'ingresso; un ricevitore, in situazione di riposo, registra il normale funzionamento del fascio ad infrarossi.

È evidente che quando si verifica l'interruzione del raggio ad infrarosso, sia esso dovuto a movimenti di entrata o di uscita dal mezzo, il ricevitore non registra più in modo continuo il raggio emesso dal LED e viene così rilevato il passaggio di una persona attraverso l'entrata: in questo tipo di soluzione l'I-R è in genere posizionato all'altezza della cintola per minimizzare gli errori di conteggio.

Generalmente, gli emettitori ad infrarossi sono disposti parallelamente fra loro in modo che l'interruzione dei LED avvenga in direzione dell'attraversamento, quindi si possa discriminare la direzione di entrata da quella di uscita: per la loro configurazione a "sbarre" questo tipo di sensori ad infrarossi vengono anche definiti "sensori a barriera" (fig. 1).

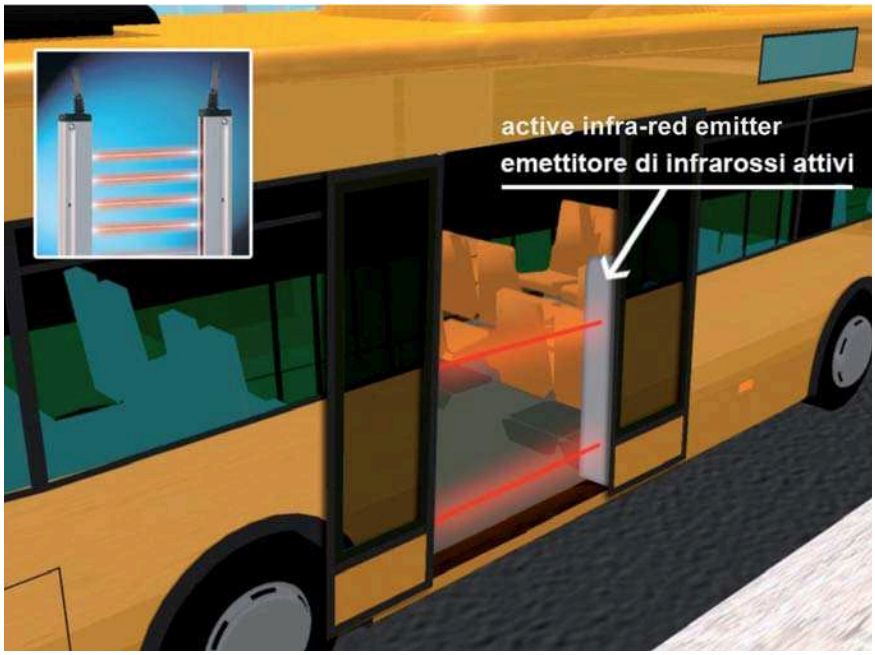



Fig. 1 - Esempio di emettitore di infrarossi attivi installato su un autobus. *Example of active infra-red emitter installed on a bus.*

Punto debole di questa soluzione di conteggio automatico, peraltro facilmente reperibile in commercio, è la necessità di installare più di un sensore per porta, incrementando così i costi. Per evitare che il raggio infrarosso venga evitato involontariamente da un passeggero e valu-

*4.1.1. Active infra-red sensors*

The sensors of the active type consist of a transmitter and a receiver, which are independent from each other and generate a protection represented as a "thread".

This solution enables to utilize the LED's as active components: the infra-red emitter is set close to the entry (or entries) of the means of transport and – when activated – it emits a ray which moves across – either sideways or vertically – the access gate; a sensor in rest mode records the normal operation of the infra-red bundle.

It is obvious that when the infra-red ray is interrupted because of movements in either entering the means of transport or leaving it, the receiver no longer records the ray emitted by the LED in a continuous mode and this detects the passage of a person through the gate: in this type of solution, the I-R is generally located at the height of the waist, in order to minimize the counting errors.

The infra-red emitters are generally set parallel to one another so that the LED interruption occurs in the direction of crossing and the entry direction can thus be discriminated from the exit one: because of their "bar" configuration, this type of infra-red sensors is also defined as "barrier sensors" (fig. 1).

A weak point in this automatic counting solution – which, amongst other things, can also be easily found in commerce - is the need of installing more than one sensor per door, with a consequent cost increase. In order to prevent the infra-red ray from being avoided by a passenger and evaluate the crossing direction, a minimum amount of two sensors is to be installed on every gate, but the number of LED's may increase remarkably if the gates are larger than 2 meters.

In case of doors of such sizes, which allow the sensors to be crossed by 2 or more people at the same time, it is easily understood that such type of sensor – if arranged in horizontal bundle – cannot detect the exact number of passengers: this is the typical case of trains, where the use of this type of APC results to be useless exactly because of its difficulty in managing passengers not in unique queue.

This issues could be solved – at least partially – by using active infra-red sensors located vertically at the entry of the means, so that they form a series of parallel bundles which can be controlled irrespectively from one another and therefore – with the help of handrails or similar dividers set at the entry gate – may detect also more than one passenger a time (e.g. one in outfeed and one in

tare il verso di attraversamento dell'ingresso devono essere installati un minimo di due sensori per porta nei casi di varchi ristretti ma il numero di LED può aumentare considerevolmente se gli ingressi sono di dimensioni maggiori di 2 metri.

Nel caso di porte con queste dimensioni, che permettano cioè l'attraversamento dei sensori da parte di 2 o più persone contemporaneamente, è facile comprendere come questo tipo di sensore, se disposto con fascio orizzontale, non riesca a rilevare il numero esatto di passeggeri: è il caso tipico di treni, nei quali l'utilizzo di questo tipo di APC risulta inutile proprio per la difficoltà di gestire flussi di passeggeri non "accodati".

Il problema potrebbe essere risolto, almeno parzialmente, utilizzando i sensori ad infrarossi attivi disposti verticalmente nell'entrata del mezzo, in modo da formare una serie di fasci paralleli che possano essere controllati indipendentemente fra loro e quindi, con l'ausilio di corrimano o divisori simili posti nel varco d'ingresso, possano rilevare anche più di un passeggero alla volta (ad esempio uno in uscita e uno in entrata dalla stessa porta). In quest'ultimo caso però servirebbero almeno due sensori per ogni "corridoio" di entrata o uscita pertanto, supponendo di dividere l'ingresso in due corridoi, almeno quattro sensori per porta: è evidente che questo porterebbe a costi più elevati soprattutto in relazione al grado di affidabilità di questo tipo di APC sorpassato dai più moderni e precisi sensori ad infrarossi passivi.

Pertanto, gli infrarossi attivi, seppur di facile applicazione e larga diffusione, sono raramente utilizzati per il conteggio passeggeri su mezzi pubblici: sono infatti più comunemente sfruttati per altre applicazioni come, per esempio, la rivelazione di intrusione in edifici privati e pubblici, ossia in situazioni nelle quali la frequenza di rilevazione del passaggio di persone è molto più lenta o comunque non è necessaria un'alta precisione nel conteggio ma è sufficiente il segnale di disattivazione del LED.

Questa soluzione è stata però menzionata perché, seppur raramente, può essere riscontrata in alcuni sistemi di conteggio ma soprattutto perché il principio di funzionamento è, almeno in linea teorica, del tutto valido e, come oltre evidenziato, sfruttata anche in altri sensori (sensori ad infrarossi a doppia tecnologia).

*4.1.2. Sensori ad infrarossi passivi*

Con l'impiego di componenti passive si ha un raggio meno puntuale (il LED è sostituito da emettitori che creano fasci infrarossi più "allargati") composto da due cortine tra loro parallele la cui disposizione permette di differenziare le due tipologie di riflessione del segnale, a seconda che le persone stiano salendo o scendendo dal mezzo di trasporto.

Per questo motivo è importante un preciso posizionamento dei sensori (fig. 2) con un attento collaudo iniziale: molto spesso gli stessi produttori consigliano

infeed from the same door). In the latter case – though – at least two sensors would be required on every entry or exit "aisle" and therefore - supposing to divide the gate into two aisles – at least four sensors per gate: this would obviously generate higher costs mainly as related to the reliability level of this type of APC, which is nowadays outdone by the more modern and accurate passive infra-red sensors.

Subsequently, the active infra-red sensors, even though they are easily applied and widely available, are seldom used for passenger counting on the public means of transport: they are more commonly dedicated to other applications such as – for instance – the detection of intrusions in private and/or public buildings, i.e. in situations where the frequency of detecting the passage of people is far slower or – in any case – where high accuracy in counting is not required, but the LED deactivation signal is sufficient.

This solution has however been mentioned because it can be found, though rarely, in some counting systems but mainly because its operating principle – at least theoretically – is fully valid and, as it is highlighted further on, utilized also in other sensors (i.e. double technology infra-red sensors).

*4.1.2. Passive infra-red sensors*

The use of passive components generates a less punctual ray (the LED is replaced by emitters which generate "widened" infra-red bundles), composed by two parallel arrays whose arrangement allows diversifying the two typologies of signal reflection, whether the passengers are entering or leaving the means of transport.

This is why an accurate location of the sensors is required (fig. 2) with an accurate initial testing: the manufacturers usually recommend installation by specialists or – in any case – a study at design stage in order to avoid frequent conditions of failure and/or malfunctioning due to the wrong location of a sensor.

The issues relevant to the number of sensors to be utilized and – subsequently – to their cost cannot be overlooked because, as in the case of the active systems, more than one sensor per door is to be applied to detect the passage direction.

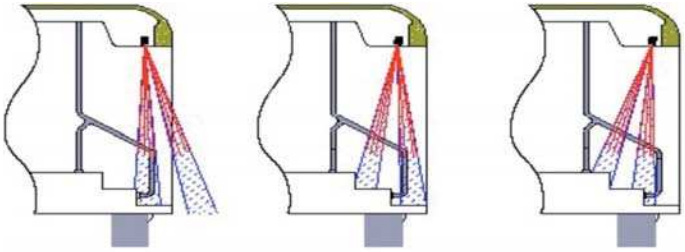


Fig. 2 - Esempi di posizionamento dei sensori ad infrarossi (da sinistra: posizionamento non corretto, corretto, non corretto). *Examples of infra-red sensor location (from the left: incorrect location, correct location, incorrect location).*

l'installazione da parte di specialisti o comunque uno studio in fase di progettazione al fine d'evitare frequenti situazioni di guasto o malfunzionamento, dovuti alla posizione errata di un sensore.

I problemi relativi al numero di sensori da utilizzare, quindi al costo, non sono trascurabili perché, come nel caso di sistemi attivi, bisogna ricorrere a più di un sensore per porta per rilevare la direzione di passaggio.

Anche nel caso di sensori di tipo passivo il numero di infrarossi da utilizzare è legato alle dimensioni delle porte: pur essendo il raggio "non puntuale", può essere sufficiente un solo dispositivo per una porta con larghezza inferiore ad 1m.

Per casi con larghezze comprese tra 1 e 1.5 m risultano necessari in genere due sensori e, in situazioni con varchi maggiori di 1.5 m si dovranno utilizzare, secondo alcune case produttrici, tre sensori: questo porta ad un sensibile incremento dei costi soprattutto se gli I-R sono applicati, piuttosto che a bus con una o al massimo due porte, a tram o treni con un numero di ingressi decisamente più elevato.

Come accennato, il dispositivo elettronico utilizzato dai sensori ad infrarosso passivo è piroelettrico (fig. 3): esso "reagisce" alle repentine variazioni di temperatura o meglio alla radiazione infrarossa emessa da un corpo; il corpo umano emette una frequenza compresa nella gamma tra i 7 e i 14 μm.

L'unico raggio infrarosso generato dal circuito è orientato verso una particolare lente di Fresnell che lo suddivide in un fascio, creando un'area di protezione sensibile alle variazioni termiche, raffigurabile come muri tridimensionali: l'intrusione all'interno del lobo di copertura del sensore crea un improvviso aumento della temperatura, che genera il segnale d'ingresso o uscita. La lente di Fresnell è sistemata sull'involucro del sensore davanti all'emettitore ad infrarosso: in funzione del tipo di lente utilizzata, si definiscono i contorni dell'area di protezione e di conseguenza la portata di copertura del sensore.

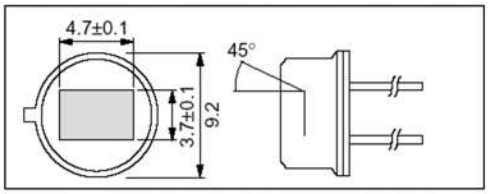


Fig. 3 - Sensore piroelettrico. *Pyroelectric sensor.*

La lente può essere composta da materiale plastico oppure da una superficie trattata a specchio: la lente composta di materiale plastico crea un lobo di copertura conico, mentre quella a specchio crea un'area di rilevazione raffigurabile come un muro, dai contorni precisamente definiti.

Soluzioni con utilizzo di soli componenti passivi sono spesso utilizzati per rilevazione di movimento in sistemi di sorveglianza di ambienti interni o esterni di grandi dimensioni; non è difficile adattarli per il conteggio automatico,

Also in case of the passive type, the number of sensors to be used is linked to the dimensions of the doors: though the ray is not "punctual", only one device can be sufficient for a door whose width is less than 1m.

In cases of widths included between 1 and 1.5 m, two sensors are usually required and – in conditions where the gates are larger than 1.5 m – some manufacturers recommend to use three of them: this implies a significant cost increase, mainly if the IR's are applied – rather than on a bus with one or max. 2 doors – to tramways or trains of a significantly higher amount of gates.

As mentioned above, the electronic device used by the passive infrared-red sensors is pyroelectric (fig. 3), i.e. it "reacts" to the sudden temperature variations or – better – to the infra-red radiation emitted by a human body; this emits a frequency included in the range between 7 and 14 μm.

The sole infra-red ray generated by the circuit is oriented towards a particular Fresnell lens which divides it into a bundle, thus creating a protection area sensitive to the thermal radiations which can be represented as a 3D wall: the intrusion within the coverage lobe of the sensor generates a sudden increase in the temperature, which – on its turn – generates either the infeed or outfeed signal. The Fresnell lens is set on the sensor envelope in front of the IR emitter: depending upon the type of lens used, the borders of the protection area and – subsequently – the coverage of the sensor are defined.

The lens may consist of either plastic material or of a mirror treated surface: the lens in plastic material generates a conical coverage lobe, whilst the mirror one generates a detection area which can be defined as a wall whose border is accurately defined.

Solutions with sole passive components are often utilized to detect the motion in surveillance systems of large-sized internal or external environments; adapting them to automatic counting is not difficult, but – if the coverage bundle emitted by the sensor is too large, the counter may be erroneously incremented, or issues may generate in detecting single individuals if the gate is large enough to allow the infeed or outfeed of more passengers at the same time. These sensors (fig. 4) may even feature very high coverage (up to 30m), but it is obvious that – in the application we are dealing with – a limited volumetric bundle would be more useful to improve the reliability of counting, even though this would involve using more sensors for the same gate.

The application of passive infra-red sensors, conceived for the sole detection of people, and which can be modified with the support of a counting device, is often rather expensive because of features (such as the design, the possible exclusion of the LED signalling the correct operation, the excessive volumetric capacity and the like) which do not influence the automatic counting on the means of transport. This is why it is recommended to use sensors based on the principles which have been presented so far,

ma se il fascio di copertura emesso dal sensore è troppo grande si può incrementare erroneamente il contatore o avere dei problemi di rilevazione di singole persone se l'ingresso è sufficientemente largo da poter permettere l'entrata e uscita a più passeggeri contemporaneamente. Questi sensori (fig. 4) possono infatti avere anche coperture molto elevate (fino a 30m) ma è evidente come nell'applicazione di nostro interesse è più utile un fascio volumetrico limitato per migliorare l'affidabilità del conteggio, anche a costo di utilizzare più sensori per lo stesso varco.

L'applicazione di infrarossi passivi, pensati per il solo rilevamento di persone e modificabili con l'ausilio di un dispositivo per il conteggio, spesso mantiene la caratteristica di costo elevato per accorgimenti (come l'estetica, la possibilità di esclusione del LED di segnalazione del funzionamento corretto, l'eccessiva portata volumetrica, ecc.) che sono ininfluenti dal punto di vista del conteggio automatico su mezzi di trasporto. Per questi motivi è consigliabile l'utilizzo di sensori basati sui principi ora presentati, ma appositamente studiati per l'applicazione nel settore del rilevamento e conteggio di persone: a questo proposito sono presenti in commercio sensori I-R passivi ed attivi incorporati nello stesso componente fisico che migliorano l'accuratezza di misura, l'affidabilità e limitano i costi alle sole esigenze dei sistemi APC.

*4.1.3. Sensori ad infrarossi attivi e passivi*

Esistono sul mercato soluzioni che, per conteggiare con la massima precisione possibile i saliti e discesi, utilizzano un sensore che contiene sia una componente *passiva* che una *attiva*.

Come indicato, la funzione della componente passiva del sensore nel sistema di conteggio passeggeri rileva la radiazione di calore emessa da ogni persona che forma, nei confronti dello spazio circostante, un contrasto di calore: questa radiazione di calore (radiazione ad infrarossi ad onde lunghe) può essere misurata da rilevatori (*detector*) piroelettrici; la loro particolarità consiste nel prendere in considerazione la radiazione di calore solo nel momento in cui si modifica. Ad esempio, un pavimento riscaldato omogeneamente non produce nessun segnale sull'uscita del sensore; se però la radiazione di calore si modifica di colpo, il rilevatore emetterà un segnale corrispondente: questo cambiamento improvviso della temperatura si effettua nel momento in cui una persona attraversa l'area di rilevazione del rilevatore.

La funzione della componente attiva si basa invece sul fatto che ogni persona riflette parzialmente le radiazioni che la colpiscono (radiazione ad infrarossi ad onde corte).

La componente attiva nel sensore comprende un emettitore ed un ricevitore: l'emettitore irradia luce infrarossa in direzione del pavimento e questa luce viene parzialmente riflessa nel ricevitore dalle persone che attraversano, o sostano, nell'area di rilevazione del rilevatore. Il funzionamento è quindi simile, ma opposto, a quello illustra-

Fig. 4 – Sensori passivi di diverse tipologie e con campo di rilevazione volumetrica crescente da sinistra verso destra. *Passive sensors of different typologies and with volumetric detection field increasing from left to right.*

but purposely designed for passenger detection and counting: the market provides passive and active IR sensors incorporated in the same physical component, which improve the measurement accuracy and reliability and also limit the cost to the sole requirements of the APC systems.

*4.1.3. Active and passive infra-red sensors*

The market provides solutions that – in order to count the entries and exits with the greatest accuracy – use a sensor which contains both a *passive* and an *active* component.

As indicated, the function of the passive component of the sensor in the passenger counting system detects the heat radiation emitted by any person which forms a heat contrast in the surrounding space: such heat (long wave infra-red) can be measured by pyroelectric detectors; their particularity consists in the fact that the heat radiations are taken into consideration only when they modify. For instance, a homogeneously heated floor produces no signal on the sensor output; nevertheless, if the heat radiation modifies suddenly, the detector will emit a corresponding signal: the mentioned sudden change in the temperature develops as soon as a person passes across the detection field of the detector.

The function of the active component, on the other hand, is based on the fact that every person partially reflects the radiations which hit him/her (short-wave infrared radiation).

The active component in the sensor includes a transmitter and a receiver: the emitter irradiates infra-red light in the direction of the floor and such light is partially reflected in the receiver by the people who pass through or stay in the detection field of the detector. The operating is therefore similar – though opposite – of the one which is illustrated for the sole active devices, where a "normally closed" signal generates and the detection occurs when the ray is interrupted.

In this case, the reflection of the ray is used so that both the transmitter and the receiver of the active sensor - besides the passive one - are incorporated in the same component, thus ensuring remarkable advantages in terms of both assembly and packaging dimensions.

The overall signals of the active and passive compo-

to per i soli dispositivi attivi nei quali si ha un segnale del tipo "normalmente chiuso" e la rilevazione avviene quando il raggio viene interrotto.

In questo caso si sfrutta, infatti, la riflessione del raggio in modo da incorporare nello stesso componente, oltre al sensore passivo, sia l'emettitore che il ricevitore del sensore attivo, ottenendo notevoli vantaggi sia in termini di montaggio che d'ingombro.

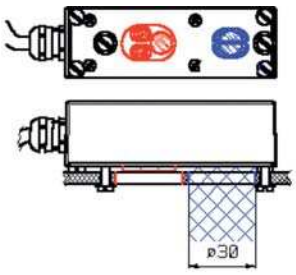


Fig. 5 - Sensore ad infrarossi con componenti passive, in blu, ed attive, in rosso. *Infra-red sensor with passive components in blue and active components in red.*

I segnali della componente attiva e della componente passiva, dovuti all'attraversamento da parte di persone dell'area di rilevazione, sono sottoposti globalmente ad un'analisi campione: è importante, al fine di un buon funzionamento dei sensori, e raccomandato da più produttori, che nell'area inferiore perpendicolare alla componente passiva non ci sia nessun elemento meccanico in movimento come per esempio i battenti della porta o i loro supporti (area evidenziata in fig. 5).

I passeggeri in entrata ed in uscita vengono conteggiati e durante il processo di conteggio li si memorizza separatamente per porta, divisi nelle due categorie.

Il principio dell'analisi campione di flussi di movimento in un'area di spettro ad infrarossi ha dato al sistema il nome IRMA (*InfraRed Motion Analyzer*). All'ingresso di una persona nell'area di rilevazione del sensore la persona in questione sarà "vista" dalla componente passiva e dalla componente attiva: tutti i segnali generati nel sensore vengono intensificati nel sensore stesso, poi digitalizzati e trasmessi tramite un'interfaccia seriale all'analizzatore, che ricaverà da tali segnali i risultati di conteggio.

Tramite la combinazione e l'analisi di diversi principi dei rilevatori si possono equilibrare le mancanze dei singoli principi dei sensori.

L'installazione dei sensori avviene asimmetricamente rispetto al centro della porta (in molti casi al centro è alloggiata l'illuminazione di entrata) come mostrato in fig. 6. Nella figura è rappresentata schematicamente l'area di rilevazione dei due sensori visti da un osservatore che si trova all'interno del veicolo e guarda in alto (è rappresentata solo la metà superiore della porta).

I dispositivi possono essere con cavo fisso installato al

nents which are generated when people cross the detection area are submitted to sample analysis: for the appropriate operation of the sensors, several manufacturers recommend that no mechanical element in motion (e.g. the door wings or their supports) should be located in the lower area perpendicular to the passive component (area highlighted in fig. 5).

The passengers in infeed and outfeed are counted and are memorised separately per door, and divided into the two categories during the counting process.

The principle of the sample analysis of the movement flows in an infra-red spectrum area has given the system the name of IRMA (*InfraRed Motion Analyser*). As soon as a person enters the detection area of the sensor, he/she will be "seen" by both the passive and active components: all the signals generated in the sensor are intensified within the sensor itself, then they are digitalised and transmitted - through a serial interface - to the analyser which will obtain the counting results from such signals.

The failures of the different sensor principles can be balanced by means of the combination and analysis of different principles of the detectors.

The sensors are installed asymmetrically as related to the centre of the door (in many cases, the centre hosts the gate lighting) as shown in fig. 6. The figure schematically represents the detection area of the two sensors seen by an observer who is inside the vehicle and looks upwards (the sole upper half of the door is represented).

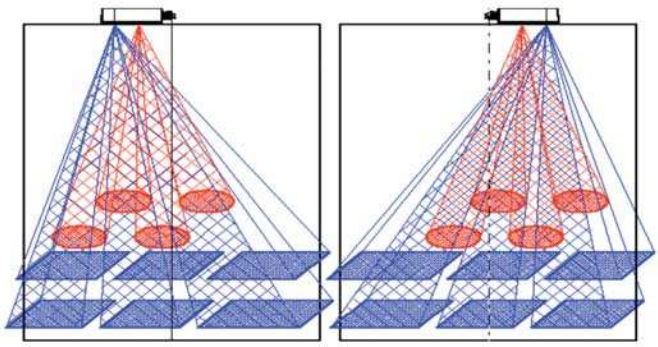


Fig. 6 - Rappresentazione dei fasci volumetrici dei sensori. *Representation of the volumetric bundles of the sensors.*

The devices can be with fixed cable installed to the sensor, or the cable can be engaged into the sensor itself. In the majority of cases, fixed cable sensors are installed on buses (fig. 7). Tramways and trains mainly use sensors with engaged cable: by this solution, the cables can be located behind the lining when the vehicle is being manufactured, so that – further on – the installation of the sensors shall call for a minimum amount of time (fig. 8).

The image in fig. 9 represents a double technology infra-red sensor developed by *Centro Ricerche Fiat* within the framework of a project for the "estimate or measure-

sensore o con cavo innestabile al sensore stesso: sugli autobus, nella maggioranza dei casi, sono installati sensori con cavo fisso (fig. 7). Su tram o treni si utilizzano per lo più sensori con cavo innestabile: con questa soluzione i cavi si possono posizionare dietro il rivestimento già in fase di produzione del veicolo, in modo che successivamente l'installazione di sensori richiederà un impiego di tempo minimo (fig. 8).

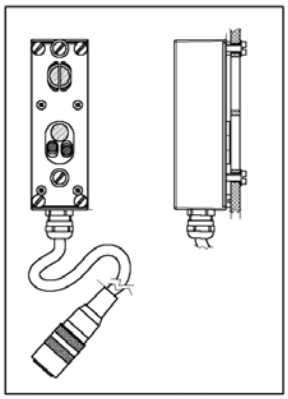


Fig. 7 - Sensore con cavo fisso. *Fixed cable sensor.*

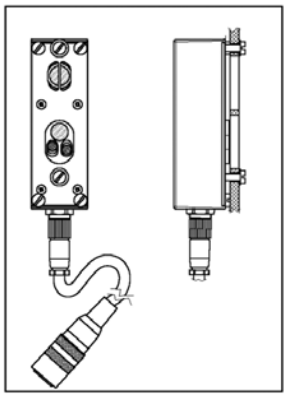


Fig. 8 - Sensore con cavo innestabile. *Sensor with cable engaged.*

L'immagine di fig. 9 presenta un sensore ad infrarosso a doppia tecnologia studiato dal Centro Ricerche Fiat nell'ambito di un progetto per la "stima o misura del numero di passeggeri trasportati" per la "gestione delle flotte nel trasporto pubblico": la figura viene introdotta a titolo di esempio per illustrare le due componenti del sistema APC in questione.

### 4.2. Sensori a pedana

Strumenti di facile applicazione per conoscere l'effettiva occupazione del veicolo sono le pedane in lega metallica capaci di deformarsi, in campo elastico, sotto l'effetto di carichi esterni, come il peso del passeggero in transito su di esse. Sono riconoscibili in ambito internazionale anche come sistemi "*treadle switch based*".

Questa soluzione relativa all'ambito delle tecnologie APC è prodotta da diverse aziende operanti nel campo dei trasporti e riscontrata con una certa diffusione in Germania: il sistema di conteggio utilizza pedane deformanti, o *treadle mat* (fig. 10) collocate in prossimità degli ingressi del veicolo, tipicamente sui gradini d'accesso.

La struttura metallica può essere ricoperta da uno strato in gomma e fissata ai gradini per mezzo di apposite strutture di fissaggio o semplicemente incollata con adesivi ad alta tenuta; quest'ultima soluzione è meno utilizzata perché porta ad un più veloce deterioramento.

ment of the number of transported passengers" for the "management of fleets in public transport": the figure is introduced as an example to illustrate the two components of the considered APC system.

### 4.2. Treadle mat sensors

The metal alloy mats are tools of easy application in order to know the actual occupation of the vehicle; they can deform, within the elastic field, under the effect of external loads, such as the weight of the passenger in transit on them. They are acknowledged worldwide also as "treadle switch based" systems.

This solution relevant to the APC technologies is produced by several companies operating in the transport industry and somewhat spread in Germany: the counting system uses treadle mats (fig. 10) located in proximity of the vehicle gates, typically on the access steps.

The metal structure can be covered by a layer of rubber and attached to the steps by means of purposely-allocated attachment structures, or simply glued by means of high seal adhesives; the latter solution is less frequently applied because it deteriorates rather quickly.

The treadle mats use the principle of the band switches which constitute a grid of one or more normally open plates which – under the action of some external pressure which deforms the plate – close the contact, thus supplying a signal that the control system interprets as the passage of one person.

Their installation generally does not call for special care; it must nevertheless be considered that the edge of the mat is not active, i.e. it does not commute the switch; subsequently, the position of the mat is to be studied and experimented so that the metal plate deforms every time a person transits on it, in order not to obtain wrong data due to missing detection.

The operating principle is therefore simple and – even though those passenger counting solutions, which are also defined as "by contact", showed some mechanical issues in the past – the modern treadle mats ensure remarkable accuracy and long operational life: some manufacturers estimate over one million activations for the switch, which can in any case be replaced.

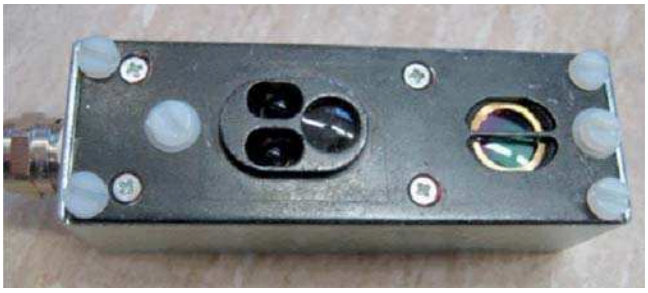


Fig. 9 - Sensore infrarosso attivo e passivo. *Active and passive infra-red sensor.*

[Fonte/*Source*: *Tapeswitch]*

Fig. 10 - Esempio di pedana deformante. *Example of treadle mat.*

Le *treadle mats* sfruttano il principio degli interruttori a striscia che costituiscono un reticolo di una o più lamine normalmente aperte che, sotto l'azione di una pressione esterna che deforma la piastra, chiudono il contatto fornendo un segnale interpretato dal sistema di controllo come il passaggio di una persona.

Il montaggio non richiede generalmente particolari attenzioni ma occorre considerare che il bordo della pedana non è attivo, ossia non commuta l'interruttore, quindi la posizione di quest'ultima deve essere studiata e sperimentata in modo che, per ogni persona che transita sulla piastra, la lamina metallica venga deformata al fine di non ottenere dati errati per mancata rilevazione.

Il principio di funzionamento è quindi semplice e, sebbene in passato queste soluzioni d'identificazione dei passeggeri definite anche "a contatto" presentassero problemi meccanici, con le moderne *treadle mat* si riesce ad avere una notevole accuratezza ed una lunga durata operativa: secondo alcune ditte produttrici, si stima oltre il milione di attivazioni per lo *switch* che può poi essere comunque sostituito.

I dati sono, inoltre, di dimensioni relativamente piccole in quanto si tratta di segnali "on-off", quindi anche di facile elaborazione da parte della CPU legata ai sensori: questo concetto diventa importante se si pensa applicato a mezzi pubblici che presentano molti ingressi, come tram o treni, nei quali la quantità d'informazioni da gestire nei pochi secondi di entrata e uscita passeggeri può essere anche rilevante.

Gli ultimi sviluppi di questi sensori, con i relativi programmi di gestione dei dati, hanno portato ad avere una diminuzione consistente degli errori dovuti a false rilevazioni, come il passaggio sulle piastre di un animale, l'appoggio di una stampella o di una borsa: secondo la PMT (*PerMetrics Technologies*), nota produttrice di *treadle mats*, la CPU incorporata al sistema APC sarebbe in grado di distinguere, grazie a programmi d'identificazione, il passaggio di una persona ed il suo movimento dal segnale provocato da eventuali "oggetti estranei" entro limiti di accuratezza accettabili.

Furthermore, the data are of relatively small dimensions since they are just "on-off" signals, which can be easily processed by the CPU connected to the sensors: this concept becomes important if applied to public vehicles designed with several gates, such as tramways or trains, where the volume of information to be managed in the few seconds of passengers entry and exit can be significant.

The latest developments of these sensors, with the relevant data management programs, have led to a remarkable diminution in the errors due to false detection, such as the passage of an animal on the plates, the pressure due to either a crutch or a bag. PMT (*PerMetrics Technologies*), a well-known manufacturer of treadle mats, states that the CPU incorporated to the APC would be capable to distinguish – thanks to identification programs – the passage of a person and his/her movement from the signal caused by any "foreign objects" within acceptable limits of accuracy.

First of all, there is a minimum weight of activation of approximately 15 kg which excludes any lower load (e.g. a bag weighing on the sensor during the travel) while the attention to the speed of transit on the mat prevents the erroneous counting of signal due – for instance – to a person staying on the access gate. Furthermore, this last risk of likely misunderstanding between sensors and CPU is prevented if we think that the activation of the sensor is taken into consideration by the CPU only during the stops, i.e. when the entry and exit gates are usually transited by the passengers, whilst all the inputs transmitted during the travel of the vehicle – and therefore with the doors closed – are dismissed.

Nevertheless, there might be some so-called "split" conditions, i.e. of wrong interpretation on the infeed and outfeed motion of the people, for example in case a step is jumped over or a person transits on the mat to ask some information to the driver and then goes down again: they are nevertheless rare conditions which usually do not affect the validity of the data obtained from the APC systems.

More significant *split* errors for the loss of information are linked to the rush hours on the public transport vehicles, when it may happen that a crowd of people in either infeed or outfeed generates errors of interpretation which are essentially due to a simultaneous activation of the switches on several steps. In these cases, the amount of passengers is underestimated, but the loss of data is generally avoided, since the transit speed on the mat is controlled by the CPU and a minimum time interval between several activations enables it to resume the counting. The correction of any overestimated or underestimated data can be compensated by a study of such data, once they are filed in the central database, by means of appropriate statistics programs.

If the railway or tramway line equipped with this kind of APC is always very crowded, the errors can be significant and – in such cases – the use of different means – such as passive IR sensors - may be preferable, or the ac-

Vi è innanzitutto un peso minimo di attivazione nominale di circa 15 kg che esclude eventuali carichi inferiori (ad esempio, uno zaino appoggiato sul sensore durante la corsa) mentre l'attenzione alla velocità di transito sulla pedana fa sì che non vengano conteggiati erroneamente segnali dovuti, ad esempio, allo stazionamento di una persona nel varco d'ingresso. Quest'ultima ipotesi di probabile malinteso fra sensori e CPU è inoltre evitata se si pensa che l'attivazione o meno del sensore è presa in considerazione dalla CPU soltanto durante le soste, quando i varchi di ingresso ed uscita sono generalmente transitati dai passeggeri, mentre sono scartati tutti gli input che vengono trasmessi lungo la corsa del veicolo, quindi a porte chiuse.

Vi possono essere tuttavia situazioni, dette di "split", ossia d'errata interpretazione del movimento di entrata o di uscita delle persone, per esempio nel caso in cui si salti un gradino o nella situazione in cui una persona, chiedendo solo un'informazione al conducente, transiti sulle pedane per poi scendere nuovamente dal mezzo: si tratta però di situazioni rare e di solito ininfluenti sulla validità dei dati ricavati dai sistemi APC.

Errori di *split* più rilevanti per la perdita di informazioni sono legati alle ore di punta nei mezzi pubblici, quando si può verificare che una folla di persone in ingresso o in uscita crei errori di interpretazione dovuti sostanzialmente ad una contemporanea attivazione degli *switch* su più gradini. In questi casi si viene ad avere un valore sottostimato dei passeggeri ma la perdita totale dei dati è generalmente evitata: questo perché la velocità di transito sulla pedana è controllata dalla CPU ed un minimo intervallo di tempo tra più attivazioni permette a quest'ultima di riprendere il conteggio. La correzione di eventuali dati sovra o sotto-stimati può essere compensata con uno studio degli stessi, una volta archiviati nel database centrale, tramite appositi programmi di statistica.

Se la linea ferroviaria o tranviaria del mezzo equipaggiato con questo genere di APC è tuttavia sempre molto affollata, gli errori possono essere anche considerevoli ed appare preferibile in questi casi l'utilizzo di altri sensori, ad esempio ad infrarossi passivi, oppure gestire l'ingresso e l'uscita dal mezzo con elementi come tornelli per avere un accesso al veicolo "a fila unica" che permette al sistema di controllo d'identificare singolarmente i passeggeri.

Se esistono condizioni idonee per questo tipo di soluzioni APC, i costruttori dichiarano un'accuratezza superiore anche agli stessi infrarossi, di oltre il 95%.

Limite forte delle pedane è la necessità di avere ingressi rialzati con l'utilizzo quindi di gradini: la presenza di uno solo di essi, non permette però di distinguere tra attivazione di entrata o di uscita dal veicolo, rendendo così inadeguato il sistema di conteggio stesso. Per questo motivo le pedane non possono essere utilizzate nei veicoli a pianale ribassato o "*low floor*" come alcuni bus di linea cittadini di recente generazione: la presenza di scalini adeguati all'installazione delle *treadle mats* è però diffusa sui treni e ne è quindi ipotizzabile un vasto campo di applicazione.

cess to the vehicle and exit from it can be managed by other elements – such as turnstiles – to have a "sole line" access to the means of transport, which enables the control system to count the passengers one by one.

If appropriate conditions exist for this type of APC solutions, the manufacturers declare that accuracy can be even greater than with the IR sensors, namely over 95%.

A severe limit of the treadle mats is the need of having raised entries, and then steps: the presence of only one of them does not allow distinguishing between activation for access to the vehicle or exit from it, which makes the counting system inappropriate. For this reason, the treadle mats cannot be used in the "low floor" vehicles such as some urban line buses of the latest generation: on the other hand, the presence of steps appropriate to the installation of the treadle mats is spread on the trains, and a wide field of application can therefore be assumed.

The reduced dimensions of the treadle mats (approx. 1 m long), and the fact that high efficiency cannot be guaranteed with active areas greater than 1 m implies that, if the entry gate is larger than 1 to 1.5 m, 2 or more treadle mats are required, and also the use of dividers or handrails for the best management of the passengers in transit. These devices are often already installed at the gates of trains as well as of some buses, where the entries almost always need more than one mat, and this allows for a non negligible cost reduction. Passenger flow dividers, on the other hand, are not installed on several vehicles such as tramways or urban buses, where they would generally be required, and this would generate an additional economic burden, thus favouring other solutions such as – for instance – double technology infra-red sensors.

The mats within the vehicles (fig. 11) are almost always installed so that they are not visible to the passengers, and the covers are identical to the ones used in the public means of transport. This solution prevents inten-

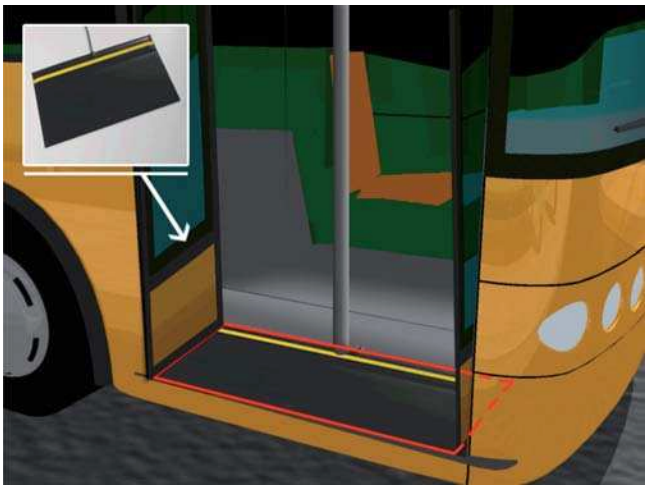


Fig. 11 - Esempio di installazione della pedana deformante sul veicolo. *Example of the installation of the treadle mat on a vehicle.*

Le dimensioni ridotte delle pedane (circa 1 m di lunghezza), legate all'impossibilità di garantire un'efficienza elevata con zone attive superiori al metro fa sì che, se il varco d'ingresso supera in larghezza 1-1.5 m, siano necessarie 2 o più *treadle mats* quindi anche l'impiego di divisori o corrimano al fine di gestire in modo migliore i movimenti dei passeggeri in transito. Questi ultimi sono spesso già presenti negli ingressi di treni ed alcuni autobus e, specialmente nei treni, laddove le entrate necessitano quasi sempre di più pedane, questo viene a vantaggio di una riduzione di costi non trascurabile. Divisori di flusso dei passeggeri nei varchi d'ingresso sono invece assenti su molti veicoli come tram o bus cittadini nei quali si riterrebbero generalmente necessari, creando inconvenienti dal punto di vista economico legati all'attrezzatura necessaria, favorendo così altre soluzioni come ad esempio sensori ad infrarossi a doppia tecnologia.

L'installazione delle pedane all'interno del mezzo (fig. 11) è quasi sempre effettuata in modo che quest'ultime non siano visibili ai passeggeri ed i ricoprimenti sono del tutto simili a quelli usati nei mezzi pubblici, soluzione che evita eventuali atti vandalici o condizionamento del comportamento dei passeggeri.

Secondo un produttore (London Mat Industries Matex), dopo anni di test sul campo, in special modo su mezzi pubblici americani, il ciclo di vita questo tipo di APC può arrivare anche ai 10 anni con variazioni considerevoli (si può ridurre anche a 3–5 anni) in caso di pulizia carente o utilizzo in luoghi con climi molto freddi: temperature molto basse, umidità, introduzione all'interno della pedana di pietre, sabbia, acqua, ecc., possono portare ad un veloce deterioramento del sistema. Sono pertanto in studio alcune strutture in acciaio inossidabile, al posto della gomma di ricoprimento delle pedane, per avere maggior sicurezza contro le infiltrazioni di particelle estranee, una migliore e più facile pulizia dei sensori.

Analizzati i punti deboli di questa tecnologia, è evidente che essa richieda un'attenta installazione anche per evitare frequenti ed a volte difficili sostituzioni, seppur molto meno problematiche rispetto ai sensori ad infrarossi. Occorre prevedere infatti una disposizione della pedana ed un ricoprimento del sistema elettrico, comprensivo dei cavi di alimentazione e di collegamento con la CPU, il più preciso possibile e termicamente isolato prestando particolare attenzione alla sistemazione dei cavi in modo che non portino, a causa di passeggeri impigliati in essi, a strappi o rotture degli stessi o della gomma di ricoprimento. Per quanto riguarda l'accumulo di polveri o sporcizia sulle *treadle mats*, si è visto che la normale pulizia del mezzo operata ai depositi dei bus o ai capolinea delle linee ferroviarie risulta sufficiente, al contrario dei sensori ad infrarossi che richiedono un'attenzione in questi termini più frequente.

Il costo di una pedana è generalmente più basso di quello dei sensori passivi o a doppia tecnologia: il costo unitario è maggiore rispetto ai sensori attivi ma la necessità

tional damage and does not condition the behaviour of the passengers.

After years of field testing, in particular on American means of transport, a manufacturer (namely London Mat Industries Matex), estimates that the life cycle of this type of APC may be of up to 10 years with remarkable variations (it may reduce even to 3 to 5 years) in case of poor cleaning or use in very cold areas: very low temperature, humidity, the presence of little stones, sand, water and the like inside the mat may lead to a fast deterioration of the system. Subsequently, studies are in progress to replace the rubber covers of the mates with stainless steel frames, in order to ensure greater protection against the infiltrations of foreign bodies as well as for a better and easier cleaning of the sensors.

The analysis of the weak points in this technology obviously shows that it calls for careful installation, also in order to avoid frequent and sometimes difficult replacements, which are nevertheless far easier than in the case of infra-red sensors. This requires the most accurate arrangement of the mat and a cover of the electric system, of the power supply cables and connections to the CPU, thermal insulation and the most careful location of the cables, so that no tears or breakages on either the cables or the cover rubber are caused by passengers entangled in them. As far as the accumulation of dust and/or dirt on the treadle mats is concerned, it has been noticed that the standard cleaning of the means performed at the bus garages or at the railway terminals is sufficient, unlike the IR sensors, which call for more frequent attention.

The cost of a treadle mat is generally lower than the one of the either passive or double technology sensors: the unit cost is higher than the active sensors, but the need of having an average of 2 to 4 LED's and relevant receivers at each gate makes the treadle mats – if only one is required – even more cost effective than this last solution.

Table 1 summarizes the main typologies of automatic counting systems, the treadle mats and the infra-red sensors.

As far as cost is concerned, besides the aforementioned considerations, in these technologies, the cost of the devices is contained versus the one of the transport system: nowadays, having correct, reliable data at disposal when required, as well as a counting tool easily found on the market is far more important. The experience, and even the relevant literature, do not allow providing significant MTBF (*Mean Time between Failures*) values.

## 5. Load and passenger detection based on the WIM systems

The *WIM* (*Weigh In Motion*) systems enable to estimate the number of passengers on a vehicle through the ground loading of the means detected before and after the

sità di avere per ogni ingresso mediamente dai 2 ai 4 *led* e relativi ricevitori, fa sì che le *treadle mats*, nel caso ne sia sufficiente una sola, siano più economiche anche di quest'ultima soluzione.

Nella tabella 1 vengono paragonate in modo sintetico le due principali tipologie di sistemi di conteggio automatico, i sensori a pedana e gli infrarossi passivi.

Quanto al costo, oltre alle considerazioni sopra emerse, si tratta di tecnologie dove l'onere per i dispositivi è contenuto rispetto al costo del sistema di trasporto: oggi è di gran lunga più rilevante disporre dei dati corretti, affidabili e nel momento in cui servono, nonché disporre di uno strumento di conteggio reperibile facilmente sul mercato. L'esperienza, stando anche alla letteratura, non permette di fornire valori significativi dell'MTBF (*Mean Time Between Failures*).

## 5. Rilevamento del carico e dei passeggeri basato su sistemi WIM

I sistemi *WIM* (*Weigh In Motion*) permettono di stimare il numero di passeggeri su un veicolo, noto il peso a vuoto con conducente ed una stima sul carburante presente nel serbatoio, mediante il carico a terra del mezzo, rilevato prima e dopo le fermate.

Essi consistono essenzialmente in strumenti in grado di effettuare un controllo completo e continuo del traffico circolante in termini di numero, tipologia e carico assiale permettendo le analisi illustrate nei successivi paragrafi.

Si tratta sostanzialmente di sensori, di varie tipologie, inseriti direttamente o per mezzo di profilati, di diversa forma a seconda delle configurazioni, sulle rotaie o in appositi solchi ricavati nella carreggiata stradale, poi ricoperti generalmente con un primo strato di gomma e un secondo di sabbie silicee al fine di isolare la struttura da agenti chimici e atmosferici esterni. È necessario un attento posizionamento della struttura, mostrata in fig. 12, a raso con il terreno in modo che essa riesca a deformarsi adeguatamente sotto il carico dinamico del veicolo in transito su di essa.

Attualmente, la quasi totalità delle stazioni di rilevamento WIM si limitano al solo controllo del numero dei mezzi e, in alcuni casi alla loro tipologia, rendendo inattuabile possibili altre applicazioni come la verifica dell'impatto del traffico sulla pavimentazione, della distribuzione territoriale dei carichi trasportati e rendendone impraticabile l'uso come sistemi di conteggio passeggeri.

L'importanza dell'argomento e delle tecnologie ad esso connesse, hanno già determinato specifiche in termini

stops once the dead weight with driver and an estimate on the fuel in the tank are known.

Essentially, such equipment performs the complete continuous check of the circulating traffic in terms of number, typology and axial load, thus enabling the analyses which are illustrated in the following paragraphs.

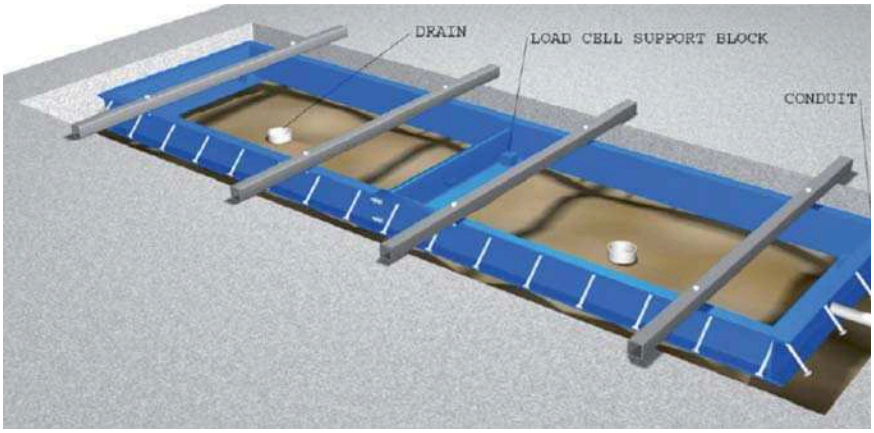
The WIM systems essentially consist of sensors of different type which are introduced either directly or by means of structural steels (whose shape varies depending upon the configurations) onto the rails or in appropriate ditches machined in the carriageway and then covered, generally by a first layer of rubber and a second one of silica sand in order to insulate the structure from foreign chemicals and atmospheric agents. A careful location of the frame – as shown in fig. 12 – is required, flush to the ground, so that it can deform appropriately under the dynamic load of the vehicle transiting on it.

The almost totality of the WIM detection stations is currently limited to the mere acknowledgement of the number of vehicles and – in some cases – to their typology, which makes unfeasible any other possible applications such as the verification of the traffic impact on the road surface, of the territory distribution of the transported loads; any application as passenger counting system is therefore impracticable.

The importance of the topic and of the technologies connected to it have already determined some specifications in terms of performance at the level of European standards for the WIM instrumentation, which is regularly applied in France, Germany and Switzerland.

### 5.1. Main fields of application

For their development, installation and maintenance, the WIM technologies require investments that are sometimes not negligible and may be excessive for the sole counting of passengers; however, they are useful and valid




[Fonte/*Source: Massload, 2007*]

Fig. 12 - Esempio di installazione di un sensore WIM. *Example of installation of a WIM sensor.*

TABELLA 1- *TABLE 1*

CONFRONTO TRA PEDANE DEFORMANTI (*TREADLE MATS*) ED INFRAROSSI

*COMPARISON BETWEEN TREADLE MATS AND INFRA-RED*

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

in the perspective of their potential applications and further integration to the APC systems.

The main fields of application of the *Weigh In Motion* sensors are as follows.

1. Observation of the traffic in real time: the WIM systems can be used as sources for the input data of traffic management in real time; some applications may concern the urban environment, since they can detect the passage of commercial and industrial vehicles in itineraries and at hours when such transit is not allowed.
2. Toll applications: some fare rules are aimed at diversifying the toll as related to the actual impact every vehicle causes to the road surface, keeping into account that the cars generally generate very contained damage, but they nevertheless need the infrastructure and relevant maintenance. A high precision WIM system, coupled with a vehicle identification structure, can allow the fast installation of an automatic toll system and the implementation of proper road pricing actions.
3. Economic and statistic studies: the information that can be obtained from the WIM stations for the statistic and economic analyses are various: such studies enable to provide data relevant to the traffic flows, to the overall weight of the vehicles, weight per axle and classification of the vehicles themselves. These data enable to obtain the overall weight and distribution frequencies of the load axes.
4. Classification of the road sections: also the shapes of the heavy vehicles obtained from the vehicle classification data may supply other useful information. The presence of a high percentage of 2-axle trucks shows that local transport, with distribution function, is predominant in the area which is

di prestazioni a livello di normativa europea delle strumentazioni WIM, regolarmente in uso in Francia, Germania e Svizzera.

### 5.1. Principali campi di applicazione

Le tecnologie WIM richiedono per il loro sviluppo, installazione e manutenzione, investimenti talvolta non marginali che possono essere eccessivi ai fini del solo conteggio passeggeri ma sono utili e validi se si pensa alle loro possibili applicazioni ed alla successiva integrazione con sistemi APC.

I principali campi di utilizzo dei sensori *Weigh In Motion* sono i seguenti.

1. Osservazione del traffico in tempo reale: i WIM possono essere utilizzati come fonti per i dati d'input della gestione del traffico in tempo reale; alcune applicazioni possono riguardare l'ambito urbano, essendo in grado di rilevare il passaggio di veicoli commerciali ed industriali in itinerari ed in ore quando non è consentito.
2. Applicazioni al pedaggio: alcune regole di tariffazione sono finalizzate a distinguere i pedaggi in relazione al danno effettivamente causato alla pavimentazione da ciascun veicolo, tenendo conto del fatto che le autovetture inducono in genere un danno molto contenuto ma necessitano ugualmente dell'infrastruttura e della sua manutenzione. Un sistema WIM ad alta precisione, accoppiato ad un sistema di identificazione dei veicoli, è in grado di permettere in modo celere l'installazione di un sistema automatico di pedaggio e l'implementazione di corrette azioni di *road pricing*.
3. Studi statistici ed economici: le informazioni che è possibile ottenere dalle stazioni WIM al fine delle analisi statistiche ed economiche sono numerose: essi permettono infatti di fornire dati di flussi di traffico, di pesi totali dei veicoli, pesi per asse, tipi di asse e di classificazione dei veicoli stessi. Da questi dati è possibile ricavare il peso totale e le frequenze di distribuzione degli assi di carico.
4. Classificazione delle sezioni stradali: le sagome dei veicoli pesanti ricavate dai dati di classificazione dei veicoli possono anche fornire altre informazioni utili. La presenza di un'elevata percentuale di autocarri a due assi mostra che per il luogo oggetto d'indagine è predominante il trasporto locale, con funzione di distribuzione. Al contrario, la presenza in percentuali elevate di autoarticolati o autotreni suggerisce che per quel sito è di maggiore importanza il trasporto su lunga distanza.
5. Studi finalizzati ai programmi di manutenzione: i dati sul traffico e sui carichi, accoppiati ai rilievi delle caratteristiche funzionali della pavimentazione (regolarità ed aderenza) permettono di ottenere le curve di decadimento prestazionali che, come è noto, per le pavimentazioni flessibili in conglomerato bituminoso dipendono, anche, dalle condizioni ambientali (temperatura

subject to investigation. On the other hand, the presence in high percentage of semi-trailers and truck-trailer combinations show that long-distance transport is of greater significance in that site.

5. Studies aimed at maintenance programs: the data on the traffic and loads, coupled with the surveys of the functional features of road surface (smoothness and adherence) enable to obtain the performance decay which – as it is well known – in case of flexible road surface in asphalt concrete also depend on the environment conditions (temperature, humidity and the like) and – therefore – cannot be easily extended in their adoption. The definition of the decay curves is essential in the definition of maintenance programs which can ensure consistent actions with the expenditure capability of the authorities who manage the viability, and to ensure the functional qualities of safety.
6. Statistic environmental studies: the environment pollution due to the traffic emissions is generally influenced by the number of vehicles, by their typology and driving conditions, but also on the speed and weight. In general, higher charges determine greater emissions of combustion gases. As far as the diesel engine emissions are concerned, the regulations on the tolerable emissions are relatively recent and only a limited number of experimental results are available to date. These results were obtained through tests on heavy means with different total weights; the ones relevant to the gas-dynamometric tests have highlighted that the emissions are proportional to the overall weight of the vehicle.

Therefore, the adoption of *Weigh In Motion* detection systems enables to acquire information on the typology of the means (load axles, overall weight, wheel track) which, mated to the more conventional ones (traffic flows, occupation rates, headways or distance between the vehicles, speed and length of the vehicles themselves) result to be essential not only for more complete information on the traffic and different flow modalities, but are also functional to new strategies for the right management of the road infrastructures: maintenance, safety in circulation and reduction of the polluting agents.

Within the automatic counting, it is obvious that the WIM solutions can be integrated to the APC systems to verify the reliability of the data obtained, either in real time or scheduled in some periods of the year.

The Weigh In Motion systems identify the dynamic stress due to the passage of the vehicle on the sensors and obtain – by data processing through some programs –the static load in real time. Knowing the weight of the vehicle at the beginning of the service, including the driver and the fuel, the average consumption and identifying an average weight per person, the number of passengers on the means of transport can be traced back: in any case, the information will be general and just an indication to be verified through the more accurate APC devices; it is never-

tura, umidità, ecc.) e, pertanto, non sono facilmente estendibili nell'adozione. La determinazione delle curve di decadimento risulta essenziale al fine della definizione di programmi manutentori in grado di assicurare interventi coerenti con le capacità di spesa delle amministrazioni che hanno in gestione la viabilità e di assicurare standard di qualità funzionali alla sicurezza.

6. Studi statistici ambientali: l'inquinamento atmosferico dovuto alle emissioni del traffico è generalmente influenzato dal numero dei veicoli, dalla loro tipologia, dalle condizioni di guida ma, anche, dalla velocità e dal peso. Carichi più elevati determinano in genere maggiori emissioni di gas di combustione. Per quel che riguarda le emissioni di motori diesel, le regolazioni sulle emissioni tollerabili sono relativamente recenti e finora è disponibile solo un numero limitato di risultati sperimentali. Questi risultati sono stati ricavati da prove su mezzi pesanti con diversi pesi totali; i risultati ottenuti da prove gas-dinamometriche hanno messo in evidenza che le emissioni sono proporzionali al peso totale del veicolo.

L'adozione di sistemi di rilevamento *Weigh In Motion* permette quindi l'acquisizione di informazioni sulla tipologia dei mezzi (assi di carico, peso totale, distanza interasse) che accoppiate a quelle classiche (flussi di traffico, tassi di riempimento, distanziamento tra i veicoli, velocità e lunghezza degli stessi) risultano essenziali non soltanto per una più completa informazione sul traffico e sulle diverse modalità di deflusso, ma anche funzionali a nuove strategie per una corretta gestione delle infrastrutture stradali: manutenzione, sicurezza nella circolazione, riduzione degli inquinanti.

Nell'ambito del conteggio automatico è evidente che le soluzioni WIM possono essere integrate ai sistemi automatici APC per una verifica in tempo reale o programmata in alcuni periodi dell'anno per verificare la veridicità dei dati ottenuti.

I sistemi *Weigh In Motion* individuano le sollecitazioni dinamiche dovute al passaggio di un veicolo su sensori e ne ricavano, tramite elaborazione dei dati con appositi programmi, il carico statico in tempo reale. Conoscendo il peso del veicolo all'inizio del servizio, comprensivo del peso del conducente e del carburante, il consumo medio e, individuando un peso medio per persona, si può risalire al numero di passeggeri sul mezzo di trasporto: l'informazione sarà comunque generale e solo indicativa per un riscontro con i più precisi APC, ma importante per un controllo di questi ultimi in modo continuo e per lunghi periodi; verifiche a lungo termine che sono impensabili da svolgere con personale appositamente assegnato a questo compito.

Ai fini del conteggio passeggeri, i sistemi WIM forniscono informazioni di tipo disaggregato ossia solo sul carico del mezzo e delle sue variazioni, ad esempio da una sosta ad un'altra, ma questo non permette di risalire al numero di passeggeri che sono usciti ed entrati nel mezzo ad

theless important for a continuous checking of the latter and for longer periods of time; these are long-term verifications which cannot be developed by personnel appropriately allocated to such task.

For the purposes related to passenger counting, the WIM systems supply disaggregated information, i.e. only on the loading of the means and on its variations, e.g. from a stop to another one, but this does not allow to trace back the number of passengers which left and entered the bus at a given stop: for instance, the load may remain more or less consistent, but this would not allow understanding whether the passengers are the same or that an exchange of the same number of users (e.g. 10 people in infeed and 10 people in outfeed) has occurred.

However, experimental studies have brought to light significant accuracy in the calculation of the static loads, providing reliability in measuring the weight of the vehicle. Being it a verification support, no massive presence of such systems on the tracks or on the territory is required, but a fragmentary location in strategic points would be sufficient, i.e. next to the stops or along the ways covered by different types of public means equipped with APC.

It is easy to understand that, if the transit timetable of the different vehicles is forecast and the means of transport are equipped with continuous location detection systems – e.g. AVL (*automatic vehicle location*) systems, which are also very useful in integration with the APC technologies – clear monitoring of the passenger traffic can be obtained also with few significant points of WIM applications.

Furthermore, such technology could involve the sole application of piezoelectric sensors or of other typology, for the detection of the loads, wherever the probes for the measurement of the road traffic or of other type are already installed (see Appendix).

### 5.2. Structure of a *Weigh In Motion system*

A WIM detection system indicatively consists of the following (fig. 13):

- "proximity switches" capable of measuring flows, distances between vehicles, speed and length of the different road and/or railways vehicles;
- Sensors of different typology, capable of supplying, also through dedicated software, the weight per axle, the tracks of every vehicle in order to trace back the different shapes in transit;
- a CPU to process and manage the information coming from the sensors and induction detectors, then store them;
- Power supply units (by batteries, electrical and solar energy);
- Communication system between the different stations by modem, GSM or GPRS;

una certa fermata: il carico potrebbe ad esempio rimanere pressoché costante ma da esso non si è in grado di dedurre se i passeggeri sono rimasti gli stessi o si è verificato uno scambio di utenti del mezzo per lo più uguale (per esempio, 10 persone in uscita e 10 in entrata).

Tuttavia studi sperimentali hanno portato alla luce una rilevante precisione nel calcolo dei carichi statici, fornendo una certa sicurezza di misura del peso del veicolo. Essendo un supporto di verifica, non è necessaria una presenza massiccia sui binari o sul territorio ma sarebbe sufficiente una dislocazione frammentaria in punti strategici, per esempio in prossimità di fermate o lungo strade percorse da diversi tipi di mezzi pubblici equipaggiati con APC.

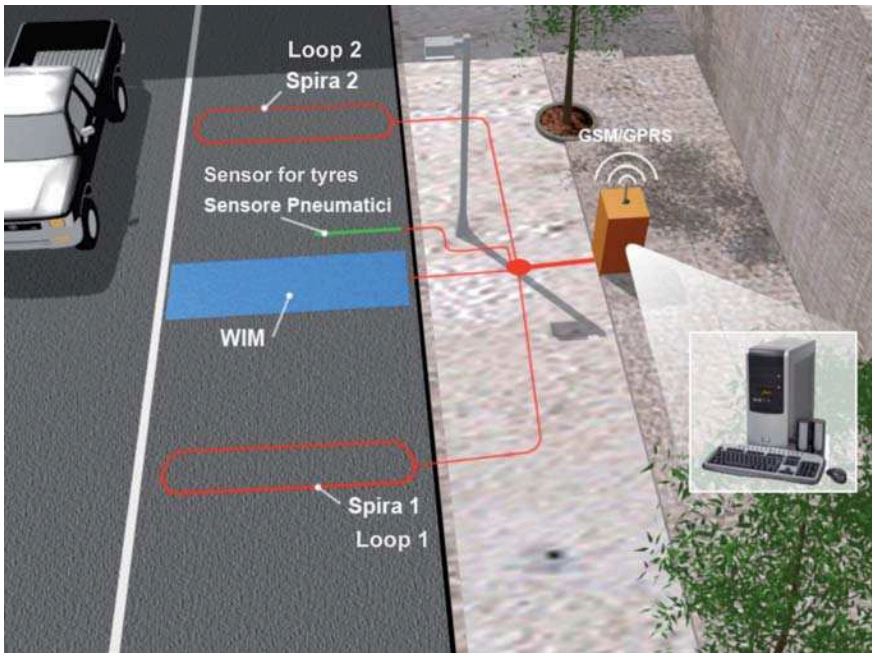



Fig. 13 - Esempio di una stazione di rilevazione WIM con connessione GSM/GPRS.
*Example of a WIM detection station with GSM/GPRS connection.*

È facile comprendere che, prevedendo gli orari di transito dei vari veicoli ed equipaggiando gli stessi con sistemi continui di riconoscimento della posizione - ad esempio AVL (*automatic vehicle location*), tra l'altro di forte utilità anche per integrazione con le tecnologie APC - si riesce ad avere un chiaro monitoraggio del traffico passeggeri anche con pochi punti significativi di applicazione delle soluzioni WIM.

Tale configurazione, inoltre, ove già esistessero le spire per le misure dei flussi di traffico stradale e della loro tipologia, potrà prevedere l'installazione dei soli sensori piezoelettrici o di altra tipologia, per la rilevazione dei carichi (cfr. Appendice).

### 5.2. Struttura di un sistema *Weigh In Motion*

Una stazione di rilevazione WIM è composta indicativamente come segue (fig. 13):

- "sensori di prossimità" capaci di misurare flussi, distanze interveicolari, velocità e lunghezze dei diversi veicoli, stradali o su rotaia che siano;
- sensori di varia tipologia capaci di fornire, anche mediante software dedicato, i pesi per asse, le distanze tra gli assi di ciascun veicolo così da risalire, quindi, alle differenti sagome transitate;
- unità centrali, capaci di elaborare e gestire le informazioni provenienti dai sensori e dai rilevatori induttivi, e di immagazzinarli;
- unità di alimentazione (a batterie, elettriche, ad energia solare);
- sistema di connessione tra le diverse stazioni, via modem, GSM o GPRS;
- Dedicated software for the analysis and statistic processing of the collected data, as well as programs to ensure the quality of the measurements.

The proximity switches are located, like – generally – the sensors for load detection, under the road surface or on the track before and after the actual WIM sensors: they sense the presence of a vehicle and make the weight sensors in "awaiting detection" conditions.

These proximity switches are already used to monitor the traffic in the urban and suburban environments and they can be of different types such as magnetic, micro-wave radar, infra-red, ultrasonic or acoustic, which not only perceive the passage of the vehicle, but can also detect its speed and thus know in greater depth – for instance - the flow parameters of the vehicles which transit on them.

Amongst the different types, those who are far most widely used are the solutions which feature one or more inductive loops located under the carriageway and connected to the whole WIM system – and to the PLC in particular - by means of purposely-allocated cables. The loops are energised at a frequency typically set between 10 and 50 kHz by the power supply unit, thus generating a local magnetic field above the carriageway: once the vehicle transits on the loops, their inductance diminishes and the control unit sends a punctual signal to trigger the weighing system. The most recent version of inductive systems, which are energised at greater frequencies, also enable to identify the means of transport in transit, thus detecting specific metal parts under the vehicle itself and facilitating its classification.

- programmi dedicati per l'analisi e l'elaborazione statistica dei dati raccolti, nonché programmi di assicurazione della qualità delle misure.

I rilevatori di prossimità sono posti, come in genere i sensori per la rilevazione del carico, sotto il manto stradale o sui binari prima e dopo i sensori stessi: essi avvertono la presenza di un veicolo e fanno sì che i sensori di peso siano in situazione di "attesa" di rilevazione.

Questi sensori di prossimità sono già utilizzati per il monitoraggio del traffico in ambito urbano ed extraurbano e possono essere di varie tipologie come sensori magnetici, sensori radar a microonde, sensori ad infrarossi, ad ultrasuoni o acustici, che non solo percepiscono il passaggio del veicolo ma possono rilevarne anche la velocità, quindi conoscere in modo più approfondito i parametri di flusso dei veicoli, ad esempio, che vi transitano sopra.

Tra le varie tipologie, quelle di gran lunga più utilizzate, sono le soluzioni che presentano una o più spire induttive posizionate sotto la carreggiata e collegate per mezzo di appositi cavi all'intero sistema WIM, ed in particolare all'unità logica di controllo. Le spire vengono eccitate ad una frequenza tipicamente dai 10 ai 50 kHz dall'unità di alimentazione generando così un campo magnetico locale al di sopra della carreggiata: quando il veicolo transita sulle spire, la loro induttanza diminuisce e l'unità di controllo invia un segnale puntuale per "avvertire" il sistema di pesatura. Le più recenti versioni di sensori induttivi, eccitati con frequenze maggiori, permettono anche di identificare il mezzo di trasporto in transito rilevando specifiche parti metalliche al di sotto del veicolo stesso, agevolando la classificazione di quest'ultimo.

In fig. 14 è rappresentato un sistema di pesatura attualmente in commercio che, attraverso l'utilizzo di sensori a raggi infrarossi e grazie ai dispositivi posti sul ter-

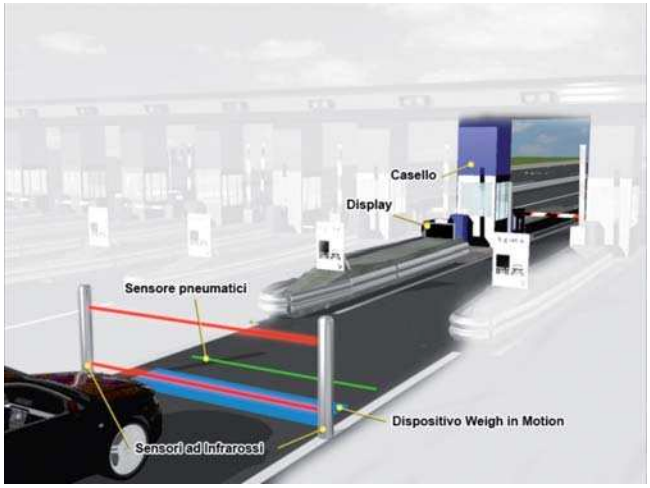



Fig. 14 – Esempio di sistema WIM finalizzato al pedaggio dotato di raggi infrarossi e sensore per i pneumatici. *Example of a WIM system for toll purposes, provided with IR's and tyre sensor (from the left: infrared sensors, sensor for tyres, weigh in motion device, display, tool booth).*

Fig. 14 represents a weighing system currently in commerce which – through the use of infra-red sensors and thanks to devices located on the territory – enables to separate automatically the vehicles which move towards weighing and to detect the presence of twin wheels – if any.

On the other hand, the dynamic load is detected by sensors of different type, which are shortly illustrated in the Appendix.

## 6. Potential solutions to be experimented

The market offers sensors and/or applicative solutions which might reveal very useful, at least theoretically, for the counting of passengers on the means of transport, even though the literature does not mention consistent studies and relevant widespread applications for this function. They will be shortly listed to highlight what the forthcoming developments might be [5, 6, 7, 8, 9].

The weight of the vehicle might be acknowledged by locating load cells on the suspensions of the vehicle itself: as in the case of the WIM systems, this solution could be complementary to the use of the APC systems.

The knowledge of the vehicle weight may actually lead to a mere estimate of the passengers on board - knowing the tare weight, the weight of the fuel in the tank and the average consumption as in the *Weigh In Motion* systems-even though the load cell enables remarkable accuracy.

This technology is already used in the field of transport, since both load cells and electro-pneumatic valves are currently used to detect the load on the suspensions, but for reasons which are usually different from passenger counting: these devices are utilised to evaluate the strength required to be applied on the brakes, which depends on the weight of the vehicle.

Obviously, if these solutions could be used also to verify – even better if in real time – the load status communicated by the APC systems, the cost for this further function would be reduced and would even be null on the mechanical point of view and only marginal for an implementation of software programs aimed at the sole passenger counting.

The concern with this type of solution is the variability of the dynamic load on the suspensions, which can be overcome by measuring the load status only at the stops, and therefore when the vehicle is at standstill: the actual reason why there are no examples of this technology in passenger counting is that it must still be widened at large scale and only few companies use the load cells on the suspensions in order to check the braking on the public means of transport. Since there is no appropriate development of these components, it is obvious that no experimentation was carried out in passenger counting, which, in itself, is a topic subject to study and research: once the start-up stage in these two areas is overcome, the use of load cells and valves to check the weight could however be

reno, consente di separare automaticamente i veicoli che si muovono verso la pesatura ed individuare la presenza o meno di ruote gemellate.

Il carico dinamico è invece rilevato per mezzo di sensori, anch'essi di varia tipologia, che vengono brevemente illustrati in Appendice.

## 6. Possibili soluzioni da sperimentare

Esistono in commercio sensori o soluzioni applicative che potrebbero rivelarsi molto utili, almeno in linea teorica, per il conteggio passeggeri sui mezzi di trasporto, anche se non risultano in letteratura consistenti studi e connesse applicazioni diffuse per questa funzione; di seguito verranno brevemente elencate per evidenziare quali potrebbero essere eventuali sviluppi futuri [5, 6, 7, 8, 9].

È possibile conoscere il peso del veicolo tramite il posizionamento di celle di carico sulle sospensioni del veicolo stesso: come per i sistemi WIM questa potrebbe essere una soluzione complementare all'uso dei sistemi APC.

La conoscenza del peso del veicolo può infatti portare solo ad una stima dei passeggeri a bordo - conoscendo la tara, il peso del carburante nel serbatoio ed il consumo medio come per i *Weigh In Motion* - anche se le celle di carico permettono di avere una notevole precisione.

Si tratta di una tecnologia già utilizzata nel campo dei trasporti perché sia celle di carico sia valvole elettro-pneumatiche (fig. 15) sono tuttora impiegate per il rilevamento del carico sulle sospensioni ma per scopi solitamente diversi dal conteggio passeggeri: si fa infatti ricorso a questi strumenti per valutare la forza necessaria da attuare sui freni, in funzione appunto, del peso del veicolo.

È evidente che se fosse possibile utilizzare queste soluzioni anche per verificare, magari in tempo reale, la situazione di carico comunicata dai sistemi APC, i costi per questa ulteriore funzione sarebbero ridotti, addirittura nulli dal punto di vista meccanico e solo marginali per un'implementazione di programmi finalizzati al solo conteggio passeggeri.

Il problema di questo tipo di soluzione è la variabilità del carico dinamico sulle sospensioni ma è per buona parte superabile se si pensa di misurare la situazione di carico solo alle fermate quindi a veicolo fermo: il vero motivo per cui non si hanno esempi di questa tecnologia nel conteggio passeggeri è perché essa è ancora da ampliare su larga scala e sono poche le ditte che utilizzano celle di carico sulle sospensioni al fine del controllo della frenata sui mezzi pubblici. Non essendoci un adeguato sviluppo di questi componenti è evidente che non ci sia ancora stata alcuna sperimentazione nel campo del conteggio dei passeggeri che è, esso stesso, un argomento in fase di studio e ricerca: superata la fase di avvio per questi due ambiti, l'utilizzo di celle di carico e valvole per il controllo del peso potrà però essere impiegata allo scopo di verifica dei

Fig. 15 - Esempio di cella di carico, a sinistra, e valvola elettro-pneumatica, a destra, per la rilevazione del carico del veicolo.
*Example of a load cell (LH) and electro-pneumatic valve (RH) to detect the load of the vehicle.*

used to verify the counting data of the APC systems because of the remarkable integration advantages which have been mentioned above.

The optical sensors, also defined as OPS, are at development stage and - in some cases - have already been presented by some manufacturers. Their use, though, is not yet found in the transport agencies, certainly because of their recent implementation: according to the manufacturers, they allow the same accuracy as the treadle mats, but with lower difficulties as related to both maintenance (there are no moving parts and – subsequently – the risk of dirt infiltration is lower) and installation (in case of only one sensor, as in the passive infra-red sensors).

The detection is of the optic type, i.e. they manage to detect the *shapes of the passengers* and distinguish them from other ones, such as animals or bags; they also detect their moving direction and subsequently increment either the entry or the exit counter.

Their recent development, though, is such that no actual applications are present and no literature exists on cost, advantages or weak points, if any.

Finally, the market also offers double technology sensors (Fig 16) which detect the presence of people within rooms and for this reason they are used in closed environment safety systems: these devices use a technology based upon the simultaneous use of *passive infra-red rays* (detection of the thermal differences) and *microwaves* (movement detection).

An input to the computer is sent only in case the two components detect a crossing of the gate at the same time: since the nature of the infra-red rays is very different, the interferences which might be erroneously interpreted as an input

Fig. 16 - Sensori a infrarossi e microonde.
*Infra-red and microwave sensors.*

dati di conteggio degli APC per i notevoli vantaggi di integrazione esposti in precedenza.

Sono in fase di sviluppo e in alcuni casi sono stati già presentati da alcune case produttrici, i sensori ottici anche detti OPS (*optical sensor*). Il loro utilizzo però non risulta ancora riscontrabile nelle aziende di trasporti, sicuramente per il loro recente avvio: essi, infatti, permettono, secondo i costruttori, un'accuratezza simile ai collaudati sensori a pedana ma con minori problemi di manutenzione (non ci sono parti in movimento quindi meno rischi di infiltrazioni di sporcizia) e di installazione (nel caso di un solo sensore come per i sensori ad infrarossi passivi).

La rilevazione è di tipo ottico, ossia si riescono a rilevare le *sagome dei passeggeri* e distinguerle da altre, come quelle di animali o borse, la loro direzione di spostamento e quindi incrementare il contatore di un ingresso o di una uscita.

Il recente sviluppo però, fa sì che non siano presenti, oltre ad applicazioni reali, neanche informazioni in letteratura sui costi, vantaggi o eventuali difetti.

In ultima analisi, sono presenti in commercio sensori a doppia tecnologia (fig. 16) capaci di rilevare la presenza di persone all'interno di locali e per questo utilizzati in sistemi di sicurezza in ambienti chiusi: si tratta di strumenti che impiegano una tecnologia basata sull'uso simultaneo di *raggi infrarossi passivi* (rilevazione differenze termiche) *e microonde* (rilevazione movimenti).

Solamente nel caso in cui le due componenti segnalino contemporaneamente un attraversamento del varco d'ingresso è inviato l'input all'elaboratore: poiché la natura di raggi infrarossi e microonde è molto diversa, sono diverse anche le interferenze che potrebbero essere erroneamente interpretate come segnale di input. La possibilità che si abbiano queste due interferenze nello stesso istante è allora molto bassa e ciò riduce drasticamente il rischio di un comportamento anomalo del sistema.

È inoltre possibile far sì che il dispositivo funzioni come singolo sensore ad infrarossi o come singolo sensore a microonde nel caso in cui l'una o l'altra delle due componenti sia momentaneamente fuori uso.

Altra tipologia di sensori "multipli" sono quelli che utilizzano *infrarossi ed ultrasuoni*: il principio di funzionamento è analogo a quello dei sensori ad infrarosso e microonde ma l'impiego degli ultrasuoni (che difficilmente superano una portata di 10 m) ne consiglia maggiormente l'utilizzo in piccoli ambienti come nel caso di varchi di ingresso di mezzi di trasporto.

I limiti dei sensori ad infrarosso passivi sono i disturbi di tipo magnetico (impedimento di apertura del relè che invia l'informazione di "attraversamento" al contatore) o disturbi dovuti alla circuiteria del sensore che causano interferenze di rilevazione durante il funzionamento dovuto alla corrente di alimentazione e alla produzione di calore del circuito stesso.

signal are different as well. The risk that these two interferences occur at the same time is then very low and this reduces drastically the risk of anomalous behaviour in the system.

Furthermore, the device can be operated as a single infra-red sensor or single micro-wave one in case either component is momentarily out of service.

Another typology of "multiple" sensors is the one which uses *infra-red and ultrasounds*: the operating principle is similar to the one of the infra-red and micro-wave sensors, but the reach of the ultra-sounds (which is rarely higher than 10 m) recommends its use in restricted environments such as the access gates of the means of transport.

The limits of the passive infra-red systems are the magnetic disturbances (failure in the opening of the relay which sends the "crossing" information to the counter) or other disturbances due to the circuitry of the sensor, which may create detection interferences during the operation because of the power supply current and to the generation of heat in the circuit itself.

The use of this double technology components would minimise the risk of counting errors: it has nevertheless been noticed that appropriate electrical insulation of the PIR (detector of the IR pyroelectric displacement) and the screening of the relay against the magnetic fields are sufficient to guarantee performances which – for the time being – do not justify the selection of more expensive technologies such as ultra-sounds or micro-waves; a double technology component may cost up to three times more than a standard passive IR sensor.

No studies appear to have been developed to date as related to the use of these sensors, be they micro-wave or ultra-sound, in passenger counting because of the high cost but – mainly – because in their standard operation as an alarm, they saturate the environment with either the micro-waves or the ultra-sounds, and – therefore – a change in the standard conditions (e.g. opening of windows or doors, or the entry of a person) generates the sending of a signal. Therefore, their use in passenger counting calls for an actual change in the way of operating and – subsequently – additional costs for study and research: they have been presented as examples of alternative technologies only because their use in the future cannot be completely excluded.

## 7. Main components linked to an APC system

The analyser is an essential component for the connection between sensors and servers – be they on board or remote – of an APC system: it determines the number of passengers in infeed and outfeed on the basis of the signals transmitted by the sensors [9].

These data are usually requested by a computer on board for every door and at every stop, and recorded as re-

L'utilizzo di questi tipi di componenti a doppia tecnologia, ridurrebbe al minimo il rischio di errori di conteggio: si è visto però che un adeguato isolamento elettrico del PIR (rilevatore di spostamento piroelettrico di infrarosso) e la schermatura del relè contro i campi magnetici sono sufficienti a garantire prestazioni che non giustificano per il momento la scelta di tecnologie più costose come quelle con ultrasuoni o microonde; un componente a doppia tecnologia può costare fino a tre volte più di un normale sensore ad infrarossi passivo.

Non risulta esistere tuttora uno studio finalizzato all'impiego di questi sensori, siano essi a microonde o a ultrasuoni, nel campo del conteggio passeggeri sia per l'elevato costo ma soprattutto perché nel loro normale funzionamento come allarme essi saturano l'ambiente con le microonde o gli ultrasuoni e, quindi, un cambiamento delle condizioni di normalità (apertura finestre, porte o ingresso di una persona ad esempio) conduce all'invio di un segnale. Il loro utilizzo al fine del conteggio di persone necessita quindi di un vero e proprio cambiamento nel modo di operare e quindi di altri costi aggiuntivi per studio e ricerca: sono quindi stati presentati come esempio di tecnologie alternative solo perché non se ne esclude completamente un impiego futuro.

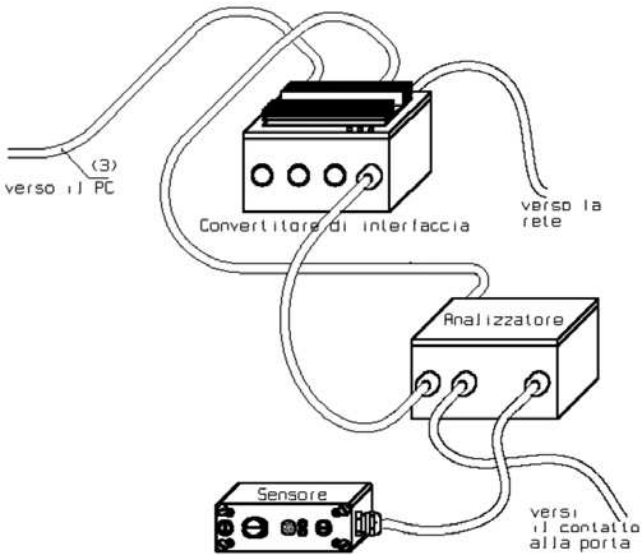



Fig. 17 - Schema di gestione dei dati all'interno del mezzo di trasporto. *Data management scheme inside the means of transport ("towards the PC", "interface converter", "towards the network", "analyser", "sensor", "towards the contact at the door").*

## 7. Principali componenti legati ad un sistema APC

Componente fondamentale per l'interconnessione tra i sensori ed i server, di bordo o remoti, di un sistema APC è l'analizzatore: esso determina il numero dei passeggeri in entrata ed in uscita in base ai segnali trasmessi dai sensori [9].

Questi dati vengono normalmente richiesti da un calcolatore di bordo per ogni porta e per ogni fermata e memorizzati in relazione alle porte: per poter coordinare i risultati di conteggio delle singole porte si assegna ad ogni porta di veicolo, nell'analizzatore corrispondente, un indirizzo di porta.

Come visibile dalla fig. 17, l'analizzatore è collegato ai seguenti gruppi funzionali fondamentali:

- alimentazione (24V DC);
- elaborazione di segnali basata sul microcontrollo;
- interfaccia sensore;
- interfaccia data bus[1];
- modem per invio dati via radio.

[1] IBIS (I/O *Buffer Information Specification*), RS-485, RS-232 o J1708, *Firewire*, USB, HDMI (*High-Definition Multimedia Interface*), *Light Peak*; in alcuni casi, o su progettazioni specifiche di analizzatori, anche con altre interfacce o con uscite ad interruttore supplementari.

lated to the doors: in order to coordinate the counting results of every door, an address is allocated in the analyser to every door of the vehicle.

As visible in fig 17, the analyser is connected to the following essential functional units:

- Power supply (24V dc);
- Micro-control based signal processing;
- Sensor interface;
- data bus interface[1];
- modem for radio transmission of the data.

The data are then sent by modem to the data monitoring and management station at the highest possible frequency in order to safeguard the data obtained against any disturbances or – in any case – not to keep to many data in the on-board computer.

Actually, the transmission of the data generally occurs only when the vehicle returns to the garage (in case of buses) or is in any case in the proximity of a station equipped with the purposely-allocated receivers: this will enable to resort to short-distance information exchange systems which are nowadays widely used such as, for instance, the radio wave (wireless) technologies.

[1] IBIS (I/O *Buffer Information Specification*), RS-485, RS-232 o J1708, *Firewire*, USB, HDMI (*High-Definition Multimedia Interface*), *Light Peak*; in some cases, or on some analysers of specific design, also with other interfaces or with additional switch outputs.

I dati vengono quindi inviati via modem alla sede di monitoraggio e gestione dei dati con una frequenza il più possibile elevata in modo da salvaguardare i dati ottenuti da eventuali disturbi o comunque per non mantenere troppi dati nella memoria del computer di bordo.

L'invio dei dati avviene però generalmente solo quando il veicolo ritorna al deposito (nel caso di bus) o comunque è nelle vicinanze di una stazione attrezzata da ricevitori appositi: questo per utilizzare sistemi di scambio informazioni a breve distanza ormai di largo uso come, per esempio, le tecnologie ad onde radio (*wireless*).

Non è infine da sottovalutare l'importanza di un adeguato isolamento elettrico dell'analizzatore, cavi e tutte le componenti collegate al sistema APC, soprattutto se si tratta di sensori ad infrarossi passivi, particolarmente sensibili a disturbi elettromagnetici e al calore.

Gli analizzatori hanno in genere una, due o quattro connessioni per sensore e una o due connessioni per contatti alla porta, perciò, ad un analizzatore possono essere collegati al massimo i sensori di due porte: fattore importante da valutare in sede di progettazione e programmazione dell'intero sistema.

La trasmissione di dati tra analizzatore e sensore viene regolata da un microcontroller.

Per un'ottimizzazione dell'intero sistema, alcune case produttrici raccomandano di considerare i seguenti fattori:

- il sistema di conteggio passeggeri necessita di - o è comunque importante che sia presente - un dispositivo collegato alle porte che segnali all'analizzatore che almeno una di esse è aperta e possibilmente quale; in questo modo vengono limitati gli errori di conteggio soprattutto se si verificano situazioni di sosta nella zona di rilevazione del sensore durante la corsa, quindi non nel momento di salita o discesa;
- l'analizzatore deve essere azzerato ogni volta che il percorso da monitorare è concluso (capolinea o stazione d'arrivo) in modo che nelle fermate successive i passeggeri non vengano sommati a quelli del campione precedente: in questo modo si evita la propagazione di errori da un campione all'altro;
- se la fermata terminale di una linea è identica alla fermata iniziale della linea seguente, nella maggioranza dei casi tutti i passeggeri in uscita conteggiati della fermata terminale e tutti i passeggeri in entrata conteggiati della fermata iniziale sono da correlare mediante il calcolatore di bordo;
- dopo ogni fermata i numeri di passeggeri in entrata ed in uscita sono contenuti nell'analizzatore; se l'alimentazione elettrica del sistema di conteggio passeggeri viene interrotta prima che il calcolatore abbia richiesto questi numeri, i dati vengono persi (ad esempio, alla fermata finale). Per evitare la perdita di dati è necessario effettuare un campionamento il più elevato

Last not least, the significance of the appropriate electrical insulation of the analyser, cables and all the components connected to the APC system should not be overlooked, mainly in the case of passive infra-red systems, which are particularly sensitive to both the electromagnetic sensors and the heat.

In general, the analysers have one, two or four connections per sensor and either one or two connections per door contact; subsequently, an analyser can be connected to a maximum amount of two door sensors: this is an important factor to be evaluated when designing and programming the whole system.

The transmission of data between analyser and sensor is regulated by a microcontroller.

In order to optimise the whole system, some manufacturers recommend considering the following factors:

- the passenger counting system requires – or, in any case, it is important that it should be provided with – a device connected to the doors which points out to the analyser that at least one of them is open and – if viable – which one. This allows limiting the counting errors mainly in case of conditions of stop in the sensor detection area during the travel, i.e. not during the entry or exit of passengers;
- The analyser is to be reset any time the pathway to be monitored is concluded (terminal or arrival station) so that – at the following stops – the passengers are not added to the ones of the previous sample: this avoids the propagation of errors from a sample to another one;
- If the terminal of a line is the same as the initial stop of the following travel, in the majority of cases all the passengers in outfeed counted on the terminal stop and all the passengers in infeed of the initial one are to be correlated through the board computer;
- After every stop, the numbers of passengers in infeed and outfeed are contained within the analyser; if the power supply of the counting system is interrupted before the computer has requested such figures, the data are lost (e.g. at the final step). In order to prevent the loss of data, the computer should make the highest possible sampling and then send such data to the main database;
- The data cannot be sent from the analyser to the board computer if the doors are open, otherwise errors may occur in counting the results;
- Greater reliability can be obtained if the APC system is provided with status request protocols which – besides providing the data collected – warn the analyser of any counting errors or sabotage: the status request protocol can be sent cyclically, e.g. every 10 seconds.

## 8. Errors in passenger counting

It is obviously important, after a careful selection of

possibile da parte del calcolatore che invierà questi ultimi nel database centrale;

- i dati non possono essere inviati dall'analizzatore al computer di bordo se le porte sono aperte, altrimenti potrebbero prodursi errori nei risultati di conteggio;
- si può avere una maggiore affidabilità se il sistema APC è fornito di protocolli di richiesta di stato che, oltre a fornire i dati raccolti, avvertono l'analizzatore di eventuali errori di funzionamento o di sabotaggio: il protocollo della richiesta di stato può essere inviato ciclicamente, ad esempio ogni 10 secondi.

## 8. Errori nel conteggio dei passeggeri

È evidentemente importante, dopo una scelta attenta del tipo di tecnologia da utilizzare, la sperimentazione del sistema di conteggio al fine di conoscere e verificare l'effettiva efficacia del sistema APC ed i suoi margini d'errore: di seguito verranno proposte brevi considerazioni, a titolo di esempio, sulla base dei risultati forniti dalle aziende produttrici, quindi anche le percentuali legate a queste ultime.

Mancando di sperimentazione diretta, ci si deve basare su questi dati, anche se la procedura è comunque rigorosa ed applicabile alle diverse tecnologie: di seguito, quando ci si riferirà all'accuratezza dei sistemi di conteggio automatico (fonte: Iris-GmbH), il termine di paragone utilizzato per la valutazione è il conteggio manuale.

Si possono introdurre innanzitutto quattro definizioni di errore per attribuire un giudizio obiettivo dei sistemi di conteggio passeggeri:

- errore passeggeri totale;

- errore passeggeri in entrata e in uscita;

- errore a spareggio.

L'errore a spareggio descrive gli errori assoluti ed in tal modo è particolarmente importante per il confronto tra loro di diverse installazioni nonché per il confronto di diversi sistemi di conteggio passeggeri.

I sistemi di conteggio passeggeri sono spesso presentati dalle aziende produttrici come componenti di conteggio aventi un margine di errore ≤ 5% o, rispettivamente con una precisione ≥ 95%.

Il numero dei passeggeri conteggiati, dove un passeggero equivale ad un segnale di ingresso e un segnale di uscita, si ricava dal valore medio dei passeggeri conteggiati in entrata e dei passeggeri conteggiati in uscita.

I sistemi APC in commercio conteggiano i passeggeri in entrata ed in uscita con un errore ≤ 10%, o rispettivamente con una precisione del ≥ 90%.

L'esperienza nel campo da diversi anni, fa sì che si garantisce per i dati grezzi del sistema di conteggio passeggeri (cioè per i dati considerati prima di una possibile elaborazione) i seguenti valori:

the type of technology to be used, to experiment the counting system in order to acknowledge and verify the actual efficiency of the APC systems as well as the relevant margins of error: we will propose hereafter some brief considerations, as an example, on the basis of the results supplied by the manufacturers, and – therefore – also the relevant percentages.

Because of the lack of direct experimentation, these data are to be relied upon. Even though the procedure is nevertheless rigorous and applicable to the different technologies: whenever we refer to the accuracy of the automatic counting systems hereafter (source: Iris-GmbH), the term of comparison for evaluation is manual counting.

First of all, four error definitions can be introduced to define an objective judgement in passenger counting, namely:

- Error on the total number of passengers;

- Error on passengers in infeed and outfeed;

- Unbalance error.

The unbalance error describes the absolute errors and - therefore – it is particularly important in comparing the different installations and the different passenger counting systems.

The manufacturers often advertise the passenger counting systems as counting components with an error ≤ 5% or, respectively, ≥ 95% accuracy.

The number of counted passengers, where a passenger is equal to an infeed signal and an outfeed one, is obtained from the average value of the passengers counted in infeed and of those counted in outfeed.

The APC systems in commerce count the passengers in infeed and outfeed with a ≤ 10% error or, respectively, ≥ 90% accuracy.

The field experience accrued in several years ensures the following values for the rough data (i.e. the ones considered before processing) of the passenger counting system:

- Passenger error ≤ 5%;

- Passenger error in infeed ≤ 10%;

- Passenger error in outfeed ≤ 10%.

- The conditions to achieve such accuracy are:

1. The sensors should be mounted in the immediate proximity of the door and properly adjusted;
2. The stops where there is an exchange of passengers with baby carriages or animals should not be taken into consideration;
3. At least 700 passengers are counted.

In general, infra-red systems with active or passive components as the presented ones show:

- errore passeggeri ≤ 5%;
- errore passeggeri in entrata ≤ 10%;
- errore passeggeri in uscita ≤ 10%.

Le premesse per il raggiungimento di tale precisione sono:

1. i sensori sono montati nelle immediate vicinanze della porta, correttamente regolati;
2. non si prendono in considerazione le fermate dove avvenga uno scambio di passeggeri con carrozzine o animali;
3. si conteggiano almeno 700 passeggeri.

In generale, sistemi ad infrarossi con componenti attivi e passivi come quelli presentati presentano:

- errore passeggeri ≅ 4%;
- errore passeggeri in entrata ≅ 5%;
- errore passeggeri in uscita ≅ 5%;
- errore a spareggio ≅ 15%.

L'errore passeggeri, l'errore passeggeri in entrata e quello in uscita sono di particolare importanza per l'analisi statistica dei numeri dei passeggeri, del grado di occupazione dei veicoli e dei passeggeri-chilometro, a livello disaggregato.

Siccome tutti i sistemi automatici di conteggio passeggeri non sono esenti da errori, nella maggioranza dei casi il numero dei passeggeri conteggiati in entrata non corrisponde a quello dei passeggeri conteggiati in uscita.

Per questo motivo i dati grezzi dei sistemi di conteggio passeggeri, cioè le cifre non elaborate dei passeggeri in entrata ed in uscita, sono sottoposti ad un'elaborazione statistica, con la quale, dai passeggeri conteggiati in entrata ed in uscita, si ricava il numero dei passeggeri e si esamina la plausibilità dei dati stessi, correggendoli dove necessario.

In tal modo il valore dei passeggeri raggiunto nell'elaborazione statistica (calcolo della media tra passeggeri conteggiati in entrata e passeggeri conteggiati in uscita) raggiunge una precisione maggiore dei puri dati grezzi per passeggeri in entrata ed in uscita.

Poiché, come si è visto, tutti i sistemi automatici di conteggio passeggeri nel loro funzionamento non sono esenti da errori, si ha che il numero dei passeggeri conteggiati in entrata non corrisponde al numero di passeggeri conteggiati in uscita: si può però cercare di correggere questi errori con un controllo preliminare e uno studio di plausibilità dei dati grezzi.

Si è riscontrato nella pratica che dall'elaborazione statistica risulteranno valori che, confrontati ai dati grezzi, avranno errori a pareggio dei passeggeri in entrata ed in uscita di minore entità anche se il metodo non è sempre del tutto rigoroso dal punto di vista teorico.

L'elaborazione del numero di passeggeri è di compe-

- Passenger error ≅ 4%;
- Passenger error in infeed ≅ 5%;
- Passenger error in outfeed ≅ 5%;
- Unbalance error ≅ 15%.

The passenger error, the passenger error in infeed and the one in outfeed are of utter importance for the statistic analysis of the number of passenger, of the level of occupation of the vehicles and of the passengers per kilometre, at disaggregated level.

Since all the automatic passenger counting systems are not free from errors, in the majority of cases the number of passengers counted in infeed does not match the one of the passengers counted in outfeed.

This is why the rough data of the passenger counting systems - i.e. the non-processed figures of the passengers in infeed and outfeed – are submitted to statistic processing through which the number of passenger is obtained from the passengers counted in infeed and the ones counted in outfeed and the reliability of the data is examined and corrected if required.

In this way, the value of the passengers obtained in the statistic processing reaches higher accuracy than the mere rough data per passengers in infeed and outfeed.

Since, as noticed, all the automatic passenger counting systems are not failsafe in their functioning, the number of passengers counted in infeed does not match the one of the passengers counted in outfeed: these errors can be attempted to be corrected by a preliminary check and by a reliability study of the rough data.

It has been acknowledged in the practice that the statistic processing will produce results which – when compared to the rough data – show errors of lower entity in the balance of the passengers in infeed and outfeed even if the method is not always fully rigorous on the theoretical point of view.

The processing of the number of passengers is developed by the public transport agency which manages the whole system and is not within the competence of the APC manufacturers: the indications in this paragraph are aimed at clarifying – in principle – how to improve the data detected by the automatic counting system.

The modifications applied to the data are based to the following assumptions and subsequent algorithms:

- At the first stop of a line there are only passengers in infeed, no passengers in outfeed;
- At the last stop of a line there are only passengers in outfeed, but no passengers in infeed;
- The occupation of a vehicle at the last stop is equal to zero;
- The number of passengers on a line is consistent with the average value of the passengers counted in infeed and outfeed;

tenza dell'azienda di trasporto che gestisce l'intero sistema e non rientra nel campo di prestazioni delle ditte produttrici di APC: le indicazioni in questo paragrafo sono finalizzate a chiarire, in linea di principio, come si possa eseguire un miglioramento dei dati rilevati dal sistema di conteggio automatico.

Le modifiche apportate ai dati si basano sulle seguenti supposizioni e conseguenti algoritmi:

- alla prima fermata di una linea ci sono solo passeggeri in entrata, ma nessun passeggero in uscita;
- all'ultima fermata di una linea ci sono solo passeggeri in uscita, ma nessun passeggero in entrata;
- l'occupazione del veicolo all'ultima fermata è pari a zero;
- il numero dei passeggeri di una linea è conforme al valore medio dei passeggeri conteggiati in entrata ed in uscita;
- i passeggeri conteggiati in più o in meno verranno ripartiti tra le singole fermate. Inoltre le fermate dove si hanno più passeggeri in entrata od in uscita subiranno una rettifica più accentuata delle fermate dove si hanno meno passeggeri in entrata od in uscita;
- la ripartizione dei passeggeri in entrata od in uscita conteggiati in più od in meno avviene secondo la prospettiva che l'occupazione del veicolo non può essere negativa.

Le premesse evidenziate prendono in considerazione i casi che nella pratica si verificano con maggiore probabilità. Ci si basa, ad esempio, sul fatto che alla prima fermata non ci siano persone in uscita anche se questo può teoricamente accadere: per esempio se si tratta di una linea urbana di autobus in cui il capolinea è anche la prima fermata si possono avere passeggeri in entrata e in uscita ma se si considera una linea ferroviaria o comunque le diverse corse dei bus singolarmente il procedimento è del tutto esatto. Togliendo il numero di passeggeri in eccesso alla fermata si compiono comunque generalmente meno errori che togliendone a fermate intermedie con probabilità di uscita dal mezzo maggiore.

Il fatto poi di aggiungere o sottrarre la differenza di passeggeri, tra APC e dati elaborati, alle fermate con la maggior attività di movimento non è del tutto azzardata: è più probabile infatti, che il sistema automatico compia un conteggio errato durante una sosta in cui si verifica lo scambio di molte persone piuttosto che in una con solo una persona in uscita e una in ingresso.

Come indicato, comunque, l'effetto di questi accorgimenti al fine di migliorare i dati acquisiti ha portato ad ottimi risultati in studi sperimentali indicati in letteratura.

## 9. Conclusioni

Il conteggio dei passeggeri è fondamentale per una gestione, programmazione e pianificazione del trasporto pubblico nonché per migliorare il livello di servizio verso gli utenti.

- The passengers counted in plus and minus will be divided amongst the different stops. Furthermore, the stops where there are more passengers in infeed or outfeed shall be corrected more markedly than the ones where their number is lower;
- The division of the passengers in either infeed or outfeed counted in plus or minus is made according to the perspective that the occupation of the vehicle cannot be negative.

The highlighted preliminary remarks take into account those cases which are most likely to occur in practice. This is based, for instance, on the fact that there are no people in outfeed at the first stop, even though this may theoretically occur: for instance when dealing with a urban bus line where the terminal is also the first stop, passengers can be both in infeed and outfeed but – if we consider a railway line or, in any case, the different travels of a bus one by one – the procedure is absolutely exact. In any case, removing the number of passengers in excess at a stop enables to make lower mistakes than removing them at intermediate stops, where it is more likely that people leave the bus.

The fact of adding or subtracting the difference of passengers between APC systems and processed data at the stops with the largest movement activity is not completely rash: it is actually more likely that the automatic system makes a wrong counting during a stop where the exchange of several people occurs rather than in one when there is only one person in outfeed and one in infeed.

As indicated, in any case, the effect of these solutions to improve the data acquired has led to very good results in the experimental studies indicated in the literature.

## 9. Conclusions

Passenger counting is essential for the management, scheduling and planning of the public transport, as well as to improve the level of service to the users.

The knowledge of the travel flow – compatibly with the technology available – enables to program preventively the number or fleet of vehicles in service and forecast a possible load level. Using methods and applications as those shortly illustrated in the article, a more or less elevated number of representative "standard" days (e.g. divided by working days, holidays, by months, according to the climate conditions and so on) can be classified in order to know in an even deeper way the use, on that given day, of the public service on road and/or railway and intervene as appropriate. However, no drastic or quantitavely significant actions can be envisaged on the fleet of vehicles or on the circulation time between a day and another one or even between the different hours of the same day but - in a scenario of continuous, expert and "smart" use of the APC systems throughout the day - we may even

La conoscenza del flusso di mobilità, compatibilmente con la tecnologia disponibile, consente di programmare in modo preventivo il numero o la flotta di veicoli in servizio e prevedere una possibile situazione di carico. Utilizzando metodi di studio come quelli brevemente illustrati nell'articolo, si può arrivare a classificare un numero più o meno elevato di giornate "standard" rappresentative - ad esempio, suddivise fra giorni feriali e festivi, per mese, a seconda delle condizioni climatiche, ecc. - per conoscere in modo ancora più approfondito l'utilizzo, in quel determinato giorno, del servizio pubblico su gomma o rotaia ed intervenire adeguatamente. Tuttavia, non sono pensabili interventi drastici e quantitativamente considerevoli sulla flotta di veicoli o sugli orari di circolazione fra un giorno e l'altro o addirittura fra le diverse ore del giorno ma, in uno scenario di utilizzo continuativo nella giornata ed esperto o "intelligente" dei sistemi APC, si può pensare addirittura ad informazioni in tempo reale agli utenti sulla situazione di carico e quindi di traffico (ITS, *Intelligent Transport Systems*). Esistono studi di programmazione delle linee ferroviarie o tranviarie al fine di bilanciare il numero di passeggeri sui veicoli e recuperare eventuali ritardi degli stessi, che potrebbero essere ottimizzati conoscendo al meglio, grazie all'uso di dati storici rilevati da sistemi di conteggio, la domanda giornaliera di mobilità.

In questo contesto si inseriscono le tecnologie APC, sviluppate ed utilizzate da più di un decennio, ma a volte ancora considerate dalle aziende di trasporto come una "nuova tecnologia": se ormai la necessità di conoscere preventivamente la domanda di servizio giornaliera è consolidata, non lo è l'utilizzo dei sistemi di conteggio automatico, come dimostra il fatto che molte agenzie o aziende nel mondo si basano ancora su rilevazioni manuali. Un'indagine di tipo manuale può fornire informazioni utili e per questo è affiancabile ad una automatica; da sola però può generare errori dovuti alla trascrizione dei dati e non ne permette un'acquisizione continua.

Sono state elencate le diverse tipologie di APC in commercio ed è evidente che sia possibile un'integrazione fra loro di più soluzioni, nonché la nascita di soluzioni future più precise e accurate: l'utilizzo poi di tecnologie di rilevamento della posizione del veicolo (AVL) è ormai consolidato ed evidentemente utile al fine di integrare le informazioni provenienti dai sistemi APC.

E' importante sottolineare, come evidenziato anche in un lavoro di ricerca su questo argomento (TCRP - *Transit Cooperative Research Program*, 1998), che molto spesso le procedure di studio dei dati sono più importanti delle tecnologie stesse ed è per questo importante soffermarsi su come migliorare i dati ottenuti, calcolarne la precisione e su come utilizzarli in uno studio della situazione di mobilità. Non è corretto infatti abbandonare i sistemi di raccolta delle informazioni di tipo

think of real time information to the users on the load, then traffic, state (ITS, *Intelligent Transport Systems*). Scheduling studies of the railway or tramway lines are in place to balance the number of passengers on the vehicles and recover any delays of the means themselves, which might be optimized if the daily travel demand were known at its best thanks to the use of historical data obtained by counting systems.

This is the context of the APC technologies, which have been developed and used for over a decade, but which public transport agencies still consider pioneering: if the need to know well in advance the daily demand for service is nowadays consolidated, this is not the case of the automatic counting systems, as proven by the fact that many agencies or companies around the world still rely on manual surveys. Manual monitoring may actually supply useful information, and - because of this - support the automatic one; manual surveys alone, though, may generate errors due to the transcription of data and do not allow for continuous acquisition.

The different types of APC systems available on the market have been listed; system combinations can obviously be provided, and also more accurate solutions may generate in the future: the use of technologies to detect the location of the vehicle (AVL) is nowadays consolidated and evidently useful to integrate the information coming from the APC systems.

It is worth pointing out – as also highlighted in a research on this topic (TCRP - *Transit Cooperative Research Program*, 1998) - that the procedures for the analysis and study of the data are very often far more important than the technologies themselves and – for this reason – attention should be paid on how to improve the data obtained, calculate their accuracy and on how to use them in order to study the travel demand. It would actually not be appropriate to abandon the manual systems of information collection, and resort to automated systems, if a large quantity of data cannot be managed at its best; this, as proposed by TCRP, may occur only through in-depth statistic studies, standardised terms and procedures (which are not a minor aspect, mainly as related to the errors obtained from the APC systems), and – sometimes - an actual re-programming of the information management system within the public transport agency.

Studies developed on some American public transport agencies have shown that period of time required for the adaptation to APC in a new agency and of all the operations connected to them (planning of the procedures of the company objectives, allocation of the responsibilities, study of the specific programs training of the personnel and the like) amounts to approximately 18 months.

Finally, no technology is better than the other ones in absolute terms: the final performance depends on the objectives, on the size of the fleet of vehicles to be monitored, on the more or less easy integration with other technologies and programs which are perhaps already in-

manuale e ricorrere a sistemi automatizzati se non si è in grado di gestire al meglio una grossa quantità di dati; questo, come proposto dallo stesso TCRP, può avvenire solo con studi statistici approfonditi, termini e procedure standardizzate - aspetto non banale soprattutto per quel che riguarda gli errori ottenuti dai sistemi APC - ed a volte una vera e propria ri-programmazione del sistema di gestione delle informazioni all'interno dell'azienda di trasporto.

Il periodo necessario per l'adattamento a sistemi APC in una nuova azienda e di tutte le operazioni ad essi collegate (pianificazione delle procedure e degli obiettivi aziendali, assegnazione delle responsabilità, studio dei programmi appositi, istruzione del personale ecc.) è, secondo studi svolti su alcune agenzie di trasporto pubblico americane, all'incirca di 18 mesi.

Non esiste, infine, una tecnologia in assoluto migliore di altre, ma le prestazioni finali dipendono dagli obiettivi, dalla dimensione della flotta di veicoli da monitorare, dall'integrazione più o meno facile con altre tecnologie e programmi magari già esistenti all'interno dell'azienda, dalla numerosità e frequenza di campionamento di cui si necessita, dalla tipologia del mezzo di trasporto stesso e da molti altri fattori legati alla realtà aziendale in cui si va ad operare.

Per il futuro, si può anche prospettare l'integrazione della localizzazione del veicolo di trasporto pubblico, su rotaia o strada, con i dati di posizione di dispositivi di comunicazione mobile dei passeggeri, con tutti i limiti del caso sia sull'accuratezza nella posizione di questi ultimi sia sull'autorizzazione ad utilizzare i dati sulla propria posizione al gestore di telefonia da parte del viaggiatore, indipendentemente dall'associazione del terminale mobile al proprietario stesso.

Alla luce di questa sintetica analisi, si può affermare che, con le conoscenze attuali e le soluzioni realmente esistenti e collaudate in commercio, il sistema APC – a bordo veicolo - che si presta meglio ad una continua e precisa raccolta dati è quello basato sull'integrazione di infrarossi attivi e passivi in un unico sensore di conteggio; esso si può affiancare ad un sistema di rilievo del carico o misurato a terra oppure sui carrelli, per desumere il carico netto. In ogni caso, con sensori infrarossi attivi e passivi integrati si ottengono precisioni maggiori rispetto alle due componenti separate o ai sensori a pedana; il costo non è poi, in generale, proporzionalmente più alto e sono installabili su qualsiasi tipo di veicolo.

La scelta tecnologica deve implicitamente essere sempre subordinata ad un'accurata analisi dei possibili effetti, provati o meno che siano, sul rischio di effetto sulla salute delle persone.

Si rimanda all'appendice, ultimo paragrafo in particolare, per alcune considerazioni riepilogative ed indicazioni di massima sugli aspetti economici.

stalled within the agency, on the numerousness and sampling frequency required, on the type of transport means required and on many other factors connected to the reality of the agency to be dealt with.

The future may even allow integrating the location of the public transport vehicle – on railway and/or road – with the location data of the passengers mobile communication terminals or tools, with all the limits in terms of accuracy in the position of the latter and related to the passenger's authorising the mobile communication provider to use of the data on his/her location, irrespectively on the association of the mobile terminal to his/her owner.

In the light of this short analysis we may state that –with the current knowledge and the existing and proven technologies available in the market - the APC system on board the vehicle which best suits a continuous accurate collection of data is the one based on the integration of active and passive IR in a sole counting sensor; it may be supported by a load detection system measured either on the ground or on the bogies, to acknowledge the net load. In any case, the integration of active and passive IR sensors enables to obtain greater accuracy than the two separate components or the treadle mats; the cost is not proportionally higher and they can be installed on any type of vehicle.

Implicitly, the technological choice must always be subordinated to an accurate analysis of the possible effects – be they proven or not – on the risk of affecting people's health.

Reference is made to the Appendix – to the last paragraph in particular – for some summary considerations and general information on the economic aspects.

## APPENDIX

### A1. Pyroelectric sensors

The pyroelectric effect is a property of some insulation materials which consists in the *induction of electric charge* proportional to the *temperature variation throughout time*.

Subsequently, the pyroelectric sensors convert a flow of radiating incident energy, characterized by a very wide frequency spectrum, into an electric signal. The pyroelectric materials include the lead zirconate-titanate (PZT) which is characterized by a high pyroelectric coefficient and is suitable for arrangement as both thin and thick film for the development of miniaturized sensors [9].

Thick film PZT sensors can produce a significant pyroelectric signal when they are lit by low power light sources: as compared to the semiconductor position detectors, these devices – even though they show lower sensitivity – have the advantage of lower cost with the same

APPENDICE

## A1. Sensori piroelettrici

L'effetto piroelettrico è una proprietà di alcuni materiali isolanti che consiste nell'*induzione di carica elettrica* proporzionale alla *variazione nel tempo della temperatura*.

I sensori piroelettrici convertono quindi un flusso d'energia radiante incidente, caratterizzato da uno spettro di frequenza molto ampio, in un segnale elettrico. Tra i materiali piroelettrici figura lo zirconato-titanato di piombo (PZT), che è caratterizzato da un elevato coefficiente piroelettrico e si presta alla deposizione sotto forma sia di film sottile sia di film spesso per la realizzazione di sensori miniaturizzati [9].

Sensori in PZT a film spesso possono produrre un segnale piroelettrico significativo quando sono illuminati mediante sorgenti luminose a bassa potenza: rispetto ai rilevatori di posizione a semiconduttore tali dispositivi, pur presentando una minore sensibilità, hanno il vantaggio di minori costi a parità di area sensibile. La tipica struttura elementare di un sensore piroelettrico, mostrata in Fig. 18, è costituita da una porzione di materiale sensibile di spessore $d$ a facce piane e parallele ricoperte da elettrodi conduttori di area $A$, perpendicolari al vettore di polarizzazione spontanea $P_s$.

Il coefficiente piroelettrico $p$ del materiale è dato dall'espressione:

$$p = \frac{dP_s}{dT} \tag{1}$$

Il valore del coefficiente piroelettrico per sensori in PZT a film spesso risulta dell'ordine di $(1 \div 1.5)*10^{-4}$ C/(m²K). Se una radiazione di potenza $W(t)$ investe la superficie di un elettrodo, provocando una variazione di temperatura nel tempo, supposta uniforme in tutto il materiale, la corrente prodotta è data dall'espressione:

$$i = A\frac{dT}{dt} \tag{2}$$

In prima approssimazione il modello elettrico del sensore (fig. 19), è costituito da un generatore di corrente $i_p$, ottenibile con l'espressione (2), in parallelo ad una capacità $C_p$ e ad una resistenza $R_p$.

È evidente, al di là del funzionamento intrinseco di un materiale piroelettrico, come questa proprietà sia fondamentale per un sistema di rilevamento basato sul calore: sfruttando l'effetto piroelettrico è possibile realizzare, ol-

sensitive area. The typical elementary structure of a pyroelectric sensor, shown in fig 18, consists of a portion of sensitive material of thickness $d$ with parallel flat surface covered by conducive electrodes of area $A$, perpendicular to the spontaneous polarization vector $P_s$.

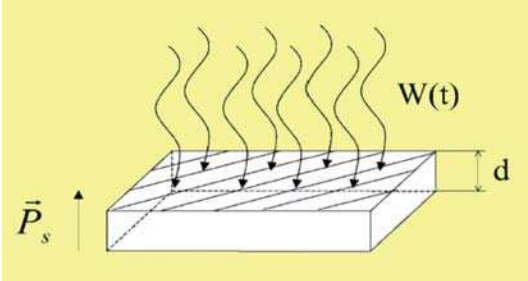



Fig. 18 - Struttura di un sensore piroelettrico piano ad elettrodi frontali. *Structure of a flat pyroelectric sensor with front electrodes.*

The pyroelectric coefficient $p$ of the material is given by expression:

$$p = \frac{dP_s}{dT} \tag{1}$$

The value of the pyroelectric coefficient for a thick film PZT sensor is $(1 \div 1.5)*10^{-4}$ C/(m²K). If a radiation of power $W(t)$ invests the surface of an electrode, causing a temperature variation in time, which is supposed to be even in the whole material, the current produced is given by the expression:

$$i = A\frac{dT}{dt} \tag{2}$$

As a first approximation, the electrical model of the sensor (fig 19) consists of a current generator $i_p$, which can be obtained by expression (2), in parallel to a capacity $C_p$ and a resistance $R_p$.

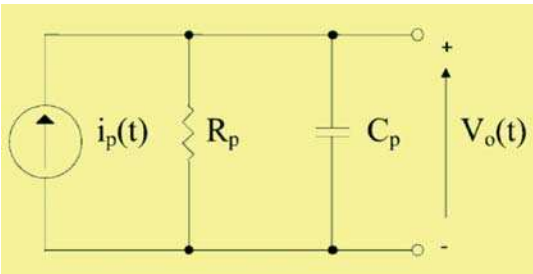



Fig. 19 - Modello elettrico elementare di un sensore piroelettrico. *Elementary electrical model of a pyroelectric sensor.*

tre ai sensori ad infrarossi passivi, dei veri e propri sensori di spostamento bidimensionale come testimoniano recenti ricerche svolte dal Dipartimento di Fisica dell'Università di Brescia sull'argomento.

## A2. Sensori per il rilievo del carico in movimento

### A2.1. Celle di carico

Vengono usate due celle di carico indipendenti per ogni asse del veicolo che registrano, in base alla loro deformazione, i carichi sul lato destro e sinistro del mezzo per ogni asse che, sommati, forniscono il peso complessivo del mezzo. Presentano problemi d'istallazione e manutenzione maggiori rispetto alle altre tecnologie ed un più facile deterioramento, ma forniscono un'elevata precisione di misura, addirittura eccessiva ai fini del carico statico per la verifica del conteggio passeggeri.

Fondamentalmente una cella di carico è costituita da un corpo, generalmente in metallo ad alta tenacità opportunamente dimensionato e di forma appropriata a seconda dell'entità del carico da misurare, della tipologia delle applicazioni e delle condizioni ambientali, che costituisce l'organo ricettore del carico e l'elemento elastico di misura (fig. 20).

Su questo corpo sono incollati, in opportune posizioni e con raffinate tecniche, gli estensimetri elettrici a resistenza o "strain gauge" che variano la loro resistenza proporzionalmente alle micro-deformazioni del corpo stesso.

Normalmente su ogni cella di carico sono impiegati quattro od otto estensimetri che sono collegati fra di loro in una configurazione a ponte di Wheatstone (fig. 21) che, alimentato fra una diagonale a tensione costante, fornisce in uscita, sull'altra diagonale, un segnale proporzionale sia alla tensione d'alimentazione sia allo sbilanciamento resistivo del ponte stesso.

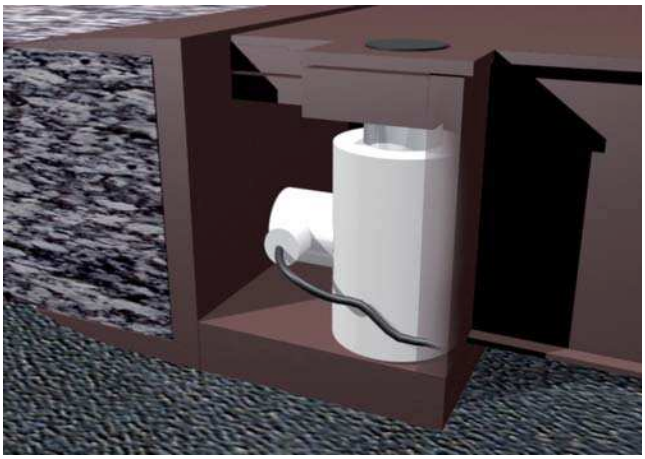


Fig. 20 - Esemplificazione di un sistema WIM a celle di carico.
*Example of a load cell WIM system.*

It is obvious that – besides the intrinsic operation of a pyrolectric material –this property is essential for a detection system based upon heat: the pyroelectric effect allows developing – besides the passive IR sensors – some actual 2D displacement sensors, as witnessed by recent research developed on this topic by the Department of Physics of the University of Brescia.

## A2. Sensors for the detection of the load in motion

### A2.1. Load cells

Two independent load cells for every axle of the vehicles are used to record – on the basis of their deformation – the loads on the RH and LH sides of the means on every axle which – when summed up – supply the overall weight of the means. As compared to the other technologies, they show higher issues of installation and maintenance and easier deterioration, but also higher measurement accuracy, which is even excessive if aimed at the static load for the verification of passenger counting.

A load cell essentially consists of a body, generally in high tenacity metal of the suitable dimensions and shape depending upon the entity of the load to be measured, on the type of applications and environmental conditions, which constitutes the receptive organ of the load and the elastic measurement element (fig. 20).

The resistance electrical strain gauges, whose resistance varied proportionally to the micro-deformations of the body, are glued in suitable positions and with refined techniques.

Every load cell is usually provided with four or eight strain gauges, which are connected to one another in a Wheatstone bridge configuration (fig. 21) which, supplied between a consistent voltage diagonal, provides, on the other diagonal, an output signal which is proportional to both the power supply voltage and the resistive unbalancing of the bridge itself.

The output ratio, called *gauge factor* (G.F.), is given by expression (3), where $U$ is the power supply voltage, $U_0$ is the output voltage, $\varepsilon$ is the deformation induced by the load, $k$ and $\eta$ are coefficients tabulated according to the cell configuration and depend – respectively – on the arrangement of the strain gauges rather than the non-linearity of the unbalancing: this is expressed in mV/V.

$$\frac{U_0}{U} = k \cdot \varepsilon \cdot (1-\eta) \qquad \text{[mV/V]} \quad (3)$$

All the single-axis load cells measure just the direct force according to the measurement axis: the components of the force vectors in other directions not only are not measured, but may deform the cell, introduce additional errors or damage it.

Il rapporto d'uscita, detto *gauge factor* (G.F.), è dato dall'espressione (3), dove $U$ è la tensione di alimentazione, $U_0$ è la tensione di uscita, $\varepsilon$ è la deformazione indotta dal carico, $k$ e $\eta$ sono coefficienti tabulati a seconda della configurazione della cella e dipendono rispettivamente dalla disposizione degli estensimetri e dalla non linearità dello sbilanciamento: viene espresso in mV/V.

$$\frac{U_0}{U} = k \cdot \varepsilon \cdot (1-\eta) \qquad \text{[mV/V]} \quad (3)$$

Tutte le celle di carico (monoassiali) misurano soltanto la forza diretta secondo l'asse di misura: le componenti del vettore-forza dirette in altre direzioni non solo non vengono misurate ma possono deformare la cella, introdurre errori supplementari o danneggiarla.

Quando una cella viene utilizzata per la pesatura, essa viene sottoposta alla forza verticale di attrazione della terra esercitata dalla forza peso del corpo da misurare, pertanto l'asse di misura della cella deve mantenersi verticale in qualsiasi condizione di carico.

In una cella di carico agiscono due vettori-forza: la forza da misurare che è applicata alla cella e la forza di reazione della base di fissaggio. Entrambe queste due forze sono la risultante, come valore e come direzione, di molte forze distribuite: la posizione del baricentro e la direzione di queste due forze non devono dunque cambiare durante l'applicazione della forza, inoltre, queste due forze e l'asse di misura della cella devono coincidere od essere tra loro parallele, indipendentemente dal principio di funzionamento delle celle.

Le celle di carico possono essere di diverse tipologie costruttive e di funzionamento (flessione semplice o doppia, taglio o a doppio taglio, a membrana, compressione a colonna, universali trazione-compressione, a perno, a flangia, toroidali…) e con campi di pesatura anche molto elevati, pur mantenendo un'ottima precisione: l'utilizzo però delle celle in ambienti esterni ai fini del conteggio passeggeri sui mezzi di trasporto e quindi sottoposte ad agenti di disturbo della misura quali temperatura, umidità, agenti chimici o vibrazioni eccessive possono portare ad inesattezze o rilevazioni, anche di molto, errate. È consigliabile per questo motivo la scelta di tipologie di celle con struttura particolarmente compatta ed isolata dall'esterno, a volte protette anche riempiendo la cella stessa di gel e gomma siliconica che permette un'ermeticità superiore a quella ottenuta mediante saldatura, indicate come "celle per ambiente esterno".

### A2.2. Sensori piezoelettrici

Il fenomeno piezoelettrico può essere riscontrato in materiali che non presentano centro di simmetria nella loro struttura, per cui uno sforzo meccanico può determinare uno spostamento non simmetrico degli ioni che pro-

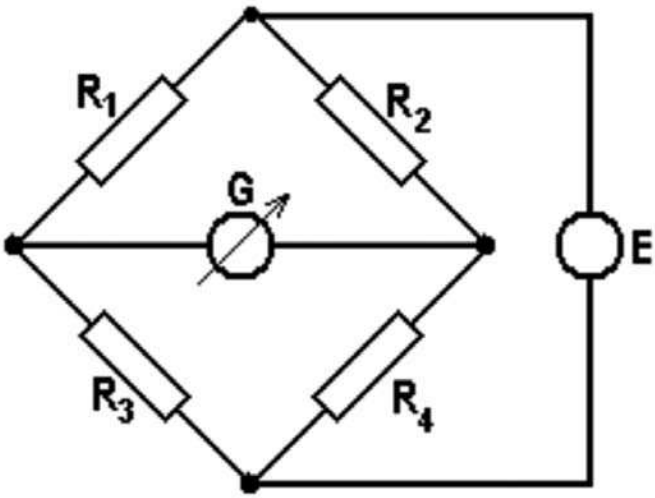



Fig. 21 - Ponte di Wheatstone.
*Wheatstone Bridge.*

When a cell is used for weighing, it is submitted to the vertical attraction force of the ground exerted by the weight of the body to be measured; subsequently, the measurement axis of the cell is to be kept vertical in any load condition.

Two force-vectors operate in a load cell, namely: the force to be measured, applied to the cell and the reaction force of the attachment basis. Both forces are the resultant, as value and direction, of several distributed forces: therefore, the position of the gravity centre and the direction of these two forces must not change when the force is applied. Furthermore, these two forces and the cell measurement axis are to match or be parallel to one another, irrespectively on the operating principle of the cells.

The load cells can be of different manufacturing and operating type (simple or double bending, simple or double cut, membrane, column compression, universal traction compression, stud, flange, toroidal and so on) and also with very high weighing fields, though keeping great precision: nevertheless, the use of the cells in external environments for passenger counting on the transport means - which are therefore submitted to factors which disturb the measurement - such as temperature, humidity, chemical agents or excessive vibrations - and may generate errors or even severely wrong readings. This is why the selection of cells of a particularly compact structure, insulated from the outside, is recommended. Sometimes, they need to be protected also by filling the cell itself with gel and silicone rubber in order to allow greater tightness than the one which is obtained by soldering; the latter are indicated as "cells for outside environment".

### A2.2. Piezoelectric sensors

The piezo-electric phenomenon can be found in materials which do not show a centre of symmetry within

duce una distribuzione non simmetrica della carica nel volume del materiale; di conseguenza si manifesta una separazione di carica. Ne risulta che il materiale piezoelettrico può tradurre una deformazione meccanica in una separazione di carica e viceversa: sensori piezoelettrici possono essere realizzati con materiali polimerici o ceramici a base di Ba titanato, Pb zirconato mentre il quarzo $SiO_2$ è il materiale piezoelettrico naturale più importante e storicamente più utilizzato in molte applicazioni.

I sistemi WIM piezoelettrici sfruttano infatti proprio il cambiamento di voltaggio dovuto alla pressione esercitata sul sensore da parte del veicolo (fig. 22): la variazione di carica nel sensore viene registrata dall'unità di controllo che calcola i carichi dinamici legati agli assi del veicolo che, sommati ed elaborati, restituiscono il peso totale del mezzo.

Il problema di questo tipo di sensori è dovuto al fatto che essi registrano non solo il carico verticale dovuto al vero peso del veicolo ma, anche, sforzi orizzontali nel materiale dovuti al comportamento stradale del veicolo stesso: in particolare con autoarticolati a 2 o 3 assi si possono verificare errori anche di una certa entità con, a volte, la rilevazione errata di un ulteriore asse di carico. Per ridurre questi difetti diversi costruttori inseriscono i sensori in profilati particolari d'alluminio per evitare gli effetti di forze orizzontali.

Inoltre, il coefficiente di temperatura molto alto dei materiali piezoelettrici fa sì che il loro rendimento dipenda in modo significativo dalla temperatura dell'asfalto e le loro proprietà possano variare sensibilmente anche lungo lo stesso sensore, fornendo così risultati legati alla zona di passaggio delle ruote.

### A2.3. Sensori al quarzo

Insieme alle fibre ottiche sono i sensori d'ultima generazione che stanno sorpassando per utilizzo quelli basati su effetto piezoelettrico tradizionale e a celle di carico perché forniscono una migliore precisione di misura, permettono l'installazione in ambienti di lavoro più flessibili in termini di condizioni ambientali; hanno in genere un costo lievemente più basso rispetto ai piezoelettrici e di molto inferiore rispetto alle celle di carico.

I sensori al quarzo (fig. 23) uniscono i vantaggi di una stabilità elettrica e meccanica nel tempo con un coefficiente di temperatura praticamente trascurabile; il montaggio rigido nella carreggiata, isolato per mezzo di sabbie adatte allo scopo, e di struttura simile a quella della carreggiata stessa porta ad avere un perfetto ancoraggio del sensore all'asfalto, con tempi e costi di manutenzione alquanto contenuti lungo tutto il ciclo di vita.

Come si vede dalla fig. 24, la precisione di misura dipende dal peso del veicolo ma si mantiene accettabile anche con carichi molto variabili con una deviazione standard sotto il 4%.

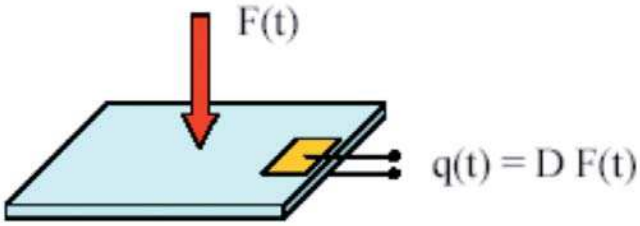


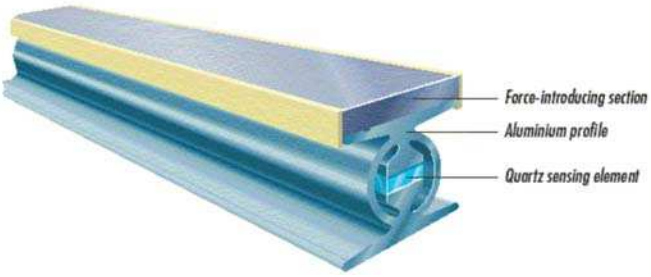

Fig. 22 – Sensore piezoelettrico. *Piezoelectric sensor.*

their structure and - therefore - a mechanical effort may determine a non-symmetric displacement of the ions and a non-symmetric distribution of the charge in the volume of the material; consequently, a charge separation occurs. As a result, the piezo-electric material may convert a mechanical deformation into a charge separation and vice versa: piezo-electric sensors can be developed with either polymeric or ceramic materials with a basis of titanate Ba, and zirconate Pb, whilst the $SiO_2$ quartz is the most important piezoelectric natural material, and the most widely historically used one in several applications.

The piezoelectric WIM systems use the actual voltage change due to the pressure exerted on the sensor by the vehicle (fig. 22): the charge variation in the sensor is recorded by the control unit, which calculates the dynamic loads connected to the vehicle axes which – summed and processed – render the overall weight of the vehicle.

The issue with this type of sensors is that not only do they register the vertical load due to the actual weight of the vehicle, but also horizontal stress in the material due to the behaviour of the vehicle itself on the road: with 2 to 3 axle vehicles in particular, errors of a given entity may occur with, sometimes, the wrong detection of a further loading axle. In order to reduce these defects, several manufacturers introduce the sensors into special aluminium profiles in order to avoid the effects of horizontal stress.

Furthermore, the very high temperature coefficient of the piezoelectric materials implies that their performance significantly depend on the asphalt temperature and their properties may sensitively vary along the sensor itself as




[Fonte/*Source: KISTLER*]

Fig. 23 - Sensore al quarzo e relativa installazione. *Quartz sensor and relevant installation.*

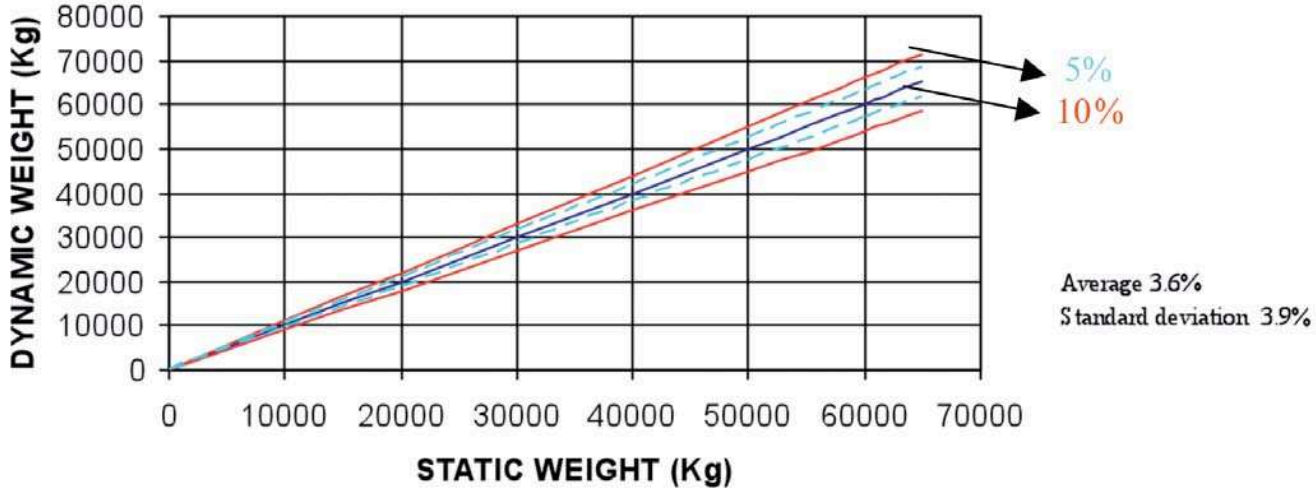



Fig. 24 - Comportamento statico e dinamico dei sensori al quarzo. Il grafico si riferisce alla pesatura di 115 veicoli. *Static and dynamic behaviour of the quartz sensors. The diagram refers to the weighing of 115 vehicles.*

Sono basati su cristalli di quarzo piezoelettrici, i quali presentano una sensibilità che non diminuisce con il tempo, quindi esenti da effetti d'invecchiamento che sono rilevanti per esempio in sistemi a celle di carico. I sensori al quarzo hanno un'alta frequenza propria con un largo campo di variazione delle frequenze che li rende idonei nella misurazione di diverse tipologie di carico anche con campi di velocità del veicolo molto ampi. Sistemi WIM tradizionali, come per esempio quelli che sfruttano deformazioni di piastre, presentano generalmente problemi a basse velocità soprattutto con livelli di traffico molto elevati in cui i fenomeni d'accelerazione e decelerazione tra un sensore e l'altro o sul sensore stesso possono portare ad errori di una certa rilevanza sul carico dinamico e quindi statico: i cristalli al quarzo invece, inseriti in nastri di larghezza intorno ai 50 mm, presentano un'accuratezza elevata anche a basse velocità con un *range* di quest'ultima che varia da 0 a 200 km/h.

$$F = v \cdot \int_{t1}^{t2} Q(t)\,dt \quad \text{[kN]} \qquad (4)$$

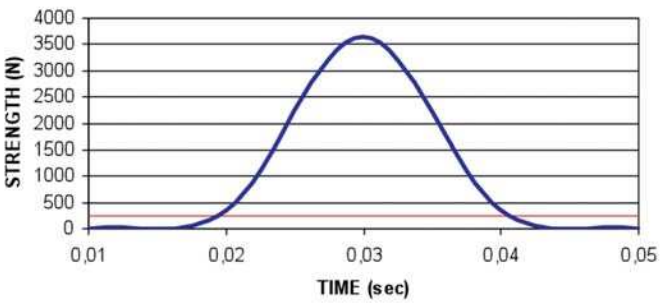



Fig. 25 - Carico distribuito lungo il sensore. *Load distributed along the sensor.*

well, and the results it provides are then affected by the areas of wheel passage.

### A2.3. Quartz sensors

Together with the optic fibres, they are the latest generation sensors, whose use is overcoming the ones based on the conventional piezoelectric and load cell effect, because they ensure greater measurement accuracy, allow installation in more flexible working environments as related to the environment conditions, their cost is slightly lower than the piezoelectric sensors and far lower than the load cells.

The quartz sensors (fig. 23) couple the advantages electrical and mechanical stability throughout time with a virtually negligible temperature coefficient; the rigid assembly in the carriageway, which is insulated by means of purposely allocated sand, and whose structure is similar to the carriageway itself, leads to the perfect anchorage of the sensor to the asphalt, with somewhat contained maintenance time and cost throughout its life cycle.

As shown in fig. 24, the measurement accuracy depends on the weight of the vehicle, but is kept acceptable even with greatly variable loads, with a standard deviation below 4%.

Such sensors are based on piezo-electric quartz crystals, whose sensitivity does not diminish throughout time and are therefore exempted from the ageing effects which are significant – for instance – in the load cell systems. The quartz sensors have high natural frequency with wide variation field which makes them appropriate for the measurement of different typologies of load even with very wide fields of vehicle speed. The conventional WIM systems, such as the ones which use the deformation of the plates, generally show difficulties at low speed, mainly in case of high levels of traffic, where phenomena of acceleration and deceleration between a sensor and another one or on the same sensor may lead to errors of some sig-

In sistemi a deformazione, inoltre, viene rilevato il carico di punta durante l'attraversamento del sensore, che è però fortemente legato all'impronta del pneumatico sulla pedana, portando così ad errori considerevoli. Per i moderni sensori al quarzo si è invece studiato un algoritmo in grado di valutare il carico come stima della forza esercitata dal pneumatico nel tempo di transito sul sensore e quindi dato dall'integrale della forza nel tempo per la velocità come si vede dall'espressione (4).

Si vede poi, dalla figura, che questo metodo svincola la determinazione del carico dalla pressione dei pneumatici (le aree sottese alle curve della figura sono uguali) permettendo anche, per mezzo dell'espressione (5), di risalire alla larghezza dell'impronta per eventuali verifiche sulle condizioni dei pneumatici come usura e pressione.

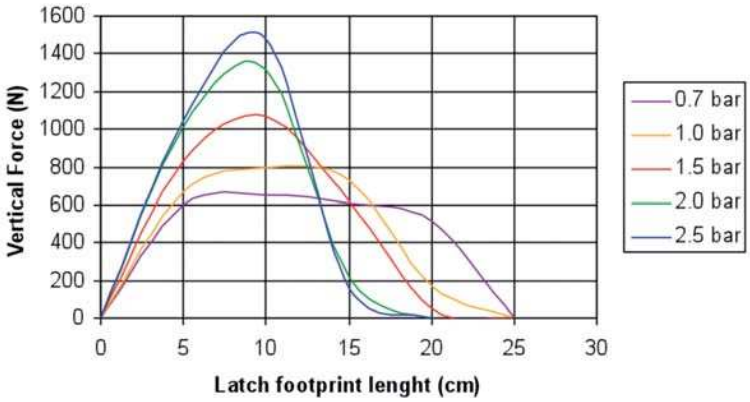



Fig. 26 - Esempio di forma del segnale in base all'impronta del veicolo.
*Example of signal shape based upon the vehicle print.*

$$lunghezza\_impronta = 100 \cdot \left[ \left( \frac{v}{3,6} \right) \cdot \left( \frac{t}{1000} \right) - 0,053 \right] \quad \text{[cm]} \qquad (5)$$

Il segnale in uscita può essere poi facilmente sommato ai segnali di più sensori; per esempio, se si utilizza un sensore per asse o un sensore per ruota e si vuole risalire al carico totale; il segnale elettrico è poi amplificato e convertito in un segnale di voltaggio analogico proporzionale che varia da 0 a 5 V.

### A2.4. Sensori a fibre ottiche

Sono, come è sopra menzionato, soluzioni che stanno sostituendo le vecchie tecnologie a deformazione o a sensori piezoelettrici: rispetto a quest'ultime le fibre ottiche presentano infatti meno problemi di ricoprimento ed installazione, poca sensibilità ad interferenze elettriche e ad umidità, sono soggette ad una perdita di resistenza e precisione nel tempo praticamente trascurabile portando, anche per questo motivo, a costi notevolmente inferiori.

La fibra ottica è inserita in strisce metalliche che sono in grado di deformarsi sotto l'effetto di un carico esterno: quando ciò avviene, la forza di compressione si scarica sulla fibra la quale è attraversata da una luce incidente polarizzata che viene "sfasata" ossia la componente orizzontale (non soggetta agli sforzi) mantiene la velocità iniziale mentre quella verticale subisce un ritardo di fase che è proporzionale alla pressione applicata.

In conclusione, la forza esercitata dal veicolo sulla fibra fa sì che quest'ultima vari il suo indice di rifrazione $n$ di un certo $\Delta$ legato agli sforzi interni della fibra: questo cambiamento porta ad un ritardo di fase $\Phi$ per unità di lunghezza $l$ che è riscontrabile appunto come ritardo tra le onde trasmesse $E_v$ ed $E_h$. Un ricevitore ottico, collegato al sensore, somma le due onde e trasforma per mezzo di un foto-diodo la potenza luminosa in corrente elettrica alternata che presenta un massimo ed un minimo funzioni del carico esercitato dal veicolo sulla fibra.

nificance on the dynamic and then static loads: on the other hand, the quartz crystals, which are introduced on approximately 50 mm wide tapes, ensure great accuracy even at slow speeds, with a range of such speed varying from 0 to 200 km/h.

$$F = v \cdot \int_{t1}^{t2} Q(t)\,dt \quad \text{[kN]} \qquad (4)$$

Furthermore, the deformation systems detect the peak load during the crossing of the sensor, which is connected to the print of the tyre on the mat and leads to remarkable errors. On the other hand, an algorithm has been developed for the modern quartz sensors to evaluate the load as an estimate of the strength exerted by the tyre in the time of transit on the sensor and subsequently given by the integral of the strength integral in time multiplied by the speed, as shown in expression (4).

The figure than shows that this method releases the determination of the load from the tyre pressure (the areas subtended to the figure curves are equal) enabling also (through expression (5)) to trace back the width of the print and ascertain the conditions of the tyres in terms of wear and pressure.

$$lenght\_of\_the\_print = 100 \cdot \left[ \left( \frac{v}{3,6} \right) \cdot \left( \frac{t}{1000} \right) - 0,053 \right] \quad \text{[cm]} \qquad (5)$$

The output signal can then be easily summed up to the signals of several sensors. For instance, if a sensor per axle or a sensor per wheel are used and we intend to trace back the overall load, the signal is them amplified and converted in a proportional analogical voltage signal which varies from 0 to 5 V.

### A2.4. Optic fibre sensors

As mentioned above, these solutions are replacing the old deformation or piezo-electric sensor technologies. In comparison with the latter, the optic fibres feature lower difficulties as related to coverage and installation, little

### A2.5. Sensori tradizionali

Spesso definiti come *"bending plate"* ossia piastre che misurano per mezzo di estensimetri la deformazione dei materiali che la compongono: possono avere una buona accuratezza di misura, ma esistono dei problemi nel posizionamento delle piastre all'interno dell'asfalto in termini di costi e di lavoro. Inoltre, il comportamento di queste soluzioni dipende molto dalle condizioni climatiche e dalla composizione della strada nel punto d'applicazione, che influiscono sul comportamento a flessione della struttura della carreggiata e possono portare alla formazione di crepe fra l'asfalto e la piastra deformante, facendo aumentare notevolmente i costi di manutenzione.

### A2.6. Considerazioni economiche

Per quanto riguarda alcune considerazioni economiche relative ad un sistema WIM[(2)], nella tabella 2 sottostante vengono riportate le diverse soluzioni WIM per una comparazione dei costi e della loro precisione.

TABELLA 2 – *TABLE 2*

| Tipologia *Type* | Accuratezza *Accuracy* | Costo *Cost* | Costo di manutenzione *Maintenance cost* |
|---|---|---|---|
| Celle di carico *Load cells* | ±3 % | Alto *High* | Alto *High* |
| Piezoelettrici *Piezo-electric* | ±10 % | Basso *High* | Basso *Low* |
| Cristalli al quarzo *Quartz crystals* | ±3 % | *Medio – basso Average to low* | Basso *Low* |
| Fibre ottiche *Optic fibres* | ±3 % | *Medio – basso Average to low* | Basso *Low* |
| Piastre deformanti *Treadle mats* | ±5 % | Medio *Average* | Medio *Average* |

(2) Uno studio svolto dal Dipartimento Trasporti della Regione Sicilia e dal Dipartimento di Ingegneria delle Infrastrutture Viarie della Università degli Studi di Palermo in collaborazione con ANAS per l'installazione di almeno 10 stazioni WIM nelle zone più strategiche della Sicilia ha portato a delle valutazioni sui costi di queste tecnologie che possono essere riassunti come segue: stazione di rilevamento completa (spire di rilevamento sagome con sensori di rilevamento carichi) comprensivi degli oneri di gestione: 60 k€ per stazione di rilevamento;
- stazione per rilievo dei carichi da integrare nelle stazioni già esistenti sulle strade statali ANAS in Sicilia: 35 k€ per stazione di rilevamento;
- stazione di rilevamento mobile da utilizzare prevalentemente lungo assi di strade provinciali: 100 k€ per stazione;
- costi per formazione ed addestramento personale della pubblica amministrazione: 100 k€;
- per studi, ricerche e gestione dei dati (di circa 20 stazioni): 300 k€.

sensitivity to electrical interferences and humidity, are subject to a loss of resistance and accuracy which can be virtually overlooked thus generating, also for this reason, remarkably lower cost.

The optic fibre is introduced in metal bands which may deform under the effect of a lower load: when this occurs, the compression force unloads on the fibre, which is crossed by a polarized, "dephased" incident light, i.e. the horizontal component (which is not subject to efforts) keeps the initial speed, whilst the vertical one is submitted to a phase delay which is proportional to the pressure applied.

As a conclusion, the force exerted by the vehicle on the fibre does so that the latter varies its refractive index $n$ by a given $\Delta$ connected to the internal efforts of the fibre: this change leads to a phase delay $\Phi$ per length unit $l$ which can be verified as a delay between the transmitted waves $E_v$ and $E_h$. An optic receiver, connected to the sensor, sums the two waves and transforms – by means of a photodiode – the light power into alternate electric current whose minimum and maximum are functions of the load exerted by the vehicle on the fibre.

### A2.5. Conventional sensors

Often defined as *"bending plates"* i.e. plates which measure the deformation of the materials which compose them by means of strain gauges: they may have good measurement accuracy, but issues arise in the positioning of the plates within the asphalt in terms of both cost and labour. Furthermore, the behaviour of these solutions greatly depends on the climate conditions and on the composition of the road in the point of application, which affect the flexion behaviour of the carriageway structure and may lead to the generation of cracks between the asphalt and the deforming plate, thus increasing greatly the maintenance cost.

### A2.6. Economic considerations

As far as some economic considerations are concerned as related to a WIM[(2)] system, the following table 2 reports the different WIM solutions, for a comparison of their cost and accuracy.

(2) A study developed by the Transport Department of the Regional Council of Sicily and by the Engineering and Road Infrastructure Department of the University of Palermo in cooperation with ANAS (national Road Authority) for the installation of at least 10 WIM stations in the most strategic areas of Sicily has led to evaluations ion the costs of these technologies, which can be summarized as follows:
- Complete monitoring station (shape detection coils with load sensors) operating cost including: 60 k€ per station;
- Load detection station to be integrated in the existing ones on the ANAS roads in Sicily: 35 k€ per station;
- Mobile detection station to be used prevailingly along the axes of subsidiary roads: 100 k€ per station;
- Cost for the training of the public administration personnel: 100 k€;
- Studies, research and data management (approximately 20 stations): 300 k€.

BIBLIOGRAFIA - *REFERENCES*

[1] Federal Transit Administration (1996), *"Advanced public transportation systems: the state of the art update '96"*, by Casey R.F. Labell, L.N. Holmstrom, R. Volpe National Transportation Systems Center, pp. 212.

[2] T.J. Kimpel, J.G. Strathman, D. Griffin, S. Callas, R.L. Gerhart (2003), *"Automatic Passenger Counter Evaluation: Implications for National Transit Database Reporting"*, presented at Transportation Research Board Annual Meeting 2003, Transportation Research Record.

[3] D.K. Boyle (1998), *"Synthesis of Transit Practice 29, Passenger Counting Technologies and Procedures"*, Transit Cooperative Research Program, 1998

[4] M.D. Rossetti, (1996), *"Automatic data collection on transit users via radio frequency identification"*, in TRB/IDEA Compendium Report, August 1996.

[5] G. Melchiorre, A. Bazzani, M. Capriotti, B. Giorgini, S. Rambaldi, G. Servizi, G. Turchetti (2004), *"Relazioni temporali tra flussi di mobilità metropolitana nell'area di Chatelet Les Halles"*, Trasporti&Territorio, v. 3, pp. 99-106.

[6] C.E. McKnight, J. Holguin-Veras, H. Levinson, R.E. Paaswell (2000), *"Analysis of Routes and Ridership of a Franchise Bus Service: Green Bus Lines"* for New York City Department of Transportation, University Transportation Research Center, Region II at City College of New York, October 2000

[7] I. Pavlidis, B. Fritz, P. Symosek, N.P. Papanikolopoulos, V. Morellas, R. Sfarzo (1999), *"Automatic Passenger Counting in the HOV Lane"*, Minnesota Department of Transportation, 1999.

[8] TCRP (2003), *Uses of Archived AVL-APC Data to Improve Transit Performance and Management: Review and Potential*, Document 23 - Project H-28, Contractor's Final Report Prepared for: "Transit Cooperative Research Program", Transportation Research Board of the national academies, Submitted by: Peter G. Furth, Northeastern University Boston, Massachusetts; Brendon J. Hemily; Theo H.J. Muller, Delft University of Technology, Delft, the Netherlands; James G. Strathman, Portland State University, Portland, Oregon; June 2003.

[9] E. Dogliani (2005), *"Sistemi di conteggio automatico dei passeggeri per i servizi di trasporto pubblico su gomma e su rotaia"*, tesi di laurea in ingegneria meccanica, Politecnico di Torino, tutor: B. Dalla Chiara, F. Deflorio, 2005.