



Un sistema di rilevamento ostacoli per gli scali merci

An obstacle detection system for freight yards

Benjamin SABU^(*)
Marin MARINOV^(*)

Sommario - Questo documento esplora soluzioni alternative per i sistemi di rilevamento degli ostacoli attualmente esistenti e indaga su come possano essere incorporati in uno scalo merci. Esaminiamo diverse possibili soluzioni di progettazione allo scopo di fornire indicazioni su quale tipo di configurazione di sistema sia più adatto per ogni progetto. Si discutono un sistema di rilevamento degli ostacoli “post-based” e un sistema di rilevamento ostacoli di terra. Si propone una stima del costo potenziale di soluzioni alternative di progettazione per il rilevamento di ostacoli negli scali merce, seguita dalle nostre conclusioni e suggerimenti per altri sviluppi.

Summary - This paper explores alternative solutions for obstacle detection systems that exist currently and investigates how they can be incorporated into a freight yard. We look at several possible design solutions with the aim to advise on what type of system configurations would be best suited for each design. A “post-based” obstacle detection system and a ground-based obstacle detection system are discussed. An estimate of the potential cost of the alternative design solutions for obstacle detection in freight yards is offered, followed by our conclusions and suggestions for further developments.

1. Introduzione

Gli scali merci ferroviari sono essenzialmente strutture ferroviarie, costituite da più binari ferroviari, in parallelo, aventi lo scopo di disassemblare i treni in arrivo e riassemblarli in uscita, combinando le merci con stesse destinazioni. Tali strutture sono un elemento fondamentale del settore del trasporto ferroviario merci poiché sono essenziali per ottimizzare il trasporto di merci su rotaia. È necessaria una grande pianificazione attenta, prendendo in considerazione parametri quali la capacità massima dello scalo, il tempo minimo di attività e le risorse disponibili nello scalo (come le locomotive di manovra ed i binari), per garantire che lo scalo merci e la rete ferroviaria operino in maniera sincronizzata in modo che l'intero servizio di trasporto merci ferroviario possa essere ottimizzato e di buona qualità. Qualsiasi forma d'interruzione o congestione nello scalo merci causerebbe gravi ritardi e immediate perdite finanziarie e potenziali, poiché i ritardi metterebbero in dubbio l'affidabilità dell'industria ferroviaria. La maggior parte delle operazioni in uno scalo merci, come l'accoppiamento e il disaccoppiamento dei carri merci, è tuttora effettuata manualmente, il che le rende naturalmente dispendiose in termini di tempo. Oltre a ciò, tutti gli arrivi e le partenze dei treni, in uno scalo merci, richiedono una pianificazio-

1. Introduction

Rail freight yards are essentially rail facilities, consisting of multiple rail tracks, in parallel, for the purpose of disassembling incoming trains and reassembling them into outbound trains by coupling together freights with the same destinations. Such facilities are a core element of the rail freight industry as they are essential in optimising the transport of freights by rail. A great amount of careful planning is required, taking into consideration parameters such as maximum yard capacity, minimum execution time and available resources at the yard (like shunting engines, and tracks), to ensure that the freight yard and the rail network operate in a synchronised manner so that the entire rail freight service can be optimised and of good quality. Any form of disruption or congestion at the freight yard would cause major delays and further financial and potential business losses, as delays would question the reliability of the rail industry. Majority of the operations at a freight yard, like coupling and decoupling freight wagons are still done manually, which naturally makes them time consuming. In addition to this all train arrivals and departure, at a freight yard require extensive planning in advance to allocate necessary resources and to ensure an efficient reassembly of the freights in order maintain a high quality of service. Due to these precise operations, freight yards contribute to a major portion of the total freight service costs. Naturally automat-

^(*) Scuola di Ingegneria, NewRail, Università di Newcastle, NE1 7RU, Regno Unito.

^(*) School of Engineering, NewRail, Newcastle University, NE1 7RU, United Kingdom.

ne approfondita, in anticipo, per allocare le risorse necessarie e assicurare un efficiente riassetto delle merci per mantenere un'elevata qualità del servizio. A causa di queste operazioni precise, gli scali merci contribuiscono a una parte importante dei costi totali del servizio trasporto merci. Naturalmente l'automazione di alcune operazioni in uno scalo merci farebbe risparmiare tempo prezioso. Se operazioni come la composizione dei carri o il monitoraggio di binari potessero essere automatizzate, sarebbe molto vantaggioso poiché migliorerebbe l'efficienza dello scalo, allettando le imprese verso l'industria del trasporto ferroviario di merci.

Per promuovere l'automazione negli scali merci è fondamentale introdurre un sistema di rilevamento degli ostacoli, affidabile, che rilevi ostacoli che bloccano il binario, che naturalmente rimane insicuro e chiuso fino a quando l'ostacolo non può essere eliminato. In questo momento gli ostacoli sul binario sono rilevati manualmente, o da un operatore della sicurezza che utilizza sistemi di televisione a circuito chiuso (CCTV) quando un treno merci si avvicina alla linea o dal conducente del treno in avvicinamento. Affidarsi alla reazione umana non è sufficiente per garantire la sicurezza e la prevenzione degli incidenti. Invece, l'implementazione di un sistema automatico di rilevamento degli ostacoli che consente di rilevare la presenza contestuale di ostacoli, e di informare le autorità preposte, garantirà e migliorerà la sicurezza dello scalo merci come sistema automatico, rimuovendo di default l'elemento dell'errore umano e dando tempo sufficiente per sgomberare il binario prima dell'arrivo di un treno.

Questo documento studia forme di sistemi alternativi di rilevamento degli ostacoli attualmente esistenti e indaga su possibili modi in cui possono essere incorporati in uno scalo merci. Nello specifico, consideriamo soluzioni alternative di rilevamento degli ostacoli e presentiamo sia soluzioni di sistema alternative "post-based" e sia soluzioni alternative a terra adatte per il rilevamento di ostacoli negli scali merci.

2. Scalo merci

Ogni scalo merci è un elemento fondamentale per l'industria del trasporto merci su rotaia. Qualsiasi malfunzionamento di uno scalo merci in una rete porterebbe direttamente al mancato raggiungimento delle consegne ai clienti in tempo utile. Al fine di ridurre le possibilità di fallimento e gestire più facilmente le operazioni dello scalo, è necessario disporre di sistemi di supporto decisionale affidabili completamente automatizzati, ideati e implementati ai fini di ogni scalo merci. Un'operazione cruciale in ogni scalo merci è il riassetto dei carri. Sulla base della tecnologia e delle attrezzature disponibili per il rimontaggio dei carri merci, i cantieri possono essere classificati come piazzali orizzontali di smistamento a terminale singolo, piazzali orizzontali di smistamento a doppio terminale, selle di lancio, aree di manovra a gra-

ing some of the operations in a freight yard would save valuable time. If operations such as coupling freights or monitoring tracks could be automated, it would be greatly beneficial as it improves the efficiency of the yard, enticing more businesses for the rail freight industry.

To promote automation in freight yards it is essential to introduce a reliable obstacle detection system detecting obstacles blocking the track, which naturally stays unsafe and closed until the obstacle can be cleared. Obstacles on the track are currently detected manually, either by a security operator using closed-circuit television (CCTV) systems as a freight train approaches the line or by the driver of the train on approach. Relying on human reaction is not sufficient to guarantee safety and prevention of accidents. Instead, implementing an automated obstacle detection system making it possible for any potential obstacles to be automatically detected as they occur, and informing the necessary authorities will guarantee and enhance the safety of the freight yard as an automated system by default removes the element of human error and gives sufficient time to clear up the track before the approach of a train.

This paper studies forms of alternative obstacle detection systems that currently exist and investigates possible ways in which they can be incorporated into a freight yard. Specifically we look at alternate solutions of obstacle detection and present both alternative "post-based" and alternative ground-based system solutions suitable for obstacle detection in freight yards.

2. Freight Yards

Every freight yard is a core element to the rail freight transport industry. Any malfunction of a freight yard in a network would directly result in the deliveries not reaching the clients in time. In order to reduce the chances of failure and manage the yard operations more easily, there is a need for reliable fully automated decision support systems, devised and implemented for the purposes of each freight yard. A crucial operation in every freight yard is the reassembling of freight wagons. Based on the technology and equipment available for reassembling of freight wagons the freight yards can be classified as single ended flat shunted yards, double ended flat shunted yards, hump yards and gravity yards. As this paper is centred on the discussion of obstacle detection systems, we shall not discuss different classes of freight yards in detail. Interested reader is referred to [1] (Boysen, et al., 2012), [2] (He, et al., 2000), [3] (Marinov & Viegas, 2009), [4], [5], [6] Marinov and Viegas, (2011a,b, c), [7] Abbott D, Marinov M. (2015).

3. Existing Obstacle Detection Technology

Currently there exists multiple forms of an object detection system in the rail industry. Majority of them are used to determine and monitor the status of the locomotive, the position of the train, the condition of the tracks and the loads, etc. One of the most popular track-based detection

vità. Poiché questo documento è incentrato sulla discussione dei sistemi di rilevamento degli ostacoli, non discuteremo in dettaglio le diverse classi di scali merce. Al contrario, il lettore interessato è rinviato a [1] (Boysen, et al., 2012), [2] (He, et al., 2000), [3] (Marinov & Viegas, 2009), [4], [5], [6] Marinov and Viegas, (2011a,b, c), [7] Abbott D, Marinov M. (2015).

3. Tecnologia di rilevamento degli ostacoli esistenti

Attualmente esistono diverse forme di sistema di rilevamento di oggetti nel settore ferroviario. La maggior parte di essi è utilizzata per determinare e monitorare lo stato della locomotiva, la posizione del treno, le condizioni degli agganci di collegamento e dei carichi, ecc. Uno dei sistemi di rilevamento basati su binario più comuni è un contatore di assi, composto da dispositivi collegati ai binari per contare il numero di assi transitanti [8] (CAMTECH, 2010). Sebbene sia molto pratico e spesso installato lungo le linee ferroviarie, sembra che i contatori di assi siano raramente implementati in qualsiasi scalo merci.

I sistemi CCTV sono un modo usuale adottato dall'industria ferroviaria per monitorare le linee ferroviarie e alcuni passaggi a livello. La CCTV è relativamente facile da installare ma richiede una costante supervisione umana, suggerendo una certa inflessibilità e l'insorgenza di errori umani.

RFID (Radio Frequency Identification) è un metodo utilizzato per trasmettere elettronicamente tutte le informazioni necessarie relative a eventuali carri e carichi [9] (Landt, 2008). Nello specifico, è utilizzato nel trasporto di merci per ferrovia per trasmettere le informazioni concernenti il tipo e le caratteristiche di eventuali carri merci e relativo carico all'arrivo nello scalo. Ogni carro merci contiene un tag RFID elettronico e i lettori RFID sono collocati nelle aree di ricezione degli scali. Mentre i "tag" passano attraverso i lettori, tutte le informazioni riguardanti il carro merci e il suo carico sono trasmesse al lettore. Questo sistema è molto utilizzato per monitorare la posizione di ciascun carro merci, tuttavia non è molto utile se è previsto per il rilevamento di ostacoli.

Diversi tipi di sensori presentano una soluzione migliore per il rilevamento degli ostacoli. Un solo tipo di sensore da solo, tuttavia, non ha ancora dimostrato sufficiente affidabilità per tale compito. Pertanto è una pratica comune utilizzare invece più tipi di sensori contemporaneamente. Tale approccio aumenta l'affidabilità e la sicurezza del sistema di rilevamento ostacoli [10] (Gebauer, et al., 2012). I sensori sono classificati come passivi o attivi secondo le loro proprietà operative. Quando i sensori attivi emettono un segnale e rilevano un segnale riflesso e distorto, i sensori passivi ricevono/rilevano solo la radiazione riflessa, emessa o trasmessa fornita da una sorgente.

I sensori di rilevamento luce e distanza (LIDAR) sono

systems is an axel counter, composed of devices attached to the tracks to count the number of wagon axels passing them over [8] (CAMTECH, 2010). Although very practical and often installed along the rail lines, it appears that axel counters are rarely implemented in any freight yards.

CCTV systems are a popular way adopted by the rail industry to monitor the rail lines and some level crossings. CCTV is relatively easy to install but requires constant human supervision, suggesting a certain inflexibility and occurrence of human error.

RFID (Radio Frequency Identification) is a method used to transmit any necessary information regarding any wagons and loads electronically [9] (Landt, 2008). Specifically, it is used in the transport of freight loads by rail to transmit the information regarding the type and the characteristics of any freight wagons and its load on arrival at a yard. Each freight wagon contains an electronic RFID tag, and RFID readers are placed in the receiving areas of the yards. As the tags pass through the readers all the information regarding the freight wagon and its load is transmitted to the reader. This system is greatly used to monitor the location of each freight wagon, however it is not very helpful if it is envisaged for detecting obstacles.

Multiple types of sensors present a better solution for obstacle detection. A single type of sensor alone, however, has not yet been proven reliable enough for such a task. Hence, it is a common practise to use multiple types of sensor in conjunction instead. This approach increases the reliability and safety of the obstacle detection system [10] (Gebauer, et al., 2012). Sensors are categorised either as passive or active depending on their operating properties. When active sensors emit a signal and detect a reflected and distorted signal, passive sensors only receive/detect reflected, emitted or transmitted radiation provided by a source.

Light Detection And Ranging (LIDAR) sensors are extensions of RADio Detection And Ranging (RADAR) sensors and operate very similarly to RADAR system. Rather than using radio signals, LIDAR sensors uses light signals in the form of pulsed lasers to map its surroundings [11] (Ocean Service, n.d.). Lidar sensors have the capability of measuring between 20,000 to 150,000 points per seconds, indicating a level of high accuracy.

LIDAR systems are currently used for a wide variety of applications around the world, from mapping the ocean floors to automated vehicles. The modern day LIDAR system consists of a laser, a scanner, and a GPS receiver.

There are two types of LIDAR, topographic and bathymetric. Topographic use lasers with wavelength near the infrared range to map surfaces, where are bathymetric uses lasers with wavelength nearer to green light to map sea-beds and ocean floors, as the laser is capable of penetrating the water. The data collected by the sensors are stored in a "point cloud" format, which is a 3D array of points each having x, y and z coordinates [12] (LIDAR UK, n.d.). Plotting these points would create a virtual representation of the world model, similar to the image presented in Fig. 1.

estensioni dei sensori di rilevamento Radio e Distanza (RADAR) e funzionano in modo molto simile al sistema RADAR. Invece di utilizzare i segnali radio, i sensori LIDAR utilizzano segnali luminosi sotto forma di laser a impulsi per mappare i loro dintorni [11] (Ocean Service, n.d.). I sensori LIDAR hanno la capacità di misurare tra 20.000 e 150.000 punti al secondo, indicando un livello di elevata precisione.

I sistemi LIDAR sono attualmente utilizzati per una vasta gamma di applicazioni in tutto il mondo, dalla mappatura dei fondali oceanici ai veicoli automatizzati. Il moderno sistema LIDAR è costituito da un laser, uno scanner e un ricevitore GPS.

Esistono due tipi di LIDAR, topografico e batimetrico. Il primo è un laser ad uso topografico con lunghezza d'onda vicino all'intervallo infrarosso per mappare le superfici, mentre il batimetrico usa laser con lunghezza d'onda più vicina alla luce verde per mappare i fondali marini e i fondali oceanici, poiché il laser è in grado di penetrare nell'acqua. I dati raccolti dai sensori sono memorizzati in un formato a "nuvola di punti", che è una serie 3D di punti ciascuno con coordinate x, y e z [12] (LIDAR UK, n.d.). Tracciare questi punti creerebbe una rappresentazione virtuale del modello del mondo, simile all'immagine presentata nella Fig. 1. Inoltre, la post-elaborazione di più segnali di ritorno consente al sistema di monitoraggio di distinguere tra edifici, superficie del suolo, vegetazione e altre superfici [13] (CN Utility Consulting, n.d.).

Sebbene non siano ampiamente diffusi, esistono alcuni esempi di sensori LIDAR attualmente utilizzati nell'industria ferroviaria per monitorare le condizioni del binario e garantire che le sezioni delle linee ferroviarie e i passaggi a livello siano privi di ostacoli [14] (Teknikertv, 2014). Il sensore LIDAR è solitamente montato su una piattaforma oscillante che scansiona la linea ferroviaria in cicli. Tuttavia, i sensori LIDAR sono normalmente utilizzati per monitorare piccole sezioni di linee ferroviarie. Pertanto, questa soluzione potrebbe rivelarsi inaffidabile a causa di una copertura limitata. Inoltre, quando sono in transito, i treni non sono mai fermi, questo aumenta la possibilità che esistano dei punti ciechi. Quindi, vi è una sfida per migliorare le prestazioni dei sensori LIDAR in modo che possano coprire sezioni più grandi di linee ferroviarie e possibilmente cambiare la loro posizione e quindi ridurre a zero il numero di punti ciechi.

I sensori/telecamere a infrarossi hanno la capacità di rilevare la radiazione infrarossa emessa dagli oggetti. Esistono sia come sensori passivi che attivi. I sensori attivi sono costituiti da una fonte di alimentazione e un emettitore IR, che permettono al sensore di raccogliere attivamente infor-

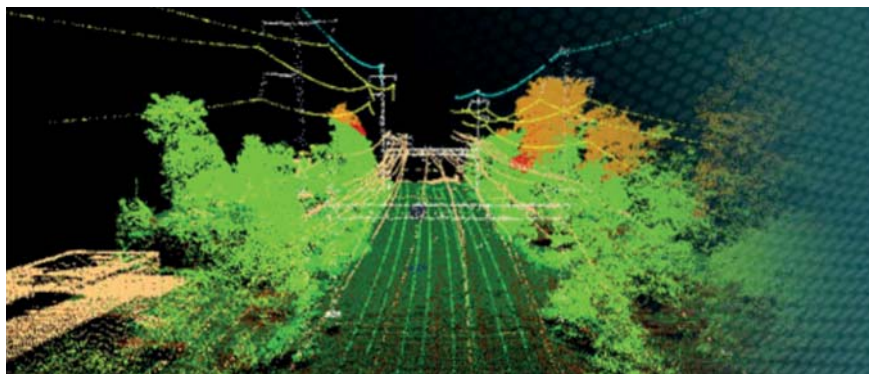
Furthermore, the post processing of multiple return signals allows the monitoring system to differentiate between buildings, ground surface, vegetation, and other surfaces [13] (CN Utility Consulting, n.d.).

Although not widely spared, there are some examples of LIDAR sensors currently used in the rail industry to monitor track conditions and to ensure sections of rail lines and level-crossings are clear of any obstacles [14] (Teknikertv, 2014). The LIDAR sensor is usually mounted on an oscillating platform scanning the rail line in cycles. Though, the LIDAR sensors are normally used to monitor small sections of rail lines. Hence, this solution could prove unreliable due to limited coverage. Also when in transit the trains are never stationary, this increases the chance of blind spots to occur. Hence, there is a challenge for improving the performance of LIDAR sensors so that they can cover larger sections of rail lines and possible change their position and so reduce the number of blind spots down to zero.

Infrared sensors/cameras have the capability to detect infrared radiation emitted by objects. They exist as both passive and active sensors. Active sensors consist of a power source and an IR emitter, which make it possible for the sensor to actively collect information about their surroundings [15] (securisat, 2015). The emitted ray from the IR emitter is then detected by a receiver, which makes it possible for the sensor to determine the properties of any surfaces the IR ray comes into contact with [16] (rfwireless-world, n.d.). Passive IR sensors only have the capability to detect IR radiation emitted by objects. Hence, it will not detect a system that does not have any IR radiation (Fig. 2).

Beam Breaker sensors consist of an IR emitter and an IR receiver, aligned in a straight line with a constant line of IR ray. If the IR ray is blocked by an object and the sensor cannot detect the ray, the sensor is triggered [17] (unifore, 2012).

Reflectance sensors also consist of an emitter and a receiver (Fig. 3). It works as the emitted ray is reflected off a surface and is detected by the receiver. The disruptions caused to the reflected ray due to the interaction of the sur-



(Fonte - Source: CN Utility Consulting)

Fig. 1 - Rappresentazione dati visivi del LIDAR.

Fig. 1 - Representation of LIDAR data.

mazioni sull'ambiente circostante [15] (securisat, 2015). Il raggio emesso dall'emettitore IR è quindi rilevato da un ricevitore, che consente al sensore di determinare le proprietà di qualsiasi superficie con la quale il raggio IR entra in contatto [16] (rfwireless-world, n.d.). I sensori IR passivi hanno solo la capacità di rilevare la radiazione IR emessa dagli oggetti. Quindi, non rileveranno un sistema che non ha alcuna radiazione IR (Fig. 2).

Le traverse a sensore di frenatura sono costituite da un emettitore IR e un ricevitore IR, allineati in linea retta con una linea costante di raggi IR. Se il raggio IR è bloccato da un oggetto e il sensore non può rilevare il raggio, il sensore è attivato [17] (unifore, 2012).

I sensori di riflessione includono anche un emettitore e un ricevitore (Fig. 3). Funzionano quando il raggio emesso è riflesso da una superficie ed è rilevato dal ricevitore. Le interruzioni prodotte nel raggio riflesso a causa dell'interazione della superficie, consentono di determinare le proprietà dell'oggetto come la geografia e la riflettività della superficie [18] (metropolia, 2014).

Dalla panoramica presentata è evidente che ci sono parecchie tecnologie che possono essere considerate, studiate ulteriormente e implementate per il rilevamento degli ostacoli negli scali merci.

4. Progetti alternativi per il rilevamento degli ostacoli negli scali merci

4.1. Posizione dei sensori

I sensori possono essere montati sui carri merci stessi oppure possono essere montati su un punto fisso predefinito intorno allo scalo merci.

Il montaggio dei sensori su un carro merci comporterebbe la scansione dei sensori dell'area circostante attorno al veicolo. Mentre i carri merci e i loro carichi avanzano, i sensori continueranno a scansionare l'ambiente circostante, assicurandosi che non vi siano ostacoli o potenziali pericoli. I sensori devono essere montati abbastanza in alto (Fig. 4) in modo che possano superare l'altezza del carro merci e il suo carico, in modo da garantire che i sensori abbiano una visione chiara di tutto l'ambiente circostante.

Quando si accoppiano i carri merci, i sensori possono sincronizzarsi e lavorare insieme per creare un modello mondiale virtuale dell'ambiente intorno all'intero treno. Avere un tale sistema sincrono su ogni veicolo merci, con la capacità di lavorare insieme, crea anche il potenziale per treni merci completamente autonomi in futuro. Può essere un sistema automatico di rilevamento ostacoli non solo per lo scalo merci ma anche per l'intera rete ferroviaria, giacché i carri merci faranno la scansione ovunque e di tutto ciò che passano. In alternativa, i sensori possono essere montati su posizioni stazionarie predeterminate attorno allo scalo merci per garantire la scansione dell'intero scalo simultaneamente.

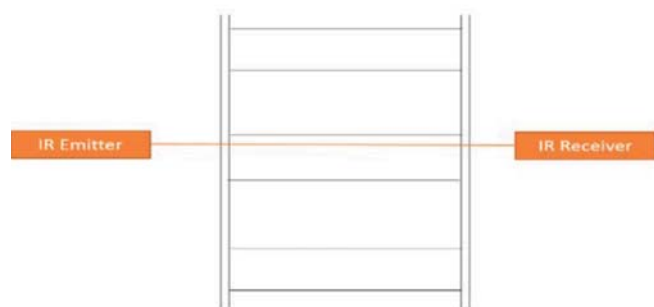


Fig. 2 - Traversa a sensore di frenatura.
Fig. 2 - Breaker Beam Sensor.

face makes it possible to determine the properties of the object such as surface geography and reflectance [18] (metropolia, 2014).

From the overview presented it is apparent that there are quite a few technologies that can be considered, studied further and implemented for obstacle detection in freight yards.

4. Alternative designs for obstacle detection in freight yards

4.1. Positioning of sensors

The sensors can be mounted either on the freight wagons themselves, or they could be mounted on a predetermined stationary point around the freight yard.

Mounting the sensors on a freight wagon would result in the sensors scanning the surrounding area around the freight wagon. As the freight wagons and their loads move forward, the sensors will continue to scan the surroundings, ensuring there is not obstructions or potential hazards. The sensors have to be mounted high enough (Fig. 4) so that they can clear the height of the freight wagon and its load, and so ensure the sensors have clear view to all the surroundings.

When the freight wagons are coupled together, the sensors can synchronize and work together to create a virtual

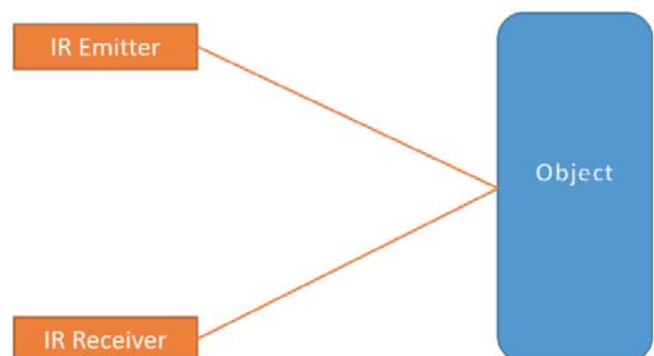


Fig. 3 - Sensore a riflessione
Fig. 3 - Reflectance Sensor.

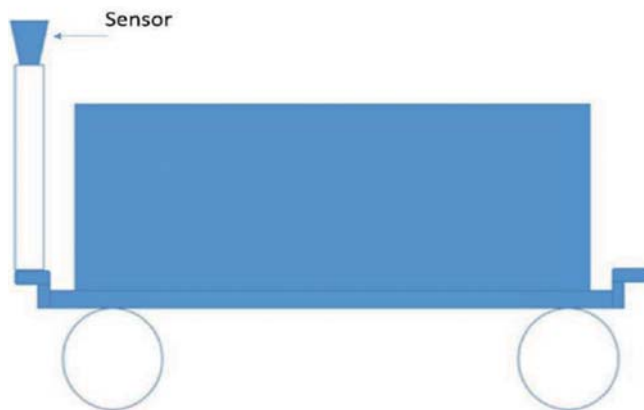


Fig. 4 - Posizione di applicazione del sensore su un carro merci.

Fig. 4 - Mounting the sensors on a freight wagon.

I sensori possono essere montati sulla parte superiore di un'asta verticale (Fig. 5), poiché i sensori ruotano costantemente a una velocità angolare costante, possono mappare ripetutamente l'ambiente in un determinato periodo. L'altezza dell'asta verticale deve superare quella dei carri merci e dei treni per garantire che i sensori non siano oscurati dai carichi delle merci. Un tale sistema richiederebbe una pianificazione estesa, su misura per ogni scalo, per garantire che i sensori siano sistemati nel modo più efficiente relativo allo scalo. Esiste anche la possibilità di creare punti ciechi inaspettati per i sensori a causa di vagoni merci fissi o locomotive di manovra. Nonostante i sensori siano montati più in alto rispetto ai carri, possono ancora essere creati punti ciechi a causa dell'angolo in cui i raggi del sensore interagiscono con i veicoli e altri oggetti, in maniera simile al modo in cui gli oggetti creano ombre sotto un lampione nonostante la posizione in cui sono collocati. Ciò suggerisce che per ridurre i punti ciechi a zero e aumentare l'affidabilità del sistema di rilevamento di ostacoli, ci dovrebbe essere anche una sorta di soluzione di sistema a terra in cui i sensori sono montati a livello di binario.

Tuttavia, è probabilmente più semplice implementare il sistema stazionario poiché l'installazione di sensori su ogni veicolo normalmente richiede che un determinato massimo dirigente prenda la decisione, seguito da un forte supporto istituzionale e un piano di investimenti per iniziare e completare la grande quantità di lavoro richiesto. Pertanto, ai fini di questa discussione, ci concentriamo su progetti alternativi per il rilevamento degli ostacoli negli scali merci con sistemi fissi.

4.2. Configurazioni alternative

4.2.1. Sistemi di rilevamento degli ostacoli "post-based"

Sono state elaborate numerose configurazioni alternative per sistemi di rilevamento degli ostacoli "post-based". Abbiamo preferito un formato modulare, rendendo

world model of the environment around the entire train. Having such a synchronous system on every freight wagon, with the capability of working together, also creates the potential for fully autonomous freight trains in the future. It can be an automated obstacle detection system not just for the freight yard itself but also for the entire rail network as the freight wagons will scan everywhere and everything they go by. Alternatively, the sensors can be mount on predetermined stationary positions around the freight yard to ensure that the entire yard in being scanned simultaneously.

The sensors can be mounted on the top of vertical column (Fig. 5), as the sensors rotate constantly at a constant angular velocity, they can repeatedly map the surroundings at a specific time period. The height of the vertical column has to exceed the height of the freight wagons and trains in order to ensure that the sensors are not blocked by the freight loads. Such a system would require extensive planning, bespoke to every yard, to ensure the sensors are positioned in the most efficient way relative to the yard. There also exists the possibility of unexpected blind spots being created for the sensors due to stationary freight wagons or shunting engines. Despite the sensors being mounted higher than the wagons, blind spots can still be created due to the angle at which the sensor rays interact with the wagons and other objects. Similar to how objects create shadows under a street light despite where it's placed. This suggests that to reduce blind spots to zero and increase the reliability of the obstacle detection system, there should also be some sort of ground-based system solution in which the sensors are mounted on the track level.

Nevertheless, it is probably easier to implement the stationary system as installing sensors on each and every freight wagon normally requires a determined senior management to make the decision, followed by a strong institutional support and investment plan to start and complete the great amount of work required. Hence for the purposes

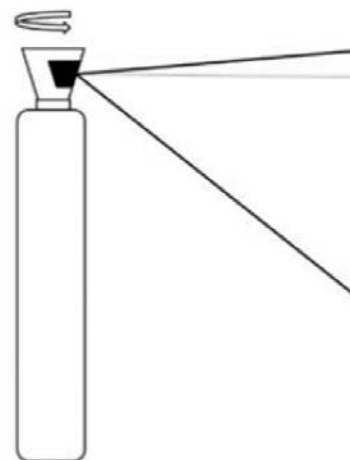


Fig. 5 - Sensore stazionario montato sulla parte superiore di una colonna verticale.

Fig. 5 - Stationary sensor mounted on the top of a vertical column.

più facile l'adattamento a diversi scali merce. Le Fig. 6, Fig. 7 e Fig. 8 mostrano la rappresentazione grafica di tre configurazioni alternative e forniscono idee su come funzionano. Quando ogni modulo ha un design simile a un lampione stradale, con una colonna cilindrica centrale di 10m di altezza e una barra trasversale cilindrica lungo la parte superiore di circa 5 m di lunghezza, questo è mostrato nella Fig. 7. Queste strutture di supporto cilindriche sono fabbricate in acciaio e sono tenute insieme con giunti a cavo angolato. Anche la colonna centrale ha un diametro decrescente verso la sommità della colonna centrale, in modo da mantenere il centro di gravità vicino al suolo. I sensori sono attaccati alle due estremità della colonna orizzontale rivolti verso il basso, di modo che i sensori hanno una vista "dall'alto" dello scalo. I sensori sono anche collegati a motori passo-passo, che consentono loro di oscillare di $\pm 76^\circ$. Nello specifico, le Figg. 6 e 8 mostrano come i moduli sarebbero tipicamente disposti in uno scalo merci, distanziati ad una distanza di "h". La distanza h dipende dall'intervallo dei sensori. La colonna centrale è fissata a terra usando un fondamento in calcestruzzo e viti M24, simili ai pali della luce.

Al fine di massimizzare l'intervallo utile dei sensori senza la possibilità di creare grandi punti ciechi inaspettati a causa dell'arresto di veicoli, l'altezza d'installazione deve essere sufficientemente elevata, anche se deve essere di circa 10m.

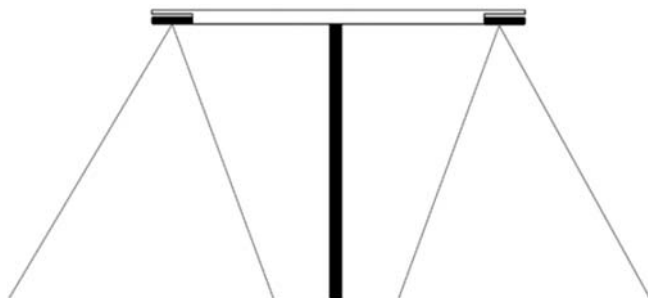


Fig. 7 - Vista frontale del progetto.
Fig. 7 - Front view of the design.

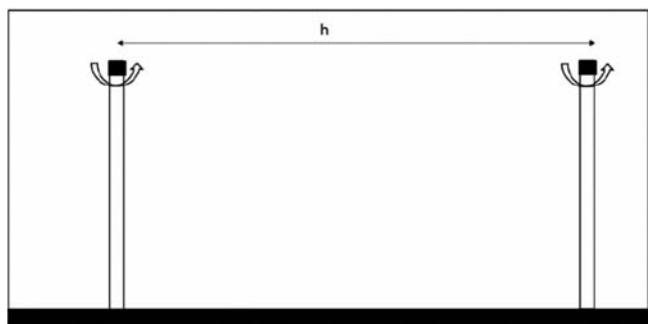


Fig. 8 - Vista laterale dell'implementazione della stessa soluzione nello scalo.
Fig. 8 - Side view of how this solution is implemented in a yard.

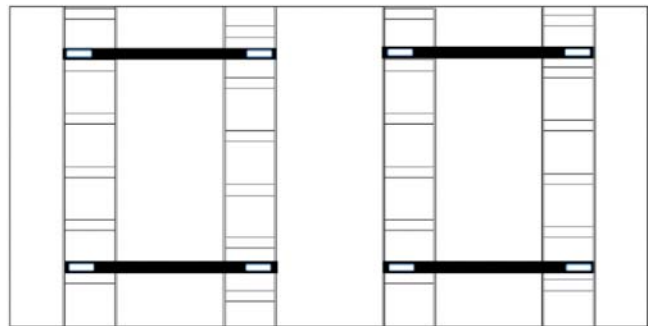


Fig. 6 - Vista in pianta dell'implementazione della soluzione in uno scalo.

Fig. 6 - Birds eye view of how the solution is implemented in a yard.

of this discussion we concentrate on alternative designs for obstacle detection in freight yards using stationary systems.

4.2. Alternative Configurations

4.2.1. "Post-based" obstacle detection systems

A number of alternative configurations for "post-based" obstacle detection systems have been drafted. We opted for a modular format, making it easier to adapt to different freight yards. Figs. 6, 7 and 8 show graphical representation of three alternative configurations and provide ideas on how they operate. When each module has a similar design to a street light, with a cylindrical central column of height of 10m and a cylindrical cross bar across the top of around 5m in length, this is shown in Fig. 7. These cylindrical support structures are manufactured from steel and are held together with fillet weld joints. The center column also has a decreasing diameter towards the top of the center column, in order to keep the center of gravity close to the ground. The sensors are attached to either ends of the horizontal column facing down to the ground, so the sensors have a "birds eye" view of the yard. The sensors are also attached to stepper motors, which allow them to oscillate at $\pm 76^\circ$. Specifically, Figs. 6 and 8 show how the modules would typically be laid out in a freight yard, spaced out at a distance of "h". The distance h is dependant of the range of the sensors. The central column is fixed to the ground using a concrete foundation and M24 bolts, similar to lamp posts.

In order to maximise the useful range of the sensors without the possibility of creating large unexpected blindspots due to stopping wagons, the height of installation should be set up high enough, even if it goes to be around 10m.

An example of calculating the useful range, labelled x, of the sensor at a set height is shown in Fig. 9. The height L represents the height at which the sensor is mounted. The distance b represents the maximum acceptable blind spot caused by a stationary wagon. We assume this value

La Fig. 9 mostra un esempio di calcolo dell'intervallo utile, etichettato x , del sensore ad una data altezza. L rappresenta l'altezza alla quale è montato il sensore. La distanza b rappresenta il punto cieco massimo accettabile causato da un veicolo fermo. Supponiamo che questo valore sia intorno a 1m. Le dimensioni indicative del veicolo, si presume, siano:

- Altezza - 3,65 m
- Larghezza - 1,4 m

La dimensione "a" rappresenta l'angolo con il quale i raggi del sensore lasciano il sensore per creare il punto cieco specificato. Per creare un punto cieco di 1m, utilizzando equazioni simultanee, è stato calcolato che l'angolo "a" sarà intorno a 15,32°. Si può vedere da (1) che l'altezza "L" e l'intervallo utile "x" sono direttamente proporzionali e hanno una relazione lineare.

$$(L - 3.65) \times \tan(a) = x - b \quad (1)$$

Tuttavia, ci sono anche dei parametri che limitano l'altezza massima alla quale i sensori possono essere collocati. Naturalmente i sensori non possono essere posti più in alto della portata specificata del sensore, per funzionare in modo efficiente. Per decidere un'altezza ragionevole per queste colonne centrali, sono stati studiati gli standard di altezza dei lampioni. È stato riscontrato che l'altezza standard specificata per il lampione su carreggiate doppie era di 10 m [19] (Hampshire City Council, 2010). Quindi, è stato deciso di rendere le altezze della colonna 10m.

La Tabella 1 mostra i diversi intervalli utili di sensori per valori "L". Si noti che è stata presa in considerazione solo la metà dell'intervallo del sensore, quindi l'intervallo utile totale sarebbe il doppio della distanza "x". A 10 m di altezza, l'intervallo utile di sensori sarebbe di circa 5,5 m.

Tabella 1 – Table 1

Gamme utili di sensori con altezze variabili
Useful ranges of sensors with varying heights

L	x	Total Useful Range
5	1.369628	2.739256083
6	1.643427	3.286853181
7	1.917225	3.834450279
8	2.191024	4.382047378
9	2.464822	4.929644476
10	2.738621	5.477241574
11	3.012419	6.024838673
12	3.286218	6.572435771
13	3.560016	7.120032869
14	3.833815	7.667629968
15	4.107614	8.215227066

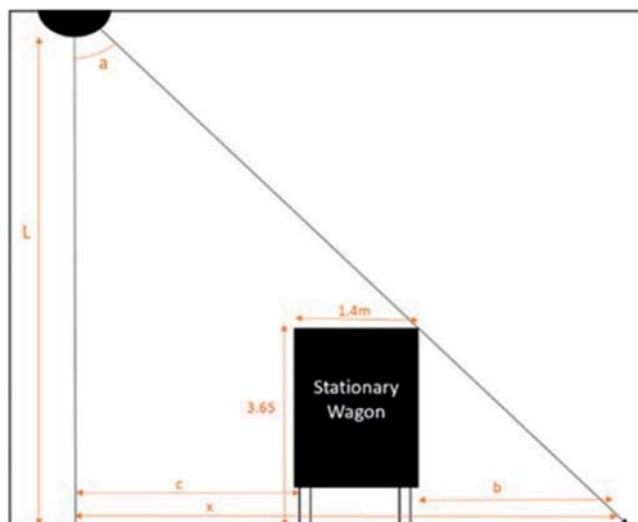


Fig. 9 - Calcolo del punto cieco.
Fig. 9 - Blind-Spot Calculation.

to be around 1m. The rough dimensions of the wagon is assumed to be:

- Height - 3.65m
- Width - 1.4m

Dimension "a" represents the angle at which the sensor rays leave the sensor in order to create the specified blind spot. In order to create a blind spot of 1m, it has been calculated, using simultaneous equations, that angle "a" will be around 15.32°. It can be seen from (1) that the height "L" and the useful range "x" are directly proportional, and has a linear relationship.

$$(L - 3.65) \times \tan(a) = x - b \quad (1)$$

However, there are also parameters that limit the maximum height at which the sensors can be placed. Naturally the sensors cannot be placed higher than the sensor's specified range, in order to operate efficiently. In order to decide on a reasonable height for these central columns, the height standards of street lights were researched. It was found that the standard specified height for lamppost on dual carriageways were 10m [19] (Hampshire City Council, 2010). Hence, it was decided to make the column heights 10m.

Table 1 shows the different useful ranges of sensors for "L" values. Note that only half of the sensor's range has been considered, hence the total useful range would be twice the distance "x". At 10m height, the useful range of sensors would be about 5.5m. Furthermore, having the sensors so high up would reduce the risk the sensors being damaged, and it is unlikely the system would collide with any objects so high up.

When envisaging "post-based" obstacle detection systems the sensors should be spaced out around the yard in a way that the ranges of all the neighbouring sensors overlap with each other by a certain coverage. This overlap reduces

Inoltre, avere i sensori così in alto ridurrebbe il rischio di danneggiamento degli stessi dispositivi, ed è improbabile che il sistema collida con qualsiasi oggetto così in alto.

Quando si prevedono sistemi di rilevamento degli ostacoli “post-based”, i sensori devono essere distanziati intorno allo scalo in modo che gli intervalli di tutti i sensori vicini si sovrappongano l'uno con l'altro per una certa copertura. Questa sovrapposizione riduce la presenza di punti ciechi intorno allo scalo, poiché per un punto cieco per un particolare sensore con presenza di carri stazionanti sarebbe eliminato sovrapponendo la funzionalità un altro sensore da un'altra angolazione.

4.2.2. Sistema di terra per il rilevamento degli ostacoli

Per eliminare ulteriormente il verificarsi di punti ciechi, si suggerisce un sistema di rilevamento ostacoli a terra. Se il binario sotto i veicoli stazionanti è in un punto cieco, allora per esempio gli animali potrebbero strisciare sotto i carri stazionanti senza essere visti. Pertanto, dovrebbe essere considerato un sistema a terra. Si suggerisce che un tale sistema implementi sensori d'interruzione del raggio IR installati sui binari dello scalo, come mostrato nelle Fig. 10 e Fig. 11. Consiste di un emettitore IR e un ricevitore IR, con uno o più raggi IR continui che viaggiano tra di loro. Se un ostacolo ostruisce, blocca il raggio IR, e se il ricevitore non può rilevare il raggio IR, allora si attiva il sensore, quindi si presume che ci sia un ostacolo sul binario.

Un sistema affidabile di rilevamento ostacoli a terra dovrebbe eliminare punti ciechi imprevedibili o inattesi. Tuttavia, va notato che tale sistema copre solo un'area minima dello scalo ed è progettato per rilevare solo oggetti che si trovano bene all'interno dei binari ferroviari. Se un ostacolo si trova nell'interbinario, o se l'ostacolo giace sui binari ferroviari senza entrare in contatto con i raggi IR, tale ostacolo non sarà rilevato. Quindi, per mettere a punto un sistema di rilevamento ostacoli totalmente efficace, il sistema a terra e il sistema “post-based” dovrebbero essere usati insieme.

5. Implementazione

5.1. Calcoli e ipotesi di base

Per stimare il possibile costo d'implementazione, i calcoli sono stati fatti su uno scalo di base simulato per vedere come sarebbero state implementate le soluzioni. Si presuppone che lo scalo simulato abbia un'area rettangolare con un totale di 20 linee parallele, di lunghezza 200 m. Quindi l'area totale di questo scalo può essere calcolata moltiplicando la lunghezza e la larghezza dello scalo.

Per stimare la larghezza dello scalo, sono state formulate alcune ipotesi:

- Scartamento del binario = 1,435 m;



Fig. 10 - Traverse a sensore di frenatura installate sui binari dello scalo.

Fig. 10 - Beam Breaker Sensors installed on the yard tracks.

the occurrence of blind spots around the yard, as a blind spot created but stationary wagons for a particular sensor would be eliminated by the overlapping another sensor from another angle.

4.2.2. Ground-based obstacle detection system

To further eliminate the occurrence of blind-spots a ground-based obstacle detection system is suggested. If the track under stationary wagons is blind-spotted, then for example animals could crawl under stationary wagons undetected. Therefore, a ground-based system should be considered. It is suggested that such a system implements IR beam breaker sensors installed on the yard tracks, as it is shown in Figs. 10 and 11. It consists of an IR emitter and an IR receiver, with one or more continuous IR beams traveling between them. If an obstacle is obstructing, it would block the IR beam, and if the receiver cannot detect the IR beam then the sensor is triggered, then it is assumed that there is an obstacle on the track.

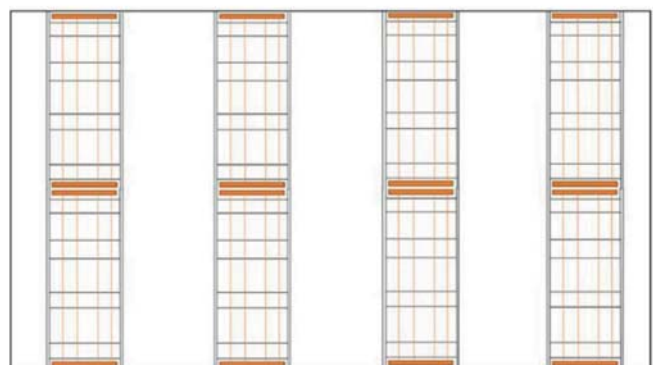


Fig. 11 - Serie di traverse a sensore di frenatura implementate in uno scalo merci.

Fig. 11 - Beam breaker sensors implemented in a freight yard.

- Distanza standard tra due binari paralleli = 1,829 m;
- Spazio tra composizioni di carri merci o fasci di smistamento = 2,134 m.

Supponendo 20 linee parallele la somma di tutti i binari è: $20 \times 1,435 \text{ m} = 28,7 \text{ m}$.

Ci sarebbero 19 serie di spaziatura tra binari nello scalo, quindi: $19 \times 1,829 \text{ m} = 34,75 \text{ m}$.

Ulteriori fasci di smistamento in entrambe le estremità dello scalo, quindi: $2 \times 2,134 \text{ m} = 4,27 \text{ m}$.

Pertanto, una stima della larghezza totale dello scalo è:

$28,7 + 34,75 + 4,27 = 67,72 \text{ m}$, che può essere arrotondato in eccesso a 70 m.

Quindi, ai fini di questa discussione lo scalo simulato ha:

- Lunghezza = 200 m;
- Larghezza = 70 m;
- Area = 14.000 m^2 .

5.2. Determinazione del costo del sistema “post-based”

Ogni sensore sul sistema “post-based” ha:

- Campo orizzontale utile = 5,5 m;
- Campo verticale utile = 78m, quando i sensori oscillano hanno la capacità di scansionare;
- 39m davanti e 39m indietro.

Il “campo orizzontale utile” si riferisce alla larghezza del binario coperta da ciascun sensore, senza la possibilità di creare un punto cieco di grandi dimensioni. Il “campo verticale utile” si riferisce alla lunghezza del binario coperta da ciascun sensore a causa dell'oscillazione dei sensori.

Il numero di sensori necessari per coprire l'intero scalo è:

- $70/5,5 = 12,72$ - il numero di sensori che devono essere collocati orizzontalmente attraverso la larghezza dello scalo per coprire l'intero scalo. Può essere arrotondato per difetto a 12 poiché la larghezza di accesso può essere punti ciechi sui bordi dello scalo.
- $200/78 = 2,5$ - il numero di moduli che devono essere collocati verticalmente per coprire l'intera lunghezza dello scalo.

Ogni modulo ha due sensori montati su di esso, quindi questo scalo simulato richiederebbe un totale di 6,36 moduli collocati lungo lo scalo e 2,5 serie di 6,36 moduli posizionati lungo la lunghezza dello scalo. Quindi, sono necessari un totale di 15,9 moduli.

Ogni sensore su un modulo costa \$9.498, pari a £7.365,65 e ciascun motore passo-passo costa £99,00. Poiché ogni modulo contiene due sensori e due motori passo-passo, ogni modulo costa circa £14.929,30. Pertan-

A reliable ground-based obstacle detection system should eliminate any unpredictable or unexpected blind spots. However, it should be noted that such a system only covers a minimal area of the yard and is designed to only detect objects lying well within the track rails. If an obstacle is laying on the space between the tracks, or if the obstacle is lying across the track rails without making any contact with the IR beams, such an obstacle will not be detected. Hence, in order for a fully effective obstacle detection system to be devised, the ground-based system and the “post-based” system should possibly be used in conjunction.

5. Implementation

5.1. Basic calculations and assumptions

In order to estimate the possible cost of implementation, basics calculations were done on a basic simulated yard to see how the solutions would be implemented. The simulated yard is assumed to have a rectangular area with a total of 20 parallel lines, of length 200m. Hence the total area of this yard can be calculated by multiplying the length and width of the yard.

In order to estimate the width of the yard, certain assumptions were made:

- Track gauge = 1.435m;
- Standard spacing between two parallel tracks = 1.829m;
- Space between marshalling or sorting sidings = 2.134m.

Assuming 20 parallel lines the cumulative of all the tracks are; $20 \times 1.435\text{m} = 28.7\text{m}$.

There would be 19 sets of spacing between tracks in the yard, hence; $19 \times 1.829\text{m} = 34.75\text{m}$.

Additional sidings in either end of the yard, hence; $2 \times 2.134\text{m} = 4.27\text{m}$.

Therefore, an estimation of the total width of the yard is:

$28.7 + 34.75 + 4.27 = 67.72\text{m}$, which can be rounded up to 70m.

Hence, for the purposes of this discussion the simulated yard has:

- Length = 200m;
- Width = 70m;
- Area = $14,000 \text{ m}^2$.

5.2. Costing of “post-based” system

Each sensor on the “post-based” system has:

- Useful horizontal range = 5.5m;
- Useful vertical range = 78m, as the sensors oscillate they have the capability to scan;
- 39m in front and 39m backwards.

“Useful horizontal range” refers to the width of the track covered by each sensor, without the potential of creating a large blind spot. “Useful vertical range” refers to the he

to, per coprire questo scalo simulato, il costo totale stimato sarebbe di circa £237.375,87.

Anche se questo sembra un costo notevole, quando si considera il valore netto del settore e il reddito potenziale dovuto al miglioramento dell'efficienza, questa spesa può essere giustificata.

5.3. Calcolo del costo del sistema a terra

I sensori devono essere implementati solo sui binari, non nell'interbinario o tra altri fasci di smistamento. Ogni sensore copre una larghezza di 1,4 m e una lunghezza di 60 m, che equivale a un'area di 84 m². Per coprire un binario di 200 m di lunghezza il numero di sensori richiesti è stimato in: $200/60 = 3,333$ sensori. Pertanto, per coprire 20 binari di lunghezza 200: $20 \times 3,333 = 66,666$ sensori, che per facilità di calcolo possono essere arrotondati per eccesso a 67 sensori.

Se ogni sensore costa \$499,54, circa £387,39, per coprire l'intera area dei binari in questo scalo simulato, il costo sarebbe circa £25.949,10. Tale costo è considerevolmente più economico rispetto al sistema "post-based", tuttavia ricordiamo che, come accennato in precedenza, questo sistema non copre l'interbinario dello scalo.

Per coprire l'intero scalo usando solo i sensori dell'attuale ipotesi, sarebbe:

- L'area totale dello scalo simulato è: 14.000 m²
- Ogni sensore copre un'area di: 84m²
- $14.000/84 = 167$ sensori necessari per coprire l'intero scalo.

Pertanto, il costo totale necessario per coprire l'intero cantiere è di £64.694,13, che è ancora considerevolmente più economico del sistema "post-based", tuttavia va notato che il sistema al suolo è più soggetto a danni in quanto le locomotive, motori di manovra e vagoni viaggiano sui binari dello scalo, i sensori installati sui binari sono esposti all'interazione con il materiale rotabile, ostacoli e altri oggetti.

6. Conclusioni

Questo documento ha presentato una discussione sulle potenziali soluzioni per i sistemi di rilevamento degli ostacoli negli scali merci. Nello specifico, abbiamo esaminato i progetti alternativi di sistemi di rilevamento di ostacoli che possono essere implementati negli scali merci. Sono stati progettati e discussi un sistema "post-based" e un sistema a terra. Sono state studiate configurazioni alternative, tutte con diversi costi, per offrire una varietà di soluzioni. Tutte le soluzioni sono valutate attentamente e questo studio spiega le capacità di ciascuna soluzione e il modo in cui funzionerebbero. Si propone un progetto per un sistema di rilevamento ostacoli in un

length of the track covered by each sensor due to the oscillation of the sensors.

The number of sensors required to cover the entire yard is:

- $70/5.5 = 12.72$ - the number of sensors that needs to be placed horizontal across the width of the yard to cover the entire yard. It can be rounded down to 12 as the access width can be blind spots on the edges of the yard.
- $200/78 = 2.5$ - the number of modules that needs to be placed vertically in order to cover the entire length of the yard.

Each module has two sensors mounted on them, hence this simulated yard would require a total of 6.36 module placed across the yard and 2.5 sets of 6.36 modules placed along the length of the yard. Hence, a total of 15.9 modules are required.

Each sensor on a module is worth \$9,498, which is £7,365.65 and each stepper motor is worth £99.00. Since each module contains two sensors and two stepper motors each module is worth about £14,929.30. Therefore in order to cover this simulated yard, the estimated total cost would be around £237,375.87.

Even though this seems like a substantial cost, when considering the net value worth of the industry and the potential income due to the improved efficiency, this expenditure can be justified.

5.3. Costing of Ground-based System

Sensors are only to be implemented on the tracks, not the spacing between the tracks or the between other sidings. Each sensor covers a width of 1.4m and a length of 60m, which gives an area of 84m². To cover a track of 200m in length the number of sensors required is estimated to be: $200/60 = 3.333$ sensors. Therefore in order to cover 20 tracks of length 200: $20 \times 3.333 = 66.666$ sensors, which can be rounded up to 67 sensors for ease of calculation.

If each sensor costs \$499.54, which is around £387.39, then to cover the entire track area in this simulated yard, it would cost around £25,949.10. This cost is considerably cheaper than the "post-based" system, however let us recall that as mentioned earlier this system does not cover the space between the yard tracks.

In order to cover the entire yard using only the sensors under the current assumption, it would be:

- The total area of the simulated yard is: 14,000m²
- Each sensor covers an area of: 84m²
- $14,000/84 = 167$ sensors required to cover the entire yard.

Therefore, the total cost required for covering the entire yard comes to £64,694.13, which is still considerably cheaper than the "post-based" system, however it should be noted that the ground based system is more prone to damage as locomotives, shunting engines and wagons travel over the yard tracks, the sensors installed on the tracks are exposed to interaction with rolling stock, obstacles and other objects.

formato modulare per facilitare l'adattamento a qualsiasi classe di scalo merci.

Questo studio ha anche menzionato l'insorgenza di punti ciechi come un problema che richiede un'attenzione appropriata nel considerare i sistemi di rilevamento degli ostacoli. Affinché i sistemi di rilevamento degli ostacoli "post-based" riducano il verificarsi di punti ciechi, i sensori installati sui montanti devono essere distanziati intorno allo scalo in modo che gli intervalli di tutti i sensori vicini si sovrappongano l'uno con l'altro. Poiché questa soluzione potrebbe non essere soddisfacente, sembra opportuno considerare la progettazione e l'implementazione di un sistema di rilevamento ostacoli a terra in cui i sensori sono installati sui binari stessi dello scalo per monitorare lo spazio sotto il materiale rotabile e tra i binari ferroviari. Quindi, un sistema di rilevamento degli ostacoli pienamente efficace e molto più affidabile può essere ideato e implementato, quando si usano insieme un sistema a terra e un sistema "post-based".

7. Ulteriori sviluppi

Si suggerisce di sviluppare ulteriormente questo studio creando un modello CAD dettagliato delle soluzioni progettuali di rilevamento degli ostacoli presentate. I modelli CAD dettagliati potrebbero aiutare a creare un listino prezzi e una determinazione dei costi molto più dettagliati e realistici, con meno ipotesi. La creazione di tali modelli CAD aiuterebbe anche a determinare la stabilità strutturale delle strutture di sostegno e a raccogliere maggiori informazioni su di esse, come i momenti di inerzia e flettenti.

Inoltre, è possibile creare un piano su come la progettazione dei sistemi di rilevamento ostacoli può essere implementata in un vero e proprio impianto di scalo merci mondiale, rispetto a uno scalo simulato. Ciò presenterebbe una rappresentazione più precisa di come le soluzioni sviluppate potrebbero essere implementate. Questi piani d'implementazione possono essere ulteriormente testati implementando i modelli CAD in modelli di scali merci esistenti.

Infine, un prototipo di progetti di sistemi di rilevamento ostacoli per gli scali merci potrebbe essere potenzialmente creato e testato su un vero e proprio scalo merci mondiale, raccogliendo informazioni sulla precisione del sistema di rilevamento degli ostacoli registrando il numero di punti ciechi verificatisi. Ciò contribuirebbe a perfezionare ulteriormente il sistema di rilevamento degli ostacoli e aiuterebbe a trovare modi migliori per perfezionarne la precisione. Tale test potrebbe anche mostrare qualsiasi altra limitazione riguardante questo studio che non è stata ancora presa in considerazione.

6. Conclusions

This paper presented a discussion on potential solutions for obstacle detection systems in freight yards. Specifically we looked at alternative designs of obstacle detection systems that can be implemented in freight yards. A "post-based" systems and a ground-based system have been designed and discussed. Alternative configurations, all with different costings have been studied to offer a variety of solutions. All the solutions are evaluated carefully and this study explains the capabilities of each solution and how they would operate. An obstacle detection system design in a modular format is proposed to make it easier to adapt to any class of freight yard.

This study also mentioned the occurrence of blind-spots as a problem that requires rapt attention when considering obstacle detection systems. In order for "post-based" obstacle detection systems to reduce the occurrence of blind-spots, the sensors installed on the posts should be spaced out around the freight yard in a way that the ranges of all the neighbouring sensors overlap with each other. As this solution may not be satisfactory, then it appears to be advisable to consider the design and implementation a ground-based obstacle detection system in which the sensors are installed on the yard tracks themselves to monitor the space under the rolling stock and between the track rails. Hence, a fully effective and much more reliable obstacle detection system can be devised and implemented, when a ground-based system and a "post-based" system are used in conjunction.

7. Further developments

When it comes to further developments, it is suggested that this study should be further developed by creating a detailed CAD model of the obstacle detection design solutions presented. Detailed CAD models would aid in creating a much more detailed and realistic price and costing list, with less assumptions. Creating such CAD models would also aid in determining the structural stability of the support structures and to collect more information about them, such as mass and bending moments.

Furthermore, a plan can be created about how the obstacle detection systems design can be implemented into a real world freight yard facility, as opposed to a simulated yard. This would present a more accurate representation of how the solutions developed could be implemented. These implementation plans can then be further tested by implementing the CAD models into models of existing freight yards.

Finally, a prototype of obstacle detection system designs for freight yards could potentially be created and tested on a real world freight yard, collecting information regarding the accuracy of the obstacle detection system by recording the number of blind-spots occurred. This would help refine the obstacle detection system further and aid in finding better ways to improve its accuracy. Such testing could also show any other restrictions regarding this study that has not yet been considered.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] BOYSEN, N., FLIEDNER, M., JAEHN, F. & PESCH, E., 2012. Shunting yard operations: *Theoretical aspects and applications*. 220(1).
- [2] HE, S., SONG, R. & CHAUDHRY, S. S., 2000. *Fuzzy dispatching model and genetic algorithms for railyards*. European Journal of Operational Research, 124(2), pp. 307-331.
- [3] MARINOV M, VIEGAS J. 2009. *A simulation modelling methodology for evaluating flat-shunted yard operations*. Simulation Modelling Practice and Theory 2009, 17(6), 1106-1129.
- [4] MARINOV M, VIEGAS J. 2011a. *Analysis and Evaluation of Double Ended Flat-shunted Yard Performance Employing Two Yard Crews*. Journal of Transportation Engineering 2011a, 137(5), 319-326.
- [5] MARINOV MV, VIEGAS JM. 2011b. *Tactical management of rail freight transportation services: evaluation of yard performance*. Transportation Planning and Technology 2011b, 34(4), 363-387
- [6] MARINOV, M. & VIEGAS, J., 2011c. *A simulation modelling methodology for evaluating freight train operations in a rail network*. Simulation Modelling Practice and Theory, 17 April, pp. 1106-1129.
- [7] ABBOTT D, MARINOV M. *An Event Based Simulation Model to evaluate the Design of a Rail Interchange Yard, which provides Service to High Speed and Conventional Railways*. Simulation Modelling Practice and Theory 2015, 52, 15-39.
- [8] CAMTECH, 2010. DIGITAL AXLE COUNTER (SINGLE SECTION). [Online] Available at: <https://web.archive.org/web/20160303230007/http://122.252.243.98/Departments/snt/CAMTECH%20Notes/SS-DACPart%20A%20Introduction.pdf> [Accessed 31 May 2017].
- [9] LANDT, D. J., 2008. *RFID and Rail: Advanced Tracking Technology* [Interview] (17 March 2008).
- [10] GEBAUER, O., PREE, W. & STADLMANN, B., 2012. *Autonomously Driving Trains on Open Tracks – Concepts, System Architecture and Implementation Aspects*. Methods and Applications of Informatics and Information Technology, 54(6).
- [11] Ocean Service, n.d. What is LIDAR? [Online] Available at: <http://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html>, [Accessed 27 May 2017].
- [12] LIDAR UK, n.d. What is LiDAR? [Online] Available at: <http://www.lidar-uk.com/what-is-lidar/>, [Accessed 29 May 2017].
- [13] CN Utility Consulting, n.d. Remote Sensing, LiDAR and Precision GIS Field Surveys. [Online] Available at: <http://www.cnutility.com/services/lidar/> [Accessed 29 May 2017].
- [14] Teknikertv, 2014. *Obstacle detection system on railway tracks*. [Online] Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=JGw6QpYShgY>, [Accessed 31 May 2017].
- [15] Securisat, 2015. *Difference between Active Infrared (IR) Beam and Passive Infrared (PIR)*. [Online] Available at: <http://securisat.co.za/difference-active-infrared-ir-beam-passive-infrared-pir/>, [Accessed 31 May 2017].
- [16] Rfwireless-world, n.d. Active IR Sensor vs Passive IR Sensor-Difference between Active IR Sensor and Passive IR Sensor. [Online], Available at: <http://www.rfwireless-world.com/Terminology/Active-IR-Sensor-vs-Passive-IR-Sensor.html>, [Accessed 31 May 2017].
- [17] Unifore, 2012. *How the infrared beam sensor works?* [Online] Available at: <http://www.hkvstar.com/technology-news/how-the-infrared-beam-sensor-works.html>, [Accessed 31 May 2017].
- [18] Metropolia, 2014. *Infrared sensors*. [Online] Available at: <https://wiki.metropolia.fi/display/sensor/Infrared+sensors>, [Accessed 31 May 2017].
- [19] Hampshire City Council, 2010. Street Lighting Design Guide, Hampshire: Hampshire City Council.