

**ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BOLOGNA**

**CAMPUS DI CESENA
SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA
Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica e delle
Telecomunicazioni**

TESI DI LAUREA

in

Comunicazioni digitali e internet

**SISTEMI RFID PER APPLICAZIONI
CICLISTICHE**

Candidato:

BEATRICE BORGHETTI

Relatore:

Chiar.mo Prof. Ing.
DAVIDE DARDARI

Correlatori:

Dott. Ing.
ANNA GUERRA
Dott. Ing.
NICOLÒ DECARLI

SESSIONE UNICA

ANNO ACCADEMICO 2015-2016

Parole Chiave

Green Wave

RFID

LLRP

Tag

Inventory

Dedica

Alla mia famiglia...

Abbreviazioni

AI Antenna Inventory

EPC Electronic Product Code

FOV Field Of View

LLRP Low Level Reader Protocol

RFID Radio Frequency IDentification

RO Reader Operation

ROSpec Reader Operation Parameter Specification

RSSI Received Signal Strength Indicator

UHF Ultra High Frequency

Indice

1	Introduzione	3
1.1	Green Wave	4
2	Sistemi RFID	7
2.1	La tecnologia RFID	7
2.2	EPC Class 1/Generation 2	9
2.2.1	Tag RFID Generation 2	9
2.2.2	Sessioni	10
2.2.3	Q protocol	11
3	LLRP e sviluppo dell'applicazione	13
3.1	Il protocollo LLRP	13
3.2	Principali operazioni LLRP	14
3.3	Applicazione LLRP realizzata	15
4	Descrizione del set-up di misura	25
4.1	Reader	25
4.1.1	Antenne collegate al Reader	26
4.2	Tag utilizzati	28
5	Validazione sperimentale del sistema di rilevamento della velocità	31
5.1	Schema di principio del sistema RFID	31
5.2	Campagna di misure indoor	32
5.2.1	Set-up	32
5.2.2	Risultati	34
5.3	Campagna di misure outdoor	36

5.3.1	Obiettivi	36
5.3.2	Set-up	38
6	Risultati sperimentali	43
6.1	Considerazioni sui Tag e sul loro posizionamento	43
6.1.1	Comportamento di Tag diversi	43
6.1.2	Posizionamento dei Tag	44
6.2	Calcolo della velocità	45
6.2.1	Configurazione 1: algoritmi	46
6.2.2	Configurazione 2: algoritmo	52
6.2.3	Configurazioni 1 e 2 a confronto	55
6.3	Sistema realizzato applicato ad un contesto di Green Wave . .	57
7	Conclusioni e sviluppi futuri	63
A	Contenuto del CD-ROM allegato	65
B	Specifiche delle Antenne	67
	Bibliografia	77

Sommario

In questo lavoro di tesi è stato realizzato e caratterizzato un sistema RFID che permette di rilevare e stimare la velocità di passaggio di biciclette lungo un percorso in cui si intende creare una “Green Wave”, ovvero una corsia dedicata ai ciclisti che permette a chi la percorre di trovare sempre semafori verdi, senza quindi avere la necessità di fermarsi. Questa tesi affronta tematiche ispirate al progetto europeo XCYCLE volto a potenziare la sicurezza dei ciclisti.

Un sistema RFID è formato da un ricetrasmittitore (Reader) in grado di interrogare e rilevare trasponder a radiofrequenza di piccole dimensioni (Tag), e da un sistema informativo collegato al Reader che permette di gestire i dati contenuti nei Tag (Client). Nel caso di questa specifica applicazione si è scelto di utilizzare due antenne collegate al Reader, poste ad una data distanza lungo la pista ciclabile, e si sono posizionati i Tag sulle biciclette che la percorrono con lo scopo di rilevare le loro direzioni e velocità.

Il Client comunica con il Reader tramite un protocollo standard detto LLRP; è stato quindi creato un software apposito che si occupa, tramite scambio di pacchetti LLRP, di stabilire una connessione con il Reader e interrogarlo per conoscere informazioni sui Tag rilevati, come ad esempio l'identificativo, l'istante di lettura e la potenza con cui si è ricevuto il segnale.

Sono state fatte delle prime misure relative alle antenne e ai Tag disponibili cercando di stimare la copertura in relazione alla direzione in cui venivano posti i Tag rispetto alle antenne del Reader e alla loro distanza massima. Una volta caratterizzato il sistema, si sono svolte attività sperimentali per stabilirne le performance in termini di accuratezza nella stima della velocità: sono stati collocati su una bicicletta più Tag di vario tipo e in posizioni diverse, sono state disposte le antenne lungo la pista riservata al transito delle biciclette e, usando il software precedentemente creato, si sono registrati i

dati mentre la bicicletta veniva guidata nel tratto di strada. Infine sono stati testati e valutati diversi algoritmi che, in base a questi dati raccolti, stimano la velocità di percorrenza di ogni Tag e quindi della bicicletta su cui sono stati applicati.

Capitolo 1

Introduzione

L'obiettivo della tesi in oggetto è quello di proporre e testare un sistema basato sulla tecnologia Radio Frequency IDentification (RFID) in grado di stimare la velocità delle biciclette per realizzare applicazioni come la “Green Wave” [1]. Le tematiche affrontate sono state ispirate dal progetto europeo XCYCLE [2]. Tale progetto è volto a migliorare la sicurezza della mobilità ciclistica e fa parte del programma europeo di finanziamento Horizon 2020, dedicato alla ricerca ed all'innovazione.

XCYCLE è coordinato dal Dipartimento di Psicologia dell'Università di Bologna che si avvale della collaborazione con imprese, centri di ricerca ed università in cinque diversi paesi, sfruttando competenze multidisciplinari quali lo studio del comportamento umano, delle tecnologie e delle infrastrutture. Il Dipartimento di Ingegneria dell'Energia Elettrica e dell'Informazione Guglielmo Marconi (DEI) fa parte del consorzio e si occupa principalmente di realizzare il sistema on-bike, ovvero il sistema che sarà applicato alle biciclette per permetterne il tracciamento e la comunicazione di eventuali pericoli stradali, come ad esempio possibili situazioni di collisione.

Studi svolti negli ultimi anni dall'ETSC (European Transport Safety Council) mostrano come i ciclisti siano maggiormente esposti al rischio di essere coinvolti in incidenti gravi rispetto agli altri attori della strada. Sono stati fatti grandi passi avanti per la sicurezza sulle strade grazie alle tecnologie automobilistiche sempre più all'avanguardia e ciò ha portato ad un calo generale dei sinistri, ma al contrario in ambito ciclistico in molti stati europei il numero di incidenti rimane stabile o aumenta. Dalle statistiche si rileva anche che la maggior parte degli infortuni gravi sono conseguenza di scontri

tra bici e mezzi a motore, in buona parte veicoli pesanti e, secondo l'European Road Safety Observatory, un'alta percentuale si verifica proprio nelle zone urbane e in particolare in prossimità degli incroci rispetto agli incidenti che coinvolgono veicoli a motore o pedoni.

Gli obiettivi del progetto quindi sono: migliorare sensibilmente la sicurezza dei ciclisti analizzando, in particolare, il rischio di collisione con auto e mezzi pesanti e realizzare strumenti tecnologici alla portata di tutti che permettano alle bici di essere rilevate nel traffico, come già avviene per altri mezzi. Si vuole anche valutare come incentivare l'uso delle tecnologie utili alla sicurezza, per questo si vogliono offrire ulteriori servizi. In questo contesto rientra la realizzazione di Green Wave, che permettendo al ciclista di essere avvantaggiato nel traffico cittadino lo invoglierà a dotarsi del sistema di rilevamento necessario, lo stesso che serve anche per fini di sicurezza.

Tramite XCYCLE si vogliono perciò testare diverse tecnologie da inserire in veicoli a motore, bici e infrastrutture, senza però tralasciare l'aspetto del comportamento umano di chi vi deve interagire. Prendiamo per esempio un apparecchio con monitor che mostra i mezzi circostanti o un allarme che avverte della presenza di mezzi vicini: è opportuno valutare se ciò dia seguito, come auspicato, ad una condotta più prudente da parte dell'utente o al contrario ad un atteggiamento di distrazione o di panico. Dati questi obiettivi di più ampio respiro, la tesi che ho svolto si è posta come fine ultimo quello di sviluppare un sistema basato su tecnologie RFID in grado di agevolare i ciclisti e in base a questo dato permettere la realizzazione di applicazioni Green Wave in grado di ridurre l'attesa ai semafori, diminuire il loro tempo di viaggio e disincentivare l'infrazione di "passare col rosso".

1.1 Green Wave

Abbiamo visto che uno degli obiettivi di XCYCLE è quello di ridurre il tempo di attesa ai semafori per i ciclisti; in particolare si punta a realizzare percorsi Green Wave nelle corsie a loro dedicate.

Una Green Wave è costituita da una serie di semafori che permettono all'utente della corsia di trovare la via sempre libera agli incroci. Questa soluzione non riguarda solo la mobilità ciclistica, infatti possono essere realizzate anche per altri utenti della strada come ad esempio gli automobilisti.

Questo ha permesso di creare “onde” di veicoli che si muovono a velocità costante moderando la necessità di frenata e accelerazione con conseguente riduzione di emissioni nocive e spreco di carburante.

Nel caso delle biciclette ovviamente la diminuzione dell’inquinamento da gas di scarico non è conseguenza diretta ma comunque, oltre all’obiettivo di ridurre, per chi già utilizza abitualmente la bici, la possibilità di incidenti in zone critiche come gli incroci, la speranza è anche quella di disincentivare l’uso di veicoli a motore a favore delle due ruote. Infatti, soprattutto nel caso delle grandi città, lo stesso percorso potrà rivelarsi più veloce in bicicletta che in auto. Ma con l’aspettativa di avere un numero maggiore di ciclisti possiamo presumere che aumenti il numero di incidenti, il che a sua volta richiede la necessità di nuovi strumenti per la sicurezza. Da notare inoltre che se possiamo ipotizzare un calo dell’uso di auto ciò non varrà anche per i mezzi pesanti che sappiamo essere causa di una buona parte di incidenti gravi a discapito dei ciclisti.

Altro aspetto da considerare è che questo sistema fa in modo che si creino gruppi di ciclisti sul percorso che procedono alla stessa velocità, senza la necessità di accelerare per raggiungere il verde del semaforo o arrivare prima a destinazione. Questo è un vantaggio sia per il comfort del guidatore sia nuovamente in termini di sicurezza perché accelerare nei pressi dell’incrocio può portare disattenzione.

Le corsie ciclabili Green Wave non sono esattamente una novità, in diverse grandi città quali Amsterdam, Copenhagen e San Francisco sono già state realizzate. Quasi la totalità di queste installazioni è di tipo statico, ovvero il sistema fa sì che i semafori siano verdi secondo una certa sequenza prestabilita, in modo che i ciclisti che percorrono la strada ad una velocità costante (tra i 15 e i 21 km/h a seconda della città) godano della Green Wave [1] [3]. In particolare a Copenaghen sono stati installati, ai bordi delle corsie dedicate, degli appositi indicatori luminosi che creano un fascio di luce che il ciclista deve seguire per mantenere la velocità costante e trovare tutti i semafori verdi. Funzionando in un solo senso favorisce il senso dei ciclisti che raggiungono il centro della città dalle zone limitrofe nella prima parte della giornata, il viceversa nella seconda parte.

Un altro modo di realizzare una Green Wave è quello dinamico dove i semafori reagiscono come conseguenza del rilevamento del passaggio di ci-

clisti, quindi non sono più questi ultimi che si devono adattare alla velocità dell'onda ma è l'infrastruttura stessa che si adatta a loro.

Il lavoro di questa tesi consiste nel testare la tecnologia RFID come mezzo per rilevare i ciclisti nel contesto di una Green Wave dinamica.

Capitolo 2

Sistemi RFID

2.1 La tecnologia RFID

L'acronimo RFID sta ad indicare la funzione di identificazione attraverso una trasmissione a radio frequenza. L'identificazione implica l'assegnazione di un'identità univoca ad un oggetto che consenta di distinguerlo in modo non ambiguo [4].

Un sistema RFID è formato da un ricetrasmittitore (Reader) in grado di interrogare e rilevare trasponder a radiofrequenza di piccole dimensioni (Tag), e da un sistema informativo collegato al Reader che permette di gestire i dati contenuti nei Tag (Client).

I Tag sono formati da un chip collegato ad un'antenna e sono in grado di memorizzare informazioni riguardanti l'oggetto a cui sono applicati. Possono essere classificati in base al modo in cui vengono alimentati come:

- Passivi: ricavano energia dal segnale proveniente dal Reader, modulandolo e reirradiandolo tramite accoppiamento elettromagnetico (back-scattering). Sono la tipologia maggiormente diffusa.
- Attivi: alimentati da batterie, possono raggiungere distanze operative maggiori rispetto ai passivi e contengono memorie di dimensioni notevoli.
- Semi-passivi: dotati di batteria che alimenta solo il microchip o apparati ausiliari (sensori), ma in trasmissione si comportano come Tag passivi.



Figura 2.1: Esempi di Tag passivi

Esistono diverse bande operative designate per sistemi RFID, le principali sono:

- LF ed in particolare la sottobanda 120-145 kHz;
- HF, la sottobanda centratata su 13,56 MHz;
- UHF, le sottobande 865-870 MHz in Europa, 902-928 MHz in USA, 950 MHz in Asia;
- UHF, la sottobanda centrata su 2,4 GHz.

In particolare in questa tesi abbiamo utilizzato un sistema RFID basato su tecnologia Ultra High Frequency (UHF) come sarà dettagliato meglio nel seguito.

Per la comunicazione fra Reader, Tag e Client è sorta la necessità di creare protocolli standard, che permettano il funzionamento anche con componenti di produttori diversi in modo da facilitare la diffusione della tecnologia RFID:

- La comunicazione tra Tag e Reader è definita dall'air protocol. Tra questi il più diffuso è EPC Class 1/Generation 2;
- Per la comunicazione tra Reader e sistema informativo è stato definito il protocollo standard Low Level Reader Protocol (LLRP).

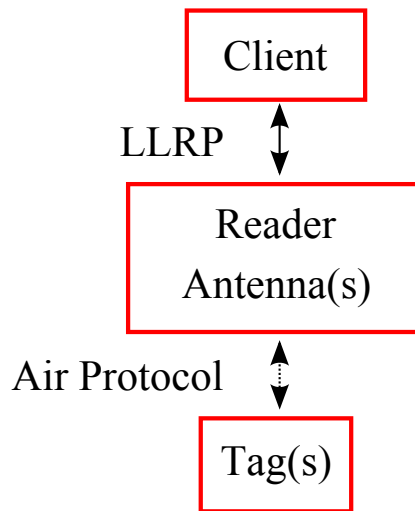


Figura 2.2: Protocolli di trasmissione in un sistema RFID

La tecnologia RFID è ampiamente utilizzata in varie applicazioni come la tracciabilità dei prodotti, tessere e documenti elettronici, etichette impiantate in animali domestici e da allevamento, ecc.

2.2 EPC Class 1/Generation 2

EPCglobal Class 1 Generation 2 UHF Air Interface Protocol (o più semplicemente EPC Gen2) stabilisce i requisiti fisici e logici per un sistema RFID operante in banda 860-960 MHz [5]. Emesso da EPCglobal nel 2004, è successivamente stato recepito dall'ISO diventando uno standard in diversi settori. La frequenza utilizzata permette di avere distanze operative superiori ai tre metri, maggiori rispetto alle bande LF e HF.

EPC Gen2 descrive le caratteristiche costruttive di Tag e Reader e definisce procedure, comandi, modulazioni e gestione delle collisioni con lo scopo di rendere il sistema RFID più efficiente e affidabile.

2.2.1 Tag RFID Generation 2

I Tag UHF EPC Gen2 sono passivi, pensati per essere economici, di piccole dimensioni, con lunghi tempi di vita e quindi destinati a diffusione pervasiva. La loro memoria è ripartita in quattro parti:

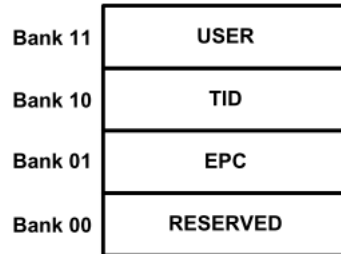


Figura 2.3: Mappa della memoria di un Tag RFID Gen2

- Memoria riservata: può contenere le password per le funzioni “kill”, che permette di rendere il Tag permanentemente inutilizzabile, e “access”, per accedere alla memoria del Tag.
- Electronic Product Code (EPC): informazione principale del Tag per identificare univocamente l’oggetto su cui è posto, formata da una stringa di almeno 96 bit riscrivibile.
- TID: memoria di tipo read-only, contiene le informazioni che identificano produttore e modello del Tag.
- Memoria destinata all’utente, opzionale.

2.2.2 Sessioni

Come vedremo, l’operazione fondamentale che compie il Reader è quella di inventory che consiste nel rilevare i Tag presenti nella Field Of View (FOV) delle antenne leggendone gli EPC. RFID Gen2 definisce 4 differenti sessioni per l’inventory da parte del Reader, principalmente per due motivi:

- Permettere a più Reader di effettuare l’interrogazione su un Tag contemporaneamente;
- Specificare dopo quanto tempo il Tag già interrogato risponderà nuovamente allo stesso Reader.

Per ogni sessione ogni Tag ha un flag di stato impostato su A (default state) o B (inventoried state). Normalmente durante l'inventario i Tag in stato A vengono interrogati e passano allo stato B in cui rimangono per un certo intervallo di tempo smettendo di rispondere al Reader. Essendo gli stati vincolati alla sessione, diversi Reader che operano in differenti sessioni non interferiscono fra loro.

Le sessioni sono così definite:

- **S0**: definisce che il Tag torni allo stato A ogni volta che viene inventariato. Lavorare in questa sessione è ottimale quando vogliamo leggere più volte lo stesso Tag, al contrario è poco efficiente quando abbiamo una numerosa popolazione di Tag.
- **S1**: il Tag rimane nello stato B per massimo cinque secondi. Lo stesso Tag verrà perciò letto meno volte rispetto al caso precedente.
- **S2** e **S3**: il Tag deve rimanere nello stato B per almeno 2 secondi. Queste sessioni sono ottimali in un ambiente con molti Tag.

2.2.3 Q protocol

Per la gestione delle collisioni viene usato un protocollo di tipo "slotted Aloha", detto Q protocol, che regola la probabilità di risposta dei Tag. Il Reader comanda ai Tag di generare un valore pseudo-casuale, da salvare in uno "slot counter". I Tag, sempre in seguito ai comandi del Reader, decrementano questo valore e rispondono al Reader solo quando il loro slot raggiunge il valore 0.

Capitolo 3

LLRP e sviluppo dell'applicazione

3.1 Il protocollo LLRP

LLRP è il protocollo standard di interazione fra Client e Reader, definito da EPCglobal [6]. Fornisce dunque un'interfaccia con funzionalità di basso livello comune a Reader di produttori diversi.

Le principali funzionalità che LLRP fornisce sono:

- Possibilità di leggere il codice EPC ed altri dati contenuti nel Tag, scrivere dati nel Tag ed eseguire altri comandi, come quelli descritti da EPC Gen2;
- Capacità di gestire gli errori che si possono generare durante l'accesso al Tag;
- Capacità di eseguire comandi che richiedono l'uso di password (come "kill" e "lock" di EPC Gen2);
- Capacità di regolare la potenza RF e l'utilizzo dello spettro del Reader;
- Possibilità di aggiungere supporto per nuovi air protocols;
- Possibilità di conoscere le funzioni consentite dal Reader;
- Possibilità di definire estensioni al protocollo specifiche per i produttori, facendo in modo che non interferiscano con quelle di altri produttori.

tocol, ecc. Possono essere definite più AI con parametri diversi che verranno eseguite in successione.

- RF Survey: Si possono stabilire criteri come la frequenza iniziale e finale a cui viene fatta l'inVENTORY.

Si deve definire una Reader Operation Parameter Specification (ROSpec) che definisce i parametri per la RO e comprende almeno una Spec (parameter specification for an operation), che può essere di tipo AISpec o RFSurveySpec. Nella ROSpec sono contenute anche le istruzioni per generare i report, ovvero in che modo o a seguito di quale evento il Reader deve comunicare al Client le informazioni sui Tag raccolte, a seguito di operazioni di inventory o survey.

- Access Operations: Sono le operazioni di accesso ad un singolo Tag, come scrivere o leggere particolari informazioni diverse dall'EPC. Analogamente al caso precedente sono descritte da AccessSpec che deve indicare il Tag su cui si vuole svolgere l'operazione (TagSpec), il tipo di operazione (OpSpec) e può contenere altre informazioni come quelle riguardanti i report.

3.3 Applicazione LLRP realizzata

La parte fondamentale dell'applicazione realizzata per questa tesi riguarda l'operazione di inventory. Lo scopo è cercare di conoscere i Tag di tutte le biciclette che passano e di farlo con maggiore frequenza di lettura possibile. Questo perché, nell'operazione di inventory, il Reader è in grado di comunicare l'ID dell'antenna da cui è stato visto il Tag, l'istante in cui è stato letto e la potenza del segnale ricevuto, ma non abbiamo modo di conoscere direttamente la posizione del Tag all'interno della FOV dell'antenna.

Ciò è stato realizzato fissando gli appropriati parametri LLRP, che danno la possibilità di adattare il modo in cui viene effettuata l'inVENTORY a seconda dell'applicazione specifica che vogliamo creare. Ci sono casi in cui leggere lo stesso Tag più volte non è necessario, pensiamo per esempio ad un sistema in cui voglio usare la tecnologia RFID per leggere tutti gli articoli all'interno di un carrello della spesa, sostituendo i codici a barre dei prodotti con

Tag RFID. In questo caso la priorità sarà leggere tutti i Tag in tempi relativamente brevi, cercando perciò di evitare il più possibile le collisioni nel momento dell'inventario. In questo caso vorremo impostare la sessione S2 o S3 (vedi paragrafo 2.2.2) mentre, nel caso della nostra applicazione possiamo impostare S0 perché possiamo supporre che in una classica pista ciclabile il numero di biciclette che possono passare nella FOV dell'antenna non sia elevato, e rilevare il loro passaggio in più istanti possibili è fondamentale per cercare di individuare la posizione della bicicletta per gli algoritmi che calcoleranno la velocità.

Avendo a disposizione un Reader del produttore Impinj sono state sfruttate alcune funzionalità custom:

- **DUAL TARGET:** Abbiamo visto che nelle sessioni di inventory S1, S2 e S3 i Tag in stato B non rispondono all'interrogazione, questo funzionamento è detto Single Target. Impinj fornisce un'ulteriore modalità in cui il Reader legge anche i Tag in stato B, riportandoli poi allo stato A (Dual Target) e fornendo così un numero di letture molto alto.

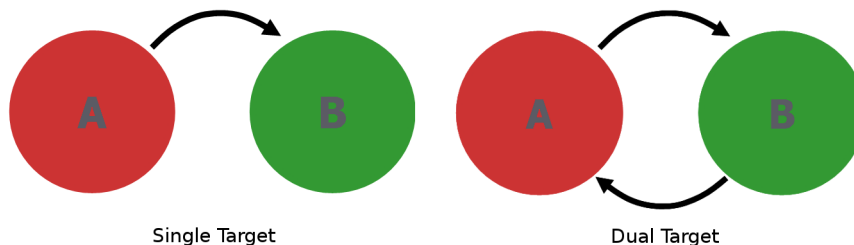


Figura 3.2: Impinj Dual Target [8]

- Possibilità di lettura della fase durante l'inventario: quando il Reader invia il report di un Tag specifica anche la fase del segnale rilevato. Ci sono studi che mostrano come questo parametro possa essere utile per determinare la posizione da cui proviene il segnale [9]; questo metodo non è stato usato nel corso di questa tesi ma la lettura della fase è comunque stata inserita nell'applicazione in previsione di sviluppi futuri.

Per sviluppare il software si è sfruttato un toolkit java (SourceForge.net, llrp-toolkit) che implementa i messaggi, i parametri e i tipi di dato LLRP,

rendendo il lavoro ovviamente più semplice e immediato rispetto alla creazione di pacchetti binari. Avviando l'applicazione appare un'interfaccia grafica dove l'utente può far partire o fermare l'operazione di inventory e settare alcuni dei parametri necessari (Figura 3.4).

Di seguito riportiamo per step i principali messaggi (riportati in maiuscolo) scambiati fra Client e Reader e alcuni parametri e campi (indicati in *italico*) impostati o ricevuti degni di nota.¹

Nel seguito si useranno le abbreviazioni:

CtR: Client to Reader, ovvero pacchetti creati dal software e spediti al Reader.

RtC: Reader to Client, ovvero pacchetti ricevuti dal Reader e interpretati dal software.

1. Viene creata la connessione tramite indirizzo IP del Reader e porta di default 5084. Il Client resta in attesa di un messaggio di avvenuta connessione.
2. RtC: `READER_EVENT_NOTIFICATION` è un messaggio che notifica l'avvenuta connessione. Se l'operazione avviene con successo restituisce l'evento *Success* altrimenti *Failed*.
3. CtR: `GET_READER_CAPABILITIES` è una richiesta inoltrata al Reader di fornire le sue caratteristiche.
4. RtC: `GET_READER_CAPABILITIES_RESPONSE` indica quali sono le funzioni che può eseguire il Reader, che saranno diverse a seconda di marca e modello. Qui controlliamo se il Reader è di marca Impinj: in caso affermativo vengono abilitate le estensioni custom, viene restituita l'informazione della fase alla lettura del Tag e viene data la possibilità di fare l'inventory in modalità Dual Target.
5. CtR: `SET_READER_CONFIG` permette di settare le impostazioni di base del Reader.
6. RtC: `SET_READER_CONFIG_RESPONSE` indica l'esito positivo alla richiesta.

¹L'annidamento dei parametri non è riportato in maniera strettamente rigorosa per semplificare la lettura.

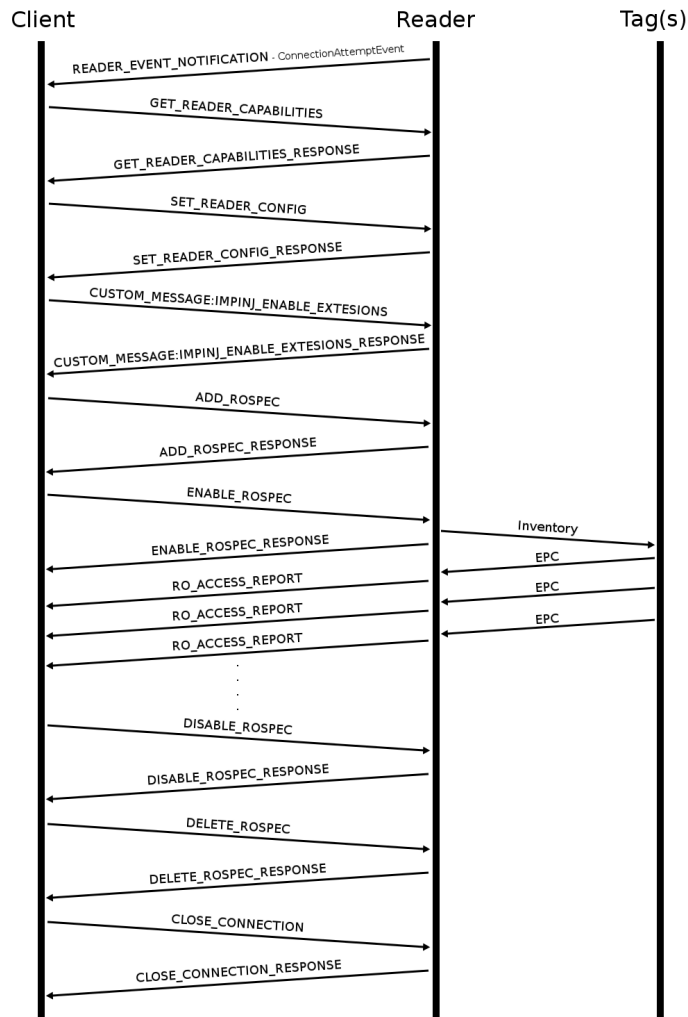


Figura 3.3: Applicazione LLRP XCYCLE: messaggi scambiati

7. CtR: CUSTOM_MESSAGE:IMPINJ_ENABLE_EXTENSIONS permette di abilitare le funzionalità custom del Reader Impinj.
8. RtC: CUSTOM_MESSAGE:IMPINJ_ENABLE_EXTENSIONS_RESPONSE ritorna lo stato di successo (o insuccesso).

9. CtR: ADD_ROSPEC aggiunge una ROSpec al Reader.

La ROSpec contiene i parametri:

- *ROSpecState:Disabled*, il ROSpec deve essere inizialmente disabilitato secondo lo standard;
- *ROSpecStartTriggerType:Immediate*, il ROSpec viene immediatamente avviato. Un'impostazione diversa di questo parametro richiederebbe un ulteriore messaggio di tipo START_ROSPEC da parte del Client;
- *ROSpecStopTriggerType:Null*, si ferma al termine di tutte le altre **Spec!** o col comando STOP_ROSPEC da parte del Client;
- *AISpec* che a sua volta contiene:
 - *AISpecStopTrigger:Null*, si ferma al termine della ROSpec
 - *AntennaIDs* di tipo Short Array, indica quali antenne attivare per effettuare l'inventario; nel nostro caso si possono scegliere tramite interfaccia grafica fino a quattro antenne.
 - *AirProtocolInventoryCommandSettings:C1G2InventoryCommand* viene impostato EPC Class 1/Generation 2 come set di comandi Air Protocol.

C1G2InventoryCommand a sua volta contiene:

- * *C1G2SingulationControl* contiene i parametri per gestire l'operazione di singulation:
 - *SingulationSession* di tipo Integer, si possono inserire i valori 0, 1, 2, 3 corrispondenti alle sessioni S0, S1, S2, S3.
 - *SingulationTagPopulation* presenta la stima del numero di Tag che ci aspettiamo di avere nella FOV dell'antenna. Assieme al parametro sotto contribuisce a rendere l'inventario più efficiente.
 - *SingulationTagTransitTime* contiene la stima del tempo in cui il Tag rimane nella FOV dell'antenna in millisecondi.

- * *Custom: DualTargetMode* abilita il metodo custom di Impinj per la modalità Dual Target
 I precedenti parametri (*SingulationSession*, *SingulationTagPopulation*, *SingulationTagTransitTime*, *Custom: DualTargetMode*) possono essere modificati tramite interfaccia grafica, in modo che l'utente possa adattarli alla popolazione di Tag (e quindi di ciclisti) stimata, alla percorrenza media e al Reader a disposizione (Figura 3.4).
- * *RFTransmitter: Power* viene impostata la potenza trasmessa all'antenna, da un minimo di 10dBm a un massimo di 30dBm. Si è scelto di poter modificare questo valore tramite interfaccia grafica per tener conto dell'eventualità in cui il segnale di un'antenna possa arrivare troppo lontano raggiungendo una seconda corsia ciclabile e raccogliendo quindi dati errati.
- * *ROReportSpec* qui definiamo la modalità in cui il Reader genererà i report di informazioni sui Tag rilevati (*TagReport*):
 - *ROReportTriggerType: Upon_N_Tags_Or_End_Of_ROSpec* il report verrà inviato ogni N Tag letti, dove abbiamo impostato N pari a 1.
- * *Custom* parametro custom in cui, nella parte data, viene inserita una stringa esadecimale che corrisponde alla codifica binaria per abilitare la ricezione della fase.
- * *TagReportContentSelector* indica quali sono i dati che vogliamo ricevere o meno in un *TagReport*, ogni bit di questo parametro rappresenta una certa informazione, setteremo a 1 i bit corrispondenti a ciò che vogliamo ricevere. In questo caso sono:
 - *EnableAntennaID* ovvero il numero identificativo dell'antenna che ha rilevato il Tag tra quelle attive
 - *FirstSeenTimestamp* l'istante di rilevamento del Tag secondo lo standard UTC, fornito dal clock del Reader
 - *PeakRSSI* la potenza del segnale radio ricevuto: Received Signal Strength Indicator (RSSI)

10. RtC: ADD_ROSPEC_RESPONSE segnala l'esito positivo (o negativo) della richiesta precedente.

11. CtR: ENABLE_ROSPEC è la richiesta di abilitare il ROSpec creato, facendo partire l'operazione di inventory.
 12. RtC: ENABLE_ROSPEC_RESPONSE ritorna lo stato di successo (o insuccesso).
 13. RtC: RO_ACCESS_REPORT fornisce le informazioni sui Tag rilevati. In questo caso avremo un messaggio di questo tipo per ogni Tag letto e conterrà:
 - *EPC*
 - *AntennaID*
 - *FirstSeenTimestamp*
 - *PeakRSSI*
 - *Phase*, la fase viene restituita solo in caso di Reader Impinj
- Messaggi di tipo RO_ACCESS_REPORT continuano ad essere inviati dal Reader per ogni Tag rilevato.
14. CtR: DISABLE_ROSPEC interrompe l'invio di RO_ACCESS_REPORT. Questo messaggio viene generato nel momento in cui l'utente interrompe l'inventory tramite interfaccia grafica. Il ROSpec passa allo stato disabilitato.
 15. RtC: DISABLE_ROSPEC_RESPONSE ritorna lo stato di successo (o insuccesso).
 16. CtR: DELETE_ROSPEC elimina il ROSpec
 17. RtC: DELETE_ROSPEC_RESPONSE ritorna lo stato di successo (o insuccesso).
 18. CtR: CLOSE_CONNECTION è la richiesta di poter chiudere la connessione. Il Client resta in attesa della risposta prima di effettuare la chiusura.
 19. RtC: CLOSE_CONNECTION_RESPONSE ritorna lo stato di successo (o insuccesso) e chiude la connessione.

Riguardo alla sessione di inventory per un funzionamento ottimale sceglieremo di impostare o S0 o una qualsiasi delle altre sessioni con Dual Target abilitato a seconda del Reader a disposizione e della presenza o meno di altri Reader nelle vicinanze.

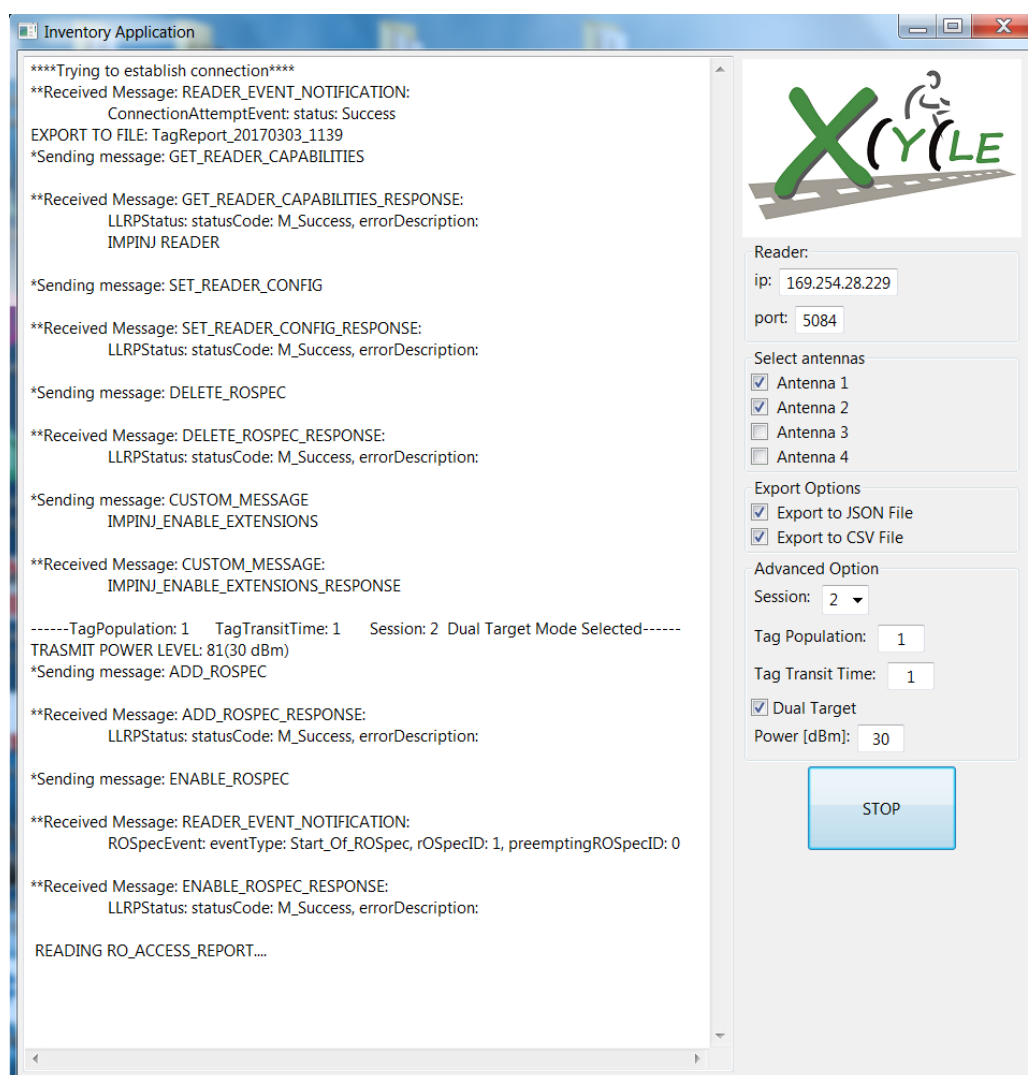


Figura 3.4: Applicazione LLRP realizzata: interfaccia grafica

Capitolo 4

Descrizione del set-up di misura

4.1 Reader

Per realizzare il sistema RFID abbiamo utilizzato il Reader Speedway R420 di Impinj, certificato per lo standard UHF Gen2. Tale Reader è dotato di quattro connettori RP-TCN per le antenne ma è possibile gestirne fino a 32 tramite hub. Il Client viene collegato tramite porta ethernet. Supporta il protocollo LLRP ed è in grado di fornire una potenza da 10 a 30 dBm.



Figura 4.1: Impinj Speedway Reader

4.1.1 Antenne collegate al Reader

Le antenne collegate al Reader che abbiamo considerato sono le seguenti (le specifiche delle antenne sono riportate in Appendice B):

- DLT3-868, MobileMark: guadagno massimo 3dBi, VSWR massimo: 2:1 over band, potenza massima: 10 Watts, beamwidth: 60°elevation, 60°azimuth (vedi figure 4.2, 4.3).



Figura 4.2: Antenna DLT3-868

DLT3-868

Dual Polarity Patch Antenna (Tape Mount)
EU RFID, 3 dBi, 865-870 MHz

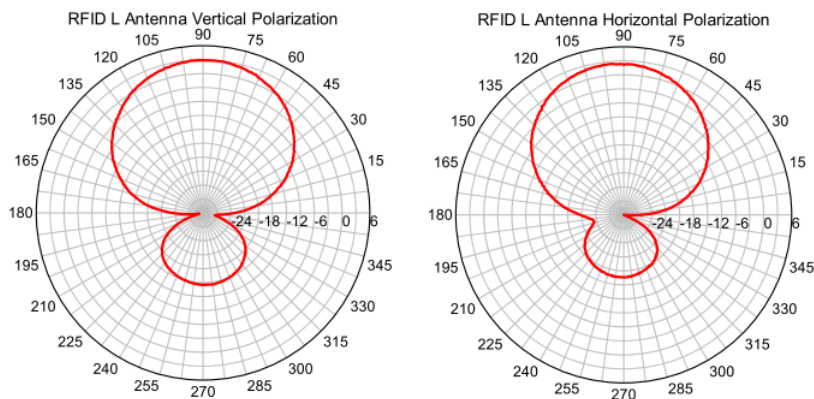


Figura 4.3: Diagramma di radiazione dell'antenna DLT3-868

- PN6-868R\LCP, MobileMark: guadagno massimo: 5.5 dBi, VSWR massimo: 2:1 over range, potenza massima: 10 Watts, beamwidth: 80°elevation, 80°azimuth (vedi figura 4.4).



Figura 4.4: Antenna PN6-868RCP

- S8658PL\RJ, Laird: guadagno 8.5 dBic, VSWR massimo 1.5:1, Potenza massima: 10 Watts, 3dB beamwidth: 70°azimuth (vedi figure 4.5, 4.6).



Figura 4.5: Antenna S8658PL\RJ

S8658PL S8658PR
Circular Polarity RFID Panel Antenna

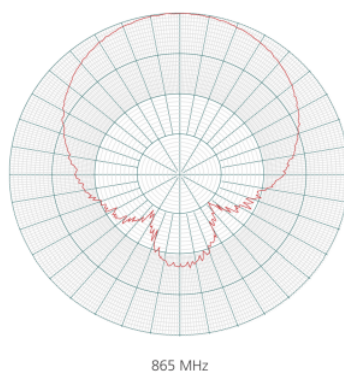


Figura 4.6: Diagramma di radiazione dell'antenna S8658PL\R

4.2 Tag utilizzati

I Tag classici riducono notevolmente la loro capacità di funzionamento in prossimità dei metalli, il che è un problema rilevante nel caso di questa applicazione essendo le biciclette composte per la maggior parte di metallo. Ci sono però particolari Tag che riescono a funzionare ottimamente anche se applicati su oggetti metallici, avendo però lo svantaggio di essere più costosi. Abbiamo deciso di testare entrambe le tipologie di Tag con l'accortezza di sistemare i Tag classici sul caschetto del ciclista o in altri punti non troppo prossimi a metalli.

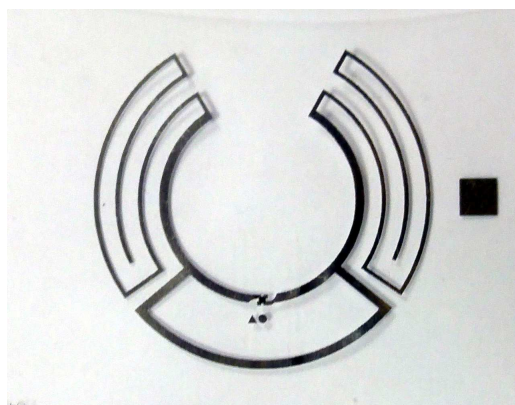


Figura 4.7: Tag più comune, che non funziona a contatto con metalli



Figura 4.8: Tag in grado di lavorare a contatto con metalli

Le antenne dei Tag RFID hanno spesso forme complesse che non permettono una semplice analisi del loro funzionamento e, non avendo a disposizione i diagrammi di radiazione, ci siamo limitati a studiare il loro comportamento in base al loro rilevamento da parte del Reader. Abbiamo potuto osservare che, nonostante le dimensioni simili dei Tag, la distanza operativa a parità di

potenza emessa dalle antenne del Reader è considerevolmente diversa, come sarà mostrato nel Capitolo 5.

Per le misure sono stati usati i Tag mostrati nelle seguenti figure, che chiameremo E41 (4.9), E51(4.10), Tag blu(4.11), Tag nero(4.12).



Figura 4.9: Tag E41



Figura 4.10: Tag E51



Figura 4.11: Tag blu



Figura 4.12: Tag nero

Capitolo 5

Validazione sperimentale del sistema di rilevamento della velocità

5.1 Schema di principio del sistema RFID

Il sistema RFID complessivo utilizzato per questa tesi è composto da un Reader collegato al Client tramite cavo ethernet e collegato a due antenne tramite cavi coassiali. I Tag sono posti sulle biciclette, passando davanti a queste antenne ricevono un segnale in banda UHF e sono in grado di rispondere modulando il segnale.

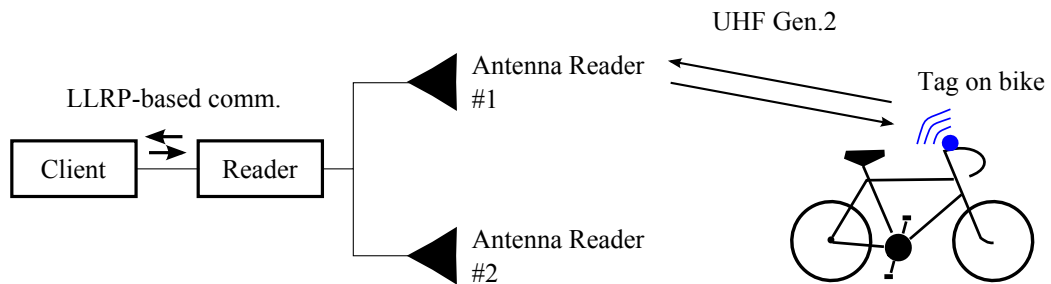


Figura 5.1: Set-up del sistema RFID

5.2 Campagna di misure indoor

Prima di poter fare le sperimentazioni outdoor ci siamo posti il problema di capire quali antenne tra quelle a disposizione fossero più adatte per i test in base al loro diagramma di radiazione e capacità di copertura. Abbiamo quindi effettuato misure indoor per una valutazione qualitativa delle distanze operative per le tre tipologie di antenne considerando vari Tag.

5.2.1 Set-up

In uno spazio ampio si è posizionata la prima antenna ad un lato della stanza collegandola al Reader; per fare in modo che antenna e Tag fossero alla stessa altezza sono stati posti su piedistalli. Si sono marcate le distanze di 0.5, 1, 2, 3, 4 metri sulla direzione di massimo dell'antenna e per ognuna di esse si è visto fino a che distanza laterale i Tag venivano rilevati tramite l'applicazione sviluppata. Lo stesso procedimento si è ripetuto anche per le altre antenne. Per i Tag che possono funzionare a contatto con metallo abbiamo svolto le misure collocandoli anche su una piastra di metallo, in modo da valutare se le loro proprietà di ricetrasmisione rimanessero o meno invariate. Si è inoltre cercato di misurare la distanza massima di rilevamento, ma questo valore è risultato molto approssimativo per via della vicinanza con la parete opposta che causa la riflessione del segnale.

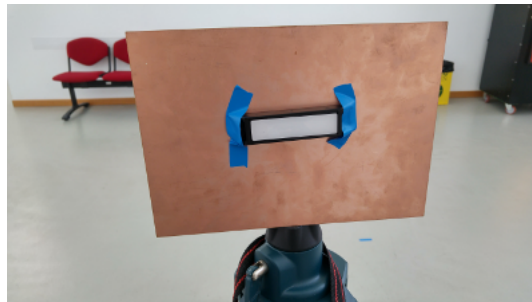


Figura 5.2: Tag posto sulla lastra di metallo

CAPITOLO 5. VALIDAZIONE SPERIMENTALE DEL SISTEMA DI RILEVAMENTO DELLA VELOCITÀ



Figura 5.3: Misure indoor con antenna DLT3-868



Figura 5.4: Misure indoor con antenna PN6-868RCP



Figura 5.5: Misure indoor con antenna S8658PLJ

5.2.2 Risultati

I grafici 5.6, 5.7, 5.8 mostrano la massima distanza di lettura laterale dei Tag dalla direzione di massima radiazione dell'antenna collegata al Reader. Notiamo che in tutti e tre i casi l'area di radiazione mantiene circa la stessa disposizione geometrica ma cambiano le distanze operative in base al guadagno delle antenne trasmettenti. Pensando ad una configurazione in cui le antenne del Reader sono disposte con direzione di massimo perpendicolare alla pista ciclabile, ciò che ci serve è una FOV che sia:

- abbastanza lunga per coprire tutta la corsia ciclabile ma non troppo per evitare di raggiungere una possibile corsia opposta col passaggio di altri ciclisti rilevati erroneamente;
- non troppo larga per ridurre il possibile errore nel calcolo della posizione.

L'antenna S8658PL\RJ ha una distanza operativa fin troppo lunga e ampia ed è la più ingombrante, mentre le prime due hanno grafici simili, si è scelto di usare l'antenna PN6-868RCP per le prestazioni leggermente maggiori. Considerando la configurazione 2 si è scelto di usare la stessa antenna, sia

CAPITOLO 5. VALIDAZIONE SPERIMENTALE DEL SISTEMA DI RILEVAMENTO DELLA VELOCITÀ

per comodità, sia perché lo schermo metallico non blocca completamente il segnale per cui si è valutata valida l'antenna con guadagno intermedio.

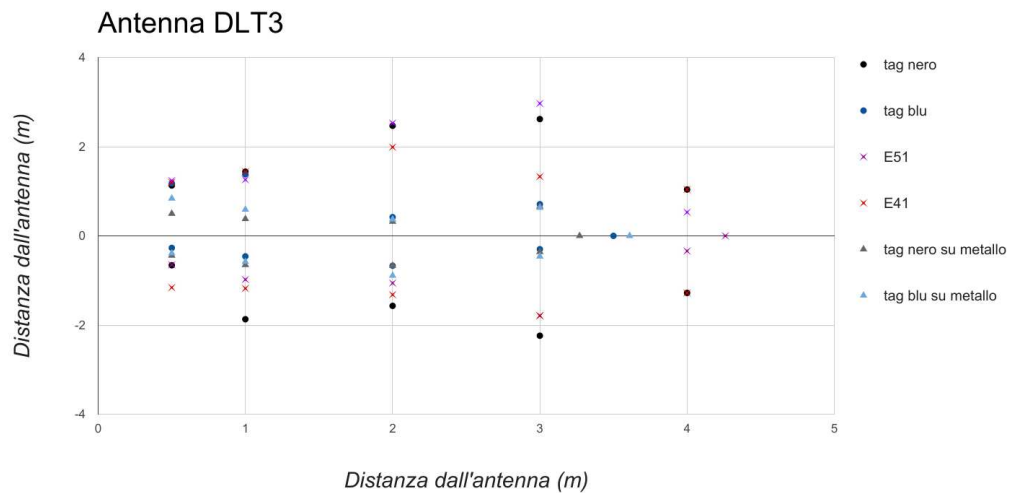


Figura 5.6: Misure indoor per l'antenna DLT3-868

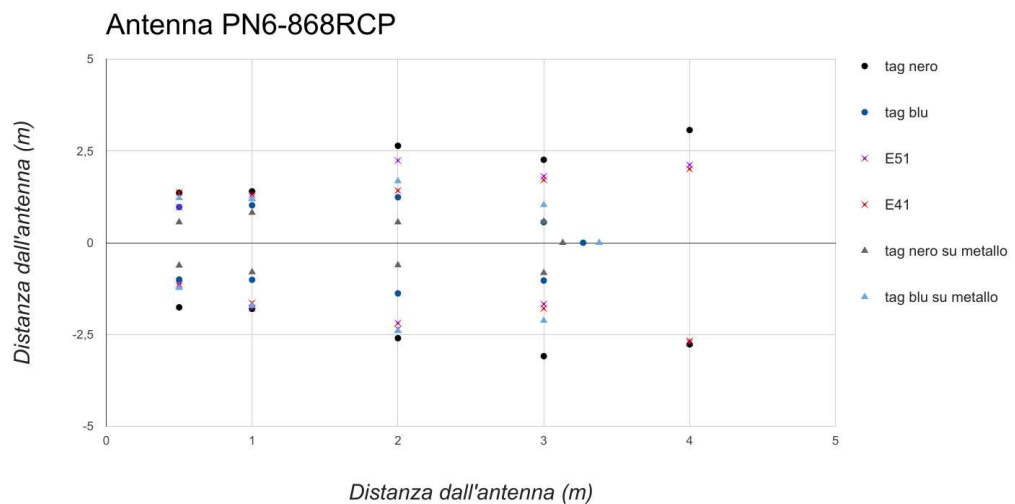


Figura 5.7: Misure indoor per l'antenna PN6-868RCP

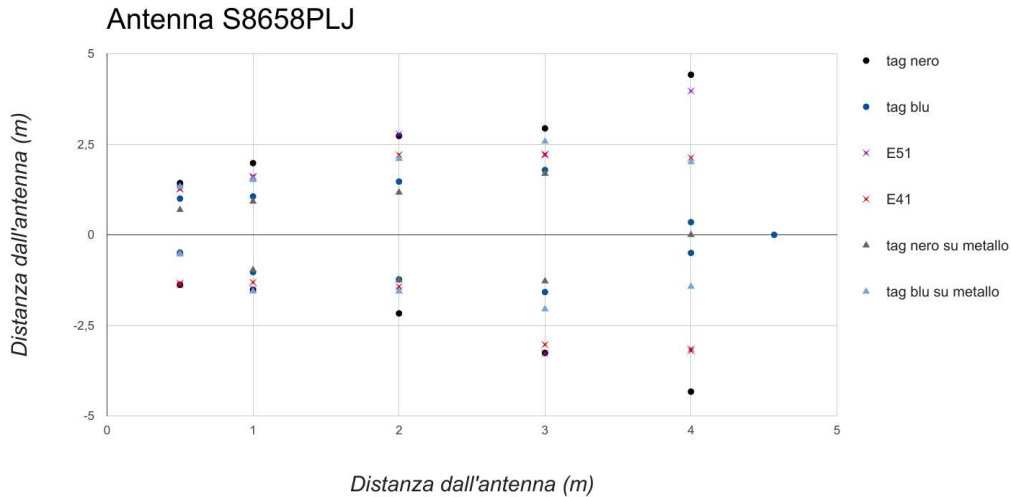


Figura 5.8: Misure indoor per l'antenna S8658PL\RJ

5.3 Campagna di misure outdoor

5.3.1 Obiettivi

Come precedentemente accennato, lo scopo del sistema RFID sviluppato è calcolare velocità e direzione dei ciclisti che percorrono una corsia dedicata, ma quando rileviamo un Tag non conosciamo la sua velocità e nemmeno la sua posizione esatta, sappiamo solo che si è trovato all'interno della FOV di un'antenna. Ci sono però una serie di dati che il Reader, dotato di orologio interno, può comunicarci, come l'istante in cui il Tag è stato letto, la potenza del segnale ricevuto dal Tag e qual è l'antenna che lo ha rilevato.

Si può perciò pensare di collocare due antenne uguali a una distanza nota lungo la corsia che, in base agli istanti di lettura dei Tag riportati, ci permettano di stimare il tempo che impiega il ciclista a percorrere questa distanza, potendo quindi calcolare la velocità semplicemente come spazio percorso diviso per il tempo di percorrenza. La direzione si può invece banalmente trovare sapendo in quale ordine temporale le antenne, con diverso ID, hanno rilevato la bicicletta. Servirà ovviamente conoscere l'effettiva velocità del ciclista per valutare l'efficacia del sistema. L'applicazione software sviluppata

CAPITOLO 5. VALIDAZIONE SPERIMENTALE DEL SISTEMA DI RILEVAMENTO DELLA VELOCITÀ

permette di salvare su file i dati raccolti sui Tag rilevati, in modo da poter successivamente testare i possibili algoritmi per il calcolo della velocità.

Abbiamo considerato due possibili configurazioni che ci permettano di trovare velocità e direzione del ciclista:

1. Si dispongono due antenne che guardano in direzione perpendicolare alla corsia (figura 5.9) e si calcola il tempo di percorrenza del ciclista come differenza degli istanti in cui possiamo supporre che esso si trovi nella stessa posizione rispetto alla FOV delle antenne.

Per esempio in un sistema ideale in cui le antenne sono perfettamente disposte con direzione di massima radiazione perpendicolare alla strada e rilevano il Tag nello stesso identico modo, possiamo calcolare l'intervallo di tempo come differenza fra i primi istanti in cui il Tag è stato letto dall'antenna 1 e dall'antenna 2. Il segno del risultato ci permette di conoscere la direzione e la distanza tra le antenne, essendo nota, permette di ricavare la velocità.

Sappiamo però che il sistema non può essere ideale per vari motivi tra cui le condizioni di propagazione del segnale.

Possiamo però provare anche, essendo le FOV delle antenne circa simmetriche, a stimare gli istanti in cui la traiettoria percorsa dalle biciclette si trova al centro di esse. Per fare ciò possiamo supporre che la stima sarà più precisa avendo un numero alto di letture per ogni Tag.

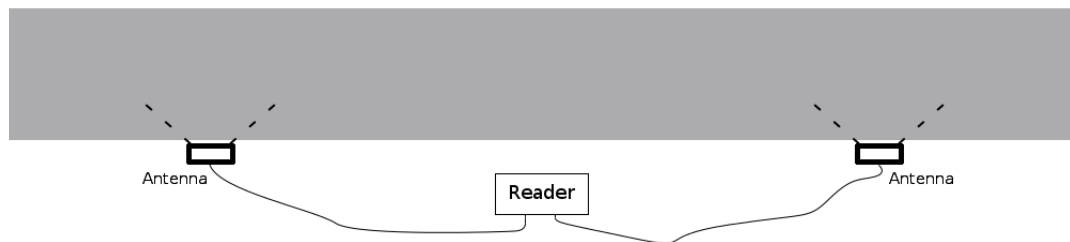


Figura 5.9: Disposizione 1: Antenne con schermo metallico orientate in direzione perpendicolare alla corsia

2. Si dispongono due antenne che guardano in direzioni parallele alla corsia ma opposte e si dispone uno schermo metallico dietro di esse (vedi fig. 5.10), questo per evitare che le antenne rilevino i Tag anche nella loro area retrostante. Ipotizzando che il percorso del ciclista vada dall'antenna 1 alla 2, consideriamo l'ultimo istante in cui il Tag viene visto dall'antenna 1 ed il primo in cui viene visto dall'antenna 2. L'intervallo dato dalla differenza di questi due valori corrisponderà ad un tratto di corsia percorso dal ciclista; questo valore può essere visto come la distanza tra le due antenne sommato ad uno scarto (anche negativo). Ipotizzando che questo scarto sia simile per ogni misura effettuata, possiamo ricavarlo a seguito dei test conoscendo l'effettiva velocità della bicicletta. Una volta trovato, l'algoritmo sviluppato calcolerà la velocità come somma della distanza fra le antenne e lo scarto divisa per l'intervallo di tempo.

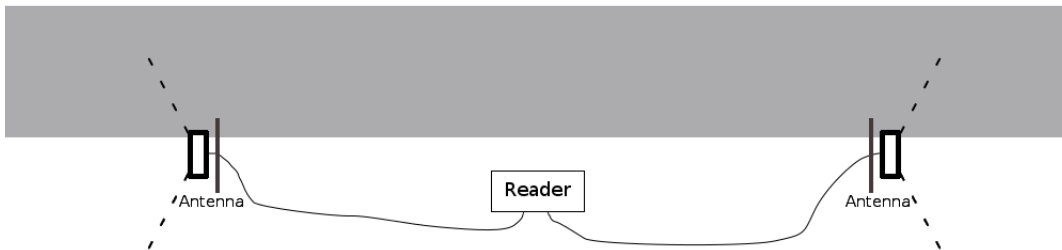


Figura 5.10: Disposizione 2: Antenne orientate in direzione parallela alla corsia

5.3.2 Set-up

Si è testato il sistema RFID in ambiente outdoor analizzando entrambe le configurazioni, avendo a disposizione una bicicletta ed un generatore portatile per alimentare Reader e Client. Per conoscere l'effettiva velocità del ciclista, in modo da poterla comparare con quelle che si ricaveranno dagli algoritmi, si sono videoregistrate tutte le prove, marcando con delle linee sulla corsia

CAPITOLO 5. VALIDAZIONE SPERIMENTALE DEL SISTEMA DI RILEVAMENTO DELLA VELOCITÀ

la distanza fra le antenne. Grazie al video, si sono potuti vedere gli istanti in cui la bicicletta le attraversava, avendo così l'intervallo di tempo che il ciclista impiega per percorrere questo tratto con buona precisione (Figura 5.11).

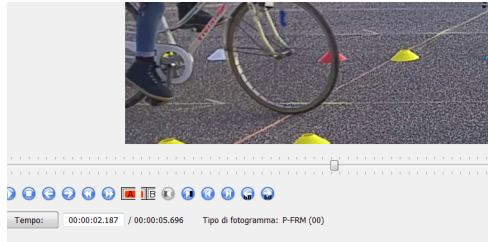


Figura 5.11: Verifica della velocità della bici tramite video

I test si sono svolti in due giornate: durante la prima ci si è focalizzati sul provare diverse posizioni per i Tag, valutando diverse distanze dalle antenne; durante la seconda si è cercato di fare più misure possibili a velocità diverse per avere una buona quantità di dati per gli algoritmi che verranno testati.

- Prima giornata: le antenne del Reader sono state poste a cinque metri di distanza tra loro; in alcune prove si è fatto passare il ciclista in una traiettoria a due metri dall'antenna e in altre a quattro metri, per valutare la differenza nel rilevamento dei Tag. Per semplicità i test sono stati fatti nello stesso senso di percorrenza.

Per la configurazione 1 i Tag sono stati così posizionati: per quanto riguarda i Tag classici, nel casco sono stati posti due Tag differenti per raffrontarli nella stessa posizione ed un altro è stato collocato nella struttura del portapacchi (di plastica) all'altezza della ruota. Essendo il comportamento di questo Tag uguale ad uno di quelli nel caschetto abbiamo potuto confrontare due Tag dello stesso tipo in posizioni diverse. La stessa logica è stata usata anche per i Tag adatti al metallo, due di essi posizionati sotto al manubrio e uno nei raggi. In tutti i casi il Tag è stato posto sul lato sinistro della bici (o del casco) in modo da essere rivolto verso le antenne.

Per quanto riguarda la seconda configurazione, i Tag si trovavano nelle stesse posizioni già viste ma rivolti verso il lato anteriore della bicicletta, con l'unica eccezione del Tag classico collocato sul portapacchi

che è stato spostato nella parte posteriore del casco. Questo perché i Tag nella parte frontale del casco, mentre il ciclista si muove lungo il percorso, sono rivolti verso la prima antenna e vengono difficilmente rilevati anche dalla seconda. La stessa situazione vale per il Tag posto sul retro del casco invertendo le antenne. In questo caso si è deciso perciò di considerare il sistema formato dalla coppia di Tag (anteriore e posteriore) per realizzare l'algoritmo.

- Seconda giornata: Le antenne sono state posizionate a sei metri di distanza tra loro ovvero alla massima distanza permessa dai cavi di collegamento Reader-antenna. Il ciclista è stato fatto passare su una traiettoria distante circa due metri dalle antenne per avere sempre una buona ricetrasmisione. Sono stati usati due Tag classici e due adatti al metallo, entrambi uguali. Per la prima configurazione si sono posizionati due Tag vicino al manubrio e due all'altezza delle ruote (Figura 5.12) mentre per la seconda configurazione, i due Tag sono stati posti vicino al manubrio e due sul portapacchi (Figure 5.13, 5.14). L'orientamento dei Tag non è stato modificato rispetto alla prima giornata.



Figura 5.12: Configurazione 1: posizione dei Tag

CAPITOLO 5. VALIDAZIONE SPERIMENTALE DEL SISTEMA DI RILEVAMENTO DELLA VELOCITÀ



Figura 5.13: Configurazione 2: posizione dei Tag



Figura 5.14: Configurazione 2: posizione dei Tag



Figura 5.15: Test outdoor

*CAPITOLO 5. VALIDAZIONE SPERIMENTALE DEL SISTEMA DI
RILEVAMENTO DELLA VELOCITÀ*

Capitolo 6

Risultati sperimentali

In questo capitolo si analizzeranno i dati raccolti mediante i test outdoor effettuati e si confronteranno gli algoritmi ideati per il calcolo della velocità delle biciclette.

6.1 Considerazioni sui Tag e sul loro posizionamento

Per valutare quale sia il modo migliore di calcolare la velocità del ciclista attraverso l'uso di un sistema RFID non è solo importante analizzare l'algoritmo migliore (cosa che faremo in seguito) ma è anche fondamentale ragionare su quale sia la configurazione più efficiente per realizzare questo sistema. Per questo abbiamo visto che si sono considerate due diverse possibili disposizioni per le antenne del Reader, ma non vanno tralasciate le analisi sui Tag da utilizzare e sul loro posizionamento sulla bicicletta.

6.1.1 Comportamento di Tag diversi

Ricordiamo che, in ambiente outdoor, sono state fatte prove con due Tag classici di forma diversa posti affiancati nel casco e due Tag funzionanti su metallo di tipo differente situati entrambi nel manubrio. In particolare, avendo già notato il diverso funzionamento dei Tag durante i test indoor, tra quelli classici sono stati scelti per le prove outdoor due tipologie dello stesso produttore con antenne visivamente simili e che, sempre nelle prove indoor, avevano

mostrato un funzionamento simile. Nonostante ciò, nelle prove più difficoltose per la ricetrasmisione, ovvero quelle fatte con il passaggio del ciclista a distanza di 4 m dalle antenne del Reader invece che a 2 m e per quelle in cui veniva emessa una potenza ridotta (25 dBm anziché 30 dBm), per entrambe le coppie di Tag ve ne era uno che veniva rilevato in misura nettamente maggiore rispetto all'altro. Per la realizzazione del sistema oggetto di tesi si dovrà quindi tenere conto di questi fattori legati fra loro: potenza del segnale emesso dal Reader, vicinanza delle antenne trasmettenti al passaggio dei ciclisti, efficienza dei Tag collocati sulle biciclette o sull'equipaggiamento del ciclista. Non si sono invece notate differenze rilevanti tra prestazioni dei Tag classici (posti non troppo vicini al metallo della bicicletta) e di quelli adatti al metallo.

6.1.2 Posizionamento dei Tag

Valutiamo i Tag uguali collocati in posizioni diverse sulla bicicletta: considerando la configurazione 1, il Tag di tipo classico nel portapacchi è stato rilevato con maggior frequenza rispetto a quello sul caschetto ed il Tag funzionante su metallo posto nei raggi della ruota è stato letto più volte rispetto a quello situato all'altezza del manubrio. Le possibili motivazioni potrebbero essere nel primo caso la leggera curvatura del casco che non permette all'antenna del Tag di essere orientata in maniera adeguata, nel secondo caso la continua rotazione dei raggi delle ruote che potrebbe consentire all'antenna del Tag una migliore ricezione. Considerando la configurazione 2 abbiamo detto che i Tag classici sono stati posti tutti sul casco. Come nel caso precedente questa posizione è risultata non ottimale, motivo per cui nella seconda giornata di test sono stati posti sotto al manubrio e nel portapacchi della bici, ottenendo risultati migliori. Per quanto riguarda i Tag su metallo, quello situato sul manubrio, volto verso la parte anteriore della bicicletta, ha avuto una buona frequenza di letture raccolte dalla prima antenna del Reader essendo l'orientamento ottimale, mentre le letture da parte della seconda antenna sono notevolmente minori. Il Tag posizionato sui raggi della bicicletta ha avuto una buona frequenza di rilevamento in base ai dati del primo giorno, tuttavia nella stessa posizione il secondo giorno, probabilmente in seguito all'uso di cavi leggermente più lunghi per collegare antenne e

Reader che introducevano maggiore attenuazione, nella stessa posizione le letture sono risultate insufficienti.

Per fare misurazioni ottimali durante la seconda giornata abbiamo così deciso di posizionare i Tag nel seguente modo (Figure 5.12, 5.13, 5.14), usando due coppie di Tag uguali:

- Configurazione 1: un Tag classico sotto al manubrio (posto sui cavi dei freni) ed uno sul portapacchi all'altezza della ruota. Un Tag funzionante su metallo sul manubrio ed uno nei raggi della ruota. In seguito ai test i Tag posizionati più in basso sono risultati leggermente più efficienti.
- Configurazione 2: Per entrambe le tipologie di Tag ne sono stati posizionati uno nel manubrio (posizione frontale) ed uno nel portapacchi (posizione posteriore), da considerarsi assieme nell'algoritmo per il calcolo della velocità. Come abbiamo già detto uno dei punti di forza della tecnologia RFID Gen2 è l'economicità dei Tag, per cui si può considerare la possibilità di utilizzare due Tag anziché uno per ogni bicicletta.

6.2 Calcolo della velocità

I dati raccolti durante la fase di misure outdoor sono composti da una serie di file, uno per ogni test svolto ovvero per ogni volta che il ciclista passava davanti al sistema installato. Ogni file può essere visto come una Tabella (Figura 6.1) in cui ogni riga è stata creata in seguito a ciascun messaggio di tipo RO_ACCESS_REPORT (vedi paragrafo 3.3) ricevuto dal Reader e contiene quindi le informazioni su un singolo Tag rilevato. Gli algoritmi sviluppati cercano di ricavare la velocità della bici avendo questi dati a disposizione.

	A	B	C	D	E	F
1	EPC:	antennaID:	peakRSSI:	phase:	firstSeenTimestampUTC:	epochTime:
2	35e017004e8da0630000d028	1	-61	4,0619811263	2016-12-02T11:18:59.152440+01:00	1480673939,15244
3	aaaa000000000000000000038	1	-60	4,534447209	2016-12-02T11:18:59.248738+01:00	1480673939,24874
4	aaaa000000000000000000038	1	-60	4,8903307518	2016-12-02T11:18:59.279662+01:00	1480673939,27966
5	aaaa000000000000000000038	1	-64	4,859651136	2016-12-02T11:18:59.294185+01:00	1480673939,29419
6	35e017004e8da0630000d028	2	-59	4,7185249035	2016-12-02T11:19:00.898182+01:00	1480673940,89818
7	35e017004e8da0630000d028	2	-58	5,0682725232	2016-12-02T11:19:00.912393+01:00	1480673940,91239
8	aaaa000000000000000000038	2	-62	4,4608161312	2016-12-02T11:19:00.943522+01:00	1480673940,94352
9	35e017004e8da0630000d028	2	-59	5,6020978374	2016-12-02T11:19:00.944654+01:00	1480673940,94465
10	aaaa000000000000000000038	2	-63	4,3810491302	2016-12-02T11:19:00.958760+01:00	1480673940,95876

Figura 6.1: Estratto di un file che riporta i dati raccolti in una singola prova.

6.2.1 Configurazione 1: algoritmi

La velocità delle biciclette nel caso 1 si è calcolata dividendo la distanza fra le antenne, indicata con d , per la stima dell'intervallo di tempo che il ciclista impiega per percorrere la stessa distanza, indicato con Δt . Per stimare l'intervallo di tempo si sono testati diversi algoritmi: ¹

$$v = \frac{d}{\Delta t}$$

1. Algoritmo 1: calcoliamo l'istante centrale per ogni antenna come la differenza fra l'istante finale e l'istante iniziale di rilevamento diviso 2. L'intervallo di tempo è dato dalla loro differenza:

$$\Delta t = t_2 - t_1, \quad t_i = \frac{t_i^E - t_i^S}{2}$$

con $i = 1, 2$ e t_i^E indicante momento finale e t_i^S l'istante iniziale.

2. Algoritmo 2: l'intervallo di tempo è dato dalla differenza degli istanti iniziali di rilevamento delle due antenne:

$$\Delta t = t_2^S - t_1^S$$

3. Algoritmo 3: l'intervallo di tempo è dato dalla differenza degli istanti finali di rilevamento delle due antenne:

$$\Delta t = t_2^E - t_1^E$$

4. Algoritmo 4: calcoliamo l'istante centrale per ogni antenna come media di tutti gli istanti rilevati. L'intervallo di tempo è la differenza fra i due valori trovati:

$$\Delta t = t_2 - t_1, \quad t_i = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} t_k$$

con $i = 1, 2$. N rappresenta il numero di letture effettuate.

¹Ricordiamo che tutte le prove sono state effettuate seguendo lo stesso verso di percorrenza, in particolare dall'antenna 1 all'antenna 2 indicate con i pedici 1 e 2.

5. Algoritmo 5: come l'algoritmo precedente ma in questo caso la media è ponderata rispetto al parametro RSSI (in scala lineare), in questo modo gli istanti relativi alle letture con potenza ricevuta maggiore avranno più peso nel calcolo dell'istante centrale:

$$\Delta t = t_2 - t_1, \quad t_i = \frac{\sum_{k=0}^{N-1} t_k \cdot RSSI_k}{\sum_{k=0}^{N-1} RSSI_k}$$

con $i = 1, 2$.

Una volta trovate le velocità stimate dai diversi algoritmi per i vari Tag vi abbiamo sottratto le velocità effettive ottenendo l'errore per ogni prova. Si sono poi ricavati media dell'errore, deviazione standard dell'errore e RMSE (Root Mean Square Deviation) che possiamo vedere graficati nelle Figure 6.2, 6.3, 6.4.

Configurazione 1

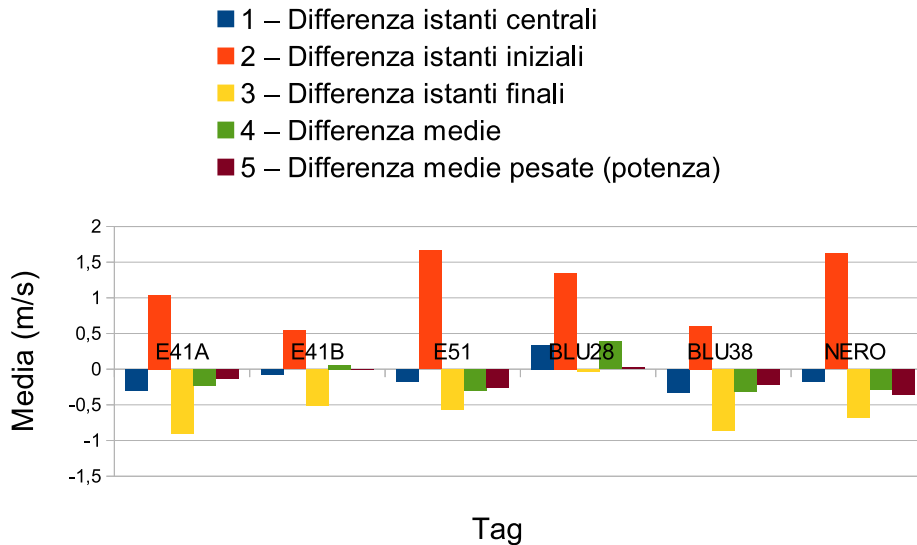


Figura 6.2: Configurazione 1 - Media dell'errore

La media ci dà un'indicazione generale sull'errore: notiamo che per l'algoritmo 2 questo valore è alto ed è sempre positivo, indicando che la velocità calcolata è generalmente maggiore di quella effettiva e quindi che Δt è sotto-stimato. Possiamo dedurre che l'antenna 2 rilevasse il Tag prima, in termini

di spazio, rispetto all'antenna 1. Per l'algoritmo 3 abbiamo una media sempre negativa, possiamo analogamente ipotizzare, essendo Δt sovrastimato, che in termini di spazio l'ultimo rilevamento dell'antenna 2 avvenga dopo rispetto a quello dell'antenna 1. Questi due dati mostrano che il sistema si comporta come se la FOV dell'antenna 1 fosse più piccola di quella dell'antenna 2 per cui la causa più semplice potrebbe essere una diversa emissione di potenza da parte delle antenne del Reader, dovuta per esempio a una maggiore attenuazione nel cavo di collegamento. Per gli altri algoritmi è difficile poter fare osservazioni basandosi solo sulla media.

Configurazione 1

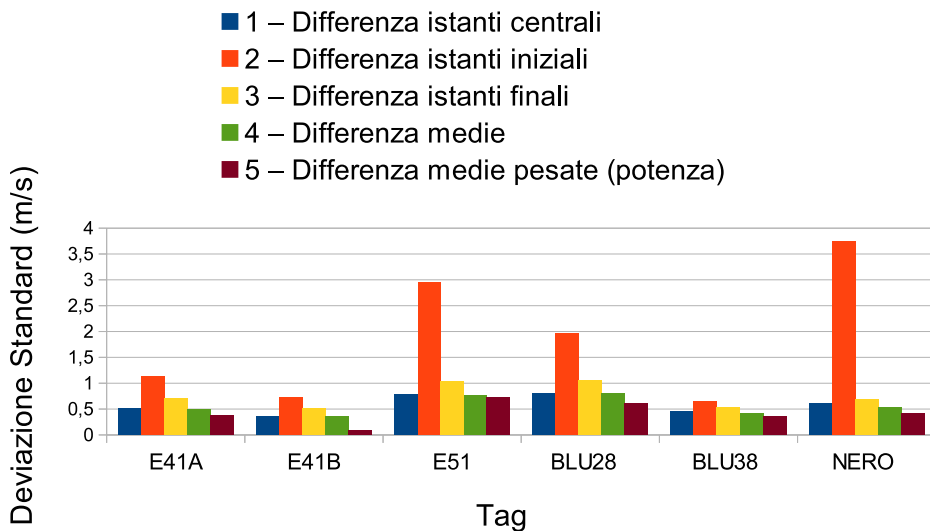


Figura 6.3: Configurazione 1 - Deviazione standard dell'errore

La deviazione standard mostra quanto l'errore si scosta dalla sua media, ci da quindi un' indicazione della *precisione* dell'algoritmo. L'RMSE denota invece quanto ogni velocità stimata si scosta dalla relativa velocità effettiva della bicicletta, questo parametro determina l'*accuratezza* dell'algoritmo. Raffrontando i risultati di tutti i Tag nei due grafici 6.3, 6.4 emerge un ordine ben preciso dell'efficienza degli algoritmi: il migliore è quello che calcola la media degli istanti di rilevamento pesata rispetto al valore RSSI. Dunque, nonostante i possibili problemi di riflessione del segnale che influenzano la

Configurazione 1

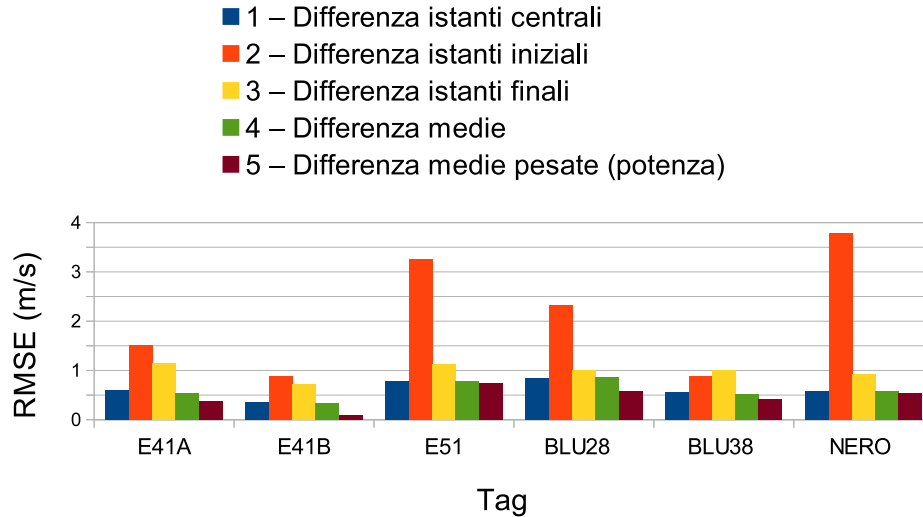


Figura 6.4: Configurazione 1 - RMSE

potenza di ricezione, questo valore risulta affidabile per stabilire la vicinanza del Tag all'antenna. Gli altri due algoritmi che si basano sul trovare l'istante di rilevamento centrale nella FOV delle antenne hanno un comportamento molto simile, quello che calcola la media è leggermente migliore ma forse ci si aspettava un divario di efficienza più ampio: analizzando il comportamento di un Tag che si allontana sempre di più dall'antenna vediamo che la frequenza di lettura non si interrompe bruscamente ma cala lentamente e in maniera "intermittente". Ci si aspettava perciò che, per l'algoritmo 1, la stima dell'istante centrale fosse meno precisa rispetto a quella dell'algoritmo 4 in quanto, per il calcolo, utilizza solo i due valori estremi di rilevamento dei Tag, che ci sembravano poco affidabili. L'algoritmo 4, al contrario, considera tutte le letture effettuate per un Tag. Invece i due algoritmi hanno prestazioni simili, forse indice del fatto che la simmetria di un sistema RFID è buona indipendentemente dal numero di letture. Gli ultimi due algoritmi che già avevamo notato sembrare i peggiori nel grafico della media si sono rivelati tali, come ci potevamo aspettare.

I grafici analizzati derivano dalla totalità dei dati raccolti per la configurazione 1, che comprende anche le misure meno significative, ovvero quelle

con potenza emessa ridotta e quelle in cui il ciclista passava lontano dalle antenne del Reader. Si è deciso di filtrare questi dati in modo da tenere solo le misure fatte in situazioni ottimali per capire se le considerazioni precedentemente tratte rimangono valide. Si sono eliminati anche i dati dei Tag non usati nella seconda giornata perché non ritenuti affidabili per via delle poche misure valide. Possiamo notare dai grafici 6.5, 6.6, 6.7 che la risposta è affermativa ovvero mantengono le stesse caratteristiche dei grafici analizzati precedentemente. Come ci si aspetta confrontando i valori numerici si nota un miglioramento generale dei risultati.

Configurazione 1 - post filtraggio

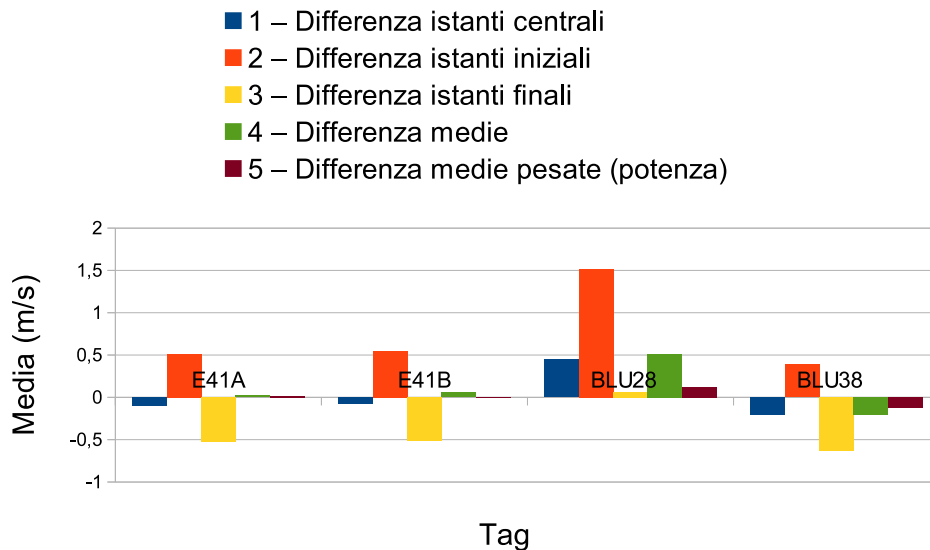


Figura 6.5: Configurazione 1 post filtraggio - Media dell'errore

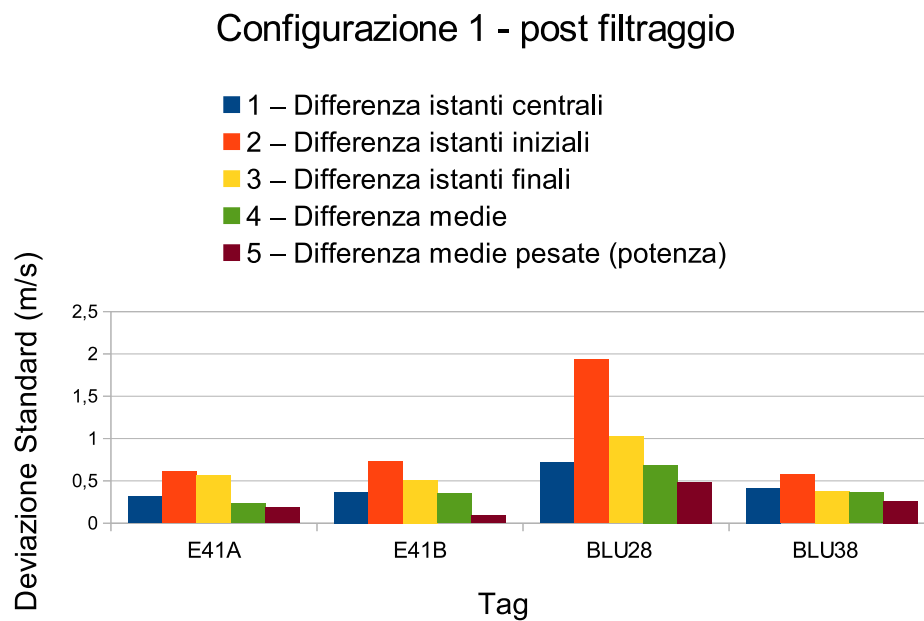


Figura 6.6: Configurazione 1 post filtraggio - Deviazione standard dell'errore

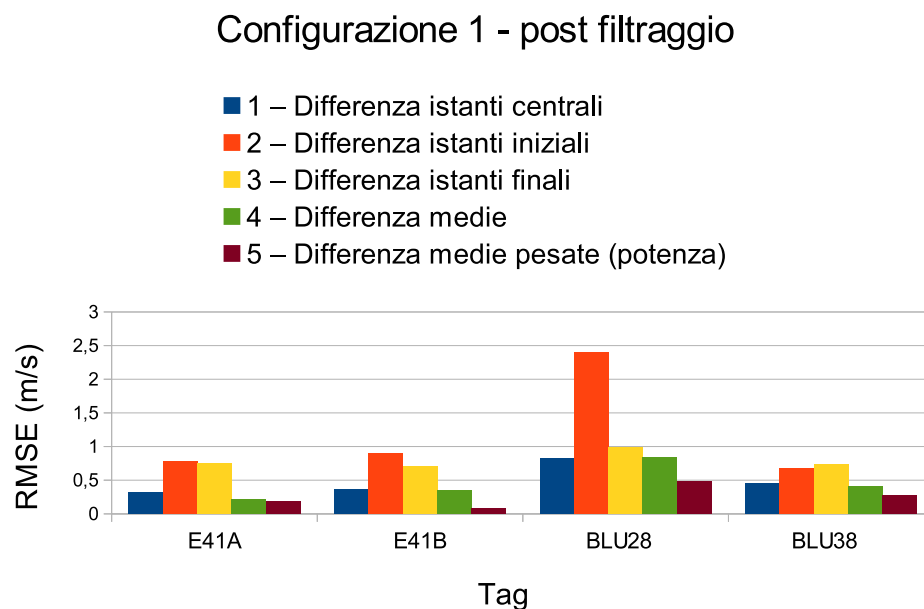


Figura 6.7: Configurazione 1 post filtraggio - RMSE

6.2.2 Configurazione 2: algoritmo

Per la seconda configurazione il funzionamento dell'algoritmo si basa sul fatto che, essendoci uno schermo metallico che blocca il segnale (Figura 5.10), le letture dei Tag per la prima antenna del Reader si interrompano tutte nello stesso punto e per la seconda antenna inizino nello stesso punto. Si vuole trovare la differenza fra l'intervallo di spazio compreso fra questi due punti e la distanza fra le antenne. Ipotizzando che questo scarto sia sempre lo stesso e quindi indipendente dalla distanza fra le antenne del Reader, possiamo calcolare la velocità del ciclista.

In base ai dati raccolti calcoleremo lo scarto per ogni prova considerando che:

$$\widetilde{\Delta t}_k = \frac{d + \Delta s_k}{v_k}$$

dove k indica la k -esima misura, d indica la distanza tra le antenne (costante rispetto a k), Δs_k indica lo scarto spaziale che vogliamo stimare e $\widetilde{\Delta t}_k$ indica l'intervallo stimato all'istante k per percorrere la distanza tra le due antenne considerando l'incertezza di misura. Infine v_k è la velocità stimata, assunta uguale al valore $v_k = d/\Delta t_k$ dove Δt_k è l'intervallo di tempo effettivo che il ciclista impiega a percorrere la distanza d . Di conseguenza sostituendo otteniamo

$$\widetilde{\Delta t}_k = \frac{d + \Delta s_k}{d/\Delta t_k}$$

da cui è possibile calcolare lo scarto come

$$\Delta s_k = \left(\frac{\widetilde{\Delta t}_k}{\Delta t_k} - 1 \right) \cdot d$$

Troviamo quindi Δs come media dei valori Δs_k .

Una volta trovato lo scarto troviamo le velocità k -esime come:

$$v_k = \frac{d_k + \Delta s}{\widetilde{\Delta t}_k}$$

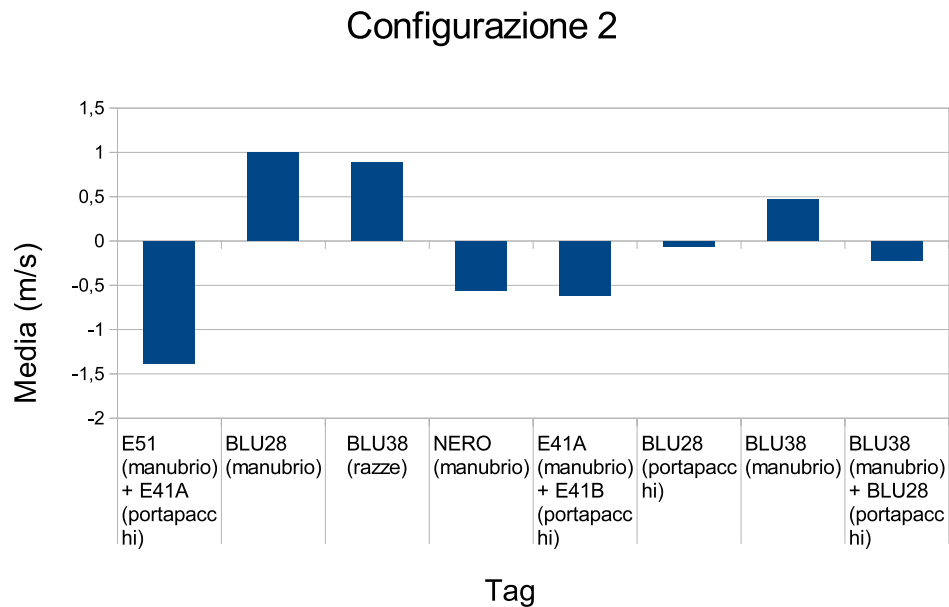


Figura 6.8: Configurazione 2 - Media dell'errore

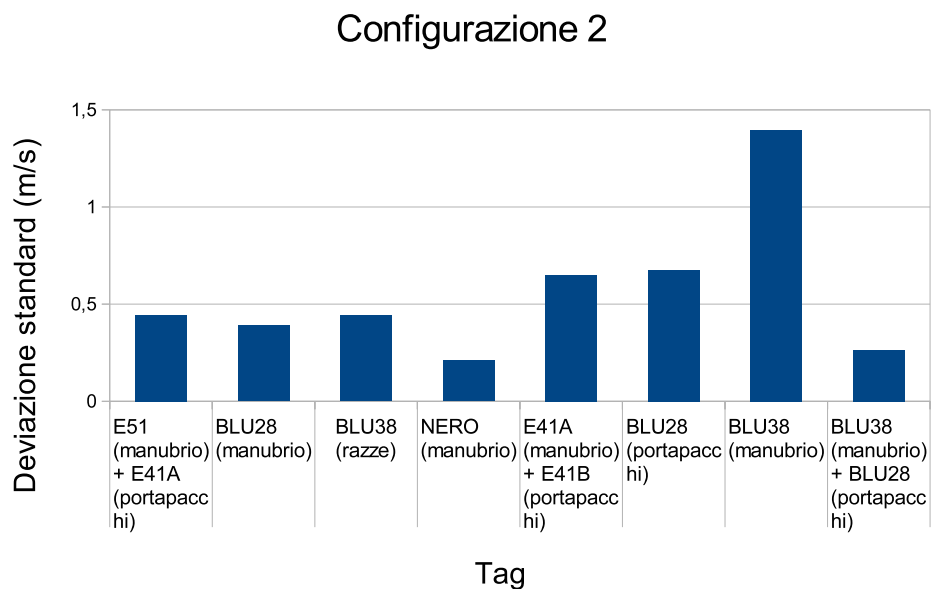


Figura 6.9: Configurazione 2 - Deviazione standard dell'errore

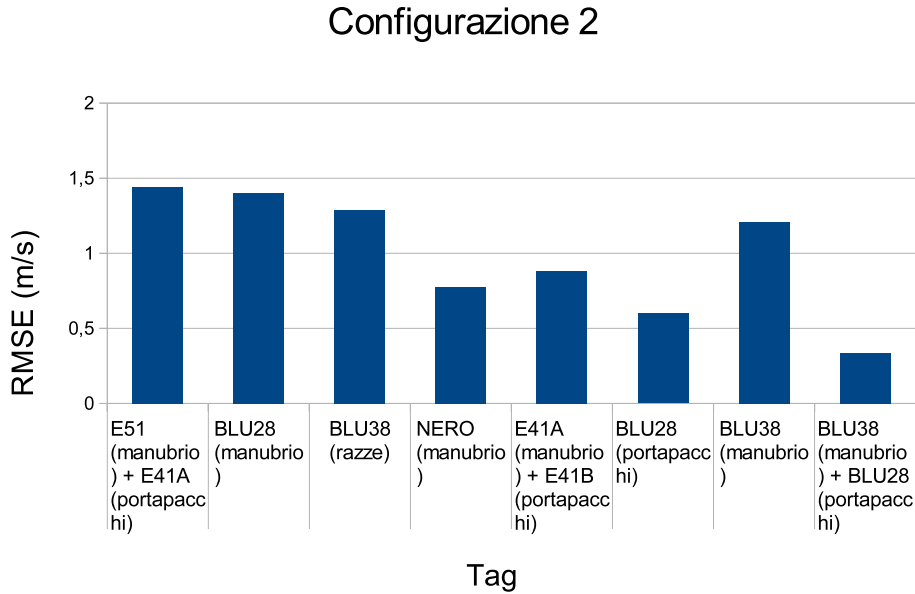


Figura 6.10: Configurazione 2 - RMSE

Per questa configurazione abbiamo usato direttamente solo le misure affidabili, cioè quelle filtrate nel caso precedente, perché non vi erano abbastanza letture da parte delle due antenne. Rimangono comunque una quantità di prove effettuate con Tag diversi, anche non considerati in coppia, molto numerose. Si è quindi provato a considerare solo le misure del secondo giorno, in cui le misure si sono svolte in modo ben preciso, ovvero utilizzando due coppie di Tag poste alla stessa altezza, per vedere se si ottengono risultati migliori. Si sono quindi stimate le velocità in base allo scarto ricavato da queste due sole coppie di Tag. Inaspettatamente non si sono notati miglioramenti significativi nei dati statistici (Tabella 6.1).

	Dati complessivi: coppia di Tag classici	Dati complessivi: coppia di Tag per metallo	Dati della seconda giornata: coppia di Tag classici	Dati della seconda giornata: coppia di Tag per metallo
Media dell'errore (m/s)	-0,62	0,42	-0,08	0,37
Deviazione standard dell'errore (m/s)	0,65	0,36	0,79	0,35
RMSE (m/s)	0,88	0,55	0,77	0,51

Tabella 6.1: Configurazione 2 - confronto

6.2.3 Configurazioni 1 e 2 a confronto

Consideriamo le statistiche di entrambe le configurazioni per le prove risultate migliori in termini di frequenza di lettura dei Tag: prendiamo per la configurazione 1 il Tag classico e quello per metallo maggiormente rilevati, considerando solo le prove filtrate e l'algoritmo più performante. Per la configurazione 2 prendiamo le coppie di Tag utilizzate nella seconda giornata di test.

	Configurazione 1: algoritmo migliore, Tag classico	Configurazione 1: algoritmo migliore, Tag per metallo	Configurazione 2: Coppia di Tag classici	Configurazione 2: Coppia di Tag per metallo
Media dell'errore (m/s)	-0,01	-0,12	-0,62	0,42
Deviazione standard dell'errore (m/s)	0,09	0,26	0,65	0,36
RMSE (m/s)	0,09	0,28	0,88	0,55

Tabella 6.2: Configurazioni 1 e 2 a confronto

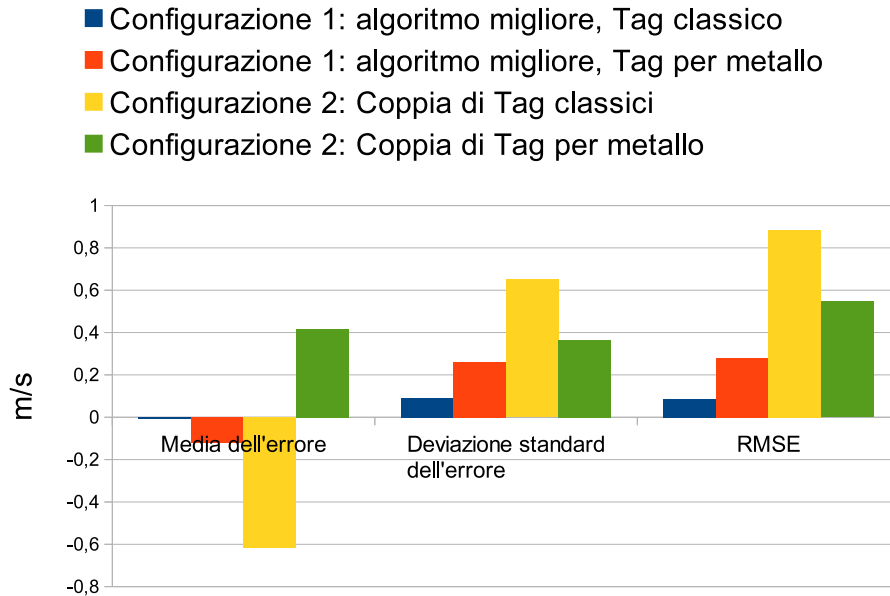


Figura 6.11: Configurazioni 1 e 2 a confronto

È evidente, osservando il grafico in Figura 6.11, che la configurazione 1 è quella che stima meglio la velocità della bicicletta in base ai dati raccolti. Tuttavia è doveroso considerare altri aspetti oltre ai dati numerici ricavati:

- La seconda configurazione è più complessa dal punto di vista dell'algoritmo di funzionamento ovvero si basa su un valore, lo scarto Δs , che è stato trovato in base ai test outdoor effettuati. È plausibile pensare che se cambiassimo gli elementi che compongono il sistema, come le antenne collegate al Reader, i cavi di collegamento, la piastra metallica o il Reader stesso, si abbia la necessità di ricalcolare il valore dello scarto. La configurazione 1 invece, basandosi sulla simmetria rispetto alla FOV dell'antenna (consideriamo l'algoritmo migliore), non soffre di questi problemi.
- La prima configurazione è più soggetta ad interferenze da parte dell'ambiente circostante. Nei test outdoor svolti ci trovavamo in situazione ottimale, cioè non vi era la presenza di altre biciclette, macchine, edifici nelle vicinanze. L'algoritmo della configurazione 1 è quello che ci

aspettiamo soffra più questo problema, proprio perchè si basa sulla simmetria del segnale rilevato e su un alto numero di letture dei Tag. Pensiamo al caso in cui, mentre un ciclista passa davanti ad una delle antenne del Reader, un altro lo sorpassa frapponendosi fra lui e il sistema. Il Tag del primo ciclista avrà dei problemi ad essere individuato nel momento del sorpasso, ovvero verrà rilevato con meno frequenza e con minore RSSI, rendendo quindi le letture non simmetriche. La stima dell'istante centrale cambia rendendo errato il calcolo della velocità. Problemi simili possono crearsi con edifici vicini o macchine in movimento o parcheggiate per via della riflessione del segnale. La configurazione 2 è meno dipendente dalla frequenza di rilevamento e non considera il parametro RSSI, per cui ci aspettiamo che sia meno influenzata da queste problematiche.

- Nella configurazione 2 le antenne del Reader sono orientate con la direzione di massimo di radiazione verso la pista ciclabile mentre nella configurazione 1 la direzione di massimo è parallela alla direzione delle biciclette. Pertanto la FOV dell'antenna si espande oltre la pista ciclabile col rischio di intercettare biciclette che si trovano altrove.

6.3 Sistema realizzato applicato ad un contesto di Green Wave

Cerchiamo ora di valutare le implicazioni dei dati statistici riportati nel precedente capitolo: ipotizziamo di posizionare il sistema a 50 m dal semaforo e consideriamo un ciclista che si muove a 5 m/s (18 km/h). Il ciclista impiega quindi 10 s per raggiungere il semaforo. Se il sistema compie un errore di 0,09 m/s, pari alla deviazione standard del caso migliore (Tabella 6.2), il semaforo diverrà verde con anticipo o ritardo di un certo intervallo di tempo. Indichiamo con Δt il tempo che il ciclista impiega ad arrivare al semaforo secondo la stima del sistema e consideriamo il caso in cui la velocità sia sovrastimata, per $v = 5,09$ m/s avremo:

$$\Delta t = \frac{50}{5,09} = 9,82\text{s}$$

quindi un errore di 0,18 s. In caso di velocità sottostimata avremo:

$$\Delta t = \frac{50}{4,91} = 10,18\text{s}$$

Anche in questo caso abbiamo un errore di 0,18 s.

Se invece consideriamo il caso migliore della configurazione 2, con deviazione standard pari a 0,36 m/s, per $v = 5,36$ m/s otteniamo:

$$\Delta t = \frac{50}{5,36} = 9,33\text{s}$$

quindi un errore di 0,67 s in caso di sovrastima della velocità. Per $v = 4,64$ m/s, otteniamo:

$$\Delta t = \frac{50}{4,64} = 10,78\text{s}$$

quindi un errore di 0,78 s in caso di sottostima della velocità.

Distanza del sistema dal semaforo (m)	Conf.1: Errore per sovrastima della velocità (s)	Conf. 1: Errore per sottostima della velocità (s)	Conf.2: Errore per sovrastima della velocità (s)	Conf.2: Errore per sottostima della velocità (s)
50	-0,18	0,18	-0,67	0,78
100	-0,35	0,37	-1,34	1,55
150	-0,53	0,55	-2,01	2,33
200	-0,71	0,73	-2,69	3,1
250	-0,88	0,92	-3,36	3,88
300	-1,06	1,1	-4,03	4,66
350	-1,24	1,28	-4,7	5,43
400	-1,41	1,47	-5,37	6,21
450	-1,59	1,65	-6,04	6,98
500	-1,77	1,83	-6,72	7,76

Tabella 6.3: Stima dell'errore di tempo per le configurazioni 1 e 2, a diverse distanze, per un ciclista che si muove a 5 m/s

In Tabella 6.3 troviamo gli errori stimati in questi due casi per diverse distanze del sistema dal semaforo. I grafici di Figura 6.12, 6.13 indicano l'intervallo di errore dei due casi considerati rispetto al tempo effettivamente impiegato dal ciclista per raggiungere il semaforo.

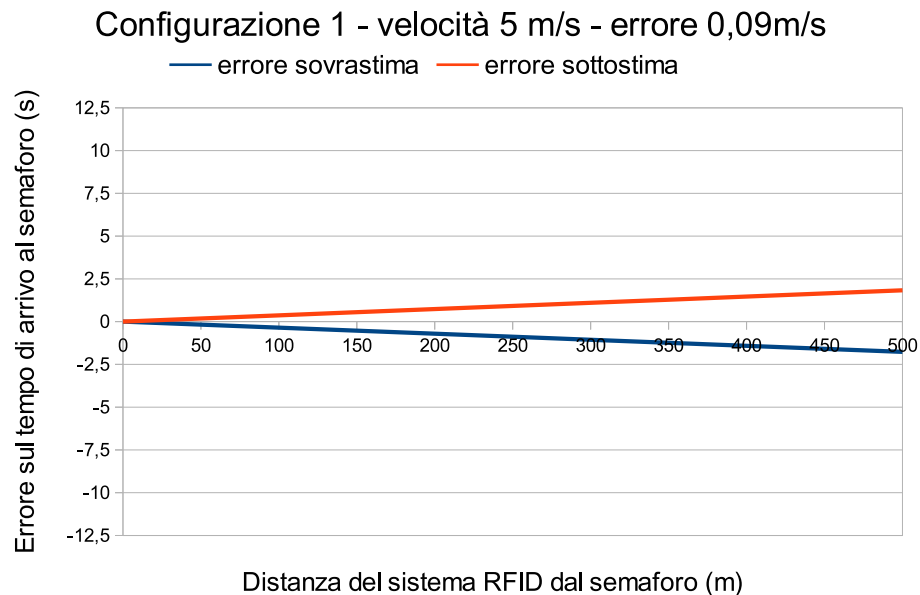


Figura 6.12: Configurazione 1: errore di 0,09 m/s nella stima della velocità per un ciclista che procede a 5 m/s

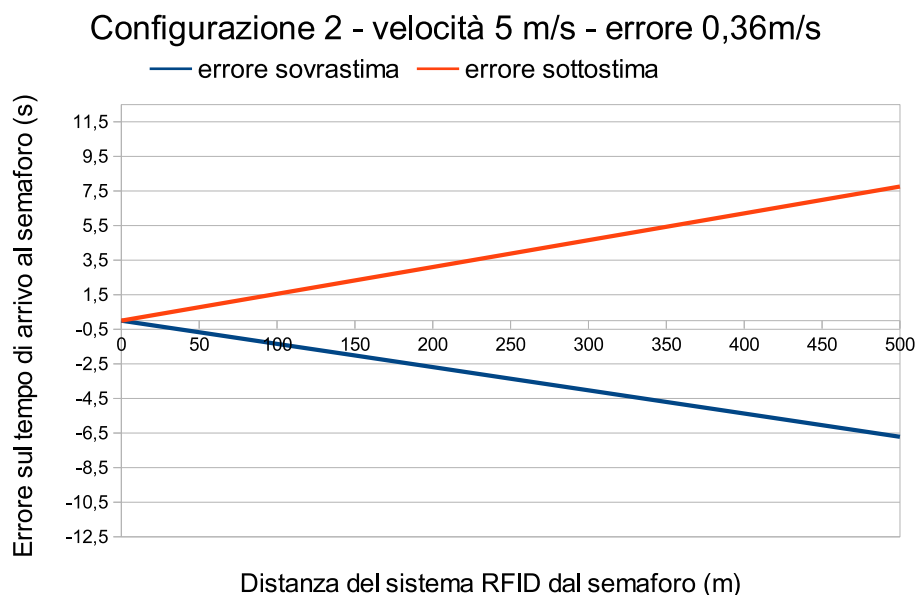


Figura 6.13: Configurazione 2: errore di 0,36 m/s nella stima della velocità per un ciclista che procede a 5 m/s

Si ricorda che la deviazione standard è stata trovata a partire dagli errori compiuti dal sistema RFID nella stima della velocità della bicicletta rispetto a quella effettiva, che non era sempre la stessa. Non essendo la velocità costante per tutte le prove, la deviazione standard va considerata come un parametro indicativo dell'errore del sistema in maniera non assoluta. Fatta questa premessa, se ipotizziamo che l'insieme di dati raccolti si possa descrivere come una distribuzione gaussiana, possiamo dire che l'errore che commette il sistema ricade nell'intervallo calcolato nel 66% dei casi.

Di seguito, dai grafici 6.14, 6.16, 6.15, 6.17 vediamo come cambiano gli intervalli di errore nel caso in cui il ciclista si muova a 2 m/s (7,2 km/h) e 8 m/s (28,8 km/h).

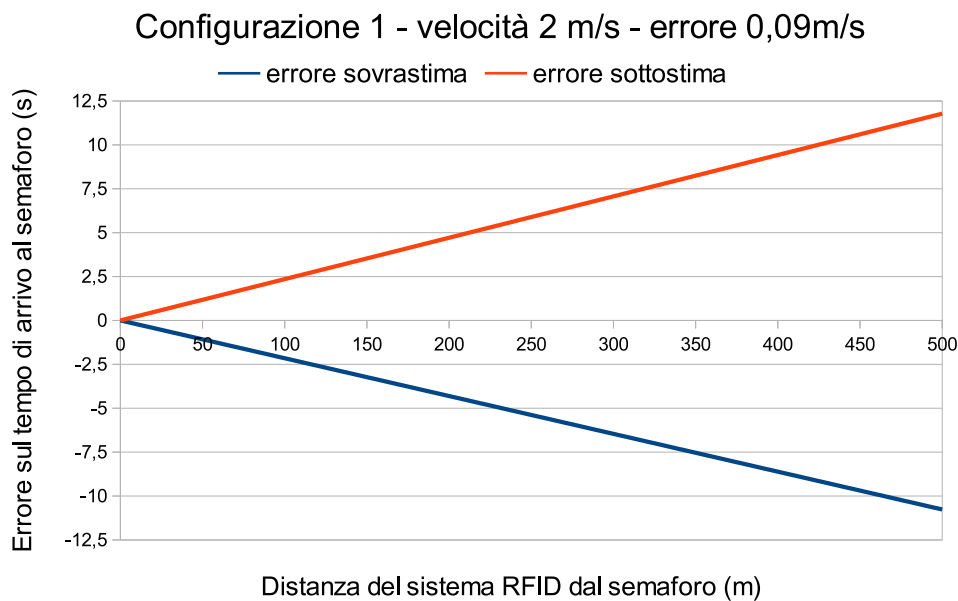


Figura 6.14: Configurazione 1: errore di 0,09 m/s nella stima della velocità per un ciclista che procede a 2 m/s

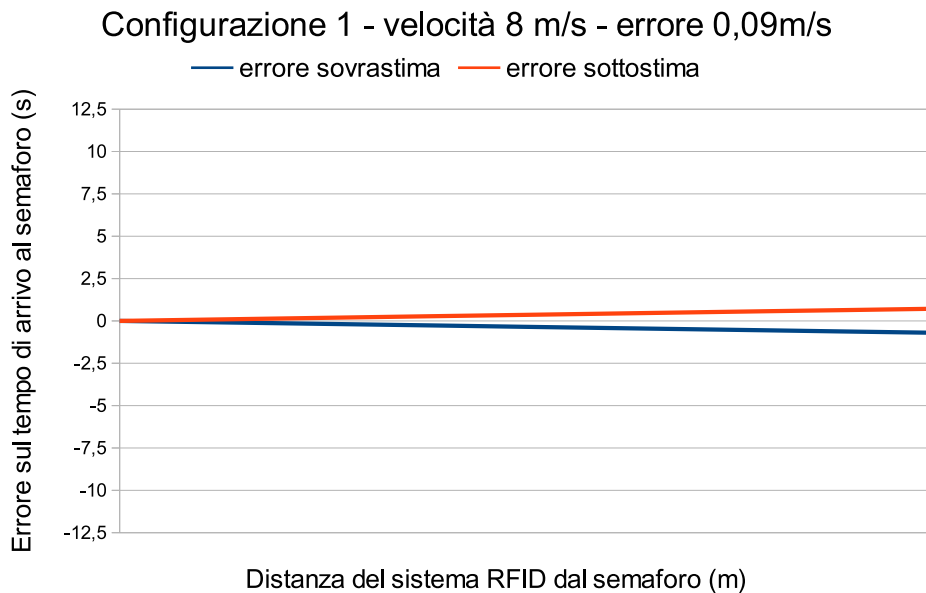


Figura 6.15: Configurazione 1: errore di 0,09 m/s nella stima della velocità per un ciclista che procede a 8 m/s

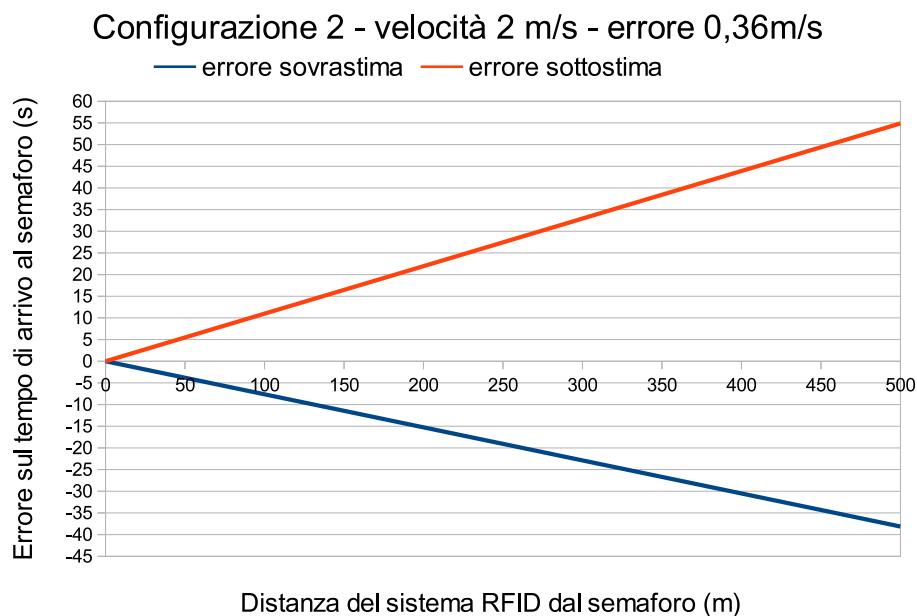


Figura 6.16: Configurazione 2: errore di 0,36 m/s nella stima della velocità per un ciclista che procede a 2 m/s

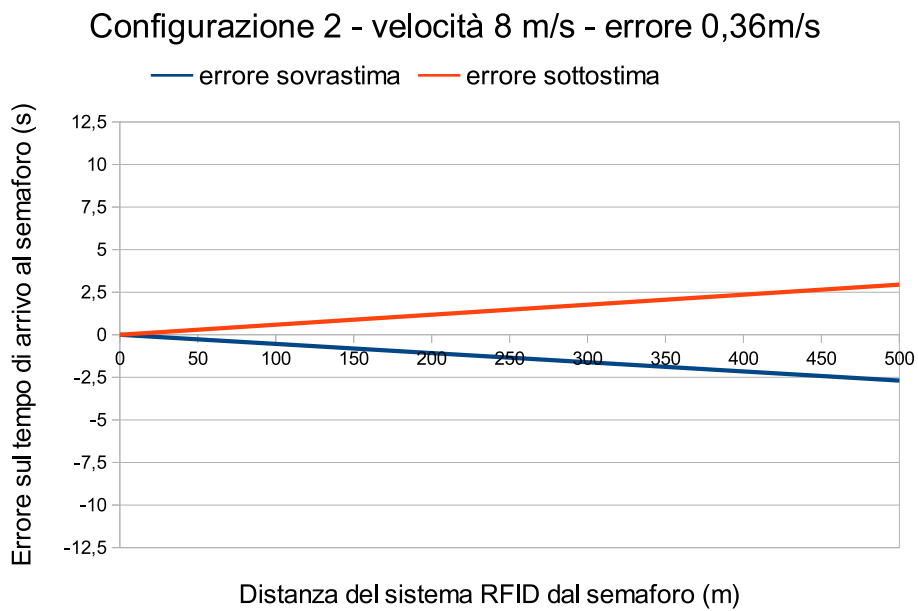


Figura 6.17: Configurazione 2: errore di 0,36 m/s nella stima della velocità per un ciclista che procede a 8 m/s

Capitolo 7

Conclusioni e sviluppi futuri

Questa tesi ha presentato uno studio preliminare validato da attività sperimentale relativo all'utilizzo di un sistema RFID per la stima della velocità dei ciclisti e per realizzare applicazioni Green Wave. Questo studio è stato composto dallo sviluppo di un'applicazione che permette di effettuare l'operazione di inventory da parte del Reader, da test preliminari dei componenti del sistema per una valutazione qualitativa delle proprietà di radiazione, da test outdoor che hanno permesso di registrare i dati di inventory dei Tag posti sulla bicicletta e infine dallo studio di algoritmi diversi per stimare la velocità. Si è visto che i risultati del sistema realizzato sono influenzati dalle caratteristiche di Reader, antenne e Tag, e dal modo in cui viene configurato il sistema. Si è infine valutato l'errore che commetterebbe un semaforo che utilizza questo sistema in base ai risultati ottenuti, utilizzando l'algoritmo più performante.

Sviluppi futuri riguardano:

- Prove sperimentali con più biciclette con Tag diversi e in condizioni di propagazione differenti;
- Analisi delle performance usando antenne Reader differenti, più direttive;
- Prove sperimentali con una maggiore distanza fra le antenne collegate al Reader per migliorare la stima della velocità;
- Studio di una configurazione che preveda più di due antenne collegate al Reader;

- Studio della configurazione migliore per le antenne del Reader in modo da minimizzare l'errore nella stima della velocità;
- Studio del design per le antenne di Tag e Reader in funzione delle caratteristiche di radiazione per massimizzare le performance del sistema;
- Sviluppo di algoritmi per la stima della velocità basati sulla misura di fase.

Appendice A

Contenuto del CD-ROM allegato

Il software sviluppato e i dati raccolti ed elaborati vengono allegati tramite CD-ROM. L'organizzazione delle cartelle è la seguente:

- *Misure*: comprende tutti i dati raccolti tramite test outdoor. Ogni prova effettuata è rappresentata da una cartella contenente i risultati dell'inventario in file di due formati, csv e json, e il relativo video registrato. Queste prove sono raccolte in sottocartelle che indicano il giorno delle misurazioni, la configurazione utilizzata, la distanza del ciclista dalle antenne del Reader, la potenza emessa dal Reader.
- *Risultati Misure Sperimentali*: contiene due file formati da più fogli elettronici. Il primo, *Misure_Antenne.gsheat*, raccoglie i dati delle misure indoor e i relativi grafici per le tre antenne del Reader considerate. Il secondo, *Risultati_Misure.ods*, contiene un elenco di tutte le prove effettuate organizzate in fogli diversi a seconda della configurazione e del filtraggio dati. Per ogni prova sono stati riportati le velocità ricavate dai video, le velocità stimate dai diversi algoritmi per ogni Tag e il numero di rilevamenti per ogni Tag.
- *Workspace*: contiene l'applicazione java realizzata, divisa in due parti principali: una svolge l'operazione di inventory scambiando messaggi LLRP con il Reader, tramite interfaccia grafica; l'altra legge i file csv

APPENDICE A. CONTENUTO DEL CD-ROM ALLEGATO

contenenti i dati risultati dalle inventory e stima la velocità utilizzando diversi algoritmi.

Appendice B

Specifiche delle Antenne



Innovative Technology
for a Connected World

S8658PL S8658PR Circular Polarity RFID Panel Antenna



865-870 MHz 8.5 dBic CIRCULAR POLARITY PANEL

The Laird Technologies' S8658PL antenna is a circularly polarized panel antenna that provides reception and transmission of signals in the 865-870 MHz frequency band. Laird Technologies' industry-renowned design methodology achieves maximum efficiency and performance across the entire frequency band.

Both VSWR and axial ratios are excellent and allow the user to achieve the maximum performance for an antenna of this type. The antenna is housed in a heavy duty radome enclosure that can be directly wall mounted. An optional articulating mount allows either wall or mast mounting.

The antenna is offered with an integrated coax pigtail and a variety of connector types are available.

FEATURES

- Low profile
- Extremely low VSWR and axial ratio
- Weather and UV resistant radome
- Wide range of connector and cable options
- Left hand and right hand CP versions

APPLICATIONS

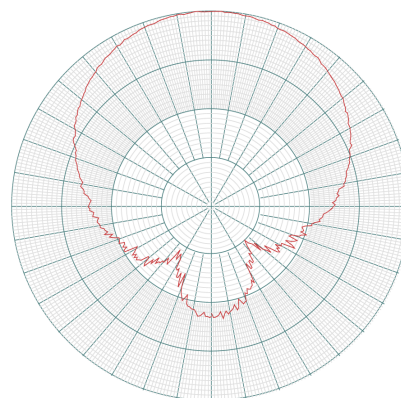
- Warehouse
- Distribution center
- Airports and hospitals
- Transit terminals
- Conveyor belt

APPENDICE B. SPECIFICHE DELLE ANTENNE



Innovative Technology
for a Connected World

S8658PL S8658PR Circular Polarity RFID Panel Antenna



865 MHz

SPECIFICATIONS

Antenna Part Number	S8658PL and S8658PR
Frequency Range	865 - 870 MHz
Gain	8.5 dBic
Maxium VSWR	1.5:1
3 dB Beamwidth - Azimuth	70°
Front to Back Ratio	18 dB
Polarization	Circular Right or Left
Maxium Input Power	10 Watts
Input Impedence	50 Ohms
Axial Ratio	1dB Typical
Weight (Kg)	1.75 lbs (1.13)
Mechanical Size	10.2" x 10.2" x 1.32"
Antenna Connection	Coax Pigtail, Rev TNC Male (others available)
Radome	High Strength PC
Mount Style	Threaded Stud
Temperature Operational	-25°C to +70°C
Lightning Protection	DC Grounded
Environmental Rating	IP 54



atlasRFIDstore.com
1.888.238.1155 • Inside USA
1.205.383.2244 • Outside USA

info@atlasRFIDstore.com • www.atlasRFIDstore.com

ANT-DS-S8658PL S8658PR 0709

Any information furnished by Laird Technologies, Inc. and its agents is believed to be accurate and reliable. All specifications are subject to change without notice. Responsibility for the use and application of Laird Technologies materials rests with the end user, since Laird Technologies and its agents cannot be aware of all potential uses. Laird Technologies makes no warranties as to the fitness, merchantability or suitability of any Laird Technologies materials or products for any specific or general uses. Laird Technologies shall not be liable for incidental or consequential damages of any kind. All Laird Technologies products are sold pursuant to the Laird Technologies Terms and Conditions of Sale in effect from time to time, a copy of which will be furnished upon request. © Copyright 2009 Laird Technologies, Inc. All Rights Reserved. Laird, Laird Technologies, the Laird Technologies Logo, and other marks are trade marks or registered trade marks of Laird Technologies, Inc. or an affiliate company thereof. Other product or service names may be the property of third parties. Nothing herein provides a license under any Laird Technologies or any third party intellectual property rights.

APPENDICE B. SPECIFICHE DELLE ANTENNE



US Office: Tel: 800.648.2800 or +1.847.671.6690
 UK Office: Tel: (+44) 1543 459 555
 www.mobilemark.com



Patch Dual-Polarity 3 dBi, RFID & ISM

- Dual polarity maintains very compact package
- 3 dBi gain for RFID & 902-928 MHz ISM
- Weatherproof radomes; perfect for in-building & outdoor coverage
- Wall swivel mount or tape mount provides flexible installs

Mobile Mark's dual polarity antennas can be very useful for many specialized applications, where traditional patch antennas could be prohibitive. These antennas can be very useful for forklift, shelving projects, conveyor applications and other near to mid-field uses. They are also particularly useful where the corresponding tags are in a fixed position with little variation. As such, the antenna can be placed to maximize read rates.

The DL Series antennas are available in both US UHF RFID and European RFID versions. Advanced circuit board based technology provides an optimal radiation pattern and efficiency on the proper bands. These dual polarity antennas provide a more compact design, fitting into locations where traditional antennas might not. Yet dual polarity also maintains a higher level of read probability, superior to linear polarized applications.

The DLT3 antennas are provided with double sided tape for extremely simple and stable mounting applications. The wall mount also provides a hose clamp, usable for mounting to a pole or any vertical truss up to 2 inches (50 mm). Swivel Mounted horizontal to a wall, the antenna would stand out approximately 3 inches (76 mm). The

antennas terminate with 6 inches of RG-58 cable (152 mm) and SMA plug connector. Other configurations are available upon request.

The Dual Polarity Series has a DC shorted front end and is compatible with antenna sensing circuits found in the current generation of RFID readers. If your reader has a feature that requires a 10K ohm resistor, the dual polarity antenna can be special ordered with this feature.

Model #	Description
DLT3-868-1C-WHT-6	Dual Polarity, Tape mount
DLT3-915-1C-WHT-6	Dual Polarity, Tape mount
DLM3-868-1C-WHT-6	Dual Polarity, Wall mount
DLM3-915-1C-WHT-6	Dual Polarity, Wall mount

For other connector & cable configurations, please consult your sales representative.

Specifications	
Frequency:	865 - 870 MHz 902 - 928 MHz
Gain:	3 dBi - Dual Polarity
VSWR:	2:1 max over band
Impedance:	50 Ohm nominal
Maximum Power:	10 Watts
Beamwidth:	60° effective EI & Az
Front-to-Back ratio:	10 dB typical
Lightning Protection:	External recommended
Antenna Radome:	White ASA
Operating Temp:	-40°C to +85°C
Weight:	1.1 lbs (0.5 kg)
Mounting:	DLT3 Models: Flush tape mount DLM3 Models: Swivel Wall/pole mounting
Radome Size:	4.5" D x 1" (114 mm x 25 mm)
DLM3 Swivel:	+/- 45° from center
DLM3 Standoff:	3 inches (76 mm) when set parallel to wall, to front face
Termination:	6 inches (152 mm), White RG-58
Connector:	SMA Plug (Male)
Sense Detection:	DC Shorted (Reader dependent)
Shock and Vibration:	IEC 60068, EN 300 019-2-4

US Office & Headquarters: 1140 W Thorndale Ave, Itasca, IL 60143, USA
 UK Office: 8 Miras Business Park, Keys Park Road, Hednesford, Staffs, WS12 2FS, UK

Specifications subject to change without notice (3/2014)

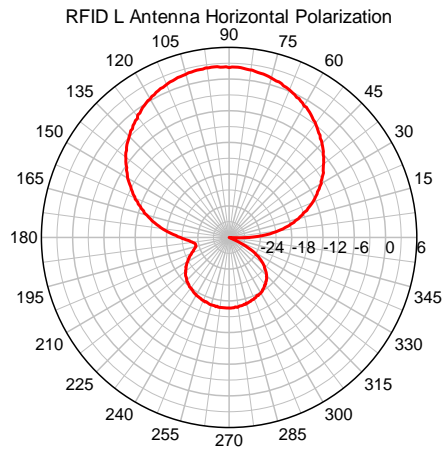
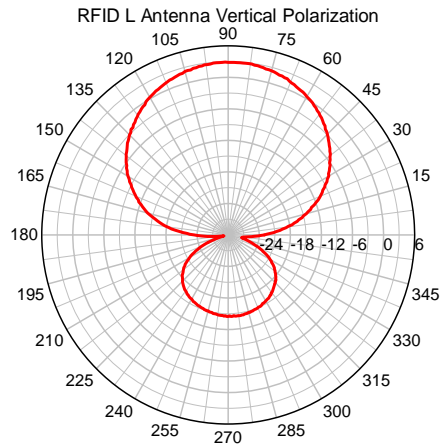
APPENDICE B. SPECIFICHE DELLE ANTENNE



DLT3-868

Dual Polarity Patch Antenna (Tape Mount)

EU RFID, 3 dBi, 865-870 MHz



Office & Headquarters: 3900-B River Road, Schiller Park, IL 60176 Tel: 800-648-2800 or 847-671-6690 Fax: 847-671-6715
UK Office: 106 Anglesey Business Park, Hednesford, Staffs. WS12 1NR UK Tel: (+44) 1543-878343 Fax: (+44) 1543-871714
Visit our web page at www.mobilemark.com. Specifications subject to change without notice (7/2005).

Product Specifications **MOBILE MARK**
COMMUNICATION ANTENNAS

**Panel Antennas,
6 dBi, RFID & ISM**



PN6-915 Patch



Swivel mounting bracket

- Weatherproof radome; perfect for in-building & outdoor coverage
- 6 dBi gain for 915 RFID (US), 868 RFID (EU), and 915 ISM
- Available in Right Hand and Left Hand Circularly Polarized (CP)
- Pole or wall mount makes installation easy and quick

Mobile Mark's Patch Antennas are perfect for RFID systems, as well as other applications in the ISM band. They have features that solve many of the problems normally associated with 900 MHz patch designs.

The PN6 Series antennas are available as either circularly polarized righthand or lefthand. With 5.5 dBi gain, these antennas can provide an improvement in system performance over micro sized patch.

For RFID applications, these antennas are typically used for mid-range reader applications, portals and conveyor belts.

These patch antennas are small (5.75 in, 146 mm square) and attractive. Mounted in a parallel wall mount application would provide a 2.7 inch stand-out (69 mm). The radome is a durable ASA material, finished in white. Mounting hardware provided includes a swivel wall mount

and stainless steel clamp for pole mounting. The antenna terminates with 6 inches of RG-58 cable (152 mm) and SMA Plug (Male) connector.

Note: Some RFID readers have an antenna sense circuit, and are looking for a 10K ohm resistor in the antenna. This is now a standard feature for the PN6 Series.

Model Number	
Models	Description
PN6-915RCP	5.5 dBi, RHCP for US RFID
PN6-915LCP	5.5 dBi, LHCP for US RFID
PN6-868LCP	5.5 dBi LHCP for EU RFID
PN6-868RCP	5.5 dBi RHCP for EU RFID

For other connector & cable configurations, please contact your sales representative

Specifications		
Frequency:	PN6-915 Series 902 - 928 MHz PN6-868 Series 865 - 870 MHz	Mounting: Standard, Swivel Wall/pole mounting with hose clamp
Gain:	5.5 dBi maximum	Antenna Radome: White ASA
VSWR:	2:1 max over range	Radome Size: 5.75" Hx 5.75" Wx 0.7" D (146 mm x146mm x 18 mm)
Impedance:	50 Ohm nominal	Weight: 1.1 lbs (0.5 kg)
Maximum Power:	10 Watts	Termination: 6"(152 mm) RG-58/SMA Plug
Beamwidth:	80° elevation, 80° azimuth	Sense Resistor: Built in 10k ohm resistor for reader with "sensing" circuits.
Front-to-Back ratio:	10 dB	Shock & Vibration: EN 61373, IEEE 1478, MIL-810G
Operating Temp:	-40°C to +85°C	Water Ingress IPx5
Lightning Protection:	External recommended	

US Office & Headquarters: 3900-B River Road, Schiller Park, IL 60176 Tel: 800-648-2800 or 847-671-6690 Fax: 847-671-6715
 UK Office: 106 Anglesey Business Park, Hednesford, Staffs. WS12 1NR UK Tel: (+44) 1543-878343 Fax: (+44) 1543-871714
 Visit our web page at www.mobilemark.com. Specifications subject to change without notice (8/2010). 59

APPENDICE B. SPECIFICHE DELLE ANTENNE

Elenco delle figure

2.1	Esempi di Tag passivi	8
2.2	Protocolli di trasmissione in un sistema RFID	9
2.3	Mapa della memoria di un Tag RFID Gen2	10
3.1	LLRP Binary Encoding	14
3.2	Impinj Dual Target [8]	16
3.3	Applicazione LLRP XCYCLE: messaggi scambiati	18
3.4	Applicazione LLRP realizzata: interfaccia grafica	23
4.1	Impinj Speedway Reader	25
4.2	Antenna DLT3-868	26
4.3	Diagramma di radiazione dell'antenna DLT3-868	26
4.4	Antenna PN6-868RCP	27
4.5	Antenna S8658PL\RJ	27
4.6	Diagramma di radiazione dell'antenna S8658PL\R	27
4.7	Tag più comune, che non funziona a contatto con metalli	28
4.8	Tag in grado di lavorare a contatto con metalli	28
4.9	Tag E41	29
4.10	Tag E51	29
4.11	Tag blu	29
4.12	Tag nero	29
5.1	Set-up del sistema RFID	31
5.2	Tag posto sulla lastra di metallo	32
5.3	Misure indoor con antenna DLT3-868	33
5.4	Misure indoor con antenna PN6-868RCP	33
5.5	Misure indoor con antenna S8658PLJ	34

ELENCO DELLE FIGURE

5.6	Misure indoor per l'antenna DLT3-868	35
5.7	Misure indoor per l'antenna PN6-868RCP	35
5.8	Misure indoor per l'antenna S8658PL\RJ	36
5.9	Disposizione 1: Antenne con schermo metallico orientate in direzione perpendicolare alla corsia	37
5.10	Disposizione 2: Antenne orientate in direzione parallela alla corsia	38
5.11	Verifica della velocità della bici tramite video	39
5.12	Configurazione 1: posizione dei Tag	40
5.13	Configurazione 2: posizione dei Tag	41
5.14	Configurazione 2: posizione dei Tag	41
5.15	Test outdoor	41
6.1	Estratto di un file che riporta i dati raccolti in una singola prova.	45
6.2	Configurazione 1 - Media dell'errore	47
6.3	Configurazione 1 - Deviazione standard dell'errore	48
6.4	Configurazione 1 - RMSE	49
6.5	Configurazione 1 post filtraggio - Media dell'errore	50
6.6	Configurazione 1 post filtraggio - Deviazione standard dell'errore	51
6.7	Configurazione 1 post filtraggio - RMSE	51
6.8	Configurazione 2 - Media dell'errore	53
6.9	Configurazione 2 - Deviazione standard dell'errore	53
6.10	Configurazione 2 - RMSE	54
6.11	Configurazioni 1 e 2 a confronto	56
6.12	Configurazione 1: errore di 0,09 m/s nella stima della velocità per un ciclista che procede a 5 m/s	59
6.13	Configurazione 2: errore di 0,36 m/s nella stima della velocità per un ciclista che procede a 5 m/s	59
6.14	Configurazione 1: errore di 0,09 m/s nella stima della velocità per un ciclista che procede a 2 m/s	60
6.15	Configurazione 1: errore di 0,09 m/s nella stima della velocità per un ciclista che procede a 8 m/s	61
6.16	Configurazione 2: errore di 0,36 m/s nella stima della velocità per un ciclista che procede a 2 m/s	61
6.17	Configurazione 2: errore di 0,36 m/s nella stima della velocità per un ciclista che procede a 8 m/s	62

Elenco delle tabelle

6.1	Configurazione 2 - confronto	55
6.2	Configurazioni 1 e 2 a confronto	55
6.3	Stima dell'errore di tempo per le configurazioni 1 e 2, a diverse distanze, per un ciclista che si muove a 5 m/s	58

ELENCO DELLE TABELLE

Bibliografia

- [1] M. Colville-Andersen, “The green waves of Copenhagen,” *Copenhagenize.com*, 2014. [Online]. Available: <http://www.copenhagenize.com/2014/08/the-green-waves-of-copenhagen.html>
- [2] XCYCLE, <http://www.xcycle-h2020.eu/>.
- [3] “Green wave for cyclists in the city of Amsterdam,” <http://www.eltis.org/discover/news/green-wave-cyclists-city-amsterdam-netherlands-0>, 2014.
- [4] P. Talone and G. Russo, *RFID, Fondamenti di una tecnologia silenziosamente pervasiva*, 2008.
- [5] EPCglobal, *EPC Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 860 MHz - 960 MHz, Version 1.2.0*, 2008.
- [6] —, *Low Level Reader Protocol (LLRP)*, <http://www.gs1.org/epcrfid/epc-rfid-llrp/1-1-0>.
- [7] Impinj, *LTK Programmers Guide*, <http://www.impinj.com/>.
- [8] —, “Understanding EPC Gen2 search modes and sessions,” <https://support.impinj.com/hc/en-us/articles/202756158-Understanding-EPC-Gen2-Search-Modes-and-Sessions>.
- [9] FedericoBerti, “RFID tag localization with virtual multi-antenna systems,” Master’s thesis, Alma Mater Studiorum - Università di Bologna - Campus di Cesena - Scuola di Ingegneria e Architettura, 2015.