

UNIVERSITÀ DEL SALENTO

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

---

TESI DI LAUREA

in

MECCANICA DEL VEICOLO

**STUDIO E IMPLEMENTAZIONE DI UN  
SISTEMA DI PARCHEGGIO ASSISTITO**

Relatore:

Ing. Giulio REINA

Laureando:

Luca PASCALI

---

ANNO ACCADEMICO 2011-2012

**Indice**

Introduzione .....	1
<b>CAPITOLO 1</b> .....	<b>4</b>
1.1 Generalità .....	4
1.2 Fari adattivi .....	6
1.3 Rilevamento di veicoli e pedoni.....	9
1.4 Sistema di controllo del livello di attenzione del guidatore .....	16
1.5 Sistema di riconoscimento corsia di marcia.....	17
1.6 Sistema di mantenimento distanza e velocità.....	19
1.7 Sistema di riconoscimento della segnaletica stradale .....	20
1.8 Sensore pioggia .....	22
1.9 Sistema antibloccaggio ruote (ABS).....	23
1.10 Sistema di controllo elettronico della stabilità (ESP).....	30
1.11 Cofano motore attivo per la protezione dei pedoni .....	33
<b>CAPITOLO 2</b> .....	<b>35</b>
2.1 Generalità .....	35
2.2 Telecamera di assistenza alla retromarcia.....	35
2.3 I sensori ad ultrasuoni .....	37
2.4 I sensori elettromagnetici .....	42
2.5 Limiti dei sensori di parcheggio.....	44
<b>CAPITOLO 3</b> .....	<b>47</b>
3.1 Descrizione del progetto e sue fasi.....	47
3.2 Il sensore Microsoft Kinect.....	48
3.2.1 Cos'è il sensore Kinect? .....	48

3.2.2	L'hardware del sensore Kinect e suo funzionamento .....	49
3.2.3	La Depth Image .....	51
3.2.4	Il tracking .....	56
3.3	Installazione del sensore .....	57
3.4	Calibrazione .....	60
3.4.1	Generalità .....	60
3.4.2	La pixelizzazione .....	64
3.4.3	La trasformazione rigida tra la telecamera e la scena .....	66
3.4.4	Calibrazione della telecamera RGB del sensore Kinect .....	68
CAPITOLO 4.....		73
4.1	Algoritmo per il riconoscimento degli ostacoli.....	73
4.1.1	Definizione della griglia di riferimento .....	73
4.1.2	Determinazione dei punti che ricadono nelle singole celle .....	76
4.1.3	Classificazione delle celle.....	82
4.2	Acquisizioni e analisi dei risultati .....	91
4.2.1	Cordolo frontale al veicolo .....	92
4.2.2	Pilastro laterale .....	95
4.2.3	Pilastro e cordolo frontali al veicolo.....	98
4.2.4	Transenna frontale al veicolo.....	101
4.2.5	Veicolo laterale in condizione di ridotta illuminazione.....	104
4.2.6	Pedone frontale al veicolo.....	107
4.2.7	Palo metallico frontale al veicolo .....	110
4.2.8	Veicolo frontale in parcheggio esterno .....	112
4.2.9	Marciapiede frontale in parcheggio esterno.....	114

Conclusioni .....	117
Appendice .....	119
Riferimenti .....	126

# Introduzione

Fino agli anni Settanta, possedere un'automobile era elemento di privilegio, visti i costi proibitivi. A partire proprio da questi anni, l'esigenza di trasporto aumentò in modo esponenziale. L'automobile iniziò a essere considerato il sistema principale di mobilità e di trasporto. Basti pensare che nel 1970, i veicoli circolanti erano circa 245 milioni in tutto il mondo. Nel 2010, il numero di veicoli immatricolati ha superato un miliardo di unità.

Il crescente utilizzo di automobili ha portato a un'evoluzione della concezione di automobile. Oltre a dover presentare un elevato livello di comfort e dover assicurare un elevato livello di sicurezza, attualmente vi è anche la necessità di produrre veicoli che ottimizzino l'uso delle risorse di carburante ed abbiano il minimo impatto sull'ambiente. Sul raggiungimento di tutti questi obiettivi, sotto vari aspetti contrastanti tra loro, si focalizza il lavoro degli attuali costruttori automobilistici. Le automobili moderne mostrano un evidente progresso funzionale, oltre ad un notevole incremento del livello tecnologico. In un mercato diventato molto competitivo, un ruolo chiave lo hanno avuto le innovazioni raggiunte negli ultimi decenni, in ambito della micro elettronica, dei sensori, dell'informatica e degli attuatori. Queste innovazioni hanno alimentato lo sviluppo di innumerevoli sistemi di controllo, che assolvono alle funzioni più svariate.

L'incremento degli standard di sicurezza è diventato uno degli obiettivi più importanti nella progettazione di veicoli per il trasporto di passeggeri. Anche il comfort di guida, le prestazioni della vettura ed il rispetto dell'ambiente sono aspetti centrali sui quali, gli attuali costruttori di autovetture, focalizzano la loro attenzione e sui quali investono ingenti risorse. I sistemi che attualmente sono disponibili sulle vetture, possono essere suddivisi in quattro categorie fondamentali: *Prestazioni, Ambiente, Sicurezza e Comfort*.

Alle ultime due categorie, appartengono nello specifico, i sistemi ausiliari di parcheggio. Si tratta di una tecnologia che, per mezzo di sensori installati sul paraurti

di una vettura, permette al guidatore del veicolo su cui è installata, di essere informato della presenza di un eventuale ostacolo nelle vicinanze della propria vettura, che si tratti di un'altra vettura, oppure di un generico oggetto. Sin dalla loro comparsa, questi sistemi sono stati rivisitati nel design, nell'interfaccia grafica per l'utente e nella tecnologia utilizzata, ma comunque il loro funzionamento di base non è cambiato. Alcune versioni prevedono soltanto una segnalazione acustica intermittente, la cui frequenza aumenta al diminuire della distanza tra ostacolo e vettura. Le versioni più recenti invece combinano questa segnalazione acustica con una segnalazione visiva, oltre che con un'indicazione precisa della distanza. Riguardo alla tecnologia utilizzata, la più diffusa è senza dubbio la tecnologia basata su ultrasuoni, ma negli ultimi tempi sono stati proposti dei sistemi basati su tecnologia elettromagnetica.

Il seguente lavoro di tesi si è proposto di sviluppare un sistema ausiliario di parcheggio, utilizzando la tecnologia infrarossa. Nello specifico, il sensore utilizzato è il Microsoft Kinect, composto di una telecamera RGB, un proiettore IR e una telecamera sensibile alla stessa frequenza. L'idea di base del lavoro è quella di implementare un algoritmo che, dalla ricostruzione 3D dello scenario effettuata dal sensore, produca una mappa 2D della zona frontale alla vettura che possa fornire un ausilio visivo al guidatore, durante una manovra di parcheggio. L'algoritmo suddivide la nuvola di punti 3D acquisita dal sensore, all'interno di celle appartenenti a una griglia di riferimento. Elaborando questi punti, in relazione alla loro altezza dal suolo, ogni singola cella della griglia viene classificata dall'algoritmo come attraversabile, non attraversabile oppure non definita. Per distinguerle graficamente, nella mappa 2D finale, queste celle vengono colorate rispettivamente di verde, rosso e ciano. In questo modo, è possibile riconoscere quali zone dello scenario possono essere percorse dalla vettura e quali invece non lo sono, a causa della presenza di un ostacolo.

Al fine di verificare le prestazioni dell'algoritmo implementato, si sono effettuate delle prove sul campo, durante le quali si sono riprodotti alcuni tipici scenari che si

possono incontrare durante una manovra di parcheggio. Prima però, si è resa necessaria la costruzione di un supporto per l'installazione del sensore sulla vettura.



**Sensore opportunamente installato sulla vettura.**



**Avvicinamento a una vettura in sosta.**

# CAPITOLO 1

## STATO DELL'ARTE

---

### 1.1 Generalità

Il crescente utilizzo di automobili in tutto il mondo, avvenuto negli ultimi decenni, è stato il motivo per cui si sono sviluppati veicoli che potessero, allo stesso tempo, sfruttare al meglio le risorse stradali ed il combustibile, fornire un trasporto sicuro e confortevole ai passeggeri ed avessero nel contempo, un minimo impatto sull'ambiente. Obiettivi questi spesso contrastanti tra loro [1].

Le case automobilistiche, spesso in collaborazione con la comunità scientifica accademica, hanno focalizzato la loro attenzione su obiettivi quali la sicurezza, la riduzione degli inquinanti nel rispetto dell'ambiente, il miglioramento delle prestazioni con i minimi consumi e il comfort di guida, investendo ingenti risorse in ricerca e sviluppo. Questo ha portato a veicoli equipaggiati da un numero sempre maggiore di sistemi tecnologici.

In media nel mondo, una persona muore ogni minuto a causa di un incidente d'auto. I dati mostrano inoltre che nel 90% dei casi, l'incidente è causato da errori umani. Proprio per questo motivo, negli ultimi anni, l'incremento degli standard di sicurezza è diventato uno degli obiettivi più importanti nella progettazione di veicoli per il trasporto di passeggeri. La continua innovazione nell'ambito dell'elettronica e dei microcontrollori ha consentito un notevole sviluppo proprio in questo senso, permettendo la nascita di sistemi in grado di controllare le dinamiche del veicolo (*Vehicle Dynamics Control*) e di automatizzare le banali operazioni di guida, riducendo gli oneri del conducente e di conseguenza, gli incidenti stradali.

Gli innumerevoli sistemi di controllo di cui attualmente le vetture possono essere equipaggiate, hanno il compito di controllare e modificare le tre dinamiche del veicolo:

- **dinamica longitudinale** ovvero tutti i moti longitudinali del veicolo compreso il beccheggio. In quest'ambito ricadono, ad esempio, il sistema antibloccaggio delle ruote (ABS) ed il sistema di controllo della trazione (TSC).
- **dinamica laterale** ovvero tutto ciò che riguarda il comportamento in curva del veicolo, compresi i moti di rollio e imbardata. L'analisi di questa dinamica è interessante dal punto di vista della sicurezza di guida e il comfort dei passeggeri. In questo ambito ricade, ad esempio, il sistemi di controllo del moto di imbardata del veicolo e recupero della stabilità, come l'ESP.
- **dinamica verticale** ovvero i moti determinati dall'interazione delle quattro sospensioni con le disomogeneità della strada.

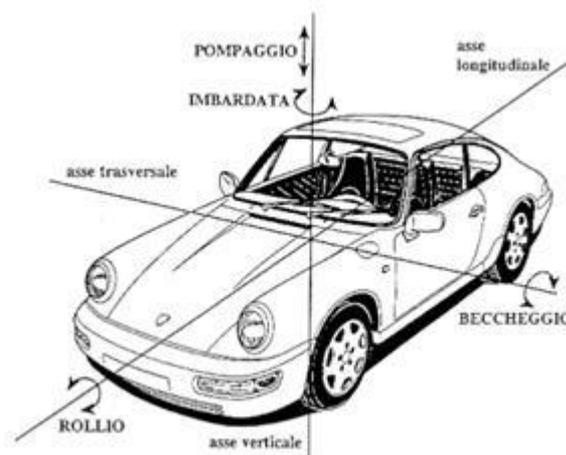


Figura 1-1 Sistema di riferimento veicolo e principali moti attorno agli assi.

In seguito, si descriveranno i più significativi sistemi di controllo relativi a sicurezza e comfort, in quanto è proprio in queste due categorie che si può collocare il sistema alla base del lavoro di tesi.

## 1.2 Fari adattivi

Fino a pochi anni fa, i fari di una vettura venivano considerati solo per la loro funzionalità e l'unica opzione disponibile per l'automobilista, erano i fari fendinebbia. I sistemi di illuminazione con lampade a incandescenza, sono stati soppiantati da:

- **Sistemi alogeni:** Tecnologia nata nei primi anni 60. Nel bulbo delle lampade ad incandescenza, vengono inserite piccole quantità di sostanze che permettono di aumentare luminosità e durata. Solitamente si tratta di iodio. Queste lampade sono identificate dalla lettera H.
- **Sistemi allo xeno:** L'esordio di questa applicazione automobilistica risale ai primi anni 90. Nelle lampade non vi è più il filamento incandescente, bensì due elettrodi tra i quali viene innescato un arco elettrico. Tale arco viene reso particolarmente luminoso dal fatto che, l'intera lampada, è riempita di gas xeno. Chiamate anche lampade a scarica di gas, sono identificate con la lettera D.
- **Sistemi a led:** Questi sistemi hanno il vantaggio di assorbire molta meno energia a parità di luce emessa. Contrariamente ai precedenti sistemi, i led non si scaldano, tuttavia lo fa l'elettronica di comando. Per questo motivo i proiettori sono dotati di sistemi di dissipazione del calore.
- **Sistemi a matrice:** Si tratta dell'ultimo traguardo nell'ambito dell'illuminazione automobilistica.

Molti incidenti stradali si verificano a causa dell'abbagliamento che i proiettori di una vettura causano ad altri utenti della strada. Questo fenomeno può essere dovuto al fatto che, il guidatore non si rende conto di avere gli abbaglianti accesi oppure disattiva quest'ultimi troppo tardi. Al fine di evitare queste pericolose situazioni, si sono sviluppati sistemi di fari adattivi che regolano automaticamente l'intensità luminosa e l'inclinazione del fascio luminoso. Questi sistemi commutano automaticamente abbaglianti e anabbaglianti, senza che ci sia l'intervento del guidatore, quando sopraggiungono vetture nel senso opposto di marcia ma anche

quando si è al seguito di vetture a breve distanza. Così facendo, è assicurato il livello di illuminazione più idoneo, senza mettere in difficoltà gli altri utenti della strada. L'ultima frontiera in quest'ambito, è costituita dai sistemi di illuminazione a matrice, tecnologia quest'ultima, sviluppata da Opel. Denominata *Intelligent Led Matrix Light*, tramite dei proiettori a led, si ottiene un'illuminazione adattiva senza ricorrere a complessi sistemi meccanici, ma gestendo opportunamente l'accensione dei singoli led [11] [9]. Fuori dai centri abitati si viaggia sempre con gli abbaglianti inseriti. Tramite una telecamera frontale, posizionata nella parte superiore del parabrezza, viene individuata una zona in cui è presente un'altra fonte luminosa. Il fascio di luce diretto in quella zona viene ridotto oppure completamente annullato, lasciando massima invece, l'illuminazione in tutto lo spazio circostante. Questo permette di non disturbare sia utenti che ci precedono, sia utenti che sopraggiungono nel senso contrario di marcia.

Altri sistemi di controllo dei proiettori sono in grado di regolare il livello di illuminazione del gruppo ottico della vettura, adeguandolo automaticamente al livello di illuminazione della zona che la vettura si trova ad attraversare, alle condizioni atmosferiche ed alle condizioni di marcia. È garantita così, una visibilità ottimale in qualsiasi situazione e quindi maggiore sicurezza (*Intelligent Light System* di Mercedes Benz [8], *High Beam Assistant* di BMW [10], *Intelligent Headlight Control* di Mobileye [12]).

Quando si percorre una curva, i tradizionali fari seguono l'andamento della vettura, illuminando così, parte della carreggiata opposta. Questo aspetto provoca sia l'inconveniente di abbagliare guidatori che viaggiano in direzione di marcia opposta, sia l'inconveniente di non offrire un'illuminazione ottimale, in particolar modo del ciglio della strada. Per ovviare a questo problema, BMW equipaggia le proprie vetture con l'*Adaptive Light Control* [10]. Allo stesso scopo, su molte vetture Mercedes Benz, si possono installare i fari attivi [8]. Tramite alcuni sensori si rilevano parametri quali velocità, angolo di sterzata e momento di imbardata (Figura 1-1). Da quest'ultimi, si stabilisce l'entità dello spostamento che un motorino elettrico deve applicare ai fari, in modo che essi vadano ad illuminare perfettamente

la carreggiata. Essenzialmente questi sistemi, permettono ai fari di seguire l'angolo di sterzata delle ruote, facilitando al guidatore, l'individuazione di eventuali pedoni, ciclisti oppure animali. Risultano sistemi molto utili, soprattutto quando si percorrono tratti stradali particolarmente tortuosi e privi di illuminazione.

Attualmente, molte vetture sono equipaggiate da un innovativo sistema di controllo dei fari ausiliari (solitamente si utilizzano i fari fendinebbia ma in altri casi, possono essere utilizzati dei riflettori supplementari, integrati nei fari principali), sistema che ha l'obiettivo di assistere il guidatore durante la manovra di svolta ad un incrocio, la manovra di parcheggio oppure durante la percorrenza di strade tortuose. Con questo sistema è assicurata l'ottimale illuminazione della zona laterale antistante la vettura (Figura 1-2). Questo sistema solitamente, entra automaticamente in funzione quando si procede a velocità ridotte e quando, con i fari principali accesi, il guidatore attiva un indicatore di direzione oppure effettua una manovra di sterzata accentuata.



**Figura 1-2 *Cornering Lights* di BMW [10].**

Un ulteriore sistema è quello che agisce sulle luci di stop di una vettura. Quando si effettua una brusca manovra di decelerazione, le luci di stop iniziano a lampeggiare

velocemente, con l'obiettivo di informare i guidatori che sopraggiungono, del possibile rischio di tamponamento (Luci di stop adattive di Mercedes Benz [8]).

### **1.3 Rilevamento di veicoli e pedoni.**

Il tamponamento è sicuramente il tipo di incidente più comune, dovuto nella maggior parte dei casi, alla distrazione del guidatore. Al fine di ridurre la percentuale di questi incidenti, oggi esistono sistemi che verificano costantemente la distanza dai veicoli che precedono. Questi sistemi si servono di sensori radar, installati solitamente nel frontale della vettura. Appena la distanza dalla vettura che precede scende al di sotto del limite di sicurezza, il conducente viene avvisato, per tempo, della situazione di pericolo mediante un segnale visivo sulla plancia strumenti. Quando il rischio di tamponamento si fa più concreto, la segnalazione visiva viene integrata per mezzo di segnali acustici (*Collision Prevention Assist* di Mercedes Benz [8]). Questi sistemi anticollisione possono essere accompagnati da altri sistemi che assolvono a funzioni accessorie di notevole importanza. Il più comune è un sistema di frenata adattiva (*Adaptive Brake Assistant* di BMW [10] oppure *Brake Assist Adattivo* di Mercedes Benz [8]) che può trovarsi abbinato anche al sistema di disinserimento della valvola a farfalla (*City Safety* di Volvo [13]). I sensori radar misurano sia la distanza dall'ostacolo, sia la velocità e l'accelerazione relative, determinando, in questo modo, la pressione frenante necessaria per sfruttare al meglio lo spazio residuo ed evitare la collisione. Negli istanti di tempo in cui il guidatore non opera sul pedale del freno, la pressione nell'impianto frenante viene mantenuta tale da far sì che le pastiglie si trovino a contatto con i dischi freno, senza tuttavia generare un'azione frenante. Questo per ridurre il tempo di reazione. Nel momento in cui il guidatore preme sul pedale del freno, viene resa operante la pressione di frenata calcolata, indifferentemente dalla pressione esercitata dal guidatore. Il tutto perché quest'ultima potrebbe essere insufficiente.

Alcune vetture sono equipaggiate con sensori integrati con le portiere e con il montante anteriore e centrale delle vetture (Figura 1-3). Questi sensori riconoscono

un'eventuale situazione critica e reagiscono in pochi millesimi di secondo, attivando vari sistemi. A prescindere dall'entità della collisione, si innescano delle misure cautelative per garantire la protezione dei passeggeri e del guidatore.



Figura 1-3 Sensori d'urto BMW [10].

Tra queste misure pre-impatto, si possono citare: il pretensionamento delle cinture di sicurezza, la chiusura dei finestrini e del tetto, il riposizionamento del sedile guidatore e passeggero, l'azionamento degli eventuali poggiatesta attivi, la chiusura automatica delle portiere e l'accensione intermittente dei fari posteriori. In base poi a quali sedili risultano occupati, si attivano i relativi airbag necessari per proteggere gli occupanti della vettura. Attualmente le vetture sono equipaggiate con un numero di airbag sempre maggiore. Basti pensare che Mercedes-Benz propone ai propri clienti persino un airbag per la protezione e la salvaguardia di ginocchia e gambe del guidatore. Posizionato sotto il piantone dello sterzo, il suo nome è *kneebag* (Figura 1-4) [8]. Tra le misure cautelative attivate ad impatto ormai avvenuto, la più comune è senza dubbio la separazione della batteria, del generatore e della pompa di alimentazione dal serbatoio del carburante. Quanto detto, per minimizzare il rischio di incendio. Inoltre, le portiere precedentemente bloccate, vengono sbloccate. Questo

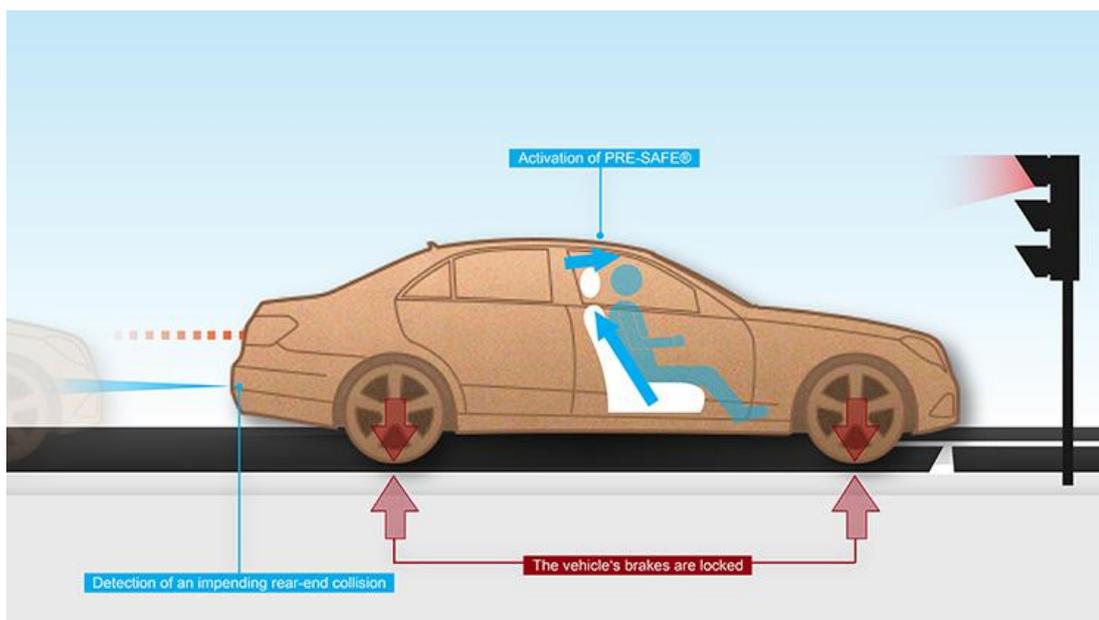
per permettere al conducente e ai passeggeri di abbandonare velocemente la vettura, inoltre per permettere l'apertura delle stesse dall'esterno, da parte del personale di soccorso. Inoltre si attivano automaticamente l'illuminazione interna e l'impianto lampeggiatore di emergenza (*sistema PRE-SAFE* di Mercedes Benz [8]).



**Figura 1-4 Il Kneebag di Mercedes Benz [8].**

Poiché le situazioni di pericolo possono verificarsi anche per opera delle vetture retrostanti, Mercedes-Benz dispone del sistema *Pre-Safe PLUS* che, per mezzo di un sensore radar integrato nel paraurti posteriore della vettura, riconosce il pericolo di tamponamento a opera di un veicolo al seguito. Il guidatore di quest'ultimo veicolo, viene allertato tramite il lampeggiare dei fari posteriori. Se il rischio persiste, al fine di proteggere i passeggeri, si attivano le misure preventive citate in precedenza. Inoltre, se il veicolo è fermo, si aziona il sistema frenante in modo da limitare lo spostamento della vettura in seguito all'urto. Questo aspetto è di notevole importanza per limitare innanzitutto i danni ai passeggeri. Inoltre si evita che il veicolo vada ad impattare contro un altro veicolo che lo precede oppure invada un attraversamento pedonale in prossimità di un incrocio (Figura 1-5) [8].

Tra le misure cautelative in caso di tamponamento, è stata precedentemente citata l'attivazione dei poggiatesta attivi. In sostanza, quando i sensori riconoscono una situazione di pericolo, i poggiatesta dei sedili occupati da passeggeri, ruotano verso l'alto e traslano in avanti per andare a sostenere la testa del passeggero e limitarne i danni da urto (*Poggiatesta Neck-PRO* di Mercedes Benz [8]).



**Figura 1-5 Sistema Pre-Safe PLUS di Mercedes Benz [8].**

Gli utenti più vulnerabili della strada sono senza dubbio i pedoni ed i ciclisti, in quanto difficilmente individuabili, soprattutto in condizioni di carente illuminazione. Un guidatore disattento, potrebbe non rendersi conto di essersi avvicinato ad un attraversamento pedonale, correndo il rischio di investire un pedone intento all'attraversamento della strada. Oggi l'obiettivo di molte case automobilistiche è quello di riuscire ad equipaggiare le proprie vetture, con un sistema che, al riconoscimento di un pedone situato davanti alla vettura, informi il guidatore del probabile pericolo di collisione. In questo momento, l'unica società che ha in produzione in sistema di riconoscimento dei pedoni, è la compagnia Mobileye, impegnata nello sviluppo di svariate tecnologie di visione artificiale. Nel 2010

Mobileye ha messo sul mercato il *Mobileye Pedestrian Collision Warning (PCW)* [12] installato su Volvo S60 e V60 [13]. Si tratta del primo sistema al mondo di riconoscimento dei pedoni, con sistema integrato di frenata assistita. Il PCW, per mezzo di una camera anteriore riconosce, nello scenario che precede la vettura, dei modelli campione come braccia, gambe, testa e torace di un pedone (Figura 1-6). Quando viene riconosciuto un pedone, si innescano alcune segnalazioni visive e acustiche, atte ad allertare il guidatore del rischio di collisione (Figura 1-7). Se quest'ultimo non interviene volontariamente con un'azione di frenata, il sistema conferma la presenza del pedone ed attiva autonomamente il sistema frenante. La vettura viene quindi rallentata o arrestata del tutto, prima che avvenga l'impatto. Attualmente, la compagnia Mobileye sta lavorando per raggiungere le seguenti 4 ottimizzazioni per il sistema:

- riconoscere i pedoni a distanze maggiori;
- aumentare la velocità con cui il sistema riconosce il pedone, aumentando così la reattività del sistema stesso;
- ottimizzare il riconoscimento dei pedoni in scenari, come quello urbano ad esempio, in cui l'elevato numero di oggetti e sfondi rallentano la fase di riconoscimento;
- risolvere i problemi di monitoraggio dovuti al fatto che, i pedoni sono elementi non rigidi bensì flessibili.



**Figura 1-6** *Mobileye Pedestrian Collision Warning* - riconoscimento pedone [12].



**Figura 1-7** *Mobileye Pedestrian Collision Warning* - Segnale di allerta [12].



**Figura 1-8 *Night Vision* di BMW [10].**

La condizione di guida che rende più difficoltosa l'individuazione di eventuali ostacoli nella carreggiata, è senza dubbio la guida con ridotta illuminazione, come avviene durante le ore notturne. È proprio di notte infatti, che si verifica il 40% degli incidenti mortali. Per questo motivo, alcune case automobilistiche attualmente riescono a fornire sistemi di supporto per la visione notturna come ad esempio il sistema *Nightview* di Mercedes Benz [8] oppure il BMW *Night Vision* [10] (Figura 1-8). Tramite una telecamera infrarossi, sul display compare l'immagine illuminata della strada, contrassegnando la posizione dei pedoni o di qualsiasi ostacolo individuato.

Gli specchi retrovisori, sia quelli laterali che quello interno, permettono solo in parte di vedere cosa succede alle spalle del veicolo. Rimane pur sempre una zona, chiamata *angolo morto* oppure *zona d'ombra*, della quale non si ha visione e quindi non si è informati di quanto vi accade all'interno. Per mezzo di sensori radar a corto raggio, posizionati nel paraurti posteriore oppure negli specchi retrovisori laterali, esistono dei sistemi che esaminano proprio la zona d'ombra. La nuova Ford Focus è equipaggiata dal *BLIS* (Sistema di rilevamento veicoli nella zona d'ombra) [14]. Quando il sistema individua la presenza di un veicolo, una segnalazione visiva informa il conducente. Se quest'ultimo attiva in ogni modo l'indicatore di direzione,

si attiva una segnalazione acustica. Queste due tipologie di segnalazioni possono essere integrate con un'azione controsterzante direttamente al volante.

## **1.4 Sistema di controllo del livello di attenzione del guidatore**

Da studi specifici di settore è emerso che, circa un quarto degli incidenti autostradali gravi, sono riconducibili alla stanchezza e sonnolenza del guidatore. I lunghi viaggi senza soste comportano elevati rischi di affaticamento, i cui sintomi spesso non vengono riconosciuti con sufficiente anticipo.

La capacità di percezione di un pericolo e la capacità di reagire alla situazione, diminuiscono progressivamente e con un'intensità tale da rendere spesso l'automobilista incapace di guidare correttamente già nelle prime fasi di affaticamento.

Per evitare tali incidenti, sono in commercio dei sistemi di controllo del livello di attenzione del guidatore. Sulla nuova Ford Focus è presente il sistema *Driver Alert* [14] mentre l'*Attention Assist* è l'equivalente sistema di Mercedes Benz [8] (Figura 1-9). Nei primi 15 minuti di viaggio, il sistema genera un profilo personale del guidatore basandosi su svariati parametri come la velocità di guida, l'entità delle accelerazioni effettuate, il modo con cui vengono utilizzati gli indicatori di direzione, il modo in cui vengono spinti i pedali di comando, oltre al movimento del volante. Quest'ultimo è un indicatore molto importante. Da studi specifici, infatti, è emerso che un guidatore stanco commette, nella manovra di sterzata, dei piccoli errori che tende a correggere bruscamente. Quando ciò accade, il sistema verifica il tempo trascorso dall'ultima sosta. Inoltre verifica lo svolgimento o meno, da parte del guidatore, di ulteriori attività come, ad esempio, l'utilizzo del riproduttore musicale oppure l'utilizzo del navigatore satellitare. Confrontando svariati indicatori con quelli caratterizzanti il profilo guidatore, il sistema è capace di valutare il livello di attenzione del driver; se quest'ultimo risulta basso, il sistema emette un segnale

acustico e visivo con cui informa il guidatore della necessità di dover effettuare una pausa.



**Figura 1-9 Attention Assist di Mercedes Benz [8].**

## 1.5 Sistema di riconoscimento corsia di marcia

Una delle cause di incidente più frequente, troppo spesso con gravi conseguenze, è l'abbandono involontario della corsia di marcia, dovuta a stanchezza oppure ad una semplice distrazione del guidatore. Sin dalla fine degli anni '90, molti gruppi di ricercatori universitari si sono prodigati a determinare un sistema che potesse riconoscere la situazione di abbandono involontario della corsia e, di conseguenza, informare il conducente del veicolo. Alcuni ricercatori della California PATH determinarono un sistema di riconoscimento corsia, basato sull'utilizzo di alcuni magneti cilindrici posizionati, ad intervalli regolari, al centro della corsia. La misura della posizione laterale del veicolo veniva effettuata tramite il campo magnetico di questi magneti permanenti. Un gruppo di ricercatori dell'Università di Berkeley e dell'Università Carnegie Mellon, hanno sviluppato un sistema di misurazione della posizione della vettura all'interno della corsia, tramite la visione di una camera posizionata sulla vettura. Ricercatori dell'Università del Minnesota hanno sviluppato

un sistema che utilizza il GPS. Anche molte case automobilistiche si sono cimentate, negli ultimi anni, nello sviluppo di un proprio sistema di identificazione della corsia di marcia [1].

La compagnia Mobileye [12] ha progettato il sistema *Lane Departure Warning (LDW)*. Con l'ausilio di una camera anteriore, questo sistema riconosce la linea di demarcazione della corsia, sia essa continua, tratteggiata, di colore bianco, giallo o blu. Combinando la traiettoria e la velocità della vettura, con la posizione delle linee della corsia, è in grado di determinare il tempo che deve intercorrere affinché si verifichi il superamento della linea e quindi l'abbandono della corsia. Il sistema *LDW*, permette all'utente di decidere se i segnali di allerta, visivi ed acustici, si devono manifestare prima del superamento della linea oppure a superamento avvenuto. Questo perché ci si può trovare a percorrere strade strette che comporterebbero l'attivazione molto frequente del segnale di allerta. Un sistema analogo equipaggia sia alcune vetture BMW [10] (Figura 1-10), sia alcune vetture Mercedes Benz (*Active Lane Keeping Assist*, [8]) sia la nuova Ford Focus [14]. Se la vettura è in procinto di abbandonare la corsia di marcia, oltre alla segnalazione visiva ed acustica, il guidatore viene informato del pericolo, per mezzo di una vibrazione al volante. Il funzionamento di questi sistemi viene impedito automaticamente, quando il guidatore attiva gli indicatori di direzione. In questa situazione, l'abbandono della corsia è un gesto volontario del guidatore che, magari, è intenzionato a effettuare un sorpasso oppure ad imboccare una nuova strada, oppure esso si trova in una zona di lavori in corso o nel traffico cittadino.



Figura 1-10 Avvisatore cambio accidentale della corsia di marcia di BMW [10].

## 1.6 Sistema di mantenimento distanza e velocità

In questa categoria, il primo sistema a essere stato commercializzato è stato il *Cruise Control (CC)*, sistema che rende più confortevole la guida soprattutto su strade rettilinee, come ad esempio un'autostrada oppure, su strade in cui vigono limiti di velocità. Quando il dispositivo viene attivato, una centralina memorizza la velocità di crociera e la mantiene costante, confrontando il valore memorizzato con la velocità effettiva. In caso di scostamento, il sistema interviene sulla valvola a farfalla. Secondo i modelli e la casa costruttrice, l'attivazione può avvenire tramite una leva posizionata sul piantone sterzo oppure tramite tasti multifunzione sul volante. È inoltre possibile memorizzare diverse velocità, così da poter adeguare istantaneamente la velocità alle condizioni stradali. I vantaggi sono numerosi. Primo tra tutti il fatto che l'attenzione del conducente, nei confronti del traffico, non viene distolta e durante i lunghi viaggi, si evita l'affaticamento dei muscoli della gamba, derivanti dal tenere il piede sull'acceleratore. Solitamente dopo un'accelerazione, la velocità ritorna automaticamente al valore impostato, mentre frenando il dispositivo viene disattivato.

Un'estensione del CC è l'*Adaptive Cruise Control (ACC)*. Un veicolo equipaggiato con l'ACC ha un radar, oppure un altro sistema di sensori, che misura la distanza dagli altri veicoli che precedono nella corsia. Se non si è preceduti da alcun veicolo, l'ACC funziona come il tradizionale CC ovvero come sistema di controllo della velocità. Se il radar intercetta un veicolo che precede sulla corsia, ne misura distanza e velocità. In base ai valori di questi parametri, il sistema stabilisce se il veicolo può continuare a viaggiare alla velocità desiderata oppure se deve rallentare. In quest'ultima circostanza, l'ACC si tramuta in un sistema di controllo dello spazio; regola la velocità della vettura in modo che lo spazio rispetto al veicolo che precede, resti ad un valore desiderato e comunque in un range di sicurezza (Figura 1-11) [1].

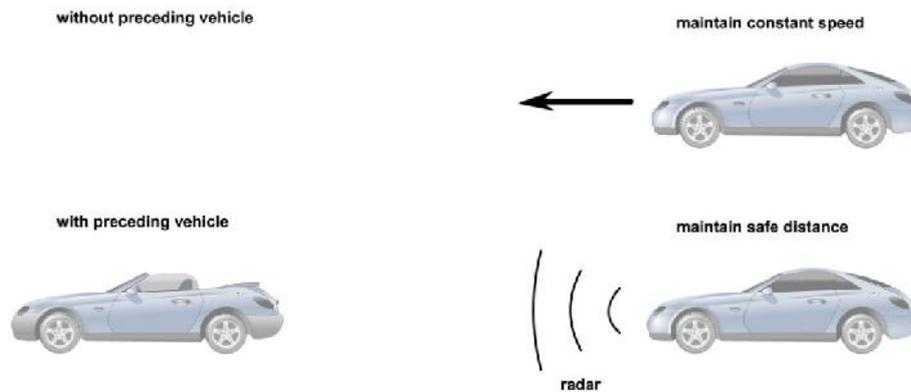


Figura 1-11 Funzionamento dell'*Adaptive Cruise Control* [1].

## 1.7 Sistema di riconoscimento della segnaletica stradale

La violazione dei limiti di velocità è, in tutto il mondo, la causa della maggior parte degli incidenti stradali più gravi. Attualmente sono stati sviluppati dei sistemi con l'obiettivo di richiamare l'attenzione del guidatore, sulla velocità massima che deve rispettare, rendendo più sicuro il suo stile di guida. Il limite in km/h viene visualizzato sul display multifunzione della strumentazione. Questa indicazione resta visualizzata fino a quando è di nuovo possibile viaggiare senza limiti di velocità oppure quando il sistema rileva un limite di velocità diverso.

Una telecamera anteriore (solitamente installata nel retro dello specchio retrovisore) osserva costantemente la strada davanti alla vettura. Le immagini riprese dalla telecamera, vengono analizzate da un computer per individuare eventuali superfici circolari. Comparando tali superfici con alcuni modelli in memoria, vengono eliminate tutte quelle superfici circolari che non sono dei segnali stradali. Rimangono quindi soltanto i cartelli stradali rotondi che segnalano i limiti di velocità. Una volta riconosciuto il segnale stradale, questo viene trasmesso al display multifunzione, in modo che il conducente della vettura sia istantaneamente informato del limite di velocità vigente in quel tratto di strada e possa di conseguenza adattare la sua

velocità. Il fatto che il sistema si basa sulle immagini riprese dalla telecamera, fa sì che i segnali vengano riconosciuti non solo se posti ai margini della strada, ma anche su portali a cavalletto in prossimità di cantieri oppure sospesi al di sopra della carreggiata.

In Europa esistono anche dei segnali di limite di velocità rettangolari, basta pensare ai pannelli che si incontrano all'ingresso o all'uscita da un centro urbano. Per ovviare a questo problema, il sistema di assistenza effettua un riscontro con i dati della cartina stradale digitale, ottenuta dal sistema di navigazione della vettura, in modo da verificare la coerenza dell'immagine ripresa dalla telecamera.

Mercedes Benz ha sviluppato lo *Speed Limit Assist* (Figura 1-12) [8] che riconosce esclusivamente i segnali di limite di velocità. BMW ha integrato il proprio sistema *Speed Limit Info* [10] con il riconoscimento anche del segnale di divieto di sorpasso. Inoltre il sistema memorizza temporaneamente tutti i dati in modo che, all'avvio della vettura dopo una breve sosta, venga visualizzata immediatamente l'ultima velocità e l'ultimo segnale di divieto di sorpasso in vigore.

Nell'ambito dei sistemi di riconoscimento della segnaletica stradale compare anche il *Mobileye Traffic Sign Detection (TSD)*. Fu proprio questo sistema ad essere disponibile già nel 2008 sulla BMW Serie 7 in abbinato con il sistema di navigazione satellitare, assieme anche al *Mobileye Lane Departure Warning* ed al *Mobileye Intelligent Headlight Control* [12]. La nuova Ford Focus è equipaggiata con il *Traffic Sign Recognition* [14].



Figura 1-12 *Speed Limit Assist* di Mercedes Benz [8].

## 1.8 Sensore pioggia

Un sensore, posizionato sul retro dello specchio retrovisore interno, emette dei raggi infrarossi direzionandoli sul parabrezza. A seconda dell'entità delle precipitazioni, varia l'entità di acqua sul parabrezza e quindi varia l'intensità con cui questi raggi infrarossi vengono riflessi. Il sensore dunque, in retroazione, adatta automaticamente la frequenza di funzionamento dei tergicristalli, assicurando sempre la migliore visibilità. Tale frequenza aumenta inoltre proporzionalmente con l'aumentare della velocità di marcia del veicolo. L'utilità di questo sistema è apprezzabile soprattutto in situazioni di guida in cui, il conducente è alle prese con una particolare manovra, ad esempio il sorpasso di un camion in condizioni di asfalto bagnato. Inoltre, con questo sistema, i tergicristalli non funzionano mai "a secco", ottimizzando così la durata degli stessi.

## 1.9 Sistema antibloccaggio ruote (ABS)

Prima di parlare di ABS, occorre analizzare il comportamento della ruota in condizioni di frenatura (Figura 1-13) [3]. Si consideri uno pneumatico che rotola con una certa velocità angolare  $\omega$  e avanza con velocità  $V$ . Supponendo di trascurare le resistenze al rotolamento e di applicare un momento frenante  $M_f$ , all'interfaccia pneumatico-strada nascono delle forze tangenziali di attrito aventi risultante  $F_x$  di verso opposto all'avanzamento della ruota. Sempre all'interfaccia, nascono dei microslittamenti dai quali deriva una velocità relativa pneumatico-strada avente verso concorde con l'avanzamento della ruota. Questa velocità è nota come velocità di scorrimento  $V_s$ .

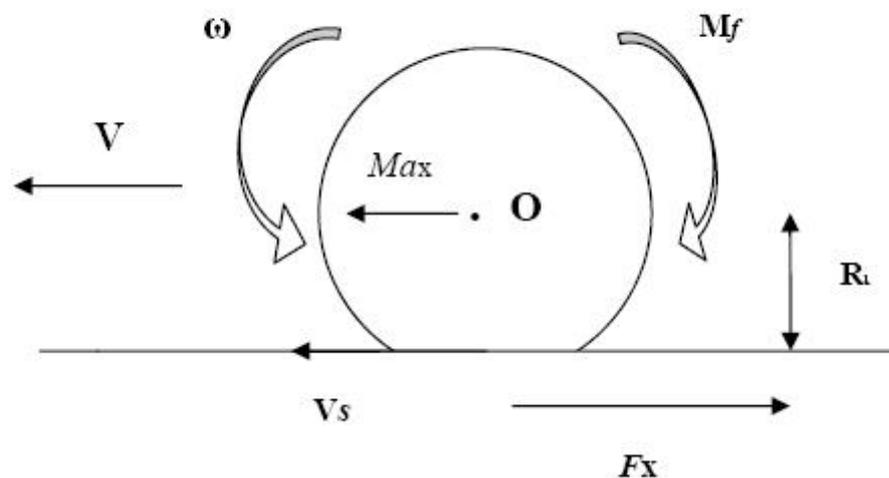


Figura 1-13 Comportamento della ruota in condizioni di frenatura.

Dall'equilibrio dei momenti risulta:

$$M_f = F_x \cdot R_l$$

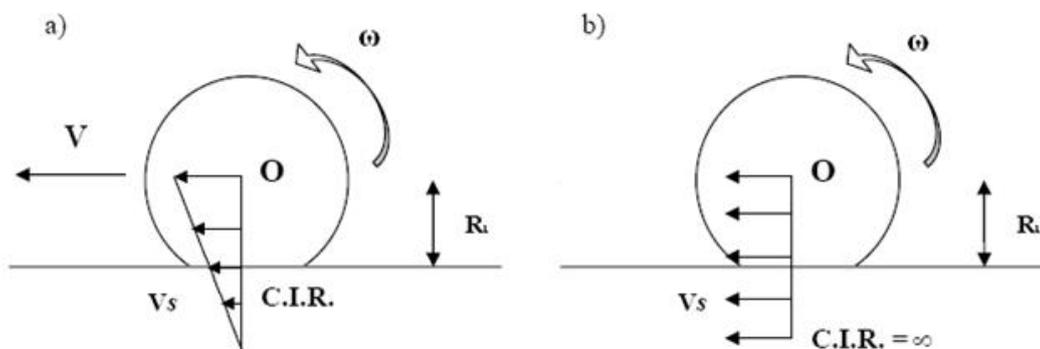
Dove  $R_l$  è il raggio sotto carico della ruota. Imponendo l'equilibrio in direzione longitudinale risulta:

$$F_x = M \cdot a_x$$

Dove  $M$  è la massa d'inerzia ed  $a_x$  è l'accelerazione. Ovviamente per il principio di azione e reazione, sull'asse del veicolo agisce una forza pari a  $F_x$  ma di verso opposto che imprime al veicolo una decelerazione di modulo pari ad  $a_x$ . Il tempo di arresto quindi, sarà minimo quando la decelerazione sarà massima, ovvero quando sarà massima la forza tangenziale di attrito. Combinando le due equazioni appena descritte, si ottiene l'espressione che lega il momento frenante alla decelerazione prodotta. Risulta:

$$M_f = M \cdot a_x \cdot R_l$$

Quando la forza tangenziale di attrito interessa l'intera zona di contatto pneumatico-strada, significa che si è verificato il blocco della ruota (*Lock-up*). La ruota si trova in una situazione di *scorrimento globale*, durante la quale il centro istantaneo di rotazione (C.I.R.) tende all'infinito (Figura 1-14).



**Figura 1-14** Diagramma della velocità di scorrimento e posizione del Centro Istantaneo di Rotazione in condizione normale di frenatura (a); in condizione di Lock-up della ruota (b).

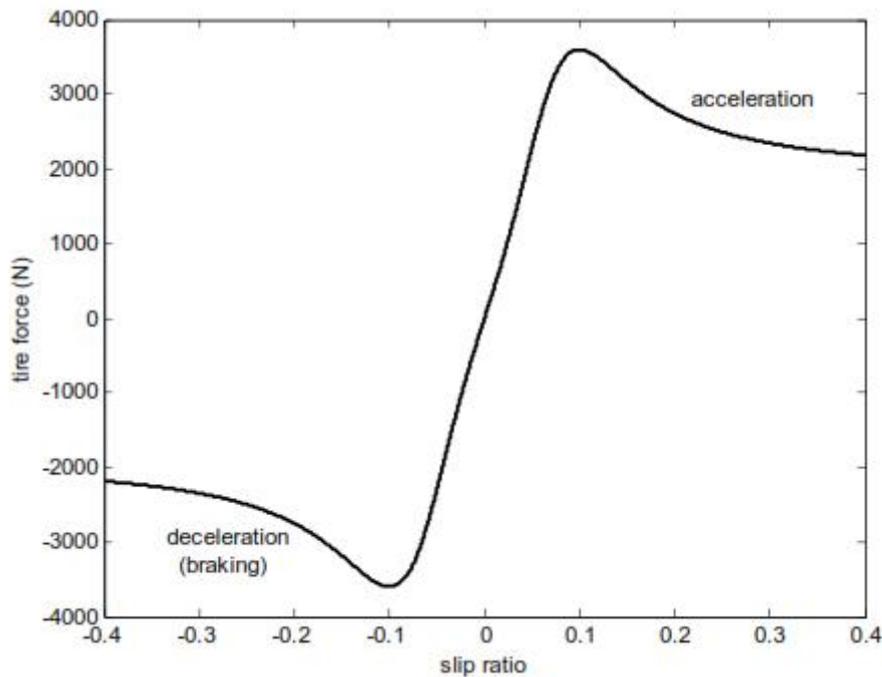
La velocità di scorrimento  $V_s$  risulta esprimibile come segue:

$$V_s = -\omega \cdot R_l + \omega \cdot R_0 = \omega \cdot (R_0 - R_l) = -V_R + V$$

Dove  $V_R$  è la velocità periferica della ruota,  $V$  è la velocità di avanzamento del centro della ruota,  $R_0$  è il raggio effettivo di rotolamento della ruota. Si definisce *coefficiente di scorrimento longitudinale (slip ratio)* il seguente rapporto:

$$\sigma = -\frac{V_S}{\omega \cdot R_0} = -\left(1 - \frac{V_R}{V}\right)$$

Risulta  $\sigma \in [0; +\infty]$  per una ruota motrice, mentre  $\sigma \in [-1; 0]$  per una ruota frenata. Nello specifico, se la ruota si trova in condizione di *puro rotolamento*, è nullo poiché è  $V_S$  ad essere nulla, mentre è unitario in condizioni di *Lock-up*.



**Figura 1-15 Forza longitudinale dello pneumatico in funzione del coefficiente di scorrimento longitudinale [1].**

Risultati sperimentali hanno definito che la forza tangenziale di attrito  $F_x$  dipende dal coefficiente di scorrimento longitudinale, dal carico normale che agisce sullo pneumatico e dal coefficiente di attrito all'interfaccia pneumatico-suolo.

Se il coefficiente di attrito all'interfaccia viene preso pari ad 1 e il carico normale viene assunto pari ad una costante, il legame tra la forza longitudinale dello pneumatico e il coefficiente di scorrimento longitudinale è descrivibile dalla curva in Figura 1-15. Per una ruota motrice, quando il rapporto di scorrimento longitudinale è inferiore a 0.1 (condizione questa che si verifica nelle comuni condizioni di guida su asfalto asciutto), la forza longitudinale segue un andamento lineare. Il massimo

della forza longitudinale si ottiene per valori del rapporto di scorrimento tra 0.1 e 0.15. La curva di Figura 1-15 ha carattere dispari per cui le osservazioni effettuate per una ruota motrice valgono anche per una ruota frenata. Se il conducente della vettura esercita un'elevata pressione frenante, lo pneumatico rallenta in maniera molto più rapida rispetto al veicolo per cui, ne deriva un rapporto di scorrimento elevato, di conseguenza ridotta forza longitudinale e quindi maggiore spazio di arresto per il veicolo.

La soluzione alla base del sistema ABS è quella di evitare che sullo pneumatico sia applicata un'eccessiva coppia frenante, che porta inevitabilmente alla situazione appena descritta. Inoltre l'ABS ha anche l'obiettivo di evitare il blocco della ruota. Il fenomeno del *Lock-up* infatti ha molteplici effetti negativi. Oltre a ridurre drasticamente la capacità frenante del veicolo, riduce anche il potere direttivo della ruota e provoca una drastica e localizzata usura dello pneumatico.

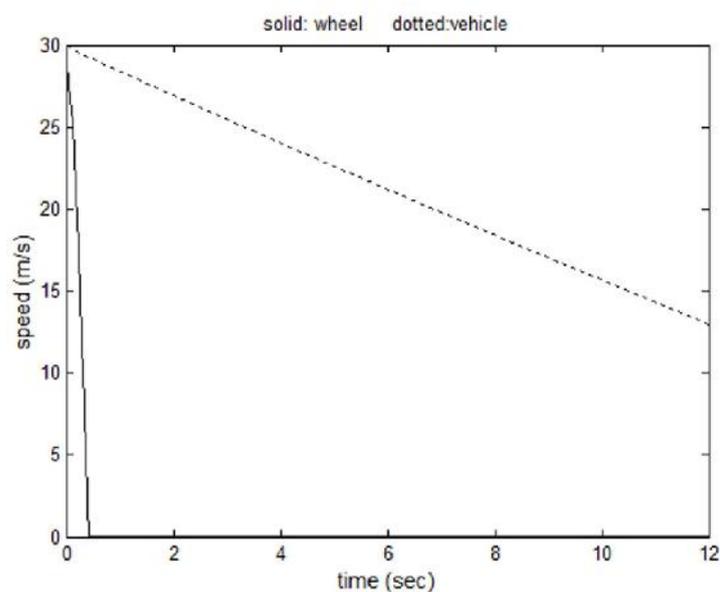


Figura 1-16 Velocità del veicolo e dello pneumatico durante una brusca frenata senza ABS [1].

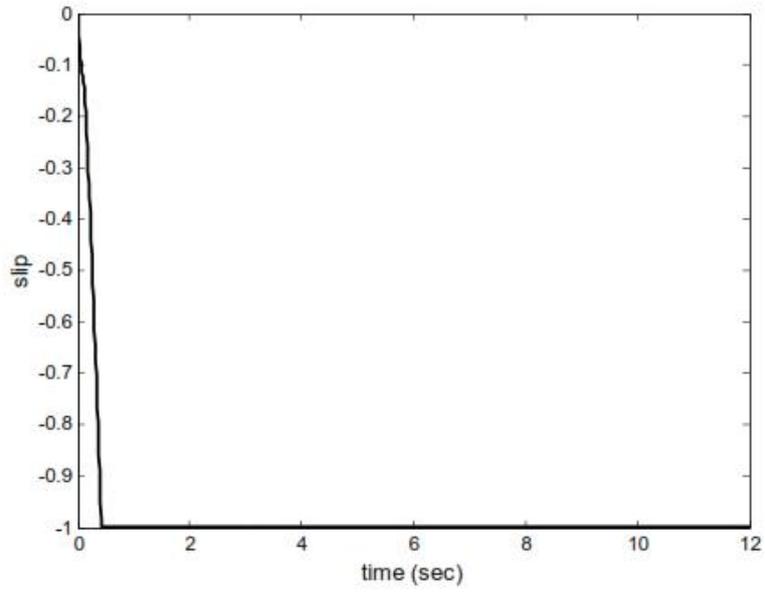


Figura 1-17 Andamento del rapporto di scorrimento durante una brusca frenata senza ABS [1].

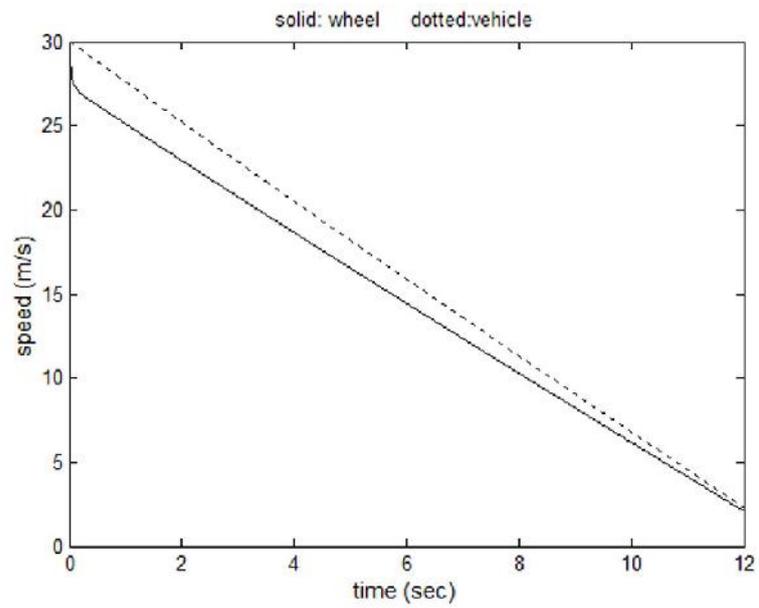
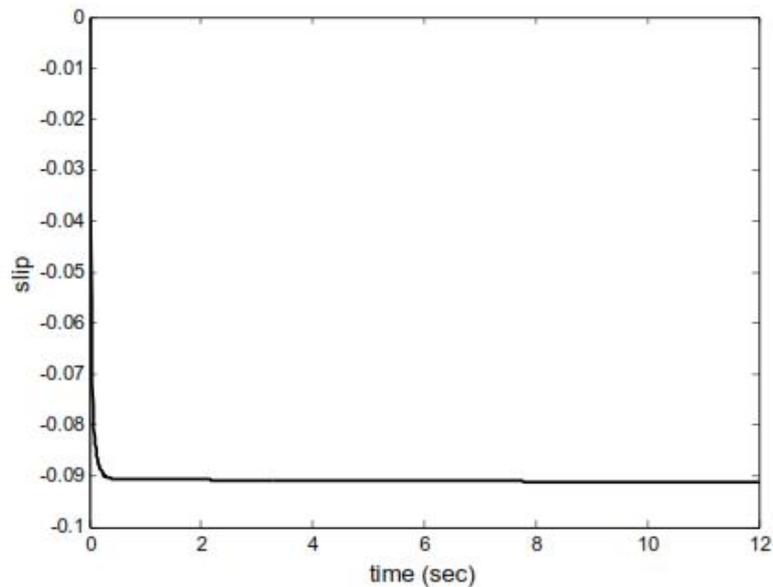


Figura 1-18 Velocità del veicolo e dello pneumatico durante una brusca frenata con ABS [1].



**Figura 1-19** Andamento del rapporto di scorrimento durante una brusca frenata con ABS.

Da alcune simulazioni di frenata effettuate, si può riscontrare come nel veicolo senza ABS, dopo neanche 1 secondo dall'inizio della frenata, le ruote si bloccano e il coefficiente di scorrimento assume valore -1 (Figura 1-17). Questo è giustificato dal fatto che mentre lo pneumatico, in meno di 1 secondo passa da una velocità longitudinale di 30 m/s a velocità nulla, il veicolo è caratterizzato da una decelerazione differente passando da una velocità di 30 m/s ad una velocità di 12 m/s in un intervallo di tempo di 12 secondi (Figura 1-16).

Nel veicolo equipaggiato da ABS, il rapporto di scorrimento si mantiene, durante l'intera frenata, ad un valore di 0.09 che è molto vicino al valore ottimale 0.1 (Figura 1-19). Questo sta a significare che la ruota non si blocca permettendo al veicolo di sterzare. Inoltre, come si può osservare in Figura 1-18, nel medesimo intervallo di tempo (12 secondi) la velocità del veicolo si riduce da 30 m/s a ben 2 m/s. Il sistema ABS in definitiva si propone un duplice obiettivo:

- Evitare il *Lock-up* delle ruote, per garantire il loro potere direzionale e la governabilità del veicolo.
- Massimizzare l'azione frenante, per garantire spazi d'arresto minimi.

La condizione estrema di riferimento è la frenata brusca effettuata dal conducente a causa della presenza improvvisa di un ostacolo sulla strada.



**Figura 1-20 Governabilità direzionale del veicolo durante una brusca manovra di frenata con ABS [10].**

Di solito il guidatore si accorge di un pericolo quando è ormai tardi. Questo spiega l'obiettivo primario dell'ABS (Figura 1-20) ovvero garantire la possibilità di guidare il veicolo tramite il volante (punto 1) per evitare l'ostacolo, piuttosto che pretendere di fermarsi prima di raggiungerlo. Anche ridurre gli spazi d'arresto (punto 2) impedisce un elevato numero di incidenti. Altre situazioni critiche di frenata in cui si può apprezzare l'utilità dell'ABS, sono quelle che avvengono su fondi stradali bagnati o scivolosi. In queste situazioni, il ridotto coefficiente di attrito strada-pneumatico facilita il bloccaggio delle ruote, anche con coppie frenanti applicate molto piccole. I 4 componenti essenziali di un sistema ABS sono:

- Il *modulatore della pressione* nel circuito frenante;
- La *logica di intervento* ovvero la parte software del sistema;
- La *centralina di controllo* (ECU) ovvero l'hardware del sistema;
- I *sensori* che misurano la velocità angolare di rotazione delle ruote;

La centralina elabora i segnali ricevuti dai sensori di misura (ruote foniche). Se necessario, comanda l'intervento del modulatore che interviene sulla pressione dell'impianto frenante, riducendola. Nel momento in cui il rischio di bloccaggio è

stato evitato, la pressione dell'impianto frenante viene ripristinata. Il tutto per far sì che il rapporto di scorrimento assuma sempre valore vicino a quello ottimale. In virtù del numero di ruote su cui il sistema agisce e del numero di canali che sono isolabili dall'impianto frenante maestro, esistono diverse tipologie di sistemi ABS. Per canale si intende la parte di impianto compresa tra valvola e pinza freni della ruota. Quando la valvola è aperta, il corrispondente canale è collegato all'impianto frenante maestro. Alla pinza freno corrispondente quindi, vige un livello di pressione che dipende interamente dall'azione frenante del conducente. Quando interviene l'ABS, la valvola si chiude e il canale risulta isolato dal circuito frenante maestro. Alla pinza freno corrispondente quindi, vige un livello di pressione indipendente dall'azione frenante del conducente. Il livello di pressione viene diminuito per evitare il blocco della ruota e quindi riportare, il rapporto di scorrimento, al valore ottimale [1] [3].

## **1.10 Sistema di controllo elettronico della stabilità (ESP)**

La Figura 1-21 mostra i possibili comportamenti che la vettura può assumere quando il guidatore della vettura impone un certo angolo allo sterzo. La curva inferiore mostra la traiettoria seguita dal veicolo, nel caso di velocità ridotta ed elevato coefficiente di attrito all'interfaccia pneumatico-strada. Come si può osservare, il veicolo segue la traiettoria desiderata senza l'intervento dell'ESP. La curva superiore mostra invece la traiettoria seguita dal veicolo, nel caso di ridotto coefficiente di attrito senza l'intervento dell'ESP. Come si può vedere, l'angolo di assetto del veicolo assume valori elevati, così come il momento di imbardata. Il veicolo diventa instabile, con comportamento che può essere sottosterzante oppure sovrasterzante (Figura 1-22). La curva intermedia si riferisce al caso di ridotto coefficiente di attrito con l'intervento dell'ESP. Si può osservare che, l'angolo di assetto risulta avere valori inferiori e comunque il veicolo risulta stabile.

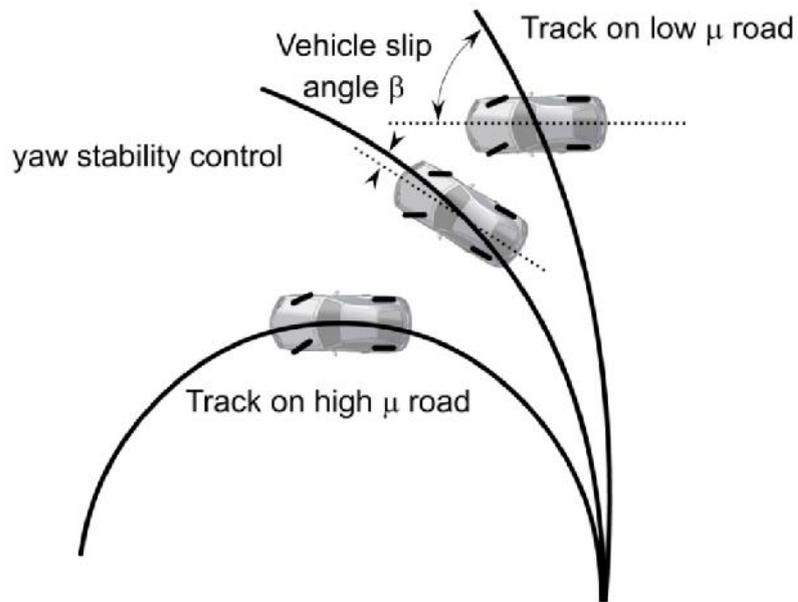


Figura 1-21 Funzionamento del sistema di controllo della stabilità [1].

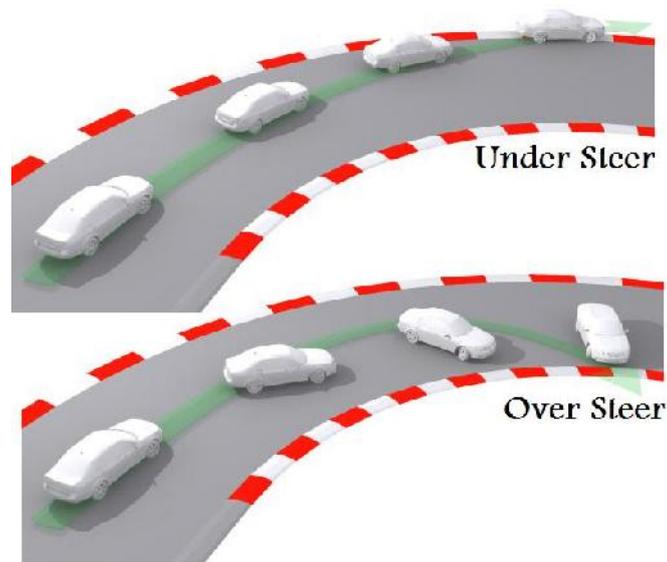


Figura 1-22 Comportamento sottosterzante (Under steer) e sovrasterzante (Over steer).

I nomi assegnati ai sistemi di controllo della stabilità sono molteplici. Si può parlare del *Vehicle Stability Assist (VSA)*, del *Vehicle Dynamics Control (VDC)*, del *controllo di stabilità del veicolo (VSC)*, del *programma elettronico di stabilità (ESP)*,

del *controllo elettronico della stabilità (ESC)* oppure del *controllo diretto di imbardata (DYC)*. Alcuni sensori rilevano, continuamente, i valori di parametri quali velocità angolare della ruota, angolo di sterzata, accelerazione laterale, imbardata. Nella centralina è memorizzato un profilo di riferimento, caratterizzato da valori per questi parametri, che assicurano la stabilità della vettura. Nel caso in cui, per un generico parametro, si presenti divergenza tra il valore misurato e quello di riferimento, vengono introdotte misure stabilizzanti. I più comuni sistemi di controllo della stabilità, effettuano la regolazione dell'imbardata del veicolo tramite una *frenatura differenziale* alle ruote (Figura 1-23) oppure tramite una *distribuzione differenziale della coppia motrice* alle ruote. Entrambi questi interventi cambiano le forze d'attrito longitudinali scambiate tra pneumatico e strada, generando un momento imbardante stabilizzante. Ovviamente il sistema, durante queste azioni, deve evitare di raggiungere sia la condizione di blocco della ruota a causa di una elevata coppia frenante, sia il pattinamento della ruota a causa di una elevata coppia motrice. Esistono anche dei sistemi di controllo della stabilità che effettuano una *modifica attiva dell'angolo di sterzo* (Figura 1-24) impostato dal driver [1] [3].

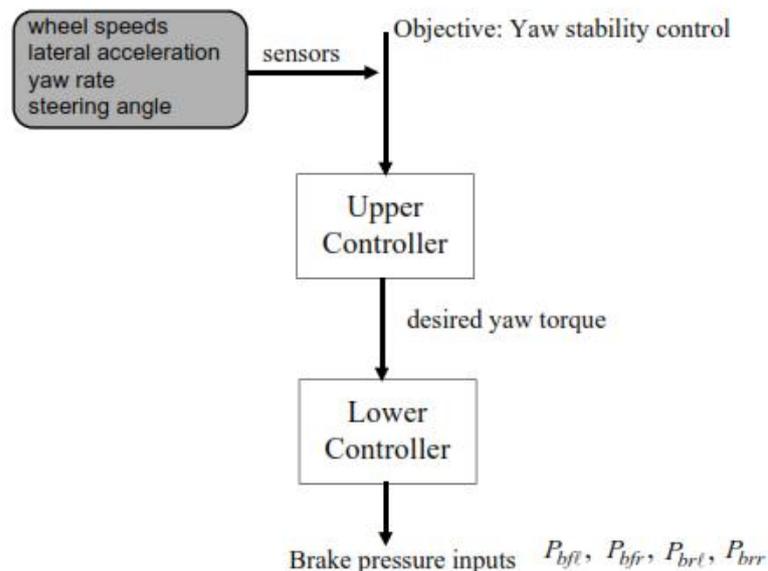


Figura 1-23 Struttura del sistema ESP con frenatura differenziale [1].

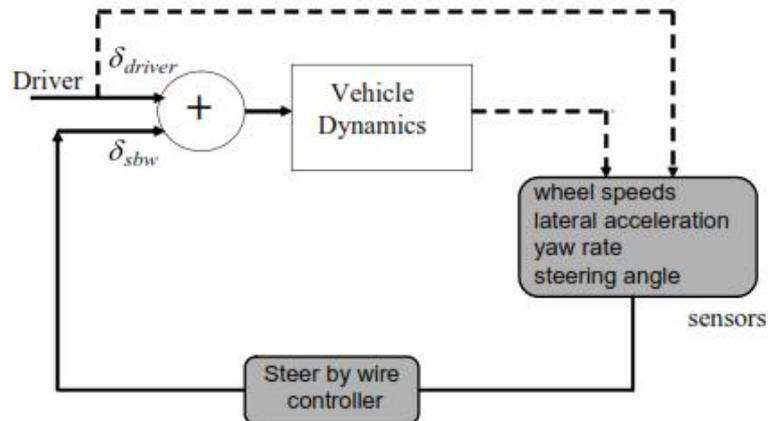


Figura 1-24 Struttura del sistema ESP con modifica attiva dell'angolo di sterzo [1].

## 1.11 Cofano motore attivo per la protezione dei pedoni

Attualmente si possono osservare sul mercato, vetture con carrozzerie sempre più lisce, maniglie perfettamente incassate nelle portiere, specchi retrovisori esterni ripiegabili, paraurti in grado di assorbire l'energia d'urto, parabrezza in vetro stratificato e tergicristalli incassati quasi interamente sotto il cofano. Tutte queste caratteristiche non sono altro che misure protettive, frutto dell'attenzione dei costruttori, verso la sicurezza del pedone anche dopo l'urto. Un'ulteriore misura di protezione è rappresentata dal cofano motore attivo. Questo sistema equipaggia le vetture Mercedes Benz classe E, classe M, classe SLK (Figura 1-25) ma anche la Citroën C6.

Questo sistema di sicurezza si avvale di alcuni sensori installati nel frontale della vettura, di una serie di robuste molle precaricate e di un dispositivo di bloccaggio delle cerniere. Se i sensori rilevano l'impatto, inviano un segnale alla centralina elettronica di comando, la quale attiva immediatamente i due elettromagneti presenti nelle cerniere. Quest'ultime si sbloccano e sotto l'azione delle molle, la parte posteriore del cofano motore si alza di alcuni centimetri in pochi millisecondi (5 cm nel caso di Mercedes Benz, 6.5 cm nel caso di Citroën). Questo permette di creare

una zona di deformazione più ampia perché aumenta la distanza tra il cofano stesso e tutti i gruppi alloggiati sotto di esso (motore, centraline, duomi sospensioni) riducendo quindi sensibilmente il rischio di lesioni a carico del pedone investito [8] [15].



**Figura 1-25 Sistema cofano motore attivo [8].**

## CAPITOLO 2

### SISTEMI DI ASSISTENZA AL PARCHEGGIO

#### **2.1 Generalità**

Fino a pochi anni fa, il concetto di “visibilità di guida” era limitato a quello che il guidatore poteva osservare anteriormente o posteriormente, sia durante la guida del veicolo, sia durante le manovre, prime tra tutte quelle di parcheggio. Durante queste, infatti, un veicolo con ridotta visibilità genera non pochi problemi: aumenta la probabilità di impattare su altri veicoli o su ostacoli difficilmente individuabili poiché essi sono localizzati nel cosiddetto “cono d’ombra” della vettura. Oggi, grazie a telecamere e sensori di vario genere, il concetto di “visibilità” durante le manovre, specie quelle di parcheggio, è notevolmente cambiato. Verranno di seguito descritti i più diffusi sistemi ausiliari di parcheggio, differenziandoli in virtù della tecnologia utilizzata per il loro funzionamento. Ne verranno inoltre elencati pregi e difetti, in modo da poter comprendere le motivazioni che hanno portato al seguente lavoro di tesi.

#### **2.2 Telecamera di assistenza alla retromarcia**

Alcune vetture con elevati ingombri, così come alcuni veicoli commerciali, sono equipaggiate con una telecamera che si attiva quando si innesta la retromarcia. Questa telecamera permette di visualizzare, in tempo reale, lo scenario retrostante la vettura su un display multifunzione. Si fornisce così un aiuto concreto durante le manovre di parcheggio, oppure durante le manovre di aggancio del rimorchio. La

visualizzazione video può essere anche integrata con una serie di linee direttrici, calcolate in base alle dimensioni della vettura, alla velocità di marcia e all'angolo di sterzata. Esse aiutano il guidatore a posizionare la vettura nel migliore dei modi all'interno dell'area di parcheggio (Figura 2-1).



**Figura 2-1** Telecamera retromarcia assistita di Mercedes Benz [8].

Esistono anche sistemi di visione a 360° (Figura 2-2). Le informazioni trasmesse da 4 telecamere (una anteriore posizionata dietro la mascherina radiatore, una posteriore posta sopra la targa e due laterali posizionate negli specchi retrovisori laterali) vengono elaborate dal sistema. Sul display multifunzione viene visualizzata una rappresentazione virtuale dello scenario che circonda la vettura. È possibile scegliere differenti visualizzazioni prospettiche dello scenario [8].

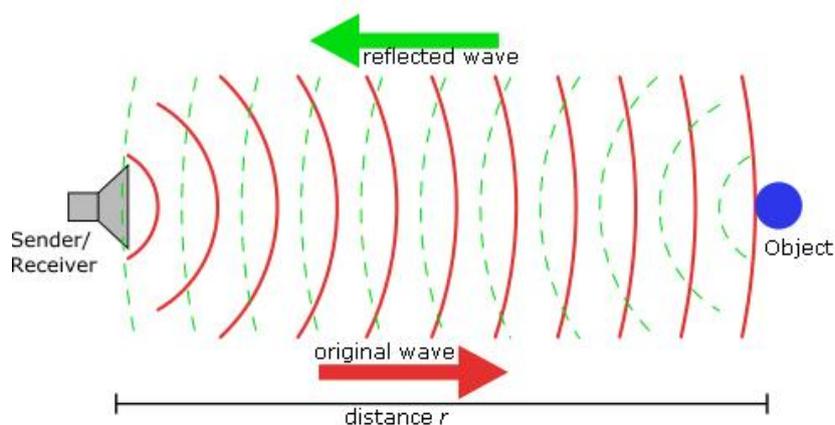
Il principale svantaggio dei sistemi di assistenza al parcheggio che utilizzano telecamere, è che il loro funzionamento dipende dal livello di illuminazione della scena ripresa. Se si deve effettuare una manovra di parcheggio in zone d'ombra, oppure su una strada non illuminata in piena notte, questi sistemi risulteranno inadeguati a fornire un aiuto al conducente.



Figura 2-2 Visualizzazione telecamera a 360° di Mercedes Benz [8].

## 2.3 I sensori ad ultrasuoni

Questi sensori, solitamente installati sul paraurti posteriore della vettura, controllano la zona circostante utilizzando il principio dell'ecoscandaglio (Figura 2-3). Durante le manovre di parcheggio, monitorano la distanza da altri veicoli o eventuali ostacoli. Il trasmettitore invia una piccola quantità di energia elettrica al trasduttore, che la converte in un impulso sonoro. Quando tale impulso colpisce il bersaglio, si produce l'eco ed il suono viene respinto verso la sorgente. Qui il trasduttore lo riconverte in un segnale elettrico e lo invia al ricevitore. Il tempo trascorso, tra l'emissione del segnale acustico e l'istante in cui l'onda riflessa raggiunge l'emettitore, fornisce la distanza dell'ostacolo con buona precisione. Quando quest'ultima risulta inferiore ad un valore limite, il guidatore viene informato per mezzo di una serie di segnali acustici intermittenti, sempre più frequenti. Nel momento in cui la distanza dall'ostacolo si è pericolosamente ridotta, il segnale acustico diventa continuo. Ciò sta a significare che l'impatto è imminente ed occorre arrestare la marcia del veicolo.



**Figura 2-3 Principio di funzionamento dell'ecoscandaglio.**

Se il veicolo è equipaggiato da display multifunzione, la segnalazione sonora può essere integrata con una segnalazione grafica, di svariato tipo. Solitamente viene visualizzata una vista dall'alto della vettura ed il settore del paraurti, su cui potrebbe avvenire l'impatto, viene opportunamente segnalato. Alcuni sistemi forniscono iterativamente, durante la manovra di parcheggio, anche la distanza tra la vettura e l'eventuale ostacolo individuato.

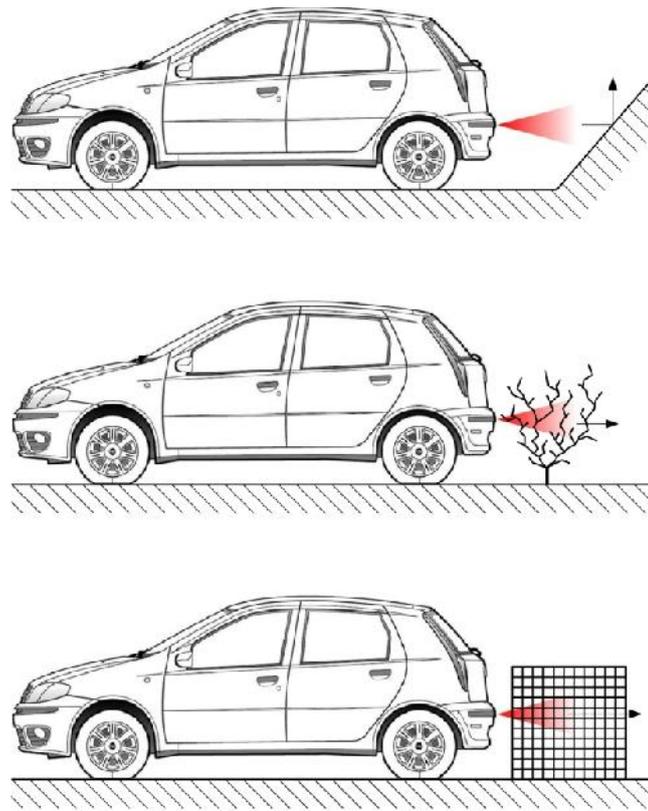
Tra i numerosi accessori proposti dalle case automobilistiche, i sensori di parcheggio sono tra i più richiesti optional di primo equipaggiamento. Anche a livello di after market, esistono molte aziende che producono vari kit di installazione, i cui prezzi variano molto a seconda del numero di sensori che prevedono (esistono sistemi a 2 soli sensori oppure a 4 sensori per singolo paraurti della vettura).

I sensori ad ultrasuoni presentano i seguenti svantaggi:

- Sono facilmente individuabili sul paraurti di una vettura. Hanno forma e dimensione di una moneta e possono essere neri oppure verniciati in tinta con la carrozzeria. Essendo esterni, oltre ad essere facilmente danneggiabili, sono considerati antiestetici.
- Il loro funzionamento dipende dal materiale costituente l'ostacolo. Nel caso di materiale fortemente fonoassorbente (spugna, banco di neve), sono minime

le onde ultrasonore che vengono riflesse dall'ostacolo e raggiungono quindi, nuovamente il sensore. Il sistema dunque perde d'efficacia.

- Per garantire un corretto funzionamento del dispositivo, è necessario mantenere i sensori liberi da sporcizia, ghiaccio e fanghiglia. Questi materiali riflettono totalmente le onde ultrasonore, bloccando la loro emissione. Si verifica quindi l'attivazione del segnale acustico continuo, non appena innestata la retromarcia.
- Il loro funzionamento dipende dall'inclinazione della superficie frontale dell'ostacolo. Infatti, da tale inclinazione dipende l'entità di onde ultrasonore che, una volta riflesse, tornano a colpire il sensore (Figura 2-4).
- Il loro funzionamento dipende dall'estensione della superficie frontale dell'ostacolo. Basti pensare a un arbusto oppure ad una rete metallica: l'area, investita da onde ultrasonore, è ridotta. Quindi sarà ridotta anche la quantità di onde ultrasonore che, riflesse, tornano a colpire il sensore.
- Il loro funzionamento dipende dalla collocazione sul paraurti. Può succedere che l'ostacolo, si trovi al disotto della zona monitorata. Il sistema dunque, lo rileva troppo tardi oppure non individua affatto la sua presenza.
- Non forniscono una protezione sull'intera lunghezza del paraurti. Esistono zone morte non ispezionate.
- Per monitorare la zona adiacente al paraurti nella sua globalità, non è sufficiente un solo sensore. Motivo per cui, solitamente si utilizzano 4 sensori per paraurti.



**Figura 2-4 Limiti dei sensori ad ultrasuoni.**

I sensori ad ultrasuoni, oltre ad essere utilizzati per l'individuazione di un ostacolo, sono anche utilizzati in sistemi per la ricerca dell'idonea area di parcheggio. Installati nella parte laterale del paraurti, mentre il conducente procede sulla propria corsia, essi scansionano le zone libere esistenti tra due vetture parcheggiate. Se viene individuata un'area di ampiezza valida ad accogliere la vettura, il conducente viene informato tramite una segnalazione acustica ed una eventuale segnalazione visiva. Sul display multifunzione possono anche apparire indicazioni riguardanti le manovre di sterzo da effettuare, al fine di posizionare la vettura nel vano parcheggio al primo tentativo, senza rischiare di dover ripetere la manovra (Figura 2-5).



Figura 2-5 *Active Parktronic* di Mercedes Benz [8].

Un'ulteriore integrazione del sistema appena descritto, prevede l'automatizzazione dell'intera manovra di parcheggio. Il *Park Assist* di Mercedes Benz (Figura 2-6) è il sistema che assolve proprio a questa funzione. Una volta che è stata individuata l'area di parcheggio idonea alla vettura, il guidatore deve semplicemente innestare la retromarcia, confermare al sistema di parcheggio l'intenzione di voler parcheggiare ed evitare di superare i 10 km/h, dosando opportunamente acceleratore e freno. Il sistema effettuerà automaticamente tutte le manovre di sterzata, in piena sicurezza [8].

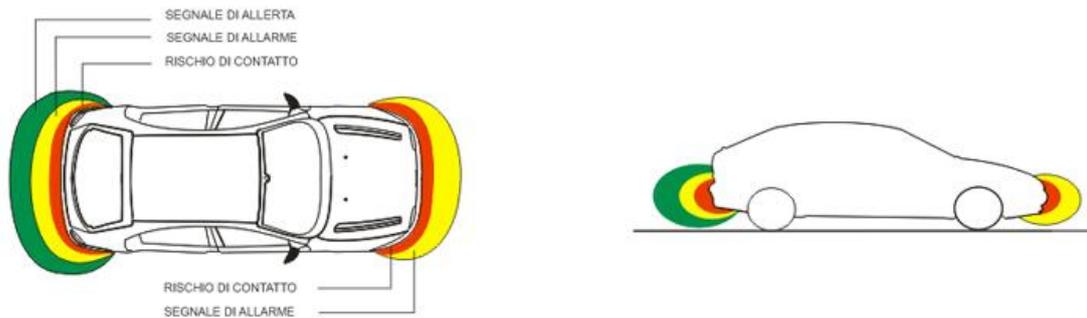


Figura 2-6 Park Assist di Mercedes Benz [8].

## 2.4 I sensori elettromagnetici

Si chiama *Electromagnetic Parking System (EPS)* ed è un sistema ausiliario di parcheggio, prevalentemente di tipo after market. È un marchio registrato di proprietà della Proxel s.r.l. [16]. Viene utilizzato un sensore elettromagnetico per generare un campo elettromagnetico locale. In base all'azione di disturbo che un ostacolo provoca su quest'ultimo, l'EPS ne individua la presenza e informa il conducente tramite segnalazione acustica ed eventuale segnalazione visiva (mini display a led opzionale). Così come nei sistemi ad ultrasuoni, i segnali acustici sono emessi con frequenza crescente al diminuire della distanza dell'ostacolo dal paraurti. L'installazione non richiede alcun foro sul paraurti della vettura. Il sensore emettitore del sistema, infatti, si presenta come un nastro adesivo collocabile internamente al paraurti. Questo aspetto è da considerarsi un vantaggio di questo sistema in confronto ai sensori ultrasonori, ritenuti molto antiestetici. Un altro vantaggio di questo sistema è costituito dal fatto che il campo elettromagnetico è continuo lungo l'intera lunghezza del sensore emettitore. Di conseguenza è assicurato il controllo della zona

attigua all'intero paraurti, senza la presenza di alcuna zona scoperta, come contrariamente avviene nei sistemi ad ultrasuoni.(Figura 2-7).



**Figura 2-7** Continuità del campo elettromagnetico sull'intera lunghezza del paraurti della vettura [16].

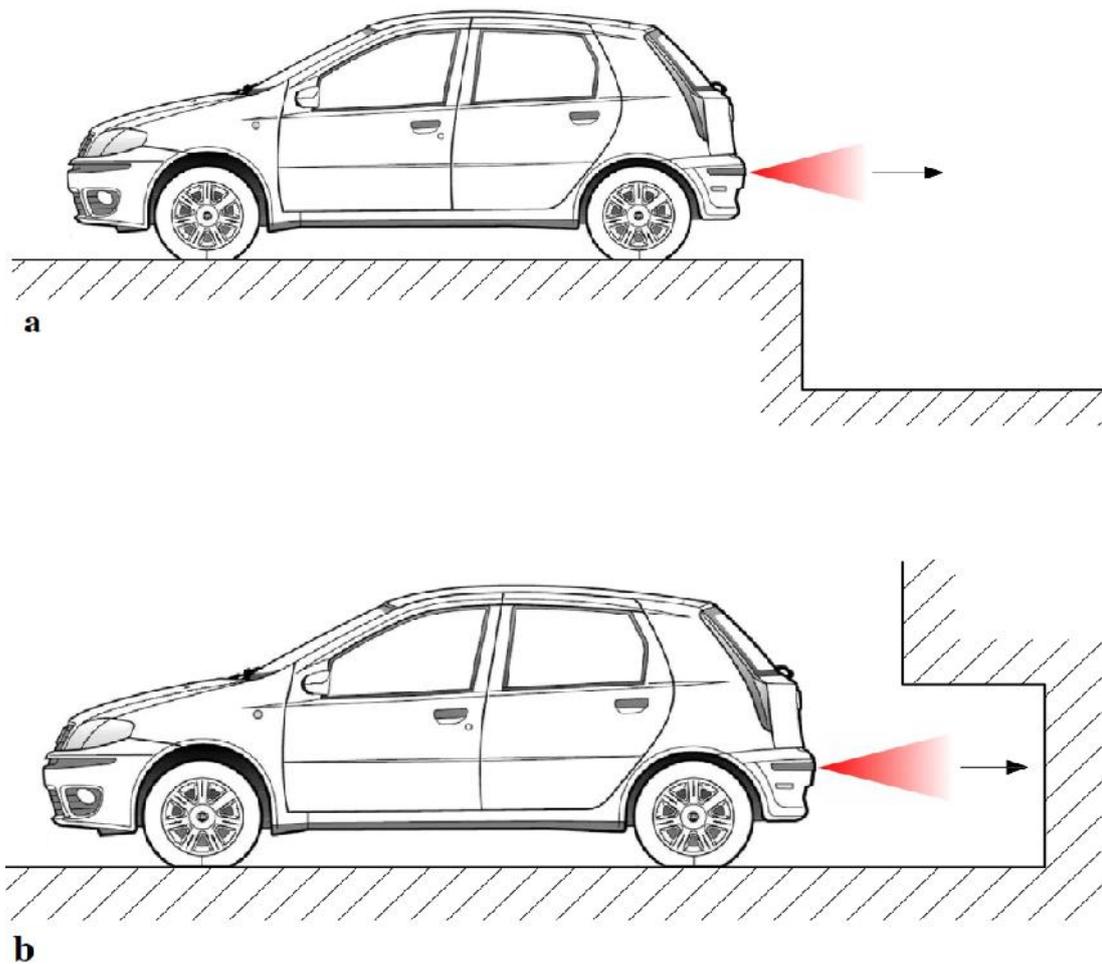
I sensori elettromagnetici presentano i seguenti svantaggi:

- Il loro funzionamento è interdetto su vetture con paraurti metallico, paraurti con anima metallica rivestita in materiale plastico oppure su vetture che presentano traverse metalliche in prossimità del paraurti.
- Utilizzando un campo elettromagnetico, non individua ostacoli costituiti da materiali isolanti quali plastica, vetro, ceramica oppure legno.
- Il campo elettromagnetico locale, generato dal sensore emettitore, ha un raggio di azione inferiore in confronto ai sistemi a ultrasuoni.
- L'individuazione di un ostacolo dipende dall'altezza di installazione del sensore elettromagnetico adesivo. Se quest'ultimo viene installato molto in alto nel paraurti, il sistema non individua ostacoli di altezza ridotta e viceversa.

## 2.5 Limiti dei sensori di parcheggio

Dalla descrizione dei sistemi ausiliari di parcheggio sono emersi alcuni limiti applicativi non di poco conto. Per quanto concerne i sistemi a ultrasuoni e i sistemi elettromagnetici, il primo limite riguarda il materiale costituente l'ostacolo. In particolare, il funzionamento di questi sistemi è fortemente compromesso dai materiali isolanti, nel caso dei sensori elettromagnetici e dai materiali particolarmente fonoassorbenti, nel caso di sensori ad ultrasuoni. Per di più, il funzionamento di quest'ultimi, dipende molto anche dalla forma, dall'estensione e dalla disposizione della superficie incidente dell'ostacolo. Da questi parametri, infatti, dipende la quantità di onde ultrasonore che, una volta riflesse dall'ostacolo, colpiscono nuovamente il sensore. Inoltre, per garantire la protezione del paraurti in tutta la sua lunghezza, un solo sensore ad ultrasuoni non è sufficiente. Solitamente se ne trovano installati 4 per paraurti, anche se esistono dei kit after market, con soli 2 sensori per paraurti. Comprensibilmente, all'aumentare del numero di sensori ad ultrasuoni installati, aumenta l'efficacia del sistema ma, conseguentemente, anche il costo dello stesso.

La Figura 2-8 mette in evidenza due situazioni in cui, i sensori di parcheggio, si rivelano inadeguati. In presenza di un ostacolo negativo come quello in Figura 2-8 a), il sistema ausiliario di parcheggio, sia ultrasonoro che elettromagnetico, non emette alcuna segnalazione acustica. Nel caso di ostacolo positivo di forma particolare, come quello riportato in Figura 2-8 b), il sistema lo individua ma l'interpretazione della segnalazione acustica, emessa dal sistema di parcheggio, porta inevitabilmente a impattare con l'ostacolo. È chiaro quindi, che i sistemi ausiliari di parcheggio possono fornire in certi casi, delle false segnalazioni. Sono denominati "sistemi ausiliari", proprio perché devono essere considerati come un dispositivo di sostegno, e il guidatore non deve affidarsi completamente ad essi durante una manovra di parcheggio.



**Figura 2-8 a) ostacolo negativo; b) ostacolo positivo di forma particolare.**

Analizzando ancora la Figura 2-8, si desume che, al fine dell'individuazione dell'ostacolo, anche l'altezza alla quale i sensori sono installati è un fattore rilevante. Dall'altezza di installazione infatti, deriva la capacità di individuare ostacoli posti ad elevata altezza dal suolo oppure posti ad altezza particolarmente ridotta.

Sin dalla loro prima comparsa sul mercato, la validità dei sistemi ausiliari di parcheggio è stata frequentemente saggiata mediante numerosi test [17]. Durante quest'ultimi, vengono riprodotte le manovre di parcheggio più comuni. Si effettua l'avvicinamento con la vettura, a varie tipologie di ostacoli come un'altra vettura, un palo metallico, una barra automatica orizzontale piuttosto che un panettone in cemento oppure un cordolo. Avvicinamento effettuato sia nel senso normale di

marcia, sia in retromarcia. Durante questi test, effettuati essenzialmente per valutare la sensibilità dei sistemi di parcheggio ad un ostacolo posteriore, anteriore e anche laterale, sono emersi ulteriori limiti quali:

- Ostacoli posti a un'altezza elevata dal suolo, come ad esempio una barriera automatica posta all'ingresso di un parcheggio, non vengono quasi mai riconosciuti.
- Ostacoli posti ad un'altezza ridotta dal suolo, come ad esempio un marciapiede oppure un cordolo in cemento, non sempre vengono riconosciuti. In queste circostanze, aumenta la possibilità che, proseguendo nella manovra, l'ostacolo vada a impattare con gli organi meccanici inferiori della vettura.

Altro aspetto emerso è l'enorme varietà dei range di funzionamento dei sistemi di parcheggio. Alcuni sistemi, identificano ed iniziano a segnalare la presenza di un ostacolo, già a distanze di 1.9÷2 m, quindi con eccessivo anticipo. Altri sistemi prevedono l'arresto della marcia, quando tra la vettura e l'ostacolo, c'è una distanza di ancora 0.35÷0.40 m. Questo è un ulteriore aspetto penalizzante, considerato il fatto che in ambiente urbano, anche pochi centimetri possono essere indispensabili per la riuscita della manovra di parcheggio. Occorre evidenziare che i range di funzionamento dei vari sistemi dipendono da come questi ultimi sono stati tarati dalla casa automobilistica di riferimento.

Il range di funzionamento più comune, prevede l'individuazione dell'ostacolo (inizio segnalazione acustica intermittente) a circa 1.5 m, mentre l'arresto della marcia (segnalazione acustica continua) è prevista intorno ai 0.2 m.

## CAPITOLO 3

# SISTEMA INNOVATIVO DI ASSISTENZA AL PARCHEGGIO

---

### 3.1 Descrizione del progetto e sue fasi

Le vetture moderne dispongono di numerosi sistemi tecnologici, aventi l'obiettivo di incrementarne il livello di sicurezza ed il grado di comfort, per il conducente ed i passeggeri. Il sistema ausiliario di parcheggio è uno dei sistemi maggiormente richiesto. Chi ha avuto la sventura di effettuare una manovra in retromarcia, senza accorgersi della presenza di un generico ostacolo perché magari poco visibile oppure del tutto nascosto, sa che si tratta di soldi ben spesi. Il costo è variabile da vettura a vettura, ma comunque sia, si tratta di una spesa ben ripagata dalla loro elevata utilità.

Nel Capitolo 2, sono stati descritti i sistemi ausiliari di parcheggio più diffusi sul mercato. Parlando, nello specifico, dei sistemi con telecamera, dei sensori ad ultrasuoni e dei sensori elettromagnetici, sono emersi alcuni loro svantaggi e limiti applicativi. Da qui l'idea, alla base del seguente progetto, di implementare un sistema ausiliario per il parcheggio, utilizzando un sensore per il quale valgono le seguenti condizioni:

- il funzionamento prescinde dal livello di illuminazione dello scenario in cui il sensore si trova a lavorare;
- il funzionamento prescinde dal materiale, dalla forma, dalla disposizione e dall'estensione dell'ostacolo;
- fornisce una fedele rappresentazione tridimensionale dello scenario acquisito.

La scelta è ricaduta sul Microsoft Kinect, dotato di una telecamera RGB e di un doppio sensore di profondità a raggi infrarossi (IR), composto nello specifico da un proiettore a infrarossi e da una telecamera sensibile alla stessa banda.

Il progetto si propone di ottenere, a partire dalla nuvola di punti 3D acquisita tramite il sensore Kinect, una mappa di “attraversabilità” della zona che precede la vettura durante la manovra di parcheggio. Ciò che si propone, è di essere in grado, per mezzo di questa mappa, di riconoscere in maniera esplicita sia quelle regioni della scena che sono “attraversabili”, sia quelle regioni “non attraversabili” a causa della presenza di un ostacolo. Questo consente al guidatore di evitare, durante la sua manovra, gli ostacoli, siano essi positivi che negativi.

Il lavoro si è sviluppato attraverso varie fasi. Nei paragrafi seguenti saranno descritte le fasi preliminari:

- studio del sensore Microsoft Kinect;
- costruzione del supporto, per l’installazione del sensore sulla vettura;
- calibrazione estrinseca ed intrinseca della telecamera RGB del sensore Kinect;

Nel successivo Capitolo 4 saranno descritte invece le fasi risolutive del lavoro, ovvero:

- sviluppo e implementazione dell’algoritmo di riconoscimento degli ostacoli;
- dimostrazione sul campo del sistema (mediante acquisizioni effettuate in un parcheggio esterno e in un parcheggio seminterrato) e analisi dei risultati.

## **3.2 Il sensore Microsoft Kinect**

### **3.2.1 Cos’è il sensore Kinect?**

Nasce come accessorio della console di gioco Xbox 360 di Microsoft [22] che permette all’utente di interagire con la console, senza alcun controller da impugnare, ma direttamente tramite i movimenti del corpo, la voce e anche gli oggetti presenti

nell'ambiente. Questa sua caratteristica, è la differenza principale rispetto alle console di gioco Nintendo Wiimote e Sony Play Station Move, che viceversa, richiedono l'utilizzo di un controller da parte dell'utente. È stato presentato al pubblico il 1° Giugno 2009, durante la conferenza stampa della Microsoft all'E3 2009, con il nome di Project Natal. Fu rinominato Kinect, durante la presentazione ufficiale all'E3 2010. La sua vendita ha avuto inizio il 4 Novembre 2010 in America, il 10 Novembre 2010 in Europa. Nel Dicembre 2010, la società israeliana PrimeSense [21], responsabile del sistema di telecamere di Kinect, ha rilasciato i driver open source per la periferica Microsoft, compatibili con Windows e Linux, driver che consentono l'accesso alle funzioni audio, video e sensori di profondità della periferica, basati su una API completa, nota come OpenNI (Open Natural Interactions). Il 16/06/2011, Microsoft ha messo a disposizione i driver ufficiali, con licenza non commerciale. Il software di Kinect è stato interamente sviluppato dai programmatori della Rare, nei Microsoft Game Studios.

Sin dalla sua comparsa sul mercato, ha generato notevole movimento nella comunità di sviluppatori di software liberi per computer. Ha generato numerose attività nell'ambito della «reverse engineering», allo scopo di individuare ulteriori applicazioni per la periferica.

### **3.2.2 L'hardware del sensore Kinect e suo funzionamento**

L'hardware del sensore Kinect, si basa sulla tecnologia di 3DV, ovvero una compagnia prima finanziata, poi definitivamente acquistata da Microsoft nel 2009, ma anche sul lavoro della compagnia israeliana PrimeSense, che ha concesso la licenza di utilizzo della tecnologia a Microsoft. Il dispositivo risulta composto dai componenti in Figura 3-1.



**Figura 3-1 Componenti del sensore Kinect.**

I componenti hardware più importanti sono:

- un sistema di microfoni, utilizzato per la calibrazione del sistema, in base all'ambiente in cui il sensore si trova. Tramite un'analisi della riflessione dei suoni sulle pareti e sull'arredamento, il rumore di fondo e i suoni del gioco vengono eliminati e quindi viene riconosciuto perfettamente il comando vocale dell'utente;
- un accelerometro Kionix KXSD9 a tre assi utilizzato per controllare l'inclinazione del Kinect;
- una ventola per la dissipazione del calore;
- 64 MB di memoria flash DDR2;
- il chip PrimeSense PS1080-A2, ovvero il cuore della tecnologia Kinect;
- una telecamera RGB avente risoluzione  $640 \times 480$  pixel;
- una telecamera IR che utilizza una matrice  $320 \times 240$  pixel;
- un proiettore IR.

Abbiamo detto che il dispositivo Kinect, rende il giocatore controller del gioco senza alcun strumento, ma semplicemente riconoscendo i movimenti del giocatore stesso.

Per riconoscere, istante per istante, la posizione del corpo del giocatore, il dispositivo esegue un processo composto dai seguenti due step:

- STEP 1: viene costruita una mappa di profondità (Depth Image) tramite l'analisi di luce strutturata creata dall'emettitore infrarossi.
- STEP 2: viene dedotta la posizione, utilizzando degli algoritmi di tracking implementati nel software sviluppato da Microsoft.

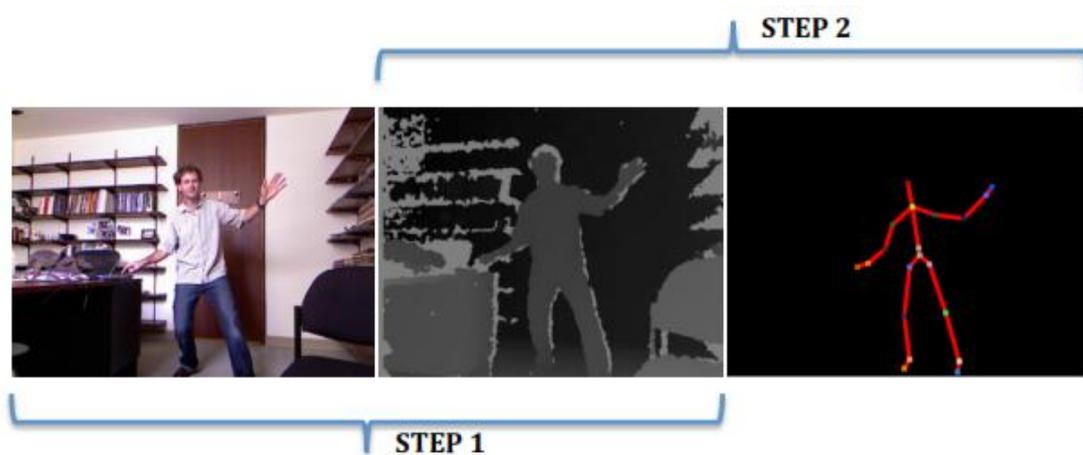
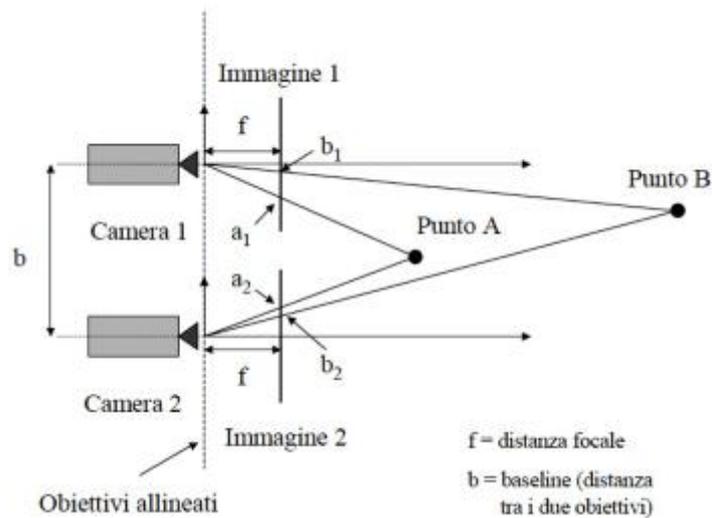


Figura 3-2 Step di lavoro del Kinect.

### 3.2.3 La Depth Image

Si considerino due immagini riguardanti la medesima scena, ma prodotte da due camere differenti, in un sistema di stereovisione. La mappa di disparità, può essere vista come una matrice di  $M$  interi ( $d$ ), avente dimensione  $W \times H$ , rispettivamente ampiezza  $W$  e altezza  $H$ . Si consideri un punto generico della scena. A tale punto, corrisponderà un determinato pixel sia nella prima, che nella seconda immagine. Se si sovrappongono le due immagini, i pixel non corrisponderanno tra loro. Ogni intero  $d$  della matrice  $M$ , rappresenta proprio la distanza, espressa in pixel, tra questi due pixel di riferimento. Tanto più il valore  $d$  è alto, tanto più il punto della scena a cui ci si riferisce, è vicino alle due camere. Con riferimento alla Figura 3-3, ne deriva che  $d(A)$ , ovvero la disparità del punto  $A$ , è maggiore della disparità  $d(B)$  del punto  $B$ ,

proprio perché A è più vicino alle camere, rispetto al punto B. Quanto appena affermato è vero solo a condizione che gli obiettivi delle due camere siano perfettamente allineati e lievemente distanti tra loro, come osservabile in Figura 3-3.



**Figura 3-3 Sistema di due camere allineate.**

Definiamo  $a_1$  e  $a_2$ , rispettivamente le proiezioni del punto A sulle due immagini ottenute con le due camere, ed allo stesso modo  $b_1$  e  $b_2$  le proiezioni, sulle stesse, del punto B. Assumiamo che questi quattro punti abbiano la medesima ordinata, cioè giacciono tutti sulla stessa linea orizzontale. Risulta:

$$d(A) = a_1 - a_2$$

$$d(B) = b_1 - b_2$$

Ovviamente, nell'ipotesi di allineamento orizzontale dei quattro punti, per determinare la disparità, bisogna considerare solo i valori di ascissa dei quattro punti, come evidente in Figura 3-4.

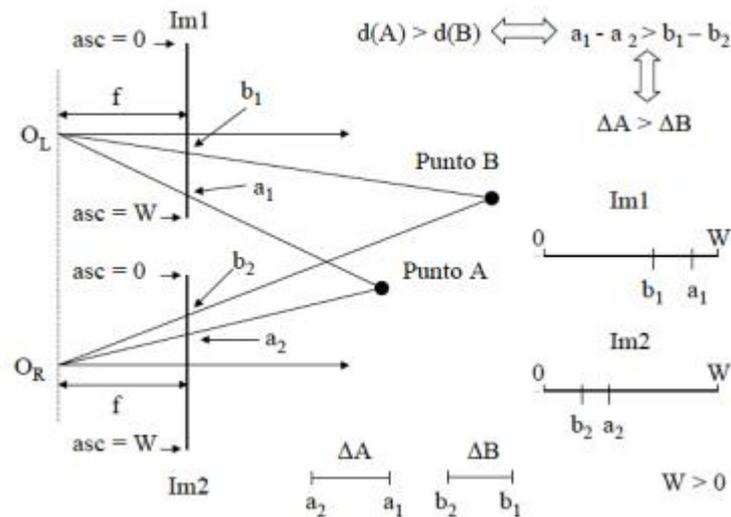


Figura 3-4 Calcolo della disparità.

Se si considerano le due immagini come delle matrici di pixel, i punti  $a_1$  e  $a_2$ , possono essere rappresentati dai corrispondenti valori di riga e colonna che li individuano. Come visibile in Figura 3-5, il pixel  $a_1$  sarà individuabile da riga e colonna  $(i, j)$ , mentre il pixel  $a_2$  da riga e colonna  $(i', j')$ . La disparità non è altro che l'intero che indica, in pixel, la differenza tra la posizione dei due pixel rappresentativi la coppia coniugata. La disparità può essere determinata solo per punti che sono visibili in entrambe le immagini. Se un punto è visibile solo in un'immagine, viene detto punto occluso. Una volta determinata la disparità per ogni pixel rappresentativo dell'immagine, quindi è stata riempita la matrice  $M$ , abbiamo ottenuto la mappa di disparità della scena che stiamo analizzando. I valori interi contenuti in  $M$ , andranno da zero a un valore massimo  $d_{max}$  che rappresenta il valore massimo di disparità ammesso. Se si associa, alla matrice  $M$ , una qualunque scala di colori, si ottiene una terza immagine, in cui ogni oggetto avrà un colore che dipenderà dalla sua distanza dalle camere. Se ne deduce che una mappa di disparità può essere utilizzata per riacquisire informazioni sulla tridimensionalità della scena osservata, informazione questa che viene sempre persa quando si passa da uno scenario 3D, alla corrispondente immagine 2D.

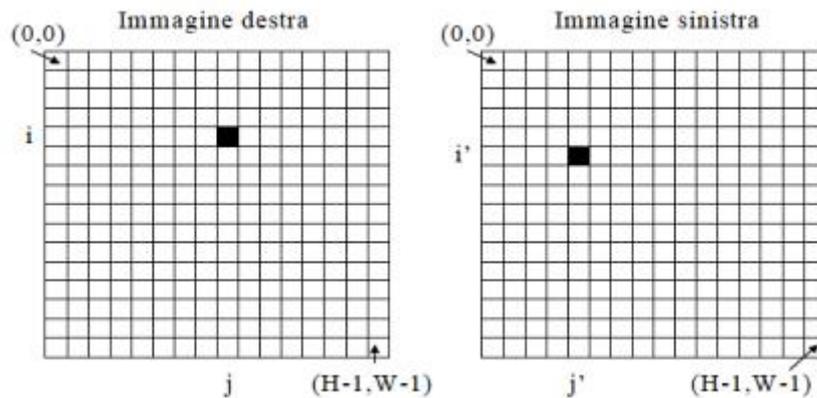


Figura 3-5 Le due immagini come matrici di pixel.

Il sensore Kinect ottiene appunto informazioni sulla tridimensionalità, utilizzando questo processo. Viene da chiedersi, però, come faccia a creare una mappa di disparità, pur non essendo un sistema stereoscopico, bensì essendo dotato solo di una camera RGB, una camera infrarossi e un sensore emettitore di raggi infrarossi. La soluzione adottata è la seguente. L'emettitore infrarossi proietta nella scena, numerosi spot luminosi che vanno a formare un pattern. Dei punti di questo pattern, il software del Kinect, ne conosce a priori la disposizione. Cioè ha memorizzato al suo interno, un pattern di riferimento che il sensore IR dovrebbe vedere, se la proiezione avvenisse su una superficie posta ad una certa distanza, e se la superficie fosse perfettamente parallela alla Depth Camera, ovvero la camera infrarossi. Per ognuno dei punti proiettati, si calcola la distanza dal sensore IR, effettuando la triangolazione tra la sua reale posizione e la posizione che avrebbe avuto nel pattern di riferimento, proprio come avviene nel sistema di stereo visione, per il calcolo della mappa di disparità. Dall'elaborazione del pattern proiettato, si ottiene la *raw depth image*, cioè una immagine di disparità grezza, in cui i valori di profondità non sono espressi in alcuna unità di misura. È necessaria dunque, una procedura di calibrazione, che possa correlare i valori grezzi di profondità, con valori espressi in una scala metrica. Durante la fase di triangolazione, per capire quale punto del pattern proiettato si sta analizzando, si ricorre ad un processo di correlazione. Ogni singolo punto del pattern, è caratterizzato dai 64 punti più vicini, disposti in un modo univoco e conosciuto dal software. I punti più grossi e luminosi del pattern, così

come le zone più chiare e più scure dello stesso, servono proprio a facilitare questo processo di correlazione (Figura 3-6).



**Figura 3-6 Pattern proiettato dal Kinect.**

La posizione 3D reale di ogni punto del pattern, si può determinare utilizzando la matrice di calibrazione della telecamera. Inoltre, utilizzando l'immagine ottenuta dalla camera RGB, si può associare ad ogni punto del pattern, il colore dell'oggetto che è stato colpito dal corrispondente spot luminoso. Per fare questo, è richiesto un processo di calibrazione molto preciso, che si effettua utilizzando la Microsoft Calibration Card, in dotazione a qualsiasi gioco per Kinect. Secondo fonti Microsoft, il sistema riesce a determinare la posizione di un oggetto posto a 2 m dal Kinect, con un errore di solo 1 cm.

Per avere invece, l'informazione riguardo la conformazione degli oggetti presenti nella scena, si utilizza quanto ottenuto dalla camera IR, ovvero la proiezione bidimensionale di quello che è invece, una proiezione tridimensionale degli spot luminosi sulla scena. Quando quest'ultimi impattano sulla scena, a causa dell'angolazione delle superfici, viene modificata la distribuzione degli spot. È proprio analizzando la densità degli spot luminosi, che si risale alla conformazione degli oggetti presenti sulla scena ripresa.

### 3.2.4 Il tracking

La fase successiva alla determinazione della depth image, è la fase di tracking, tramite la quale, il software, identifica numero, posizione e giunzioni scheletriche delle persone presenti nella scena. Il tracking del Kinect si basa su circa 500.000 dati registrati, ottenuti dall'osservazione di altrettanti comportamenti umani. L'approccio utilizzato, si rifà alle moderne tecniche dell'*object recognition*, tecniche che hanno dimostrato soddisfacenti livelli di efficienza computazionale e robustezza. Queste tecniche si basano sul principio di suddivisione degli oggetti in parti. La depth image (in bianco e nero) viene lavorata al fine di isolare la fisionomia del controller umano. La depth image del corpo viene probabilisticamente suddivisa in parti, tali da ricoprirla interamente. Alcune di queste parti, contengono delle giunzioni scheletriche, altre parti sono solo di riempimento tra le precedenti appena citate. Il problema del tracking, in questo modo, è facilmente risolvibile tramite opportuni algoritmi di classificazione (Figura 3-7).

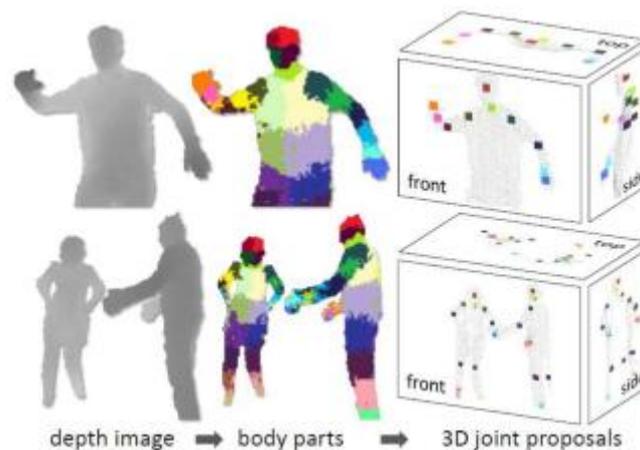


Figura 3-7 Evoluzione della fase di tracking.

### 3.3 Installazione del sensore

Uno dei problemi da risolvere è stato quello relativo all'installazione del sensore Kinect sulla vettura. Sul mercato sono in vendita svariati supporti che, per mezzo di ventose, permettono l'installazione di camere e videocamere su superfici piane oppure caratterizzate da una leggera curvatura, come può essere la carrozzeria di una vettura. Sulla base di questi si è costruito un supporto, la cui sequenza di realizzazione è mostrata in Figura 3-9. In Figura 3-8, si può osservare lo schema cinematico del supporto costruito. Tramite la cerniera  $c$ , è possibile regolare l'angolo di tilt del sensore Kinect. Nell'applicazione in esame, si è utilizzata la configurazione a destra. Bensì il supporto costruito presenta una seconda configurazione possibile, visibile a sinistra della Figura 3-8, ottenibile tramite una rotazione di  $45^\circ$  dell'intero cinematismo rispetto alla normale della superficie di appoggio.

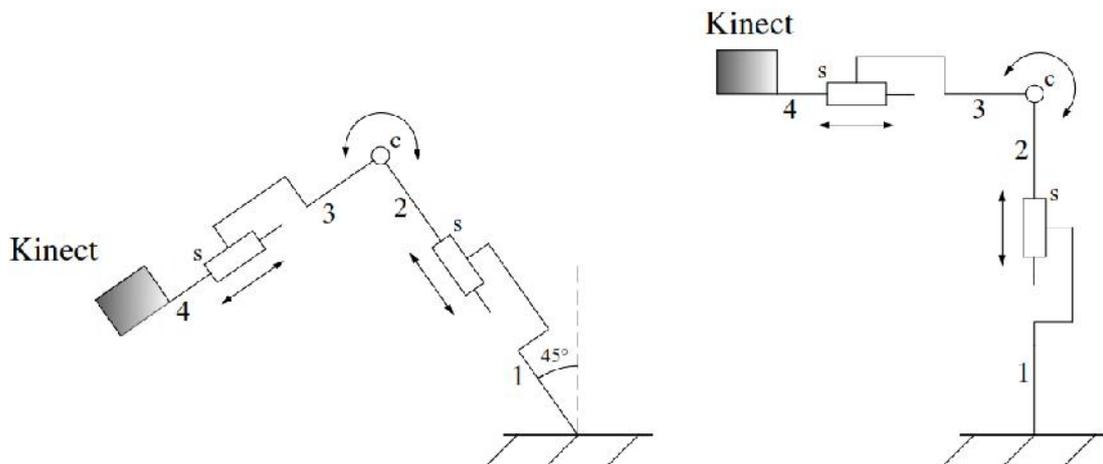


Figura 3-8 Catena cinematica del supporto costruito.

Considerando:

- un range di acquisizione al suolo, che si estende da 20 cm fino a 180 cm dai paraurti della vettura;
- l'angolo di acquisizione verticale del sensore Kinect, pari a  $43^\circ$ ;
- il limite del range di acquisizione del sensore Kinect di 50 cm;
- gli ingombri del sensore Kinect;

- gli ingombri della vettura utilizzata, ovvero una Fiat Punto Classic 5 porte;
- gli ingombri della base a ventosa del supporto;

si è stati in grado di determinare tutte le grandezze, riportate in Figura 3-10, che garantissero il range di acquisizione desiderato. In particolare si è determinata la lunghezza dell'elemento di collegamento tra la testa e la base del supporto (7.5 cm) e l'angolo di tilt della testa del supporto rispetto alla base ( $34^\circ$ ), oltre alla corretta posizione del supporto sul cofano. Sempre in Figura 3-10, si può notare come il sensore Kinect non sia in linea con il paraurti della vettura ma è posto più indietro di 15 cm, rispetto al punto più esterno di quest'ultimo. Analizzando poi il campo di acquisizione del sensore (area tratteggiata in Figura 3-10), è possibile osservare che il punto più vicino alla vettura, acquisibile dal sensore, è il punto P. Quest'ultimo risulta essere allineato con la parte più esterna del paraurti. Questo aspetto evidenzia il fatto che, il sistema di parcheggio sviluppato, riesce a fornire un ausilio visivo al guidatore, fino addirittura ad una situazione di contatto della vettura con l'ostacolo.

Bisogna precisare poi, che l'intero supporto è stato realizzato in alluminio, al fine di ridurre il peso complessivo gravante sulla ventosa. Quest'ultima presenta un carico massimo di 30 kg. Il supporto presenta un peso di 1.5 kg, mentre l'intero sistema composto da supporto e sensore Kinect, presenta un peso complessivo di 2.8 kg.



Figura 3-9 Supporto per l'installazione del sensore Kinect sulla vettura.

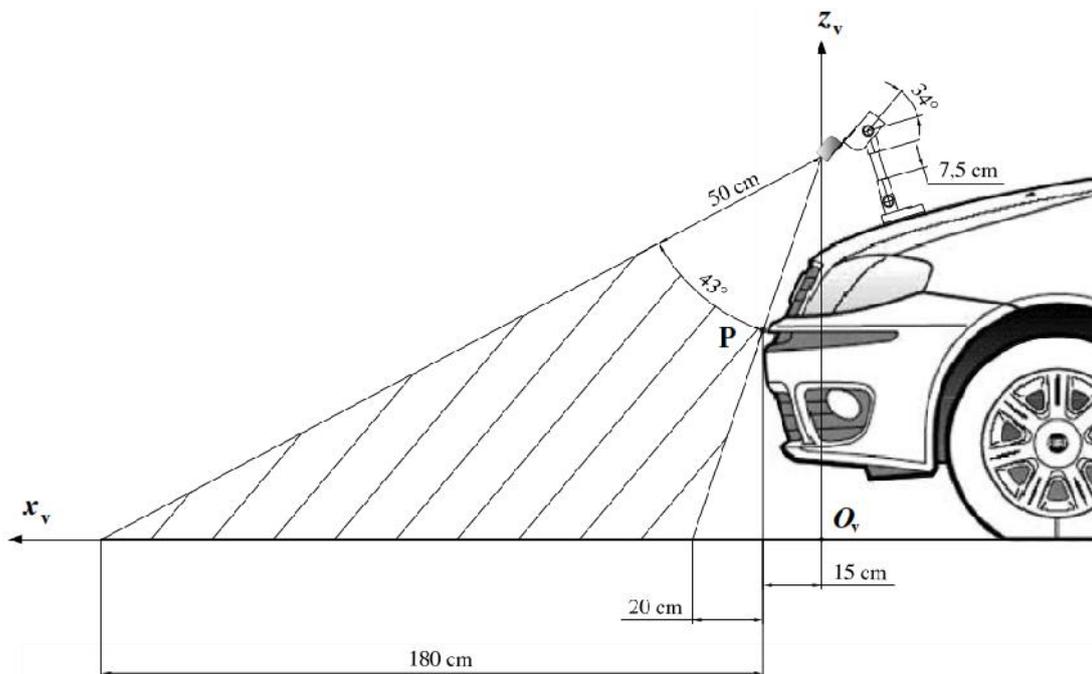


Figura 3-10 Dimensioni supporto, range di acquisizione e posizionamento del sistema sul veicolo.

## 3.4 Calibrazione

### 3.4.1 Generalità

Un generico sistema di visione ha lo scopo di fornire in uscita, un'immagine della realtà che sta osservando. Nel caso in cui questa immagine debba essere processata da un computer, deve trattarsi di un'immagine di tipo digitale. Il processo di formazione dell'immagine, ha inizio con i raggi luminosi che entrano nella telecamera, attraverso un'apertura detta pupilla. La formazione dell'immagine è resa possibile per il fatto che questi raggi luminosi colpiscono uno schermo, o *piano immagine*, su cui risiede il dispositivo fotosensibile (CCD ovvero Charge Coupled Device), che registra le intensità dei raggi luminosi. Il CCD consiste in un circuito integrato, formato da una griglia di  $n \times m$  elementi semiconduttori, sensibili alla luce, cioè in grado di accumulare una carica elettrica, proporzionale all'intensità della radiazione luminosa che li colpisce. Tali elementi, sono accoppiati in modo che ognuno di essi, sollecitato da un impulso elettrico, possa trasferire la propria carica, ad un altro elemento adiacente. Inviando al dispositivo una sequenza temporizzata d'impulsi, si ottiene in uscita un segnale elettrico, grazie al quale è possibile ricostruire la matrice dei pixel che compongono l'immagine, proiettata sulla superficie del CCD stesso. L'uscita della telecamera a CCD, è un segnale elettrico analogico, ottenuto leggendo il potenziale degli elementi della matrice CCD per righe. Il segnale video (analogico) viene così inviato al *frame grabber*, che ha la funzione di convertire il segnale video analogico in ingresso in una matrice  $N \times M$  (tipicamente  $512 \times 512$ ) di valori interi, memorizzati in un'opportuna area di memoria, chiamata *frame buffer*. Gli elementi della matrice prendono il nome di *pixels* o *picture elements*.

I pixels sono i più piccoli elementi autonomi che compongono la rappresentazione di un'immagine nella memoria di un computer. Solitamente i punti sono così piccoli e numerosi, da non essere distinguibili a occhio nudo, apparendo fusi in un'unica

immagine quando vengono stampati su carta o visualizzati su un monitor. Il numero di pixel presente nel sensore, esprime la risoluzione della telecamera, per cui maggiore è il loro numero, migliore è la qualità dell'immagine che si ottiene. Ciascun pixel è caratterizzato dalla propria posizione e da valori come colore e intensità, variabili in funzione del sistema di rappresentazione adottato. Se l'immagine è monocromatica ogni pixel assumerà un valore in scala di grigi su 8 bit, che forniscono 256 diverse gradazioni di luminosità dell'immagine, che vanno da 0 (nero) a 255 (bianco). Nel caso di immagine a colori, le componenti su 8 bit, associate a ogni pixel sono tre, secondo la codifica RGB.

Indicando con  $I(u,v)$  il valore dell'immagine (ovvero il valore della luminosità) nel pixel individuato dalla riga  $v$  e dalla colonna  $u$  (sistema di coordinate  $(u,v)$  avente l'origine nell'angolo in alto a sinistra), e con  $n \times m$  le dimensioni del piano immagine (quindi le dimensioni del CCD), la matrice degli elementi fotosensibili e quella dei pixel, sono legate tra loro mediante le seguenti relazioni:

$$u_{pixel} = \frac{N}{n} u_{CCD}$$

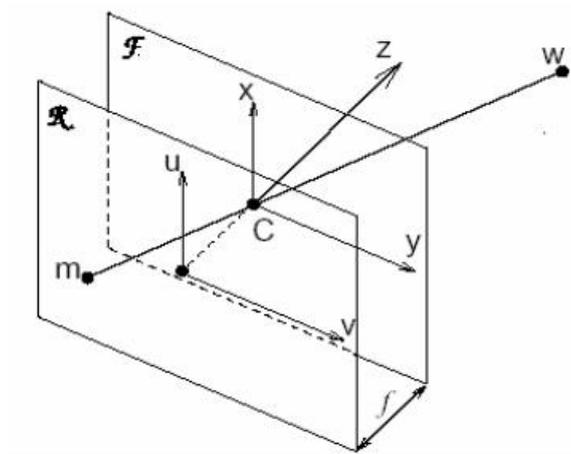
$$v_{pixel} = \frac{M}{m} v_{CCD}$$

da cui appare chiaro che la posizione di un punto sul piano immagine risulta diversa se misurata in pixel  $(u_{pixel}, v_{pixel})$  o elementi del piano immagine  $(u_{CCD}, v_{CCD})$ . Tuttavia, risulta comodo assumere che vi sia una relazione uno ad uno tra pixel ed elementi del piano immagine, pensando che ad ogni pixel, corrisponda un'area rettangolare sul piano immagine, le cui dimensioni sono dette *dimensioni efficaci del pixel*. Per estrarre delle informazioni dalle immagini, è necessario conoscere le fasi relative alla formazione delle stesse. Ai fini dello studio della formazione dell'immagine, il funzionamento della telecamera viene ricondotto a quello di un modello che ne riproduce le caratteristiche fondamentali. Esistono diversi modelli di telecamera, ognuno con proprie caratteristiche e limiti di applicazione. Il più utilizzato è il *modello pinhole*. Fornisce un'approssimazione accettabile del processo

di formazione dell'immagine, con convenienza anche dal punto di vista matematico e computazionale.

Secondo tale modello, la telecamera viene modellata come una scatola costituita da un foro infinitesimo, detto *punto di fuoco*. Attraverso tale foro, i raggi luminosi provenienti dal mondo esterno, penetrano nella scatola, andando a formare un'immagine rovesciata del mondo esterno, sulla parete opposta, che costituisce il *piano dell'immagine*. Il campo visivo, ovvero l'insieme dei punti che può essere proiettato nell'immagine, costituisce una piramide infinita, con vertice nel punto di fuoco. Il modello pinhole possiede tuttavia dei limiti, dovuti al fatto che, in realtà, il fuoco non è puntiforme, ma ha una dimensione non trascurabile. Pertanto, il raggio che unisce un punto 3D, il pinhole e un punto 2D non è unico, ma ogni punto sul piano immagine, raccoglie un cono di raggi luminosi provenienti dall'esterno. Gli occhi dei vertebrati, le macchine fotografiche e le telecamere utilizzano lenti al fine di garantire che l'immagine sia a fuoco e, allo stesso tempo, luminosa a sufficienza, risultato non ottenibile con la sola struttura a pinhole di una semplice telecamera. Infatti per ottenere immagini nitide, è necessario ridurre la dimensione del pinhole, ma in questo modo l'immagine sarebbe poco luminosa. Viceversa, per aumentare la luminosità, sarebbe necessario ingrandire il pinhole, ma in tal caso, ad ogni punto dell'immagine, non corrisponderebbe più un solo raggio luminoso, ma un cono di raggi luminosi convergenti, che darebbero come risultato immagini offuscate. Il compromesso tra le due situazioni descritte si ottiene pertanto aggiungendo un obiettivo, cioè un sistema di lenti.

In definitiva, il modello della telecamera consiste di un *piano retina* (o *piano immagine*)  $\mathcal{R}$  e di un punto  $C$  detto *centro ottico* (o *centro di proiezione*) distante  $f$  (*lunghezza focale*) dal piano retina. La retta passante per  $C$  e ortogonale ad  $\mathcal{R}$  è l'*asse ottico* e la sua intersezione con  $\mathcal{R}$ , prende il nome di *punto principale*. Il piano  $\mathcal{F}$  parallelo ad  $\mathcal{R}$  e contenente il centro ottico, prende il nome di *piano focale* (Figura 3-11).



**Figura 3-11 Modello Pinhole della telecamera.**

Si supponga di fissare un sistema di riferimento cartesiano  $Oxyz$ , avente origine coincidente con il centro ottico  $C$  e asse  $z$ , coincidente con l'asse ottico della telecamera. Sia  $w=(x, y, z)^T$  un punto dello spazio e sia  $m=(u, v)^T$  la sua proiezione su  $\mathcal{R}$  attraverso  $C$ . È possibile scrivere le seguenti relazioni di proiezione prospettica:

$$\frac{f}{z} = \frac{u}{x} = \frac{v}{y}$$

Da cui:

$$\begin{cases} u = \frac{f}{z} \cdot x \\ v = \frac{f}{z} \cdot y \end{cases}$$

Poiché la proiezione dallo spazio 3D, a quello ottico 2D, è non lineare (a causa della presenza della variabile  $z$  al denominatore) risulta opportuno esprimere i punti  $w$  ed  $m$  in coordinate omogenee (segnati con apice) come segue:

$$\tilde{w} = (x, y, z, 1)^T \quad \tilde{m} = (u, v, 1)^T$$

Mediante tale trasformazione, è possibile scrivere le equazioni di proiezioni, nella seguente forma matriciale:

$$\tilde{m} = \begin{bmatrix} ku \\ kv \\ k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} fx \\ fy \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \tilde{P} \cdot \tilde{w}$$

La matrice  $\tilde{P}$  è denominata *Matrice di Proiezione Prospettica (MPP)*.

Si noti che  $k$  coincide con la terza coordinata di  $w$ , ovvero con la distanza dal piano  $xy$ . I punti per cui  $k$  è nullo, sono punti all'infinito e coincidono col piano focale  $\mathcal{F}$ . Un modello realistico di telecamera, che descriva la trasformazione da coordinate 3D, a coordinate pixel, oltre che della trasformazione prospettica, deve tenere conto anche dei seguenti due processi:

- La *pixelizzazione* o *discretizzazione* dovuta al sensore CCD (visto come matrice bidimensionale di pixel) e alla sua posizione rispetto all'asse ottico;
- La trasformazione isometrica tra il sistema di riferimento mondo e quello della telecamera.

### 3.4.2 La pixelizzazione

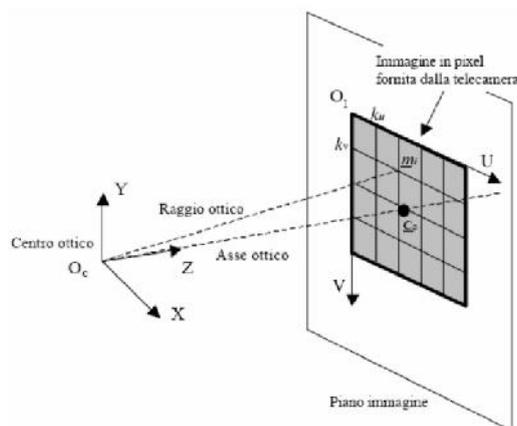
La pixelizzazione deve tener conto del fatto che:

- Il *centro ottico*  $C$  della telecamera non coincide con il centro fisico del CCD, bensì ha coordinate  $(u_0, v_0)$ .
- Le coordinate di un punto, nel sistema di riferimento standard della telecamera, sono misurate in pixel. Questo implica l'introduzione di un fattore di scala.
- La forma dei pixel non è quadrata. Occorre pertanto, considerare due fattori di scala diversi lungo gli assi  $x$  ed  $y$ , indicati rispettivamente con  $k_u=1/s_u$  e  $k_v=1/s_v$ . Risultano espressi in termini di pixel/mm lungo le direzioni orizzontale e verticale, poiché  $s_u$  ed  $s_v$  sono rispettivamente, le dimensioni orizzontale e verticale, dell'areola del sensore della telecamera.
- A causa di sfasamenti, nella scansione di righe successive dello schermo, gli assi di riferimento immagine  $u, v$  non sono ortogonali ma inclinati di  $\alpha$ .

I primi tre punti, vengono presi in considerazione mediante l'introduzione della traslazione del centro ottico e del fattore di scala indipendente degli assi  $u$  e  $v$ .  
Risulta:

$$\begin{cases} u = k_u \frac{f}{Z} \cdot x + u_0 \\ v = k_v \frac{f}{Z} \cdot y + v_0 \end{cases}$$

Dove  $(u_0, v_0)$  sono le coordinate del centro immagine  $C_C$ , mentre  $k_u$  e  $k_v$  sono le unità del sistema di riferimento immagine  $O_IUV$  (Figura 3-12).



**Figura 3-12** Proiezione di un punto sul piano immagine.

Si può notare che, se le coordinate di un generico punto  $m_i$  sull'immagine, vengono espresse in pixel e quelle del punto che lo ha generato, vengono espresse in metri (così come anche la distanza focale  $f$ ), allora  $1/k_u$  e  $1/k_v$  rappresentano le dimensioni, in metri, di un singolo pixel, mentre  $fk_u$  ed  $fk_v$  possono essere interpretate come la dimensione della distanza focale, in termini di pixel orizzontali e verticali. Pertanto la MPP può essere riscritta nel modo seguente:

$$\tilde{P} = \begin{bmatrix} fk_u & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & fk_v & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} = A \cdot [I \quad 0] \quad \text{con } A = \begin{bmatrix} fk_u & 0 & u_0 \\ 0 & fk_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Il modello più generale, in realtà, deve prevedere anche la possibilità che gli assi  $u, v$  non siano ortogonali ma inclinati di un angolo  $\theta$ . La matrice  $A$  più generale, può essere pertanto riscritta nel modo seguente:

$$A = \begin{bmatrix} fk_u & -fk_v \cdot \cot \theta & u_0 \\ 0 & f \frac{k_v}{\sin \theta} & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Tuttavia, nei moderni sistemi di acquisizione, si è cercato di attenuare la disomogeneità della matrice di CCD, lungo  $u$  e  $v$ , per cui si può considerare  $\theta = \pi/2$ . Le quantità  $f, k_u, k_v, u_0, v_0$  non dipendono né dall'orientazione, né tanto meno dalla posizione della telecamera ed è per questo motivo che vengono chiamati *parametri intrinseci* o *interni* della telecamera.

### 3.4.3 La trasformazione rigida tra la telecamera e la scena

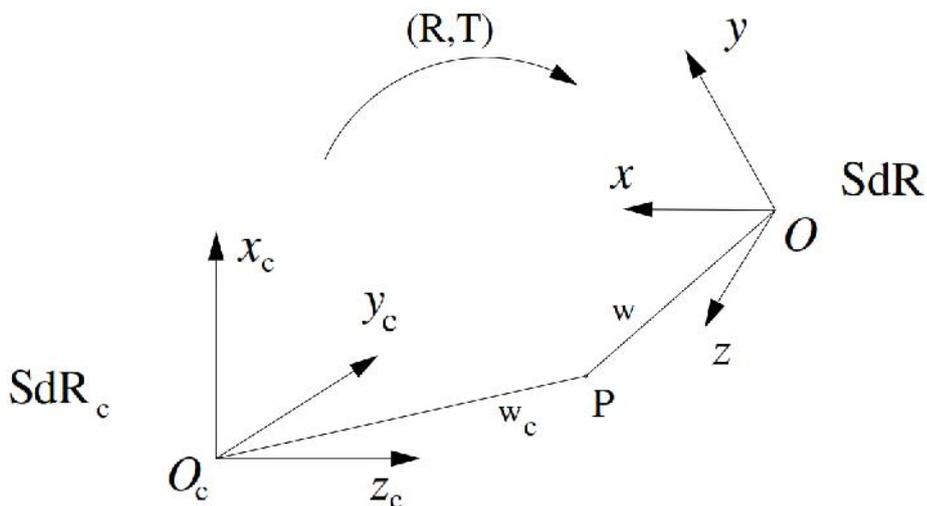


Figura 3-13 Trasformazione rigida tra la telecamera e la scena.

Per tenere conto del fatto che, in generale, il sistema di riferimento mondo (SdR) non coincide con il sistema di riferimento standard della telecamera (SdR<sub>c</sub>), è necessario introdurre una trasformazione rigida che lega i due sistemi di riferimento. Il cambio di coordinate è costituito da una rotazione  $R$ , seguita da una traslazione  $T$ , che esprimono l'orientamento del sistema di riferimento camera (SdR<sub>c</sub>), rispetto al sistema di riferimento mondo (SdR). Considerando un generico punto  $P$ , questo risulta individuato dal vettore  $w_c=(x_c, y_c, z_c)$  nel SdR<sub>c</sub> e dal vettore  $w=(x, y, z)$  nel SdR. Le coordinate del punto  $P$  nei due sistemi di riferimento, risultano correlabili tramite la seguente relazione:

$$w_c = R \cdot w + T$$

In coordinate omogenee risulta:

$$\tilde{w}_c = G \cdot \tilde{w}$$

Dove  $G = \begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$  è la matrice dei *parametri estrinseci* o *parametri esterni* della telecamera, che permettono il passaggio dal sistema di riferimento mondo, al sistema di riferimento telecamera e viceversa. Volendo inserire la matrice di proiezione prospettica, si ottiene la relazione tra le coordinate del punto nella scena 3D e le coordinate del punto nell'immagine, cioè:

$$\tilde{m} = \tilde{P} \cdot \tilde{w}_c = \tilde{P} \cdot G \cdot \tilde{w} = \tilde{P}_{new} \cdot \tilde{w}$$

Dove  $\tilde{P}_{new}$  è la nuova Matrice di Proiezione Prospettica in coordinate omogenee, così esprimibile:

$$\tilde{P}_{new} = A \cdot [I \ 0] \cdot G = A \cdot [R \ T]$$

Nell'ipotesi, spesso verificata, di  $\alpha_u = \alpha_v = f$  e ponendo:

$$\begin{cases} \alpha_u = f \cdot k_u \\ \alpha_v = f \cdot k_v \\ T = [t_1 \ t_2 \ t_3]^T \\ R = [r_1^T \ r_2^T \ r_3^T]^T \end{cases}$$

la MPP può essere scritta come segue:

$$\tilde{P} = \begin{bmatrix} \alpha_u \cdot r_1^T + u_0 \cdot r_3^T & \alpha_u \cdot t_1 + u_0 \cdot t_3 \\ \alpha_v \cdot r_2^T + v_0 \cdot r_3^T & \alpha_v \cdot t_2 + v_0 \cdot t_3 \\ r_3^T & t_3 \end{bmatrix}$$

Per definire tale matrice, occorrono 11 parametri indipendenti, i cui valori esatti sono ignoti anche al costruttore della telecamera. Per poterli stimare, occorre un accurato processo di calibrazione.

### 3.4.4 Calibrazione della telecamera RGB del sensore Kinect

Per conoscere la matrice di proiezione prospettica  $MPP$ , è necessario valutare i parametri intrinseci che costituiscono la matrice  $A$  e quelli estrinseci relativi alla matrice  $G$ . I parametri intrinseci rappresentano la geometria interna della telecamera e le caratteristiche ottiche, mentre quelli estrinseci fanno riferimento alla posizione e all'orientazione del sistema di riferimento telecamera rispetto al sistema di riferimento mondo. Il processo di misurazione di tali parametri è detto *calibrazione* e si basa sul presupposto che si conoscano le proiezioni di alcuni punti 3D, detti *punti di calibrazione*, le cui coordinate sono note. La necessità di calcolare queste due categorie di parametri, interni ed esterni, porta ad una naturale suddivisione del processo di calibrazione in:

- *Calibrazione interna*: consente di determinare la lunghezza focale  $f$ , le coordinate  $(u_0, v_0)$  del centro immagine espresse in pixel nel sistema di riferimento dell'immagine, le dimensioni  $k_u$  e  $k_v$  dei pixel (ovvero i fattori di scala, che tengono conto della forma rettangolare, e non quadrata, degli stessi), i parametri  $k_1, k_2, k_3, k_4$  che caratterizzano la distorsione radiale e tangenziale delle lenti;
- *Calibrazione esterna*: consente di determinare la matrice di rotazione  $R$  ed il vettore di traslazione  $T$  che definiscono le trasformazioni necessarie al passaggio dal sistema di riferimento della telecamera a quello del mondo e viceversa.

La fase di *calibrazione interna* è richiesta una sola volta, mentre la fase di *calibrazione esterna* deve essere ripetuta ogni qualvolta la telecamera viene spostata e/o ruotata. Infatti, per quanto detto in precedenza, i parametri interni ottenuti dalla fase di calibrazione omonima sono legati all'hardware della telecamera. Quindi, se la telecamera resta la stessa, anche tali parametri rimangono invariati. Nel caso della calibrazione esterna, invece, poiché i parametri che la interessano ( $R, T$ ) dipendono dall'orientamento e dalla posizione della telecamera, è sufficiente che questa venga mossa, anche accidentalmente, affinché si renda necessaria una nuova fase di calibrazione esterna. Esistono diversi metodi di calibrazione, la cui idea di base, consiste nel ricavare i parametri della telecamera risolvendo un sistema lineare di equazioni, che mette in relazione, un insieme di punti 3D aventi coordinate note, alle loro proiezioni sull'immagine. Ciò consente, pertanto, di calcolare la matrice di proiezione prospettica e la sua scomposizione in parametri intrinseci ed estrinseci. Le coordinate dei punti 3D, vengono solitamente fissate su un oggetto (pattern di calibrazione) i cui punti interni (punti di calibrazione) hanno coordinate note. Solitamente, tali punti sono costituiti dai vertici di  $N$  elementi, in genere quadrati di colore nero, disposti a scacchiera su sfondo bianco. L'acquisizione di tali pattern, in diverse posizioni e orientazioni, utilizzando procedure ripetute fino a convergenza, consente di stimare i parametri intrinseci ed estrinseci che caratterizzano il sistema.

Per quanto riguarda la calibrazione della camera RGB del sensore Microsoft Kinect, è stata utilizzata la griglia in Figura 3-14, i cui pattern di calibrazione sono dei quadrati neri, aventi lato di 10 cm. Si è ricorso all'utilizzo del Camera Calibration Toolbox di Matlab. La calibrazione intrinseca ha portato alla determinazione dei seguenti parametri:

Focal Length:

$$f_c = [ 523.18202 \quad 524.63661 ] \pm [ 2.71948 \quad 2.72208 ]$$

Principal point:

$$c_c = [ 326.58056 \quad 231.60025 ] \pm [ 3.93218 \quad 3.15271 ]$$

Skew:

```
alpha_c = [ 0.00000 ] ± [ 0.00000 ]
```

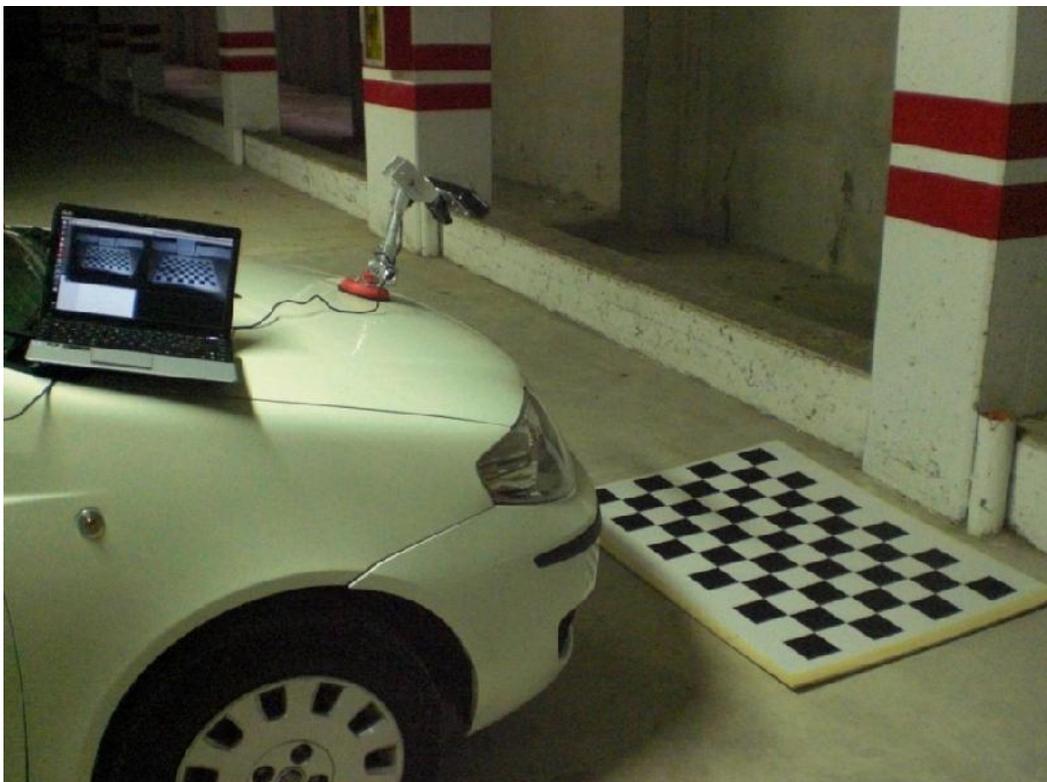
```
angle of pixel axes = 90.00000 ± 0.00000 degrees
```

```
Distortion:
```

```
kc = [ 0.01409    -0.01203    -0.00690     0.00063     0.00000 ] ± [  
0.02260    0.11925    0.00220     0.00257     0.00000 ]
```

```
Pixel error:
```

```
err = [ 0.20350    0.19353 ]
```



**Figura 3-14** Fase di calibrazione estrinseca della camera del sensore Kinect.

La calibrazione estrinseca, in seguito all'individuazione del sistema di riferimento della griglia riportato in Figura 3-16, ha portato alla definizione della matrice  $T_{cw}$ , ovvero la matrice di passaggio dal sistema di riferimento del sensore Kinect ( $SdR_c$ ) al sistema di riferimento della griglia ( $SdR_w$ ).

```

Extrinsic parameters:
Translation vector:
Tc_ext = [ -512.371516   -234.306494    1597.653063 ]
Rotation vector:
omc_ext = [ 1.808656    1.756480   -0.679179 ]
Rotation matrix:
Rc_ext = [ 0.031125    0.999504    0.004782
           0.736281   -0.019693   -0.676389
          -0.675959    0.024574   -0.736529 ]
Pixel error:   err = [ 0.87875    0.85755 ]
>> Twc=[[Rc_ext; 0 0 0], [Tc_ext; 1]];
Tcw=inv(Twc);

```

Infine, misurando manualmente le coordinate del sistema di riferimento della griglia, nel sistema di riferimento veicolo ( $SdR_v$ ), si è ottenuta la matrice  $T_{wv}$  ovvero la matrice di passaggio dal sistema di riferimento della griglia al sistema di riferimento veicolo. Per una migliore comprensione di questa fase di calibrazione estrinseca, si può osservare la Figura 3-15, in cui è riportata la posizione e l'orientamento dei tre sistemi di riferimento citati.

Il sistema di riferimento camera ( $SdR_c$ ) ha origine  $O_c$  nel sensore Kinect. Il sistema di riferimento griglia ( $SdR_w$ ) ha origine  $O_w$  nell'angolo del pattern di calibrazione visibile in Figura 3-16. Il sistema di riferimento veicolo ( $SdR_v$ ) ha origine  $O_v$  allineato in verticale con l'origine  $O_c$  del sistema di riferimento camera. Inoltre il piano  $(x_w, y_w)$  è identico al piano  $(x_v, y_v)$ .

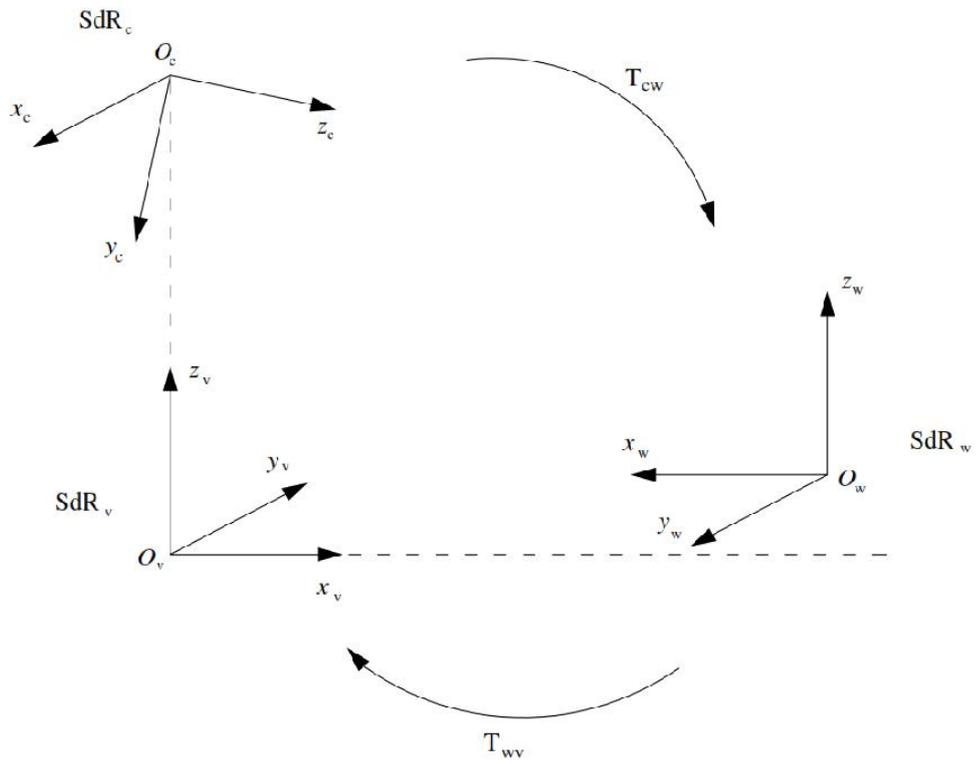


Figura 3-15 Matrici di trasformazione tra sistema di riferimento camera, sistema di riferimento griglia e sistema di riferimento veicolo.

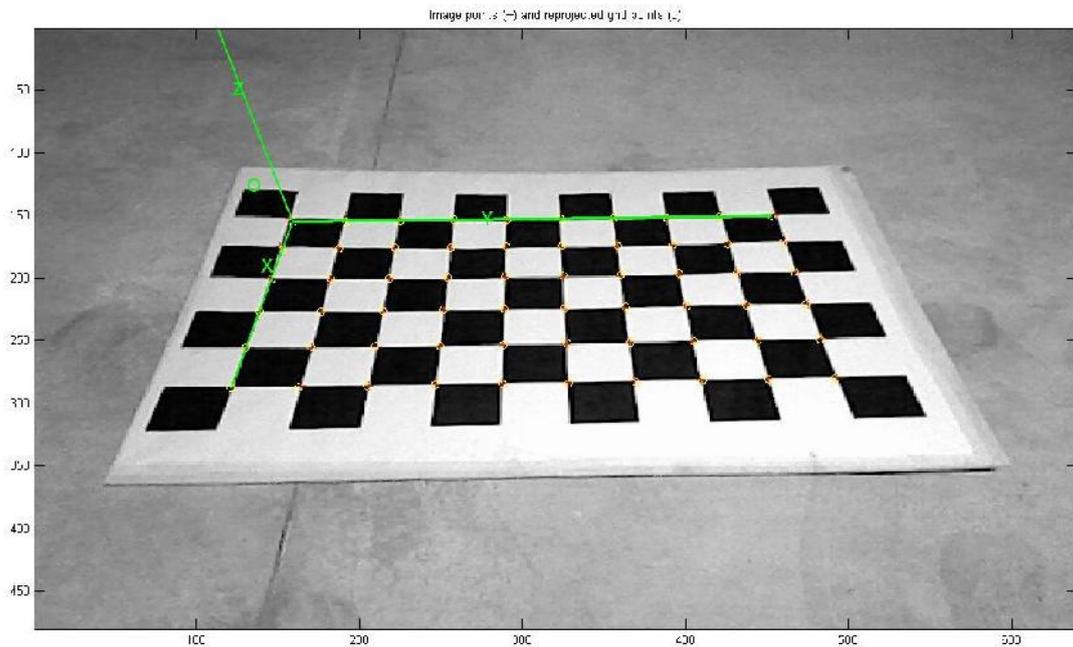


Figura 3-16 Pattern di calibrazione e sistema di riferimento della griglia.

# CAPITOLO 4

## ALGORITMO E RISULTATI

---

### 4.1 Algoritmo per il riconoscimento degli ostacoli

L'obiettivo del lavoro è stato quello di creare, a partire dalla nuvola di punti 3D acquisita tramite il sensore Kinect, una mappa di "attraversabilità" della scena di fronte al veicolo. In questa mappa, è possibile riconoscere facilmente le parti attraversabili e gli ostacoli, sia positivi che negativi. Il codice sviluppato è stato scritto in ambiente Matlab R2010a.

L'algoritmo si compone delle seguenti fasi:

- definizione della griglia di riferimento;
- determinazione dei punti 3D, costituenti la nuvola, che ricadono all'interno delle singole celle della griglia di riferimento;
- classificazione delle celle.

Nelle prossime sezioni, verranno descritte dettagliatamente queste fasi.

#### 4.1.1 Definizione della griglia di riferimento

Nel Paragrafo 3.3, si è descritta la fase di costruzione del sostegno per il sensore Kinect. In Figura 3-10, è possibile osservare come, il dimensionamento del supporto stesso sia stato influenzato dall'entità del range di acquisizione al suolo desiderato. Ovvero da 0.2 m a 1.8 m a partire dal paraurti del veicolo. Sempre in Figura 3-10, è osservabile come il sistema di riferimento veicolo ( $SdR_v$ ), posto al livello del suolo

ed allineato con il sensore Kinect, sia posto 0.15 m indietro rispetto al paraurti del veicolo. Entrambi questi aspetti, hanno portato alla decisione di modellare la mappa di attraversabilità, secondo una griglia che si estende a partire da 0.15 m fino a 1.95 m, lungo l'asse  $x_v$  del sistema di riferimento veicolo (SdR<sub>v</sub>). Questa griglia risulta simmetrica rispetto a quest'asse ed ha un'estensione da -1.05 m fino a 1.05 m, lungo l'asse  $y_v$ . Si è deciso di ricorrere poi, a celle quadrate, aventi lato di 0.15 m. Questa discretizzazione si è rivelata quella più appropriata, per una facile comprensione della mappa di attraversabilità. Inoltre, si è reputato importante il fatto che durante una manovra di parcheggio, il guidatore debba avere informazioni degli eventuali oggetti presenti nell'area di fronte alla vettura, ogni 0.15 m.

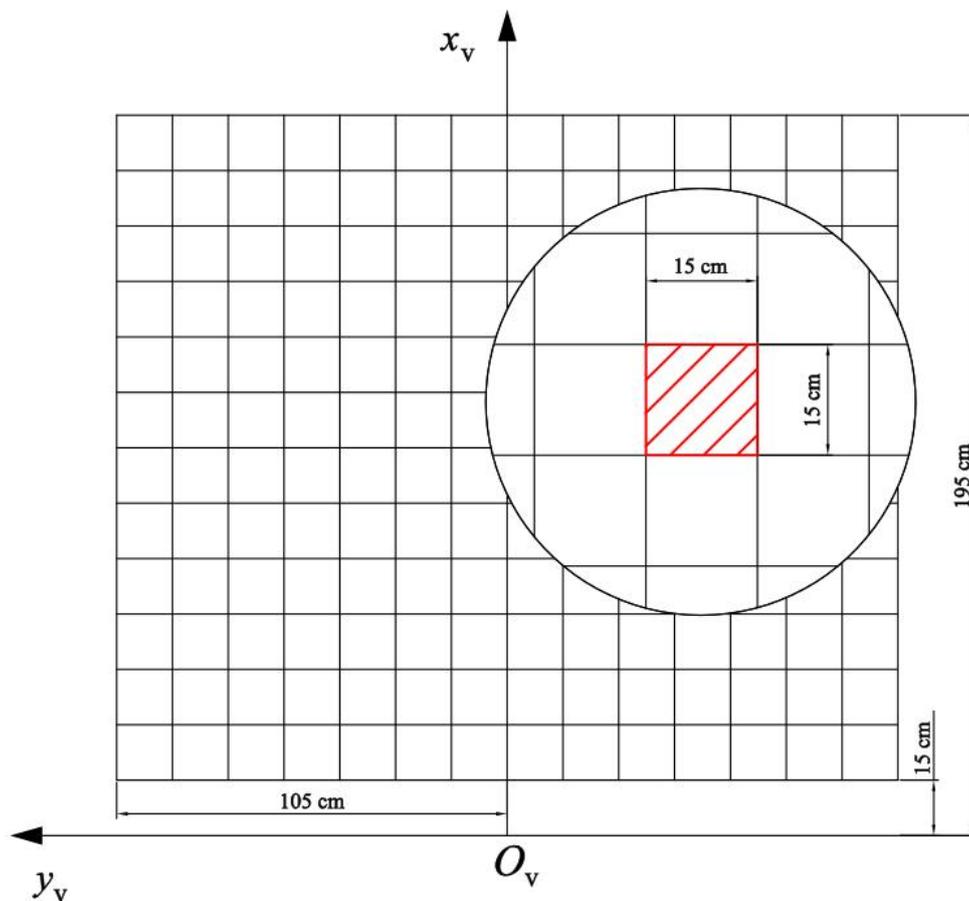


Figura 4-1 Dimensioni della griglia.

In relazione alla Figura 4-1, ricadranno nella griglia di riferimento, solo i punti aventi coordinate:

$$\begin{cases} 0.15 & x & 1.95 & [m] \\ -1.05 & y & 1.05 & [m] \end{cases}$$

Una volta impostate le dimensioni della griglia, si è definita la matrice GP, avente numero di righe pari al numero  $n_n$  di nodi della griglia, e numero di colonne pari a 3, ovvero pari al numero di coordinate cartesiane necessarie ad individuare ogni nodo della griglia. La numerazione dei nodi è riportata in Figura 4-2.

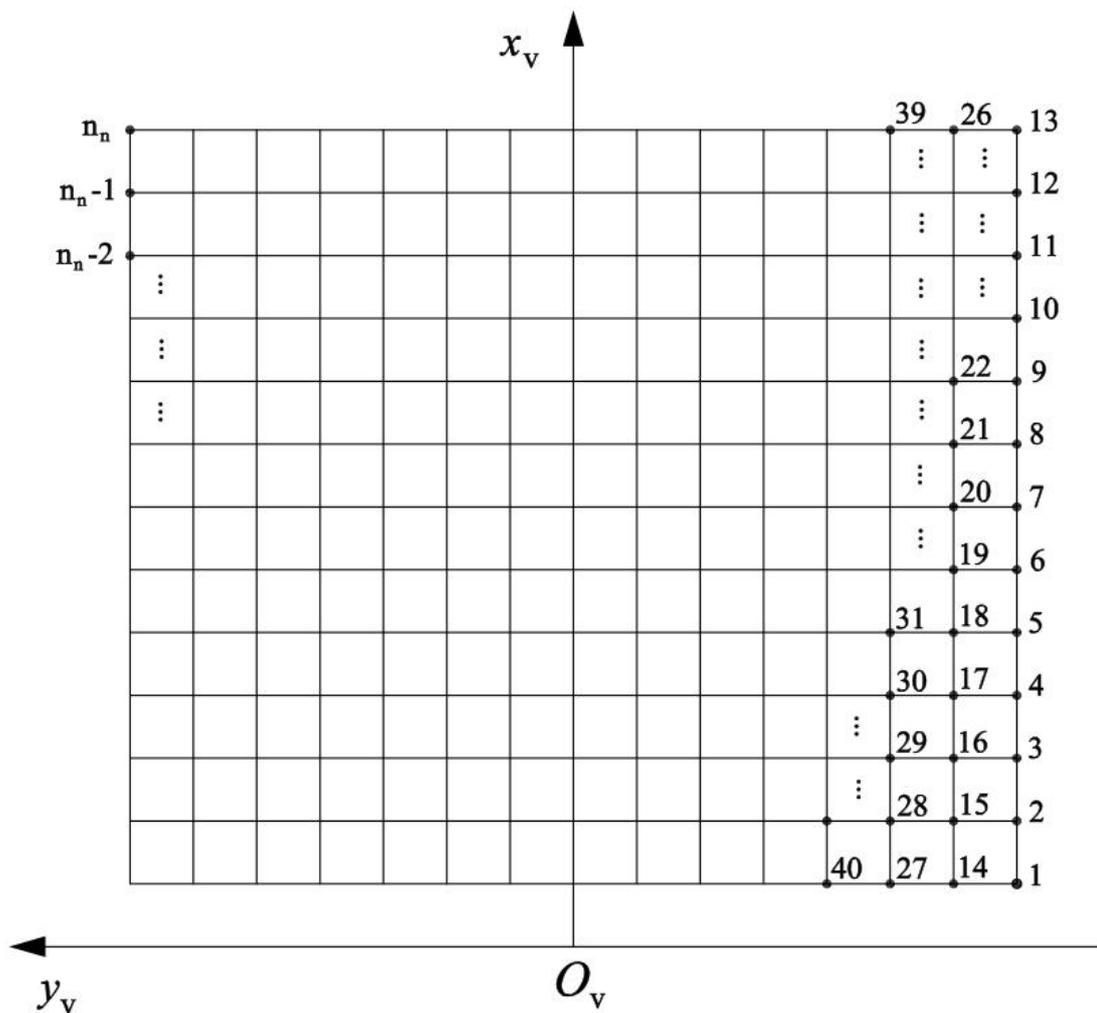


Figura 4-2 Criterio di numerazione dei nodi della griglia di riferimento.

$$GP = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 0 \\ x_2 & y_2 & 0 \\ x_3 & y_3 & 0 \\ x_4 & y_4 & 0 \\ x_5 & y_5 & 0 \\ \vdots & \vdots & \\ \cdot & \cdot & \\ \vdots & \vdots & \\ x_{n_n-1} & y_{n_n-1} & 0 \\ x_{n_n} & y_{n_n} & 0 \end{bmatrix}$$

### 4.1.2 Determinazione dei punti che ricadono nelle singole celle

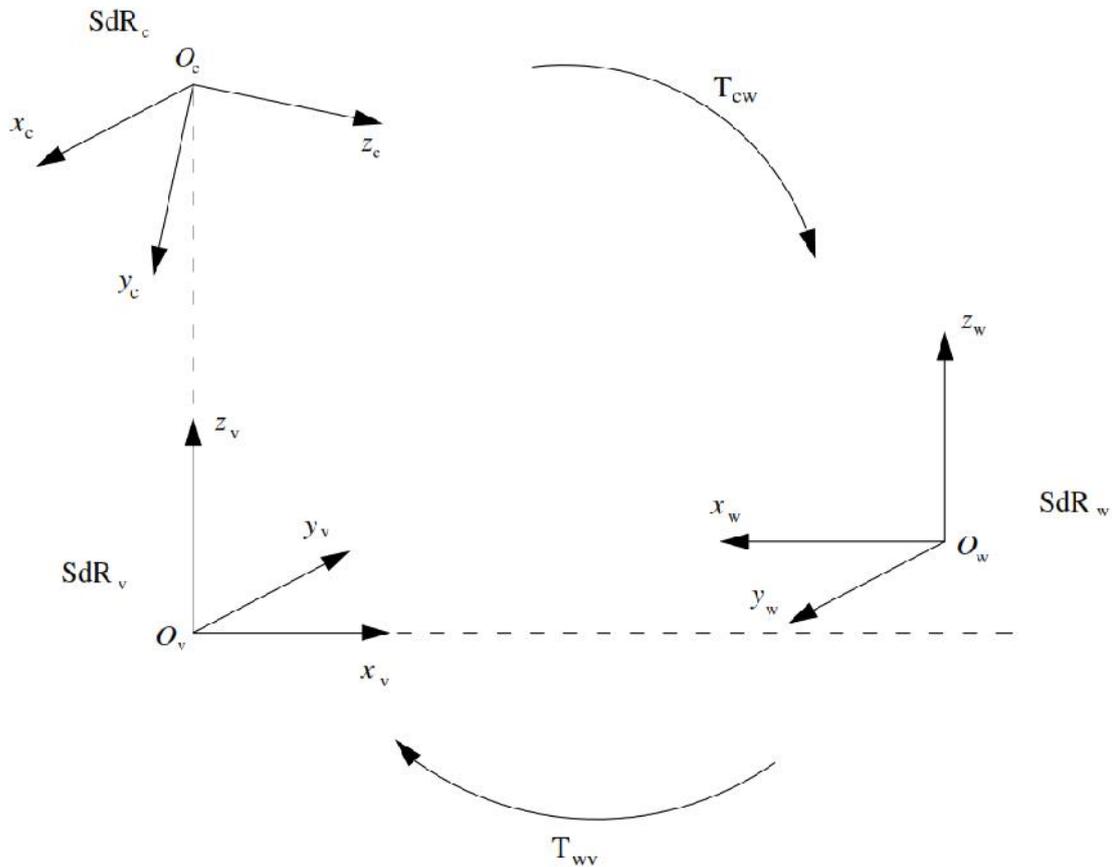
Il file che deriva dalla fase di acquisizione, è un file di estensione “.pcd” contenente, per ognuno degli  $m$  punti acquisiti, quattro valori numerici. I primi tre, sono numeri a virgola mobile, rappresentanti le coordinate cartesiane dei punti, riferite al sistema di riferimento della camera (SdR<sub>c</sub>). Il quarto valore è invece un numero intero riguardante la codifica RGB, valore che comunque non viene utilizzato nell’algoritmo. Con le sole coordinate cartesiane, si genera la matrice XYZ<sub>c</sub> di ordine  $m \times 3$ . Poiché la griglia di riferimento è riferita al sistema di riferimento veicolo (SdR<sub>v</sub>), per verificare come i punti 3D della nuvola si ripartiscono all’interno delle celle, si è reso necessario un cambio di coordinate cartesiane. Il passaggio dal sistema di riferimento camera al sistema di riferimento veicolo è stato effettuato per mezzo della matrice T. Risulta:

$$T = T_{wv} \cdot T_{cw}$$

Nello specifico, la matrice  $T_{cw}$  è la matrice determinata tramite la calibrazione estrinseca del sensore Kinect.

$T_{wv}$  è la matrice di passaggio dal sistema di riferimento della griglia di calibrazione al sistema di riferimento veicolo. L’orientazione dei tre sistemi di riferimento citati è riportato in Figura 4-3. Il sistema di riferimento camera (SdR<sub>c</sub>) ha origine  $O_c$  nel sensore Kinect. Il sistema di riferimento griglia (SdR<sub>w</sub>) ha origine  $O_w$  nell’angolo del pattern di calibrazione visibile in Figura 3-16. Il sistema di riferimento veicolo

(SdR<sub>v</sub>) ha origine  $O_v$  allineato in verticale con l'origine  $O_c$  del sistema di riferimento camera. Inoltre il piano  $(x_w, y_w)$  è coincidente con il piano  $(x_v, y_v)$ .



**Figura 4-3** Passaggio dal sistema di riferimento camera, al sistema di riferimento griglia al sistema di riferimento veicolo.

Ogni singola cella è individuata dai nodi ai quattro vertici. Con riferimento alla Figura 4-4, la cella k-esima risulta definita tramite quattro nodi, di coordinate cartesiane:

$$\begin{aligned}
 i &= (x_i, y_i, 0) \\
 l &= (x_{i+1}, y_{i+1}, 0) = (x_{i+1}, y_i, 0) \\
 s &= (x_i, y_i + \text{Delta}, 0) \\
 t &= (x_{i+1}, y_i + \text{Delta}, 0)
 \end{aligned}$$

Con *Delta*, pari a 0.15 m, valido sia in direzione  $x_v$ , sia in direzione  $y_v$ , essendo la cella quadrata.

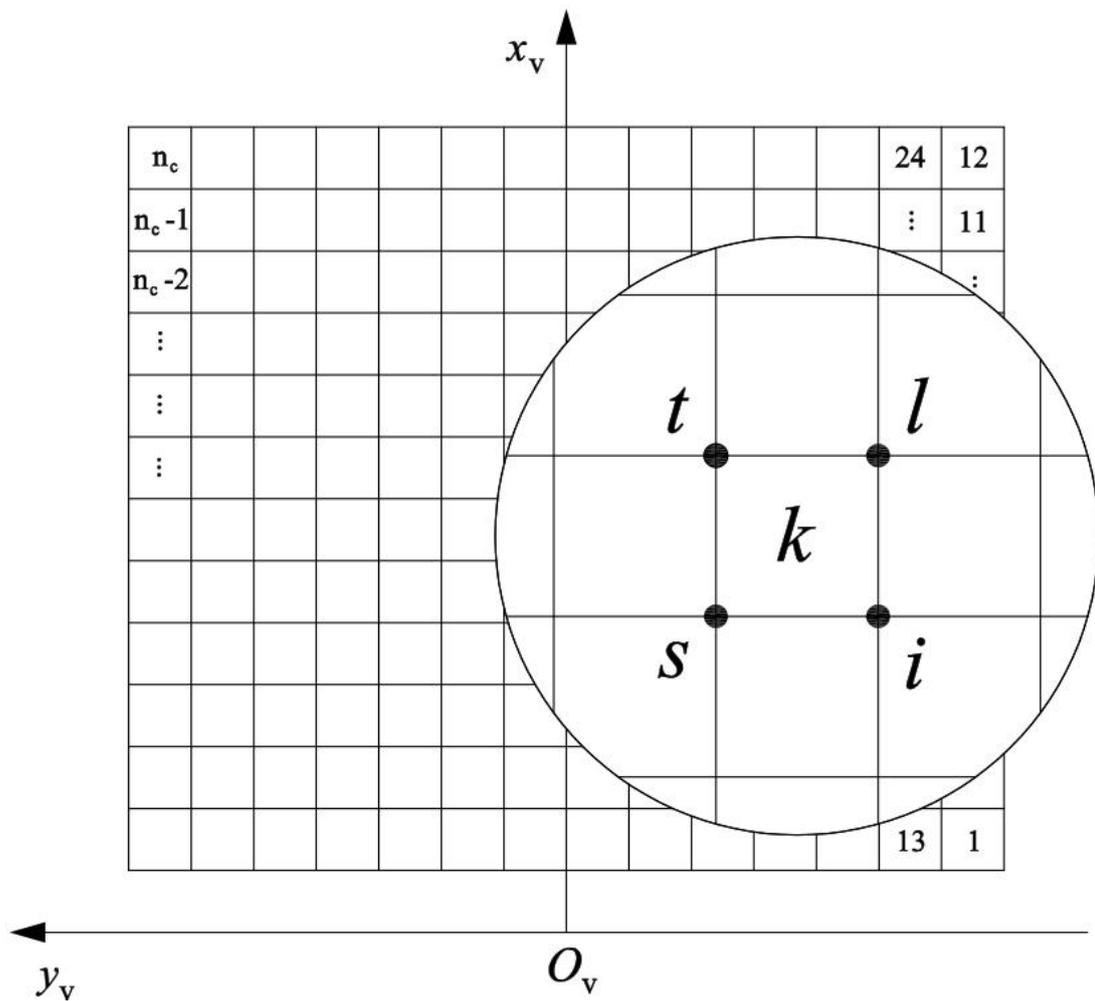


Figura 4-4 Nodi di definizione della k-esima cella.

Ricadranno nella k-esima cella, tutti quei punti 3D della nuvola, aventi le prime due coordinate cartesiane che soddisfano le seguenti condizioni:

$$\begin{cases} x_i \leq x < x_{i+1} \\ y_i \leq y < y_i + \Delta \end{cases}$$

Analizzando l'intera nuvola di punti 3D, con riferimento a tutte le  $n_c$  celle della griglia di riferimento (Figura 4-6), si crea l'array *Patch*, ovvero una struttura di dati costituita da  $n_p$  elementi. Ognuno di questi elementi *Patch*{ $i$ } è caratterizzato da:

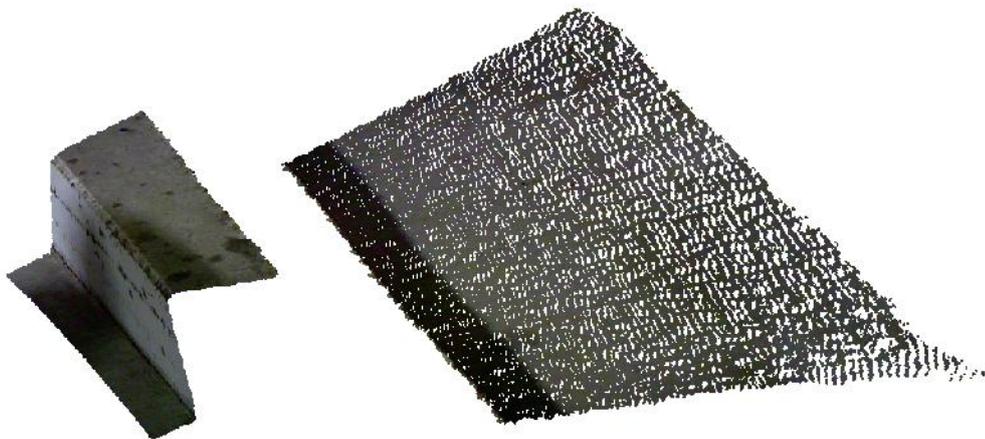
- numero di righe pari al numero di punti che ricadono nella corrispondente cella;
- tre colonne, pari cioè al numero di coordinate cartesiane  $(x, y, z)$  identificative di ogni punto.

È da evidenziare il fatto che  $n_p$  può coincidere o meno con  $n_c$ .

Il numero di celle  $n_c$ , dipende unicamente dalle dimensioni del range di acquisizione e dalla discretizzazione effettuata. Nel caso specifico, abbiamo precedentemente visto che la griglia di riferimento ha uno sviluppo lungo l'asse  $x_v$  di 1.8 m, mentre lungo l'asse  $y_v$ , di 2.1 m. Data la dimensione della cella quadrata pari a 0.15 m, la griglia di riferimento risulta avere 12 celle disposte lungo l'asse  $x_v$ , 14 celle disposte lungo l'asse  $y_v$ , per un numero totale di  $n_c=168$  celle.

Il numero di celle occupate da punti, quindi il numero di  $Patch\{i\}$ , dipende dalla nuvola di punti 3D. Quest'ultima infatti può non contenere punti relativi ad una determinata zona dello scenario, perché la presenza di un oggetto, può ostruire la vista del sensore Kinect. In questa situazione, si avranno delle celle, messe in ombra dall'ostacolo, in cui non ricadrà alcun punto e quindi, a queste celle, non sarà associato alcun patch. In Figura 4-5, si può comprendere meglio quanto appena detto. Si tratta di un'acquisizione effettuata all'interno di un parcheggio sotterraneo, relativa a un cordolo di altezza ridotta (circa 0.2 m). Come si può osservare, il cordolo non permette al sensore Kinect, di acquisire l'intero scenario retrostante, bensì si riscontra nella nuvola di punti 3D, una mancanza di dati relativa alla zona appena dietro l'ostacolo. La mappa di attraversabilità quindi, in corrispondenza di questa stessa zona, non presenterà alcun patch.

Occorre inoltre far presente che, per evitare di considerare eventuali punti isolati acquisiti dal sensore (i cosiddetti *outliers*), si è deciso a priori di definire un generico elemento  $Patch\{i\}$ , solo nel caso in cui, il numero dei punti che ricadano nella corrispondente cella, è maggiore di 4.



**Figura 4-5** Acquisizione di un cordolo mediante sensore Kinect e relativa nuvola di punti 3D.

Di pari passo alla creazione dell'array *Patch*, si crea l'array *Grid*, contenente in ogni suo elemento  $Grid\{i\}$ , le coordinate cartesiane  $x$  e  $y$  del centro di ognuno degli  $n_p$  patch.



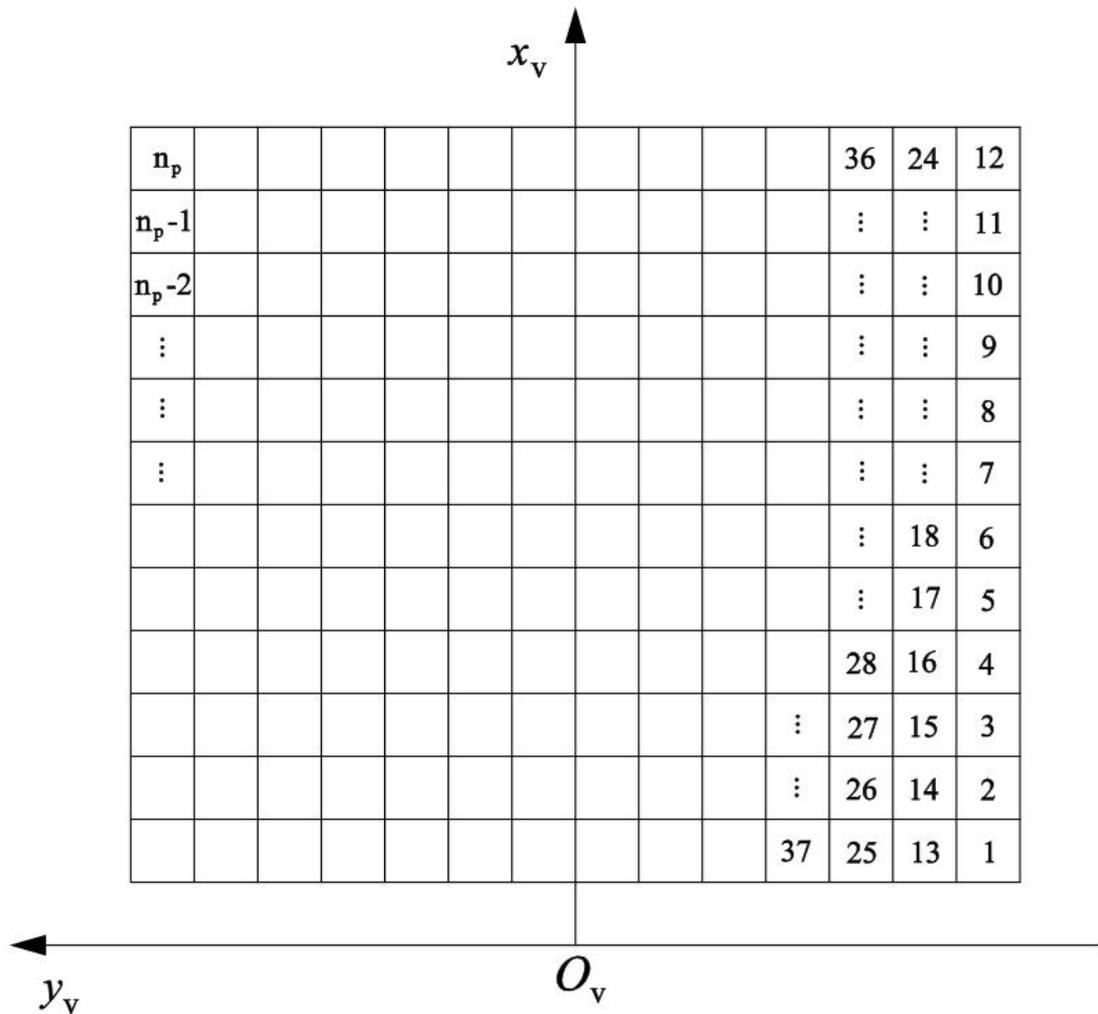


Figura 4-7 Criterio di numerazione dei patch.

Una volta definite le strutture di dati *Patch* e *Grid*, si definisce anche l'array *zmaz*. Ogni suo elemento  $z_{max}\{i\}$ , contiene al suo interno la coordinata cartesiana *z* massima, ricercata tra tutti i punti che ricadono nel corrispondente *i*-esimo elemento *Patch*{*i*}, quindi nell'*i*-esima cella.

### 4.1.3 Classificazione delle celle

L'obiettivo dell'algoritmo, è quello di classificare le celle della griglia di riferimento, come zone della scena attraversabili oppure no. Questo per fornire, come

precedentemente detto, una mappa di attraversabilità, che riesca ad informare il guidatore, della presenza o meno, di ostacoli posti dinanzi la sua vettura, in fase di parcheggio.

L'algoritmo utilizzato è il *Breadth-First-Search (BFS)*, che nella teoria dei grafi è un algoritmo di ricerca in ampiezza. Partendo da un nodo detto sorgente, permette di cercare il cammino fino a un altro nodo scelto, connesso con il sorgente. A partire dal nodo sorgente, l'algoritmo espande il raggio di azione, al fine di esaminare tutti i nodi del grafo ed individuare così quello ricercato. Il *BFS* si avvale di una coda, nella quale si colloca inizialmente il solo nodo sorgente ed in cui vanno collocati iterativamente, tutti i nodi non analizzati. Nelle varie iterazioni (compresa quella iniziale), il nodo posto in cima viene prelevato dalla coda e analizzato. Se l'elemento cercato viene ritrovato in questo nodo, la ricerca si interrompe, altrimenti vengono inseriti in coda tutti i nodi non analizzati, successivi al nodo di riferimento. L'analisi dei singoli nodi della coda, viene eseguita iterativamente fino all'individuazione dell'elemento cercato oppure fino allo svuotamento della coda. Quest'ultima situazione significa che, tutti i nodi del grafo sono stati analizzati e l'elemento ricercato non è stato trovato.

Nel nostro caso, si hanno da analizzare celle e non nodi. Al fine del corretto funzionamento di questo algoritmo, si è deciso di considerare come punto rappresentativo di ogni cella, il proprio baricentro. A esso poi, è stata associata la coordinata  $z$  massima riportata nella corrispondente matrice  $z_{max}\{i\}$ , cioè la coordinata  $z$  massima tra tutti i punti appartenenti a quella cella. Partendo quindi da una cella sorgente  $s$ , l'algoritmo visita iterativamente tutte le celle, classificandole come *Ground Cells*, *Non Ground Cells* e *Unknown Cells*. Per distinguere visivamente queste tre tipologie di celle, si è deciso di colorarle rispettivamente di verde, rosso e ciano.

Per comprendere il criterio con cui l'algoritmo effettua la classificazione delle celle, occorre considerarne due adiacenti e definire il concetto di attraversabilità tra le stesse. A partire da una cella già classificata come attraversabile, quindi colorata di verde e considerata cella sorgente  $s$ , una  $k$ -esima cella adiacente sarà attraversabile se

e solo se, è limitata la differenza tra le due coordinate  $z$  massime. In altre parole, se è limitato il dislivello tra le due. È facile intuire che in ogni cella, il punto avente coordinata  $z$  massima ha collocazione differente, ovvero è individuato da coordinate  $x$  ed  $y$  differenti. Per ovviare a questo problema, per ogni cella da analizzare, si è deciso di associare la coordinata  $z$  massima, al suo baricentro, di coordinate  $x$  ed  $y$  note. Con questa assunzione, si è stati in grado di definire più agevolmente l'attraversabilità di una cella, pena un'approssimazione di quella che è la reale pendenza tra due celle.

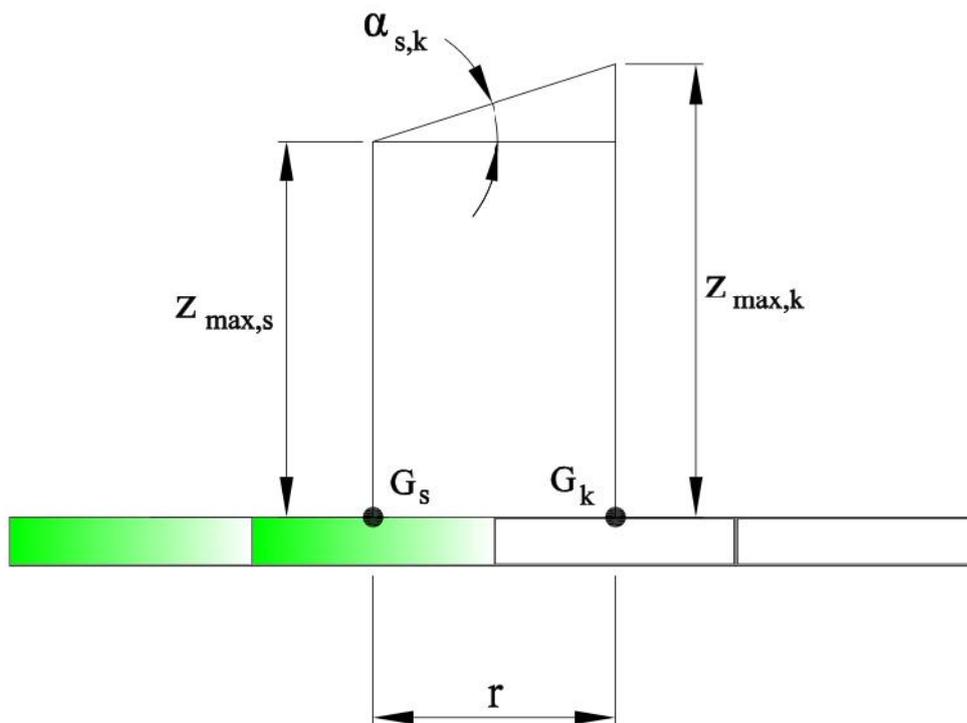


Figura 4-8 Attraversabilità di una cella.

Indichiamo con  $G_s$  il baricentro di coordinate note, della cella già classificata come attraversabile, quindi assunta come cella sorgente e colorata di verde. Indichiamo con  $G_k$  il baricentro di coordinate note, della  $k$ -esima cella da classificare. Con riferimento alla Figura 4-8, risulta:

$$\alpha_{s,k} = \frac{|z_{max,s} - z_{max,k}|}{|r|}$$

Dove il numeratore rappresenta la differenza tra le quote  $z$  massime mentre, il denominatore rappresenta la distanza tra i baricentri delle due celle. La  $k$ -esima cella risulta attraversabile se:

$$\alpha_{s,k} \leq \beta_l$$

Nel caso contrario, la  $k$ -esima cella viene classificata come non attraversabile.

La grandezza  $\beta_l$  introdotta è un angolo limite che, nel caso in esame, è stato posto pari a  $15^\circ$ . Questo valore di angolo limite definisce automaticamente un  $\Delta z_{max}$  limite di attraversabilità tra due celle, il cui valore cambia in base a quale cella deve essere classificata. Se quest'ultima è una cella laterale rispetto a quella considerata cella sorgente, il  $\Delta z_{max}$  limite è di 4 cm. Se invece si tratta di una cella diagonale rispetto alla sorgente, il  $\Delta z_{max}$  limite è di 5.7 cm (Figura 4-9).

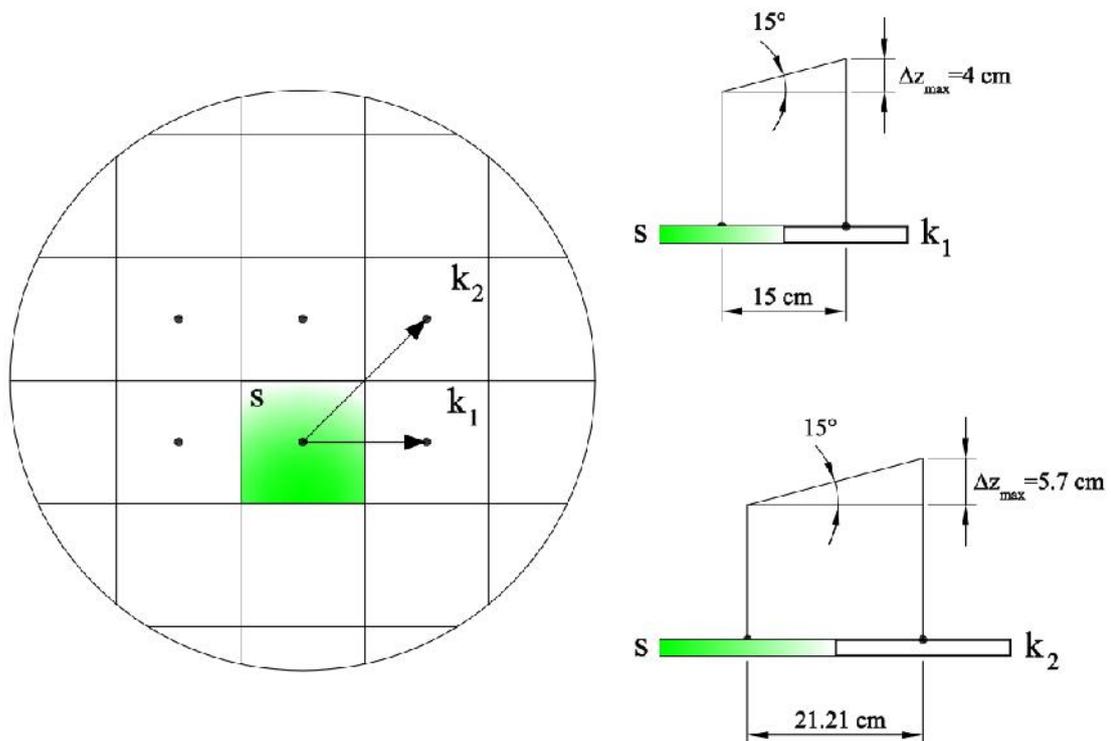


Figura 4-9 Delta z limite di attraversabilità tra due celle.

Parlando del funzionamento dell'algoritmo BFS, abbiamo visto che quest'ultimo preleva le celle da analizzare a partire dalla cima della coda. Per garantire l'avvio dell'algoritmo, è necessaria la presenza nella coda, della cosiddetta cella sorgente  $s$ . Poiché nel nostro caso, l'algoritmo ha l'obiettivo di classificare tutte le celle come attraversabili o meno, la cella sorgente da cui deve avere inizio questa classificazione iterativa, deve essere logicamente una cella attraversabile dal veicolo.

Per rendere più robusto l'algoritmo, tutte le celle che soddisfano le seguenti condizioni:

- appartenere al settore rettangolare non vuoto, più vicino alla vettura;
- avere il valore massimo della coordinata  $z$ , compreso in un intorno dello zero, di ampiezza 8 cm.

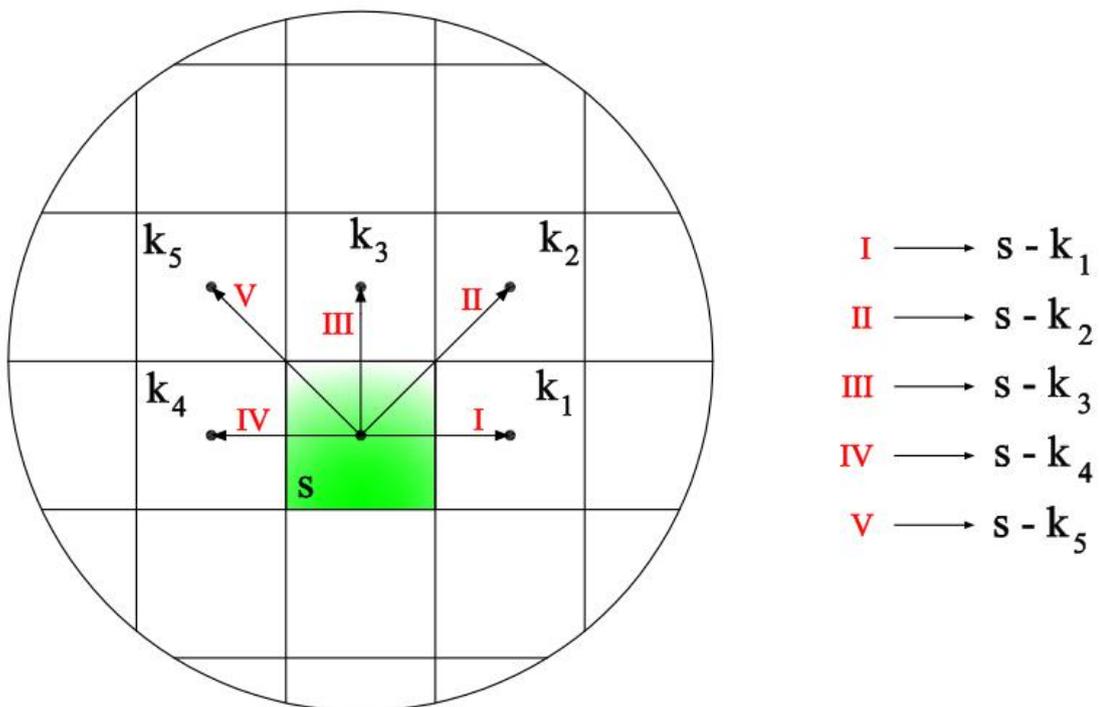
vengono collocate nella coda dell'algoritmo, al fine di essere considerate celle sorgenti. Vengono per questo inserite nel vettore colonna degli Starting Patch. Inoltre vengono classificate direttamente come Ground Visitors, cioè celle attraversabili e come VISITORS, cioè celle già classificate, che l'algoritmo quindi non deve più analizzare. Le celle che invece, soddisfano la prima condizione ma non la seconda, vengono classificate direttamente come Non Ground Visitors, cioè come celle non attraversabili. Non dovendo essere più analizzate dall'algoritmo, vengono anch'esse inserite nel vettore VISITORS.

Una volta definito il vettore SP, l'algoritmo ha inizio assumendo, come cella sorgente  $s$ , la prima cella situata in cima al vettore SP. L'algoritmo analizza iterativamente tutte le celle adiacenti ad  $s$ , classificandole come attraversabili oppure non attraversabili. Nel primo caso, vengono collocate nel vettore GV mentre, nel secondo caso, vengono collocate nel vettore NGV. Inoltre queste celle appena classificate vengono inserite nel vettore VISITORS. La classificazione eseguita dall'algoritmo continua iterativamente perché, le celle appena classificate come attraversabili diventano a loro volta nuove celle sorgenti. Di queste, l'algoritmo

passerà ad analizzarne e classificarne solo le celle adiacenti che non sono state ancora visitate.

Le celle appena classificate come non attraversabili invece, rappresentano per l'algoritmo un punto di arresto. Per questo, eventuali celle ad esse adiacenti, seppure non ancora visitate, non vengono analizzate e classificate dall'algoritmo.

In Figura 4-10, si può osservare l'ordine con cui vengono analizzate, quindi classificate, le celle adiacenti ad una generica cella sorgente  $s$ . La prima cella visitata ed analizzata è la cella  $k_1$ , successivamente  $k_2$ ,  $k_3$ ,  $k_4$ , terminando con  $k_5$ . Questa sequenza è legata al criterio di numerazione dei patch visto in precedenza (Figura 4-7).



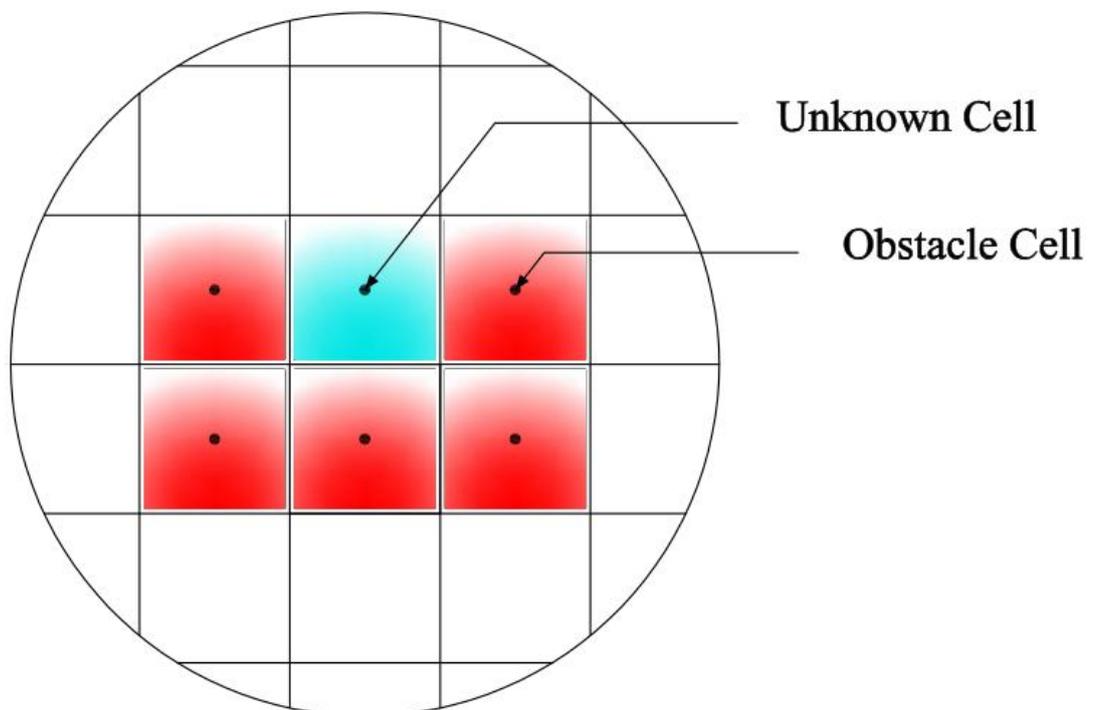
**Figura 4-10** Ordine con cui vengono analizzate le celle a partire da una cella sorgente.

Una volta che tutte le celle, inserite iterativamente nella coda dell'algoritmo, sono state utilizzate come celle sorgenti, si ripete il procedimento appena descritto utilizzando come nuova cella sorgente iniziale, la seconda cella presente nel vettore

Starting Patch. Successivamente la terza e così via, fino al completamento di tutte le celle contenute in SP.

Al termine, di tutti gli  $n_p$  patch, alcuni risulteranno classificati come Ground Visitors e colorati di verde ad individuare le Ground Cells, altri classificati come Non Ground Visitors e colorati di rosso ad individuare le Obstacle Cells, ed altri ancora colorati di ciano ad individuare le celle sconosciute (Unknown Cells). A quest'ultima categoria apparterranno:

- Le celle che non sono state visitate perché occluse da celle non attraversabili. Si è detto che una cella classificata come non attraversabile, quindi inserita nel vettore Non Ground Visitors, diventa un punto di arrivo per l'algoritmo, cioè non sarà utilizzata come cella sorgente al fine di classificarne le celle adiacenti. Per questo motivo può accadere che, una k-esima cella si ritrovi ad essere totalmente circondata da celle non attraversabili (Figura 4-11).



**Figura 4-11** Cella occlusa tra celle non attraversabili.

- Le celle che risultano del tutto separate dagli altre celle visitate. È il caso osservabile in Figura 4-5.
- Le celle che seppur visitate e classificate come attraversabili, sono messe in ombra da celle classificate come non attraversabili. Per comprendere meglio questo aspetto è possibile osservare Figura 4-12.

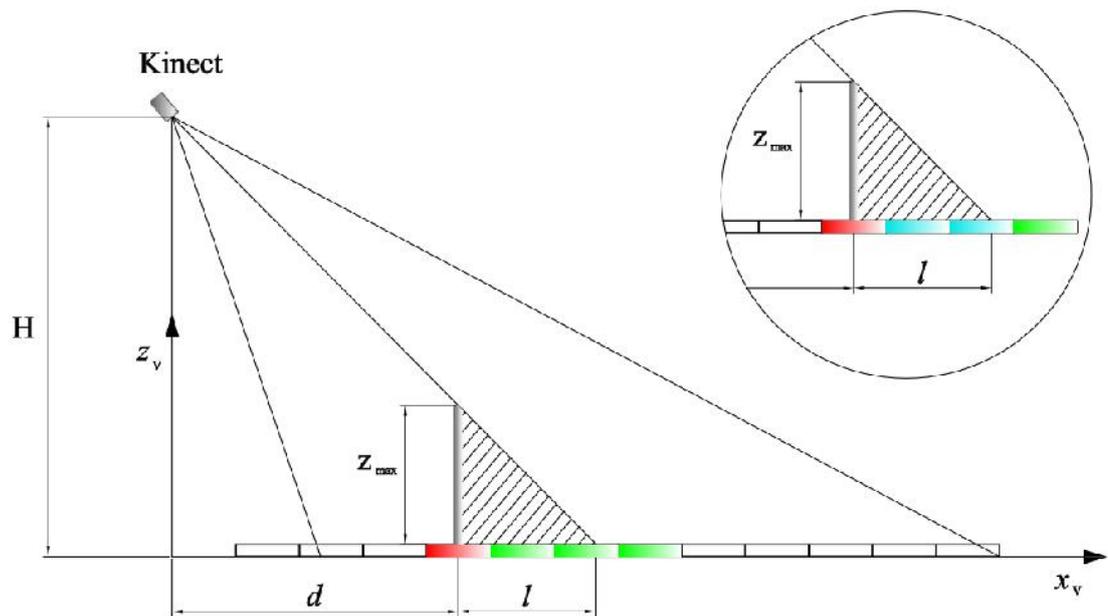


Figura 4-12 Celle messe in ombra dalla presenza di un ostacolo.

Il numero di celle messe in ombra da un ostacolo, dipende dalla coordinata  $d$  lungo  $x_v$  del suo baricentro e dalla quota  $z$  massima ad esso associata. Da questi due parametri infatti, dipende l'ampiezza  $l$  del campo di occlusione. Da una similitudine di triangoli si ottiene:

$$l = \frac{z_{max} \cdot d}{H - z_{max}}$$

Una  $i$ -esima cella, avente coordinata del baricentro pari a  $x_i$ , risulterà colorata di ciano, quindi appartenente alle Unknown Cells, se la coordinata  $x_i$  soddisfa le seguenti due condizioni:

$$\begin{cases} x_i < d + l + 0.075 \text{ [m]} \\ x_i > d \text{ [m]} \end{cases}$$

Dove 0.075 m è la semi lunghezza del lato della cella. La prima condizione impone che l'estensione del campo di occlusione deve, anche in minima parte, interessare l'estensione dell'i-esima cella. La seconda condizione invece, impone che l'i-esima cella deve, ovviamente, trovarsi dopo l'ostacolo, cioè a coordinate  $x$  maggiori.

In Figura 4-13, si può osservare un diagramma di flusso per comprendere più agevolmente, il funzionamento dell'algoritmo.

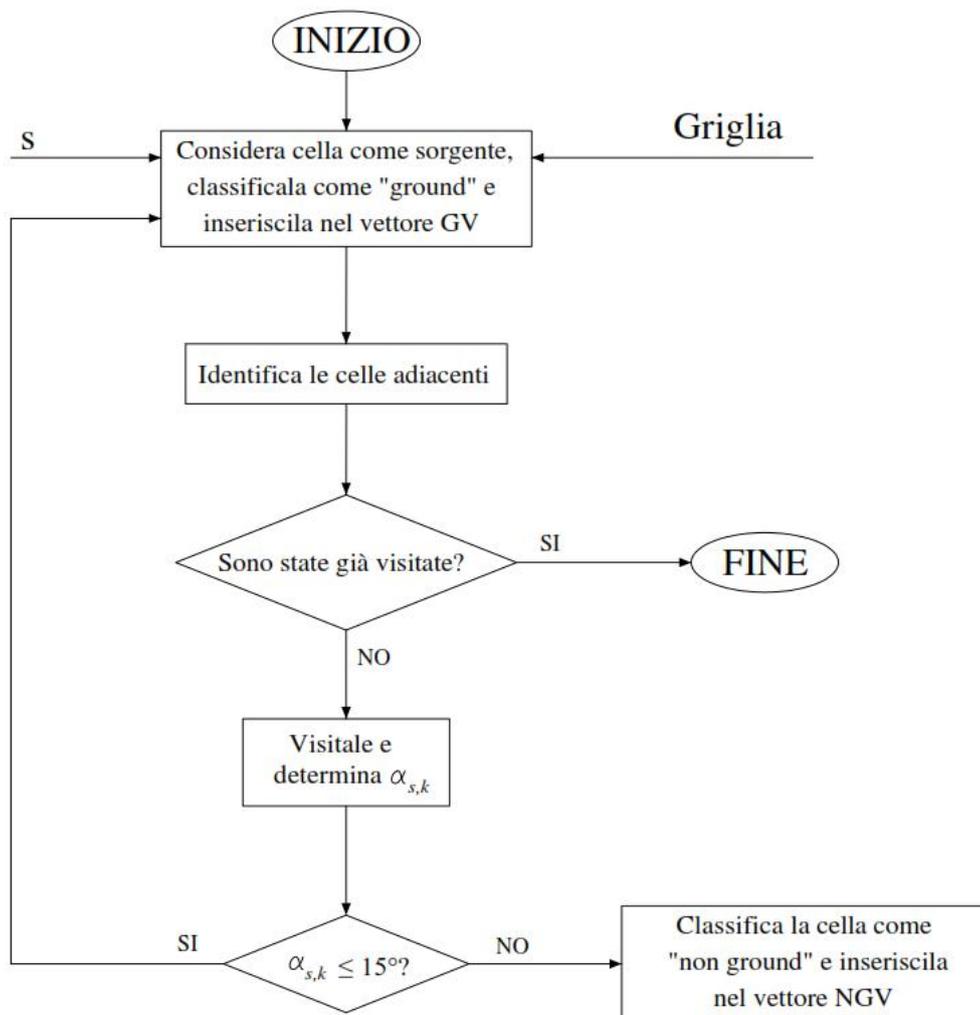


Figura 4-13 Diagramma di flusso.

## 4.2 Acquisizioni e analisi dei risultati

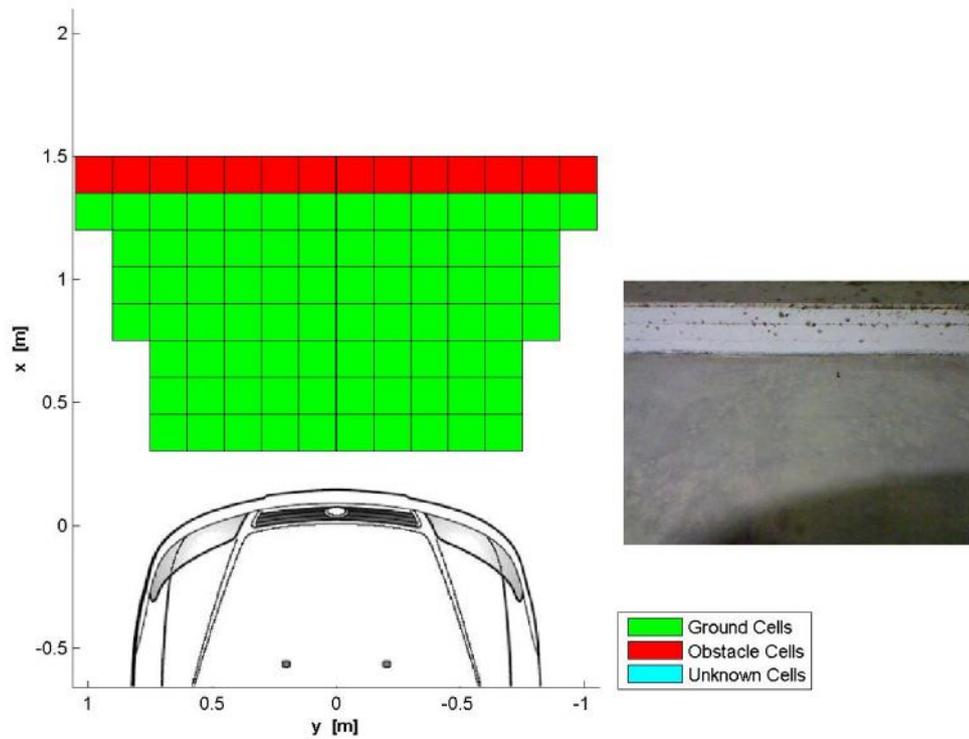
Il sistema di riconoscimento degli ostacoli in ambito automobilistico, sviluppato in questo lavoro di tesi, è stato validato sperimentalmente sul campo. Sono stati effettuati numerosi test, durante i quali si sono valutate le prestazioni del sistema di parcheggio proposto, dinanzi a numerosi scenari tipici che si possono verificare durante una manovra di parcheggio. Una volta equipaggiato il veicolo con il sensore Microsoft Kinect per mezzo del supporto costruito (Paragrafo 3.3), si sono effettuate varie manovre di parcheggio in un'area esterna ed in un'area di parcheggio seminterrata. Le manovre sono state effettuate a velocità ridotta e per mezzo del sensore Kinect interfacciato ad un computer, si sono effettuate delle sequenze di acquisizioni. Per ogni test effettuato, il numero di acquisizioni è dipeso dalla frequenza di acquisizione utilizzata. Vista la ridotta velocità del veicolo, la maggior parte dei test sono stati eseguiti con una frequenza di acquisizione pari ad 1 Hz, a cui corrisponde quindi un frame acquisito al secondo (1 fps). Alcuni test, invece, sono stati effettuati con frequenza pari a 2 Hz, quindi un frame acquisito ogni mezzo secondo (2 fps).

Nelle sezioni seguenti, saranno riportati i risultati ottenuti nel caso di manovre di parcheggio ritenute più significative. In particolare, si è deciso di riportare i risultati relativi a 3 frame appartenenti alla stessa sequenza di acquisizioni. Essendo tali frame acquisiti ad istanti di tempo consecutivamente crescenti, si può osservare l'evoluzione della mappa di attraversabilità restituita dal sistema implementato.

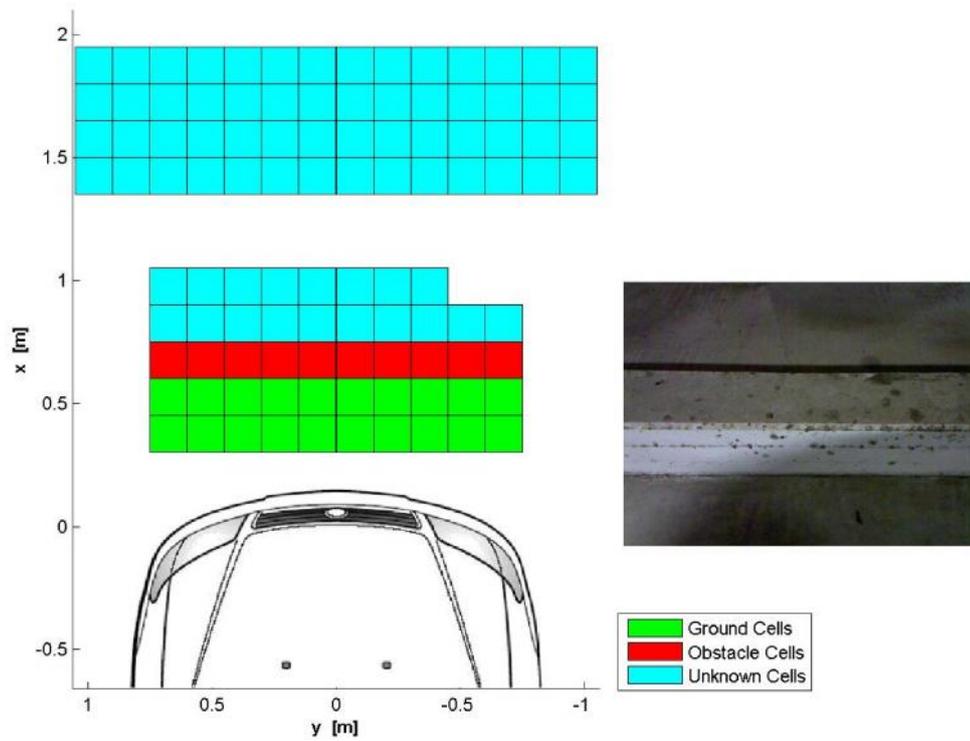
Ogni figura, riportata in seguito, presenta sulla destra l'immagine acquisita dalla telecamera RGB del sensore Kinect. A sinistra, invece, è visualizzata la corrispondente mappa di attraversabilità. Inoltre, per alcuni scenari particolarmente complessi da interpretare, verrà riportata anche la corrispondente nuvola di punti 3D acquisita dal sensore Kinect, al fine di facilitare la comprensione dei risultati.

### 4.2.1 Cordolo frontale al veicolo

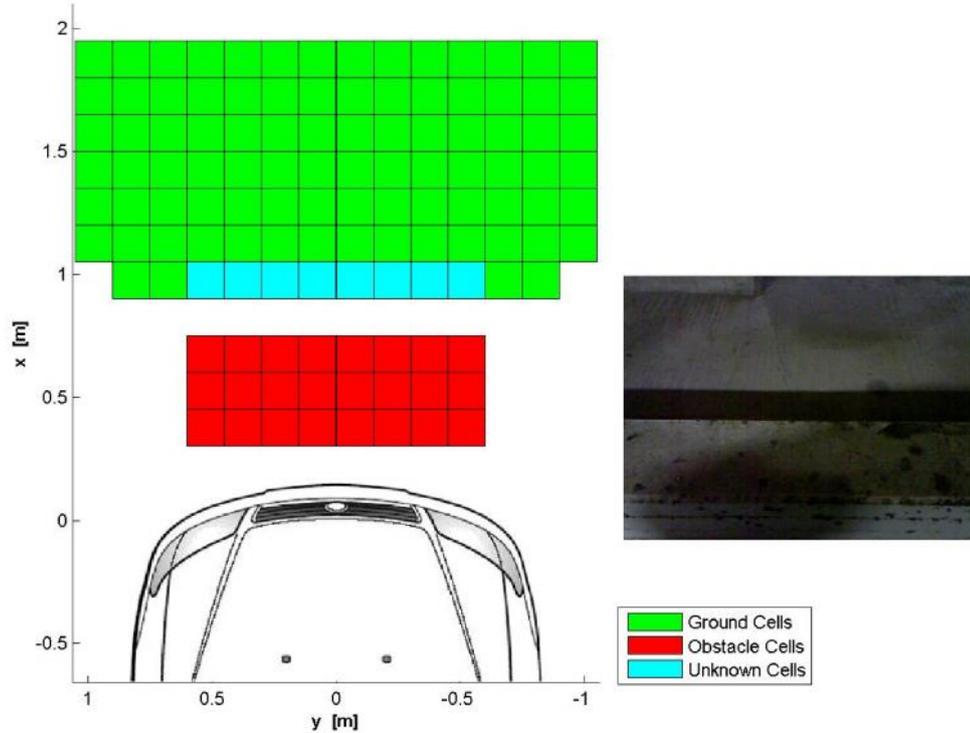
Le tre acquisizioni riportate sono relative ad un test effettuato nel parcheggio seminterrato dell'edificio "Corpo Y" dell'Università del Salento, con una frequenza di acquisizione di 1 Hz, per cui 1 fps. Tali acquisizioni, sono state estratte da una sequenza di 29 immagini, poiché ritenute più significative. Riguardano una manovra di avvicinamento ad un cordolo in cemento armato di ridotta altezza (circa 0.25 m), collocato frontalmente al veicolo.



a)



b)



c)

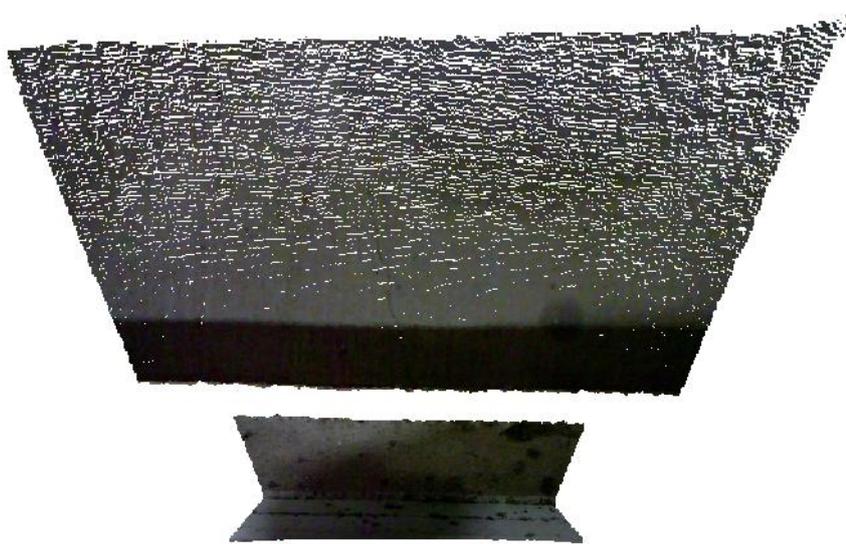
Figura 4-14 Avvicinamento frontale ad un cordolo: lunga distanza a), media distanza b), breve distanza c).

Nella prima immagine, la distanza tra paraurti del veicolo e cordolo è di circa 1.5 m. Nella seconda immagine, la distanza si è ridotta a circa 0.5 m. Sempre nella seconda immagine, si può osservare come il cordolo limiti il campo di acquisizione del sensore Kinect. Per questo motivo, si riscontra una mancanza di punti acquisiti della zona subito dietro il cordolo stesso. Per questo stesso motivo, nella mappa di attraversabilità è presente una zona di discontinuità fra le celle. Il processo che l'algoritmo segue per classificare le celle, porta ad avere le celle posteriori alla zona di discontinuità, classificate come celle sconosciute (Unknown Cells) e colorate di ciano.

Nella terza immagine si può osservare come, la presenza del cordolo a una distanza appena superiore a 0.15 m dal paraurti della vettura, venga segnalata correttamente. Sempre nella terza immagine si riscontra una zona di discontinuità delle celle, che trova motivazione identica alla seconda acquisizione analizzata. L'algoritmo poi, riesce a determinare posteriormente a questa zona di discontinuità, delle celle idonee a essere assunte come celle sorgenti, quindi riesce a portare a termine l'analisi e la classificazione delle celle rimanenti. Le otto celle ciano visualizzate invece, sono quelle celle che ricadono nel campo di occlusione dell'ostacolo (Paragrafo 4.1.3).

Ciò che è emerso di positivo da queste tre acquisizioni, è il fatto che il sistema di ausilio al parcheggio implementato è in grado di rilevare ostacoli di altezza ridotta. In questo caso specifico, il cordolo incontrato è alto circa 0.25 m. Nonostante l'altezza ridotta, il sistema lo ha individuato e segnalato correttamente. Se questo stesso scenario fosse stato analizzato con un sistema ausiliario di parcheggio a ultrasuoni, il cordolo non sarebbe stato individuato. Nel Paragrafo 2.5 infatti, si è largamente discusso circa il fatto che questi sistemi di parcheggio, presentino spesso una difficoltà nell'individuare ostacoli di altezza molto ridotta. Questo perché il loro campo di acquisizione presenta uno sviluppo in verticale, intrinsecamente ridotto. Inoltre l'altezza minima di un ostacolo individuabile, dipende molto anche dall'altezza di installazione dei sensori ad ultrasuoni sul paraurti del veicolo. Il sistema basato sulla tecnologia IR, sviluppato in questo lavoro, non presenta questo

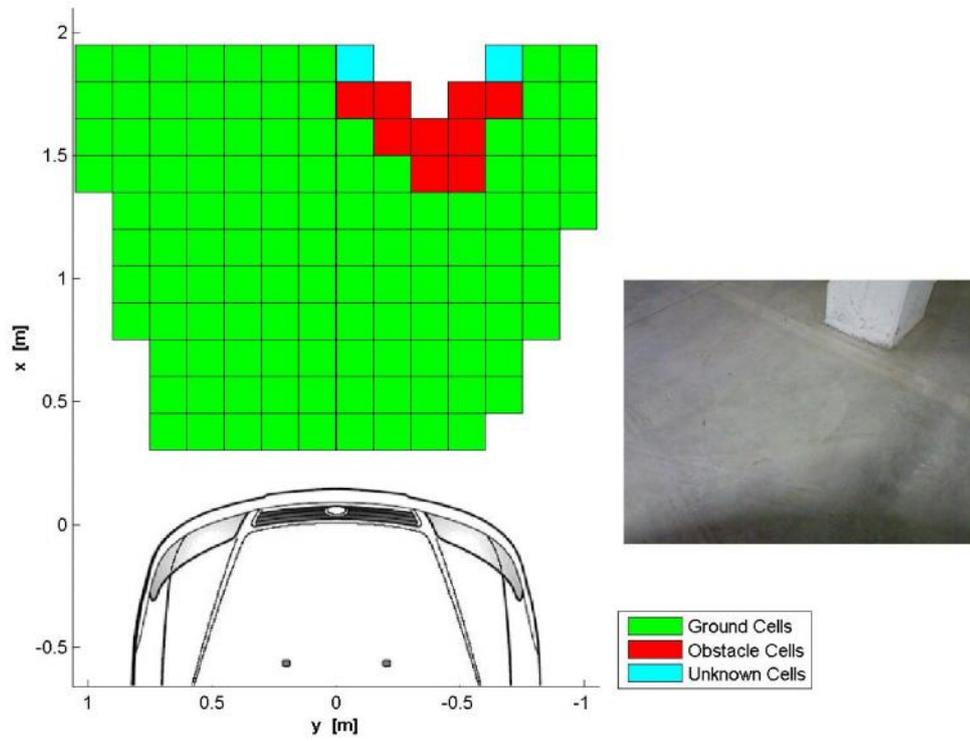
limite. Come ulteriore verifica dell'avvenuto riconoscimento del cordolo di altezza ridotta, si riporta in Figura 4-15, la nuvola di punti 3D acquisita dal sensore Kinect.



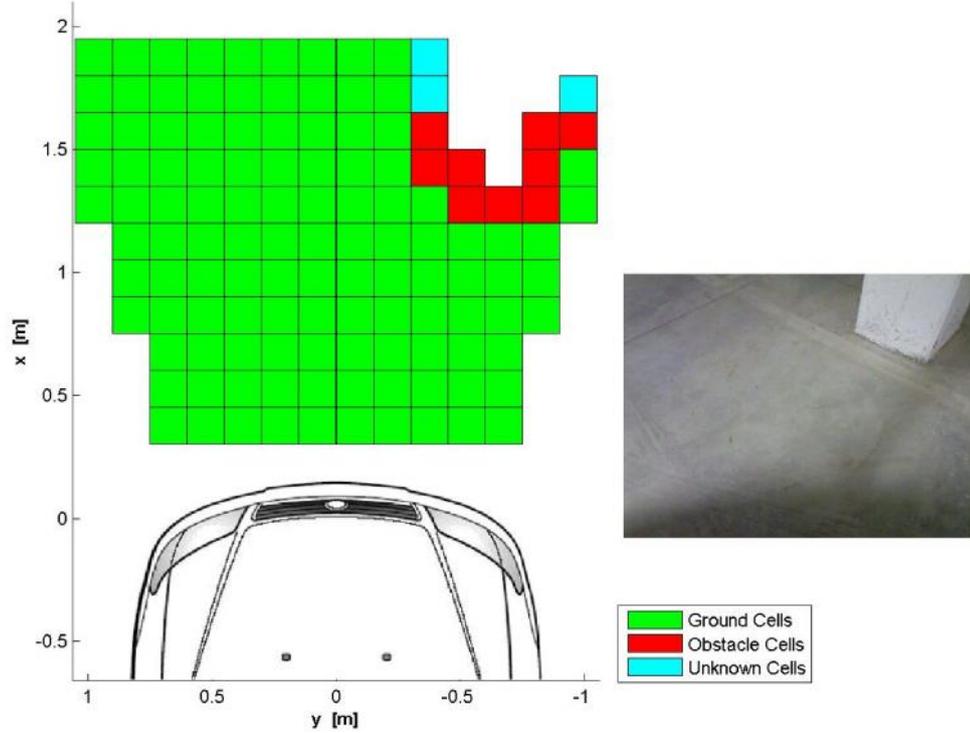
**Figura 4-15** Nuvola di punti 3D relativa alla presenza di un cordolo di ridotta altezza, posto a breve distanza dal paraurti della vettura. I punti sono visualizzati con la loro codifica RGB.

### **4.2.2 Pilastro laterale**

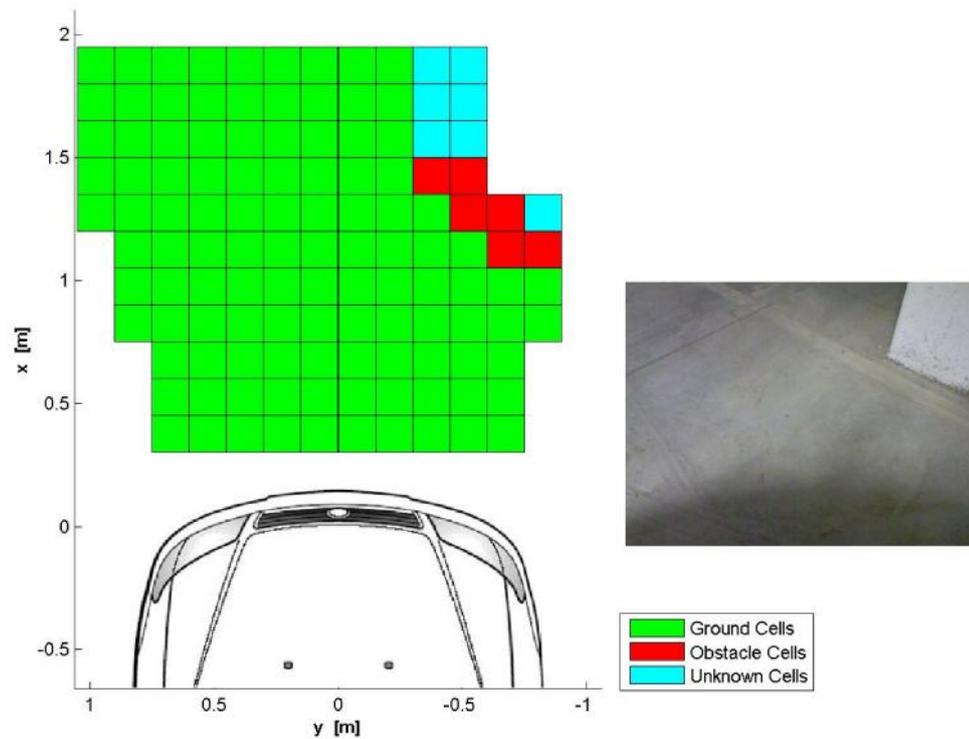
Le tre immagini riportate appartengono ad un'altra sequenza di acquisizioni effettuate anch'esse in un parcheggio seminterrato. Questo test è caratterizzato da una frequenza di acquisizione di 1 Hz. Questi tre frame analizzati, sono stati estratti da una sequenza di 59 frame. Riguardano la percorrenza di una curva a velocità di marcia del veicolo ridotta (circa 5 km/h). Durante questa manovra, si riscontra la presenza di un pilastro in cemento armato, di sezione quadrata con lato di circa 0.4 m.



a)



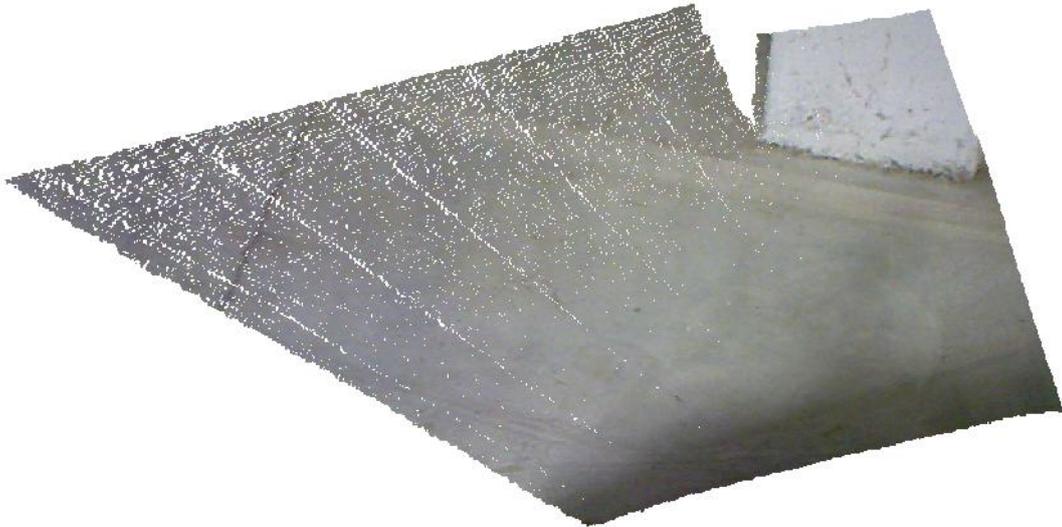
b)



c)

**Figura 4-16 Percorrenza di una curva in presenza di un pilastro laterale al veicolo: lunga distanza a), media distanza b), breve distanza c).**

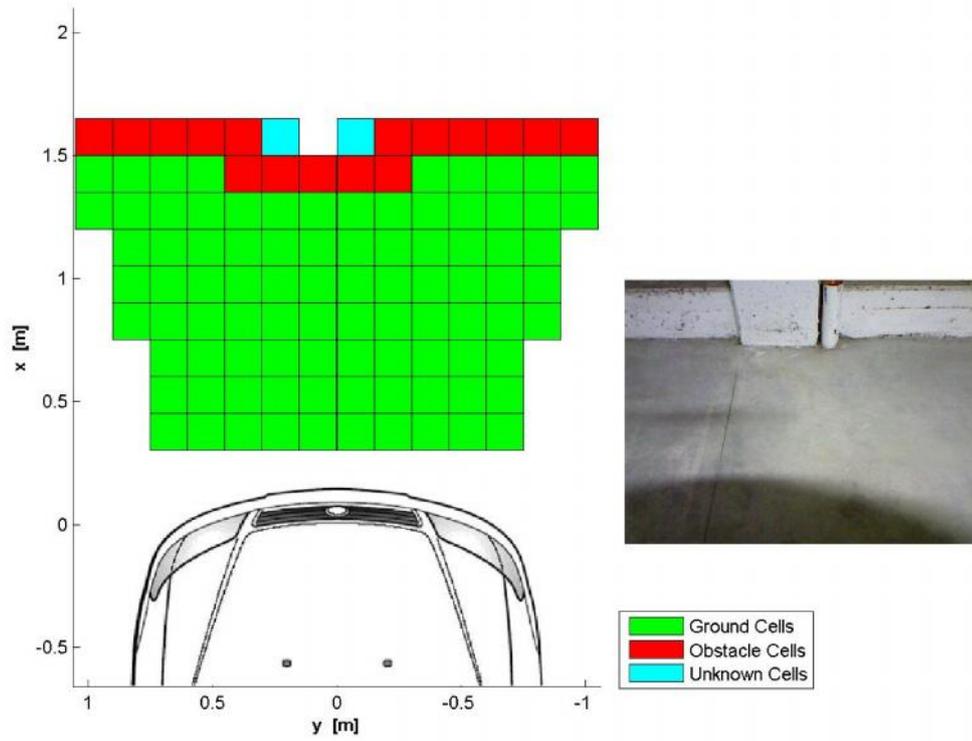
In Figura 4-16 si può osservare come l'algoritmo riesca a riconoscere correttamente la zona frontale al veicolo che risulta attraversabile in sicurezza (celle verdi classificate come Ground). Inoltre, riesce a segnalare correttamente anche la presenza del pilastro che, durante l'intera manovra, è collocato nella zona destra dello scenario (celle rosse classificate come Non Ground). In Figura 4-17 è riportata la nuvola di punti 3D relativa alla terza acquisizione analizzata, relativa cioè al caso di ridotta distanza tra il pilastro e il lato destro del paraurti del veicolo. I punti sono visualizzati con la relativa codifica RGB effettuata dal sensore Kinect.



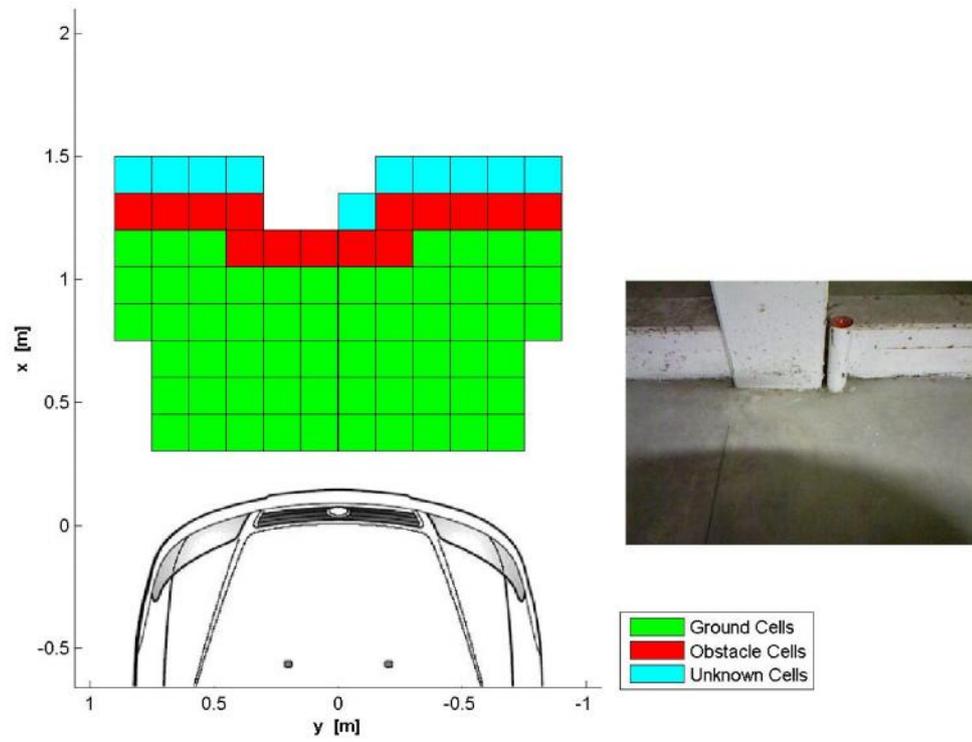
**Figura 4-17** Nuvola di punti 3D relativa alla presenza di un pilastro sul lato destro della vettura, durante la percorrenza di una curva. I punti sono visualizzati con la loro codifica RGB.

### **4.2.3 Pilastro e cordolo frontali al veicolo**

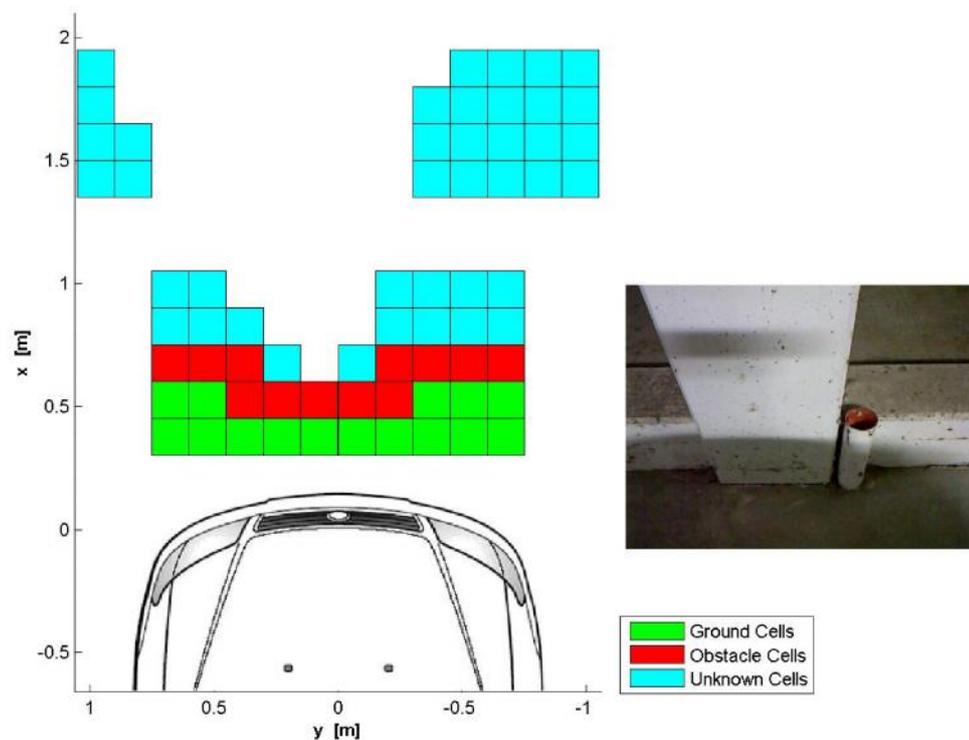
Le tre acquisizioni riportate sono relative ad un test effettuato in un parcheggio seminterrato, con una frequenza di acquisizione di 1 Hz, per cui 1 fps. Tali acquisizioni sono state estratte da una sequenza di 63 acquisizioni, poiché ritenute le più significative. Riguardano la manovra di avvicinamento ad un pilastro in cemento armato, avente prevalentemente sviluppo verticale. È presente anche un cordolo in cemento, di altezza ridotta (circa 0.25 m) che si sviluppa in orizzontale, lateralmente al pilastro.



a)



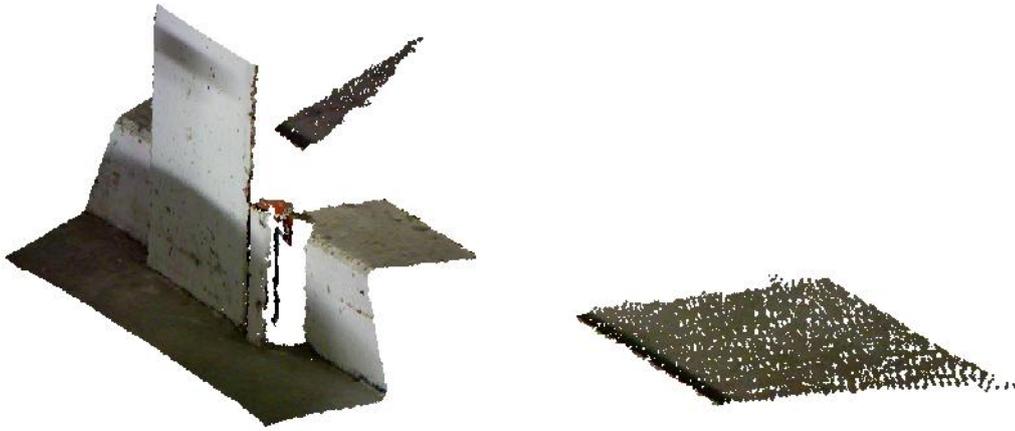
b)



c)

**Figura 4-18 Avvicinamento frontale ad un pilastro e ad un cordolo: lunga distanza a), media distanza b), breve distanza c).**

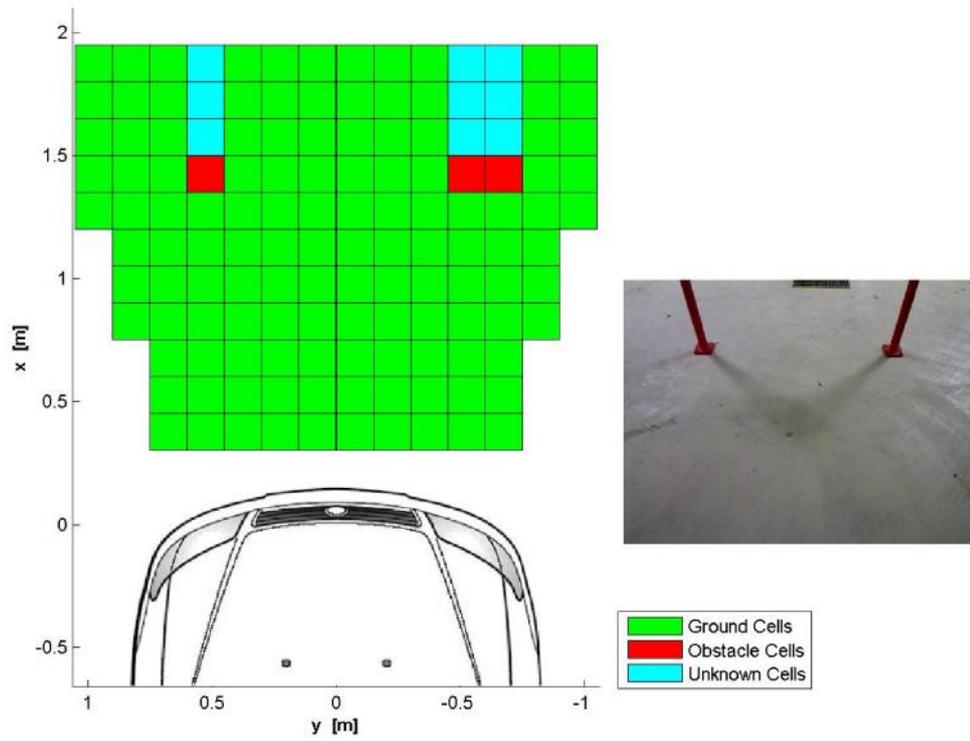
Nella prima immagine si può notare come gli ostacoli, posti ad una distanza di circa 1.5 m dal paraurti del veicolo, siano appena entrati nel range di acquisizione del sensore Kinect. Nella seconda immagine, in conseguenza al fatto che il veicolo è in moto, i due ostacoli sono localizzati ad una distanza di circa 1 m dal paraurti del veicolo. Nell'ultima immagine, tale distanza si è ridotta a 0.5 m. Si può osservare come il cordolo, che si sviluppa in orizzontale sul lato destro e sinistro del pilastro, limiti il campo di acquisizione del sensore Kinect. Per questo motivo, si riscontra una mancanza di punti acquisiti della zona subito dietro il cordolo stesso. Sempre per questo motivo, nella mappa di attraversabilità è presente una zona di discontinuità fra le celle. Questo aspetto trova motivazione uguale al caso di Figura 4-14. Per comprendere meglio questo aspetto, in Figura 4-19 si riporta la nuvola di punti 3D relativa alla terza acquisizione. Si può inoltre osservare come i punti siano visualizzati considerando anche la corrispondente codifica RGB effettuata dal sensore Kinect.



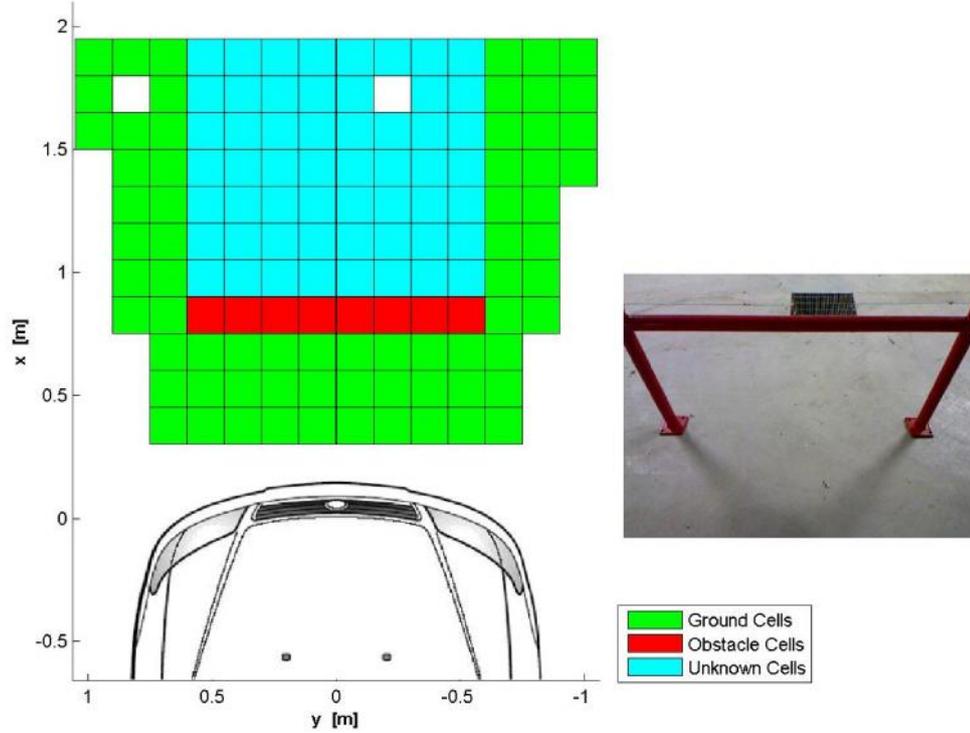
**Figura 4-19** Nuvola di punti 3D relativa alla presenza di un pilastro e di un cordolo a ridotta distanza dal paraurti. I punti sono visualizzati con la loro codifica RGB.

#### **4.2.4 Transenna frontale al veicolo**

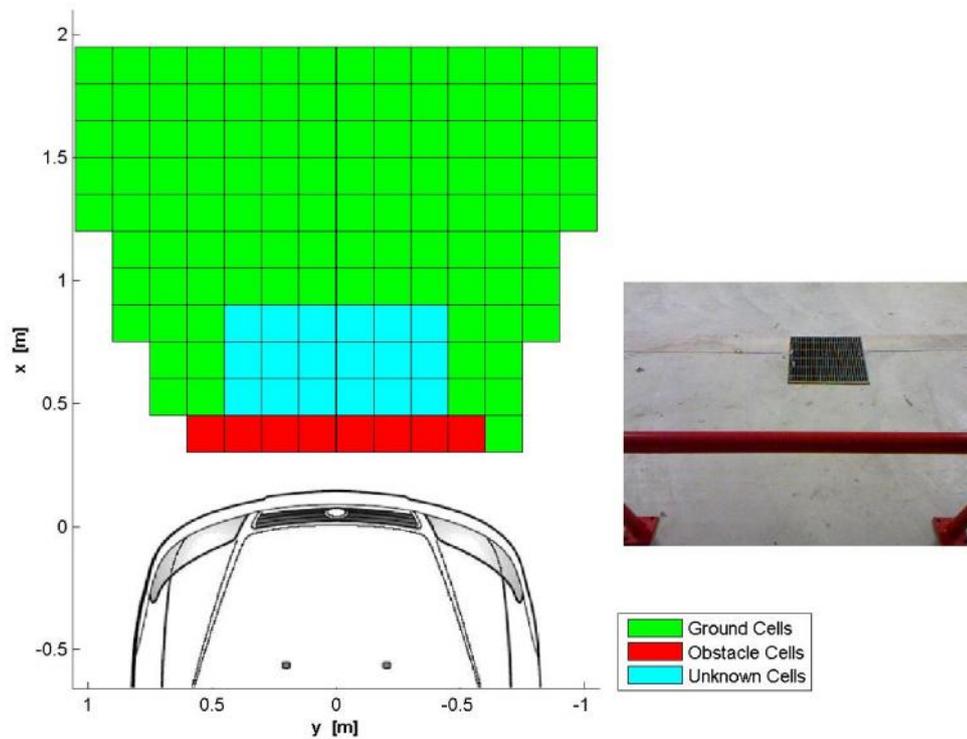
I tre frame analizzati in questa sezione, appartengono ad un test effettuato in un parcheggio seminterrato. Durante questo test, sono stati acquisiti, con una frequenza di 1 Hz, 313 frame all'interno dei quali si distinguono numerosi scenari di interesse. Nel caso in esame, i tre frame analizzati, si riferiscono ad una manovra di avvicinamento ad una transenna metallica, collocata frontalmente al paraurti.



a)



b)



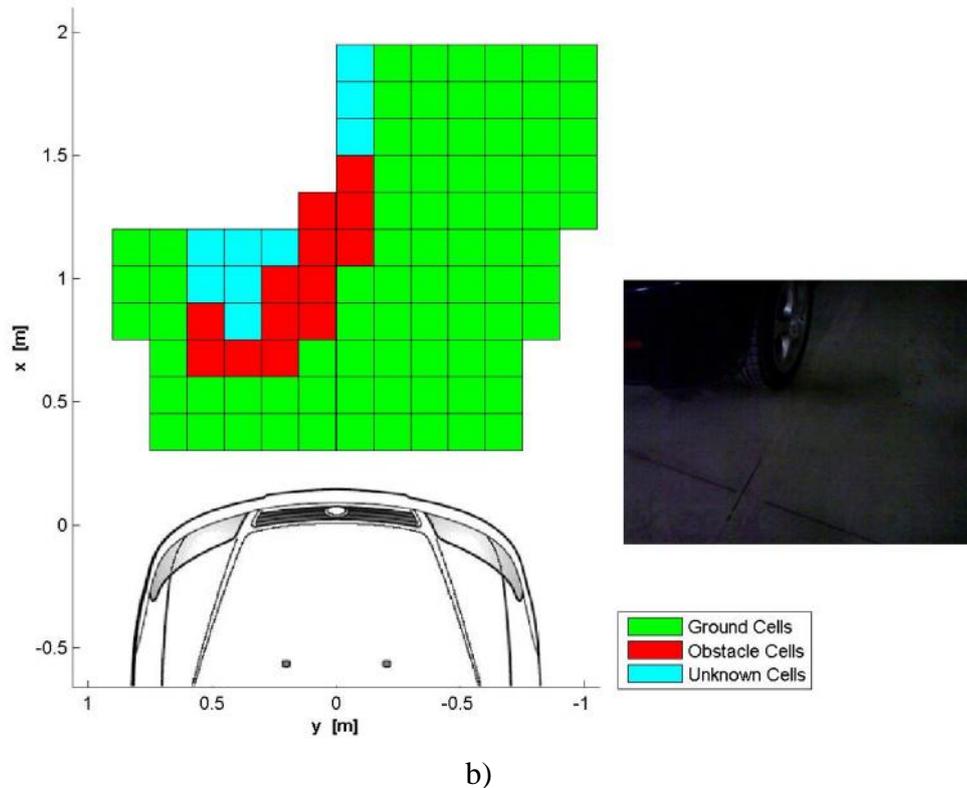
c)

**Figura 4-20 Avvicinamento frontale a una transenna: lunga distanza a), media distanza b), breve distanza c).**

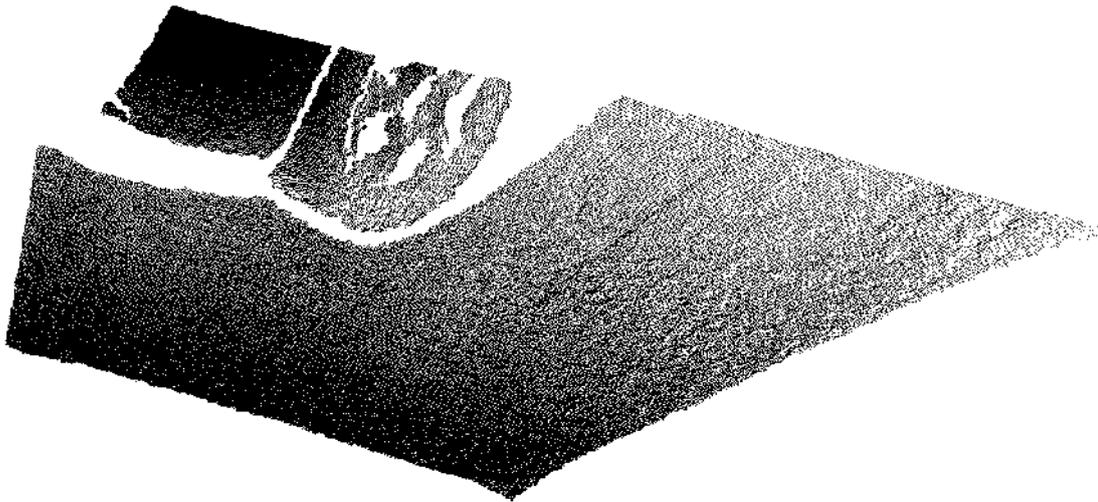
Nella prima mappa di attraversabilità riportata, si può notare come la discretizzazione utilizzata (celle aventi lato di 0.15 m) influenzi la rappresentazione dell'ostacolo. Mentre i punti relativi alla gamba sinistra della transenna, ricadono perfettamente in una singola cella, i punti relativi alla gamba destra, ricadono in due celle. Questo aspetto può essere considerato conveniente, poiché lascia al guidatore un margine di sicurezza durante l'avvicinamento all'ostacolo. Nella seconda mappa di attraversabilità, la parte orizzontale della transenna si trova a una distanza dal sensore Kinect tale per cui, vista anche la sua altezza dal suolo, genera il massimo campo di occlusione. Motivo per cui, tutte le celle posteriori alla transenna stessa, sono classificate come celle sconosciute (Unknown Cells), quindi colorate di ciano. Nell'ultima mappa 2D ricostruita dall'algoritmo è correttamente segnalata la presenza della transenna a una distanza appena superiore a 0.15 m dal paraurti del veicolo.

### 4.2.5 Veicolo laterale in condizione di ridotta illuminazione

Il singolo frame analizzato in questa sezione, appartiene ad un test effettuato in un parcheggio seminterrato. Dei 313 frame acquisiti durante questo test con frequenza di 1 Hz, si è deciso di analizzare il frame seguente poiché si riferisce ad uno scenario molto particolare. Si tratta nello specifico, di una manovra di parcheggio in una zona caratterizzata da ridotta illuminazione, durante la quale si verifica la presenza di un'ulteriore veicolo, in sosta nella regione sinistra dello scenario.



b)  
**Figura 4-21** Mappa 2D di attraversabilità relativa ad una manovra di parcheggio con veicolo in sosta sul lato sinistro. Condizione di illuminazione ridotta.



**Figura 4-22 Nuvola di punti 3D relativa alla presenza di un veicolo in sosta sul lato sinistro. I punti non sono visualizzati con la loro codifica RGB.**

In Figura 4-21, si può osservare come, nonostante il livello di illuminazione presente nella scena analizzata sia estremamente ridotto, l'algoritmo funziona correttamente. Questo perché il sistema di parcheggio implementato, basa il suo funzionamento sulla tecnologia IR. La ridotta illuminazione quindi, non pregiudica la fase di ricostruzione tridimensionale attuata dal sensore Kinect. In Figura 4-22 è riportata infatti la nuvola di punti 3D, corrispondente al frame analizzato. In questo particolare caso, i punti sono stati visualizzati senza la corrispondente codifica RGB. Nonostante la ridotta illuminazione, la nuvola di punti è valida così come le nuvole di punti relative a scenari normalmente illuminati. A verifica di quanto appena detto, si può osservare anche la mappa di attraversabilità di Figura 4-23 e la nuvola di punti 3D in Figura 4-24. Entrambe si riferiscono ancora alla presenza di un veicolo in sosta, questa volta collocato però sul lato destro.

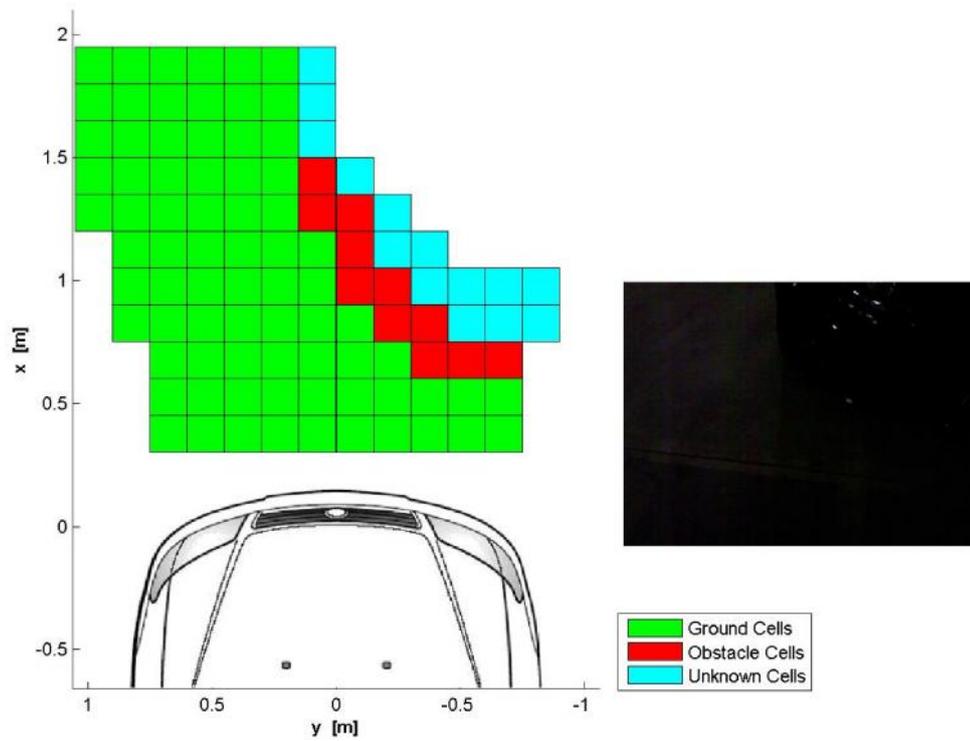


Figura 4-23 Mappa 2D di attraversabilità relativa ad una manovra di parcheggio con veicolo in sosta sul lato destro. Condizione di illuminazione ridotta.

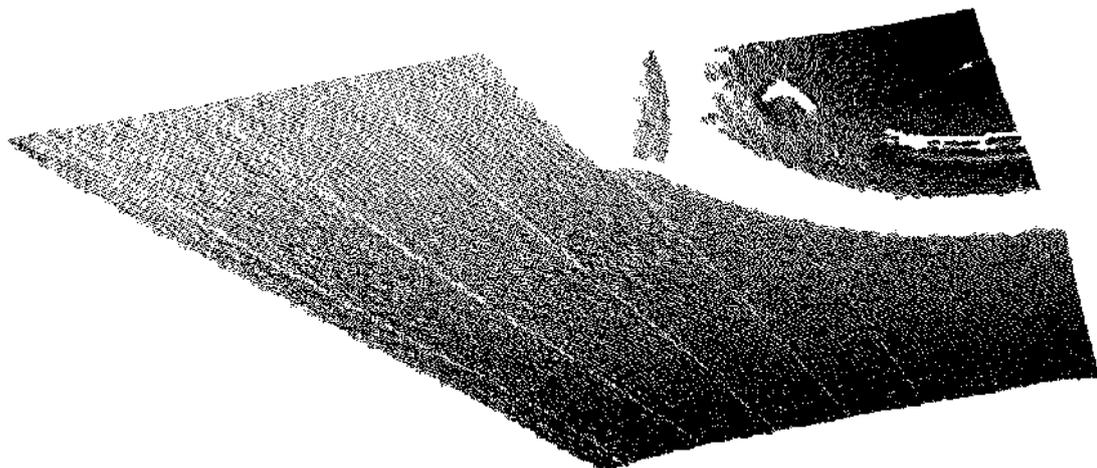
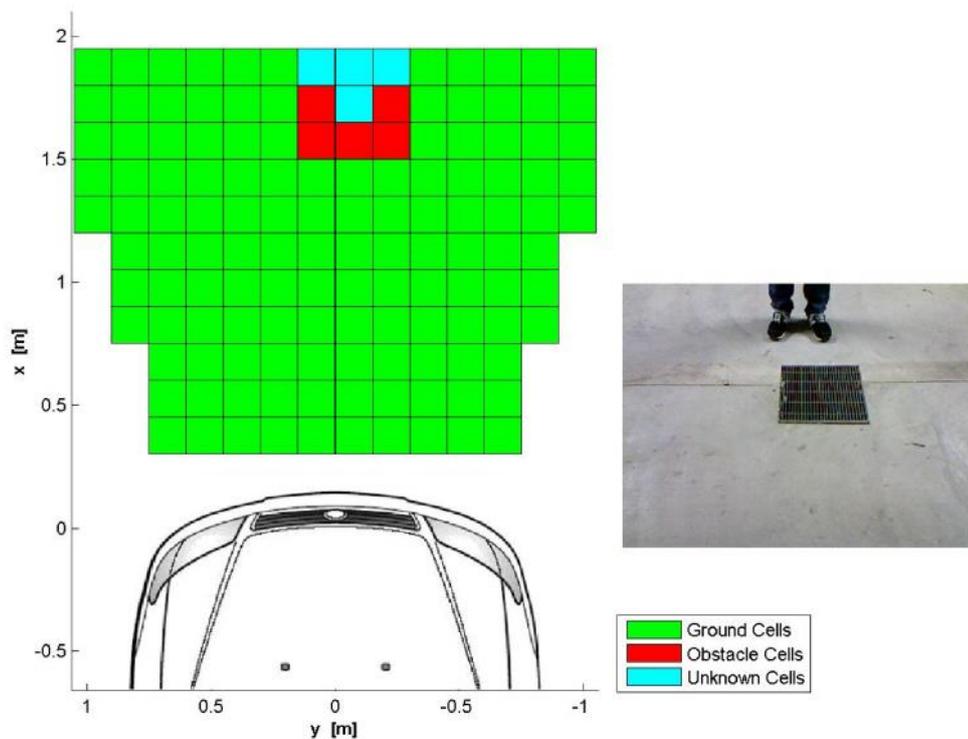


Figura 4-24 Nuvola di punti 3D relativa alla presenza di un veicolo in sosta sul lato destro. I punti non sono visualizzati con la loro codifica RGB.

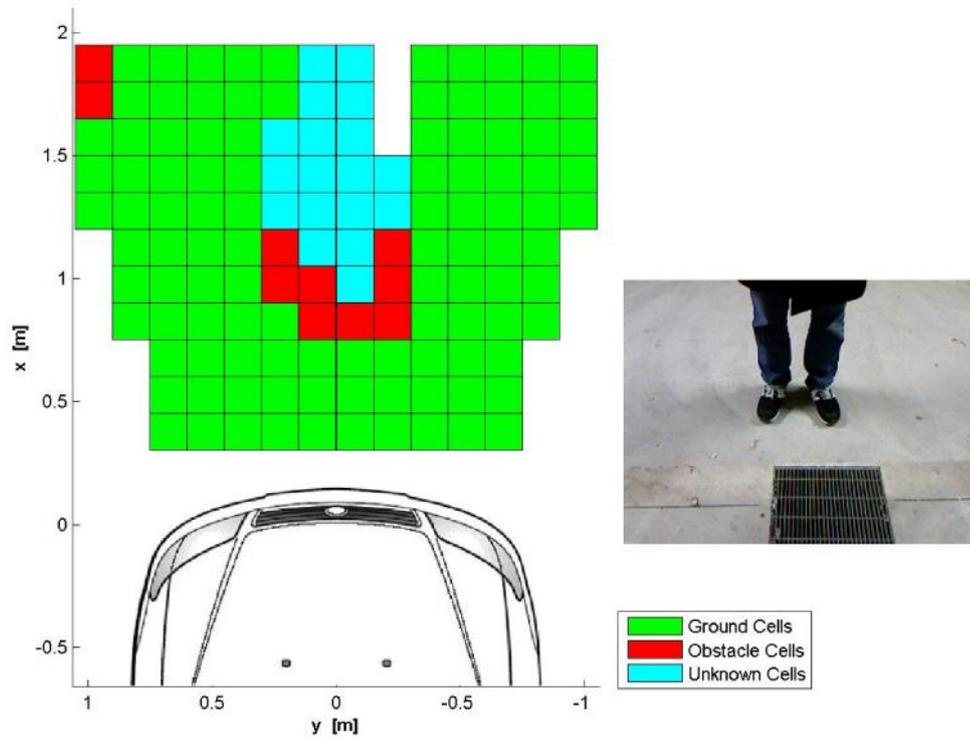
Le buone prestazioni che il sistema ausiliario di parcheggio implementato ha dimostrato di avere, in condizioni di ridotta illuminazione, mettono in evidenza il vantaggio della tecnologia IR, rispetto al sistema ausiliare di parcheggio basato sull'utilizzo di telecamere. Nel Paragrafo 2.2 infatti, è stata descritta proprio quest'ultima tipologia di sistemi di parcheggio ed è emerso che il loro limite applicativo principale è proprio il livello di illuminazione dello scenario, in cui il sistema si trova a lavorare.

### 4.2.6 Pedone frontale al veicolo

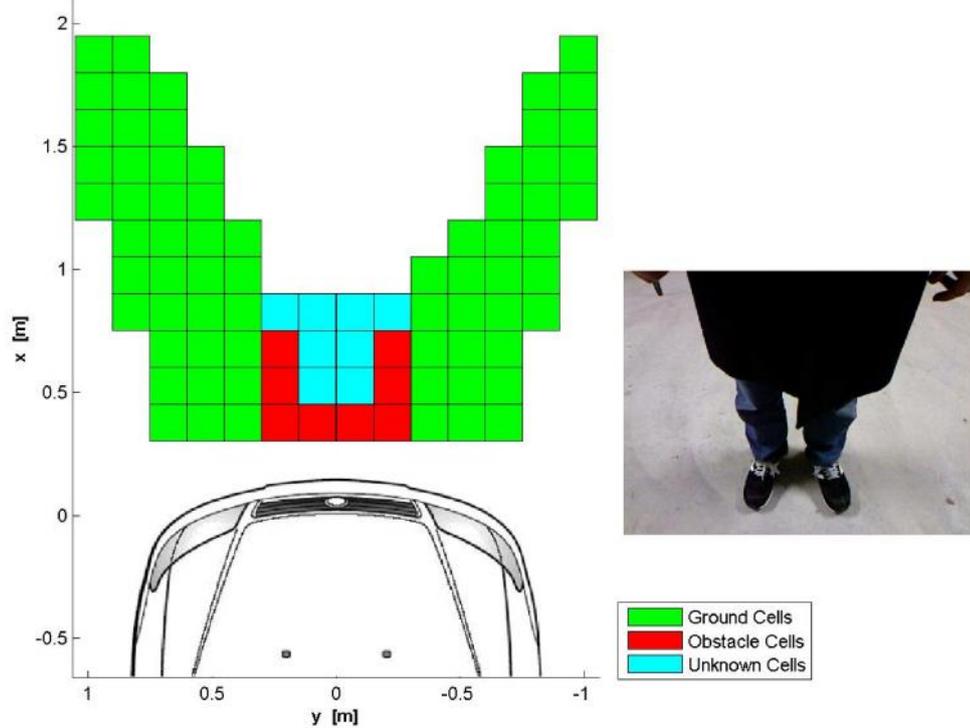
I tre frame analizzati in questa sezione, sono stati estratti dalla sequenza di 313 frame costituenti un test effettuato nel parcheggio seminterrato dell'edificio "Corpo Y" dell'Università del Salento. Lo scenario include, nello specifico, la presenza di un pedone posto nell'area frontale al veicolo.



a)



b)



c)

Figura 4-25 Avvicinamento frontale ad un pedone: lunga distanza a), media distanza b), breve distanza c).



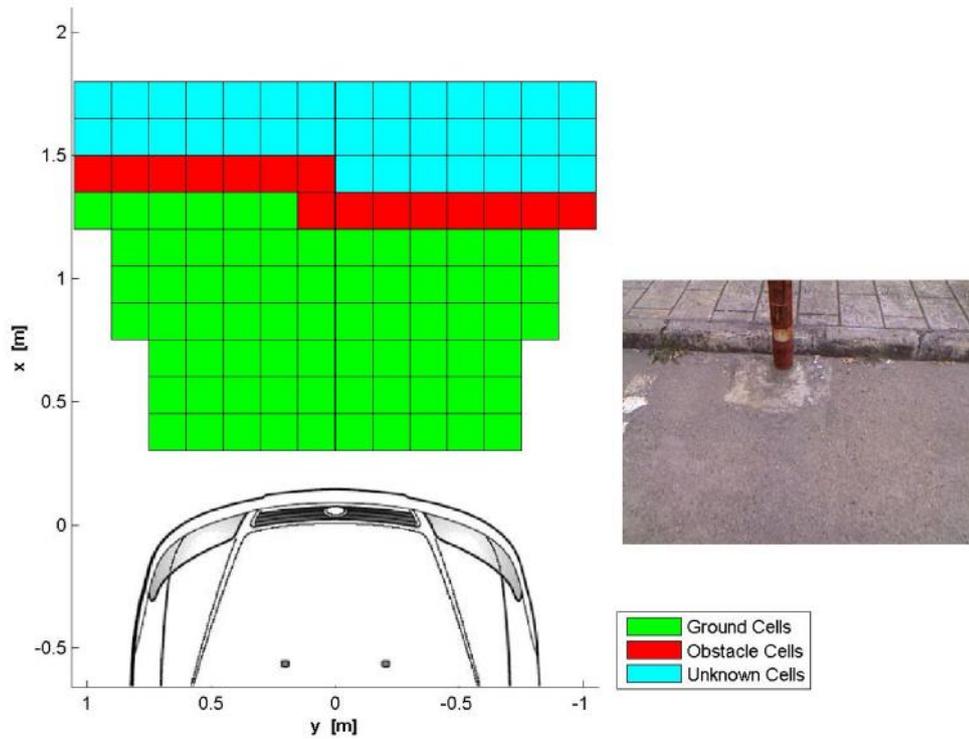
**Figura 4-26 Nuvola di punti 3D relativa alla presenza di un pedone a corta distanza dal paraurti della vettura. I punti sono visualizzati con la loro codifica RGB.**

Nella prima mappa, il pedone si trova ad una distanza di 1.5 m dal paraurti mentre, nella seconda mappa la distanza si è ridotta a circa 0.8 m. Nell'ultimo frame riportato, il pedone è posto ad una distanza appena superiore a 0.15 m dal paraurti.

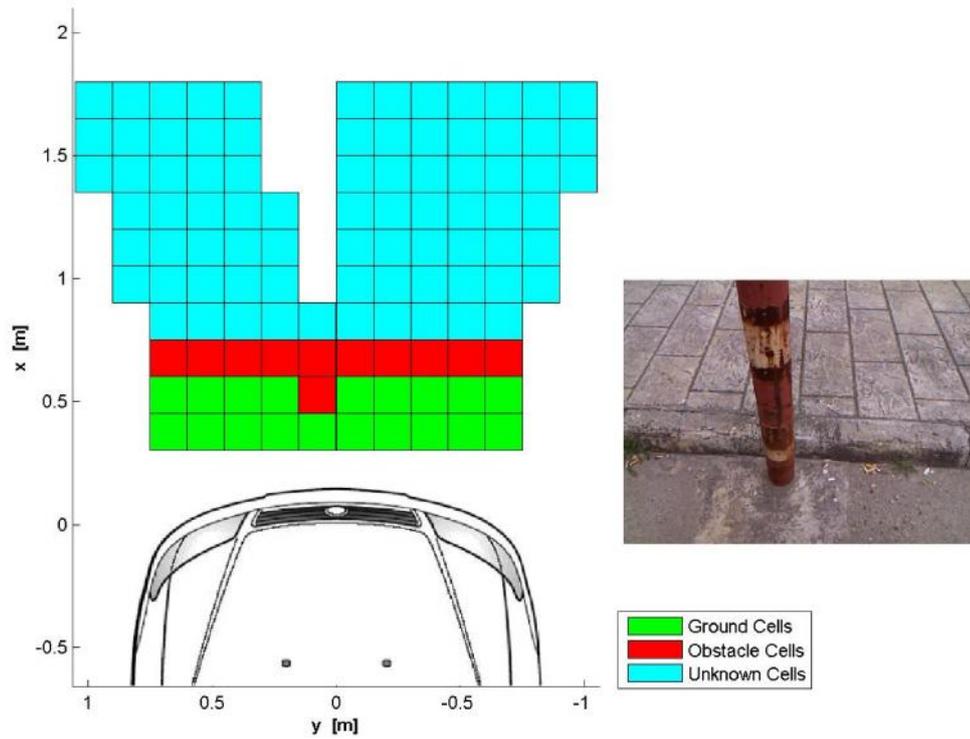
L'interesse ad analizzare questa particolare tipologia di ostacolo, viene in seguito alle osservazioni fatte nel Paragrafo 2.5. Parlando dei limiti degli attuali sistemi ausiliari di parcheggio, è emerso come la tecnologia a ultrasuoni non riesca ad individuare un ostacolo costituito da materiale fonoassorbente. In ambito architettonico ed edilizio, al fine di raggiungere determinati standard di comfort acustico, spesso si ricorre all'utilizzo di manufatti in tessuto naturale oppure in tessuto sintetico, data la loro particolare fonoassorbente. È facile intuire quindi come, gli abiti di un pedone, potendo essere costituiti da questi stessi materiali, possano mettere in difficoltà il sistema di parcheggio a ultrasuoni. Il sistema proposto, basato invece sulla tecnologia IR, ha perfettamente riconosciuto l'ostacolo "pedone" e ne ha correttamente segnalato la presenza sulla mappa 2D (Figura 4-26). Questo aspetto è da considerarsi un ulteriore vantaggio del sistema proposto rispetto ai sistemi ausiliari di parcheggio ad ultrasuoni attualmente diffusi.

### 4.2.7 Palo metallico frontale al veicolo

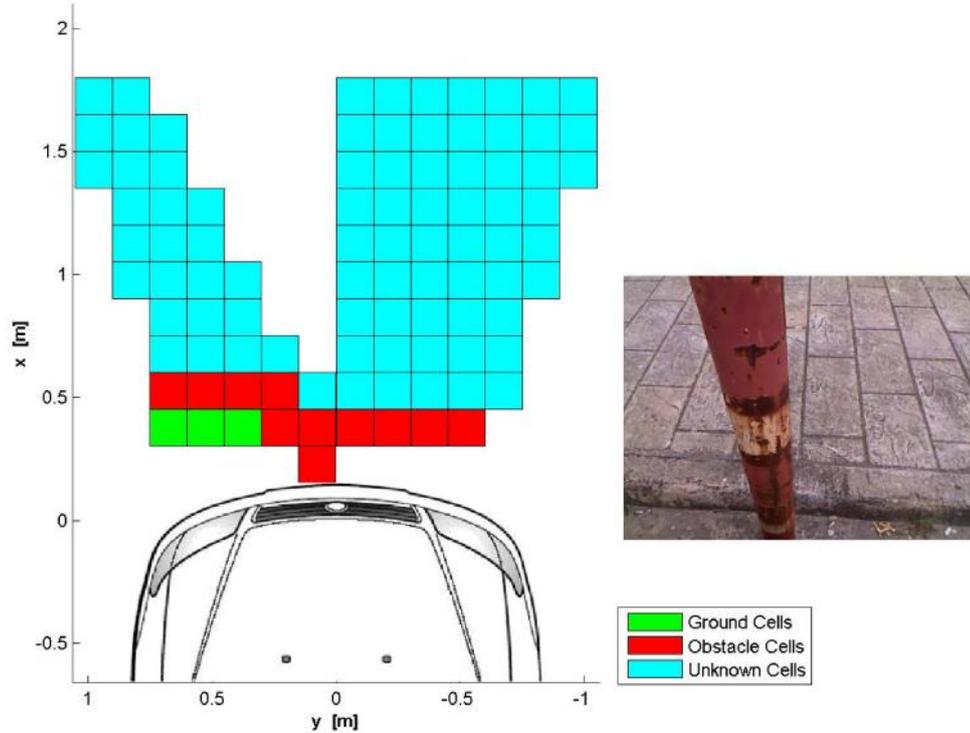
Le tre acquisizioni riportate in questa sezione, sono relative ad un test effettuato in un'area esterna. Nello specifico si tratta del parcheggio esterno dell'edificio "La Stecca" dell'Università del Salento. Tale test è stato effettuato con una frequenza di acquisizione di 1 Hz, per cui 1 fps. Tali tre acquisizioni riguardano la manovra di avvicinamento ad un palo metallico. Posteriormente a questo palo, è presente un marciapiede di ridotta altezza dal suolo (circa 0.08 m).



a)



b)



c)

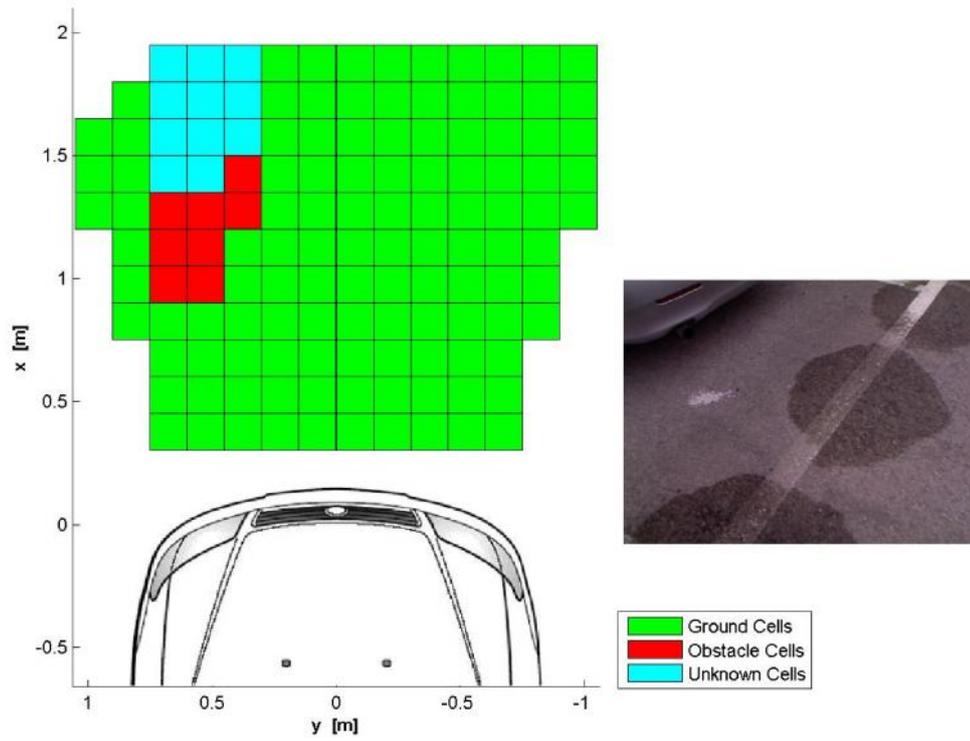
Figura 4-27 Avvicinamento frontale ad un palo metallico: lunga distanza a), media distanza b), breve distanza c).

Nella prima mappa di attraversabilità, entrambi gli ostacoli sono posti ad una distanza di 1.5 m dal paraurti mentre, nella seconda mappa, la distanza è di soli 0.5 m. Nella terza mappa, si può osservare come il sistema di parcheggio implementato riesca a fornire un ausilio al guidatore sino alle ridotte distanze dall'ostacolo. Difatti, la cella rossa più vicina al paraurti del veicolo, indica che la distanza dall'ostacolo è inferiore a 0.15 m.

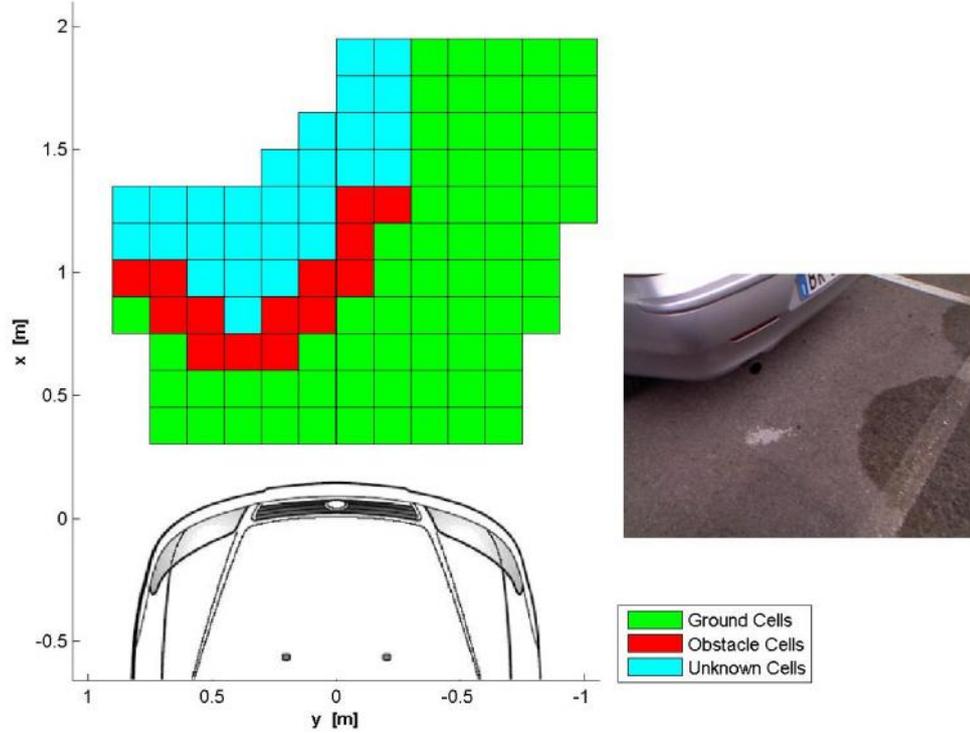
Occorre precisare che, l'algoritmo implementato è stato settato in modo da poter riconoscere ostacoli di ridotta altezza dal suolo, come ad esempio il marciapiede appena analizzato. Aumentando l'angolo limite di attraversabilità  $\alpha_1$  discusso nel Paragrafo 4.1.3, dal valore utilizzato di  $15^\circ$  ad un valore maggiore, sicuramente l'algoritmo avrebbe riconosciuto come ostacolo, il solo palo metallico, classificando invece le celle appartenenti al marciapiede, come attraversabili.

#### **4.2.8 Veicolo frontale in parcheggio esterno**

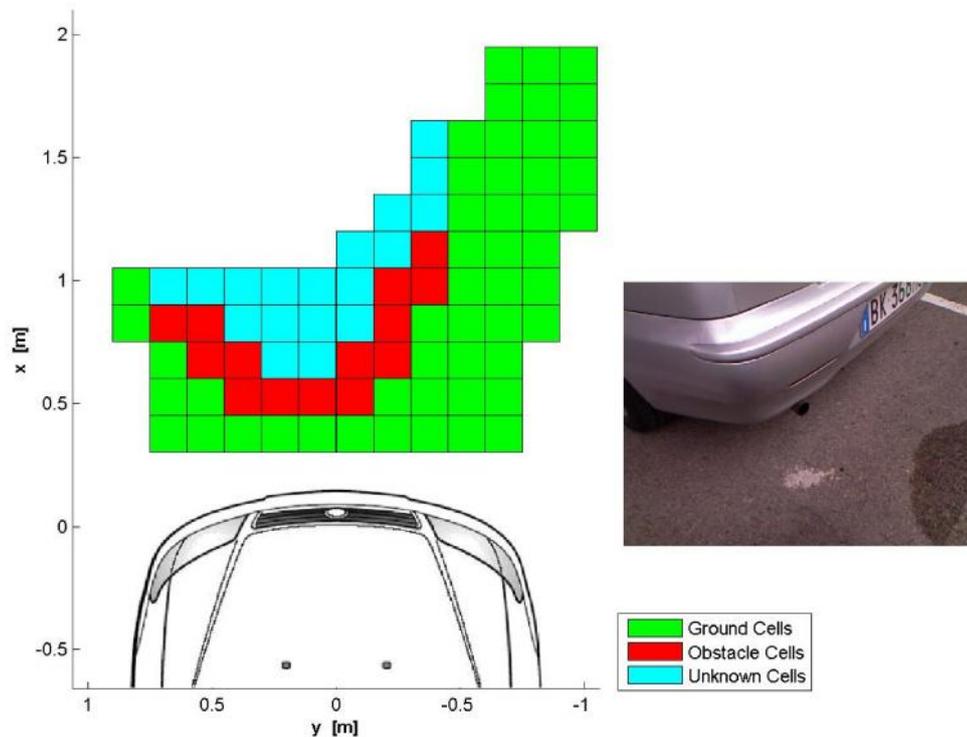
I tre frame analizzati in questa sezione, sono relativi ad un test effettuato in un'area esterna. Nello specifico si tratta del parcheggio esterno dell'edificio "Corpo O" dell'Università del Salento. Anche tale test è stato effettuato con una frequenza di acquisizione di 1 Hz, per cui 1 fps. La manovra effettuata riguarda l'avvicinamento al lato sinistro del paraurti posteriore di un veicolo in sosta.



a)



b)



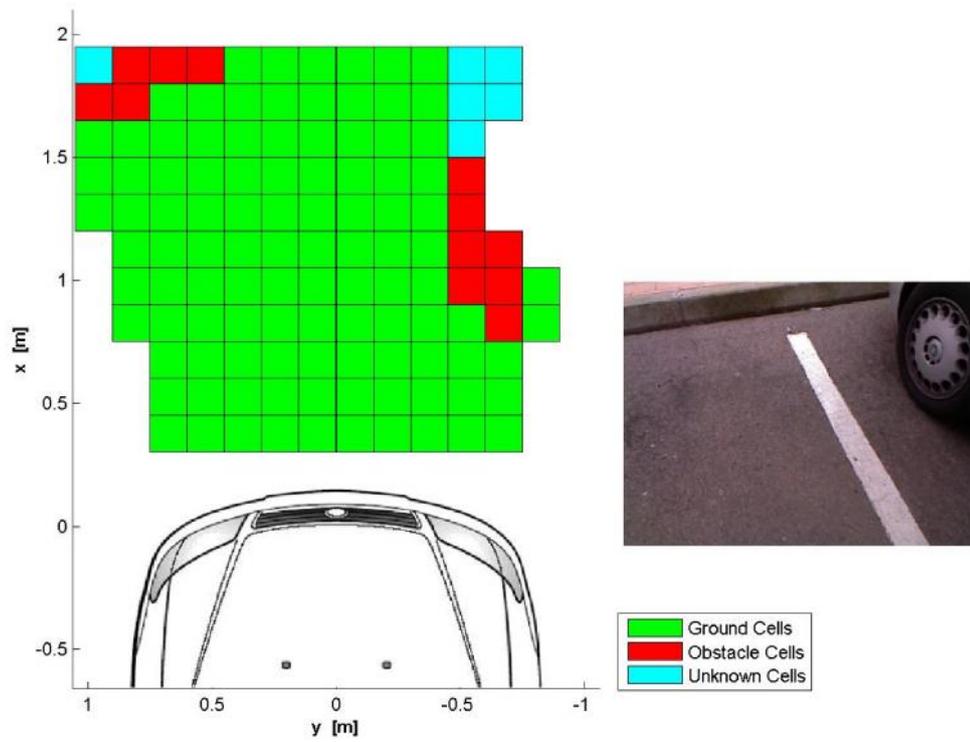
c)

**Figura 4-28** Avvicinamento frontale al paraurti di un veicolo in sosta: lunga distanza a), media distanza b), breve distanza c).

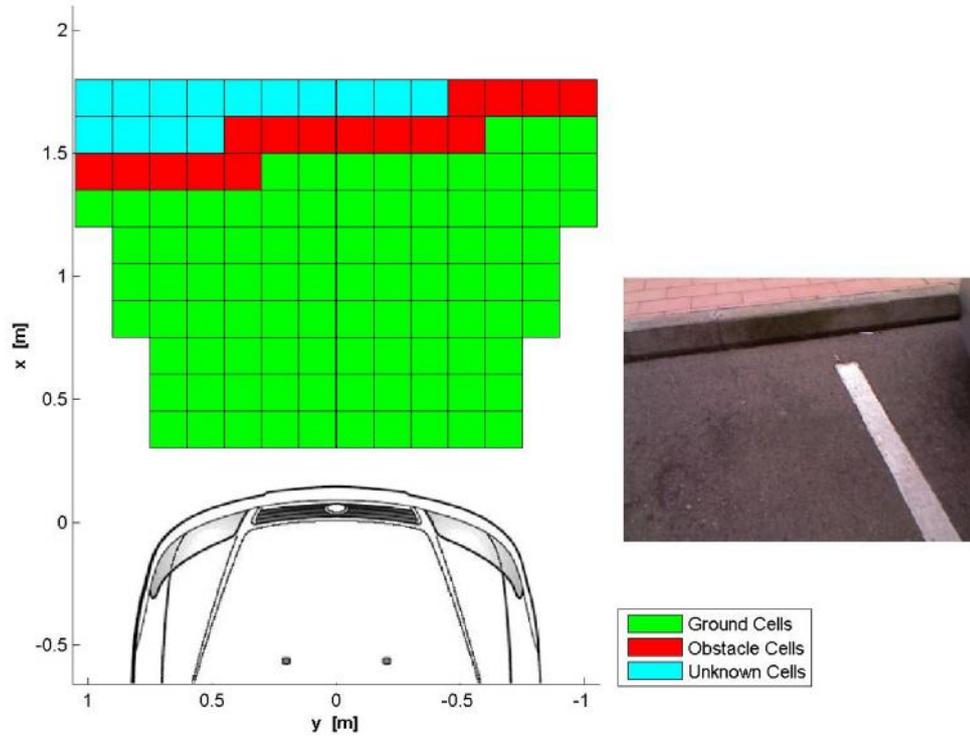
Si può osservare come nella prima mappa, l'ostacolo sia appena entrato nel lato sinistro del range di acquisizione del sensore Kinect. Nella seconda e terza mappa, la porzione di ostacolo che ricade nel range di acquisizione è sempre maggiore. Inoltre la sua posizione è sempre più centrale e a distanza ridotta dal paraurti del veicolo in moto. L'algoritmo individua l'ostacolo e ne indica correttamente la presenza sulle mappe 2D di attraversabilità.

### 4.2.9 Marciapiede frontale in parcheggio esterno

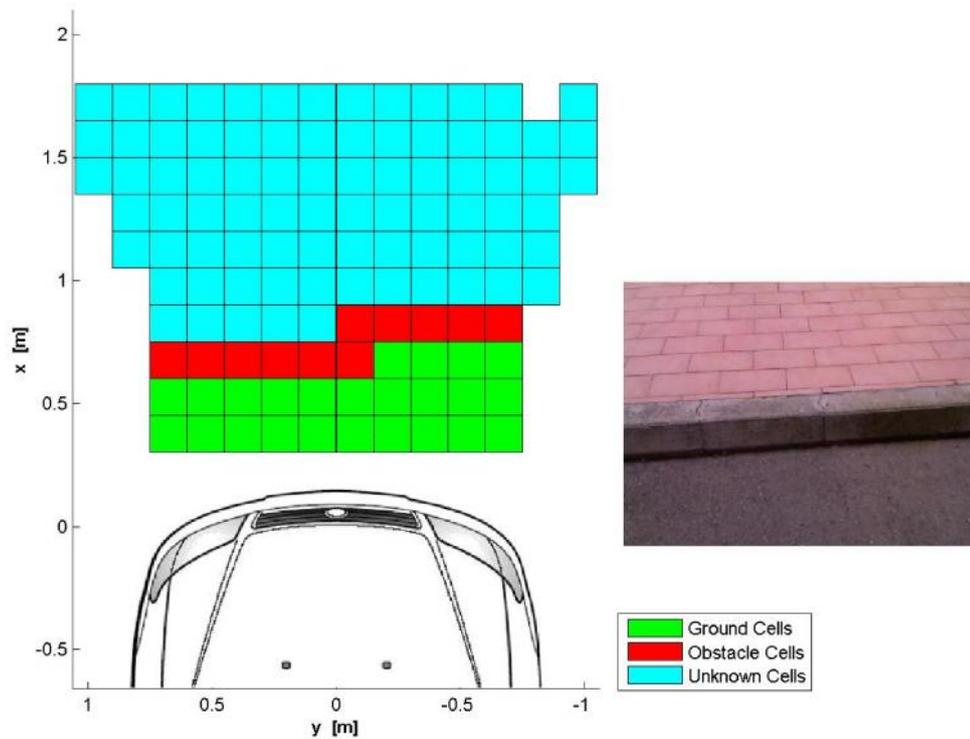
Le tre mappe 2D riportate in questa sezione, sono relative a tre singoli frame appartenenti ad un test effettuato in un'area esterna. Tale test ha visto l'acquisizione di 117 frame con una frequenza di 1 Hz. La manovra effettuata riguarda l'avvicinamento frontale ad un marciapiede.



a)



b)



c)

**Figura 4-29 Avvicinamento frontale ad un marciapiede: lunga distanza a), media distanza b), breve distanza c).**

Nella prima mappa, l'algoritmo segnala correttamente sia la presenza del veicolo in sosta sul lato destro, sia la presenza del marciapiede nella zona in alto a sinistra dello scenario. Nelle successive acquisizioni, il veicolo in sosta sul lato destro è ormai fuori dal range di acquisizione del sensore Kinect, motivo per cui viene segnalata correttamente la presenza del solo marciapiede.

## Conclusioni

Questo lavoro di tesi ha proposto un sistema, basato sulla tecnologia delle radiazioni infrarosse (IR), per il riconoscimento di ostacoli in ambito automobilistico, durante manovre di parcheggio.

Il sistema è incentrato sull'elaborazione di nuvole di punti 3D, acquisite tramite il sensore Microsoft Kinect. Dall'analisi dell'elevazione di tali punti, il sistema restituisce una mappa di attraversabilità costituita da celle, che possono essere di tre diverse tipologie: suolo, ostacolo, celle sconosciute. Le celle percorribili in sicurezza dal veicolo, vengono classificate come suolo (ground cells) mentre, le celle non percorribili dal veicolo vengono classificate come ostacolo (obstacle cells). Infine, in base alla logica di classificazione dell'algoritmo implementato, si può riscontrare anche la presenza di celle non classificate (unknown cells). Per rendere più agevole la comprensione della mappa di attraversabilità proposta, queste tre categorie di celle, vengono rispettivamente visualizzate con il colore verde, rosso e ciano.

Durante la corposa attività sperimentale, effettuata per testare la validità del sistema di parcheggio proposto, si è riscontrata una buona capacità del sistema di riconoscere e segnalare correttamente la presenza di un ostacolo collocato nella zona di acquisizione del sensore.

Nei test eseguiti, sono stati riprodotti alcuni degli scenari tipici che si possono incontrare durante le manovre di parcheggio. Gli oggetti presenti nei vari scenari analizzati hanno avuto forma, dimensioni e colori tra i più svariati. Il sistema ha sempre restituito dei risultati coerenti.

A livello di materiale costituente l'ostacolo, ci si è imbattuti in pilastri e cordoli in cemento armato, pali e transenne metalliche, cerchi in lega ed altri componenti di veicoli in sosta, fino anche ai tessuti costituenti gli abiti di un pedone. Nonostante questa varietà di materiali riscontrati, il sensore Kinect è riuscito comunque ad effettuare la ricostruzione 3D dell'intero scenario, garantendo così all'algoritmo, la possibilità di creare una mappa 2D di attraversabilità, fedele alla realtà.

Le acquisizioni sono state effettuate in un parcheggio esterno ed in un parcheggio seminterrato, al fine di testare le capacità del sistema in varie condizioni di illuminazione. Inoltre, sono state effettuate delle acquisizioni in condizioni di illuminazione estremamente ridotta. Il sistema ha comunque confermato la sua capacità di individuare e rappresentare gli ostacoli. Questo è stato possibile anche grazie al fatto che la tecnologia IR, alla base del funzionamento del sistema proposto, non presenta alcun limite legato al livello di illuminazione dello scenario in cui si trova ad operare. La tecnologia infrarossa, tuttavia, presenta un limite intrinseco nel caso di *corpo nero*. Se si provasse ad acquisire punti relativi ad un ostacolo nero opaco molto distante dal sensore Kinect, la maggior parte della radiazione infrarossa verrebbe assorbita da esso. La ridotta radiazione riflessa non riuscirebbe a raggiungere la telecamera IR del sensore Kinect.

Durante il lavoro di tesi, si è riscontrata un'elevata sensibilità del sensore Kinect, alla luce riflessa dagli oggetti ripresi. Motivo per cui un generico oggetto posto ad una distanza inferiore a 0.5 m dal sensore stesso, non viene acquisito. Questo limite è stato superato tramite una corretta posizione di installazione del sensore Kinect sul veicolo (Paragrafo 3.3).

Si può affermare in definitiva che i test effettuati, oltre a validare il sistema ausiliario di parcheggio proposto, hanno anche messo in evidenza la discreta predisposizione della tecnologia infrarossa ad essere utilizzata nell'ambito dell'individuazione di ostacoli in campo automobilistico e nei veicoli a guida autonoma. Bisogna precisare che, la scelta del sensore infrarosso utilizzato, è ricaduta sul sensore Microsoft Kinect in virtù del costo ridotto. Una possibile evoluzione del sistema potrebbe essere quella di ricorrere a sensori infrarossi di qualità migliore.

Una ulteriore evoluzione del sistema potrebbe essere quella di implementare l'algoritmo di classificazione su un piattaforma di programmazione di più basso livello. Nel seguente lavoro l'algoritmo è stato implementato in ambiente Matlab. Ricorrendo ad esempio, alla piattaforma di programmazione C++, sicuramente si potrebbe ridurre drasticamente il tempo di elaborazione del singolo frame. Nella migliore delle ipotesi l'algoritmo potrebbe essere applicato in real-time.

# Appendice

Di seguito viene riportato l'algoritmo, utilizzato per creare la mappa di attraversabilità desiderata, implementato con il software MATLAB R2010a.

```
%----- Obstacle Detection Algorithm with Kinect Sensor -----

clear all; close all; clc;

addpath './Functions'
%addpath './test1'
%addpath './test2'
%addpath './test3'
%addpath './test4'
%addpath './test5'
%addpath './test6'
%addpath './test7'
%addpath './test8'
addpath './test9'

N=500;

fid = fopen('pcdFilesList.txt', 'r');
InputText=textscan(fid, '%s', N, 'delimiter', '\n');
pcd_intro=InputText{1};
fclose(fid);

fid = fopen('imageFilesList.txt', 'r');
InputText = textscan(fid, '%s', N, 'delimiter', '\n');
im_intro = InputText{1};
fclose(fid);

fid = fopen('figureFilesList.txt', 'r');
InputText = textscan(fid, '%s', N, 'delimiter', '\n');
out_fig = InputText{1};
fclose(fid);

tic
for i=1:N;

close
%----- Load data -----

pcd_filename = char(cellstr(pcd_intro(i)));
```

```

image_filename = char(cellstr(im_intro(i)));
out_figure_filename = char(cellstr(out_fig(i)));

M = importdata (pcd_filename, ' ', 11);
XYZRGB=M.data;

Xc=XYZRGB(:,1);
Yc=XYZRGB(:,2);
Zc=XYZRGB(:,3);

XYZc=[Xc Yc Zc];
XYZcT=[XYZc'; ones(1,length(XYZc))];

%----- Calibration of Kinect Sensor -----

% Calibration with Horizontal Grid

% Transformation from Kinect RF (c) to Grid RF (w)
Tcw=[ 0.0311    0.7363    -0.6760    1268.4*10^-3;...
      0.9995    -0.0197     0.0246    468.2433*10^-3;...
      0.0048    -0.6764    -0.7365    1089.7*10^-3;...
      0         0         0         1];

% Transformation from Grid RF (w) to World RF (v)
Twv=[-1     0     0    1268.4*10^-3;...
      0    -1     0    468.2433*10^-3;...
      0     0     1     0;...
      0     0     0     1];

% Transformation from Kinect RF (c) to World RF (v)
T=Twv*Tcw;

%----- File .pcd in the World RF (v) -----

XYZv=T*XYZcT;
XYZv=XYZv';
Xv=XYZv(:,1);
Yv=XYZv(:,2);
Zv=XYZv(:,3);
XYZv=[Xv Yv Zv];

dlmwrite('3Dpoint.csv',XYZv,'precision',10);

%----- Define short range grid -----

xMin=0.15;    % [m]
xMax=1.95;    % [m]
Delta=0.15;   % [m]
yLim=1.05;    % [m]

[xi,yi] = meshgrid(xMin:Delta:xMax,-yLim:Delta:yLim);

```

```

zi=zeros(size(xi));

nCELLEx=(xMax-xMin)/Delta;
nCELLEy=(2*yLim)/Delta;
nTOTcelle=nCELLEx*nCELLEy;

% Grid Points;
GP=[];
for i=1:size(xi,1)
    for j=1:size(yi,2)
        P=[xi(i,j) yi(i,j) zi(i,j)];
        GP=[GP;P];
    end
end
GP=GP(~isnan(GP(:,3)),:);

%----- Mapping 3D points to cells -----

Grid={};
Patch={};
for i=1:size(GP,1)
    if GP(i,2)<=yLim-Delta
        index=find(XYZv(:,1)<GP(i+1,1) & XYZv(:,1)>=GP(i,1) &
XYZv(:,2)>=GP(i,2) & XYZv(:,2)<GP(i,2)+Delta &
isempty(GP(GP(i+1:end,1)==GP(i,1)))~=1);
        if (isempty(index)~=1 & length(index)>4)
            Patchi=XYZv(index,:);
            Patch{i}=Patchi;
            Grid{i}=[0.5*(GP(i+1,1)+GP(i,1)) GP(i,2)+Delta/2];
        end
    else
        break
    end
end
Patch=Patch(~cellfun('isempty', Patch));
Grid=Grid(~cellfun('isempty', Grid));

for i = 1:size(Patch,2)
    zi_Patch = Patch{i}(:,3);
    z{i} = zi_Patch;
    zmax{i}=max(Patch{i}(:,3));
end

%----- Breadth-First-Search (BFS) algorithm and
%-----computing the traversable/obstacle map -----

figure
axes('Position', [0.05, 0.09, 0.9, 0.9]);
axis equal
xlabel('y [m]', 'FontSize',10);
ylabel('x [m]', 'FontSize',10);

```

```

zlabel('z [m]', 'FontSize', 10);
grid off;
view(2);
xlim ([-1.06, 1.06]);
ylim ([-0.66, 2.1]);
set(gca, 'XDir', 'reverse')
hold on

XGRID=[];
YGRID=[];
for i=1:size(Grid,2)
    x_grid=Grid{i}(:,1);
    y_grid=Grid{i}(:,2);
    XGRID=[XGRID,x_grid];
    YGRID=[YGRID,y_grid];
end

GRID=[XGRID', YGRID'];

for i=1:size(Grid,2)
    aa=find(GRID(:,1)<GRID(i,1)+1.5*Delta & GRID(:,1)>=GRID(i,1) &
    GRID(:,2)<GRID(i,2)+1.5*Delta & GRID(:,2)>GRID(i,2)-1.5*Delta);
    hh=find(aa(:,1)==i);
    aa(hh,:)=[];
    C{i}=aa;
end

%----- Define Starting Patch -----

SP=[]; % Starting Patch
GV=[]; % Ground Visitors
NGV=[]; % Non Ground Visitors
VISITORS=[];

for k=1:1:nCELLEx;
    cs=find(GRID(:,1)<xMin+(k*Delta) & GRID(:,1)>xMin+((k-
1)*Delta));
    for j=1:1:size(cs,1);
        i=cs(j,:);
        if (zmax{:,i}<=0.08 & zmax{:,i}>=-0.08)
            SP=[SP;i];
            GV=[GV;i];
            VISITORS=[VISITORS;i];
        else
            NGV=[NGV;i];
            VISITORS=[VISITORS;i];
        end
    end
    end
    if ~isempty(SP)
        break
    end
end
end

```

```

for i=1:1:size(SP,1);
    s=SP(i,:);
    Cl=C{s};
    slope=15;    % [°]
    for j=1:size(Cl,1)
        k=Cl(j,:);
        if (atand((zmax{k}-zmax{s})/sqrt((GRID(k,1)-
GRID(s,1))^2+(GRID(k,2)-GRID(s,2))^2))<slope &
isempty(find(VISITORS(:)==k)))
            GV=[GV;k];
        elseif (atand((zmax{k}-zmax{s})/sqrt((GRID(k,1)-
GRID(s,1))^2+(GRID(k,2)-GRID(s,2))^2))>slope &
isempty(find(VISITORS(:)==k)))
            NGV=[NGV;k];
        end
        VISITORS=[VISITORS;k];
    end
end

if ~isempty(GV)
    for n=1:100
        for i=1:size(GV,1)
            Cl=C{GV(i,:)};
            for j=1:size(Cl,1)
                k=Cl(j,:);
                if (atand((zmax{k}-zmax{GV(i,:)})/sqrt((GRID(k,1)-
GRID(GV(i,:),1))^2+(GRID(k,2)-GRID(GV(i,:),2))^2))<slope &
isempty(find(VISITORS(:)==k)))
                    GV=[GV;k];
                    VISITORS=[VISITORS;k];
                elseif (atand((zmax{k}-
zmax{GV(i,:)})/sqrt((GRID(k,1)-GRID(GV(i,:),1))^2+(GRID(k,2)-
GRID(GV(i,:),2))^2))>slope & isempty(find(VISITORS(:)==k)))
                    NGV=[NGV;k];
                    VISITORS=[VISITORS;k];
                end
            end
            n=n+1;
        end
    end
end
else
    break
end
VISITORS=unique(VISITORS);
GV=unique(GV);
NGV=unique(NGV);
end

H=Tcw(3,4);
CV=[];

if (~isempty(NGV) & ~isempty(GV))
    for k=1:1:nCELLEy;
        ncr=find(GRID(NGV(:,1),2)<(yi(1,1)+(k*Delta)) &
GRID(NGV(:,1),2)>(yi(1,1)+((k-1)*Delta)));
    end
end

```

```

    if ~isempty(ncr)
        for j=1:1:size(ncr,1);
            i=NGV(ncr(j,:),:);
            d=GRID(i,1);
            h=zmax{1,i};
            s=(h*d)/(H-h);
            ncv=find(GRID(GV(:,1),1)<d+s+0.075 &
GRID(GV(:,1),1)>d & GRID(GV(:,1),2)<(yi(1,1)+(k*Delta)) &
GRID(GV(:,1),2)>(yi(1,1)+((k-1)*Delta)));
            cv=GV(ncv,:);
        end
        CV=[CV;cv];
    end
end
end

if ~isempty(GV)
for i=1:size(GV,1)
    XX=[Grid{GV(i,:)}(:,1)+Delta/2 Grid{GV(i,:)}(:,1)-Delta/2
Grid{GV(i,:)}(:,1)-Delta/2 Grid{GV(i,:)}(:,1)+Delta/2];
    YY=[Grid{GV(i,:)}(:,2)+Delta/2 Grid{GV(i,:)}(:,2)+Delta/2
Grid{GV(i,:)}(:,2)-Delta/2 Grid{GV(i,:)}(:,2)-Delta/2];
    ZZ=[0 0 0 0];
    h=patch(YY',XX',ZZ');
    set(h,'FaceColor','green','EdgeColor','black');
end
else
    XX=[0 0 0 0];
    YY=[0 0 0 0];
    ZZ=[0 0 0 0];
    h=patch(YY',XX',ZZ');
    set(h,'FaceColor','green','EdgeColor','black');
end

if ~isempty(NGV)
for i=1:size(NGV,1)
    XX=[Grid{NGV(i,:)}(:,1)+Delta/2 Grid{NGV(i,:)}(:,1)-
Delta/2 Grid{NGV(i,:)}(:,1)-Delta/2 Grid{NGV(i,:)}(:,1)+Delta/2];
    YY=[Grid{NGV(i,:)}(:,2)+Delta/2
Grid{NGV(i,:)}(:,2)+Delta/2
Grid{NGV(i,:)}(:,2)-Delta/2 Grid{NGV(i,:)}(:,2)-Delta/2
Grid{NGV(i,:)}(:,2)-Delta/2];
    ZZ=[0 0 0 0];
    h1=patch(YY',XX',ZZ');
    set(h1,'FaceColor','red','EdgeColor','black');
end
else
    XX=[0 0 0 0];
    YY=[0 0 0 0];
    ZZ=[0 0 0 0];
    h1=patch(YY',XX',ZZ');
    set(h1,'FaceColor','red','EdgeColor','black');
end

Nan=[];

```

```

for i=1:size(GRID,1)
    if isempty(find(VISITORS(:)==i));
        Nan=[Nan;i];
    end
end

Nan=[Nan;CV];

if ~isempty(Nan)
    for i=1:size(Nan,1)
        XX=[Grid{Nan(i,:)}(:,1)+Delta/2 Grid{Nan(i,:)}(:,1)-Delta/2
Grid{Nan(i,:)}(:,1)-Delta/2 Grid{Nan(i,:)}(:,1)+Delta/2];
        YY=[Grid{Nan(i,:)}(:,2)+Delta/2 Grid{Nan(i,:)}(:,2)+Delta/2
Grid{Nan(i,:)}(:,2)-Delta/2 Grid{Nan(i,:)}(:,2)-Delta/2];
        ZZ=[0 0 0 0];
        h2=patch(YY',XX',ZZ');
        set(h2,'FaceColor','c','EdgeColor','black');
    end
else
    XX=[0 0 0 0];
    YY=[0 0 0 0];
    ZZ=[0 0 0 0];
    h2=patch(YY',XX',ZZ');
    set(h2,'FaceColor','c','EdgeColor','black');
end

hold on
topview_car=imread('fiatPUNTOfront_top_view.png');
CAR=imrotate(topview_car,270);
x=[-0.83 0.83];
y=[-0.65 0.15];
imshow=(imagesc(x,y,CAR));
xlabel('y [m]','FontSize',10,'FontWeight','b');
ylabel('x [m]','FontSize',10,'FontWeight','b');
zlabel('z [m]','FontSize',10,'FontWeight','b');
legend([h,h1,h2],'Ground Cells','Obstacle Cells','Unknown
Cells','Location','SouthEastOutside')

axes('Position',[.64 .28 .35 .35]);
clear imshow
imshow(image_filename(1,:))
set(gcf,'units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])

saveas(gcf,out_figure_filename,'jpg')
end
toc

```

# Riferimenti

## Bibliografia:

- [1] R. Rajamani. *Vehicle Dynamics and Control*, Springer, 2012.
- [2] G. Genta. *Meccanica dell'autoveicolo*, Levrotto & Bella, 2000.
- [3] G. Reina. Appunti del corso di *Meccanica del veicolo*, Facoltà di Ingegneria Meccanica, Università del Salento.
- [4] A. Morelli. *Progetto dell'autoveicolo. Concetti di base*, CELID, 2000.
- [5] R. Bosch. *Automotive handbook*. SAE, 2000.
- [6] J. Shotton, A. Fitzgibbon, M. Cook, T. Sharp, M. Finocchio, R. Moore, A. Kipman, A. Blake. *Real-Time Human Pose Recognition in Parts from Single Depth Images*, CVPR, 2011.
- [7] J. Shotton, A. Fitzgibbon, M. Cook, T. Sharp, M. Finocchio, R. Moore, A. Kipman, A. Blake. *Real-Time Human Pose Recognition in Parts from Single Depth Image: Supplementary Material*, Microsoft Research Cambridge & Xbox Incubation.

## Sitografia:

- [8] <http://techcenter.mercedes-benz.com/en/>
- [9] <http://www.quattroruote.it>
- [10] [http://www.bmw.it/it/it/insights/technology/technology\\_guide/start.html](http://www.bmw.it/it/it/insights/technology/technology_guide/start.html)
- [11] <http://media.opel.com>
- [12] <http://www.mobileye.com>
- [13] <http://www.volvocars.com>
- [14] <http://www.ford.it>
- [15] <http://www.citroen.it/home/#/tecnologie/>
- [16] <http://www.sensorediparcheggio.it>
- [17] <http://www.automobilismo.it>
- [18] [http://it.wikipedia.org/wiki/Microsoft\\_Kinect](http://it.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Kinect)
- [19] [http://openkinect.org/wiki/Main\\_Page/it](http://openkinect.org/wiki/Main_Page/it)
- [20] <http://www.openni.org>

[21] <http://www.primesense.com>

[22] <http://www.microsoft.com>