



UNIVERSITÀ DEL SALENTO
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

TESI DI LAUREA

in

MECCANICA DEL VEICOLO

**TECNICHE DI STEREOVISIONE PER IL
RILEVAMENTO DI OSTACOLI IN
CAMPO AGRICOLO**

Relatore:

Ing. Giulio REINA

Laureando:

Antonio NOTARISTEFANO

ANNO ACCADEMICO 2011-2012

PROGETTO QUAD-AV

L'Università del Salento, insieme a partner europei come il Centro di Ricerca francese Cemagref, il Danish Technology Institute (DTI) di Odense, il Fraunhofer IAIS di Bonn e il produttore di macchinari agricoli tedesco CLAAS (secondo produttore mondiale di trattori), è coinvolta in un progetto europeo denominato Ambient Awareness for Autonomous Agricultural Vehicles (QUAD-AV) per la realizzazione di un trattore a guida autonoma.

Obiettivi del progetto

- sviluppare sistemi e metodi di percezione finalizzati al miglioramento del livello di sicurezza e di autonomia di veicoli agricoli intelligenti;
- investigare l'utilizzo integrato di diverse modalità sensoriali (stereovisione, radar, lidar e termografia);
- investigare metodi multi-algoritmici per la realizzazione di un database di ostacoli.

OBIETTIVO DELLA TESI

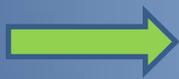
- Elaborazione di un algoritmo che consenta il riconoscimento di ostacoli in campo agricolo attraverso l'acquisizione e l'elaborazione di immagini prodotte da un sistema di telecamere stereo montate sul trattore *CLAAS AXION 840*.



LA VISIONE STEREOSCOPICA

Il termine *stereoscopia* deriva dalle parole greche “stereo” che significa “spazio” e “skopein” che significa “vedere” e significa “*visione spaziale*”.

La percezione tridimensionale che l'uomo ha dell'ambiente che lo circonda deriva dalla capacità del cervello di fondere le immagini retiniche che provengono dagli occhi e di percepirle come un'unica immagine (*stereopsi*).



Localizzazione degli oggetti in profondità e percezione della tridimensionalità dello spazio

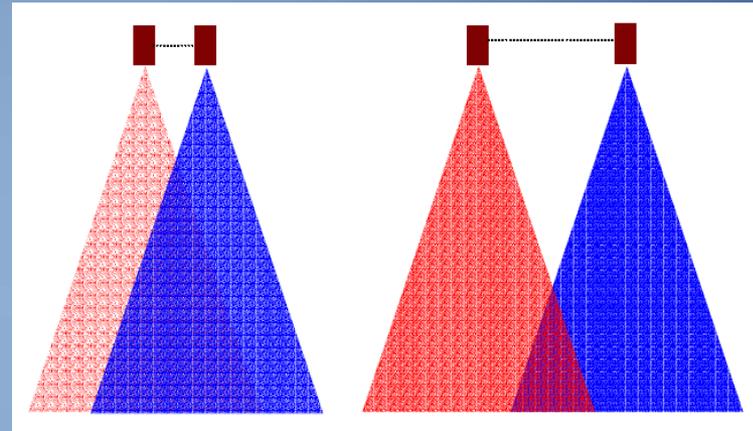
La *stereopsi computazionale* è invece il processo che consente di ottenere l'informazione di profondità da una coppia di immagini provenienti da due telecamere che inquadrano una scena da differenti posizioni.

$$z = bf/d \quad b = \text{baseline}, f = \text{lunghezza focale}, d = \text{disparità}$$

SCELTA DEL SISTEMA DI TELECAMERE

Scelta della baseline

- Campo di vista
- Massimo range



- Baseline corta: campo di vista maggiore e massimo range ridotto
- Baseline lunga: campo di vista minore e massimo range più elevato



Sistema trinoculare pre-calibrato multi-baseline

SCELTA DEL SISTEMA DI TELECAMERE

Telecamera *Bumblebee XB3, PointGrey*

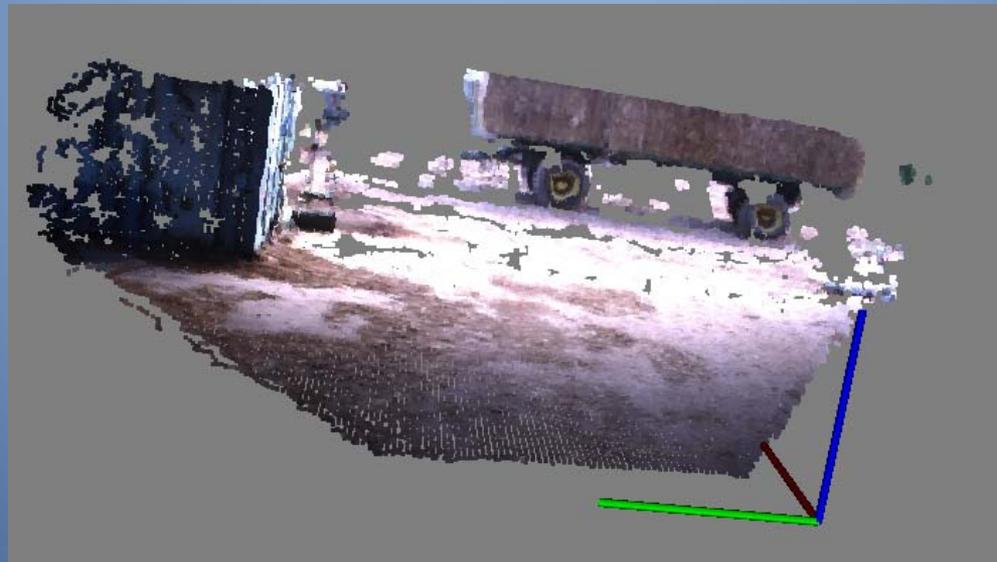


Caratteristiche tecniche	
Sensor	Three Sony 1/3" progressive scan CCDs, Color
Baseline	12 cm and 24 cm
Resolution and FPS	1280 x 960 at 15 FPS
Focal Lengths	3.8 mm with 66° HFOV,

VALIDAZIONE DEL SISTEMA TRINOCULARE

Campagna prove in una fattoria nei pressi di Helsingør, Danimarca

- Velocità del trattore comprese tra 2 e 15 km/h;
- Diverse tipologie di ostacoli: positivi (muri, altri veicoli, tralicci della luce), negativi (dirupi, depressioni nel terreno), ostacoli animali, umani, ecc;
- Varie condizioni di luminosità (mattino, pomeriggio, tramonto).



ALGORITMO

Obiettivo

Si propone di riconoscere in maniera esplicita solo quelle regioni della scena “attraversabili”, riconoscendo indirettamente la presenza di ostacoli nella scena.

Idea di base

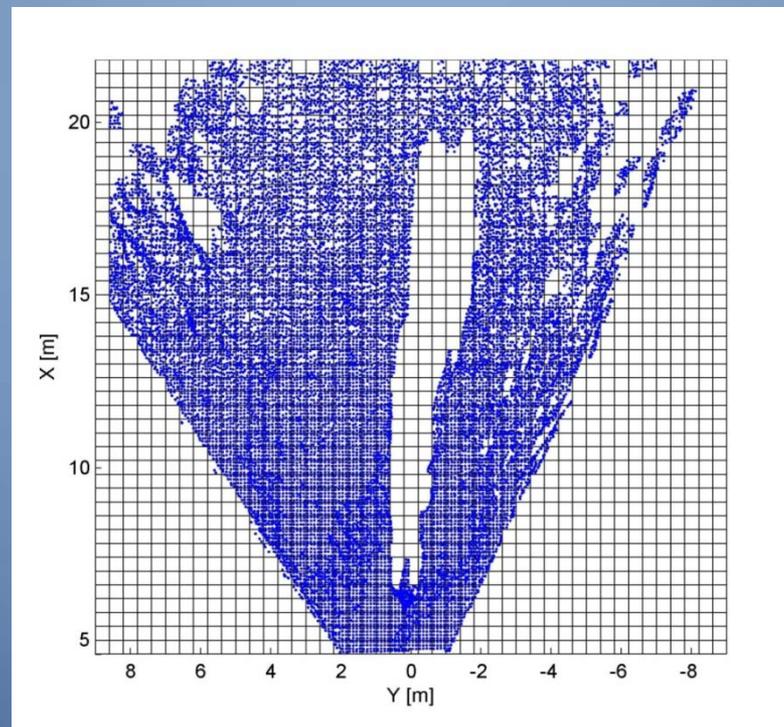
Suddividere la nuvola di punti 3D acquisiti dal sistema trinoculare mediante celle di una griglia 2D e, sfruttando l’informazione relativa all’altezza dei punti all’interno di ciascuna di esse, realizzare un algoritmo in grado di classificare ciascuna cella come “attraversabile”, “ostacolo” o “non definita”, colorandole rispettivamente di verde, rosso e ciano.

Software di utilizzo

Matlab®

ALGORITMO

- Creazione griglia 2D di celle quadrate di lato $r = 0.4 \text{ m}$ parallela al piano orizzontale nel sistema di riferimento del trattore.
- Caricamento del file *.pcd* contenente i dati relativi alla nuvola di punti 3D acquisita dal sistema trinoculare.



ALGORITMO

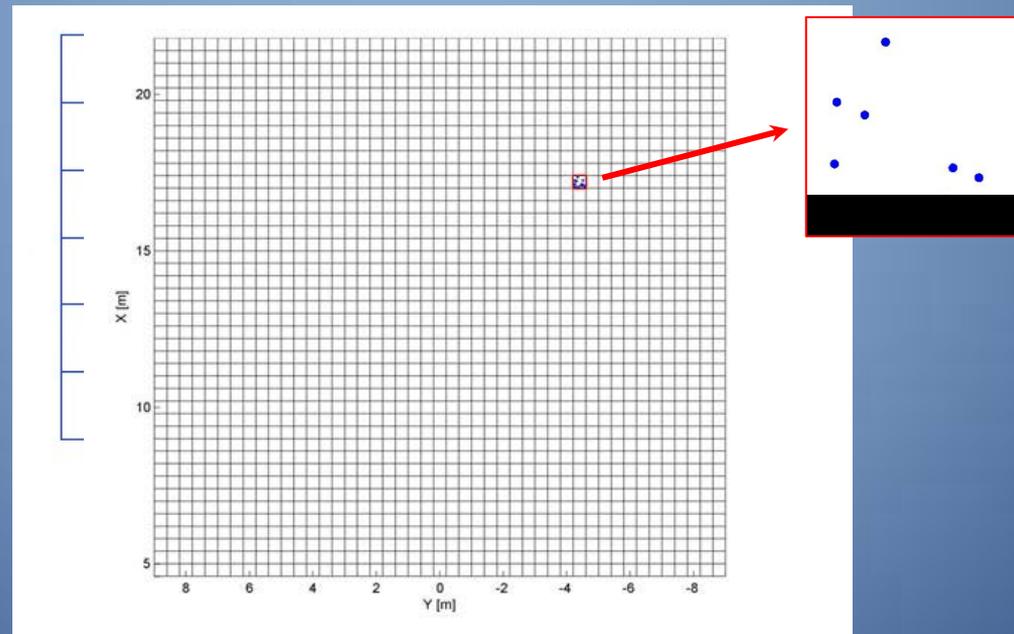
Fasi dell'algoritmo

1. Assegnazione dei punti 3D della scena a ciascuna cella della griglia di riferimento;
2. Determinazione degli istogrammi di elevazione dei punti appartenenti a ciascuna cella;
3. Riconoscimento ed eliminazione delle strutture sporgenti sopraelevate (ad es. rami di alberi, sottopassaggi, ecc.);
4. Classificazione delle celle;
5. Riproiezione dei punti sull'immagine.

ALGORITMO

Fase 1

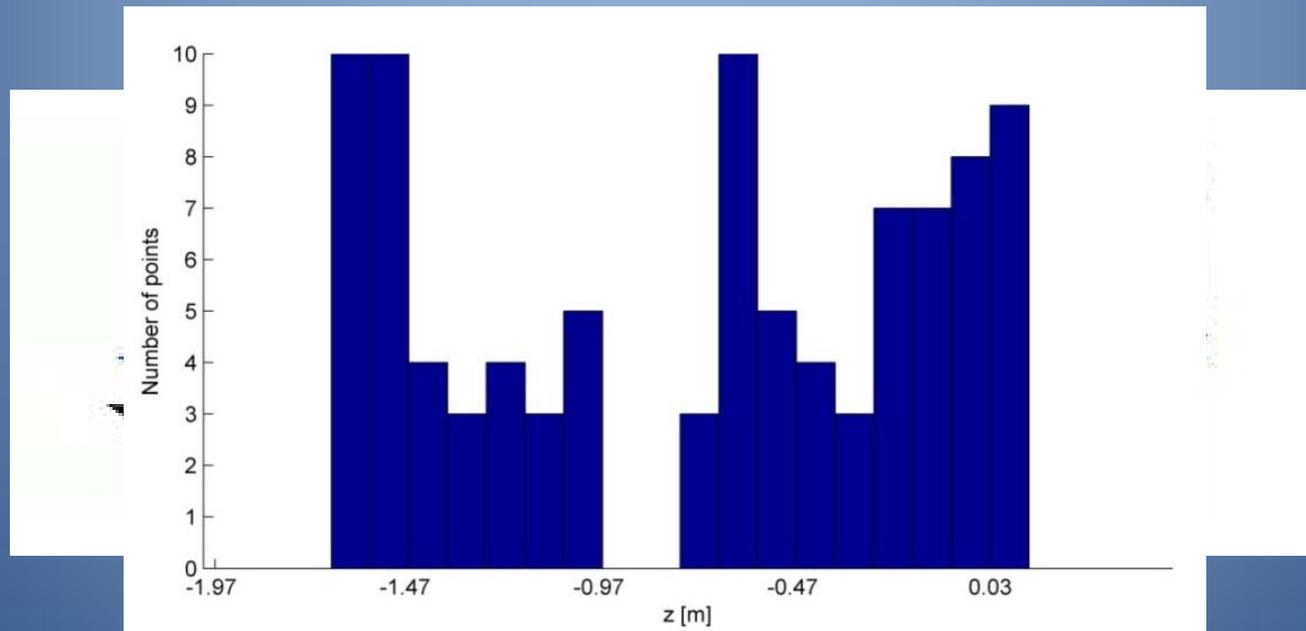
1. Creazione del vettore GP dei nodi della griglia e loro numerazione;
2. Assegnazione dei punti 3D a ciascuna cella;
3. Numerazione delle celle.



ALGORITMO

Fase 2

1. Realizzazione di istogrammi di elevazione per ciascuna cella con bin di altezza pari a 10 cm.
2. Irrobustimento dell'algoritmo settando a zero bin con un solo punto.



ALGORITMO

Fase 3

Altezza veicolo: $H = 3.203 \text{ m}$

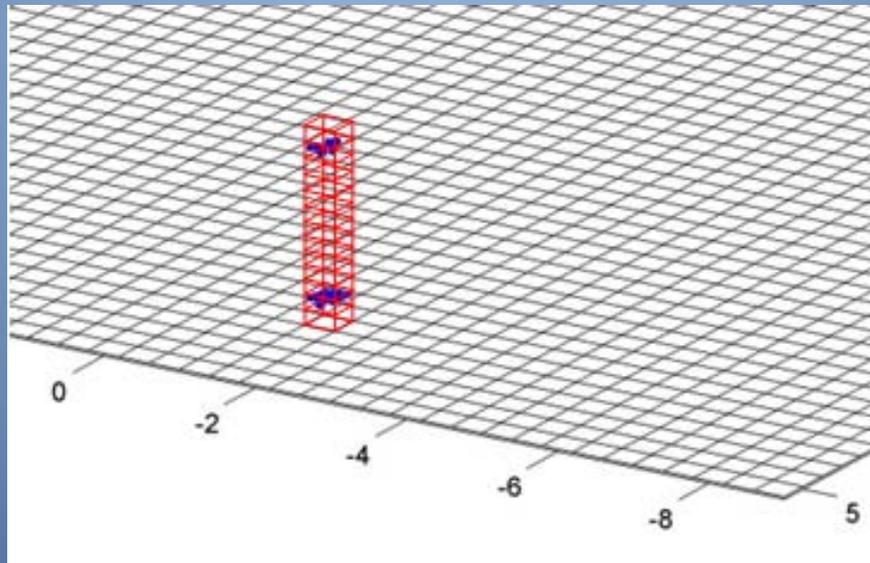
Altezza telecamera da terra $h = 1.97 \text{ m}$

Fattore di sicurezza $cs = 0.2 \text{ m}$



Eliminazione per ogni cella di tutti i punti aventi altezza da terra:

$$z \geq H - h + cs = 1.433 \text{ m}$$



ALGORITMO

Fase 4

- Identificazione di ciascuna cella col proprio baricentro al quale viene assegnata la coordinata z del punto più alto della nuvola 3D che cade all'interno di essa.
- Definizione dell'attraversabilità tra due celle adiacenti attraverso la definizione di una funzione di compatibilità che esprime la pendenza tra due celle adiacenti di baricentri (u, v) e (p, q) .

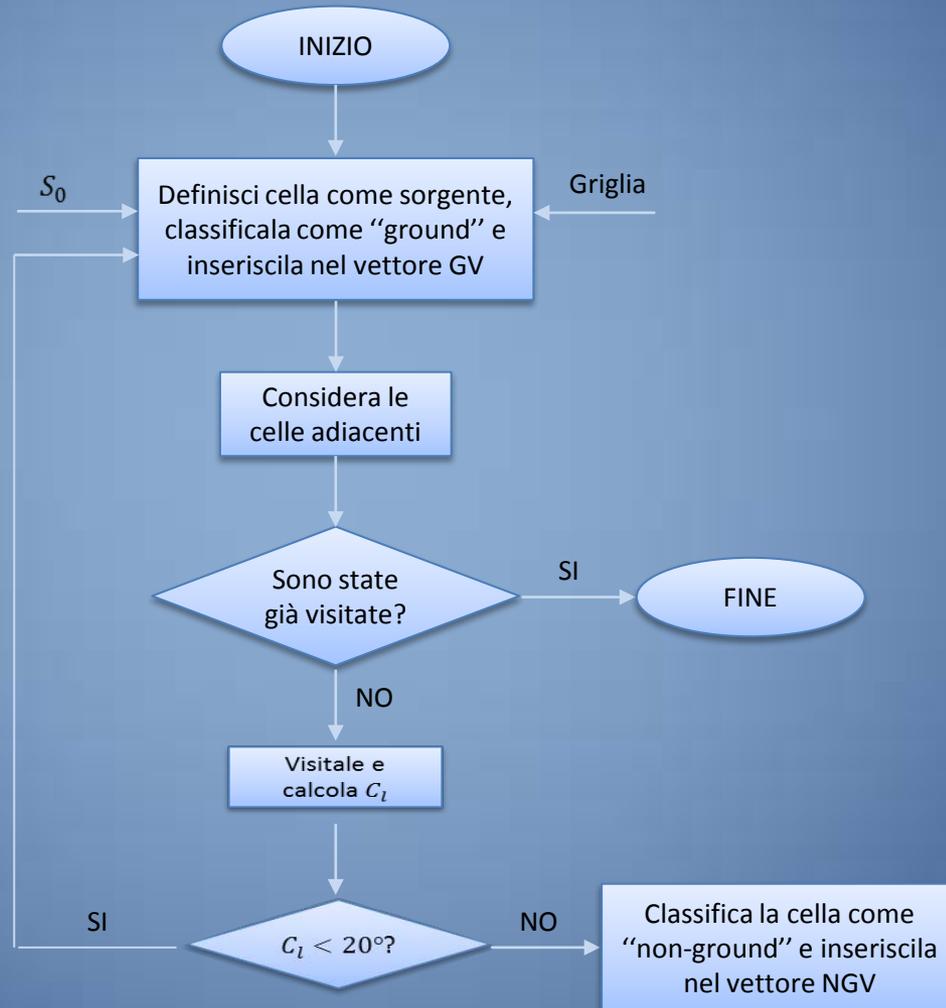
$$C_l(u, v, p, q) = \frac{|z_{\max}(u, v) - z_{\max}(p, q)|}{r \|(u, v) - (p, q)\|}$$

$C_l > 20^\circ$ la cella è attraversabile

$C_l < 20^\circ$ la cella rappresenta un ostacolo

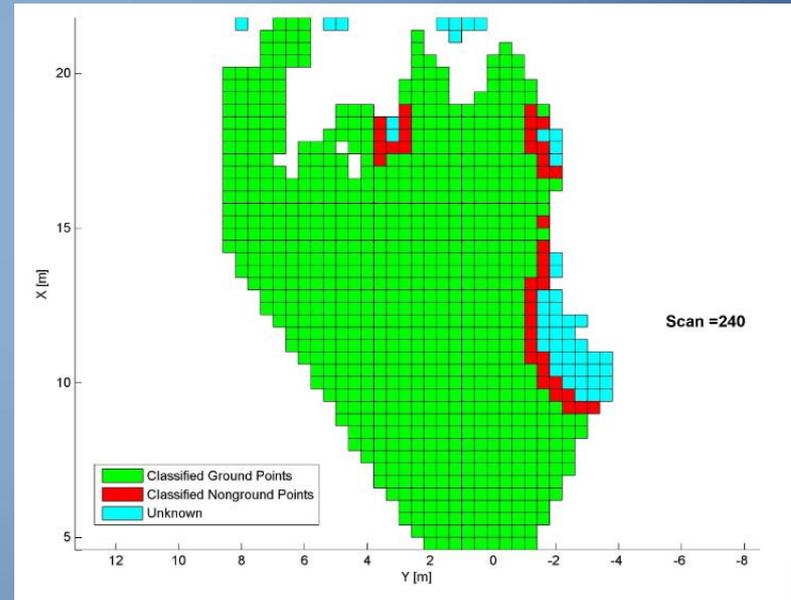
ALGORITMO

Fase 4



ALGORITMO

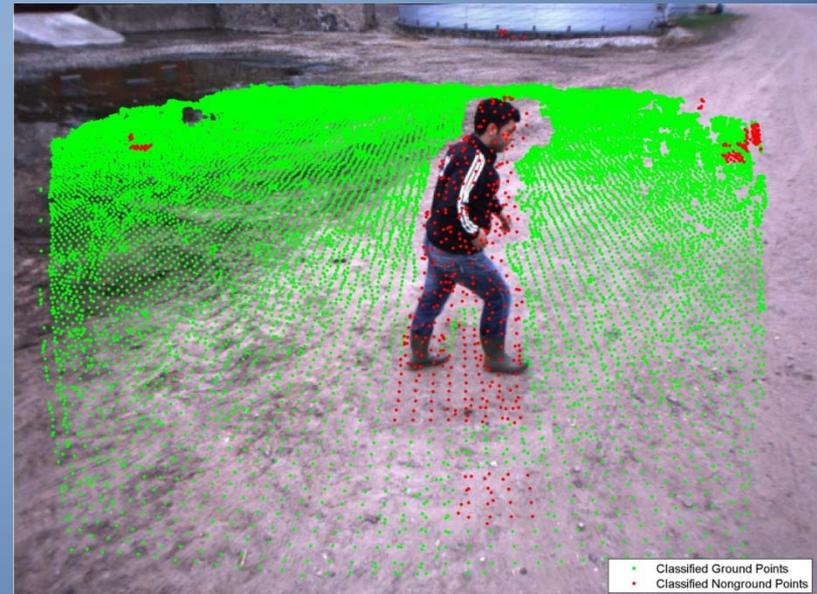
Fase 4



ALGORITMO

Fase 5

Classificazione dei punti appartenenti alle celle verdi come “ground” e dei punti appartenenti alle celle rosse come “non-ground” e riproiezione degli stessi sull’immagine originale memorizzata in un file di estensione *.pgm*.



FALSI POSITIVI E FALSI NEGATIVI

Quantificazione delle performance dell'algoritmo mediante la definizione, per la classe del "ground" e del "non-ground", dell'errore percentuale dovuto alla presenza di Falsi positivi (FP) e Falsi negativi (FN). Riferendosi al "ground":

- Falsi Positivi (FP): sono quelle classificate come attraversabili ma che in realtà sono degli ostacoli;
- Falsi negativi: sono quelle classificate dal sistema come ostacoli ma che, in realtà, sono attraversabili.

Per il set di immagini considerate:

$$Err_{FP} = \frac{FP}{GP_{tot} - FP + FN} \cdot 100 = 0 \%$$

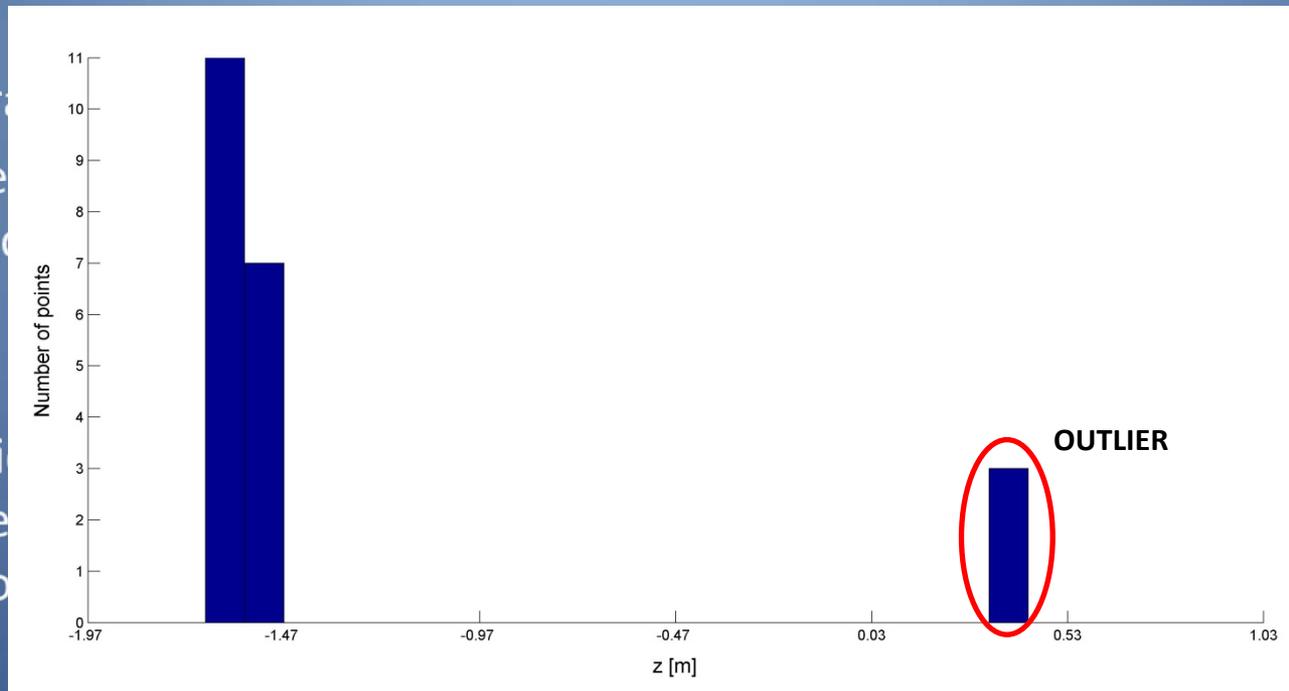
$$Err_{FN} = \frac{FN}{GP_{tot} - FP + FN} \cdot 100 \sim 4 \%$$

ANALISI STATISTICA

La presenza di falsi negativi isolati ha reso necessario condurre un'analisi statistica approfondita circa la distribuzione dei punti all'interno di ciascuna cella. L'obiettivo è stato quello di eliminare la presenza di outlier (punti molto distanti dalla zona di maggiore concentrazione degli stessi).

- Misura
- Indice
essenziale

Ai fini
distribuzione
nell'ipotesi
intervallo

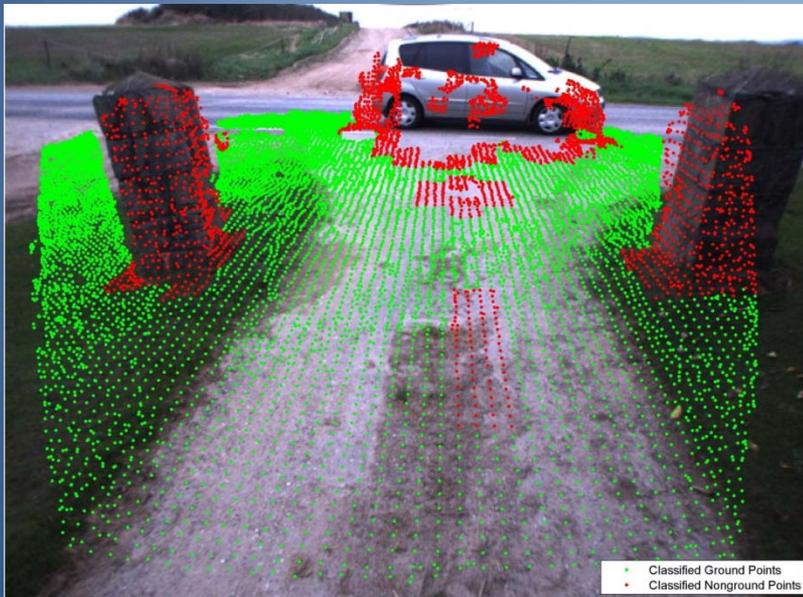


eviation)

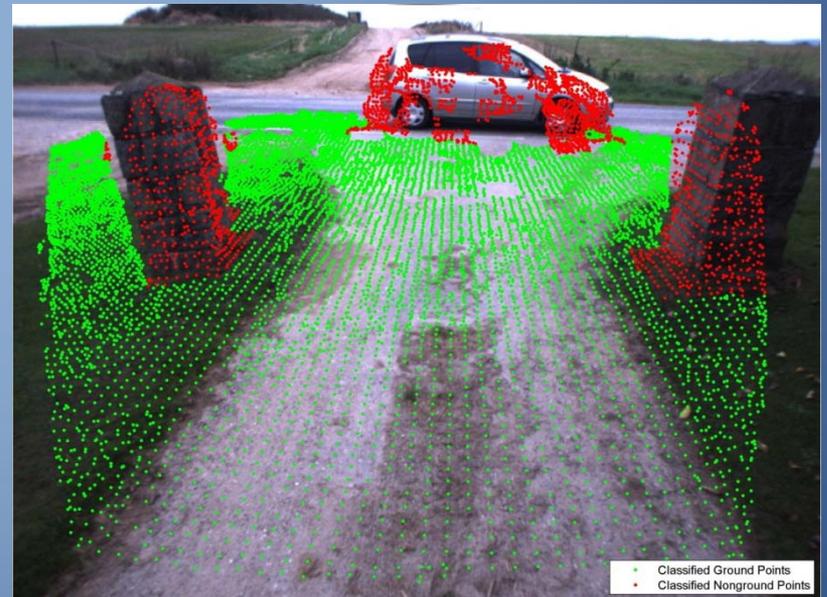
na della
(x_n) che,
erare un

RISULTATI

L'analisi statistica ha prodotto risultati quasi ottimali avendo ridotto notevolmente l'errore relativo alla presenza di falsi negativi a meno del 2 %. L'errore relativo alla presenza di falsi positivi è rimasto nullo.



Prima dell'analisi statistica



Dopo l'analisi statistica

CONCLUSIONI



... grazie per l'attenzione