

Caratterizzazione in ambiente esterno e modellazione dell'errore di una camera RGB-D per il rilevamento di ostacoli fissi e mobili

Pierluigi Rossi, **Elisa Cioccolo**, Maurizio Cutini, Danilo Monarca,
Daniele Puri, Davide Gattamelata, Leonardo Vita
Università della Tuscia - DAFNE | CREA | INAIL



AMBIENTE LAVORO

36° Salone della salute e sicurezza nei luoghi di lavoro

26 • 28 Maggio 2026 • **Bologna**

Sistema per la Rilevazione e Tracciamento di ostacoli fissi e in movimento per semoventi agricole

Finalità:

- Riconoscimento ostacoli fissi e mobili in agricoltura
- Stima del rischio in base alla traiettoria
- Approccio di sensor fusion tra varie tecnologie

Partenariato:

- UNITUS (DAFNE, capofila)
- UNIMI
- UNIPI
- UNISALENTO
- UNIPG
- CREA-IT

INAIL

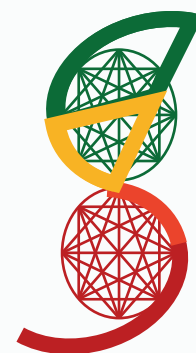
ISTITUTO NAZIONALE PER L'ASSICURAZIONE
CONTRO GLI INFORTUNI SUL LAVORO



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI MILANO



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



SIRTRACK



UNIVERSITÀ
DI PISA



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI PERUGIA

Perche la profondità è critica nella meccanizzazione agricola

Meccanizzazione

In questi casi conoscere la distanza da un ostacolo diventa un'informazione di sicurezza: serve a capire se frenare, rallentare, generare un allarme o modificare una traiettoria.

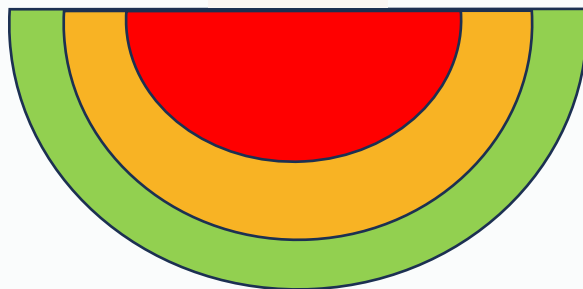
Percezione

La sola immagine RGB non basta: per frenata e rilevamento degli ostacoli serve una stima affidabile distanza.

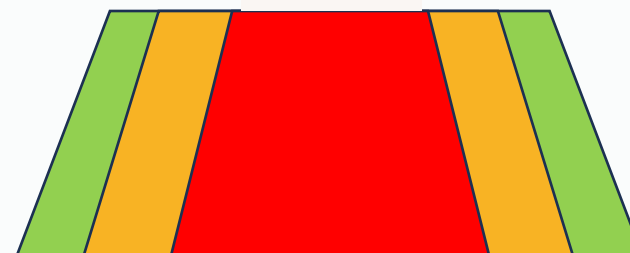
Ambiente agricolo

Luce variabile, ombre, vegetazione, polvere, riflessi e terreni non uniformi degradano la misura.

Per questo non basta dire che un sensore funziona: bisogna quantificare quando funziona bene, quando perde affidabilità e come gestire l'incertezza.



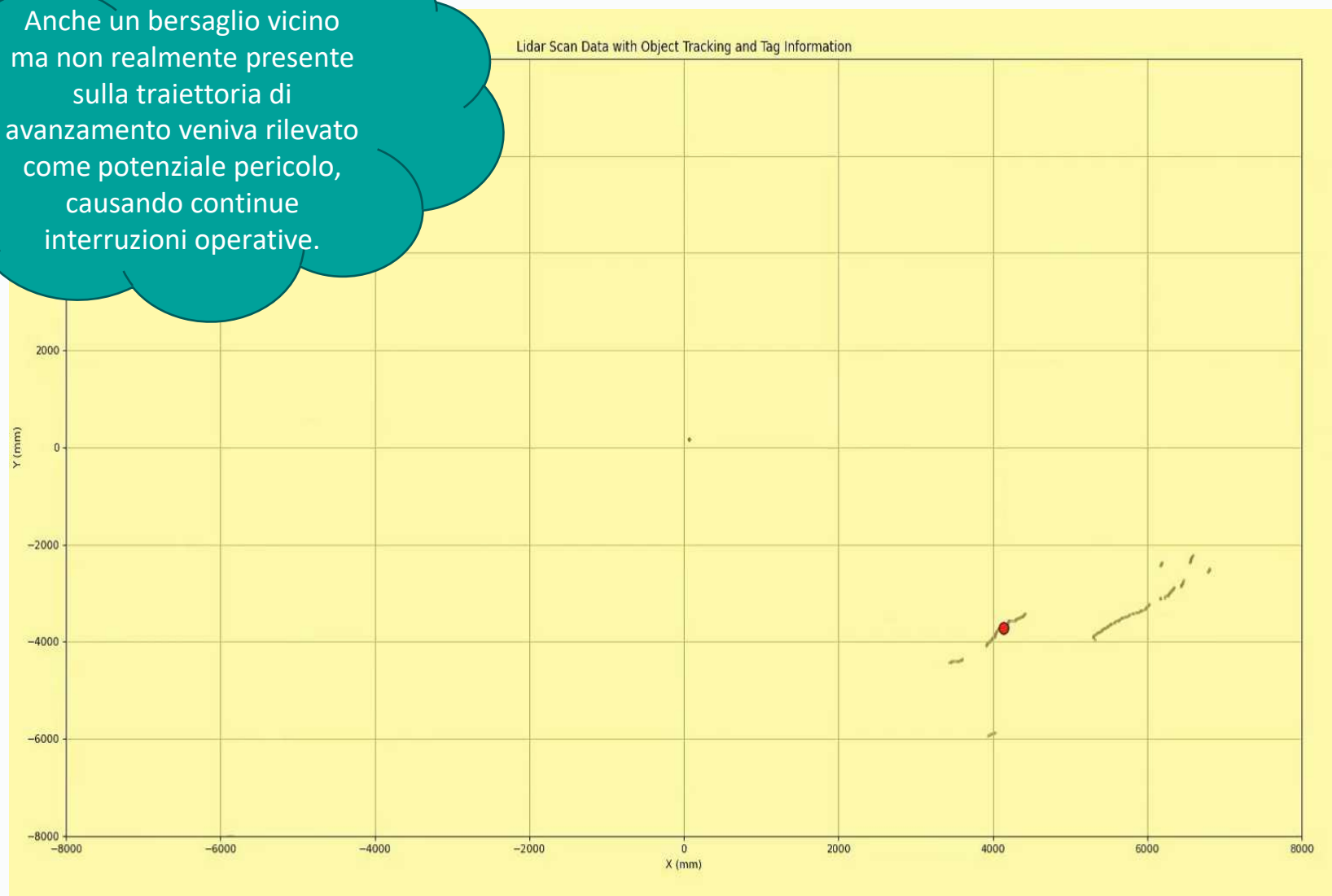
Logica basata sulla distanza mezzo-ostacolo



Logica basata sulla traiettoria del mezzo

Lidar 2D – Applicazione pratica

Anche un bersaglio vicino ma non realmente presente sulla traiettoria di avanzamento veniva rilevato come potenziale pericolo, causando continue interruzioni operative.



Obiettivo: trasformare l'errore in una grandezza gestibile

Gap

- Prove spesso indoor o a corto raggio
- Poca evidenza su luce reale, distanze 4-16 m e target target off-axis
- Per la sicurezza serve un errore quantificabile, non non una misura “assoluta”

Idea chiave

Piccoli errori di corrispondenza tra immagine sinistra e destra diventano errori metrici più grandi quando il target è lontano o laterale nel campo visivo.

Obiettivi

1. Caratterizzare

Errore della Intel RealSense D455 in outdoor al variare di distanza, angolo e luce.

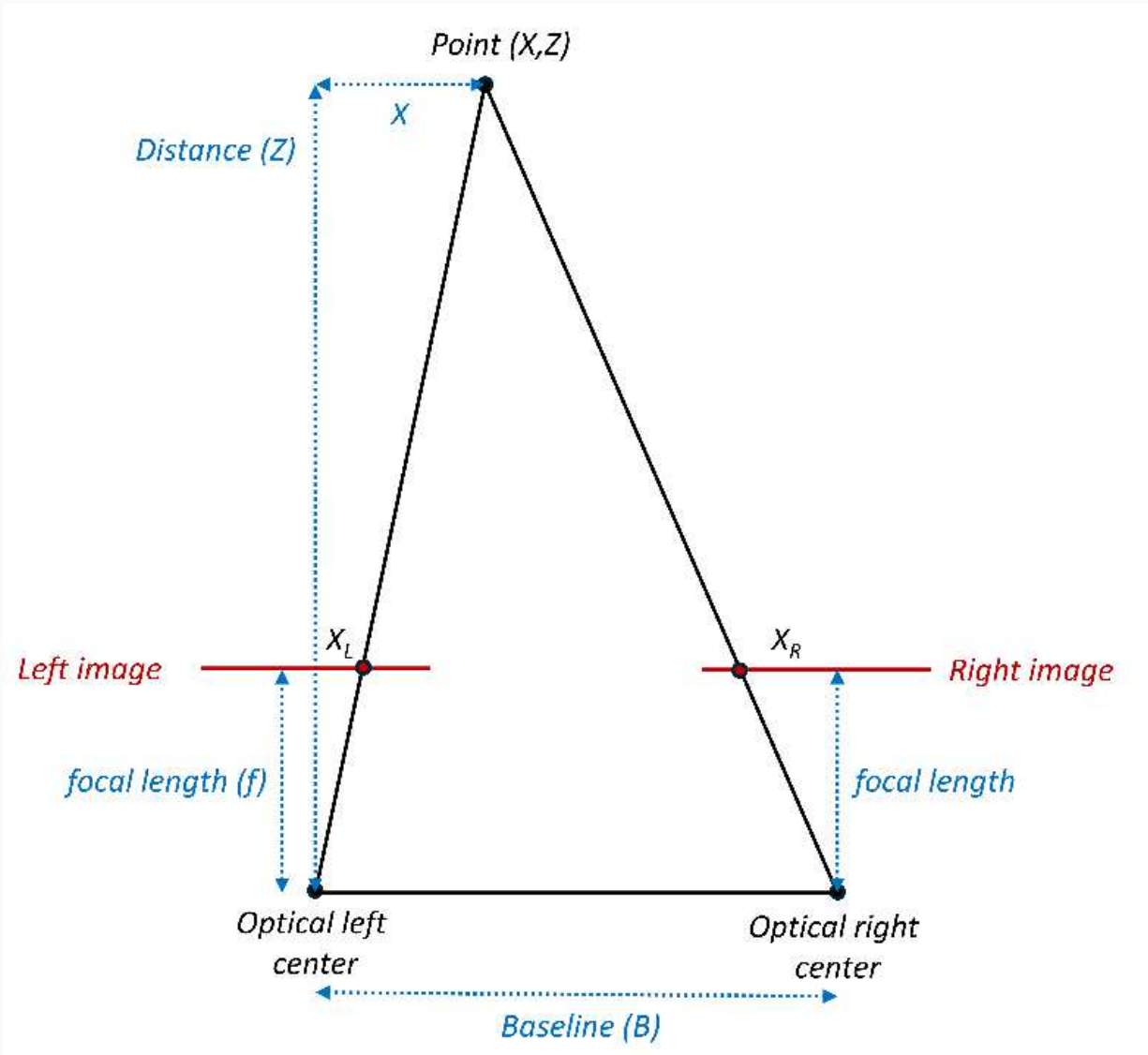
2. Confrontare

Preset high accuracy / high density e laser emitter on/off.

3. Modellare

Stimare una modellazione dell'errore per correggere la misura o aumentare i margini.

Dalla disparità alla profondità: dove nasce l'errore



Perchè è importante?

Più l'oggetto è lontano o laterale, più la misura della distanza può diventare imprecisa; quindi il modello considera sia la distanza sia l'angolo con cui la camera osserva l'oggetto.



Protocollo di prova in campo: distanze, angoli e luce

Protocollo sperimentale in campo



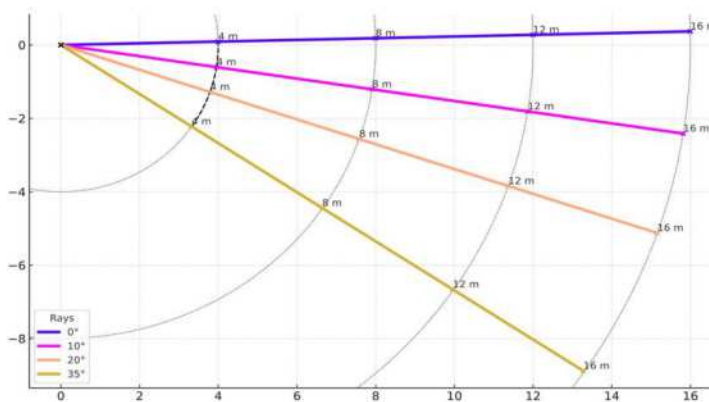
Campo di prova e pannello target



Pannello planare 1 m²



Punti prova su mappa



Schema distanze/angoli

Target

Pannello 1 m² in ambiente agricolo reale

Distanze

4, 8, 12 e 16 m

Angoli

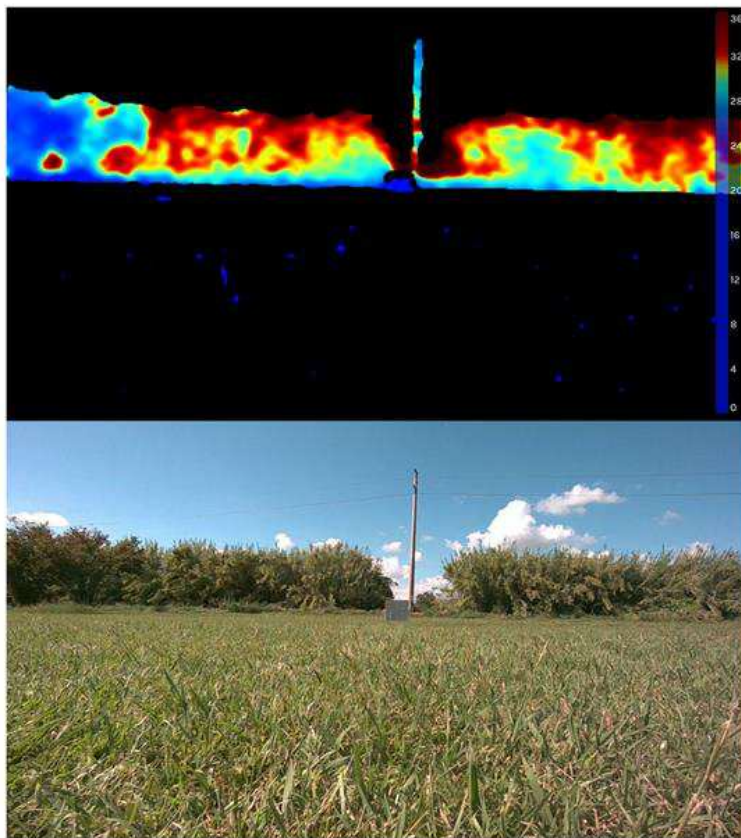
0, 10, 20 e 35 gradi nel field of view

Condizioni

Daylight e sunset; HA/HD; laser on/off

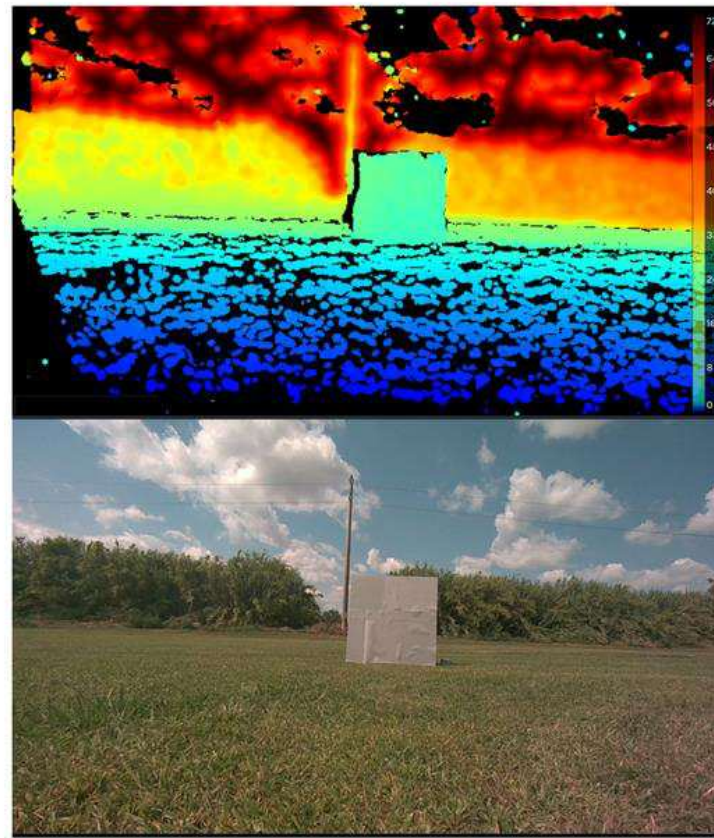
128 test complessivi

High Density, High Accuracy e laser: trade-off operativi



High Density

Meno misure ma più selettive, con rischio di pochi pixel validi a lungo raggio.



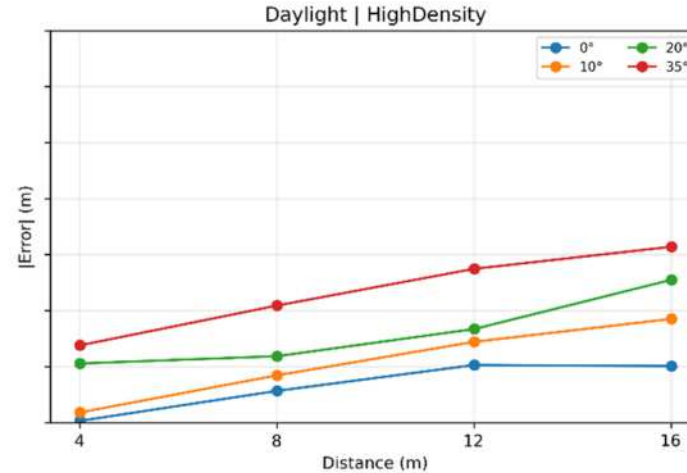
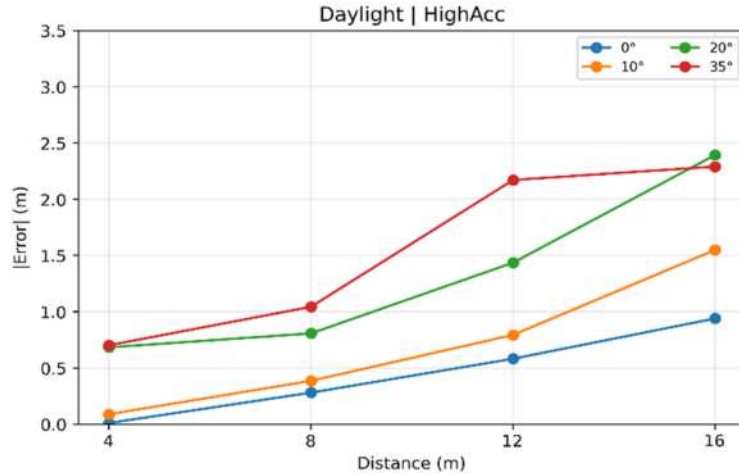
High Accuracy

Maggiore copertura e più pixel validi, utile per ridurre buchi nella depth map.

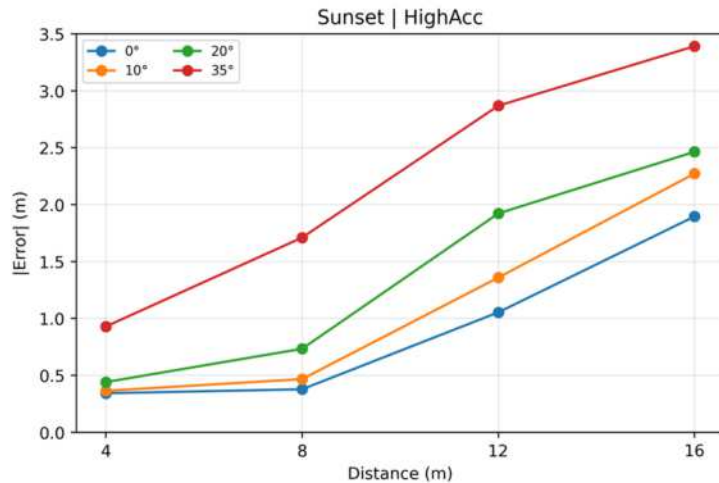
Laser non
significativo

L'errore cresce dopo 8 m e verso i bordi del FoV

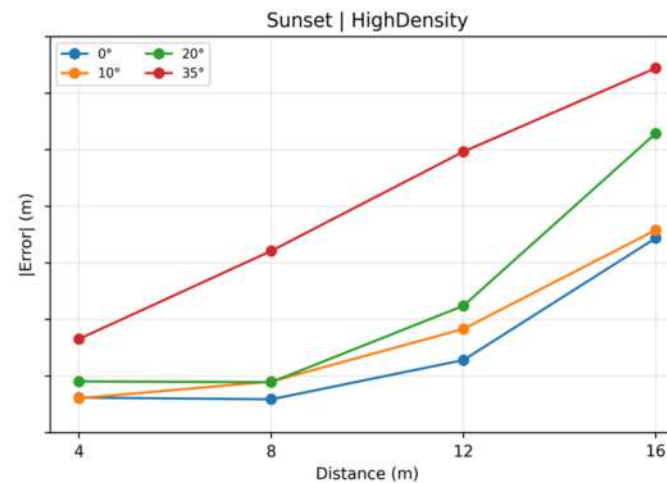
Errore di distanza al variare di distanza e angolo



Daylight - High Accuracy



Daylight - High Density



Sunset - High Accuracy

Sunset - High Density

Risultato operativo

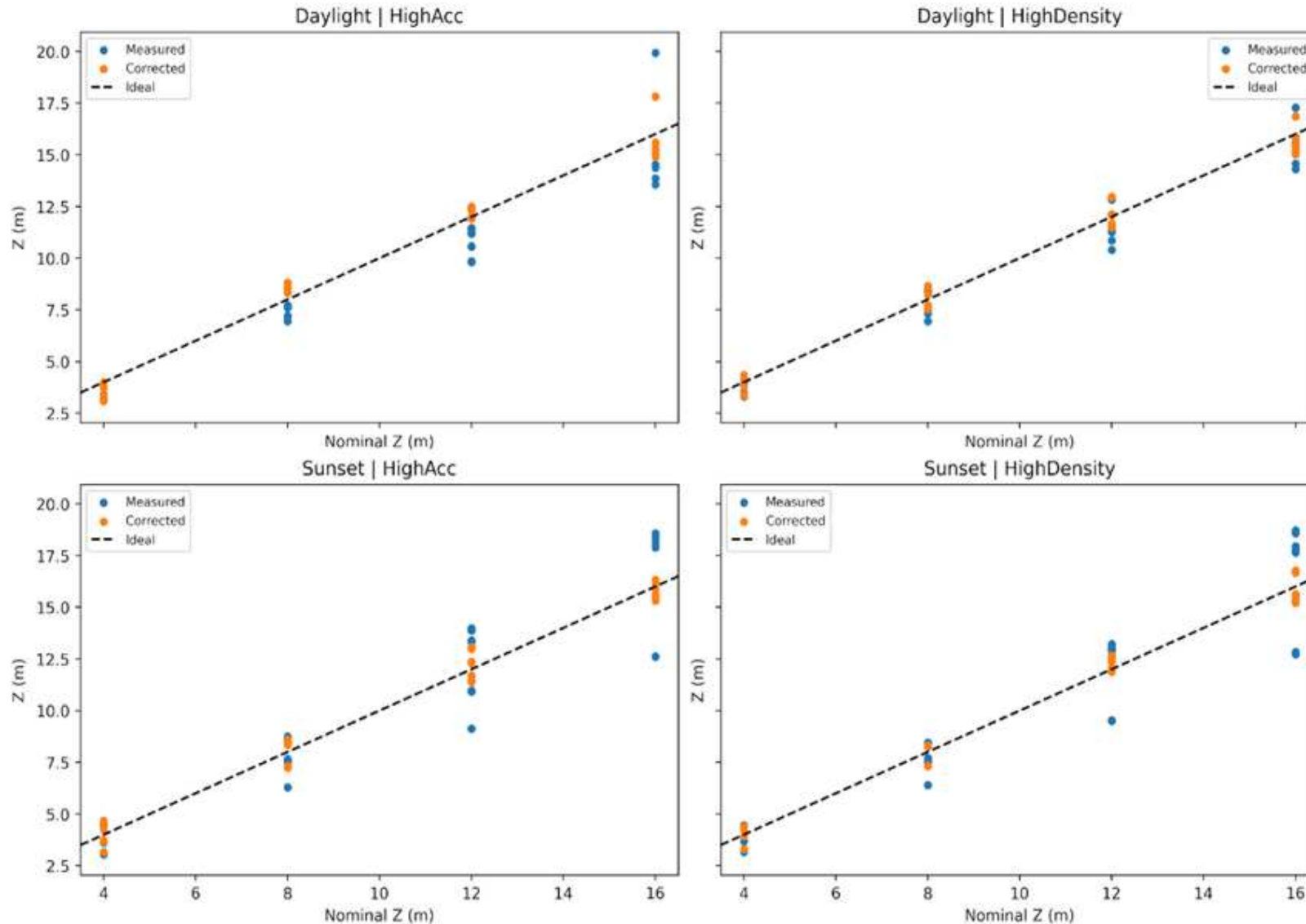
- Area centrale: prestazioni più stabili, soprattutto a corto raggio
- Dopo 8 m l'errore tende ad aumentare in modo marcato
- A 16 m e 35 gradi sono stati osservati errori fino a circa 3.5 m

Sottostima e
sovrastima

Safety takeaway

Una soglia fissa di distanza non è sufficiente: il margine deve dipendere da distanza, angolo e condizioni operative.

Distanze corrette piu vicine al layout reale



Prima

Dati grezzi con deviazioni sistematiche, soprattutto a lungo raggio e in posizioni laterali.

Dopo

Correzione del bias: le stime si avvicinano alla diagonale ideale.

Uso pratico

Decisioni piu conservative quando il modello prevede maggiore incertezza.

Come usare il risultato nel progetto di macchine agricole

1. Camera placement

La regione critica per frenata e rilevamento persone deve stare vicino all'asse ottico.

2. Margini adattivi

Le soglie devono aumentare quando distanza e angolo prevedono errore elevato.

3. Pixel validi

Monitorare hole rate e densità dei punti, non solo la distanza media.

4. Campo visivo periferico

Evitare affidamento esclusivo al bordo dell'immagine per decisioni safety-critical.

5. Copertura ampia

Per visione laterale: camere multiple con overlap invece di un solo sensore ai bordi.

6. Sensor fusion

Combinare RGB-D con LiDAR, radar o riconoscimento RGB quando il rischio aumenta.

Principio: non trattare la profondità come uniformemente affidabile in tutta l'immagine.

Caratterizzazione in ambiente esterno e modellazione dell'errore di una camera stereo RGB-D per il rilevamento di ostacoli fissi e mobili

Pierluigi Rossi, **Elisa Cioccolo**, Maurizio Cutini, Danilo Monarca,
Daniele Puri, Davide Gattamelata, Leonardo Vita
Università della Tuscia - DAFNE | CREA | INAIL

Grazie per l'attenzione
elisa.cioccolo@unitus.it



AMBIENTE LAVORO

36° Salone della salute e sicurezza nei luoghi di lavoro

26 • 28 Maggio 2026 • **Bologna**