



Vittorio Casella

Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura

Università di Pavia

Benvenuti!

Seminario *La Geomatica per il Monitoraggio degli Edifici,
delle Infrastrutture e dell'Ambiente*

Collegio Volta - Università di Pavia - 21 ottobre 2019

* Contatti:- vittorio.casella@unipv.it

Vittorio Casella - *La qualità dei dati nel monitoraggio geomatico* - Pavia, 21 ottobre 2019

Benvenuti!!

Numero di iscritti ben oltre le previsioni: 113 partecipanti in totale

- 30 Ingegneri
- 17 Geologi
- 9 Geometri
- 28 tramite Eventbrite e da vari contatti
- 18 studenti del corso Istituto Tecnico Superiore per il Made in Italy - Fondazione "Pavia Città della Formazione"
- 7 relatori
- 4 di Spektra - Trimble

Vittorio Casella - *La qualità dei dati nel monitoraggio geomatico* - Pavia, 21 ottobre 2019

Il tema

La Geomatica per il Monitoraggio degli Edifici, delle Infrastrutture e dell'Ambiente

Geomatica: Geodesia, Topografia, GPS/GNSS, Fotogrammetria, Cartografia, GIS

Vittorio Casella - *La qualità dei dati nel monitoraggio geomatico* - Pavia, 21 ottobre 2019



Vittorio Casella

Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura

Università di Pavia

La qualità dei dati nel monitoraggio geomatico

*Seminario La Geomatica per il Monitoraggio degli Edifici,
delle Infrastrutture e dell'Ambiente*

Collegio Volta - Università di Pavia - 21 ottobre 2019

* **Contatti:- vittorio.casella@unipv.it**

Vittorio Casella - *La qualità dei dati nel monitoraggio geomatico* - Pavia, 21 ottobre 2019

Qualità dei dati

Qualità dei dati nel monitoraggio

- Che cos'è?
- A chi serve? Il terreno ha avuto un cedimento di 8mm? Di quanto si è allargata la fenditura presente nel pilastro? Di quanto è aumentata la superficie del pilastro scrostata?

Risoluzione: numero di elementi in cui viene scomposta la realtà

Precisione: dispersione delle misure ripetute effettuate nelle stesse condizioni e in una finestra di tempo relativamente breve

Ripetibilità: congruenza di misure fatte a distanza di tempo; riduzione allo stesso SR (sistema di riferimento)

Determinazione della qualità effettuata non in modo induttivo ma attraverso evidenze empiriche

1. Risoluzione

Risoluzione

Risoluzione: numero di elementi in cui viene scomposta la realtà

Immagini digitali

Nuvole di punti

Modelli digitali del terreno

1.1 Immagini digitali

Immagini digitali

Si tratta di mosaici costituiti da tessere quadrate aventi colore costante



Tessere piccole: elevato grado di dettaglio

Tratto da ortofoto del Comune di Pavia, **risoluzione al suolo 10 cm**

Immagini digitali - 2

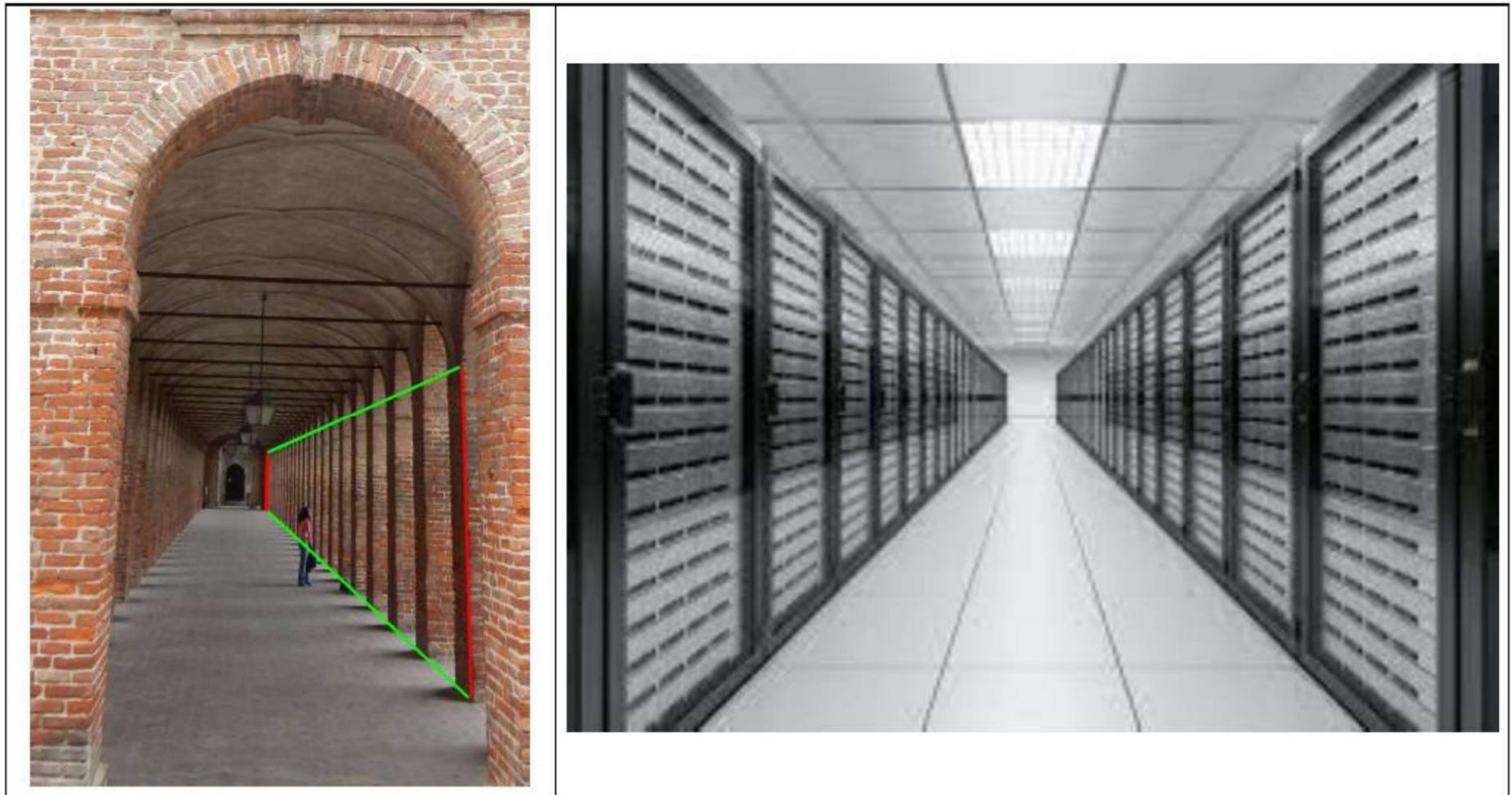
Risoluzione al suolo o sull'oggetto

Corretta georeferenziazione: il mosaico, nella sua interezza, è correttamente collocato nel mondo?

Corretta georeferenziazione del singolo pixel

- Le immagini non sono carte
- Le ortofoto sono il prodotto di un calcolo e non sono perfette

Le immagini non sono carte



Vittorio Casella - *La qualità dei dati nel monitoraggio geomatico* - Pavia, 21 ottobre 2019

Le ortofoto

Ortofoto: immagini aventi l'aspetto di una fotografia e le proprietà di una carta

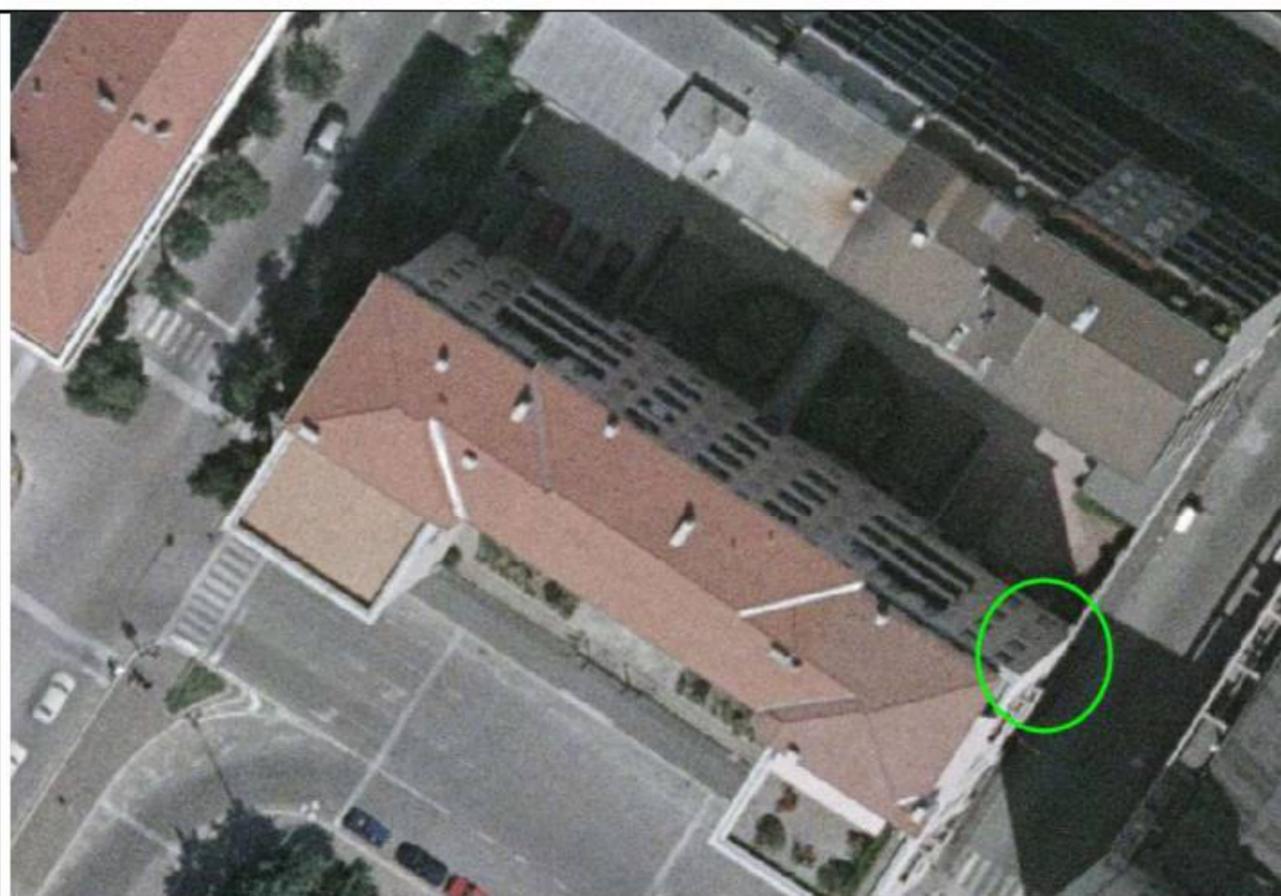
Ma sono ottenute con il calcolo e in esse si propagano gli errori contenuti nei dati di ingresso

Vittorio Casella - *La qualità dei dati nel monitoraggio geomatico* - Pavia, 21 ottobre 2019

Errori nelle ortofoto - 1

Tutti i punti dello spigolo dovrebbero avere la stessa posizione planimetrica

Errore planimetrico equivalente: 6 m



Vittorio Casella - *La qualità dei dati nel monitoraggio geomatico* - Pavia, 21 ottobre 2019

Errori nelle ortofoto - 2

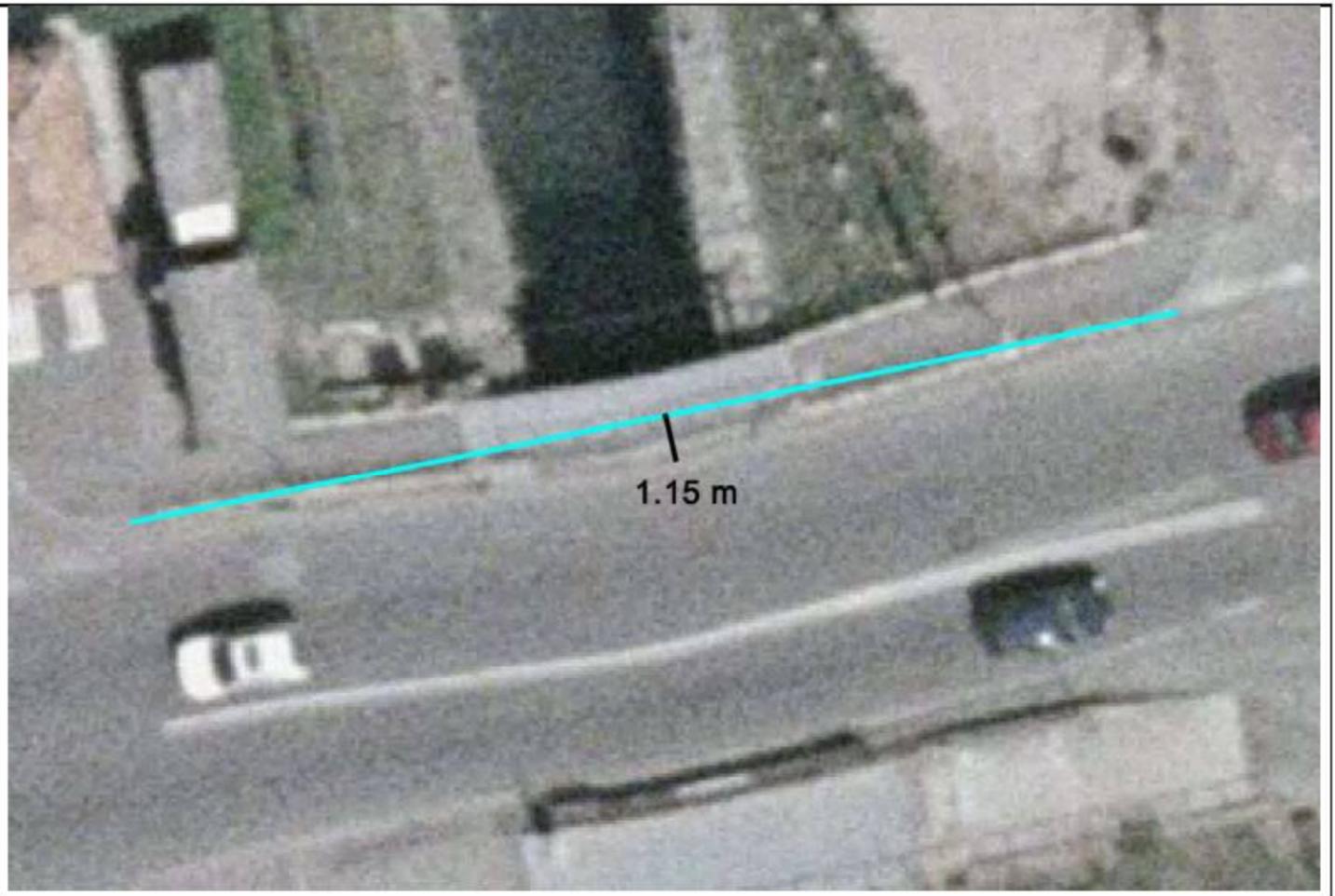
Il bordo del marciapiede dovrebbe essere rettilineo



Vittorio Casella - *La qualità dei dati nel monitoraggio geomatico* - Pavia, 21 ottobre 2019

Errori nelle ortofoto - 3

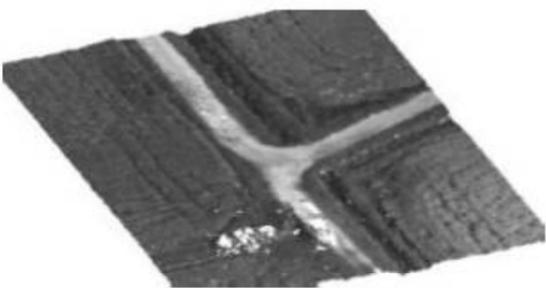
Errore planimetrico equivalente **minimo:**
1.15 m



1.2 Nuvole di punti

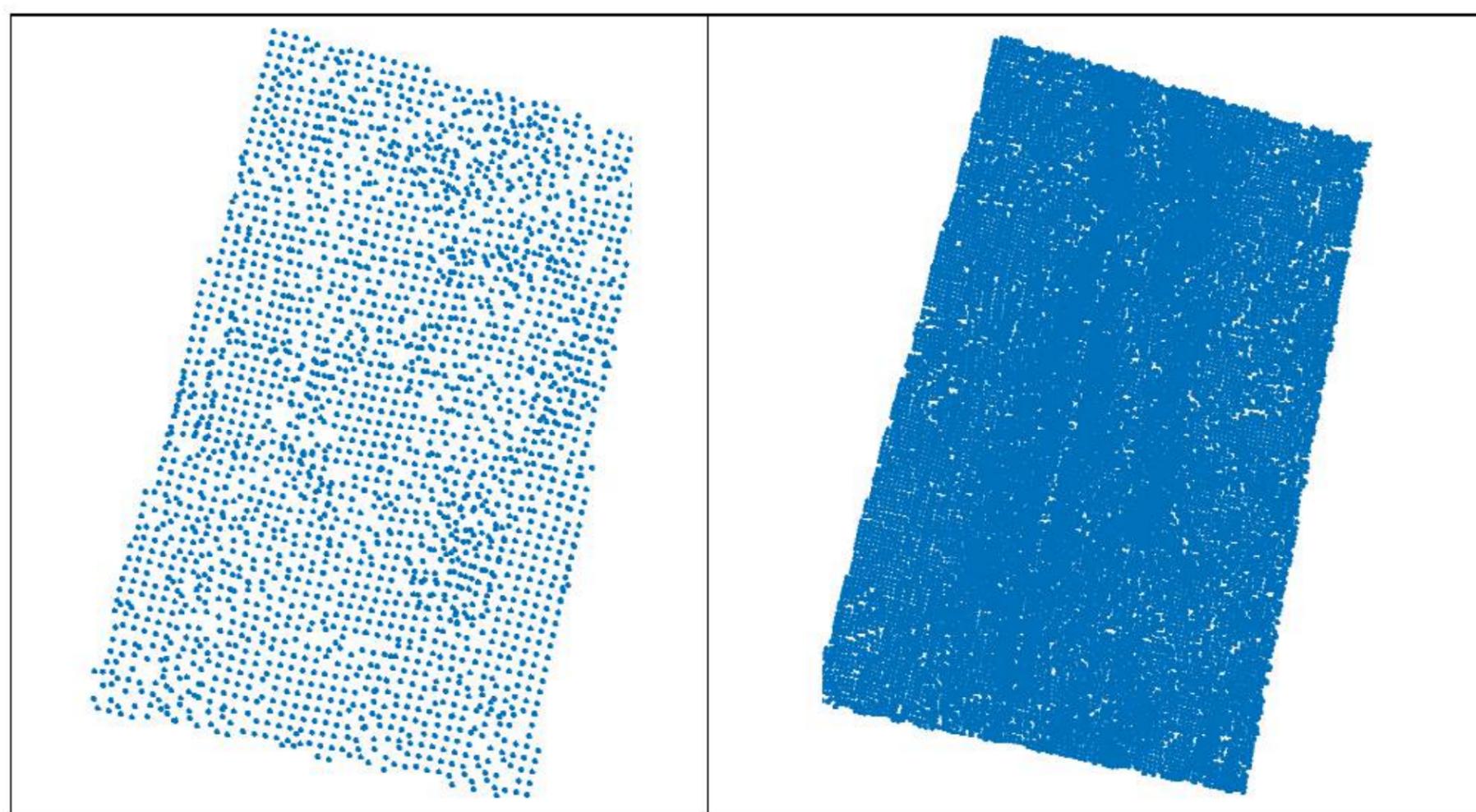
Nuvole di punti

Punti irregolari di cui si conoscono x, y e z; talvolta anche il colore

		
Banda green di una camera Sequoia; risoluzione al suolo circa 9 cm	Nuvola con colorazione RGB, acquisita da Sony A7; risoluzione al suolo circa 1,8 cm	

Vittorio Casella - *La qualità dei dati nel monitoraggio geomatico* - Pavia, 21 ottobre 2019

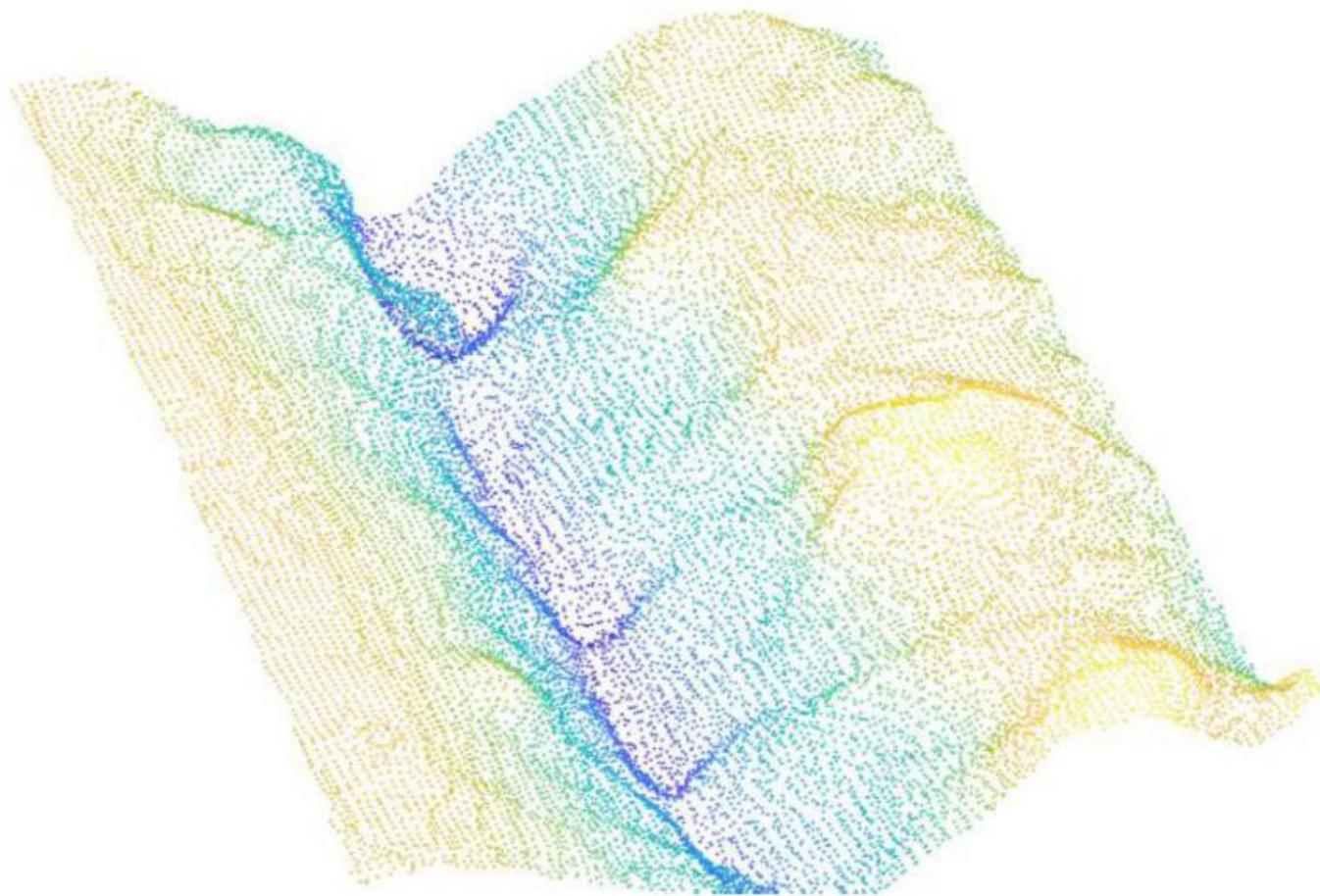
Nuvole di punti - 2



Disposizione irregolare dei punti

Vittorio Casella - *La qualità dei dati nel monitoraggio geomatico* - Pavia, 21 ottobre 2019

Nuvole di punti - 2



Nuvola 2

Come si misura la risoluzione

Si considera una zona abbastanza ampia e piena. Si indica con A la sua area [m^2]. Si indica con n_p il numero dei punti contenuti. Il numero dei punti per m^2 è

$$n = \frac{n_p}{A}$$

Ad esempio: 100 punti per m^2 . Attenzione che la densità varia col posto

Come si quantifica linearmente? Come il lato d di quadrati che, presi in numero n , hanno una area di $1 m^2$. Si deve risolvere l'equazione

$$d^2 n = 1$$

$$d = \sqrt{\frac{1}{n}}$$

Problemi con le nuvole

La densità è un aspetto

Qual è la precisione plano-altimetrica dei punti?

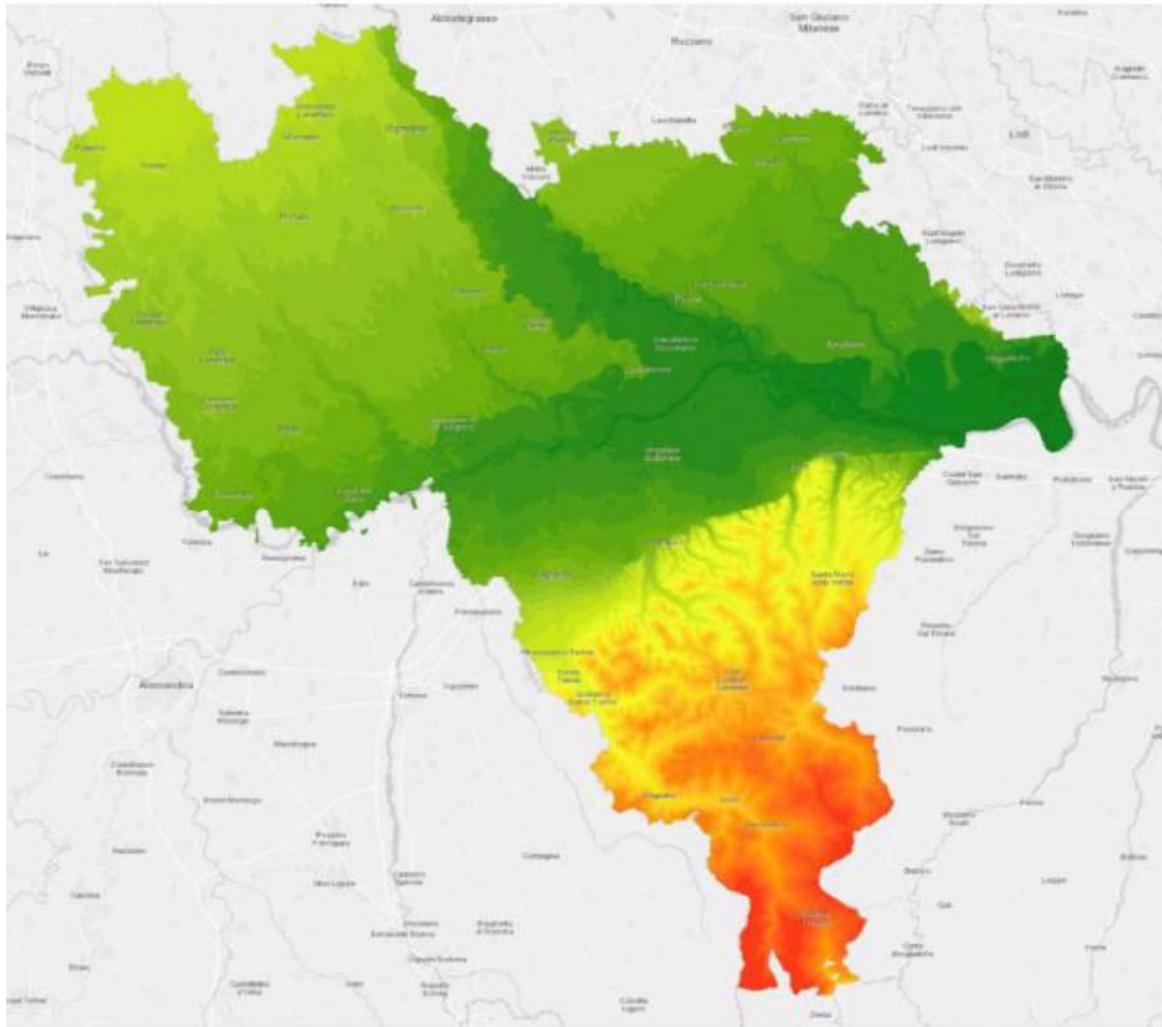
Qual è la coerenza fra le varie parti della nuvola? In genere essa viene generata come una sorta di *collage*.

La georeferenziazione globale è corretta? La nuvola è correttamente collocata nel mondo?

Le quote sono ortometriche, ellissoidiche o altro?

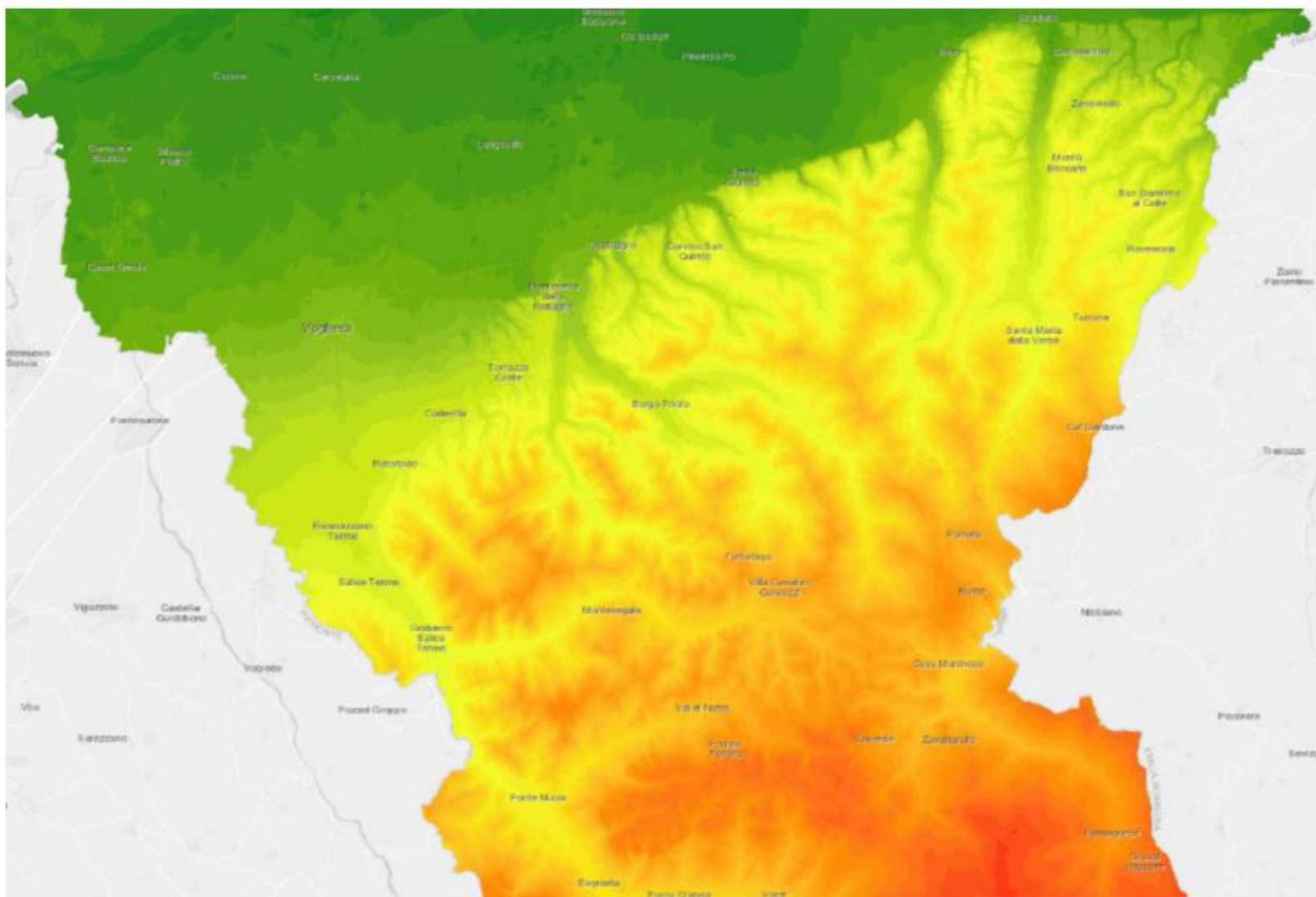
1.3 Modelli digitali del terreno

Modelli digitali del terreno



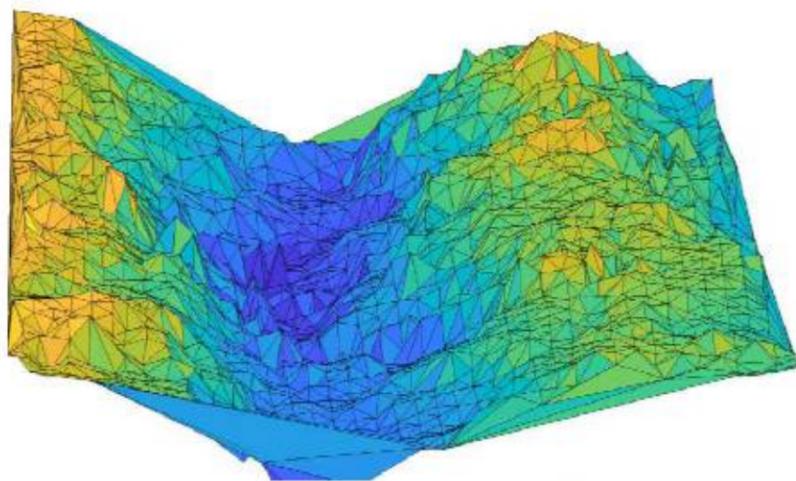
Vittorio Casella - *La qualità dei dati nel monitoraggio geomatico* - Pavia, 21 ottobre 2019

Modelli digitali del terreno - 2

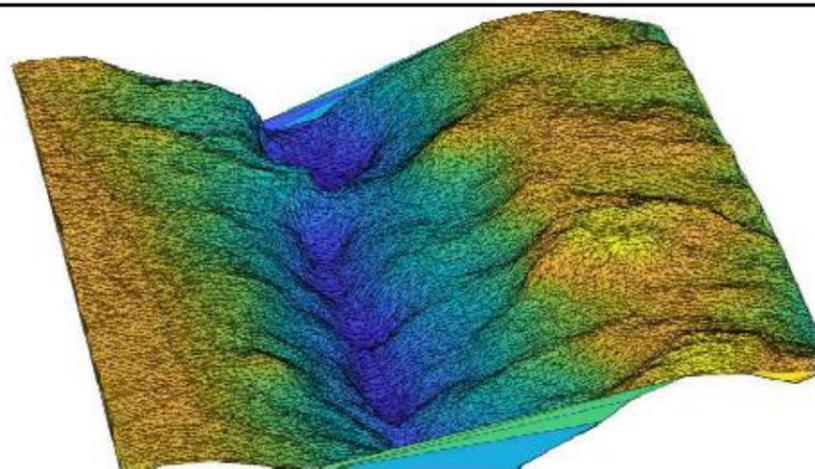


Vittorio Casella - *La qualità dei dati nel monitoraggio geomatico* - Pavia, 21 ottobre 2019

Modelli TIN

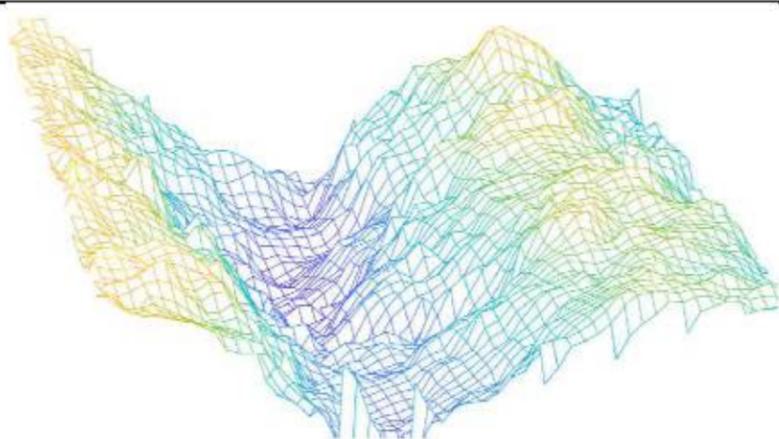


Ricostruzione del terreno con una superficie a maglia triangolare

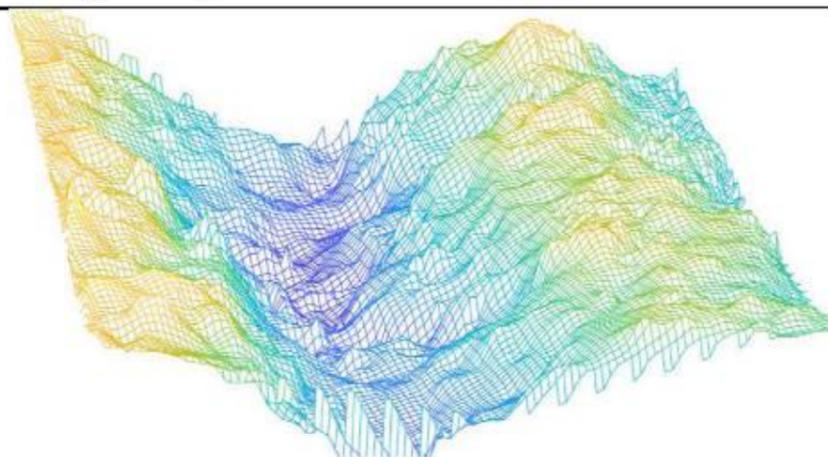


Modelli GRID

Terreno ricostruito con una superficie a maglia quadrata

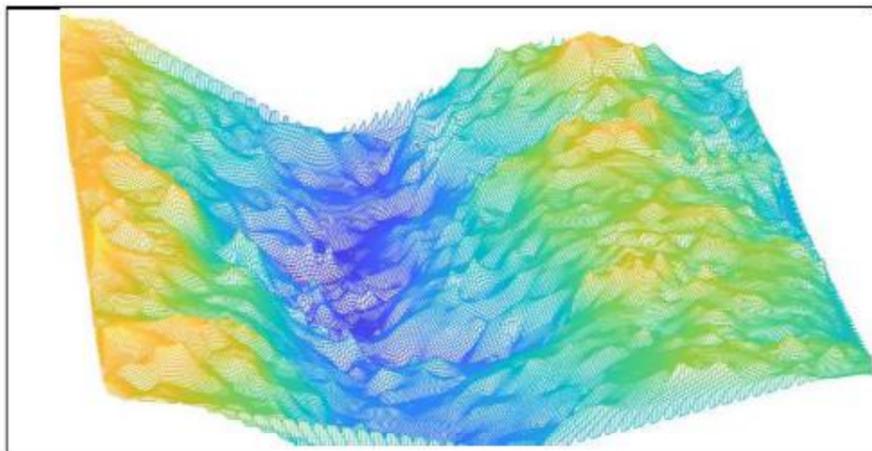


Da Nuvola 1 - modello grid passo 10 cm

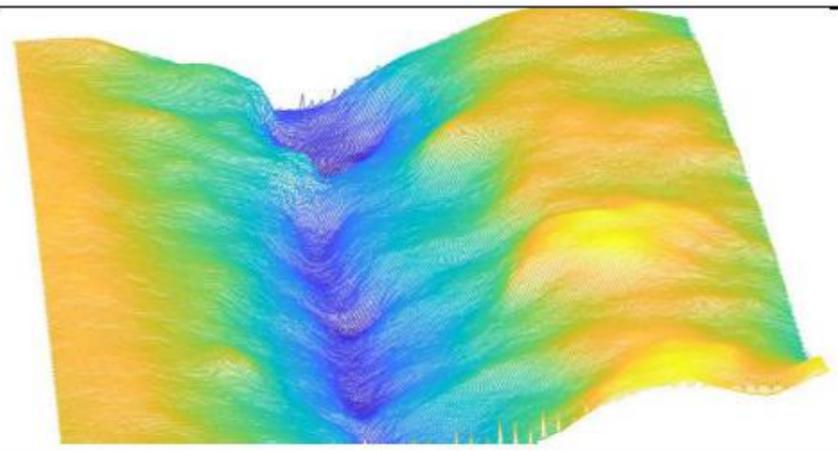


Da Nuvola 1 - modello grid passo 5 cm

Modelli GRID - 2



Da Nuvola 1 - modello grid passo 2 cm



Da Nuvola 2 - modello grid passo 2 cm

Modelli GRID - 3

Anche per i modelli digitali del terreno, la densità è uno degli aspetti

Conosciamo l'altezza del terreno nel centro di ogni cella; ma con quale precisione?

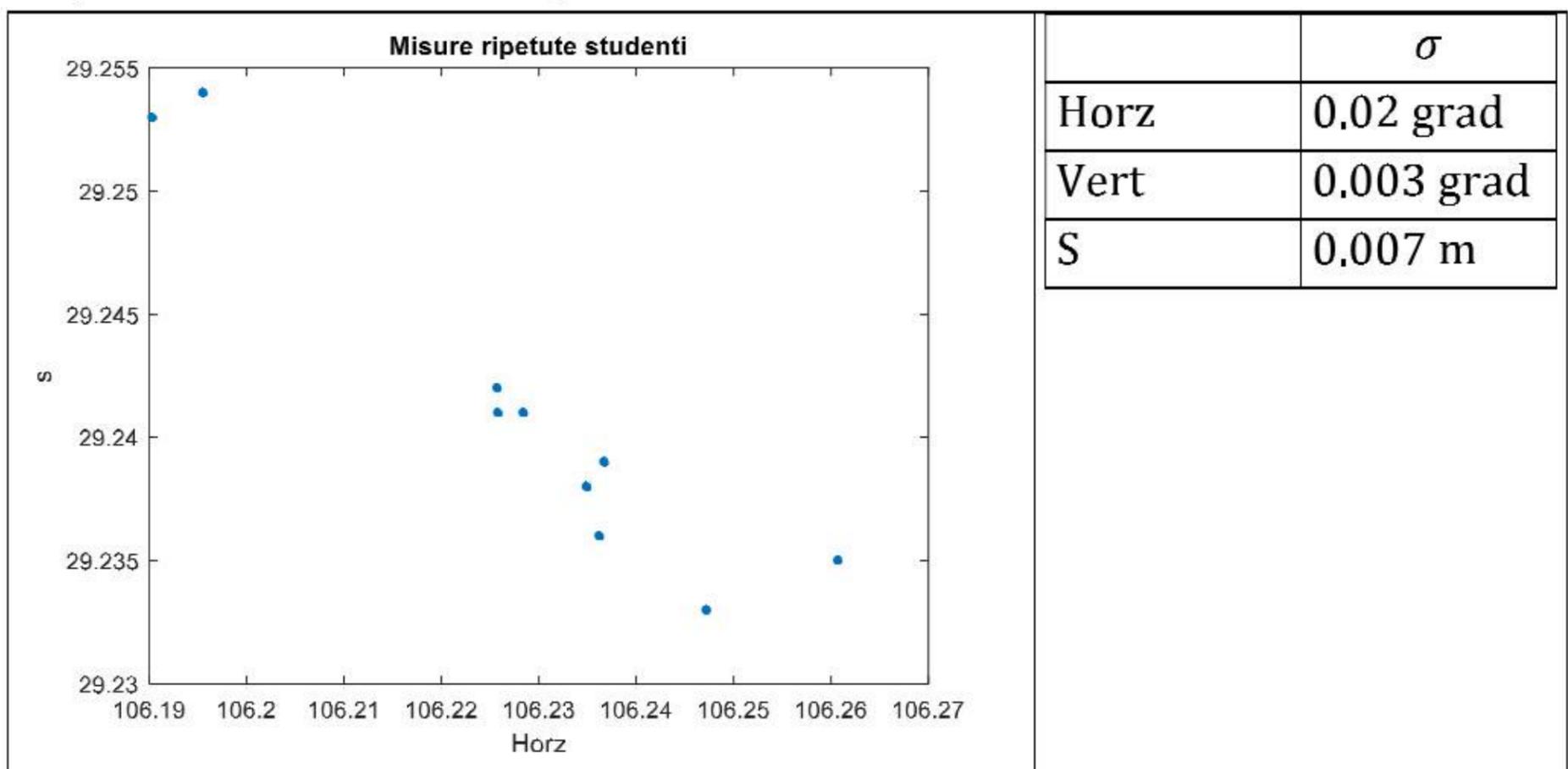
Vedi considerazioni già fatte per le nuvole

2. Precisione

Vittorio Casella - *La qualità dei dati nel monitoraggio geomatico* - Pavia, 21 ottobre 2019

Precisione

Dispersione delle misure ripetute effettuate nelle stesse condizioni



Vittorio Casella - *La qualità dei dati nel monitoraggio geomatico* - Pavia, 21 ottobre 2019

Precisione - 2

Le precisioni riportate nel libretto sono come la velocità massima dell'auto

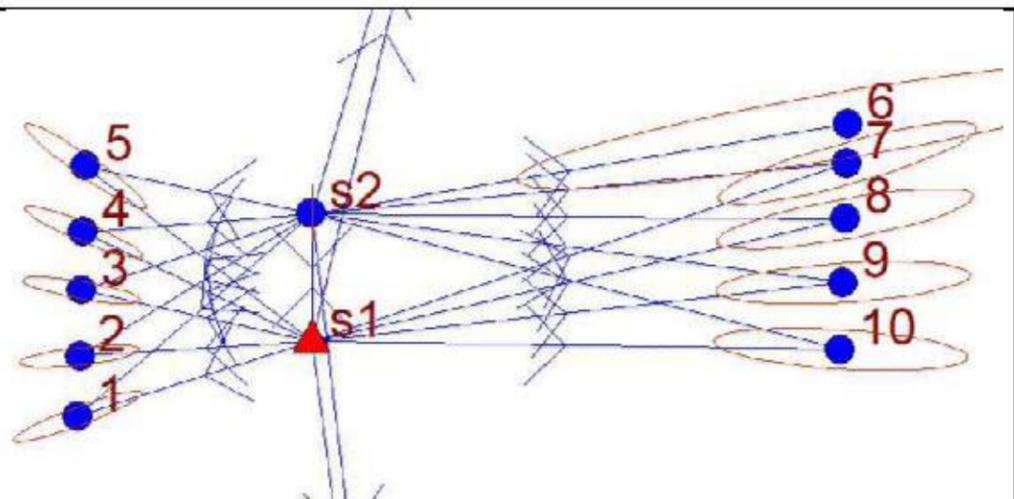
	σ
Horz	0.02 grad
Vert	0.003 grad
S	0.007 m

Le precisioni reali dipendono

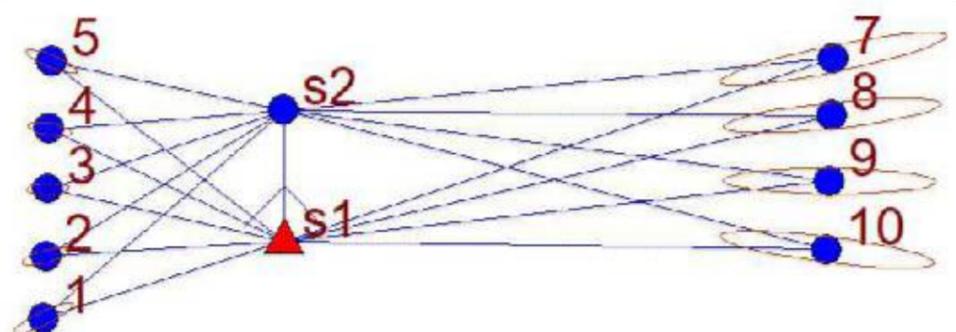
- Dallo strumento
- Dall'operatore
- Dalla geometria del rilievo

Influenza della geometria del rilievo e delle osservazioni usate

Effettuate misure di angoli e distanze da due punti. Compensazione di tutte le osservazioni

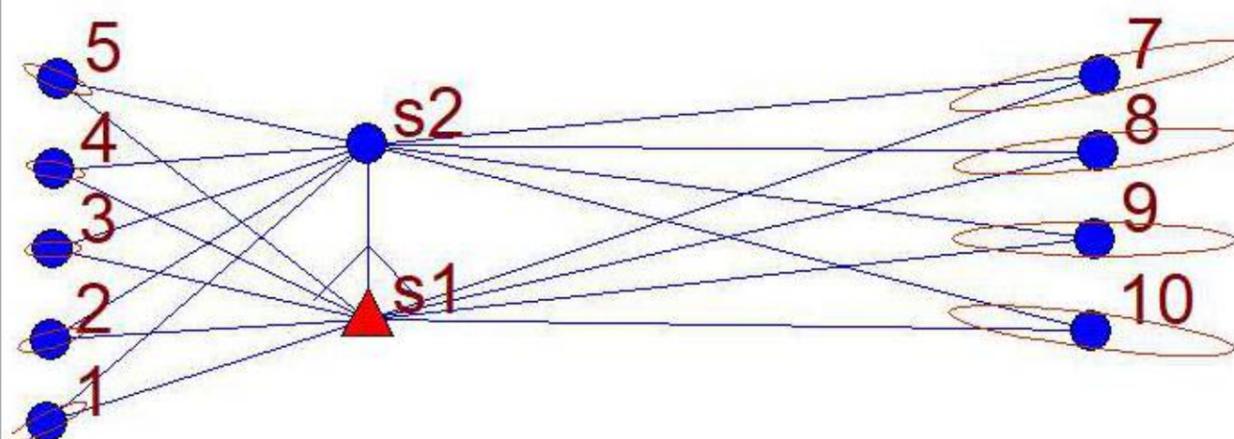


Compensazione delle sole misure angolari

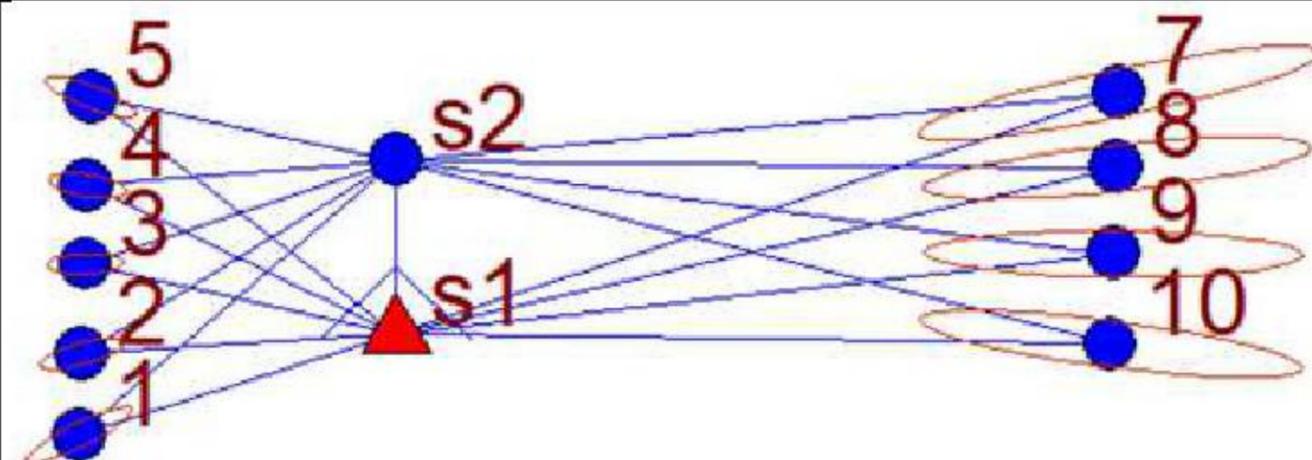


Influenza delle osservazioni usate

Compensazione delle sole misure angolari. Usate le misure nelle due modalità diretta e rovesciata



Solo misure *diritte*



3. Ripetibilità

Ripetibilità

Ripetibilità: congruenza di misure fatte a distanza di tempo; riduzione allo stesso SR (sistema di riferimento)

Monitoraggio di una frana, ad esempio; misure ripetute periodicamente

Caso ideale

- Si possono costruire 2 o più pilastri come quello mostrato
- Abbastanza vicini alla frana
- Su terreno stabile



Ripetibilità - 2

Possibili problemi

- Non si riesce a creare i pilastri abbastanza vicini
- Non vi è garanzia di stabilità
- Non è possibile crearli

Il budget degli errori

Faccio misure oggi

Le ripeto domani

Troverò differenze che sono la *somma* di

- Errori accidentali
- Eventuali spostamenti della frana
- Errori di riposizionamento

4. Quantificare esplicitamente la qualità

Quantificare esplicitamente la qualità

Quantificazione induttiva della precisione: in base alla mia esperienza, le misure che abbiamo fatto in quel contesto hanno una certa qualità

Quantificazione esplicita: in base a dei calcoli dimostro che la qualità delle misure e dei risultati ha un certo livello

La via maestra per farlo è la ridondanza: l'acquisizione di misure in quantità significativamente maggiore del necessario (determinazione delle incognite del problema)

Ma la ridondanza normalmente è lenta e costosa. Talvolta è incompatibile con i vincoli del progetto e/o del teatro in cui esso avviene

Tuttavia, in genere, un bravo geomatico è in grado di mettere in atto strategie per una stima ragionevolmente affidabile della qualità

Vittorio Casella - *La qualità dei dati nel monitoraggio geomatico* - Pavia, 21 ottobre 2019

Quantificare esplicitamente la qualità - 2

Due esempi

- Sulla qualità delle misure topografiche a Pieve di Cento
- Sulla densità e precisione delle misure lidar a Pieve di Cento e/o in Strada Savonesa

Vittorio Casella - *La qualità dei dati nel monitoraggio geomatico* - Pavia, 21 ottobre 2019

4.1 Qualità delle misure topografiche a Pieve di Cento

Vittorio Casella - *La qualità dei dati nel monitoraggio geomatico* - Pavia, 21 ottobre 2019

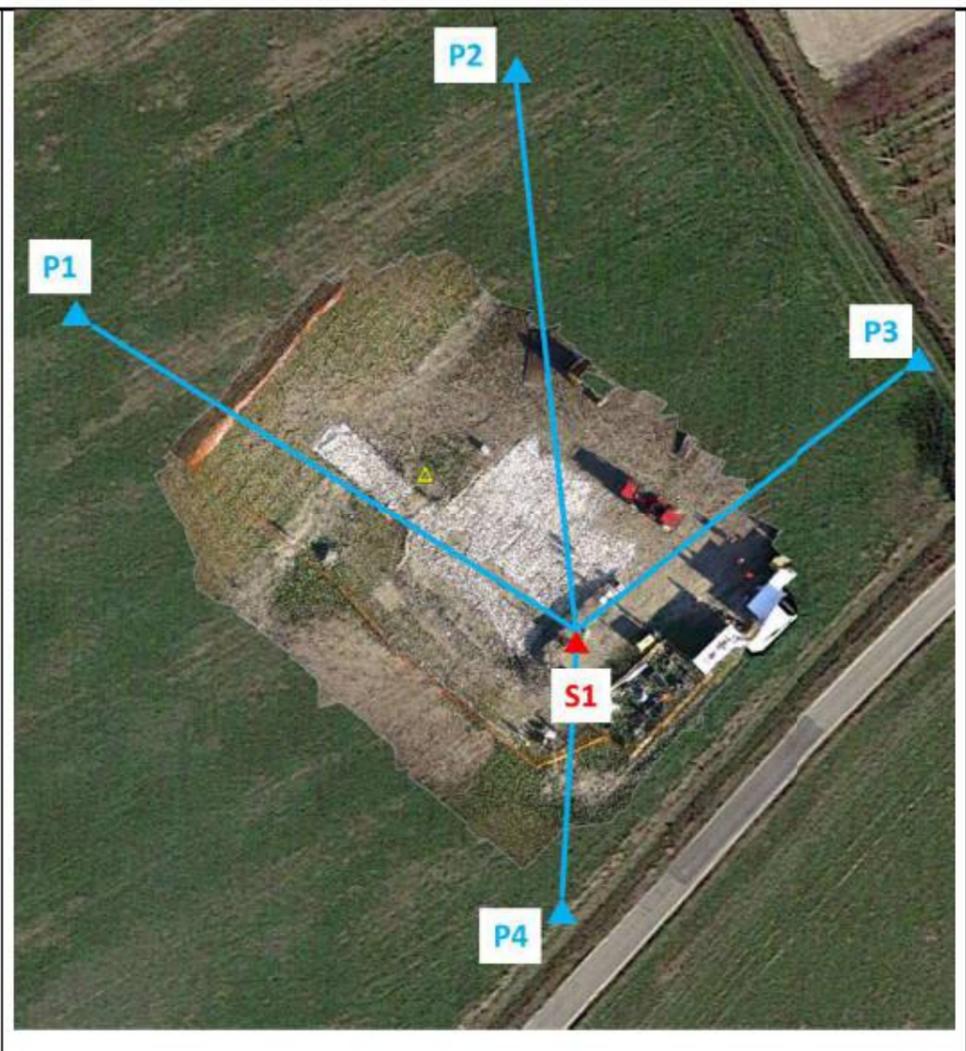
Qualità delle misure topografiche

Vincoli

- Bisognava fare presto
- Non era possibile istituire altre punti di stazione
- Il punto di stazione doveva essere vicino all'area test per motivi di visibilità

Decisioni

- Un solo punto di stazione
- Non si è ipotizzato che fosse stabile



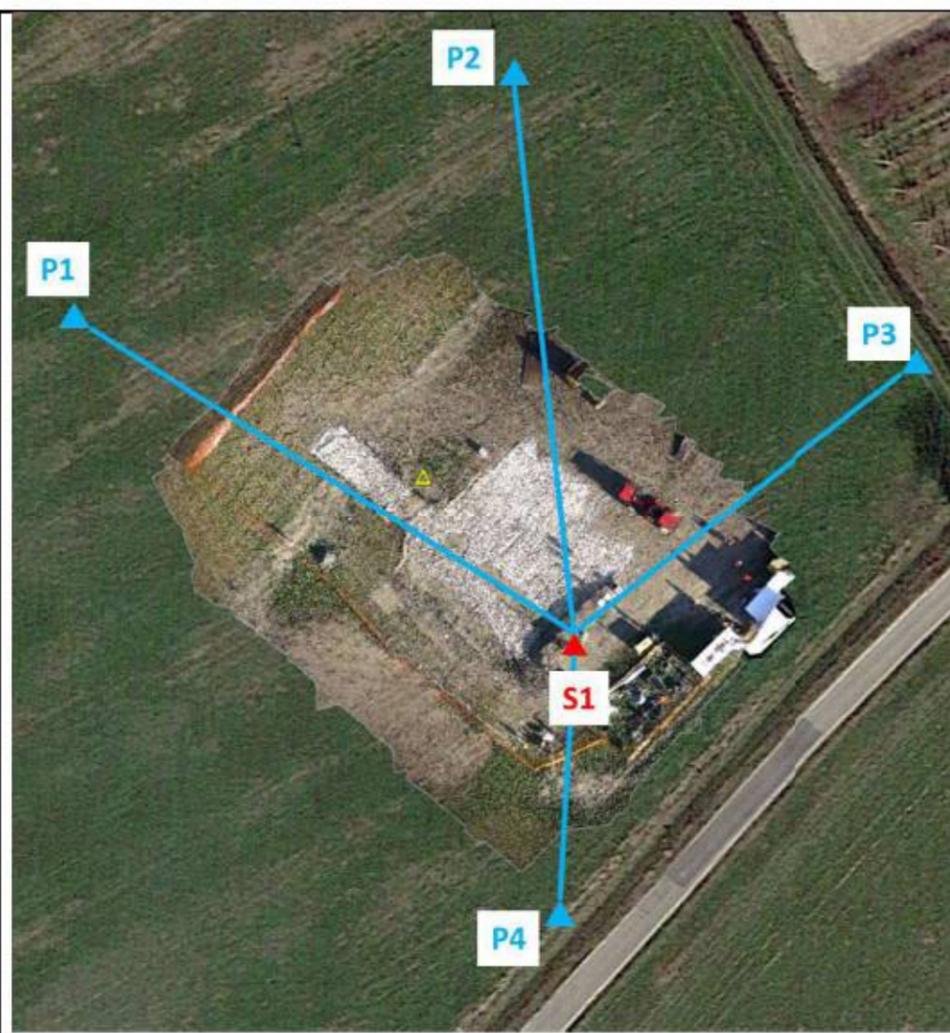
Vittorio Casella - *La qualità dei dati nel monitoraggio geomatico* - Pavia, 21 ottobre 2019

Qualità delle misure topografiche - 2

Chi materializza il SR? I 4 vertici esterni, posti in zona presumibilmente stabile

Perché 4? Non era possibile averne di più. Io avrei preferito 5 o 6

Prima di ogni ciclo di misura: osservazione dei 4 vertici e rideterminazione del punto di stazione



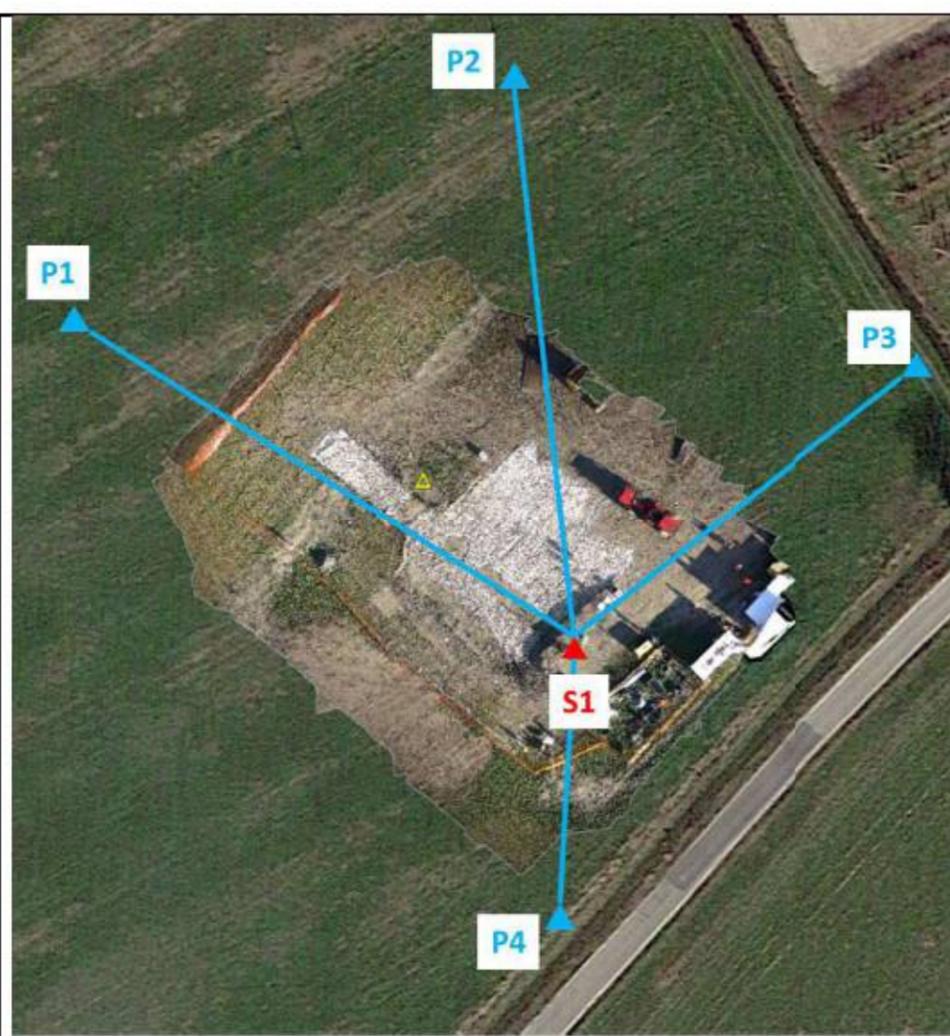
Qualità delle misure topografiche - 3

Che cosa avremmo potuto accertare?

Spostamenti dei 4 vertici

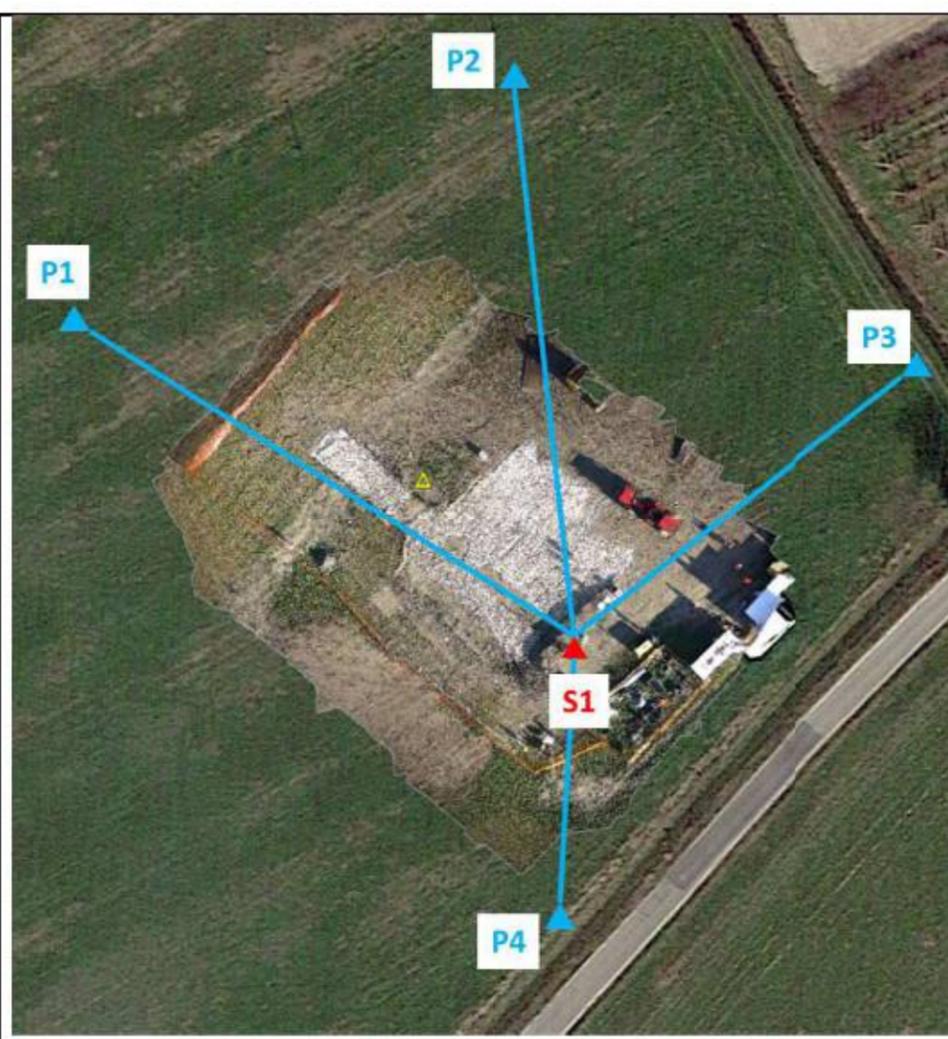
Spostamenti del punto di stazione

Entità degli errori accidentali



Qualità delle misure topografiche - Risultati

S1	X [m]	Y [m]	Z [m]
09:10	1000.000	1000.000	50.000
10:14	1000.000	1000.000	50.000
10:34	1000.000	999.999	50.000
10:58	1000.000	1000.000	50.000
11:39	1000.000	1000.000	50.000
12:33	1000.000	1000.000	50.000
12:51	1000.000	1000.000	50.000
14:10	1000.000	999.999	50.000
14:23	1000.000	1000.000	50.001
14:43	1000.000	1000.000	50.000
15:23	1000.000	1000.000	50.000
15:36	1000.000	1000.000	50.000
16:49	1000.000	1000.000	50.000
17:02	1000.000	999.999	50.000
17:17	1000.001	1000.000	50.000
17:29	1000.000	1000.000	50.000



Varie determinazioni del punto di stazione

Vittorio Casella - *La qualità dei dati nel monitoraggio geomatico* - Pavia, 21 ottobre 2019

Qualità delle misure topografiche - Conclusioni

4 punti di rete: stabili

Punto di stazione stabile: terreno elastico

Errori accidentali < 1 mm

Chiara indicazione sulla precisione delle misure dei marker sul pattino

S1	X [m]	Y [m]	Z [m]
09:10	1000.000	1000.000	50.000
10:14	1000.000	1000.000	50.000
10:34	1000.000	999.999	50.000
10:58	1000.000	1000.000	50.000
11:39	1000.000	1000.000	50.000
12:33	1000.000	1000.000	50.000
12:51	1000.000	1000.000	50.000
14:10	1000.000	999.999	50.000
14:23	1000.000	1000.000	50.001
14:43	1000.000	1000.000	50.000
15:23	1000.000	1000.000	50.000
15:36	1000.000	1000.000	50.000
16:49	1000.000	1000.000	50.000
17:02	1000.000	999.999	50.000
17:17	1000.001	1000.000	50.000
17:29	1000.000	1000.000	50.000

Vittorio Casella - *La qualità dei dati nel monitoraggio geomatico* - Pavia, 21 ottobre 2019

4.2 Densità e qualità delle misure laser scanner

Vittorio Casella - *La qualità dei dati nel monitoraggio geomatico* - Pavia, 21 ottobre 2019

I pannelli

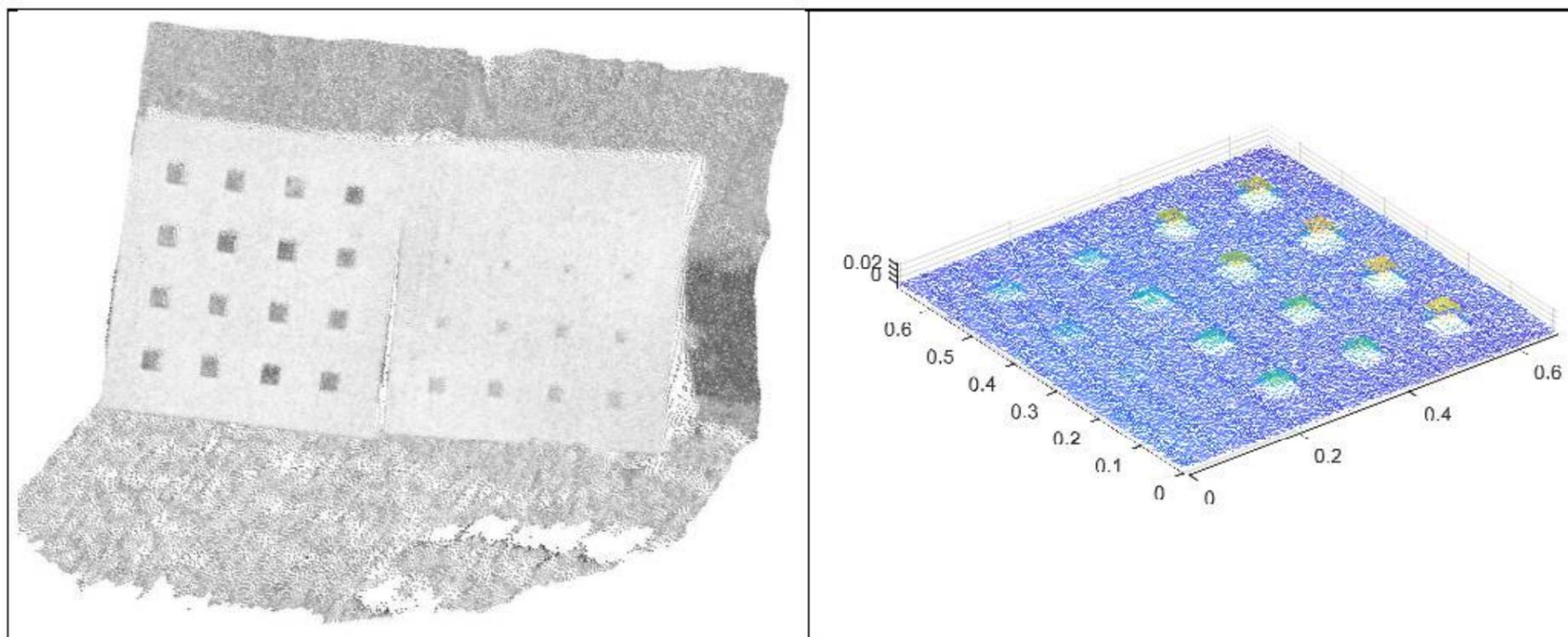


Due pannelli

- 1 - parallelepipedi di 3 cm di lato e altezze crescenti, da pochi mm a 3 cm
- 2 - altezza costante 1 cm e diversi valori per la base

Vittorio Casella - *La qualità dei dati nel monitoraggio geomatico* - Pavia, 21 ottobre 2019

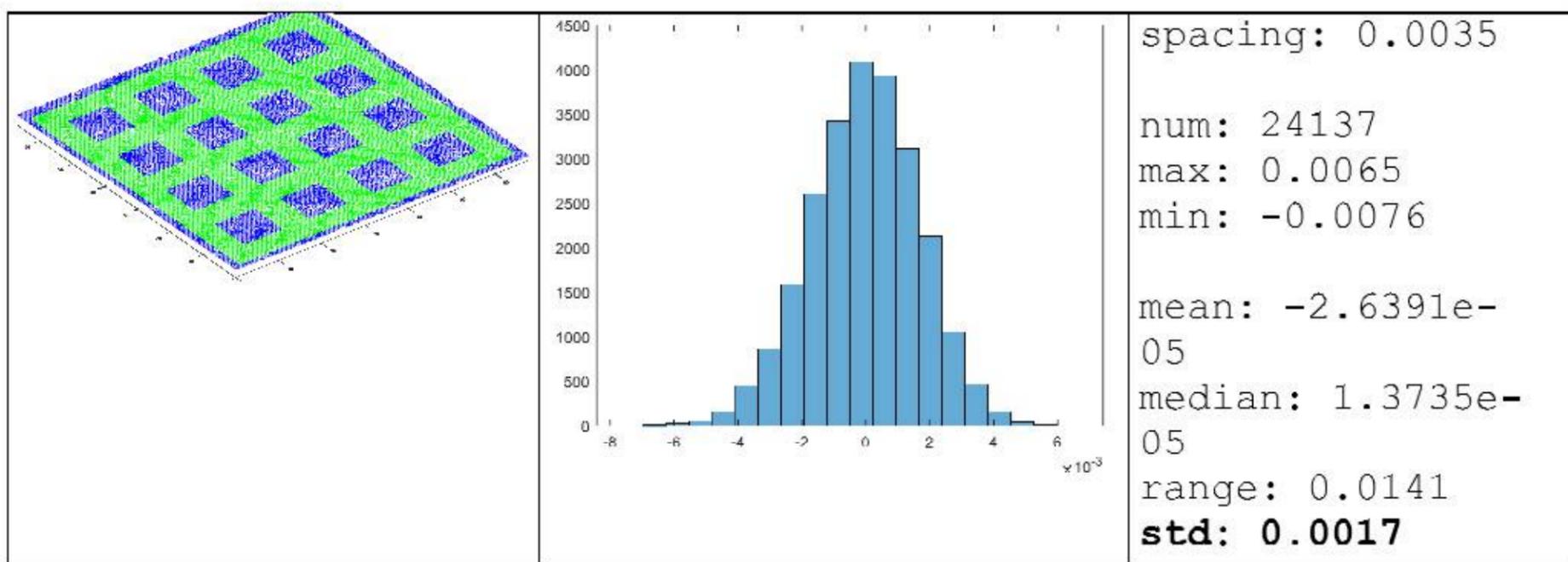
Misure laser dei pannelli



Stesse considerazioni valgono per misure fotogrammetriche da drone

Vittorio Casella - *La qualità dei dati nel monitoraggio geomatico* - Pavia, 21 ottobre 2019

Risultati



Che altro si potrebbe analizzare:

- Altezza minima individuabile di una deformazione di 3 x 3 cm
- Lato minimo individuabile di una deformazione avente altezza 1 cm

Vittorio Casella - *La qualità dei dati nel monitoraggio geomatico* - Pavia, 21 ottobre 2019

THE END ... GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Vittorio Casella - *La qualità dei dati nel monitoraggio geomatico* - Pavia, 21 ottobre 2019



Vittorio Casella

Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura
Università di Pavia

Ringraziamenti

Seminario *La Geomatica per il Monitoraggio degli Edifici,
delle Infrastrutture e dell'Ambiente*
Collegio Volta - Università di Pavia - 21 ottobre 2019

* Contatti:- vittorio.casella@unipv.it

Vittorio Casella - *La qualità dei dati nel monitoraggio geomatico* - Pavia, 21 ottobre 2019

Ringraziamenti

Ai partecipanti

Ai relatori

Alla squadra del Laboratorio di Geomatica

Vittorio Casella - *La qualità dei dati nel monitoraggio geomatico* - Pavia, 21 ottobre 2019

Laboratorio di Geomatica



Marica Franzini



Paolo Marchese



Giuseppe Girone



Laura Annovazzi
Lodi



Marica Teresa
Rocca



Daniela Pala



Vittorio Casella - *La qualità dei dati nel monitoraggio geomatico* - Pavia, 21 ottobre 2019

