



# Vittorio Casella

Laboratorio di Geomatica - DIET

Università di Pavia

email: [vittorio.casella@unipv.it](mailto:vittorio.casella@unipv.it)



## Introduzione alle ortofoto

Dispense

# Licenza

Questa presentazione è © 2011 Vittorio Casella (vittorio.casella@gmail.com) disponibile nella modalità **creative commons** ([www.creativecommons.org](http://www.creativecommons.org))

Se usi figure o parti della presentazione all'interno di tue presentazioni, articoli o altri scritti, devi sempre citarne l'origine.



Attribuzione - Non commerciale - Condividi allo stesso modo 2.5 Italia

#### Tu sei libero:



di riprodurre, distribuire, comunicare al pubblico, esporre in pubblico, rappresentare, eseguire e recitare quest'opera



di modificare quest'opera

#### Alle seguenti condizioni:



**Attribuzione** — Devi attribuire la paternità dell'opera nei modi indicati dall'autore o da chi ti ha dato l'opera in licenza e in modo tale da non suggerire che essi avallino te o il modo in cui tu usi l'opera.



**Non commerciale** — Non puoi usare quest'opera per fini commerciali.



**Condividi allo stesso modo** — Se alteri o trasformi quest'opera, o se la usi per crearne un'altra, puoi distribuire l'opera risultante solo con una licenza identica o equivalente a questa.

## Scopo principale della Fotogrammetria

---

La Fotogrammetria è una tecnica di misura e il suo scopo principale è misurare le coordinate 3D dei punti.

Sfruttando tale capacità si possono misurare le coordinate 3D di tutti i punti costituenti una carta.

Proiettando tali punti 3D sul piano cartografico si ottiene la cartografia vettoriale in senso classico.

La cartografia è ancora oggi lo strumento principale per la rappresentazione del territorio e la sua gestione.

# Prodotti della Fotogrammetria

---

Mappe vettoriali, 2D e 3D

DTM (Modelli digitali del terreno). **Automation!**

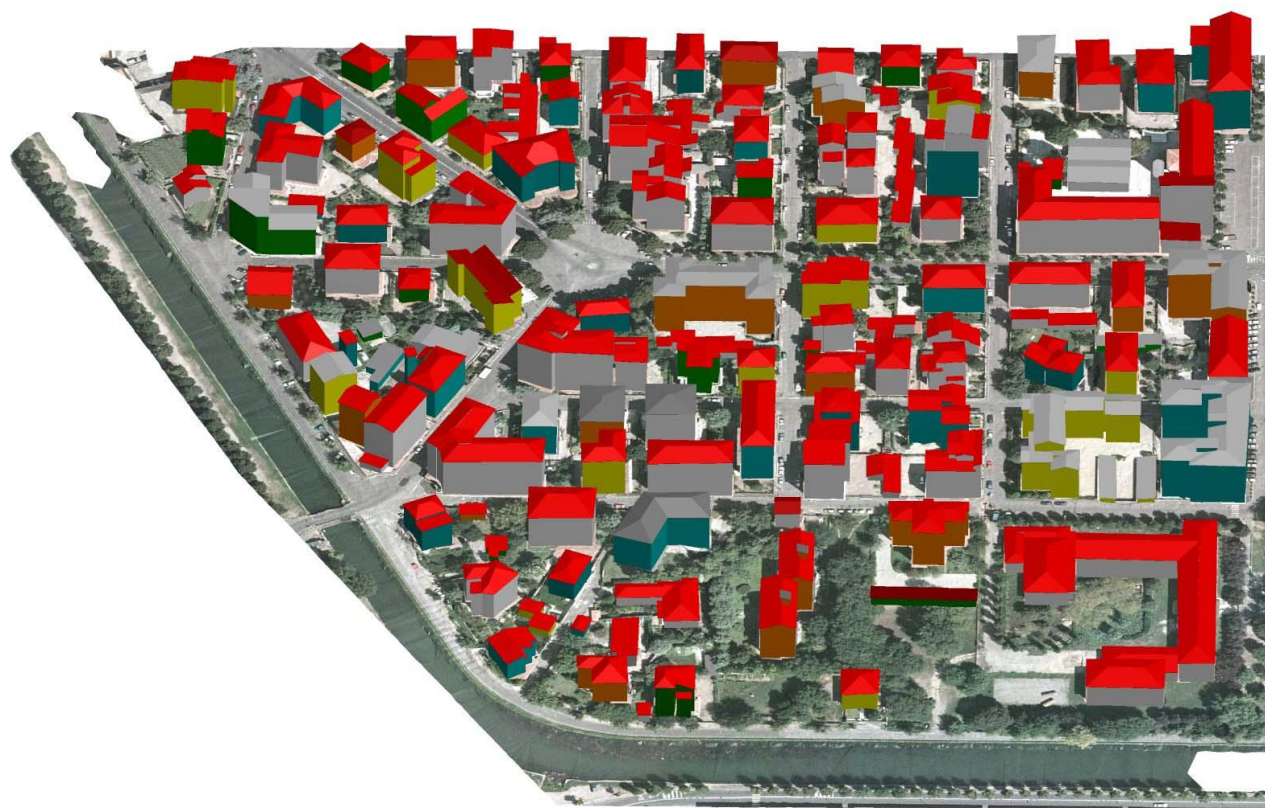
Ortofoto: immagini aventi le proprietà metriche di una carta



# I prodotti della Fotogrammetria

## Le mappe moderne - 1

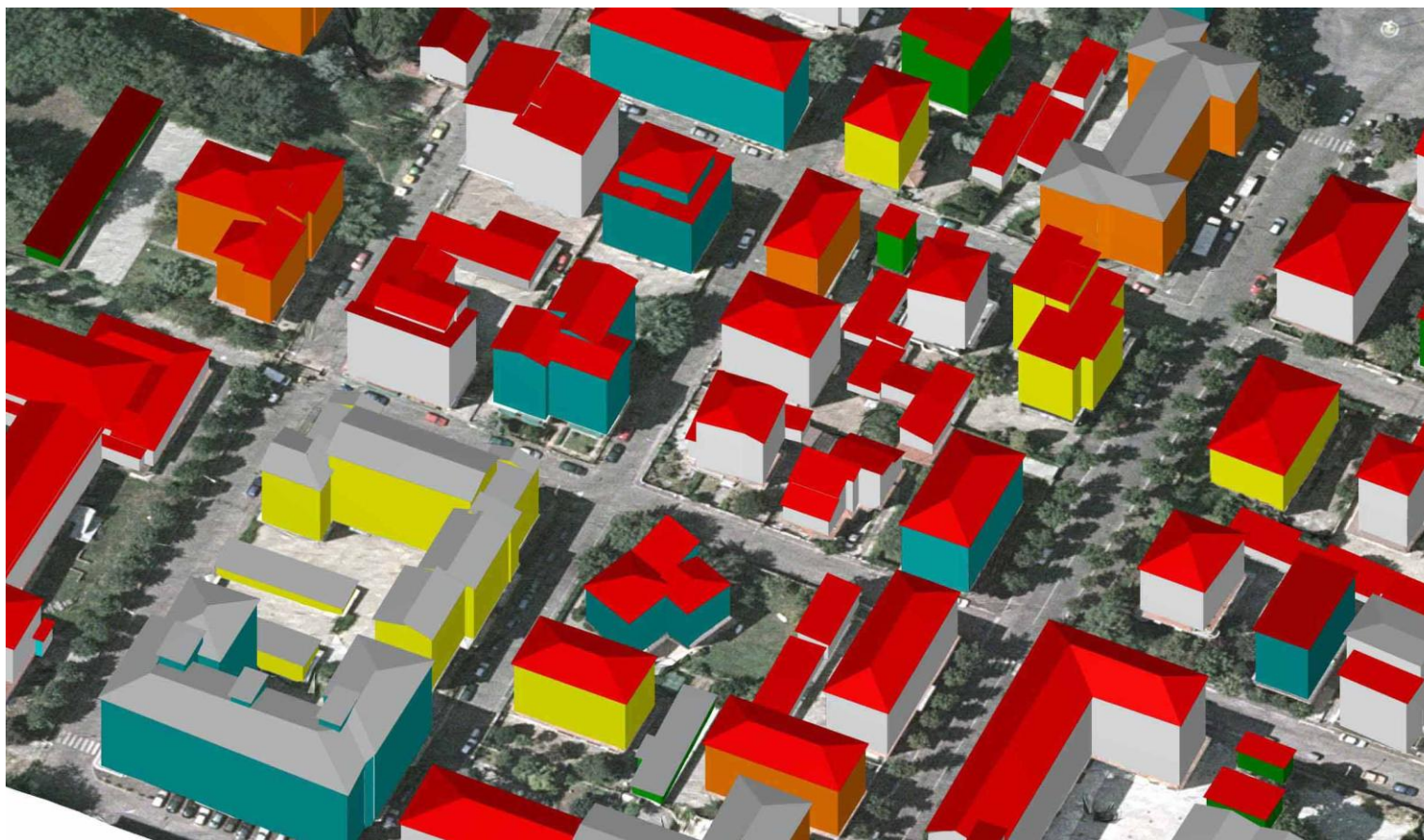
---



# I prodotti della Fotogrammetria

## Le mappe moderne - 2

---

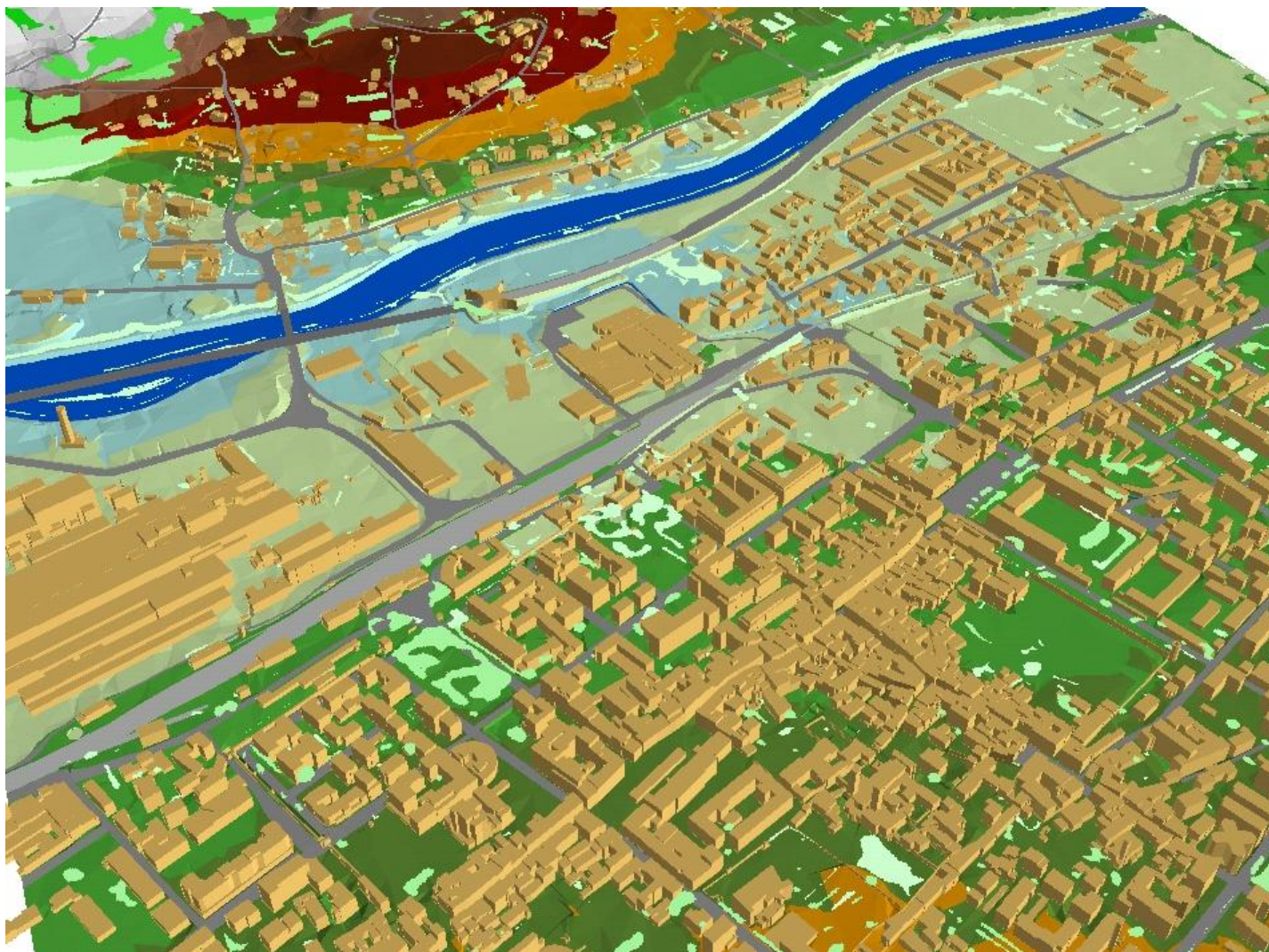




# Mappa 3D di Aosta

---

Aosta





# Mappa 3D di L'Aquila

---

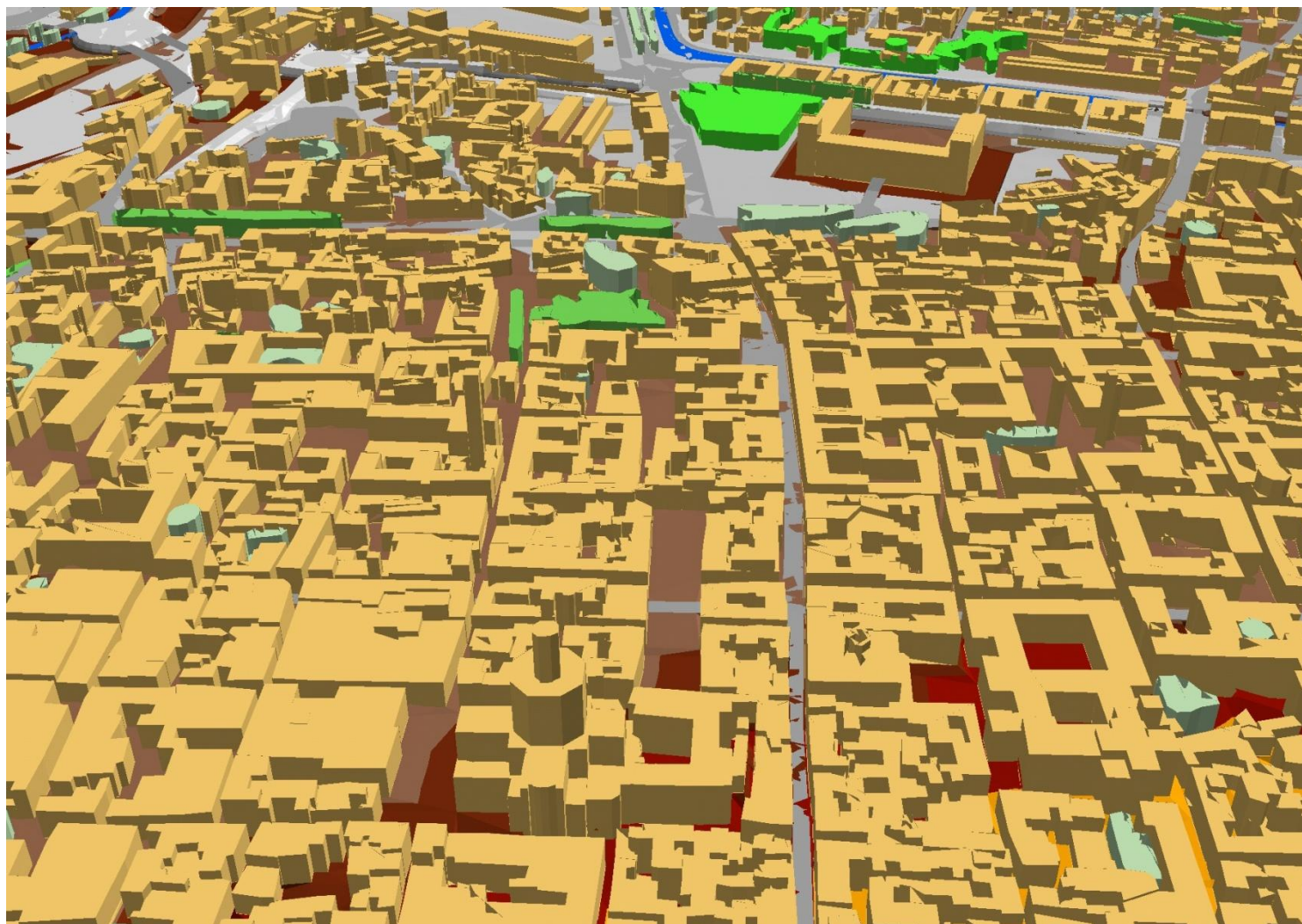
L'Aquila





# Mappa 3D di L'Aquila

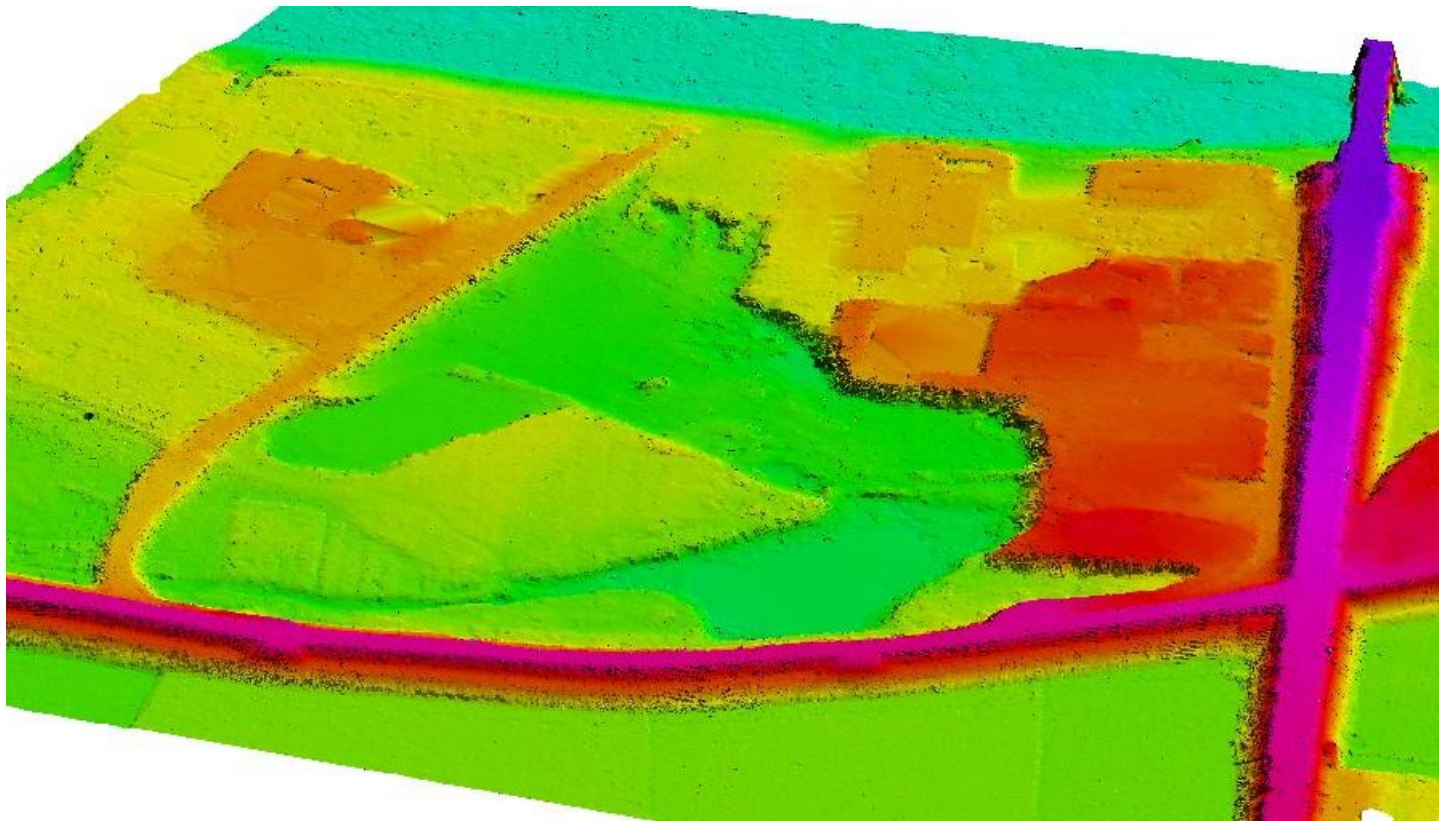
---



# I prodotti della Fotogrammetria - 1

## Modelli digitali del terreno (DTM/DSM/DEM)

---



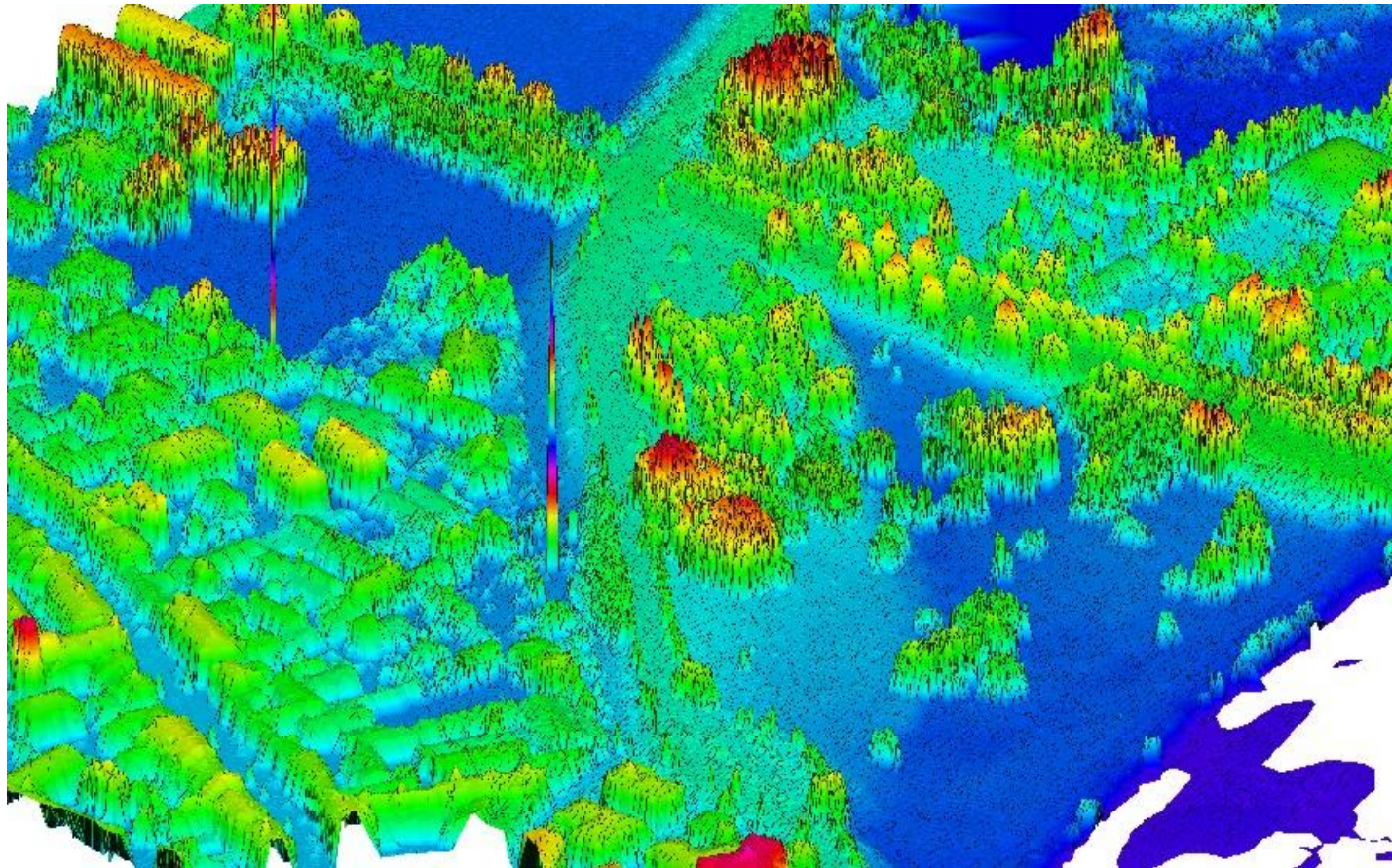
DTM dell'argine del Ticino



## I prodotti della Fotogrammetria - 2

### Modelli digitali del terreno (DTM/DSM/DEM)

---

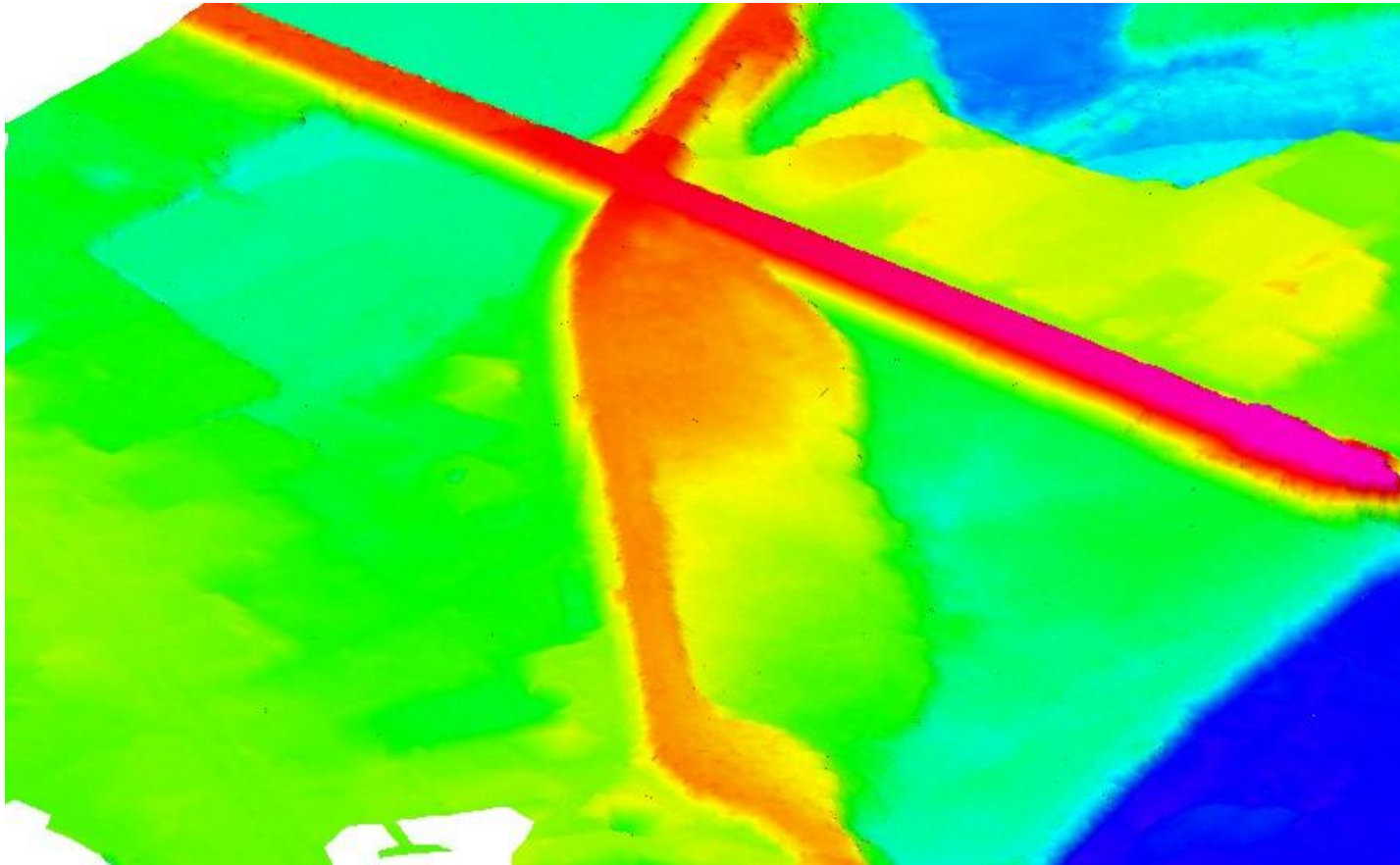


DSM di una zona dell'argine del Ticino.

## I prodotti della Fotogrammetria - 3

### Modelli digitali del terreno (DTM/DSM/DEM)

---



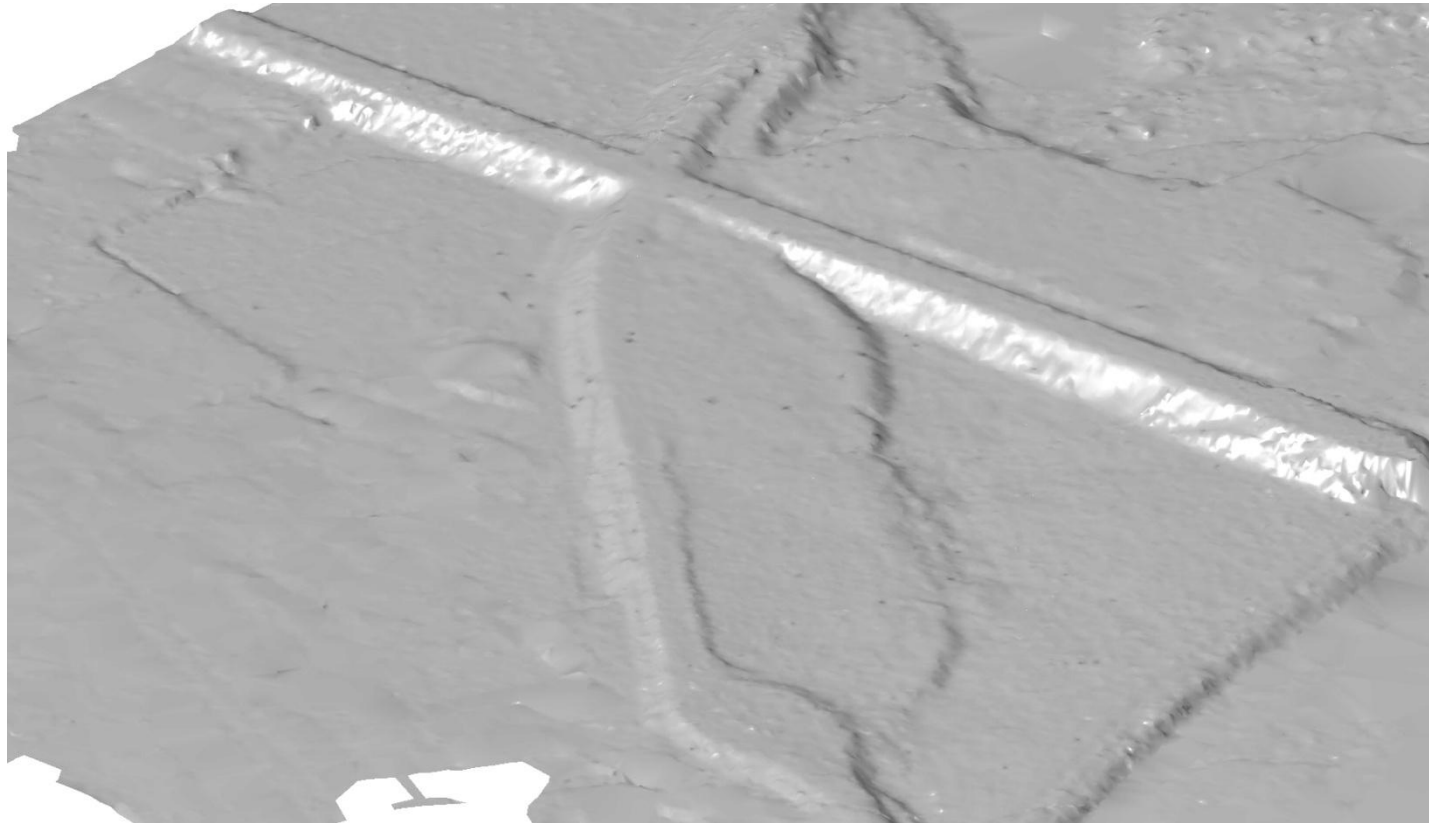
DTM della stessa area



## I prodotti della Fotogrammetria - 4

### Modelli digitali del terreno (DTM/DSM/DEM)

---

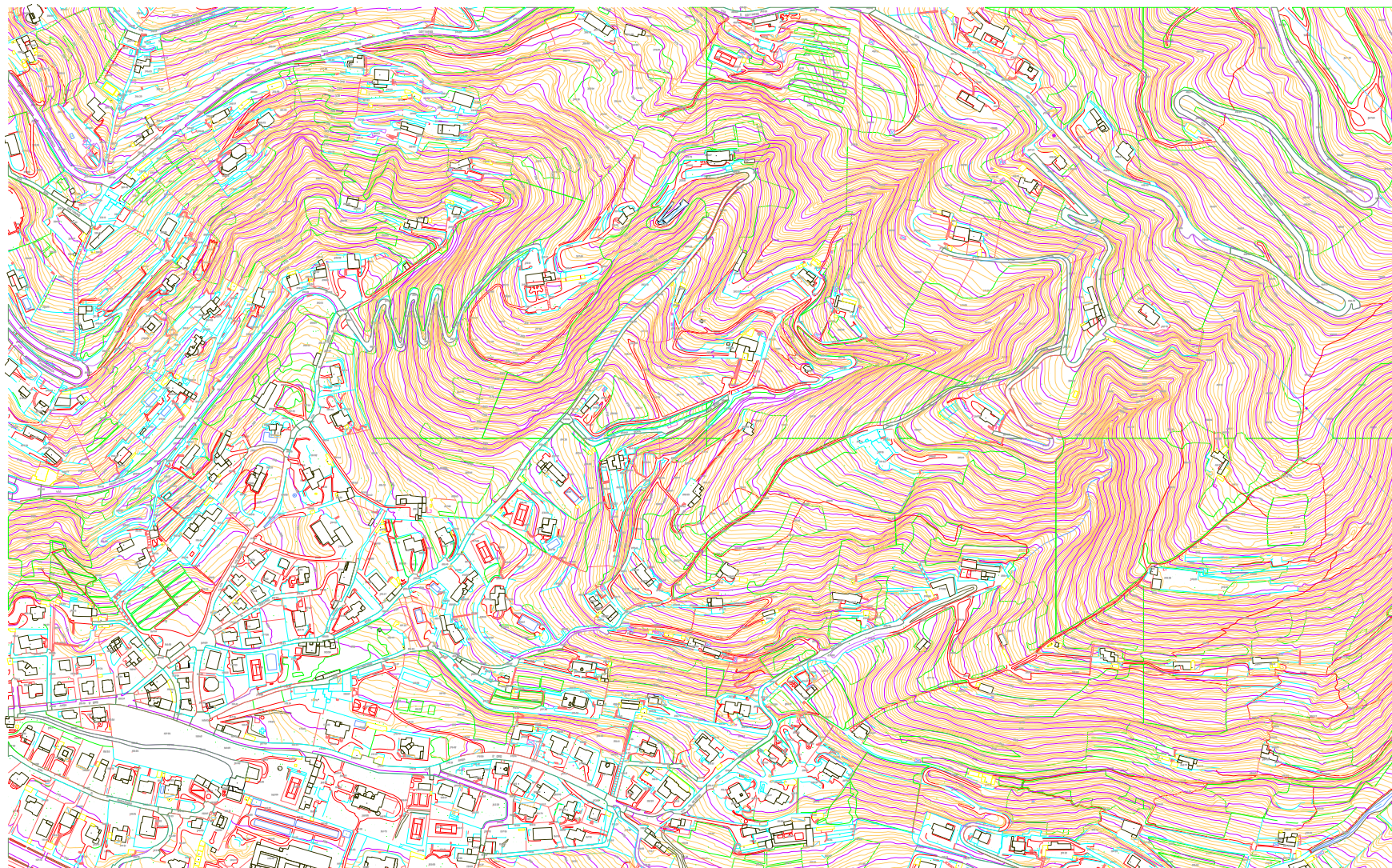


DTM della stessa area, visualizzata in altro modo



# Esempio di cartografia vettoriale: la carta al 1000 di Brescia

---

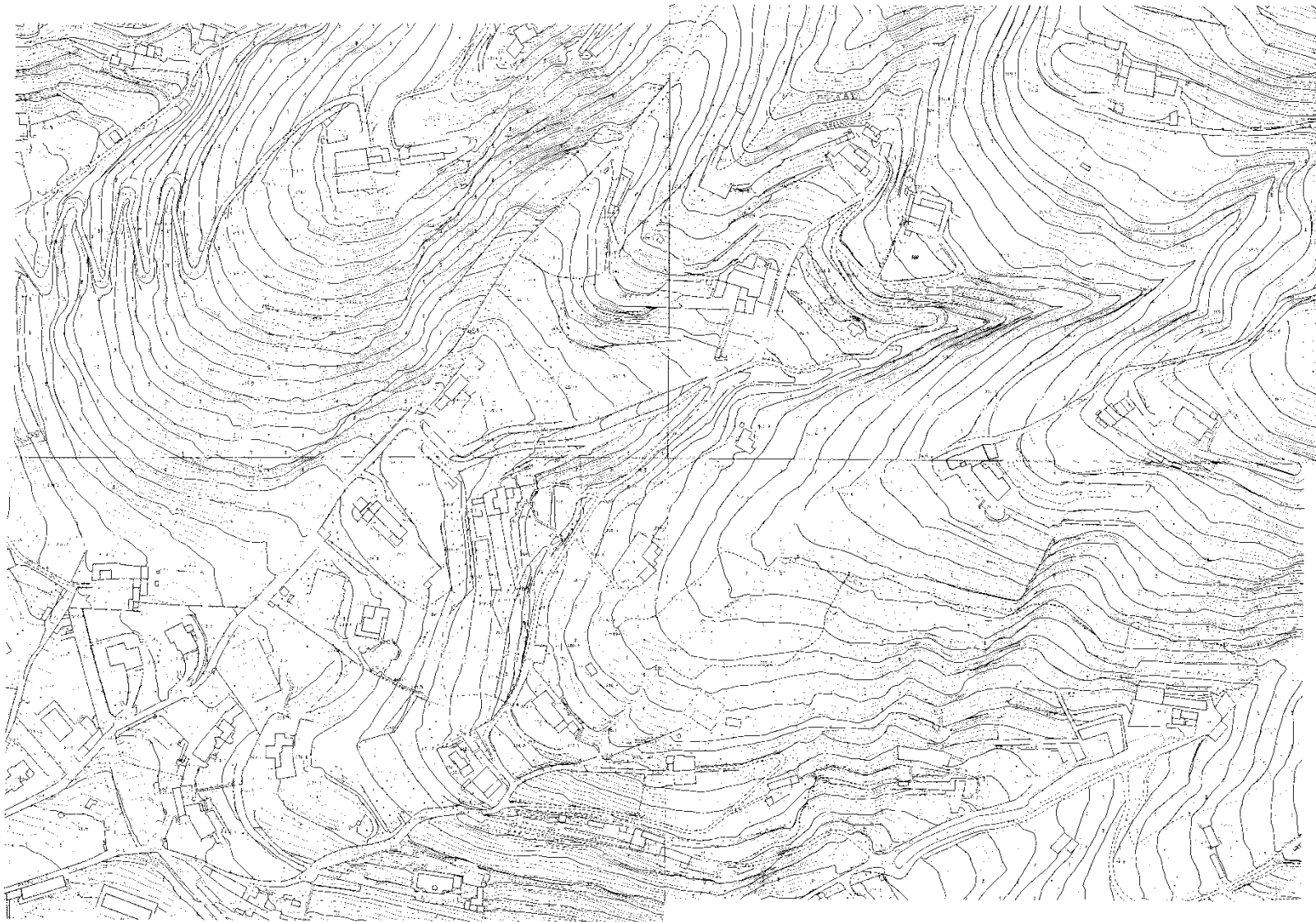


[brescia\_carta\_totale.wmf]



# Scansione della carta stampata

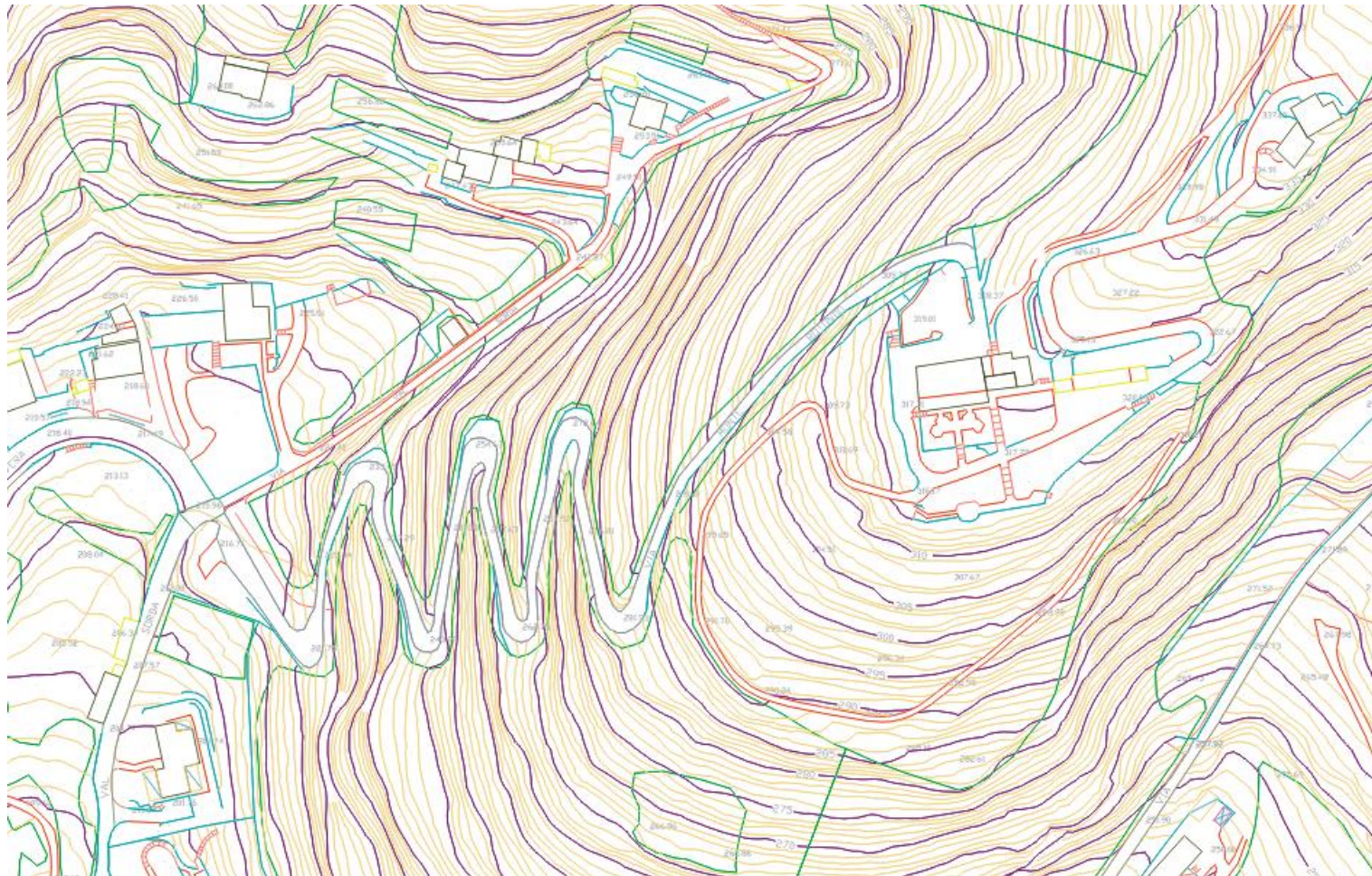
---



Nome del file???

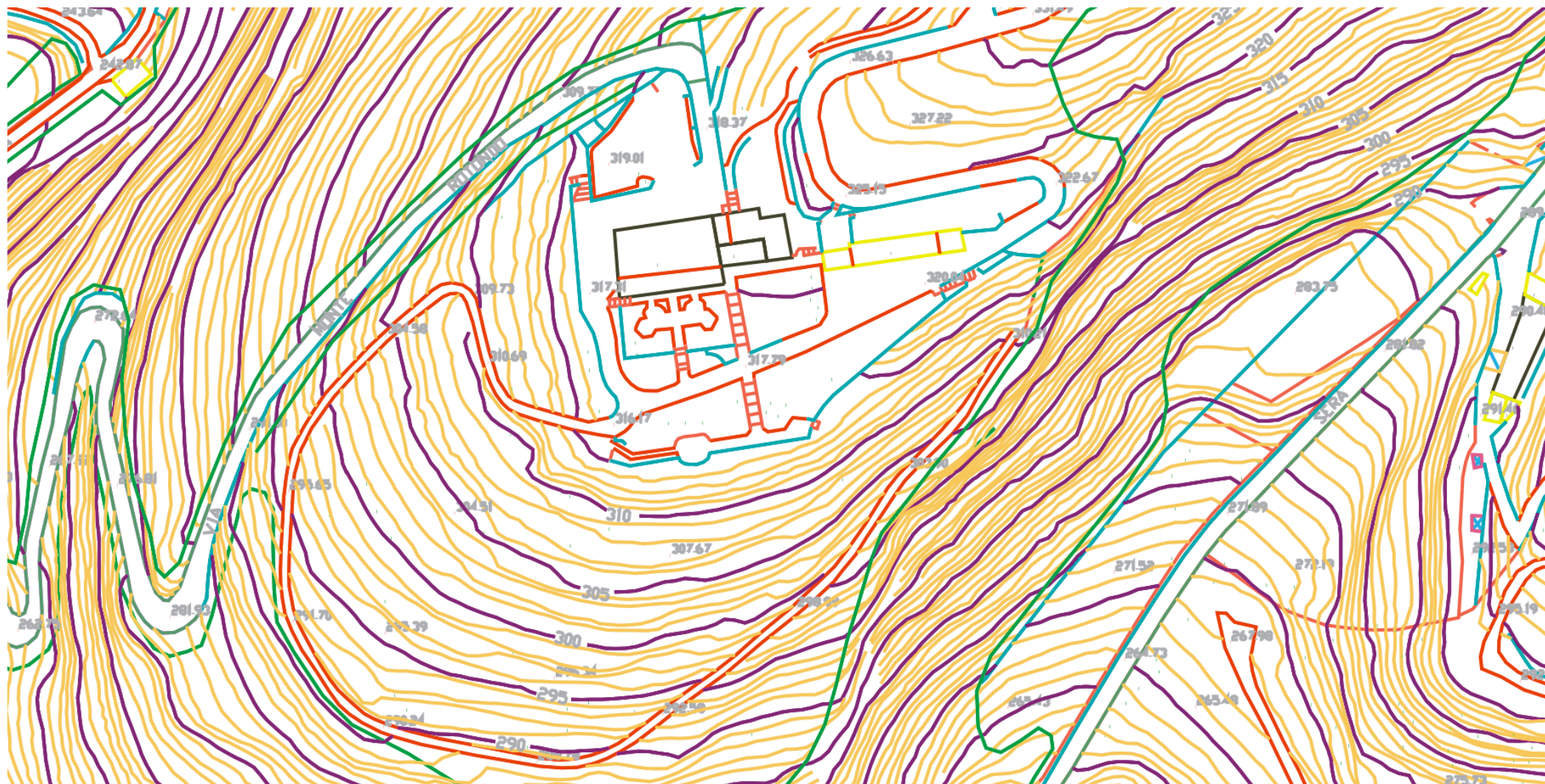
## Esempio di cartografia vettoriale: la carta al 1000 di Brescia - 2

---





## Esempio di cartografia vettoriale: la carta al 1000 di Brescia – 3



## Forme moderne di cartografia:

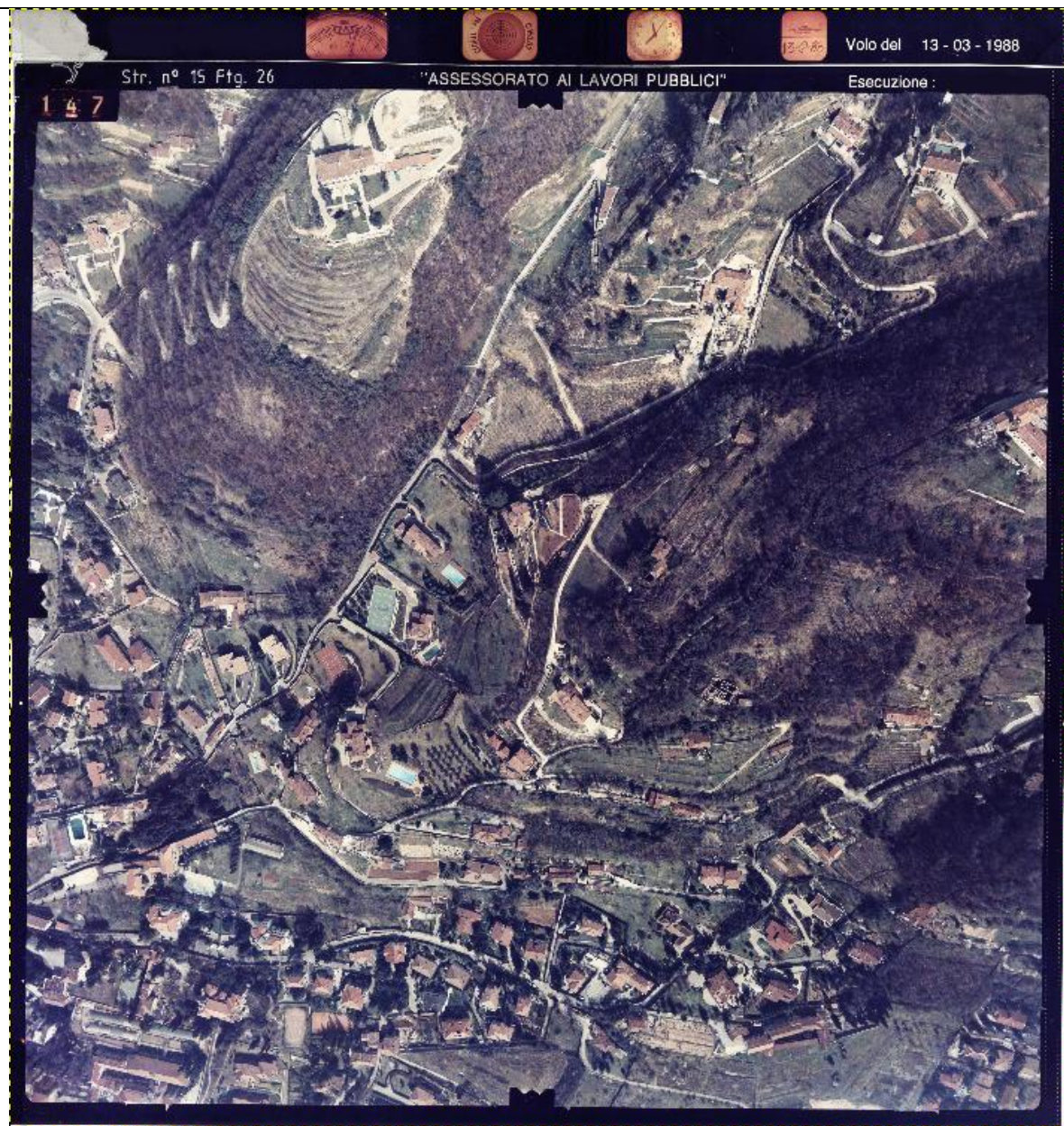
---

Ve ne sono diverse, ad esempio le mappe 3D



# Immagini aeree

Nome del file???





## Immagini aeree – 2

---



[estratto da BS\_147.tif]



## Immagini aeree – 3

---





## Immagini aeree – 4

---





## Immagini aeree – 5

---





## Immagini aeree – 6

---





# Immagine aerea dopo rototraslazione

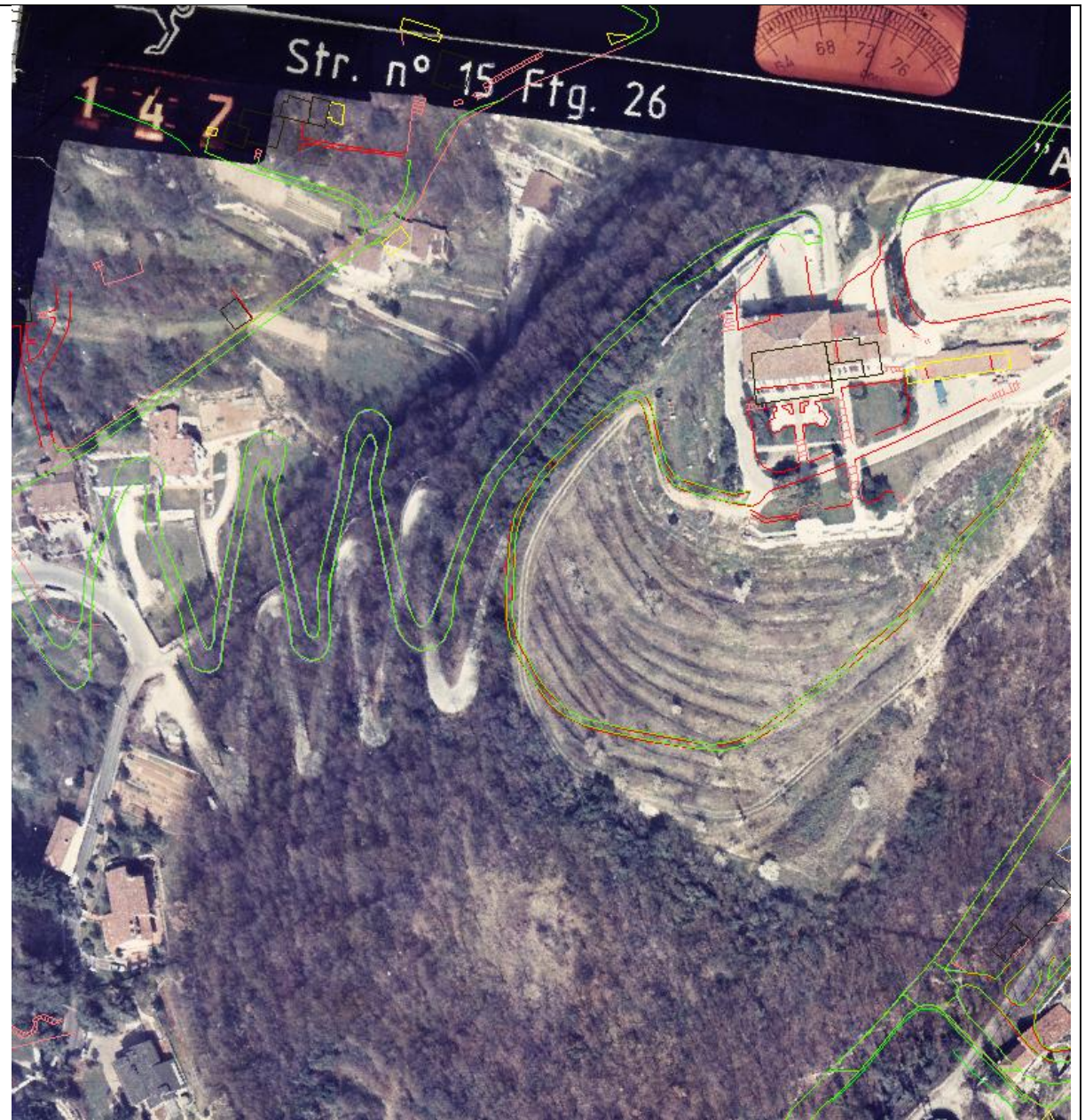




## Verifica della congruenza

Sovrapposizione dell'immagine ruotata e della cartografia

Cattivo accordo nelle zone in cui l'altezza ha un range significativo



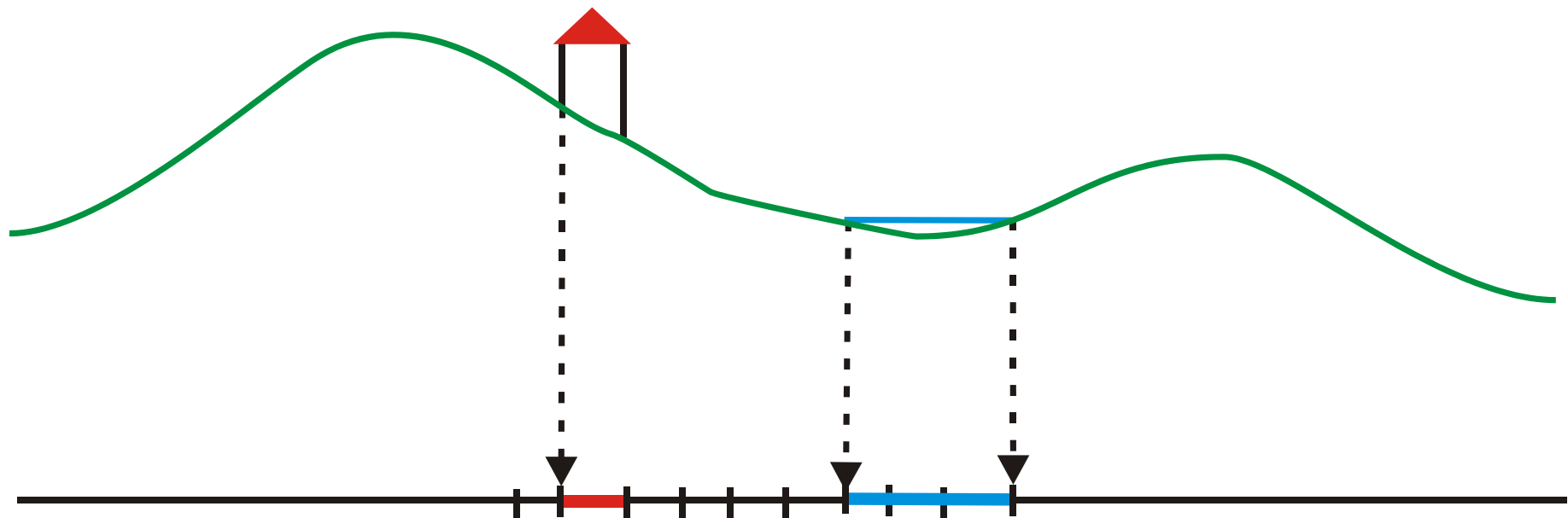
## Le foto sono metriche?

---

In altri termini: hanno le proprietà di una carta?

Una carta è basata sulla proiezione ortogonale

- È caratterizzata da un unico coefficiente di scala, isotropo
- Mantiene gli angoli e dunque le forme



## Perché una fotografia non è metrica

Che cosa significa che una fotografia è o non è metrica?

Bisogna fare riferimento alle carte o ai disegni tecnici, in cui ogni oggetto è rappresentato con lo stesso rapporto di scala.

Così non avviene con le fotografie [Firenze]





## Fotogrammetria e Lego

---

Caso 1: quadrati della stessa dimensione e della stessa altezza; ripresa nadirale

Caso 2: quadrati della stessa dimensione e della stessa altezza; ripresa obliqua

Caso 3: quadrati della stessa dimensione ma con altezze diverse; ripresa nadirale

## Caso 1 – Per capire

---



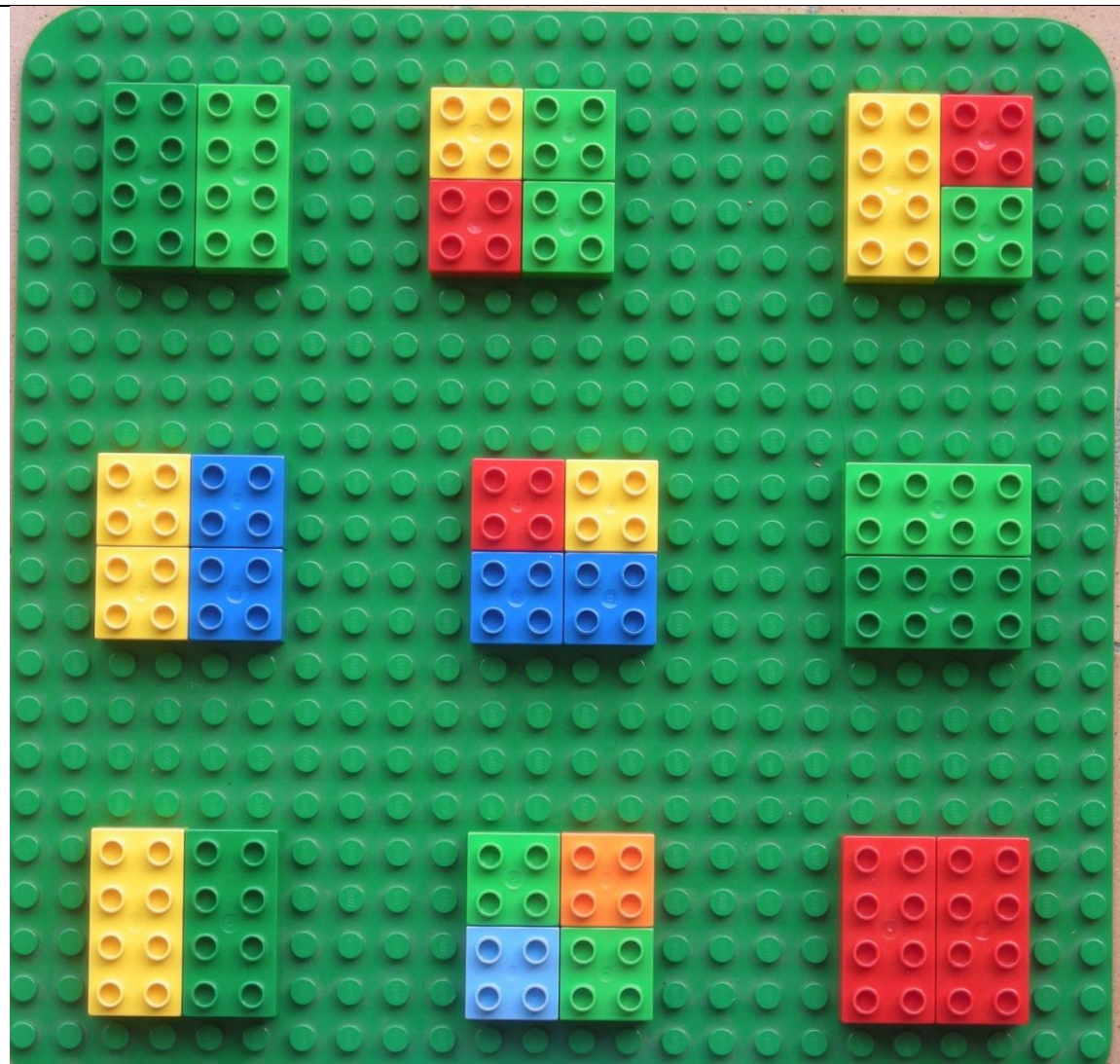
## Caso 1 – Vista nadirale

I quadrati hanno tutti le stesse dimensioni nella fotografia

I quadrati sono *quadrati*

Rifare con altri colori

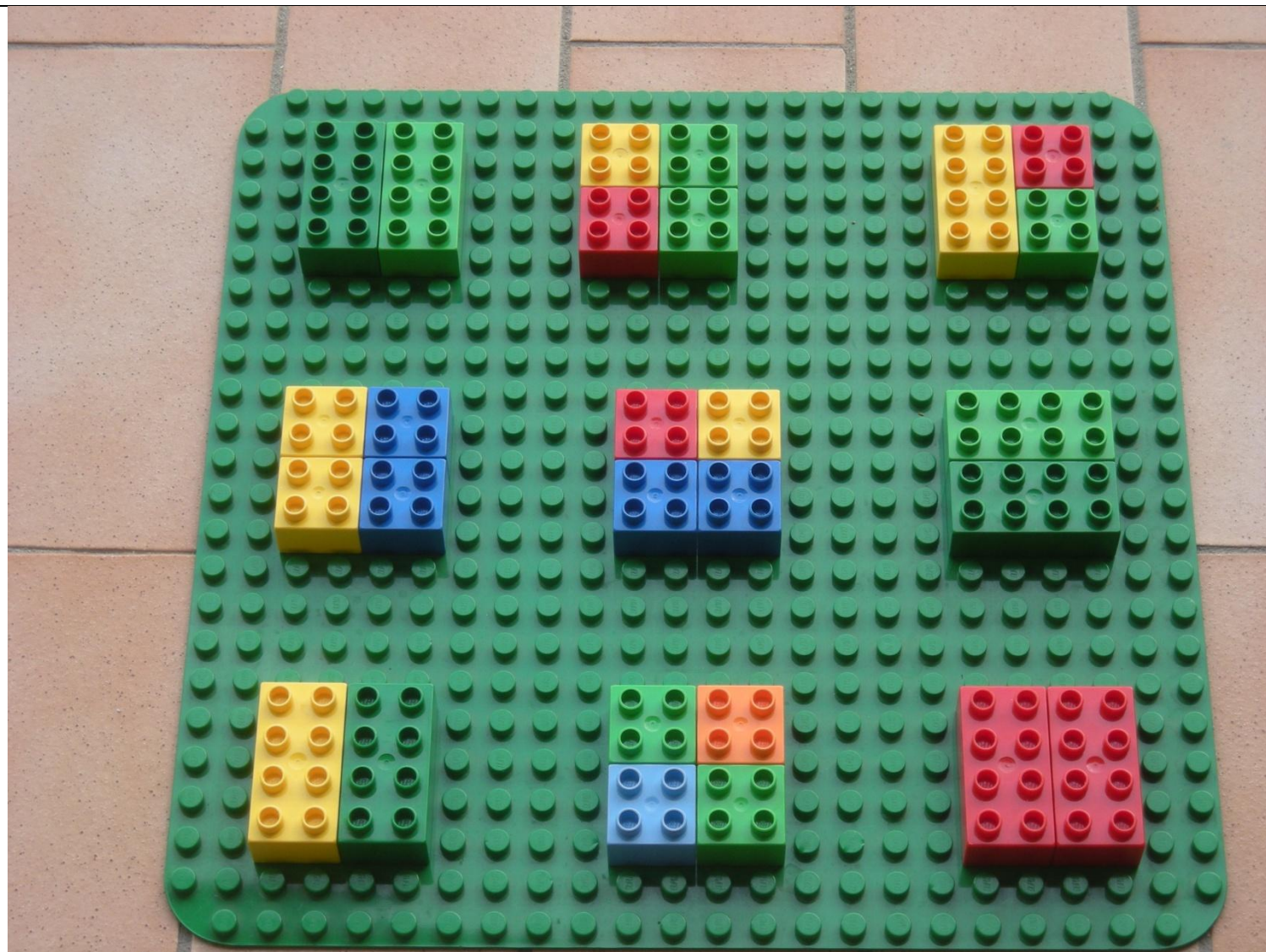
Nome immagine?





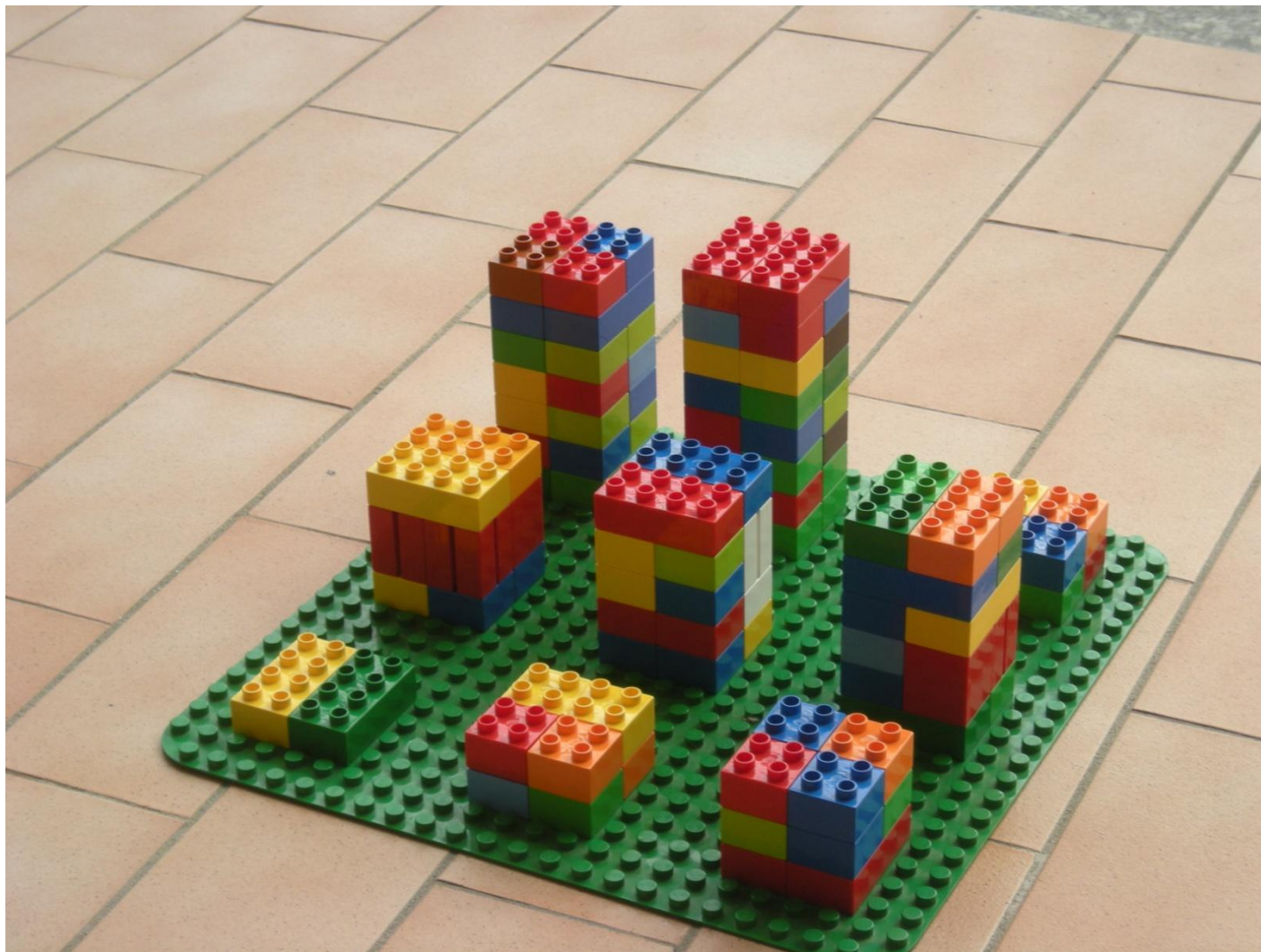
## Caso 2 – vista obliqua

I quadrati diventano  
trapezi: deformazio-  
ne angoli e distanze



## Caso 3 – Per capire

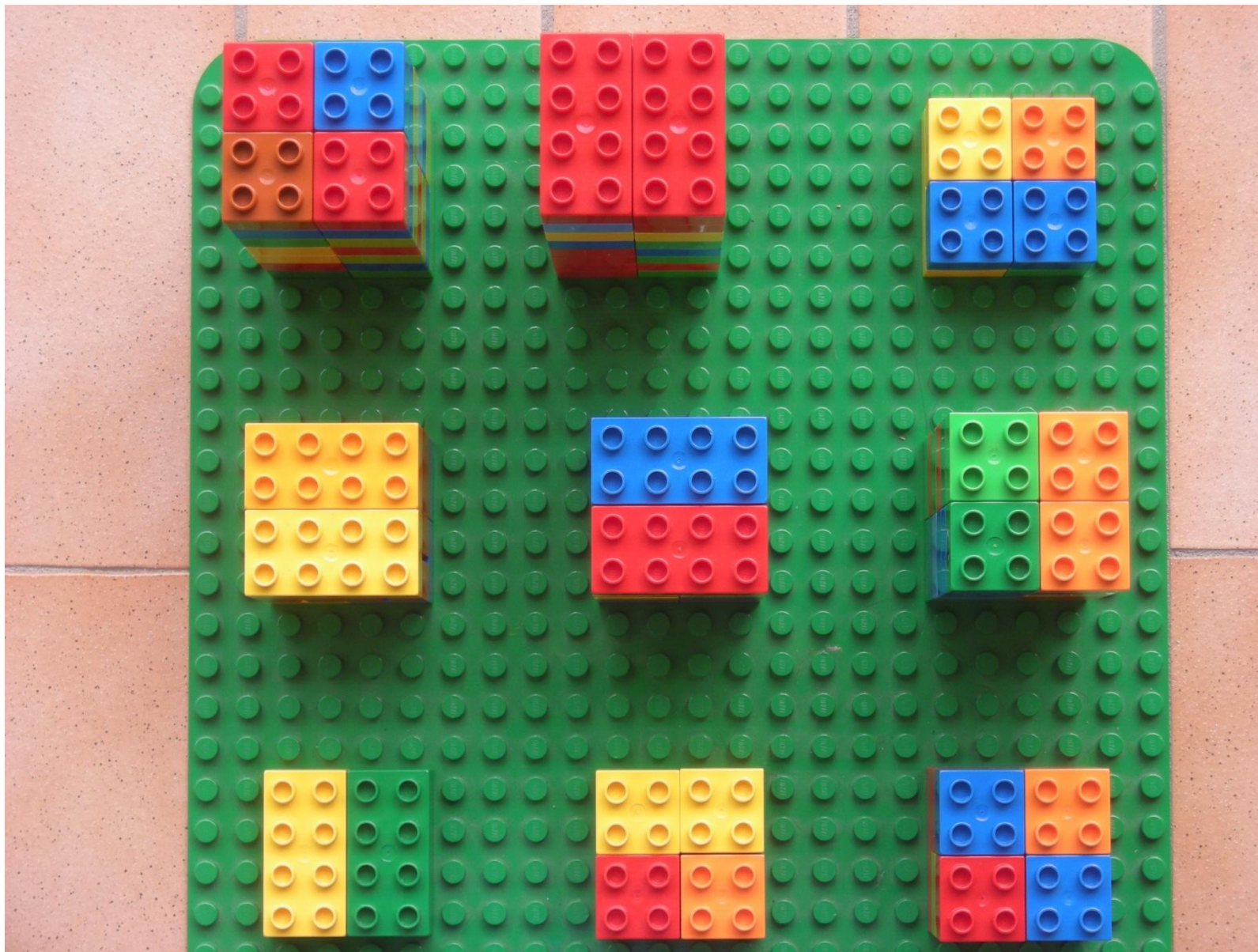
---





## Caso 3 – vista nadirale

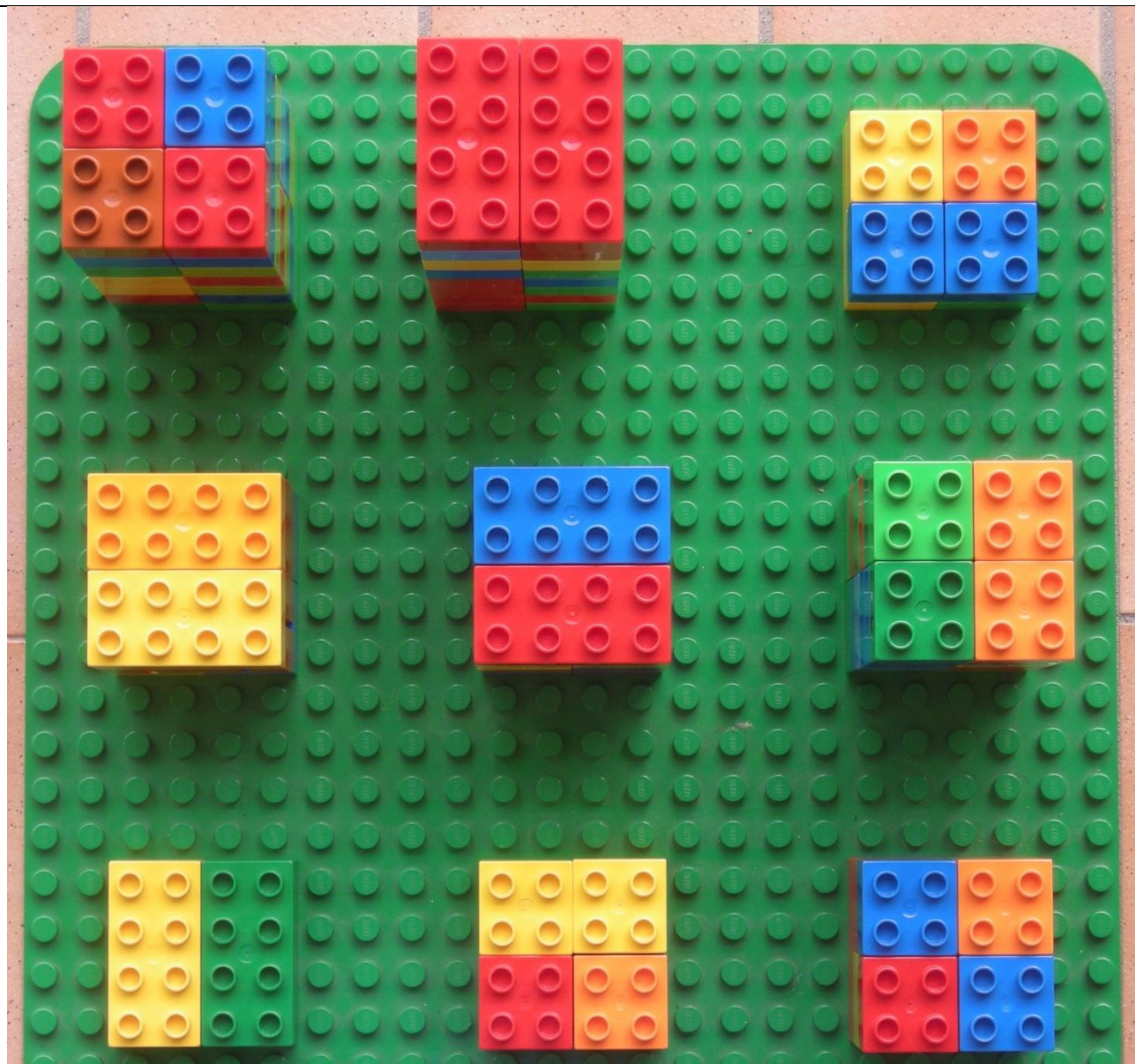
---





## Caso 3

Confrontiamo quello in alto a sx con quello in basso a sx: le facce superiori, uguali nella realtà, risultano avere dimensioni diverse nella foto



## Le foto sono metriche?

---

No. Vengono deformati angoli e distanze

La fotografia di un oggetto piano è una carta se il piano focale e l'oggetto sono paralleli: il rapporto di scala della carta/fotografia dipende dal rapporto fra la distanza camera-oggetto e la lunghezza focale

Se l'oggetto ripreso è piano ma non parallelo al piano focale, distanze e angoli vengono deformati. Tuttavia sarebbe possibile "raddrizzare" la fotografia facilmente

Se l'oggetto ripreso è 3D, non ci sono soluzioni semplici



## E' possibile rendere metrica una fotografia?

E' possibile manipolare una fotografia in modo che abbia l'aspetto di una fotografia aerea e le proprietà metriche di una carta:

- È caratterizzata da un unico coefficiente di scala
- Mantiene gli angoli e dunque le forme

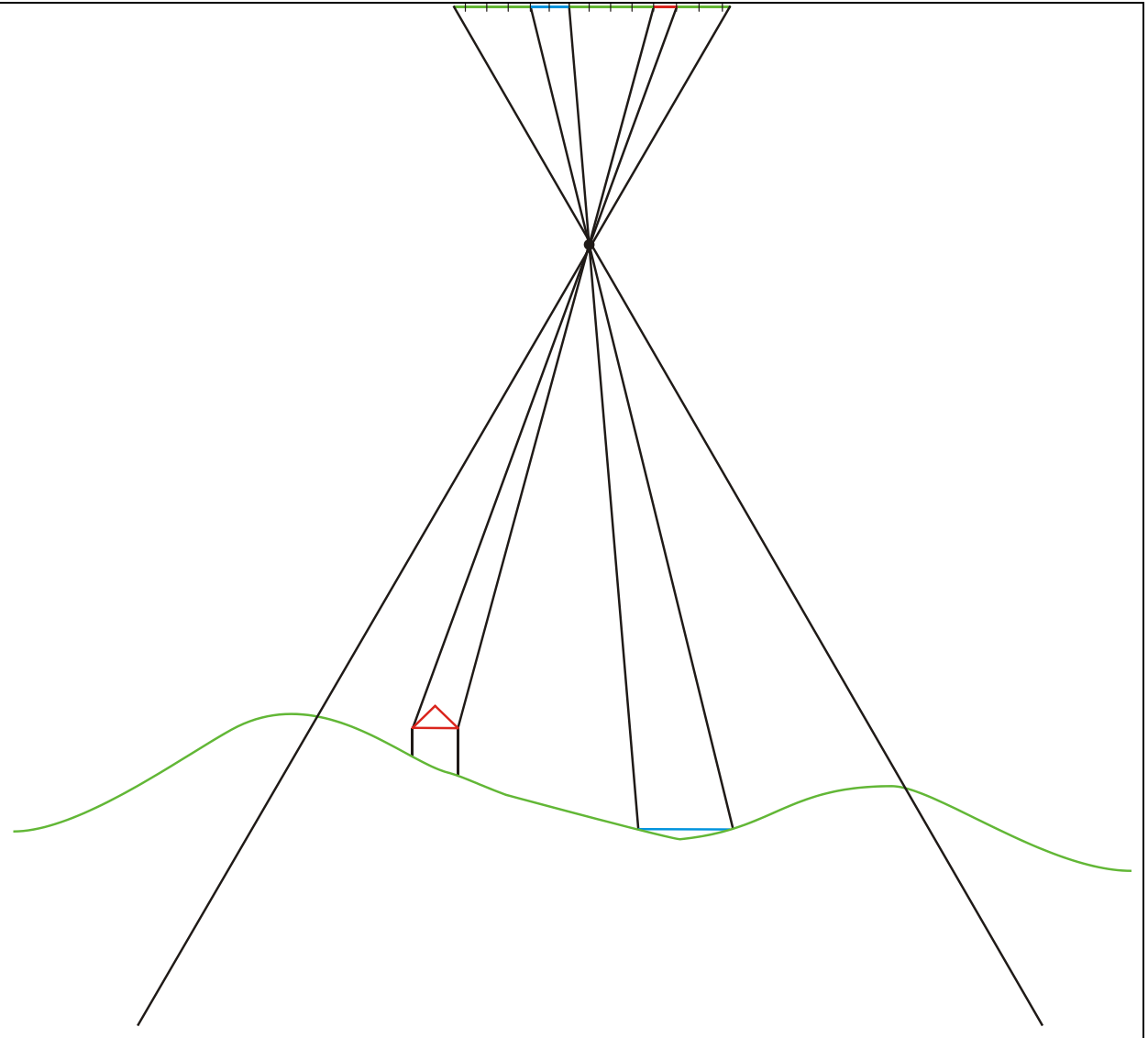
Una fotografia con queste caratteristiche vien detta **ortofoto**, in quanto caratterizzata da proiezione centrale.

# Come si calcola una ortofoto - 1

## Acquisizione dell'immagine

---

L'acquisizione dell'immagine.  
La camera (il triangolo) ha una certa posizione e un certo assetto.  
Gli oggetti che si trovano nel mondo vengono proiettati e formano l'immagine.





## Come si calcola una ortofoto – 2

### Proiezione globale verso il basso

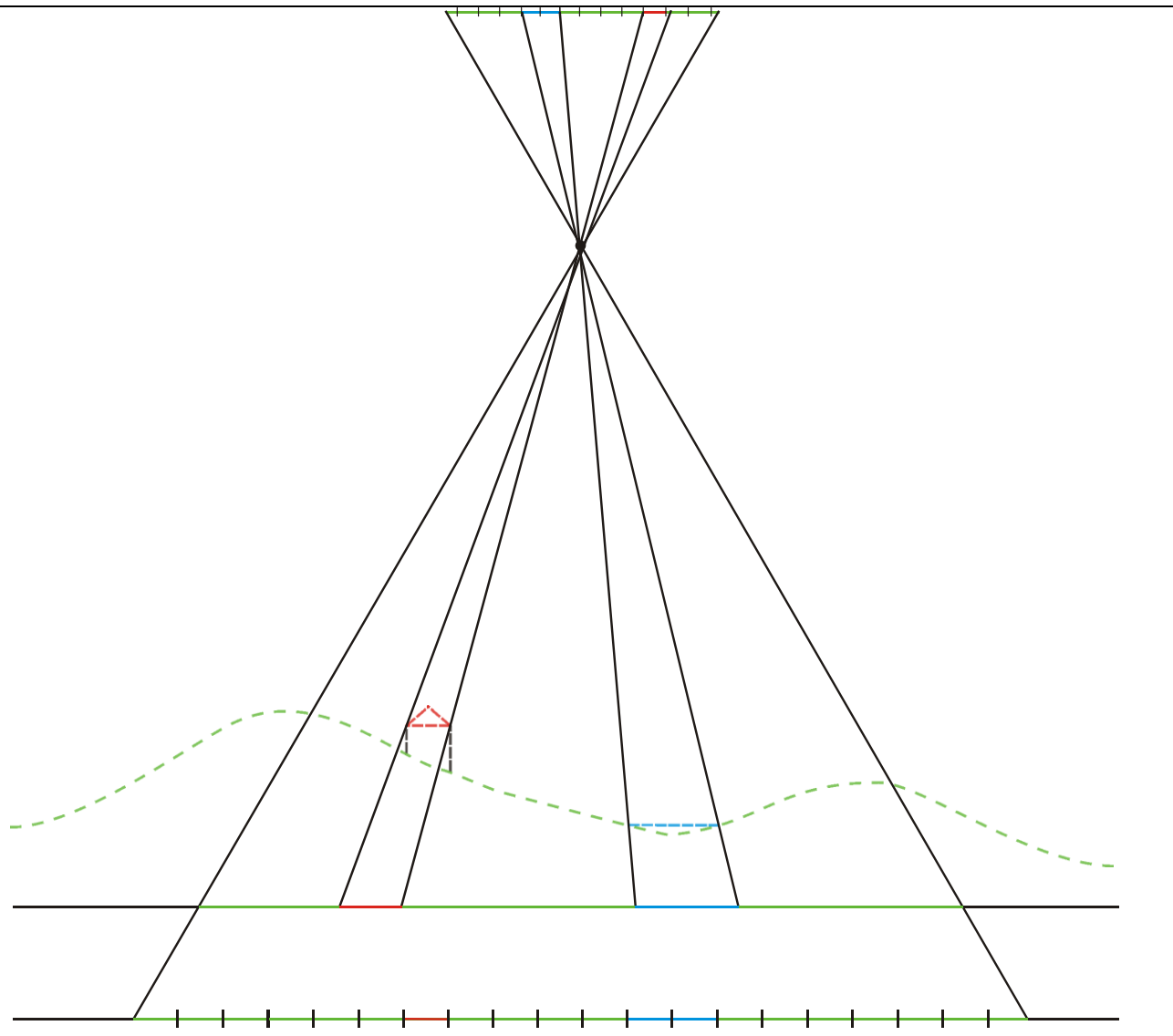
---

Per ottenere un'ortofoto devo proiettare l'immagine verso il basso.

Metto la camera nella posizione e nell'assetto originali (non fisicamente, ma virtualmente, con il calcolo)

Proietto verso il basso; su un piano?

L'immagine prodotta non è sovrapponibile con l'ortofoto vera, indicata sotto.



# Come si calcola una ortofoto - 3

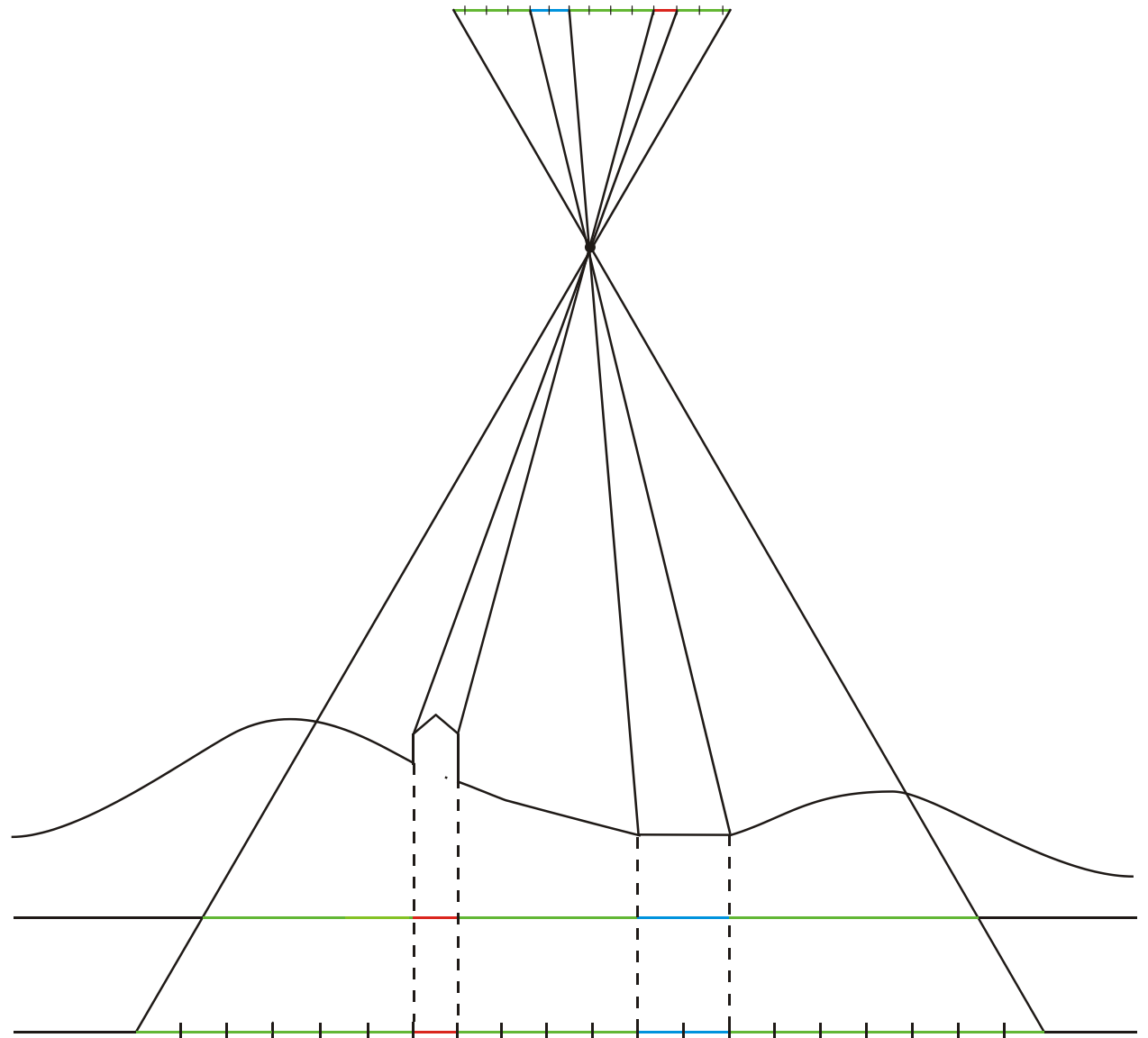
## La proiezione differenziale

---

L'altezza degli oggetti ha un ruolo: non devo proiettare su un piano, ma sul DSM (linea nera).

Dato un pixel sull'immagine alta, lo proietto lungo la retta *della collinearità* fino a quando incontra il terreno; da lì la proiezione è ortogonale

L'immagine ottenuta coincide con l'ortofoto.





## Parametri che influenzano la qualità di una ortofoto

---

Qualità dell'immagine originaria

Accuratezza dell'orientamento esterno

Accuratezza e passo del DTM usato per il calcolo

Ha senso parlare di scala dell'ortofoto, per esempio *ortofoto al 1:10000*?

Ce l'aveva un tempo, quando le ortofoto erano unicamente stampate su carta e avevano una scala.

Si faceva in modo tra l'altro che una ortofoto al 1:10000 (per esempio) avesse approssimativamente le proprietà metriche e di contenuto informativo di una carta alla stessa scala.

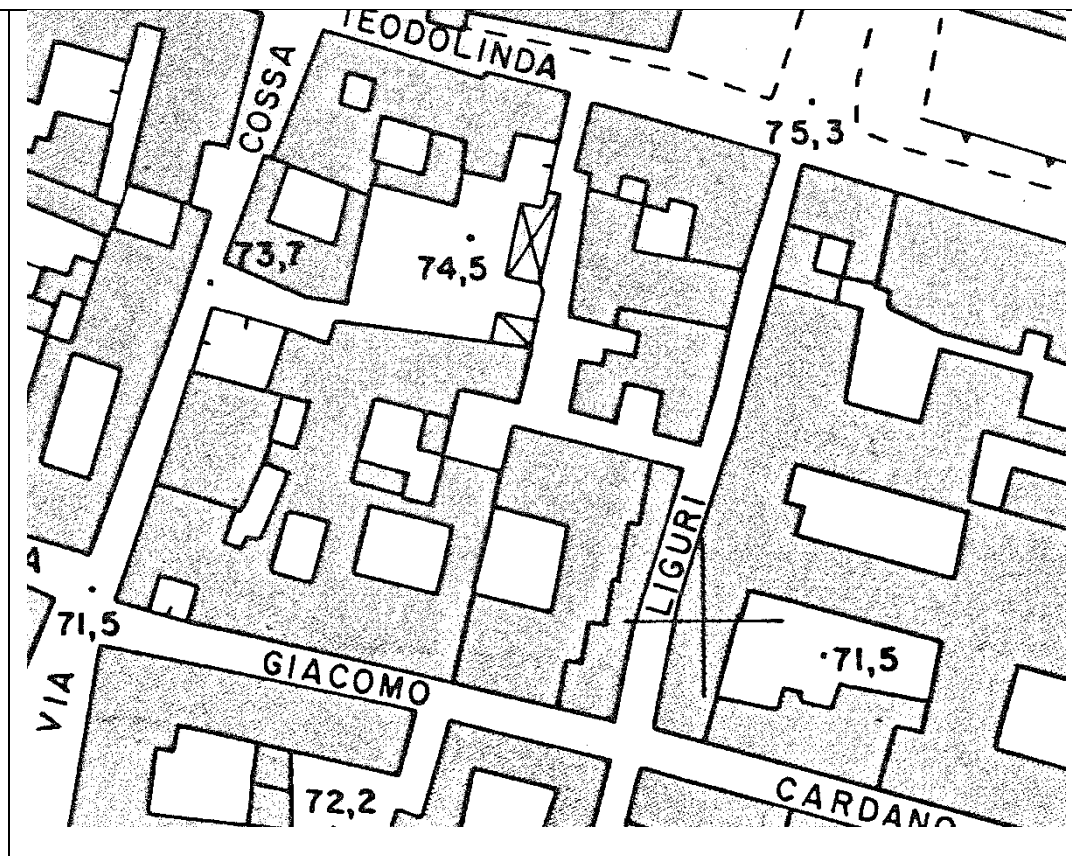
Ora si può parlare di scala per analogia; bisogna valutare anche il GSD.

*Attenzione a...Photoshop.*

## Può un'ortofoto sostituire la cartografia?

La mia risposta è no: l'ortofoto rappresenta un utilissimo complemento.

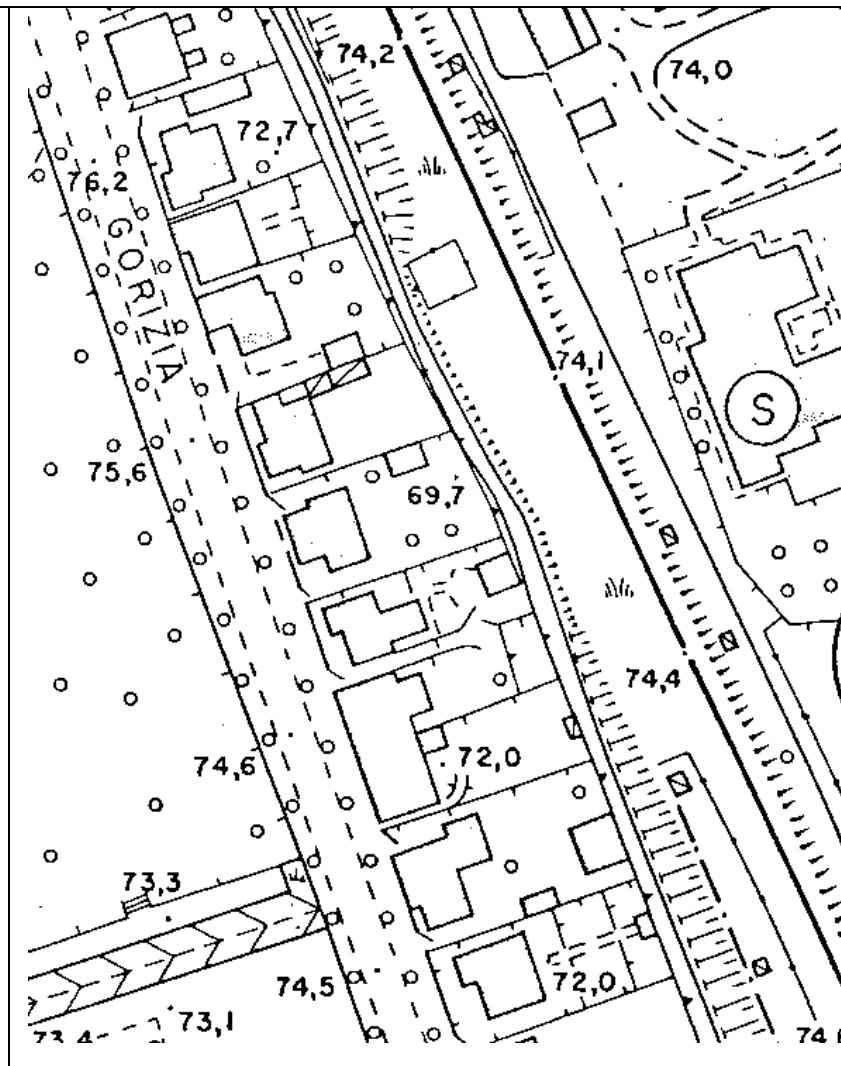
Non si possono fare le elaborazioni consentite dalla carta numerica. E inoltre: qual è la larghezza di Via dei Liguri a Pavia?





## Può un'ortofoto sostituire la cartografia? - 2

Che cosa c'è nelle  
regione rossa?  
E in quella blu?

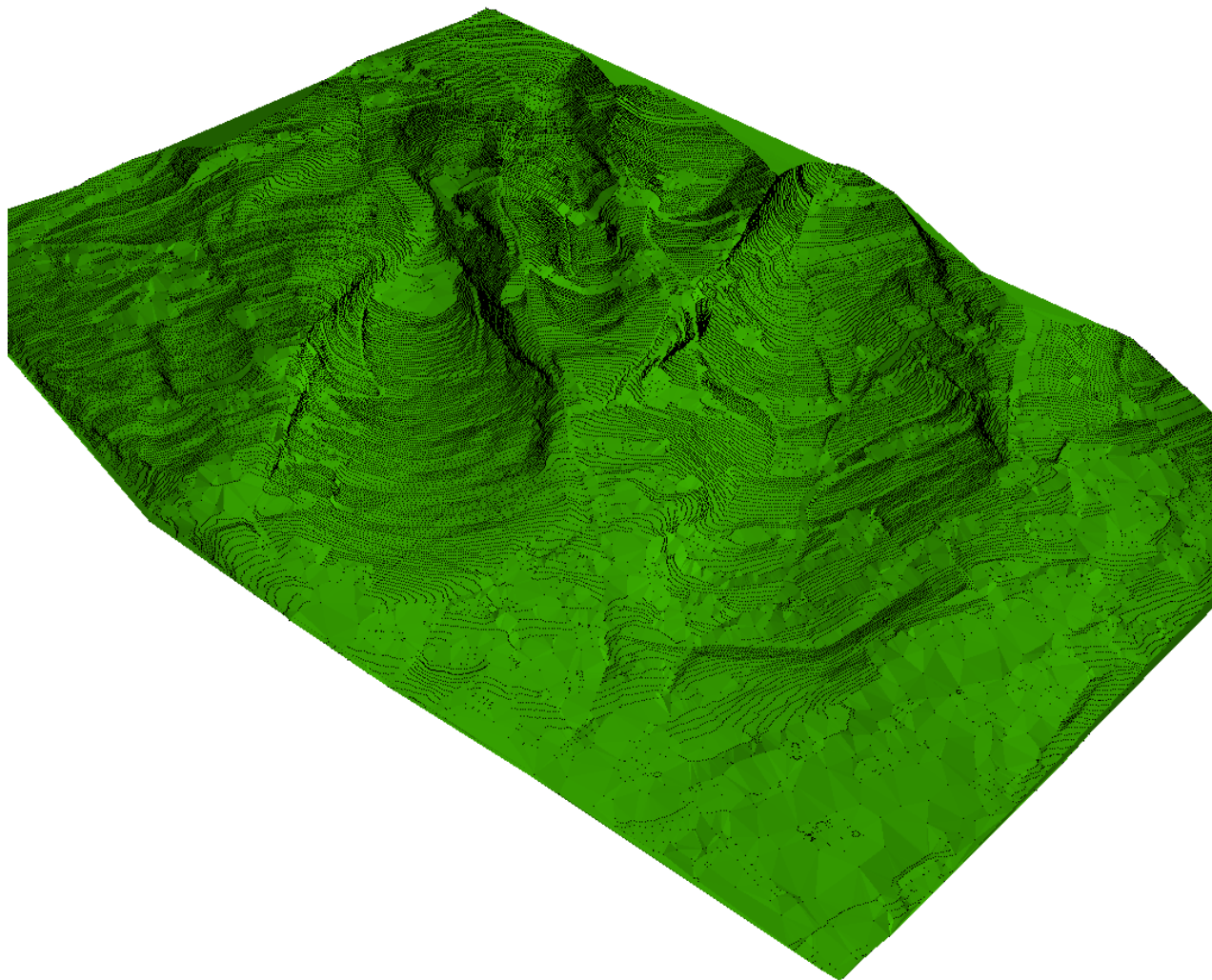


Viale Gorizia e la ferrovia.

## Costruzione di un'ortofoto

---

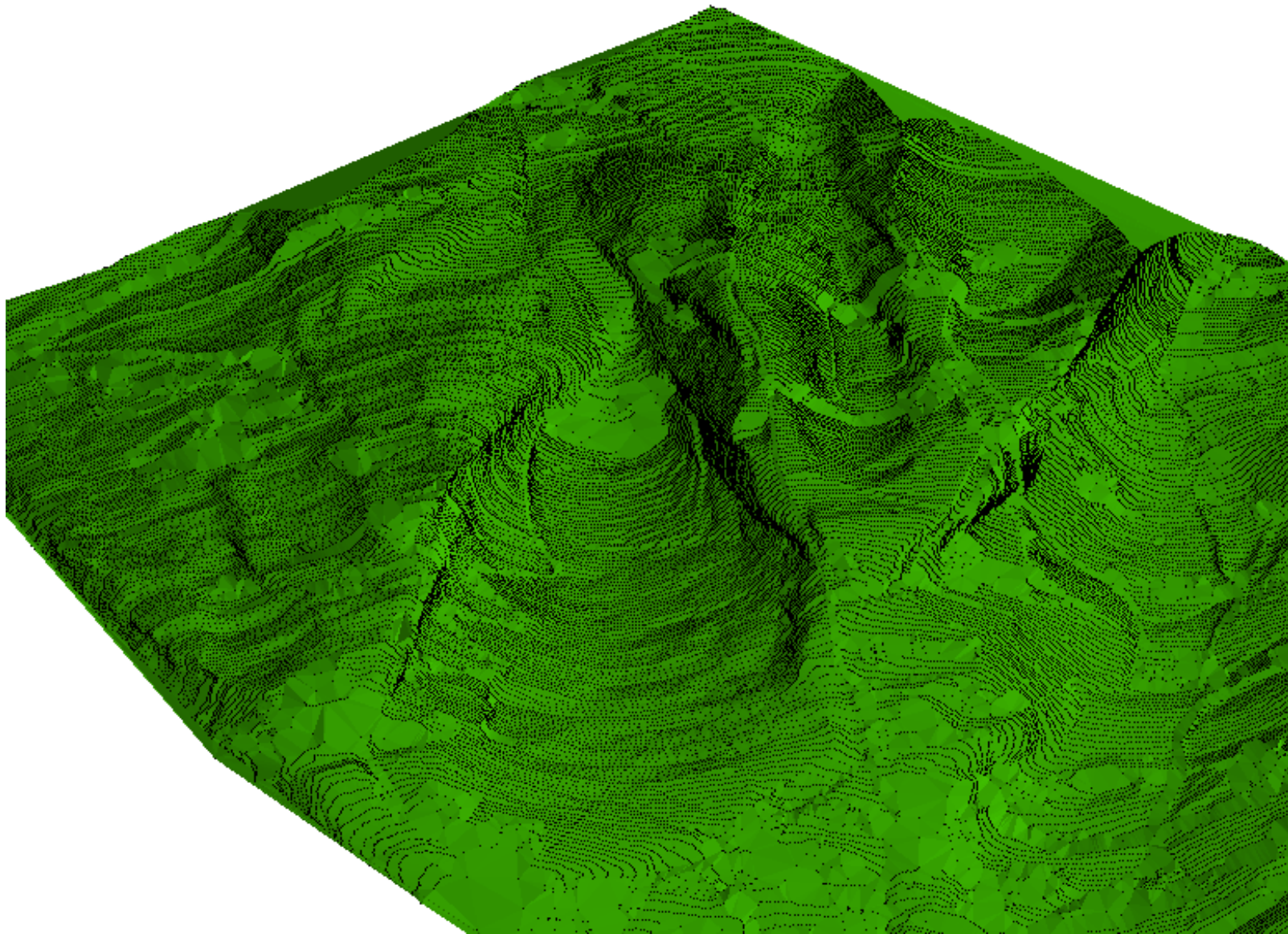
Serve anzitutto un DTM (Digital Terrain Model)





# Dettaglio del DTM

---



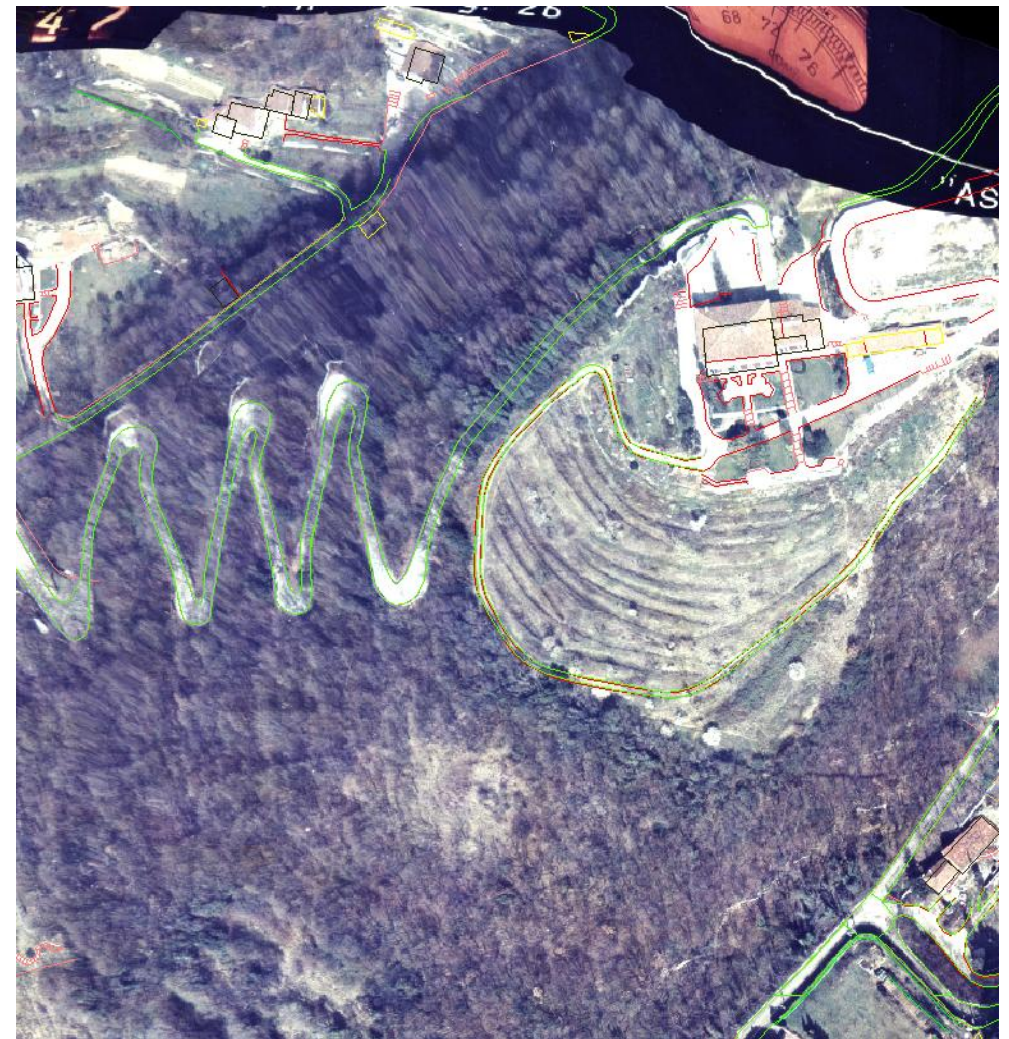
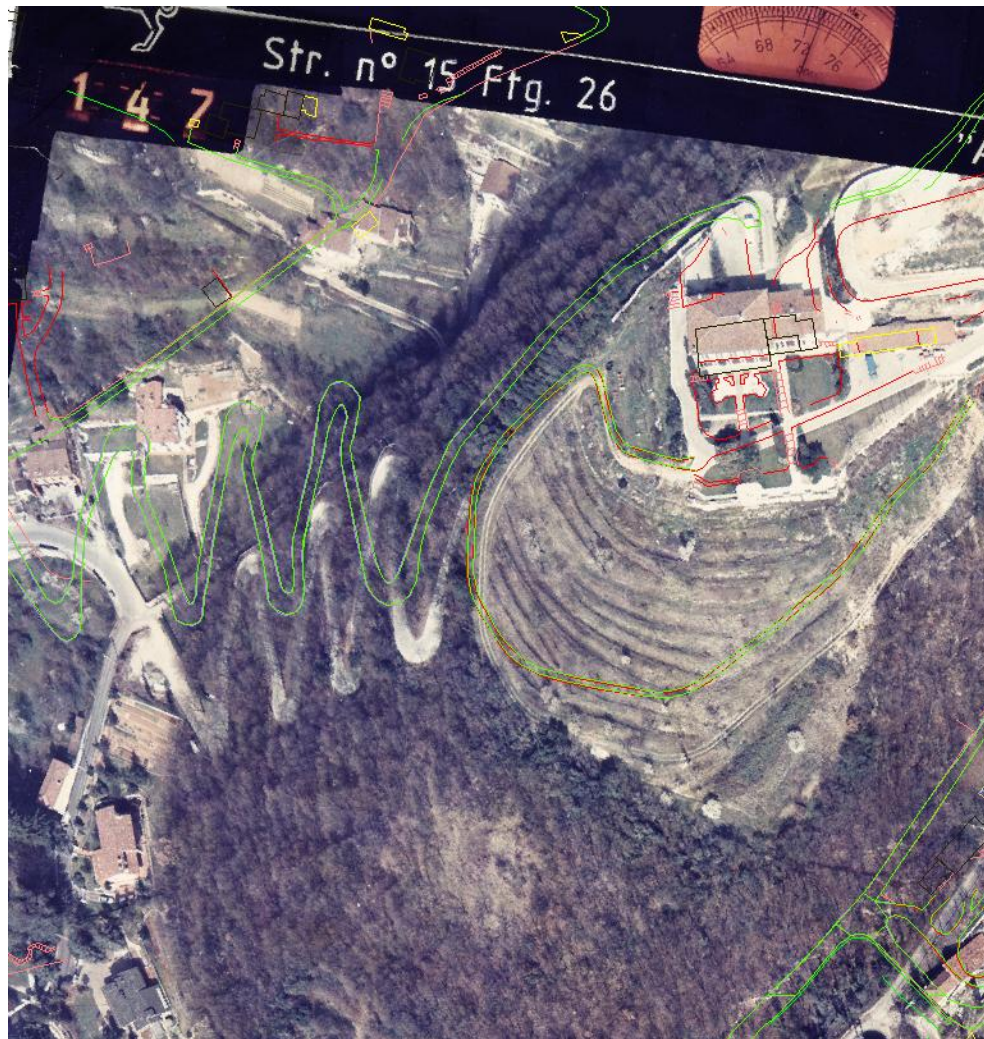
# Ortofoto

---





# Ortofoto contro immagine rototraslata (caso 1)





## Ortofoto contro immagine rototraslata (caso 2)





## In Google Earth c'è già tutto?

---

Google Earth mostra ortofoto di tutto il mondo

*La nostra disciplina è ormai inutile perché c'è già tutto su Google Earth.*

*E' inutile aggiornare la cartografia perché ora c'è Google Earth.*

Ne è nato un progetto per la valutazione rigorosa di Google Earth sulla zona di Pavia

- Accuratezza planimetrica
- Accuratezza altimetrica
- Dettaglio del contenuto informativo

## Accuratezza planimetrica: la spia

Per la città di Pavia, quando in Google Earth si effettua la zoom, le strade finiscono sui tetti.



Come mai?

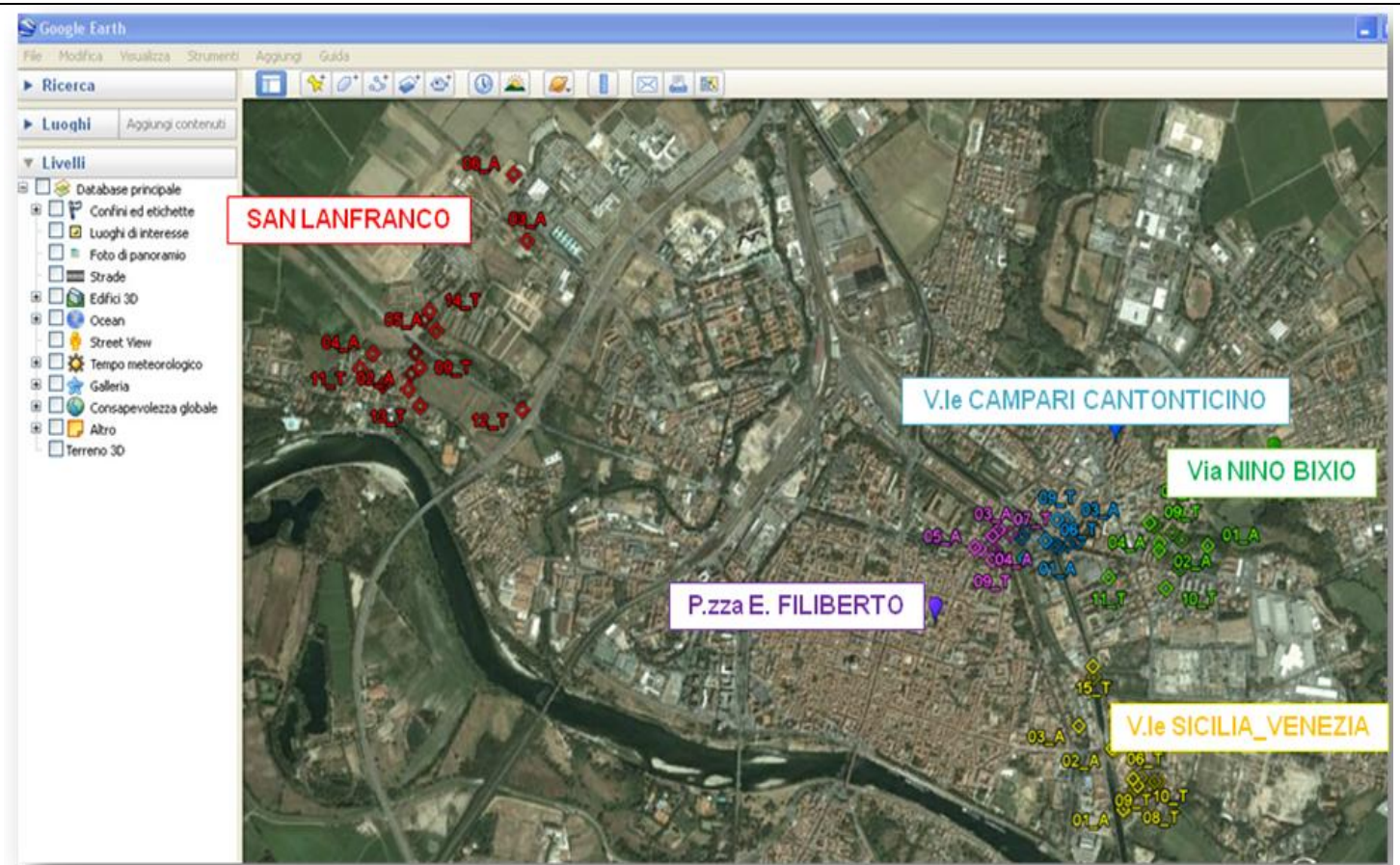
E' sbagliata l'ortofoto o la mappa vettoriale delle strade?



# Accuratezza planimetrica: analisi rigorosa su Pavia

Diverse zone test

60 punti di controllo  
misurati su Google Earth (GE) e sulla CTC al  
1:2000



## Accuratezza planimetrica: risultati

Diverse zone test 60 punti di controllo misurati su Google Earth (GE) e sulla CTC al 1:2000	<b>punti: 60</b>	<b><math>\Delta E</math> [m]</b>	<b><math>\Delta N</math>[m]</b>
	<b>Min</b>	14,176	-6,687
	<b>Max</b>	17,631	1,743
	<b>Media</b>	<b>15,926</b>	<b>-1,162</b>
	<b>STD</b>	<b>0,691</b>	<b>1,108</b>
	<b>EQM</b>	15,941	1,606

Errore sistematico di circa 16 metri in direzione Est-Ovest

Errori accidentali dell'ordine del metro ( $1 \sigma$ )

Per completezza

- Lo stesso problema si verifica in altre città
- Ce ne sono altre invece in cui lo spostamento è decisamente più contenuto



## Accuratezza altimetrica

Scelti 16 punti quotati *isolati* che si trovano su strada o marciapiede

Calcolata differenza fra le quote GE e quelle vere

Esiste un errore sistematico limitato

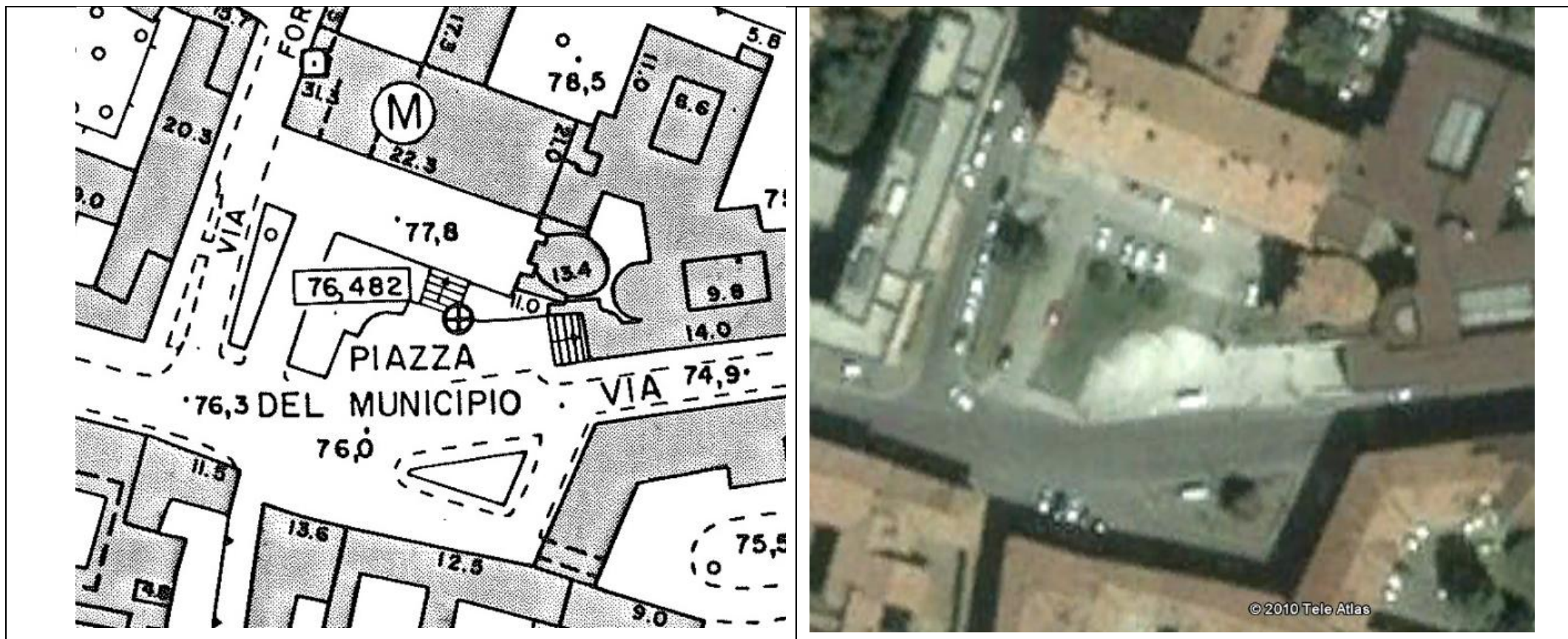
Errori accidentali attorno a 2 m ( $1 \sigma$ )

Errori totali medi di 2,60 m ( $1 \sigma$ )

16 punti	$\Delta Z$ [m]
min	-7,83
max	0,96
media	-1,65
sqm	1,99
eqm	2,58

Ma non sapete che GE usa il DSM SRTM con passo 90 m? Io sì...

## Piazza Municipio - Confronto fra Google Earth e cartografia



L'immagine GE su Pavia è molto bella , ma non è facile leggere sull'immagine GE tutti i dettagli presenti in cartografia



## Piazza Municipio - Confronto fra GE e immagine aerea HR



Immagine acquisita con Leica ADS40-SH52 da Blom CGR - GSD 8 cm - *non ortoproiettata*

# Dettagli

---





## Champorcher, Val d'Aosta

---

Frazione Mellier del Comune di  
Champorcher, Val d'Aosta

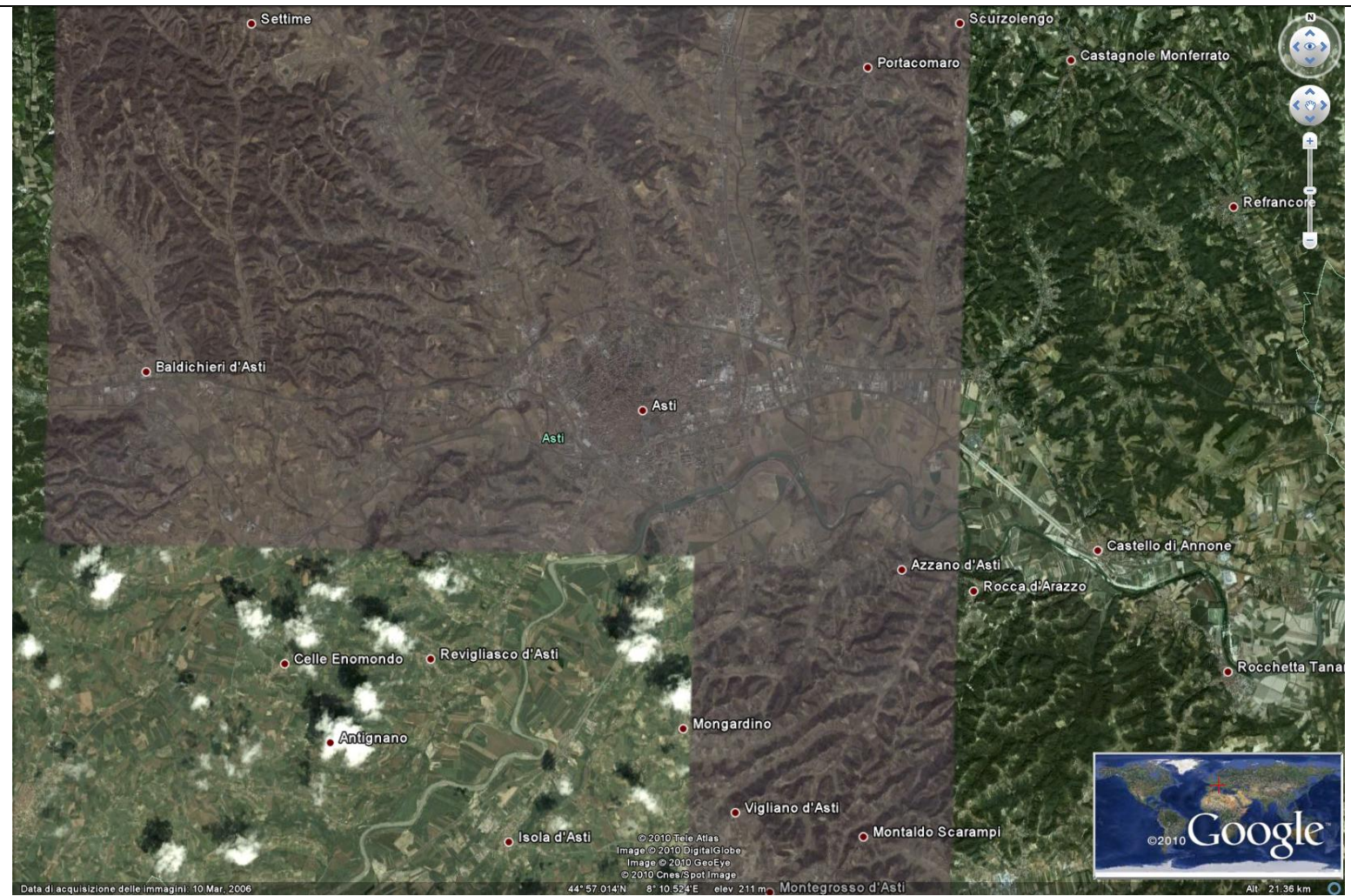
La mia casa si legge male



# Asti, Piemonte

Asti

Nuvole e disomogeneità

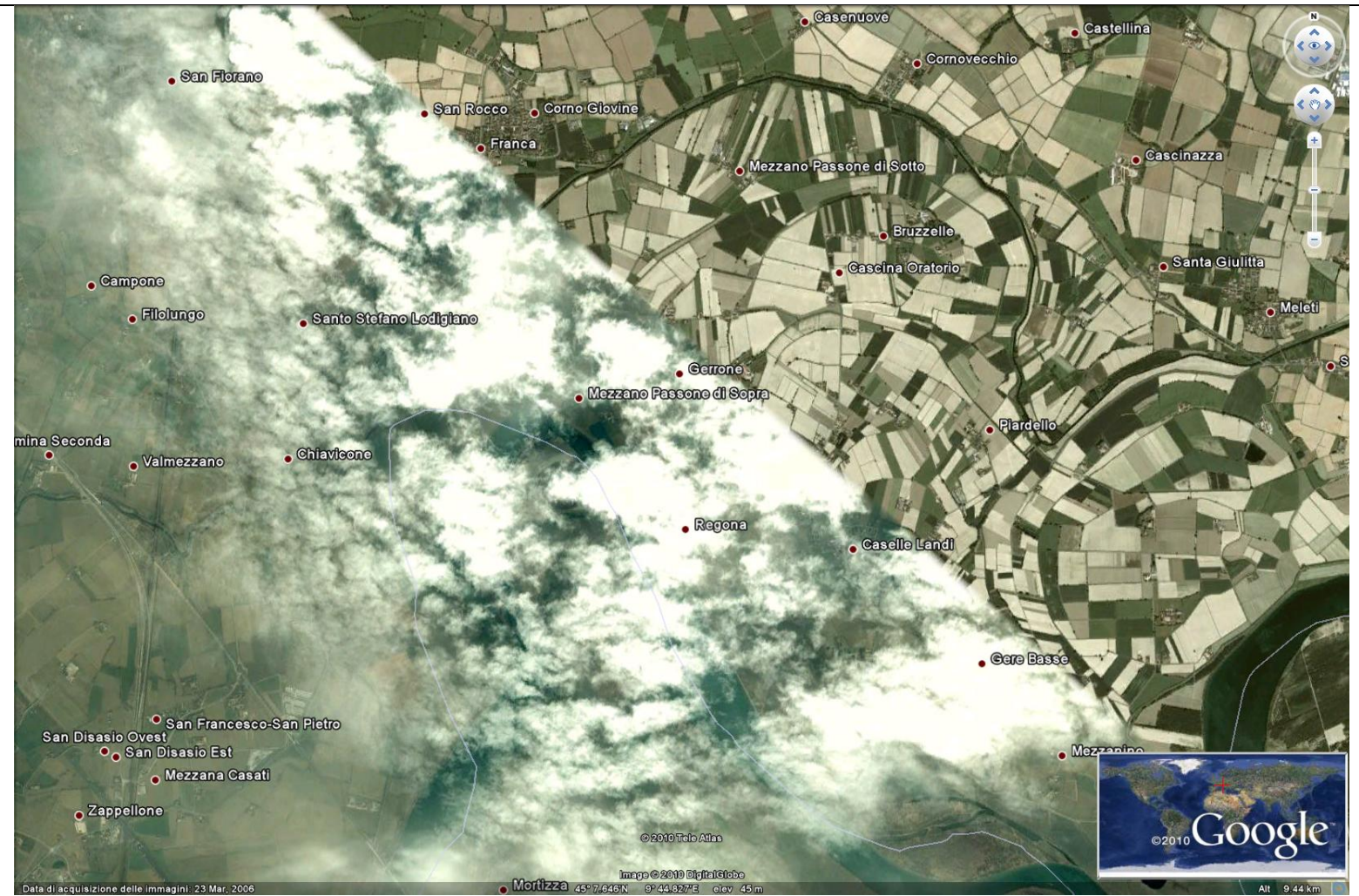




# Lombardia

Santo Stefano Lodi-  
giano, a Nord di  
Piacenza

Nuvole e qualcosa  
da capire



## Sintesi su Google Earth

---

GE ha il grande merito di aver fatto capire a moltissimi la bellezza e l'utilità dell'osservazione del territorio dall'alto.

GE ha prodotto e produrrà cambiamenti epocali nel modo in cui la cartografia viene fruita. Ci fa intravedere come sarà la cartografia del futuro.

**Tuttavia c'è ancora bisogno di una Geomatica professionale: elevate competenze, strumenti di qualità elevata, prodotti preparati da professionisti.**

L'informazione geografica si sta polarizzando:

- da una parte vi sono contenuti liberamente fruibili su Internet da tutti, prodotti a volte in modo cooperativo da molti utenti (Wikipedia), la cui nota caratteristica è la qualità disomogenea
- dall'altra Enti ed aziende, che devono basare la loro attività su informazione geografica di qualità certa, prodotta da professionisti, con strumenti della massima qualità.
- Interazioni interessanti



## Google Earth come esempio di Digital globe

---

GE non è un unicum. Esistono altri esempi di digital globes

Google Earth

Bing Maps

Yahoo! Maps

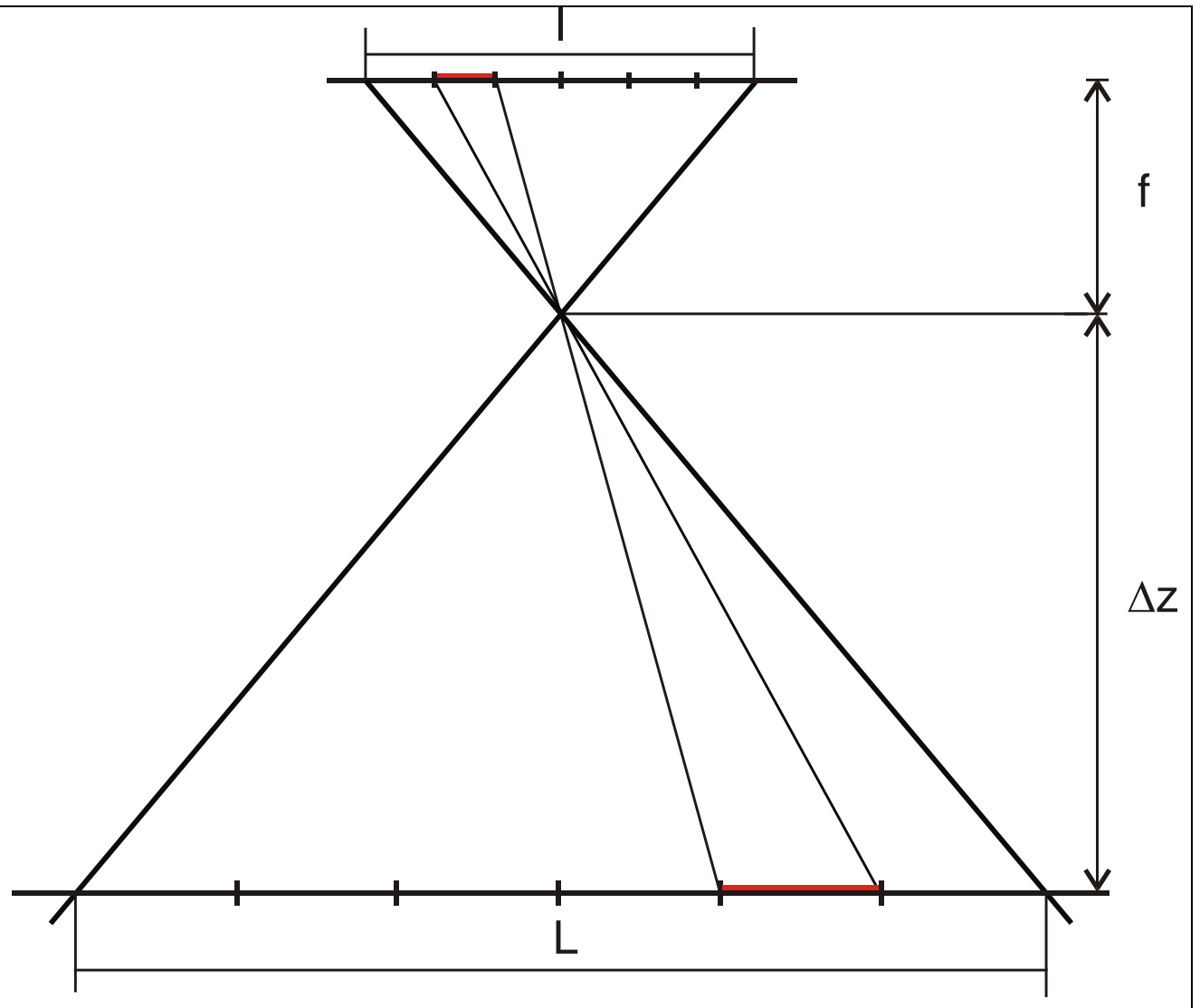
Ovi Maps (Nokia)

Pagine Gialle Visual

## Risoluzione al suolo

La scomposizione dell'immagine in tessere indice una analoga scomposizione del terreno.

La dimensione della proiezione al suolo di un pixel si dice GSD (Ground Sampling Distance)





## Risoluzione al suolo e visibilità degli oggetti

---

Il fatto che un certo oggetto sia visibile o meno su una immagine dipende dal GSD (e anche da molti altri parametri: contrasti, illuminazione, qualità immagine)

C'è una regola empirica che dice che, per essere sicuri che un oggetto sia individuabile su un'immagine, questo deve avere dimensioni lineari di  $3/4$  GSD

Affinché sia riconoscibile, l'oggetto deve avere dimensioni lineari di almeno  $8/10$  GSD.