



**Vittorio Casella**

Laboratorio di Geomatica - DICAR - Università di Pavia

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



# Introduzione al corso di Fotogrammetria, Lidar e GIS (FOLIG)

# Licenza

Questa presentazione è © 2012 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.

## Mi presento

---

Vittorio Casella

DICAR, Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura

Laboratorio di Geomatica, piano E

Studio al piano G

Tel: 0382 985417

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

sito web: <http://vittoriocasella.unipv.it>

# Presentazione ragionata degli argomenti del corso

---

## Metodi rapidi per il rilevamento del territorio

- Fotogrammetria (argomento più importante)
- Lidar

## Prodotti cartografici moderni

- Ortofoto (cenni)
- DTM

## Strumenti moderni per la gestione dei dati territoriali

- Sistemi informativi territoriali, SIT o GIS
- Modelli 3D e digital globes

# Presentazione ragionata degli argomenti del corso – 2

---

## Esercitazioni

Esercitazioni in aula informatica:

- *soluzione di alcuni problemi presentati nel Corso (trasformazioni di coordinate, problemi ai MQ, misura fotogrammetrica) in ambiente Matlab*
- introduzione a QGIS
- 

Esercitazioni in Laboratorio di Geomatica sull'uso di SW fotogrammetrici

# Programma del corso

---

Cartografia tradizionale

Cartografia numerica

Immagini digitali e cartografia raster

DTM, DSM

Come gestire all'interno di QGIS cartografia e DTM

Fotogrammetria analitica e digitale

Cenni alle ortofoto

Elementi sul laser scanning

Uso dei Lastools per la gestione dei dati lidar e per il filtraggio

# Organizzazione

---

Lunedì ore 14-16 aula E6

Venerdì ore 9-11 aula G2

Dispense: <http://vittoriocasella.unipv.it>

**Portare sempre la calcolatrice**

# Esame

---

Elaborato scritto: fino 27 punti

Orale opzionale: fino a 3 (5 in casi eccezionali) punti

# I metodi di rilevamento classificati per rapidità

---

Metodi lenti e precisi: Topografia, GPS

Metodi rapidi e un po' meno precisi: Fotogrammetria

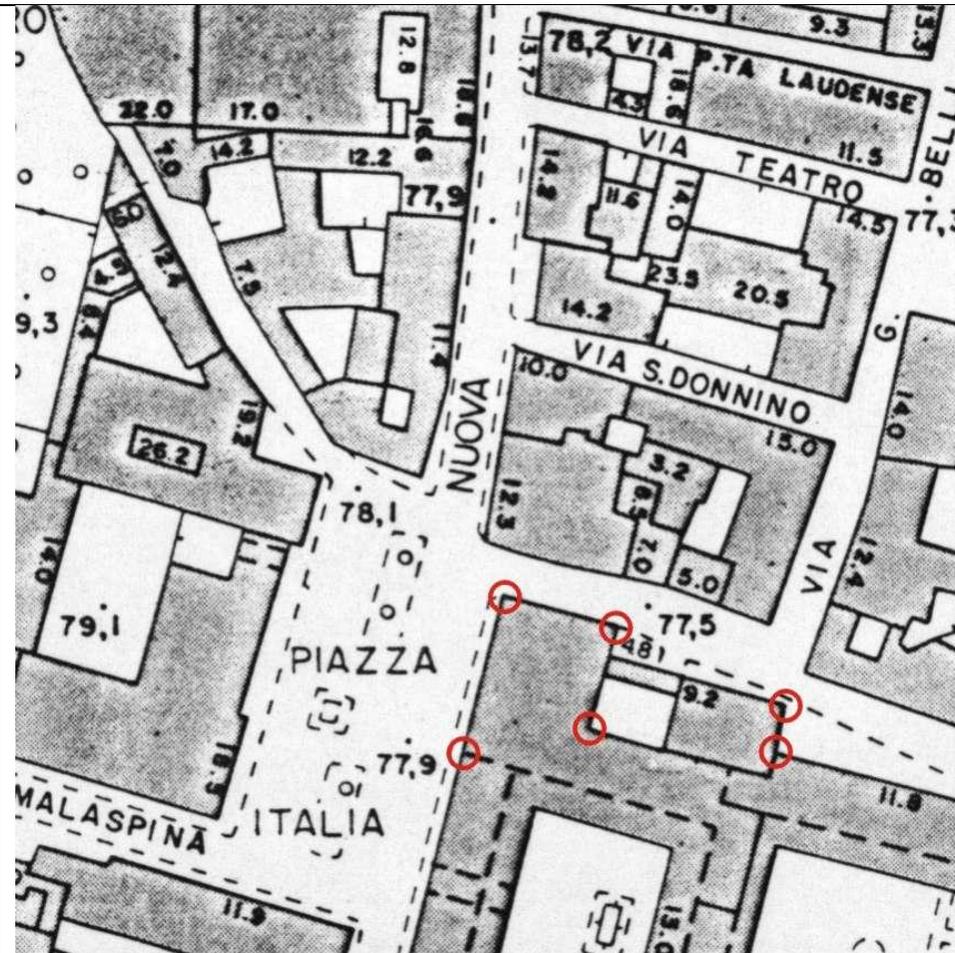


# Onerosità del rilevamento topografico - 1

Con i metodi topografici classici e GPS è necessario visitare ogni punto che si vuole misurare: si tratta di un **metodo molto oneroso**

Ma vi sono eccezioni:

- intersezione in avanti
- teodoliti reflectorless, che consentono di misurare punti senza entrare in contatto con essi

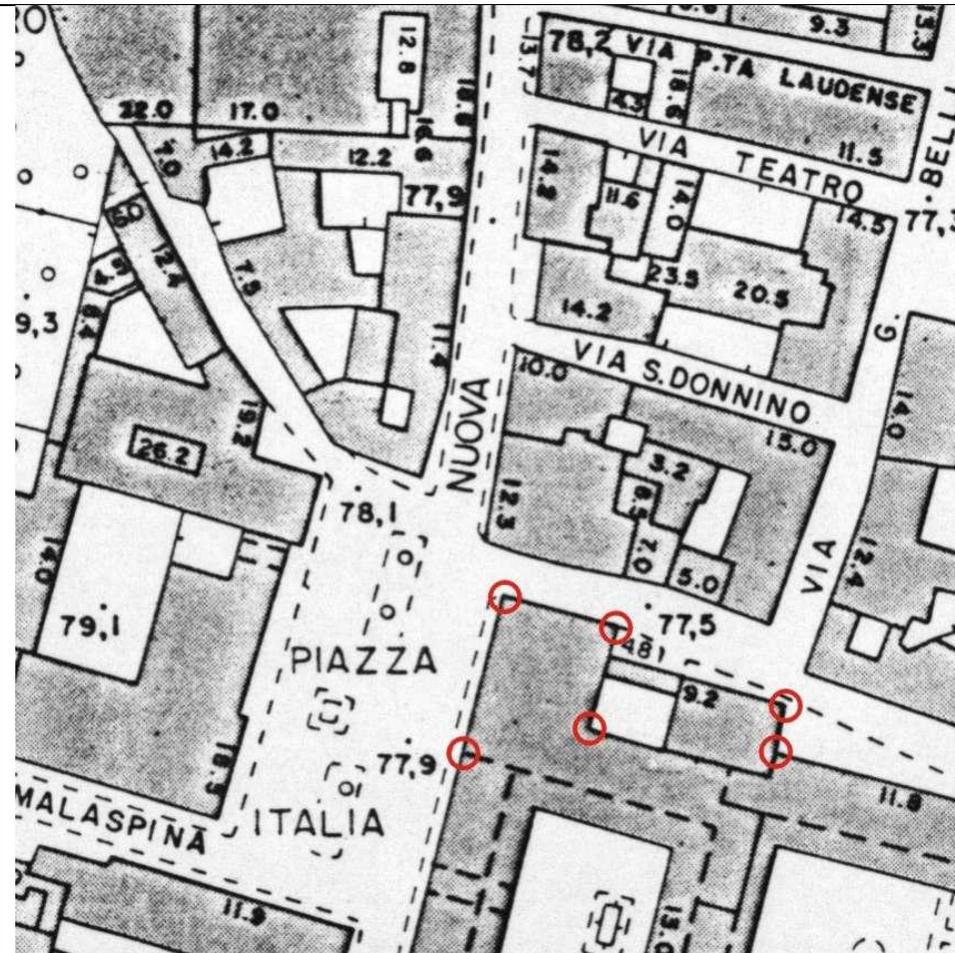


La CTC 1:2000 di Pavia

## Onerosità del rilevamento topografico - 2

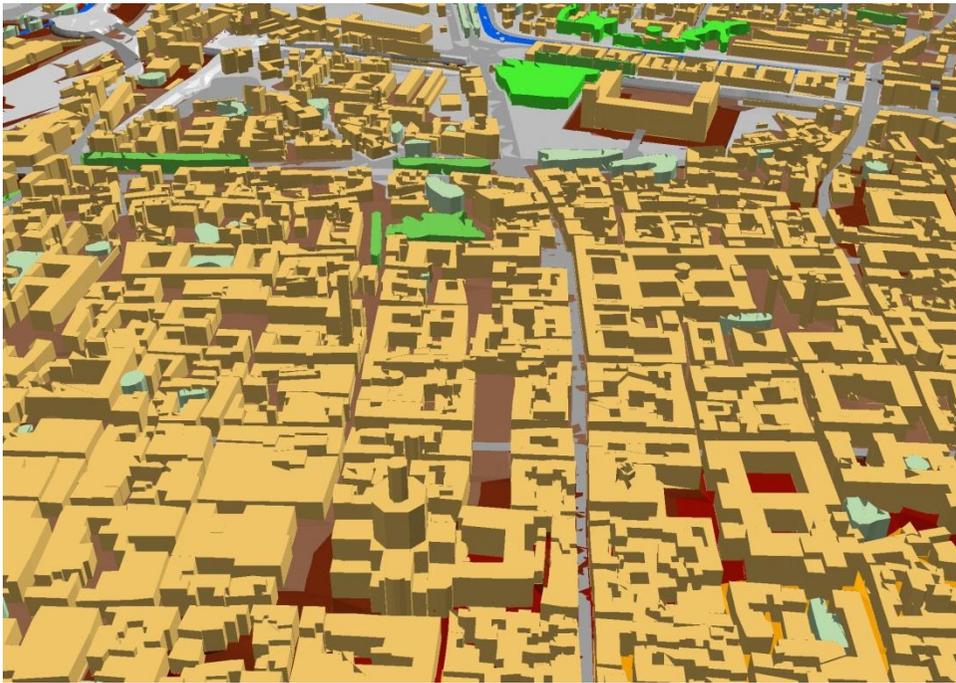
Tuttavia...

...usare i metodi topografici per realizzare una carta produrrebbe un risultato di qualità eccezionale, ma richiederebbe tempi lunghissimi e costerebbe moltissimo.

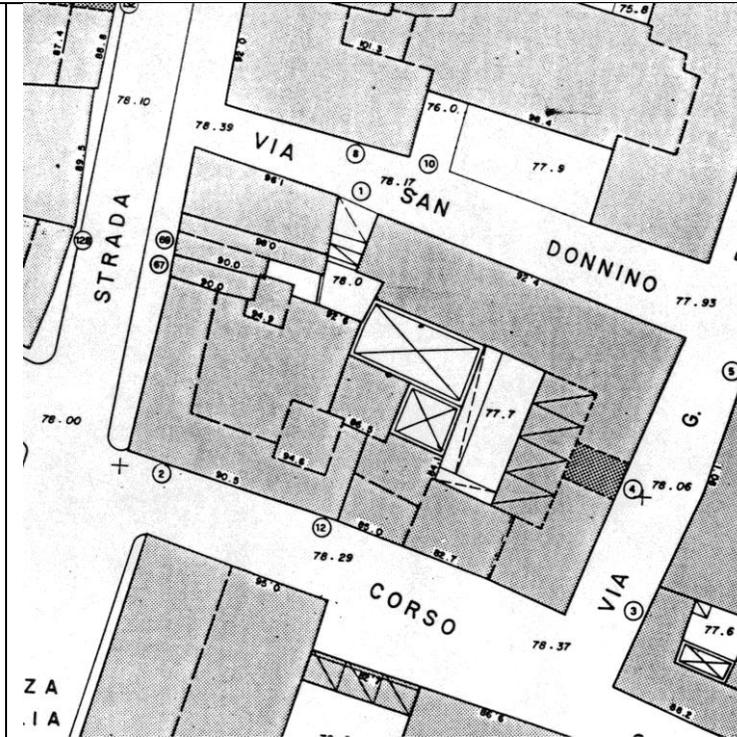


La CTC 1:2000 di Pavia

## Onerosità del rilevamento topografico - 3



Carta 3D di Pavia



La CTC 1:500 di Pavia

Esistono tra l'altro anche cartografie più complesse:

- cartografie 3D
- cartografie estremamente dettagliate, alla scala 1:500, (solo per i centri storici)

# Potenzialità delle fotografie per il rilevamento

I rilevatori hanno immediatamente compreso il potenziale delle fotografie per il rilevamento: **una fotografia cattura in un attimo la posizione di innumerevoli punti**

E' possibile ricostruire le coordinate-oggetto (la posizione nel mondo) di punti (punti-oggetto) a partire dalla posizione occupata dalle loro immagini (punti-immagine) su fotografie? **Nasce la Fotogrammetria.**



## Etimologia di Fotogrammetria

---

Fotogrammetria: uso metrico delle immagini

Si usa in termine *fotogrammi*, invece che fotografie, per sottolineare l'uso metrico che si fa delle immagini.

## Ulteriori vantaggi delle immagini

Consentono di effettuare la fotointerpretazione:

- riconoscere particolari
- valutare il tipo di edificio
- valutare il tipo di terreno
- ....

Non richiedono il contatto con il terreno e gli oggetti misurati: evitano interferenze con il traffico, per esempio

Il tipo di dettaglio visibile:

- tombini
- persone
- automobili

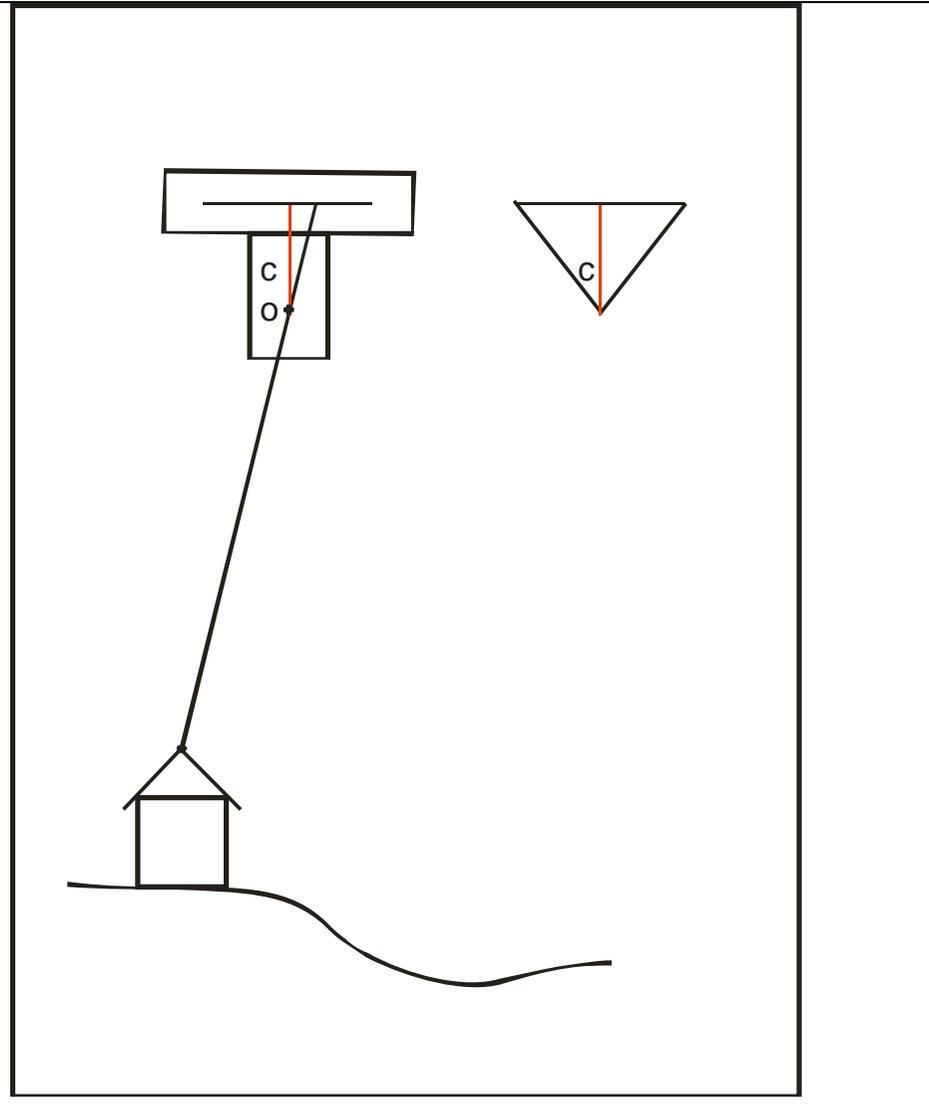


DZ=750 metri

# Come si schematizza una camera fotogrammetrica

Ai fini geometrici, la camera (macchina fotografica) può essere schematizzata con un triangolo avente come parametri significativi

- dimensione dell'area sensibile (del negativo) /
- lunghezza focale (distanza fra il centro dell'obiettivo e il piano dell'immagine):  $c$
- angolo di apertura

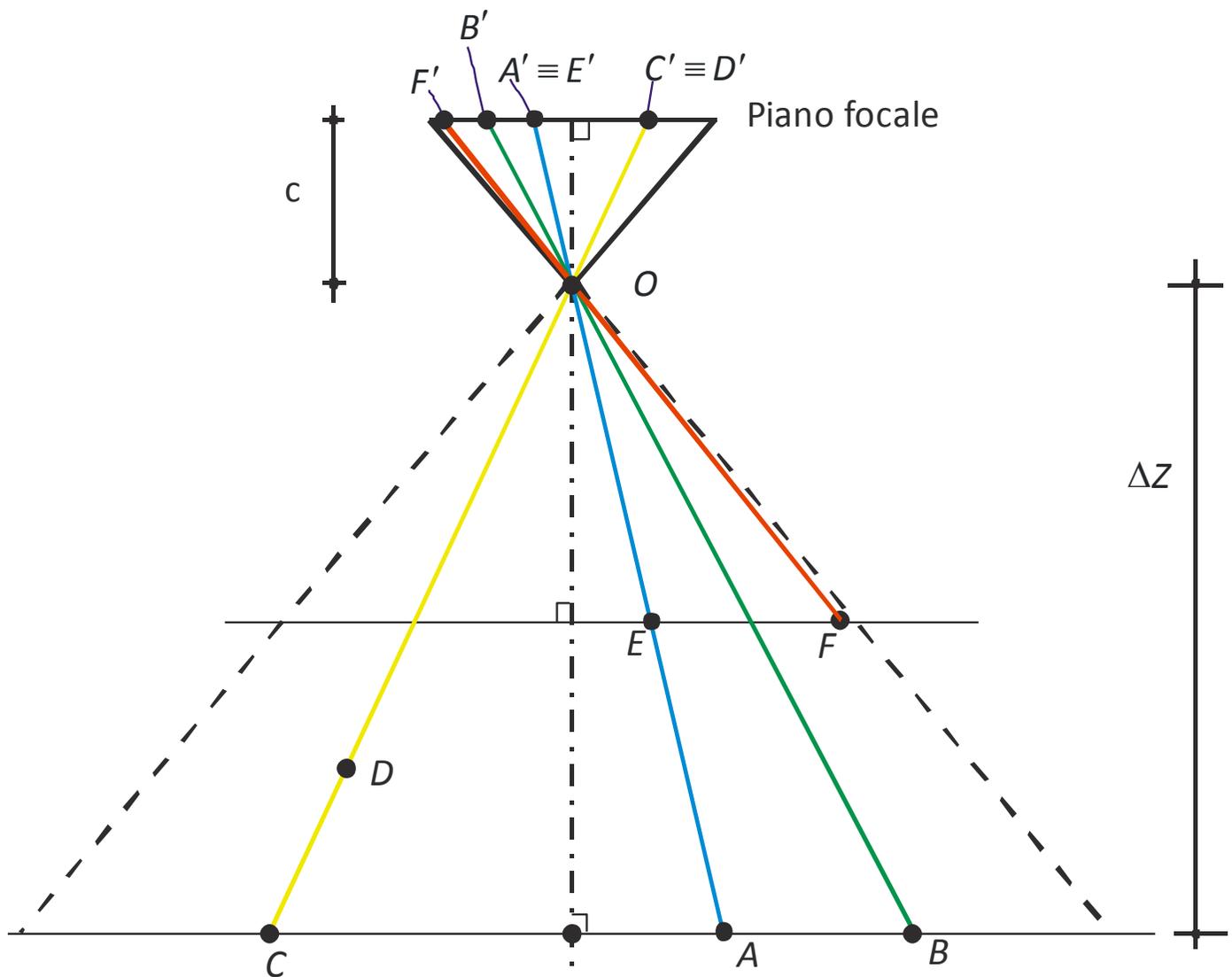


# L'equazione della fotografia

Idea: piazco una camera in cielo, in un certo punto e con un certo assetto; scatto una foto

I punti-oggetto generano per proiezione i punti-immagine (sull'immagine)

Valgono le leggi dell'ottica geometrica, cioè vi è **collinearità** fra il punto-oggetto  $A$ , il centro dell'obiettivo  $O$  e il punto-immagine  $A'$

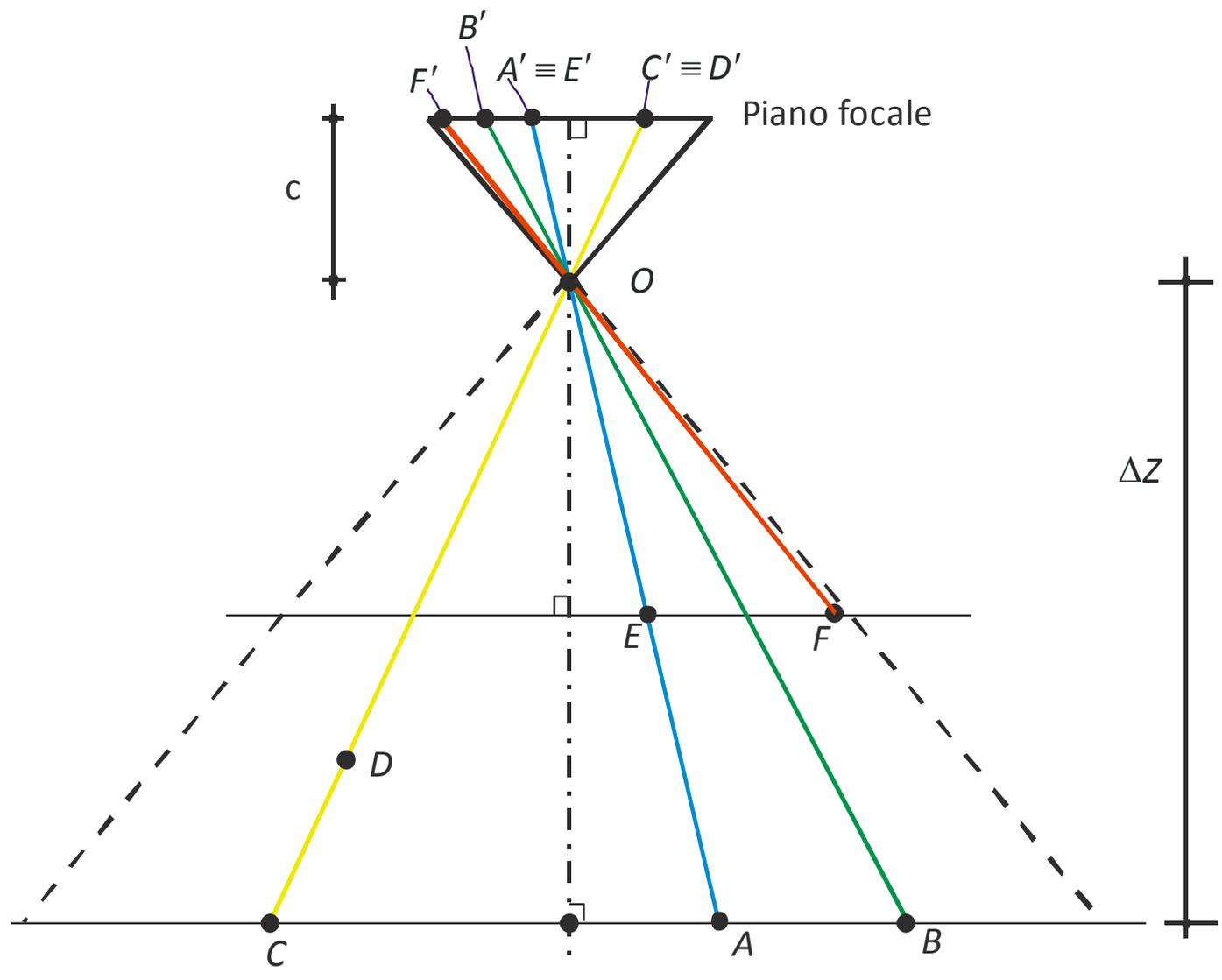


[presa\_fotogrammetrica\_1.cdr]

## Idee per la misura fotogrammetrica (restituzione)

Ricostruisco virtualmente, con il calcolo, posizione e assetto della camera al momento dello scatto  
Conosco il centro  $O$ ; posso misurare la posizione del punti-immagine ( $A'$ )  
Cerco di ricostruire la posizione del punto-oggetto  $A$

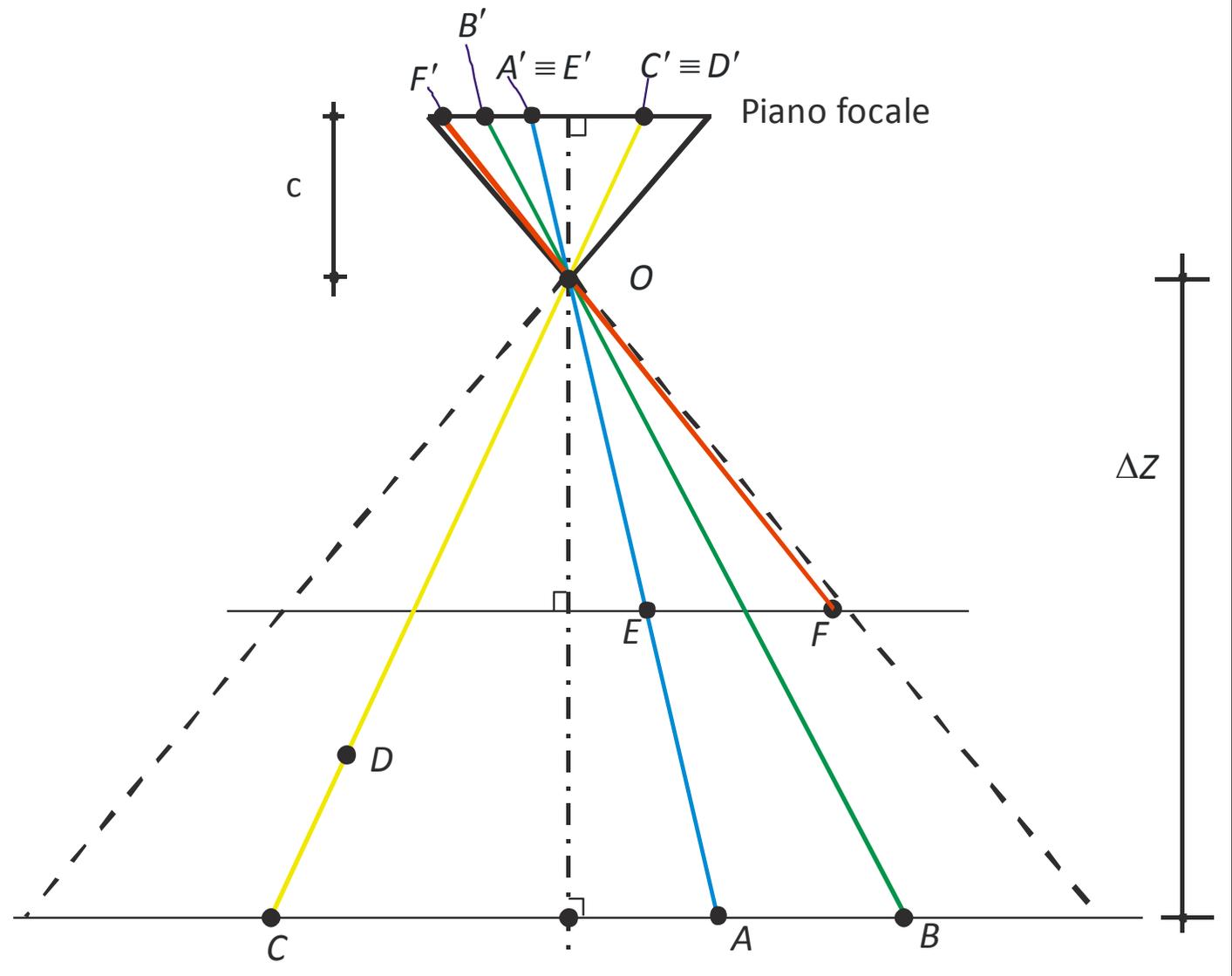
A



# Una sola immagine non è sufficiente - 1

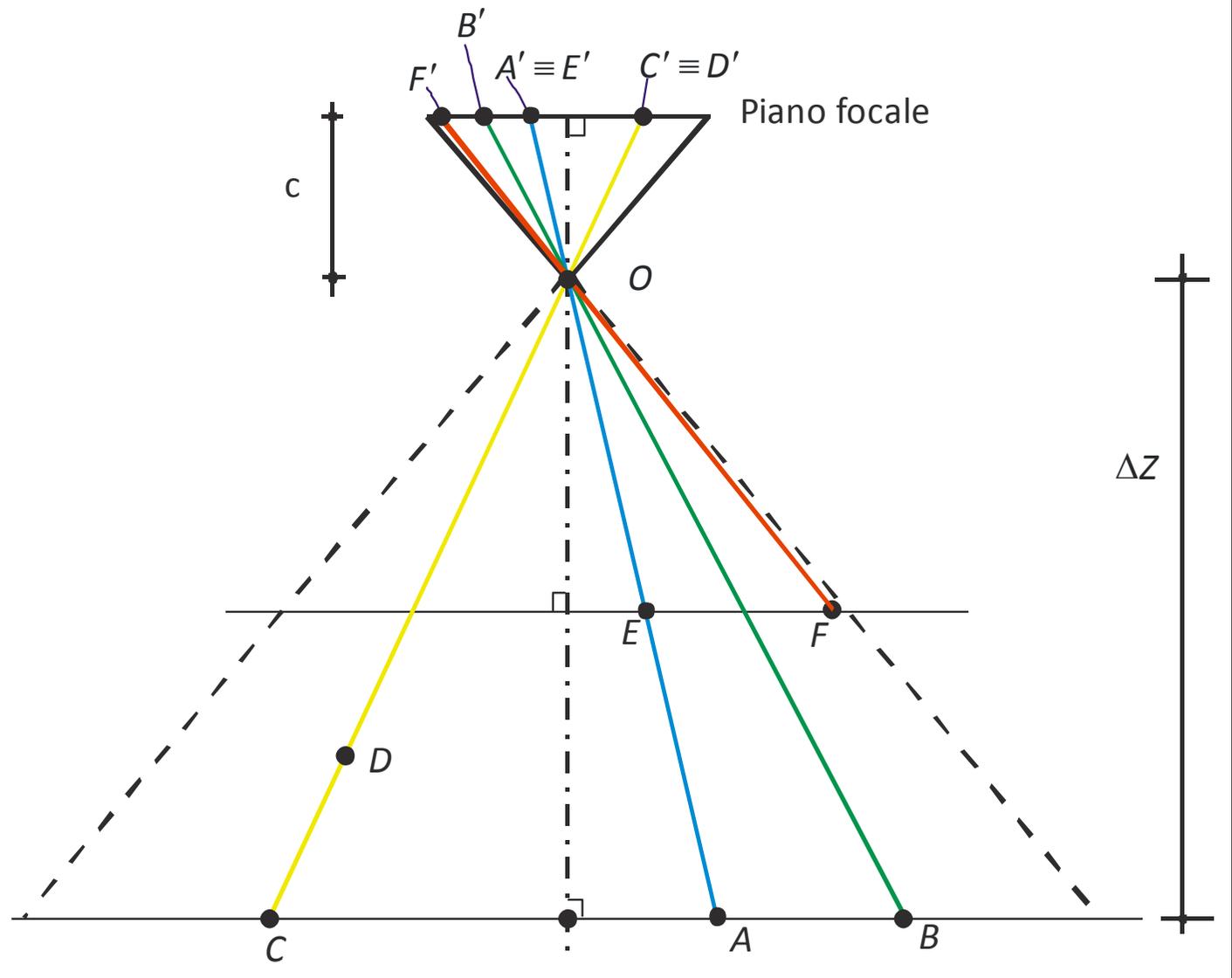
Perché al momento dello scatto il mondo 3D viene *appiattito* su una superficie 2D e ciò provoca una perdita di informazione

Perché i punti A ed E, per esempio, hanno la stessa immagine dunque sono indistinguibili



## Una sola immagine non è sufficiente - 2

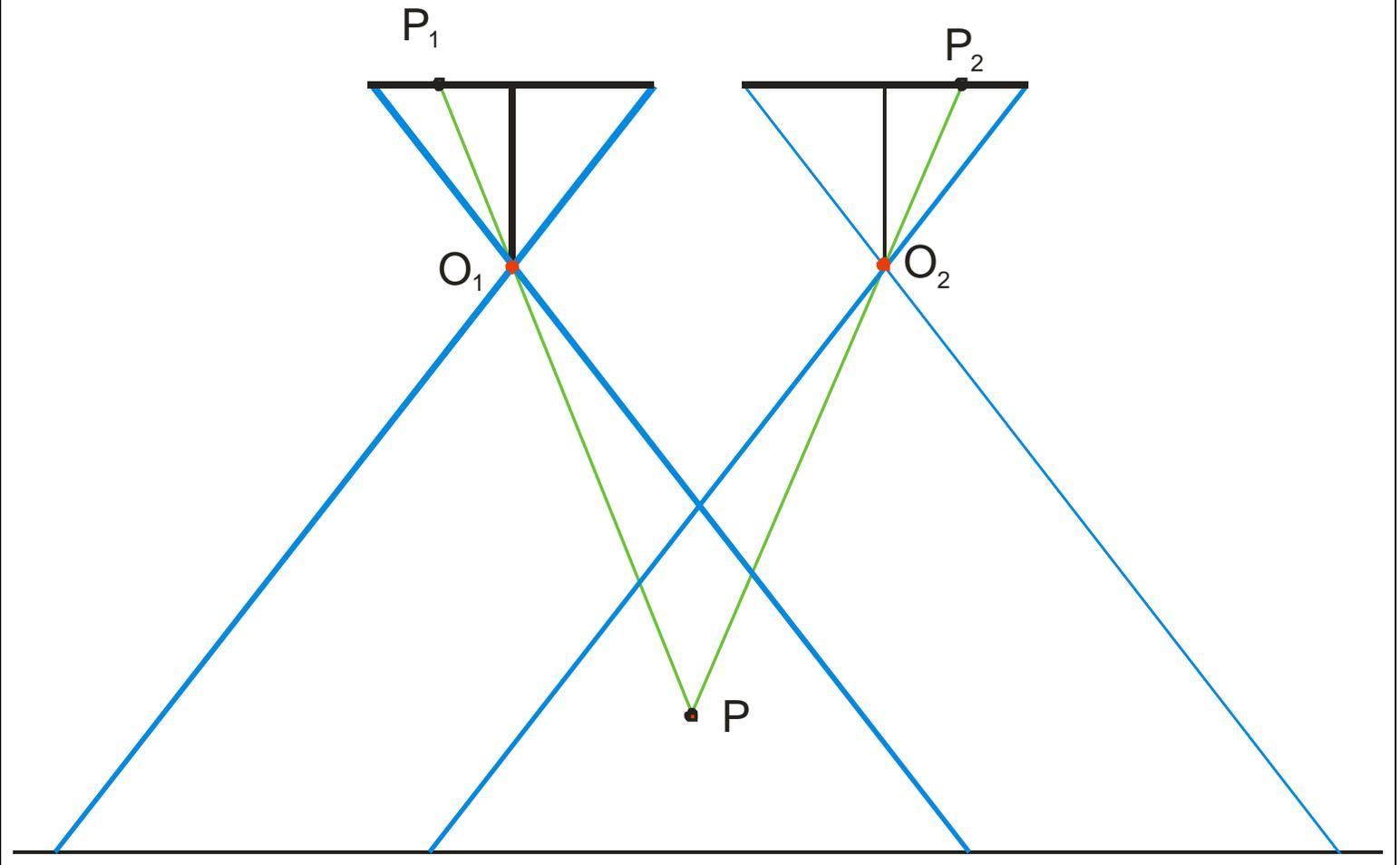
Perché il punto-immagine  $A'$  e  $O$  consentono di individuare la retta su cui si trova  $A$ , ma non so quando fermarmi



## Servono almeno due immagini

Il punto-oggetto è individuato come l'intersezione delle due rette omologhe, individuate per collinearità

La fotogrammetria è possibile

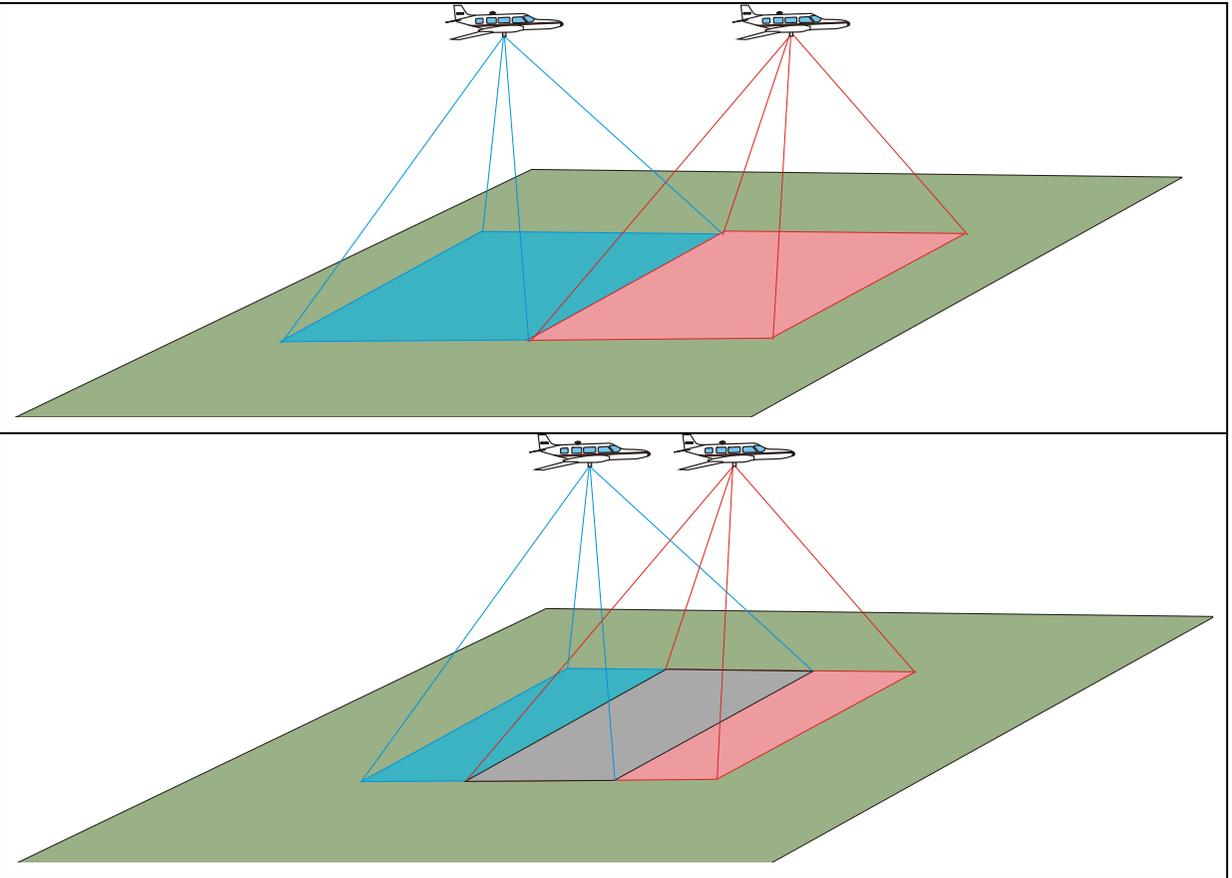


# Il volo fotogrammetrico: fotogrammi ricoperti – 1

Per fare misure fotogrammetriche è necessario che ogni punto del territorio che si vuole misurare compaia in almeno due fotogrammi. Come si fa?

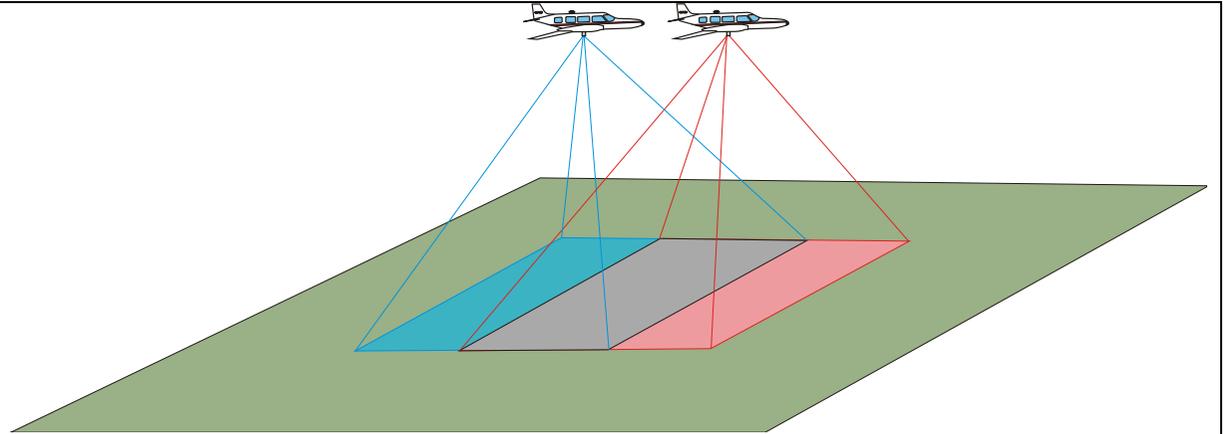
Sopra: fotogrammi giustapposti

Sotto: fotogrammi ricoperti



## Il volo fotogrammetrico: fotogrammi ricoperti - 2

Si deve fare in modo che le impronte a terra (proiezione dei bordi del fotogramma sul terreno) di due fotogrammi acquisiti in successione siano sovrapposte longitudinalmente, cioè nel senso della direzione di volo.

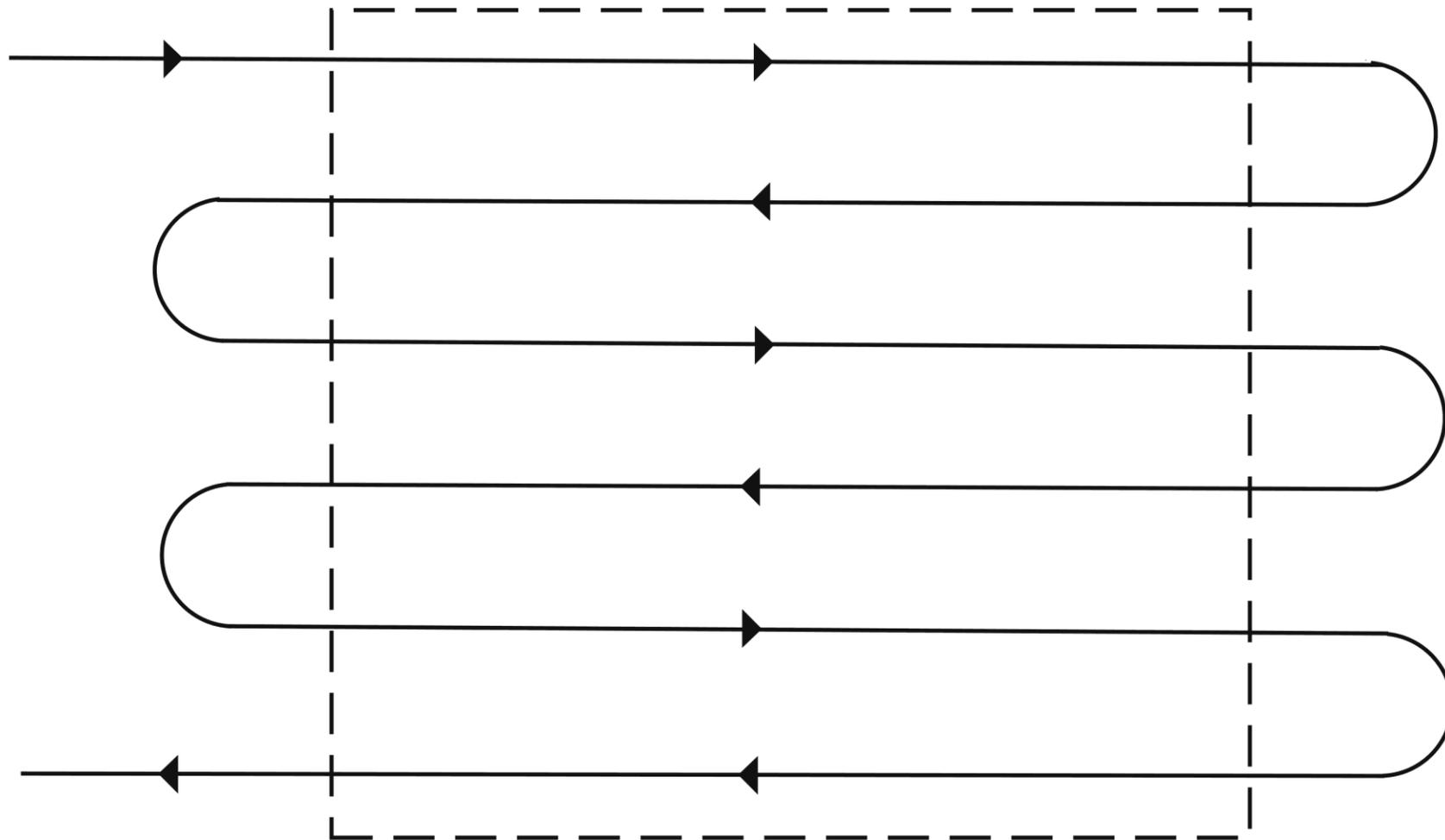


In questo modo si ottiene che la parte di territorio evidenziata in grigio compaia in entrambi i fotogrammi.

Operativamente, si tratta di fissare opportunamente il tempo di scatto fra due fotogrammi successivi.

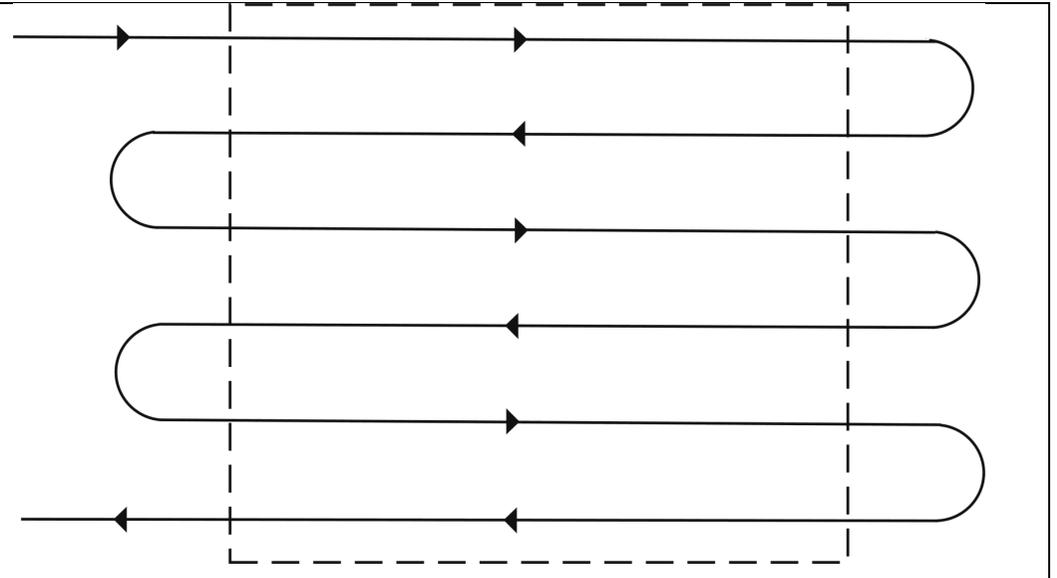
# Il volo fotogrammetrico: blocco e strisciate - 1

---



## Il volo fotogrammetrico: blocco e strisciate – 2

Dovendo riprendere una zona come quella tratteggiata, l'aereo la sorvola percorrendo una rotta rettilinea e acquisendo fotogrammi con l'opportuna frequenza



Una volta sorvolato tutto il territorio, l'aereo vira ed esegue un'altra striscia, parallela alla precedente ma traslata in direzione ortogonale alla direzione di volo.

La cosa prosegue fino a quando tutto il territorio è stato sorvolato.

# Introduzione al Lidar - 1

---

**Lidar:** Light Detection And Ranging

**Laser scanning:** scansione laser; laser scanner

**LASER:** Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Emissione di radiazione EM monocromatica e di elevata intensità

**RADAR:** Radio Detecting And Ranging

Laser radar

**ALS:** Airborne Laser Scanning

**LRF:** Laser Range Finder, distanziometro; talvolta usato come sinonimo di laser scanning

**ALSS:** Airborne Laser Scanning System

**ALTM:** Airborne Laser Terrain Mapper

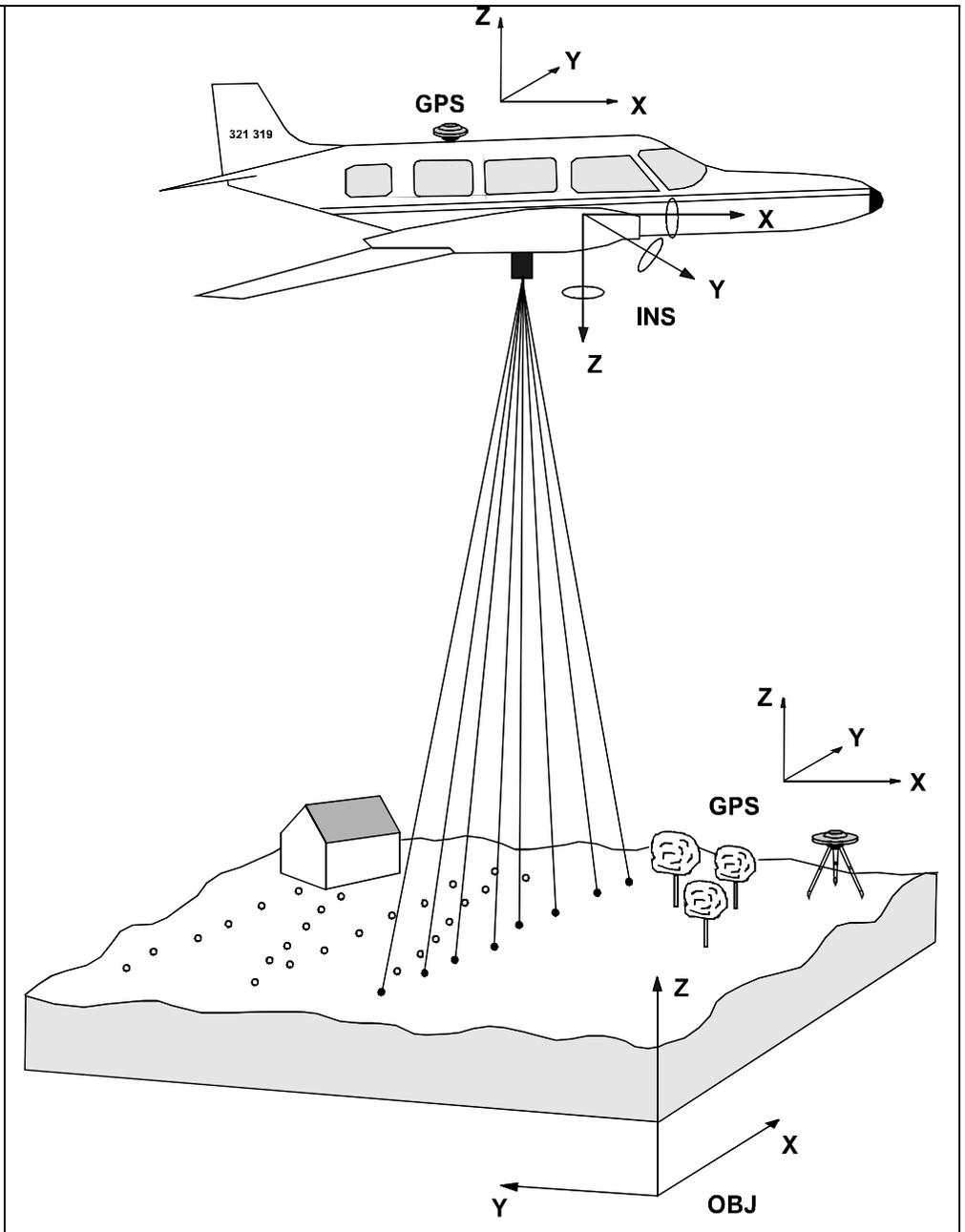
# Introduzione al Lidar - 2

## Sull'aereo (o elicottero)

- Scanner laser
- GPS
- IMU
- Telecamera
- Apparatı servizio

## A terra

- GPS master, per cinematico



## Introduzione al Lidar - 3

---

Che cosa produce: semine di punti di coordinate  $x,y,z$  note

- Grande precisione delle coordinate (5-20 cm)
- Grande densità dei punti: anche diversi punti al mq
- Elevata produttività: più di 100K punti al secondo

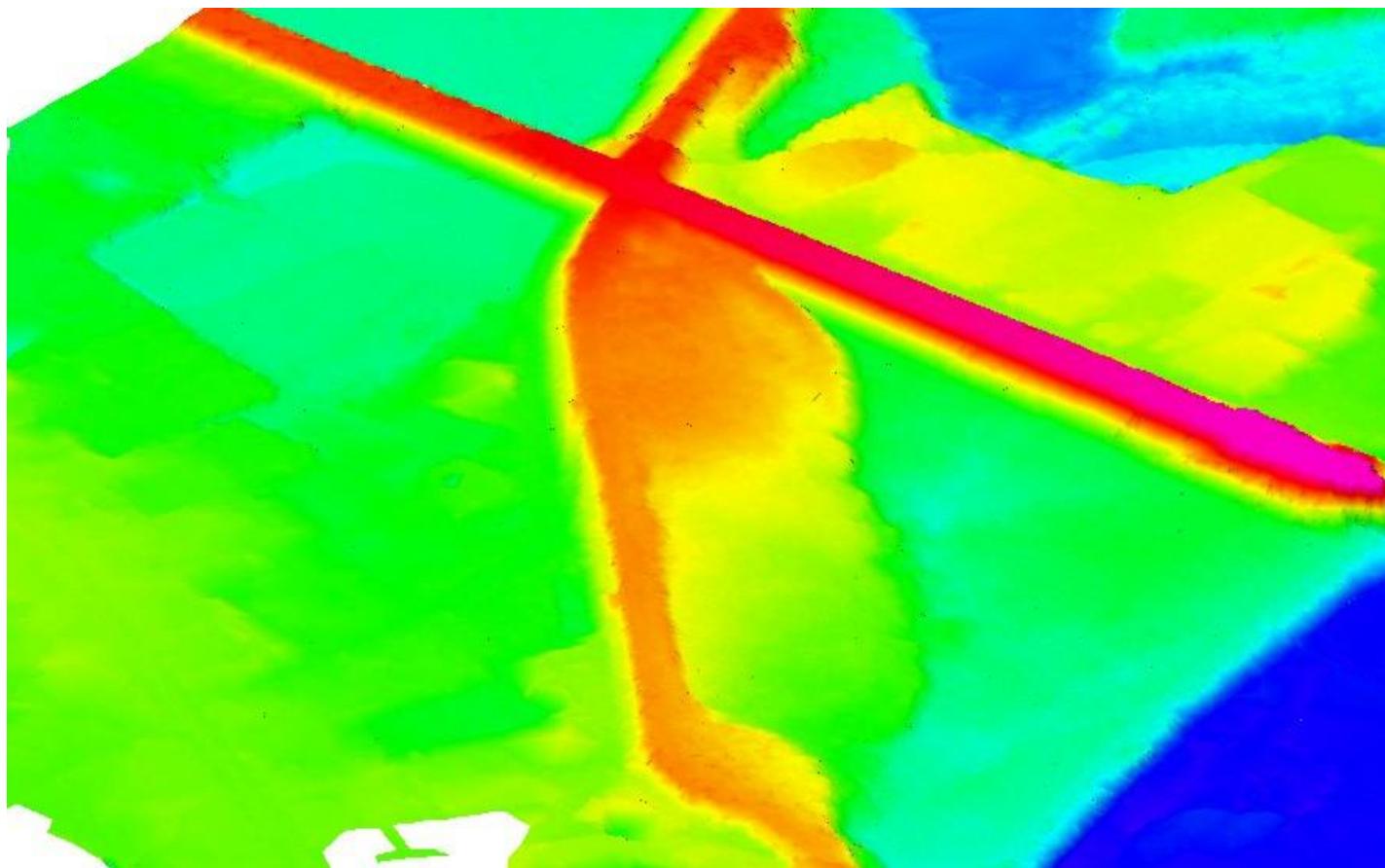
Serve a produrre modelli digitali del terreno o dell'edificato

## Esempi di DTM - 1

---

Il DTM della stessa zona. L'operazione con cui vengono eliminati i punti non appartenenti al terreno si chiama *filtraggio*. Esistono molte tecniche per effettuarlo.

Visualizzazione: vista prospettica e colorazione in funzione dell'altezza.

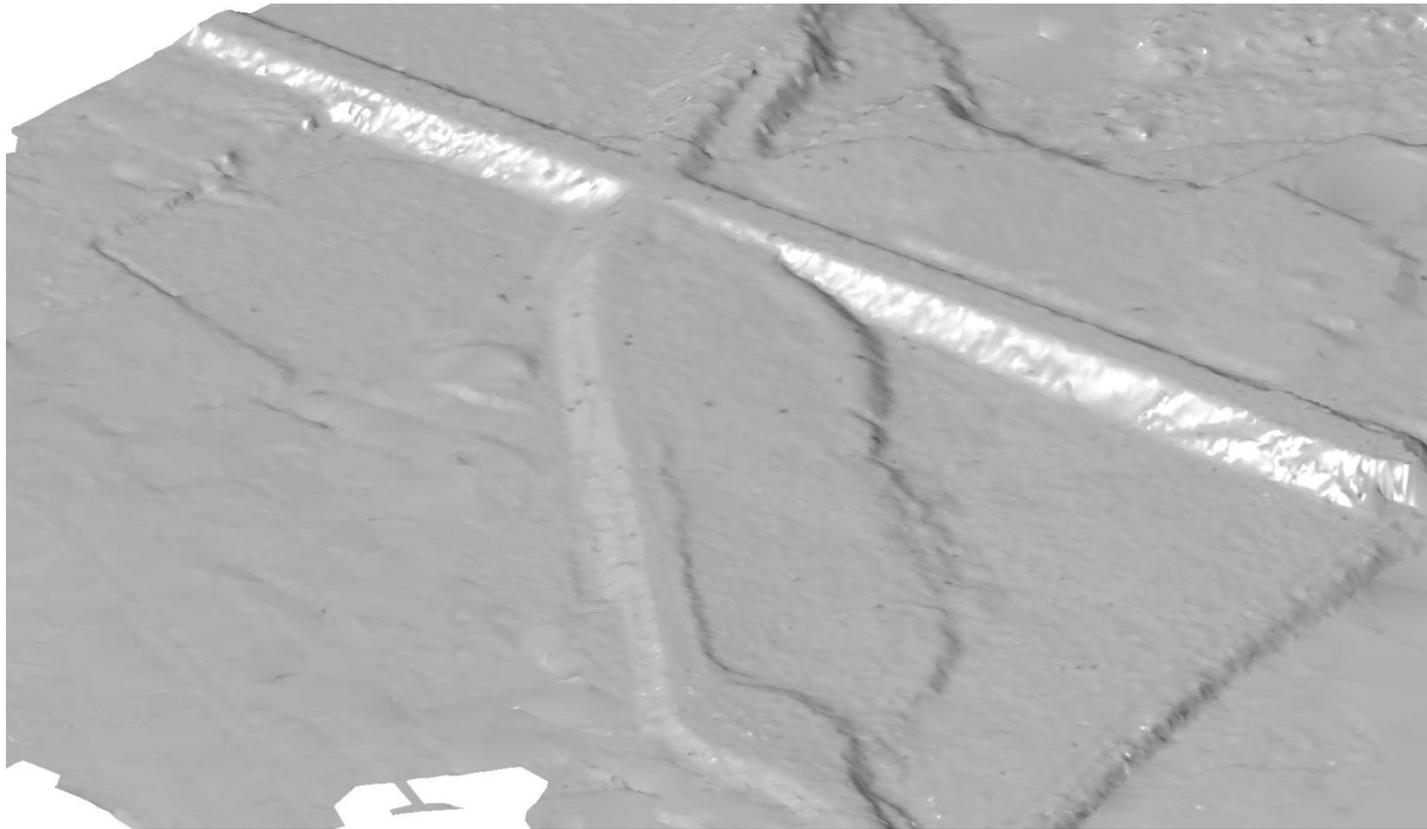


## Esempi di DTM - 2

---

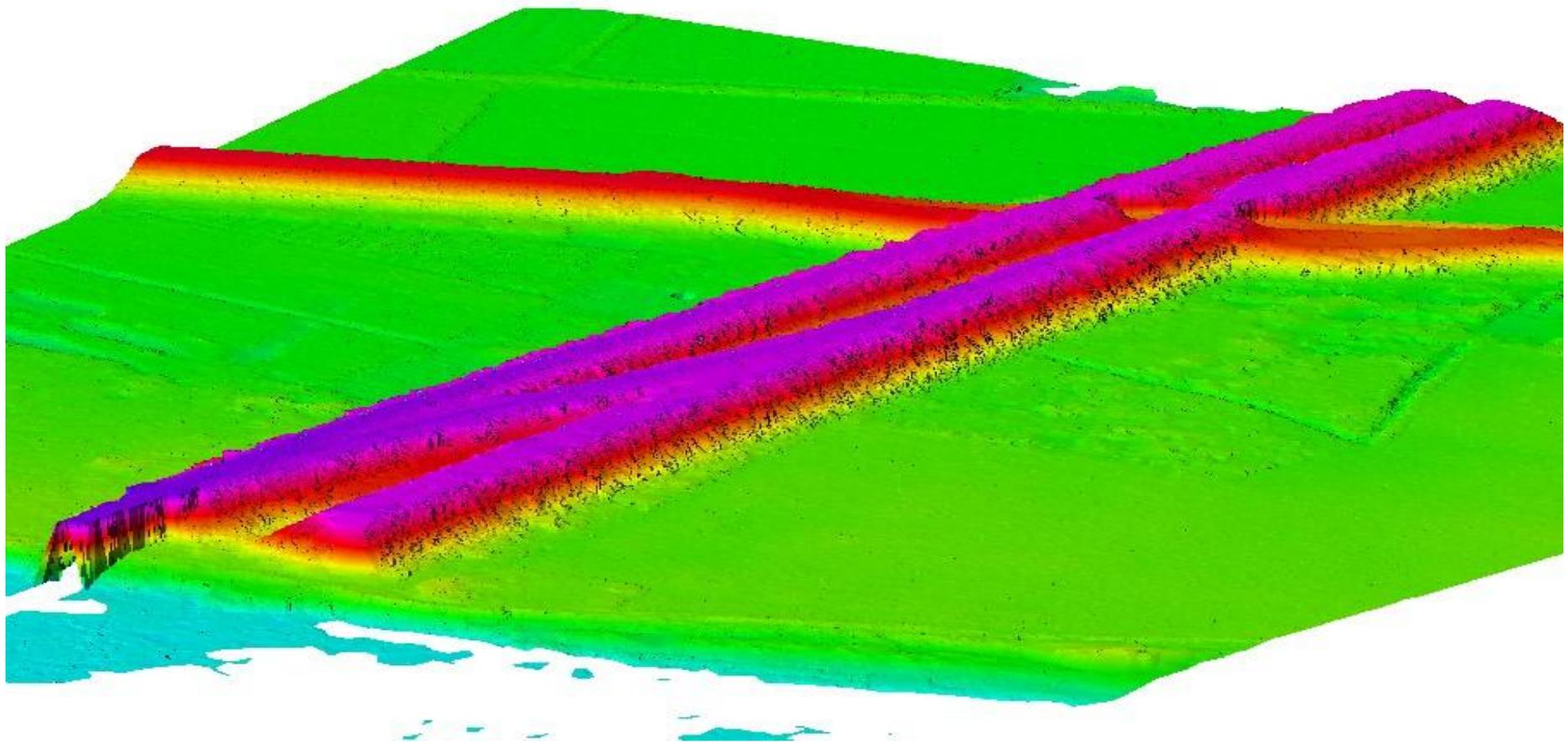
Lo stesso DTM visualizzato con una tecnica differente.

Visualizzazione con lo shading: vista prospettica e ombre generate da una fonte di luce sintetica.



## Esempi di DTM - 3

---



DTM di un tratto dell'argine del Ticino

## Esempi di DSM - 1

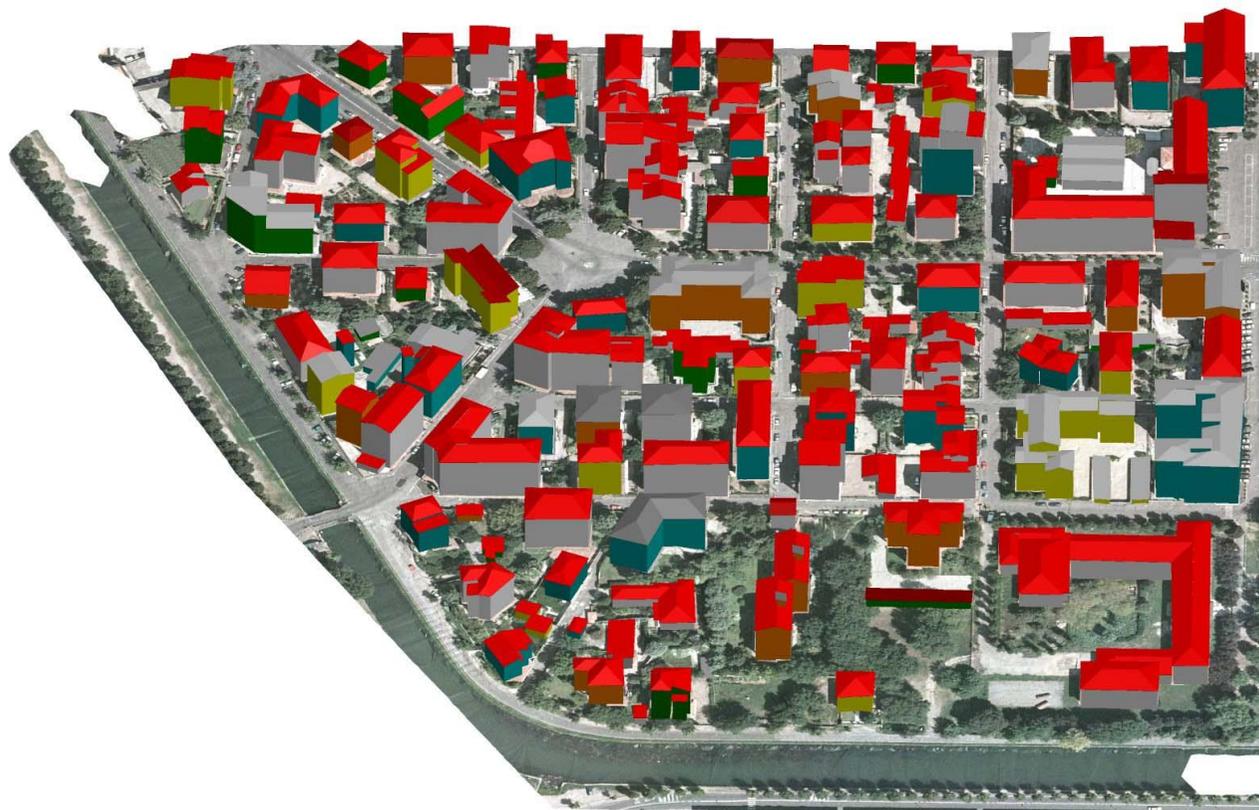
---



## Esempi di DSM - 2

---

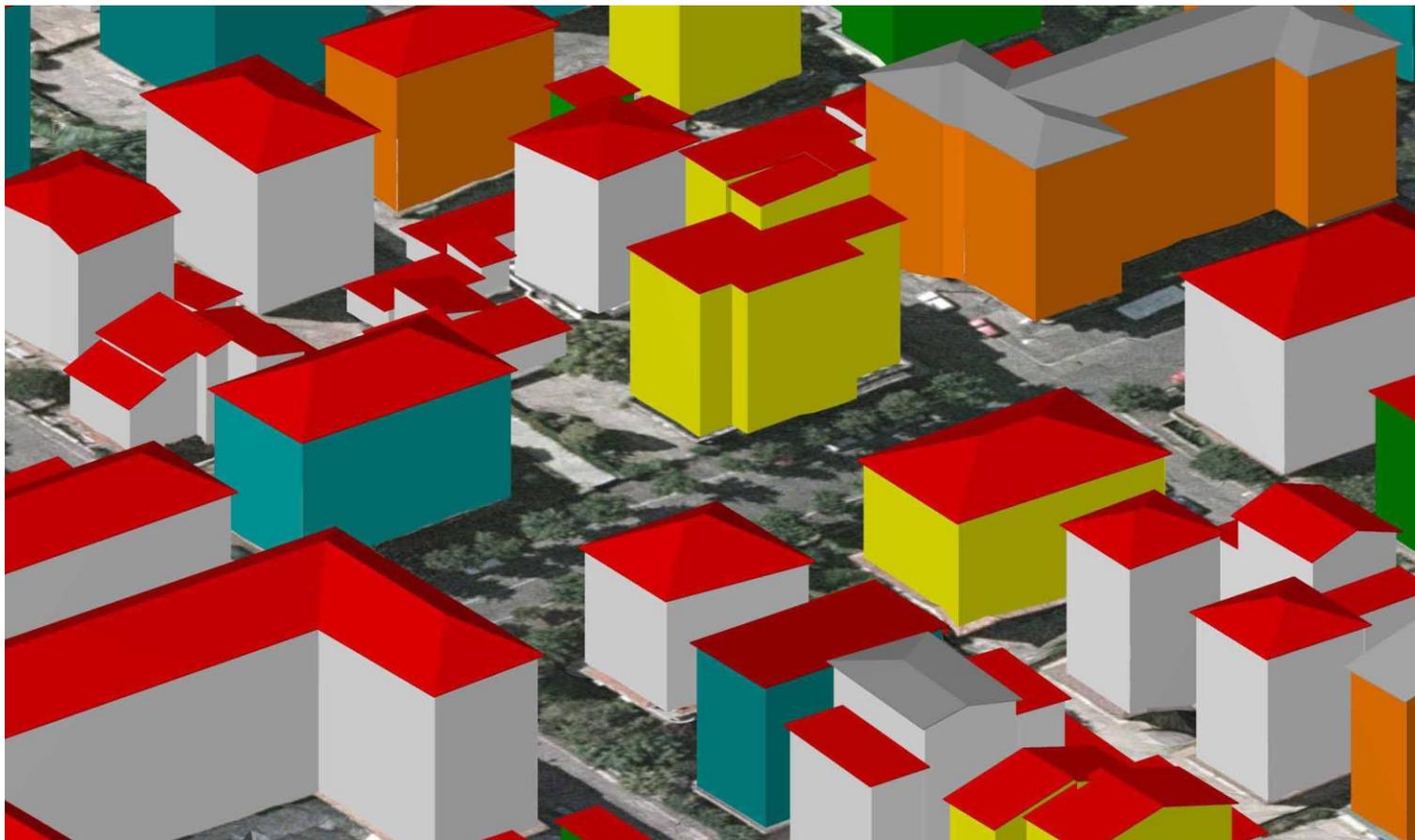
L'evoluzione del DSM: il modello solido di edificato



## Esempi di DSM - 3

---

Modello solido di edificato [esempio\_modello3d\_da\_laser\_3.jpg]



# I sistemi informativi territoriali

---

GIS: Geographic(al) Information System

LIS: Land Information System

SIT: Sistema Informativo Territoriale

Sistema che consente la gestione integrata di dati geografici (carte) e alfanumerici (tabelle, grafici, documenti). Gestione: visualizzazione, in varie forme, modifica, creazione nuovi dati, interrogazioni integrate, analisi.

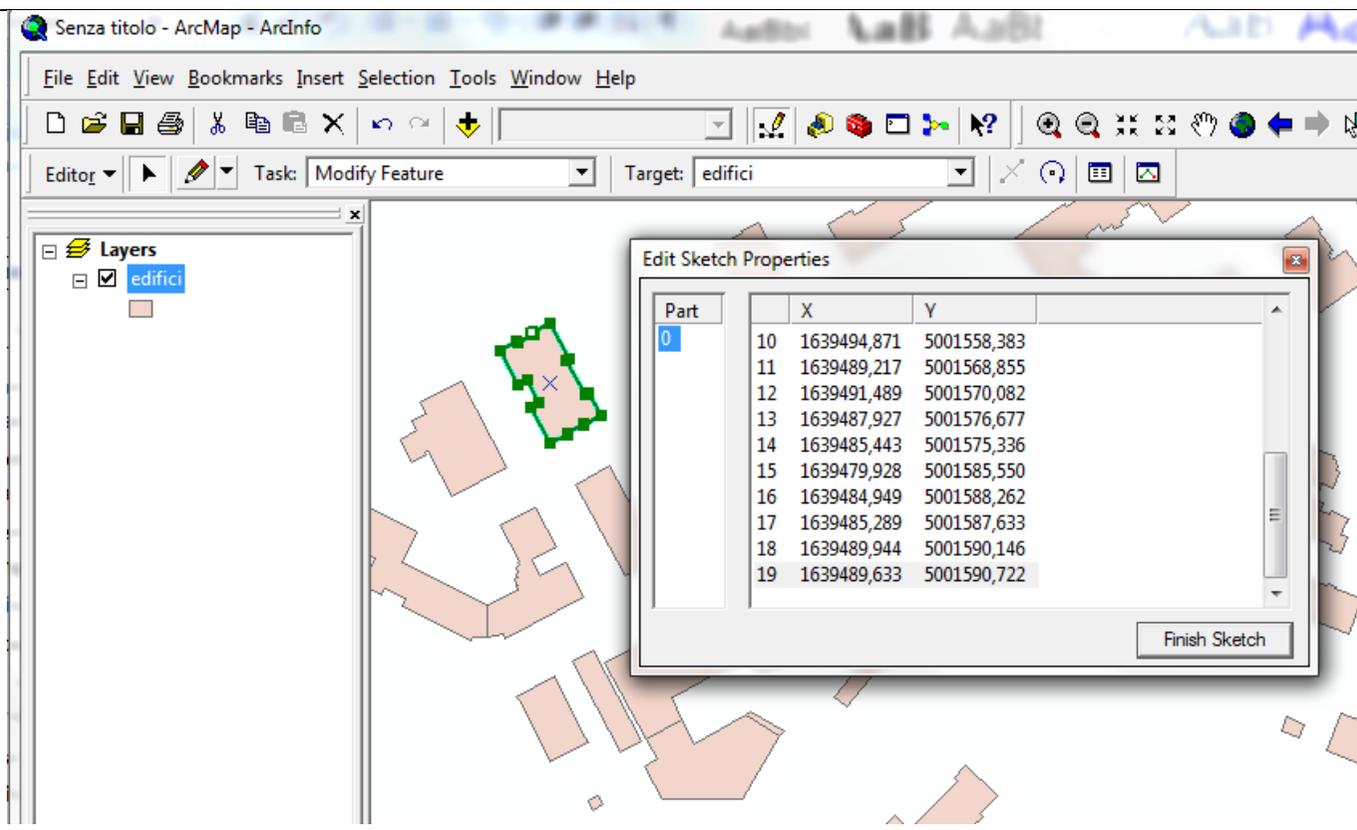
Se tutti i dati necessari sono disponibili, è possibile:

- individuare sulla carta l'edificio in cui risiede una persona
- individuare tutte le persone che risiedono in un certo edificio

La cosa non è agevole per motivi pratici, perché richiede di cercare un certo edificio sulla carta oppure di sfogliare grandi registri per individuare tutte le persone che abitano ad un certo numero civico.

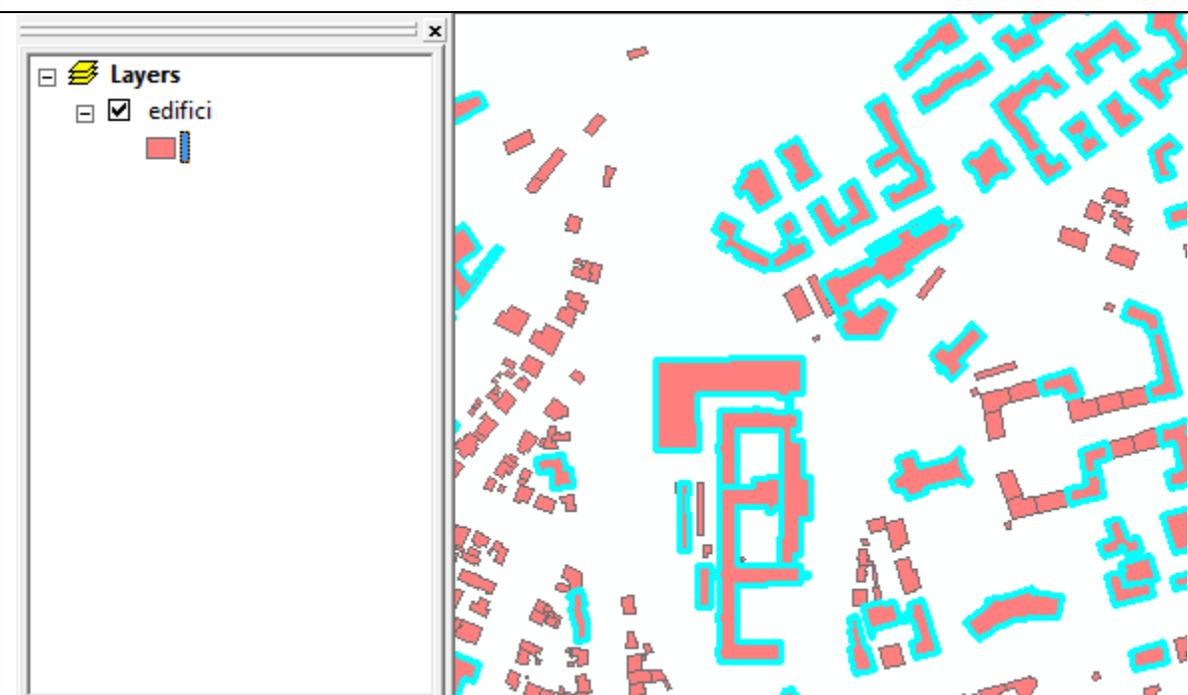
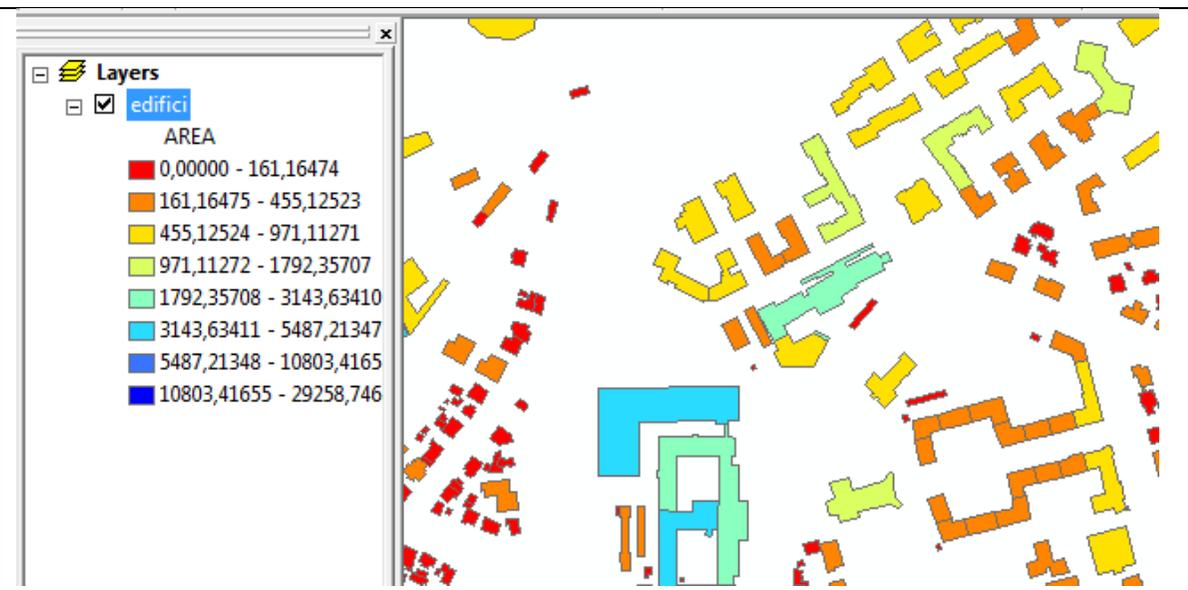
# Che cos'è la cartografia vettoriale

Gli oggetti presenti in cartografia sono rappresentati da poligoni di cui il sistema memorizza le coordinate dei vertici



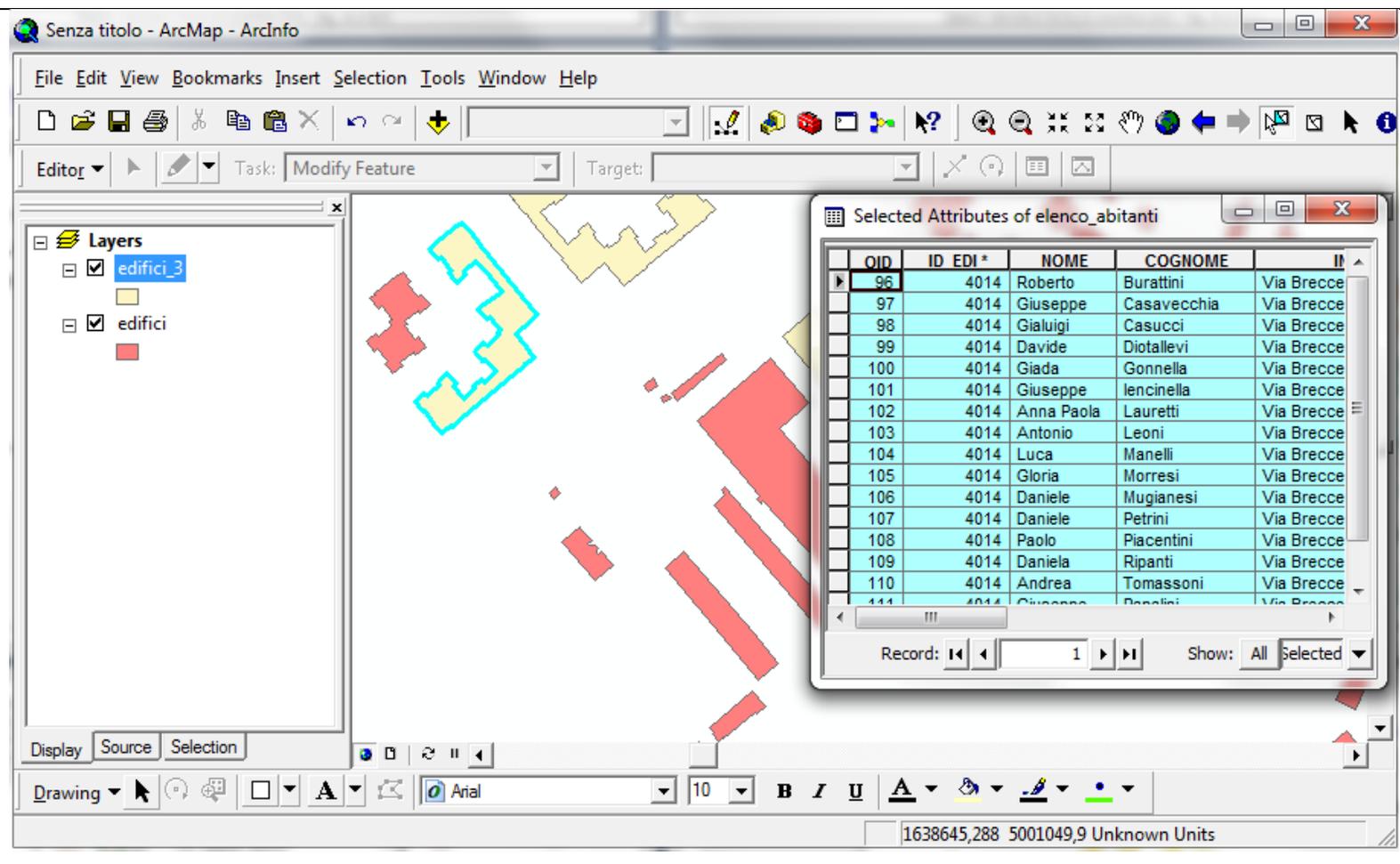
## Funzionalità di visualizzazione e ricerca

- Può essere facilmente aggiornata
- Colorazione logica
- Ricerca di edifici che hanno una superficie maggiore di una soglia
- Ricerca degli edifici che si trovano a una distanza non maggiore da un impianto chimico o da un fiume



# Collegamento fra dati geografici e dati alfanumerici

Se viene creato un sistema informativo territoriale e si crea l'associazione fra edifici ed abitanti, si può ottenere l'elenco delle persone che abitano in un certo edificio



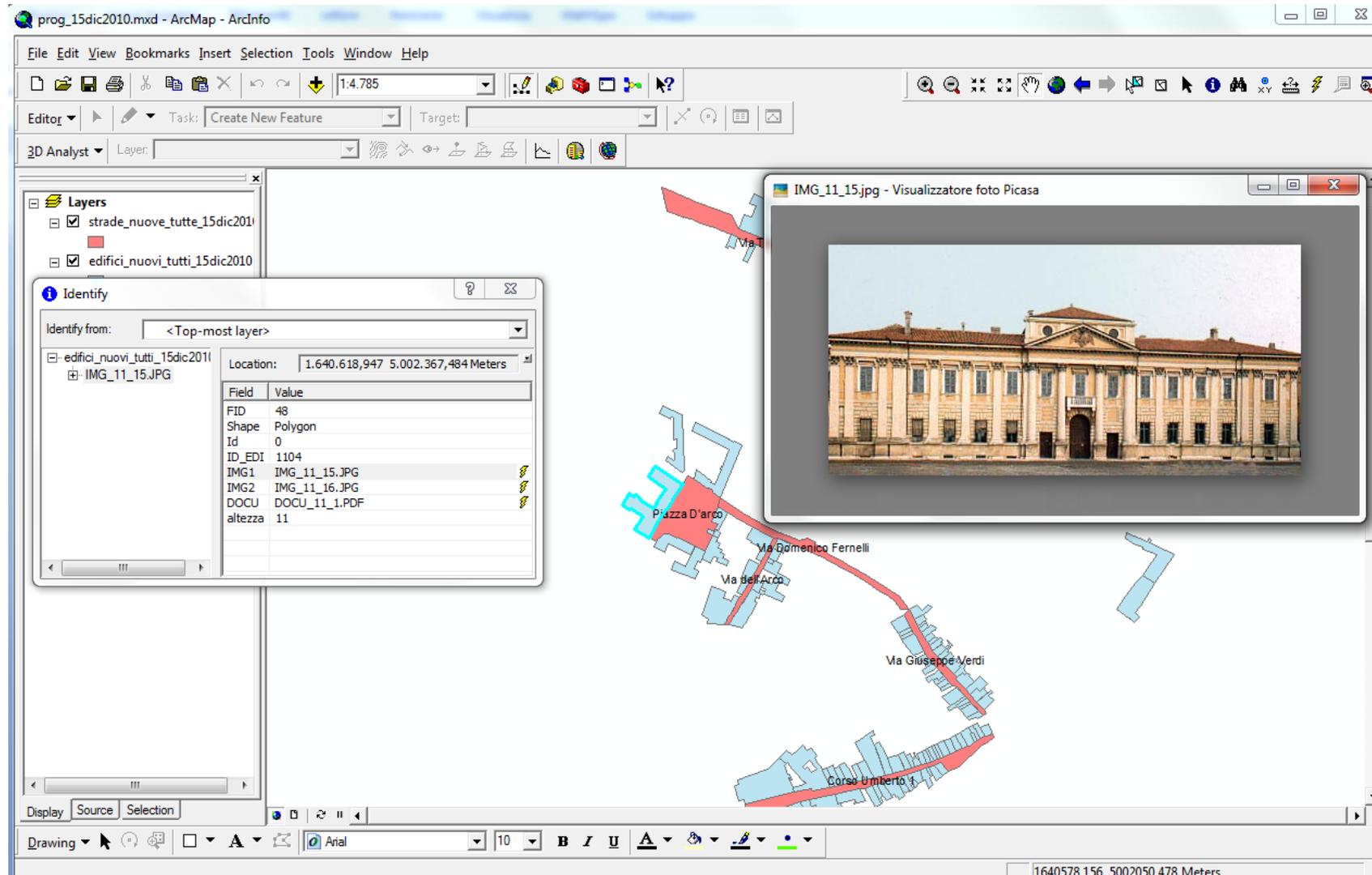
The screenshot shows the ArcMap interface with a map of buildings. A table titled "Selected Attributes of elenco\_abitanti" is overlaid on the map, displaying a list of residents. The table has the following columns: QID, ID EDI \*, NOME, COGNOME, and a street name. The data is as follows:

QID	ID EDI *	NOME	COGNOME	
96	4014	Roberto	Burattini	Via Brecce
97	4014	Giuseppe	Casavecchia	Via Brecce
98	4014	Gialuigi	Casucci	Via Brecce
99	4014	Davide	Diotallevi	Via Brecce
100	4014	Giada	Gonnella	Via Brecce
101	4014	Giuseppe	Iencinella	Via Brecce
102	4014	Anna Paola	Lauretti	Via Brecce
103	4014	Antonio	Leoni	Via Brecce
104	4014	Luca	Manelli	Via Brecce
105	4014	Gloria	Morresi	Via Brecce
106	4014	Daniele	Mugianesi	Via Brecce
107	4014	Daniele	Petrini	Via Brecce
108	4014	Paolo	Piacentini	Via Brecce
109	4014	Daniela	Ripanti	Via Brecce
110	4014	Andrea	Tomassoni	Via Brecce
111	4014	Giuseppe	Donelli	Via Brecce

E anche l'elenco di tutti quelli che abitano in edifici prossimi a un sito pericoloso, eccetera.

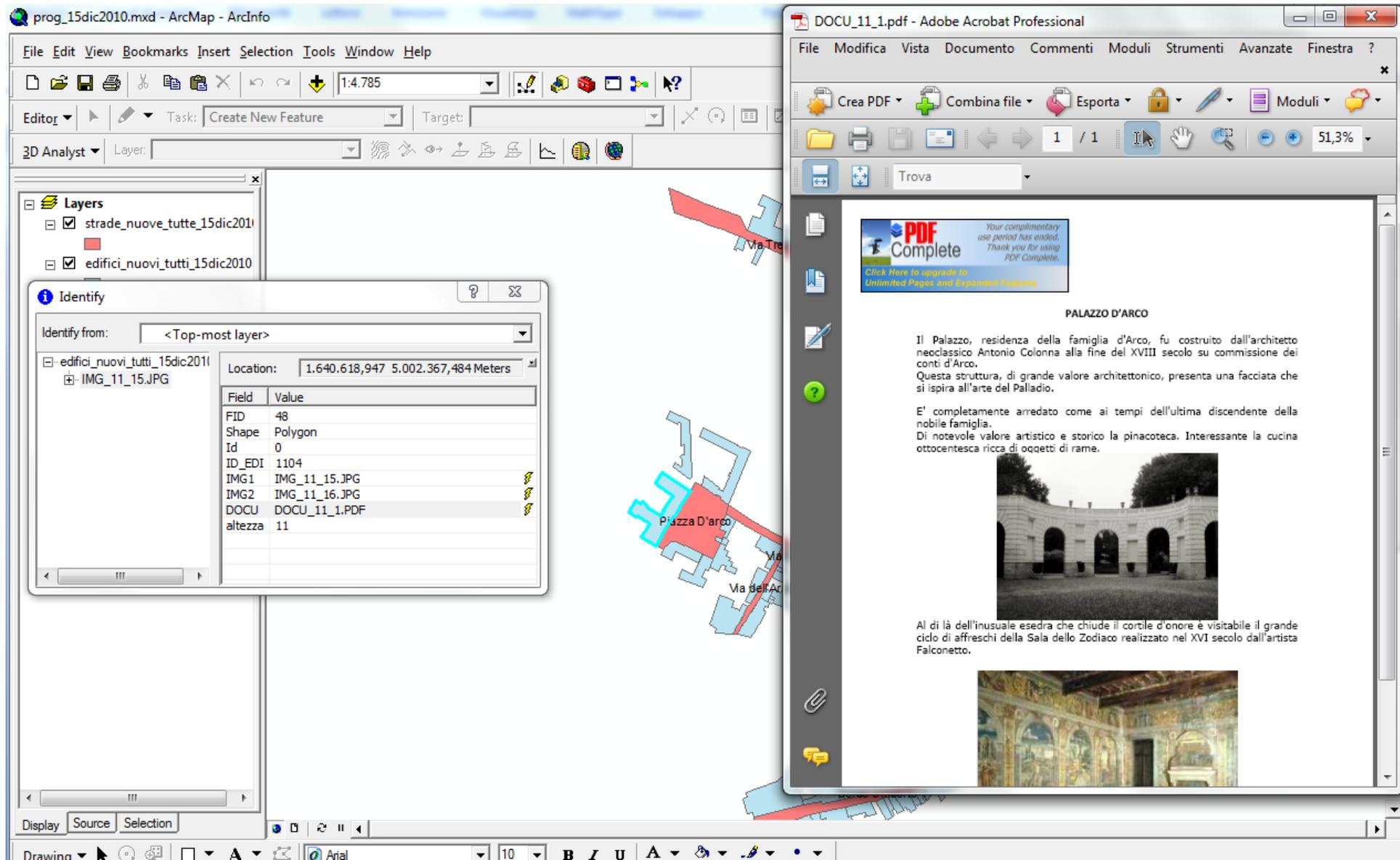
# 1 - Esempi tratti dai dati preparati dagli studenti di corso di SIT tenutosi a Mantova nel AA 2010-2011

# Esempio 1



Link fra edificio e fotografia

# Esempio 2



Link fra edificio e documento

# Esempio 3

The screenshot shows the ArcMap interface with a map of buildings and a data table window. The map displays several streets: Piazza D'arco, Ma Domenico Fernelli, Ma Bell'Arco, Ma Giuseppe Verdi, and Corso Umberto I. A red line highlights a path through the buildings. The data table window, titled "Selected Attributes of elenco\_abitanti\_tutti\_15dic2010", shows a list of residents with their names and addresses.

OJD	nome	cognome	ind lin1	ind lin2	ID ABI	ID EDI	ind in1	ind id2
205	Mario	Sentin			1106	1104		
210	Anna	Nuvolari			1112	1104		
216	Luigi	Vittoria			1119	1104		
217	Toni	Rino			1120	1104		
218	Gianni	Rodari			1121	1104		
224	Cristian	Cirri			1129	1104		
233	Aldo	Verdi			1139	1104		

Link fra edificio ed abitanti

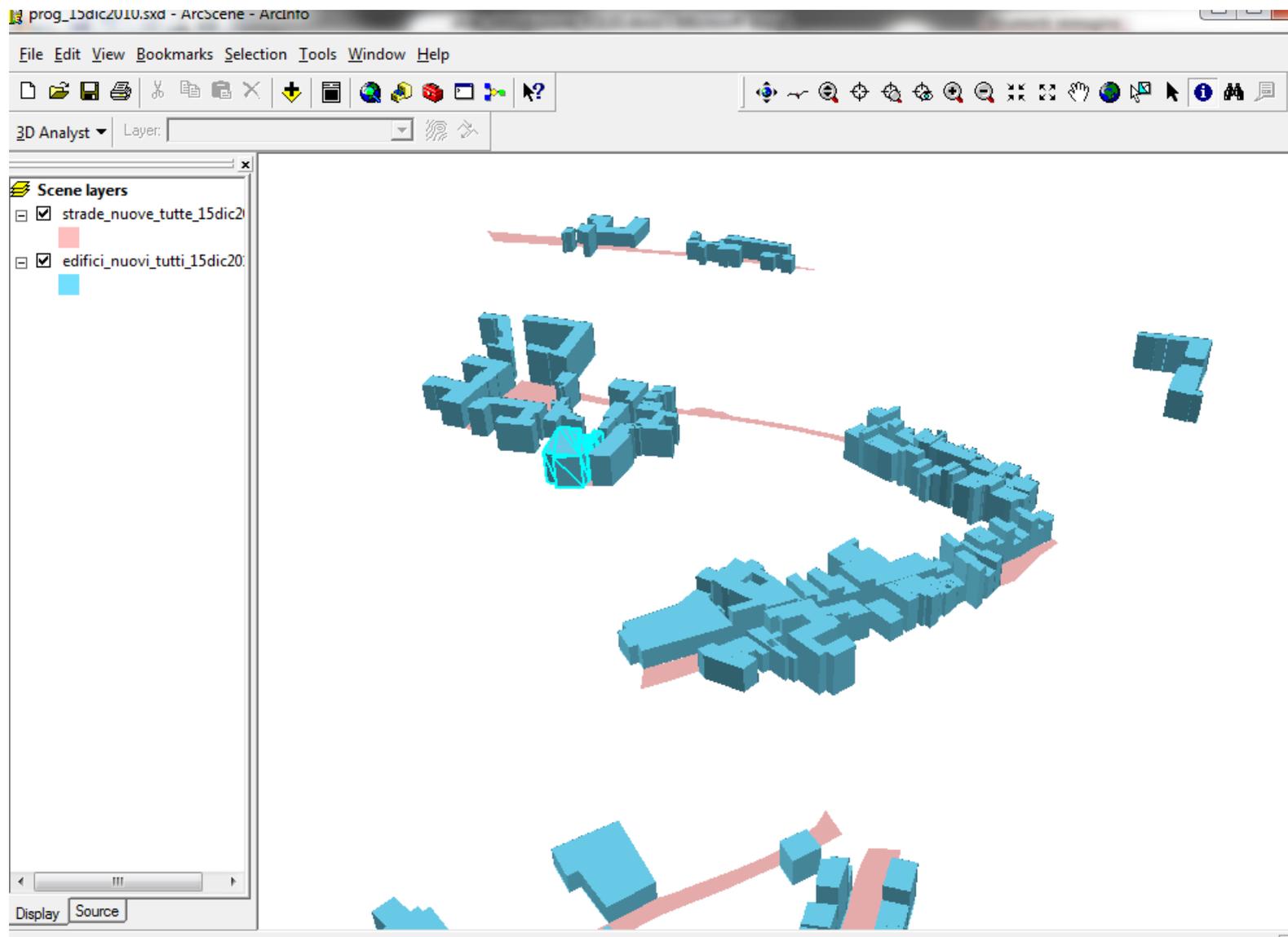
# Esempio 4

The screenshot shows the ArcMap interface with a map of buildings and a street labeled "Corso Umberto 1". A table window titled "Attributes of elenco\_abitanti\_tutti\_15dic2010" is open, displaying a list of residents. The table has the following columns: OID, nome, cognome, ind lin1, ind lin2, ID ABI, ID EDI, ind in1, and ind id2. The row for ID 4 (Guillermo Anselmi) is highlighted in cyan. The table also shows navigation controls for records and a "Show" dropdown menu.

OID	nome	cognome	ind lin1	ind lin2	ID ABI	ID EDI	ind in1	ind id2
0	Marco	Squinzani			101	101		
1	Luca	Dalcò			102	101		
2	Alessandro	Alberini			103	104		
3	Giorgio	Carra			104	135		
4	Guillermo	Anselmi			105	135		
5	Federico	Rossi			106	104		
6	Fabio	Bianchi			107	111		
7	Veronica	Zani			108	111		
8	Simone	Altrui			109	101		
9	Alessio	Cocchi			110	106		
10	Alice	Carra			111	106		
11	Renato	Pozzetto			112	104		
12	Gianluigi	Falso			113	135		
13	Violetta	Trofeo			114	127		

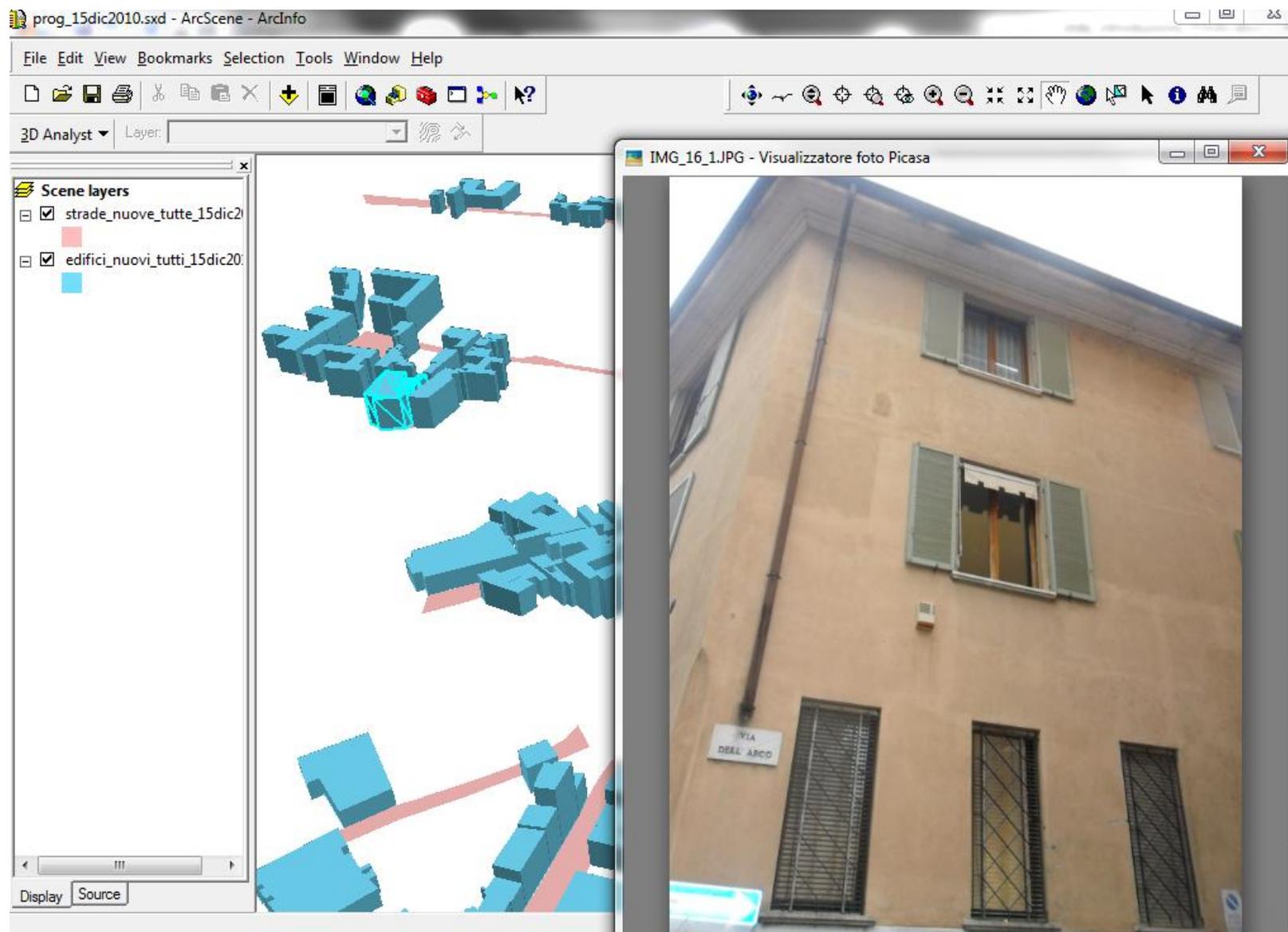
Link fra abitanti ed edificio

# Esempio 5



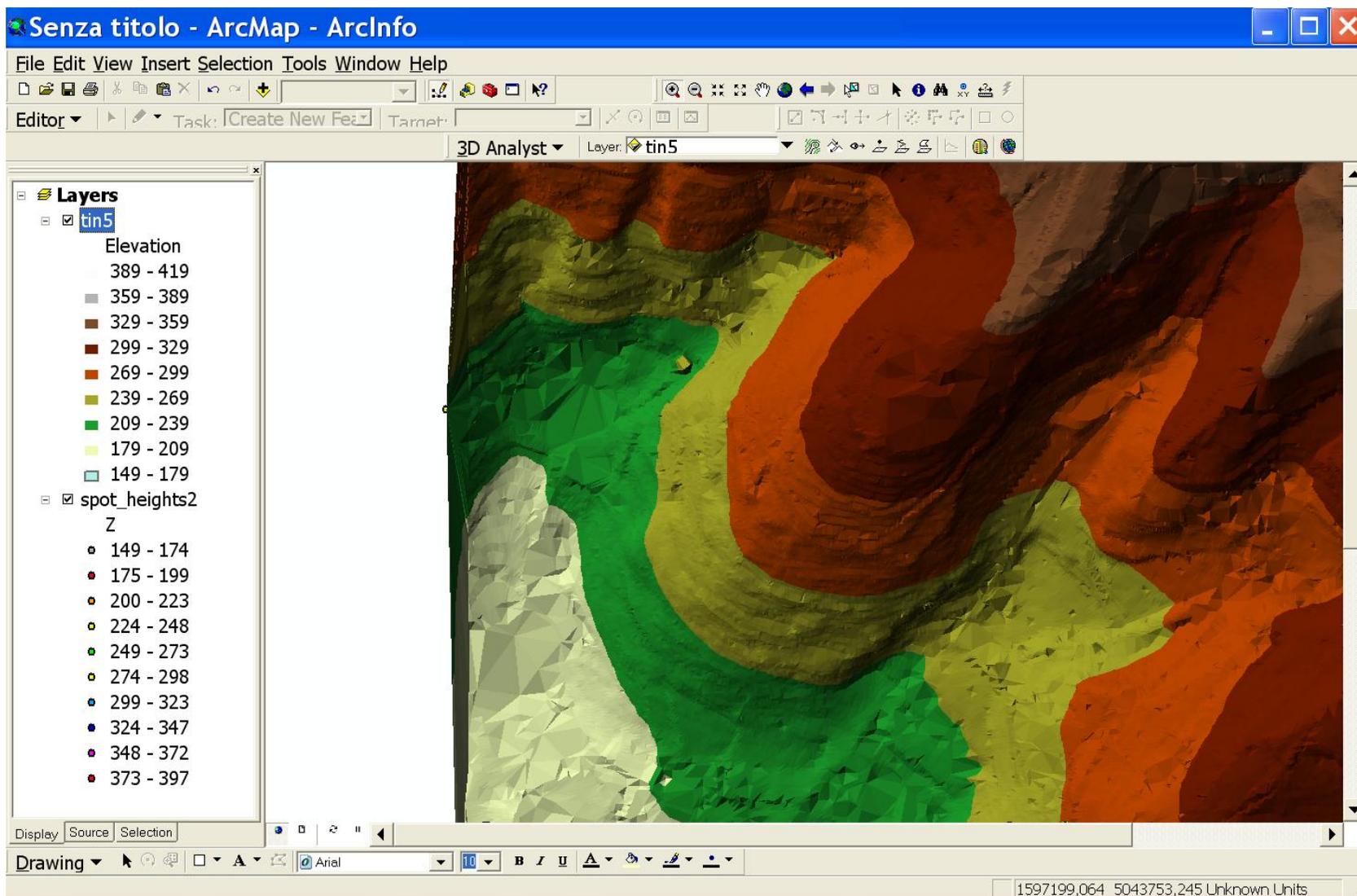
Vista 3D degli edifici

## Esempio 6



Link fra edificio 3D e immagine

# Il programma ArcGIS e la gestione del DTM



## Perché una fotografia non è metrica

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

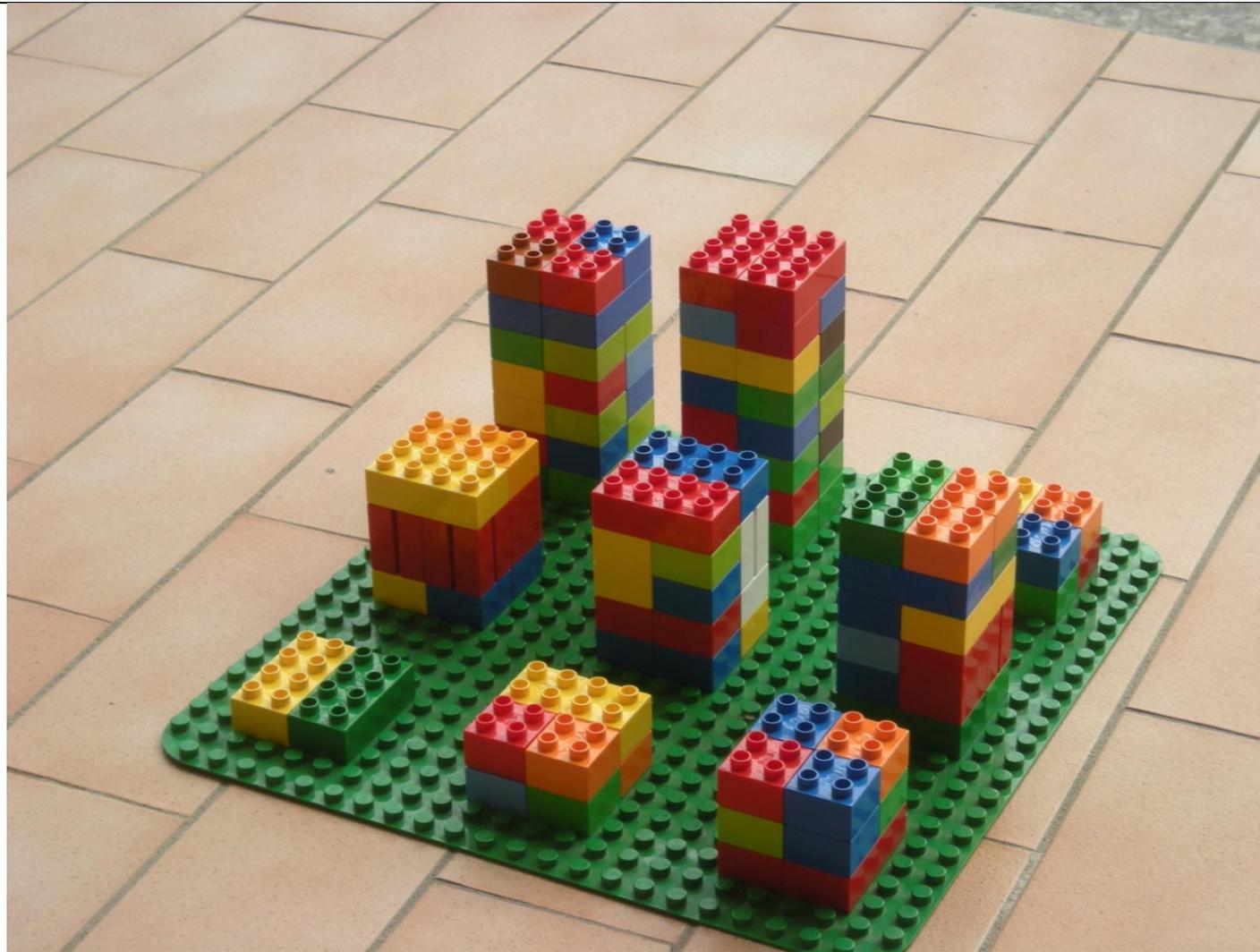
Bisogna fare riferimento alle carte o ai disegni tecnici, in cui ogni oggetto è rappresentato con lo stesso rapporto di scala.

Così non avviene con le fotografie [Firenze]



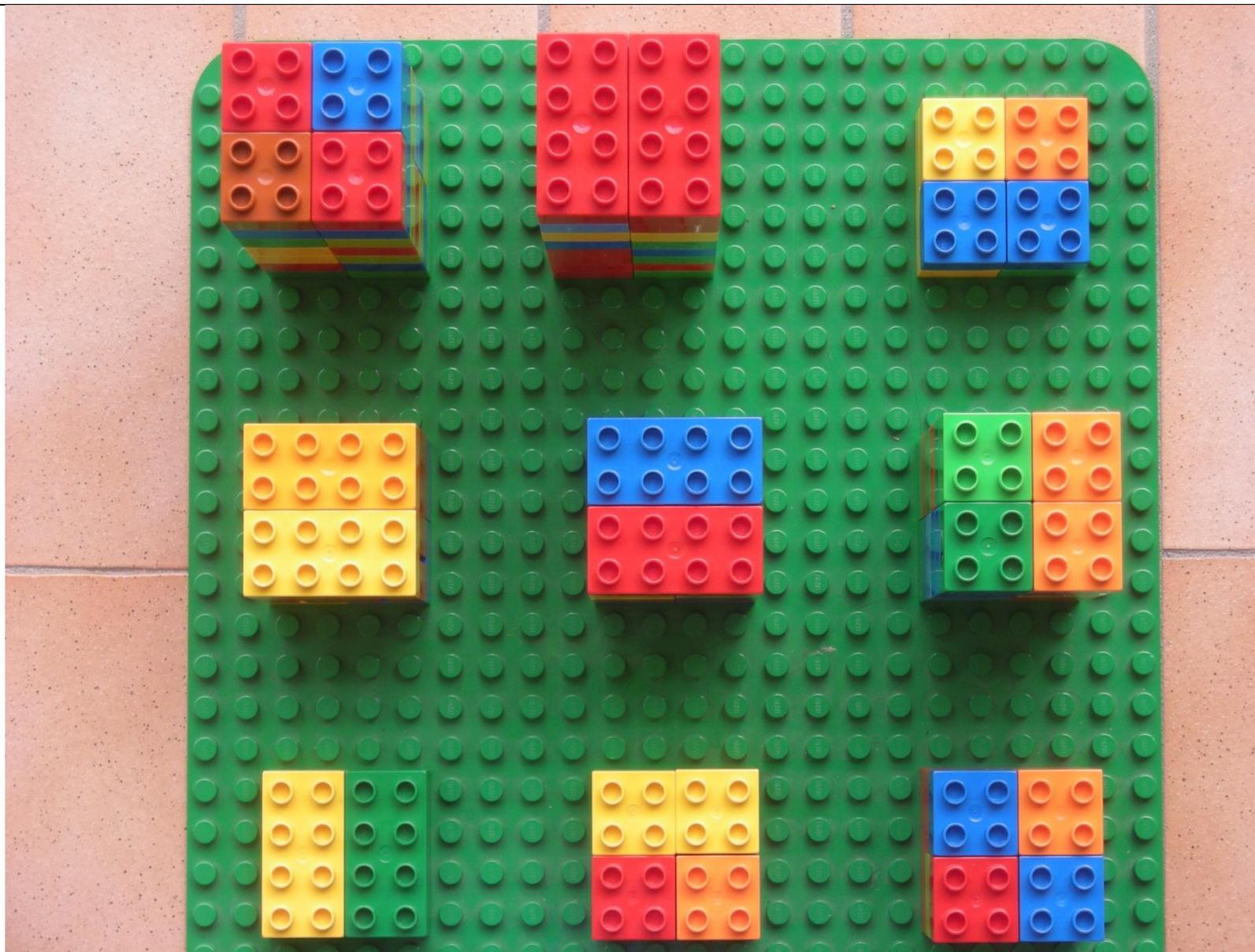
## E per le foto aeree? - 1

Un mondo pienamente 3D



## E per le foto aeree? - 2

Un mondo pienamente 3D ripreso con vista nadirale. La fotografia è non metrica in quanto gli oggetti più alti risultano più grandi.

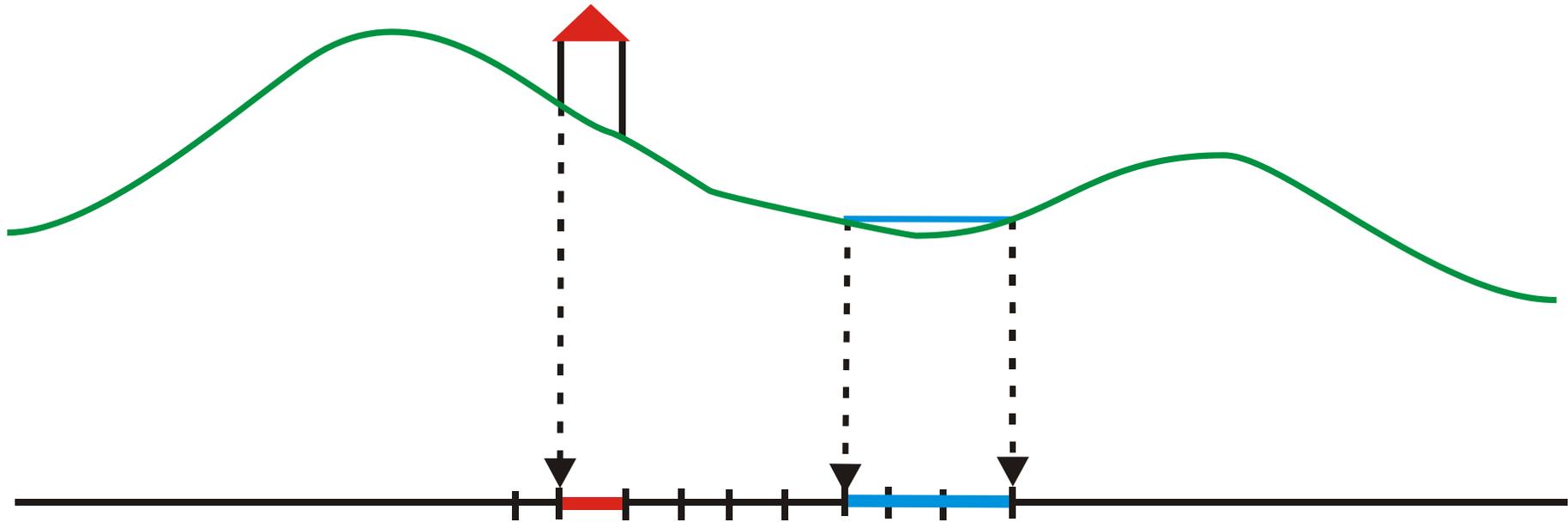


## Che cos'è una ortofoto?

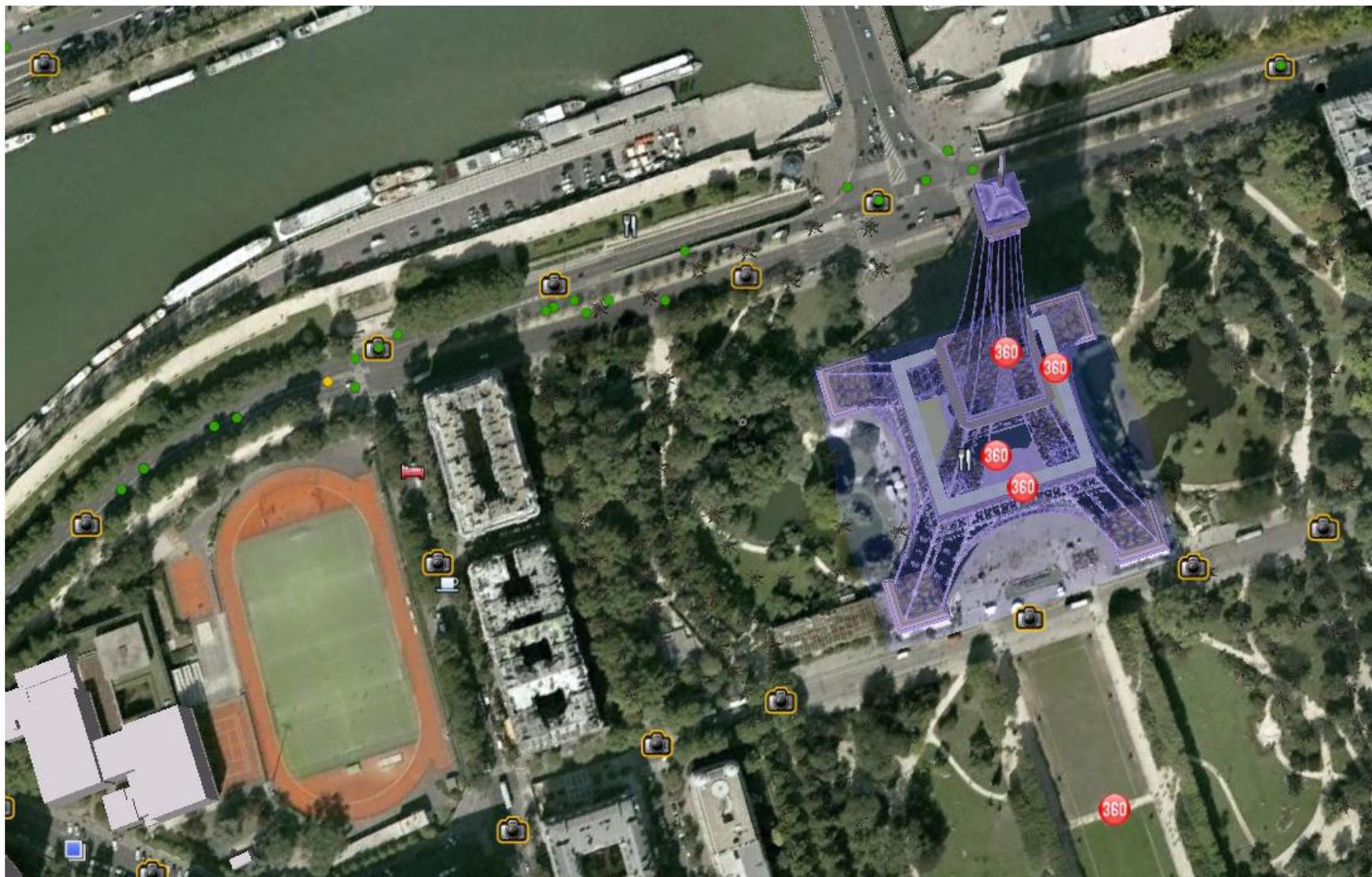
---

Un'immagine digitale avente 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



# Modellizzazione 3D in Google Earth - 1



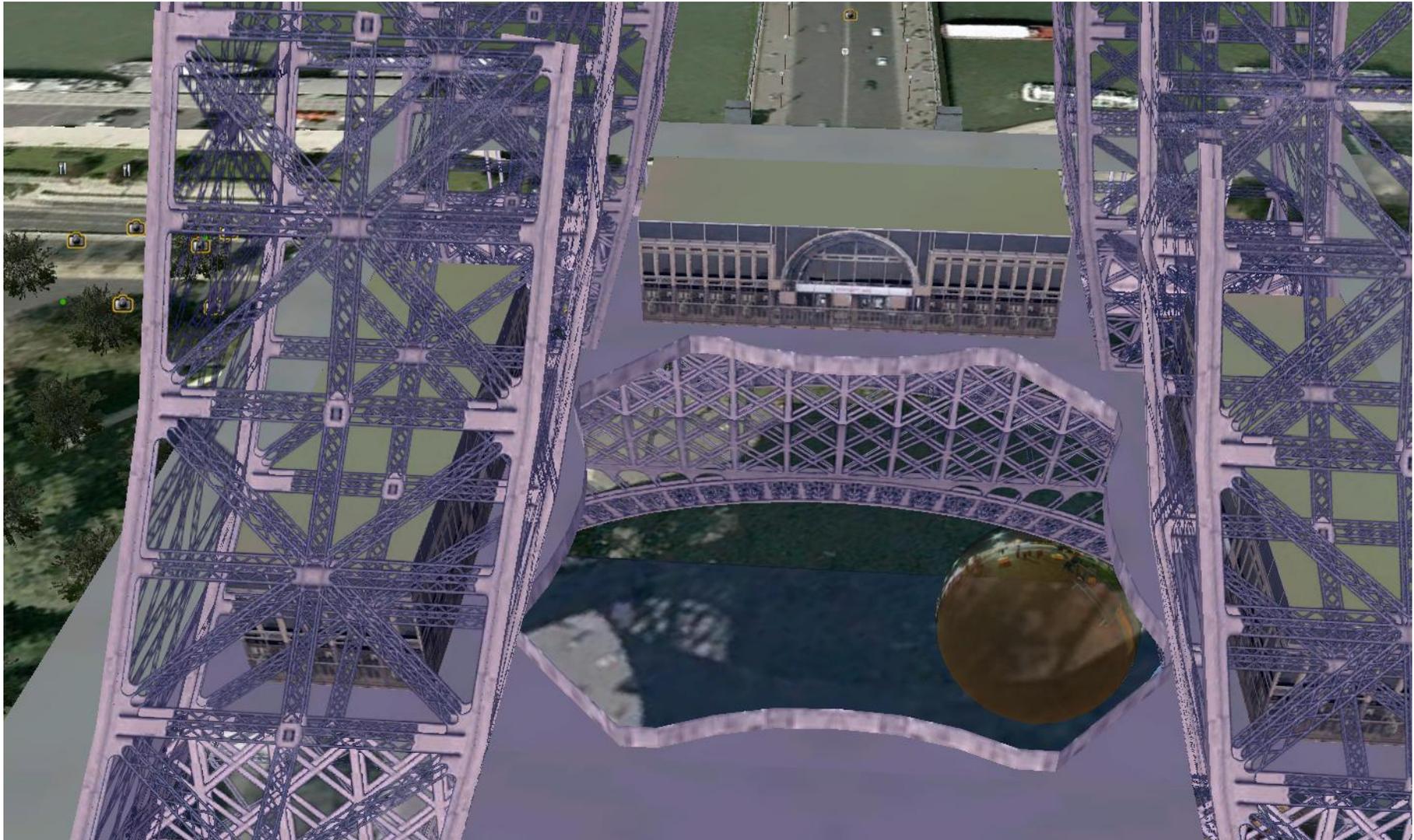
## Modellizzazione 3D in Google Earth - 2

---



## Modellizzazione 3D in Google Earth - 3

---



## Ricostruzione 3D di alcuni edifici del polo universitario *Cravino* di Pavia e inserimento in Google Earth

---



Fatto da studenti del mio corso di Fotogrammetria, con il supporto di Marica Franzini.

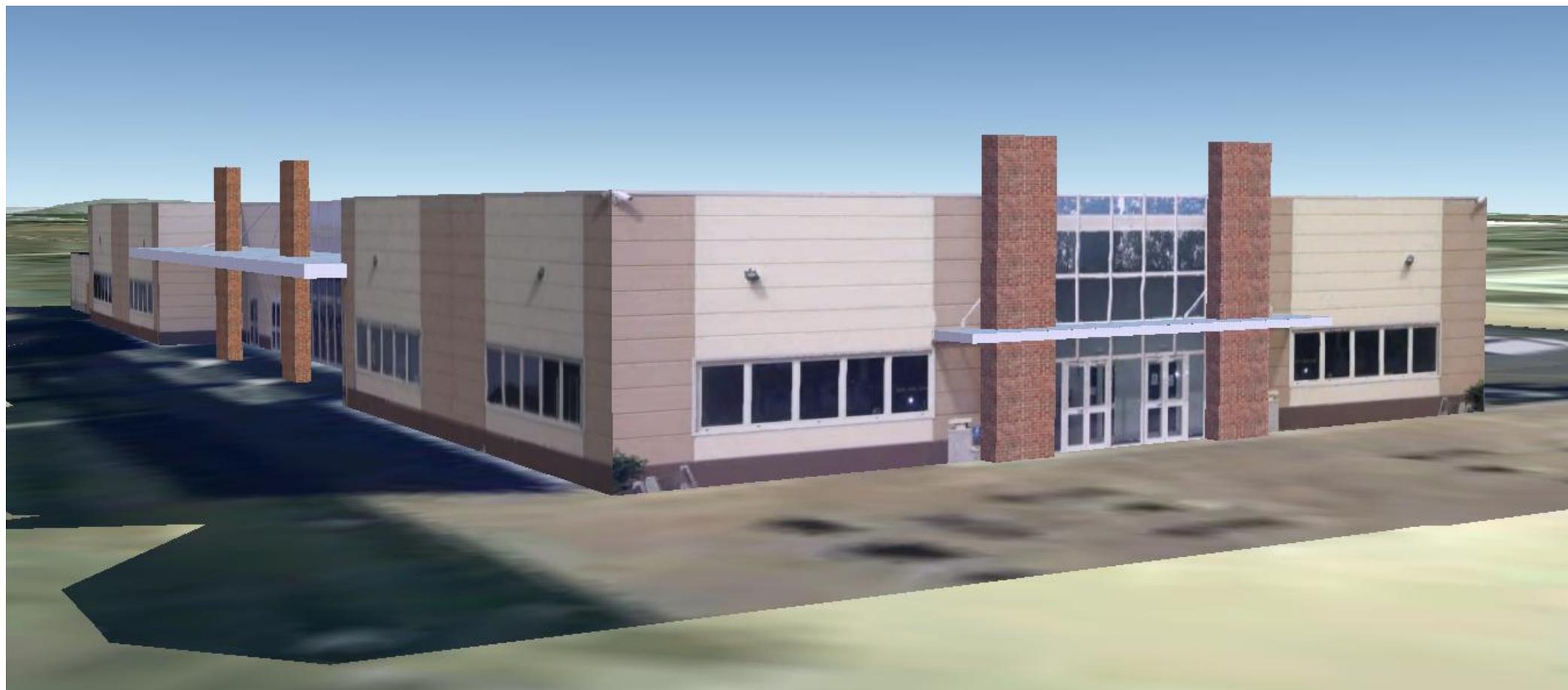
## Ricostruzione 3D di alcuni edifici del polo universitario *Cravino* di Pavia e inserimento in Google Earth - 2

---



## Ricostruzione 3D di alcuni edifici del polo universitario *Cravino* di Pavia e inserimento in Google Earth - 3

---



## Modelli fatti da noi

---



Modelli realizzati dagli studenti dello scorso anno