

CORSO DI FOTOGRAMMETRIA E TELERILEVAMENTO

Prof. Riccardo Roncella

PRODOTTI DELLA FOTOGRAMMETRIA



SOMMARIO

- Strumenti di restituzione
- Restituzione di punti
- Modelli digitali del terreno
- Fotopiani
- Ortofoto



RESTITUTORI

TIPOLOGIE DI RESTITUTORI

- ANALOGICI
- ANALITICI
- DIGITALI
 - STEREOSCOPICI
 - MONOSCOPICI

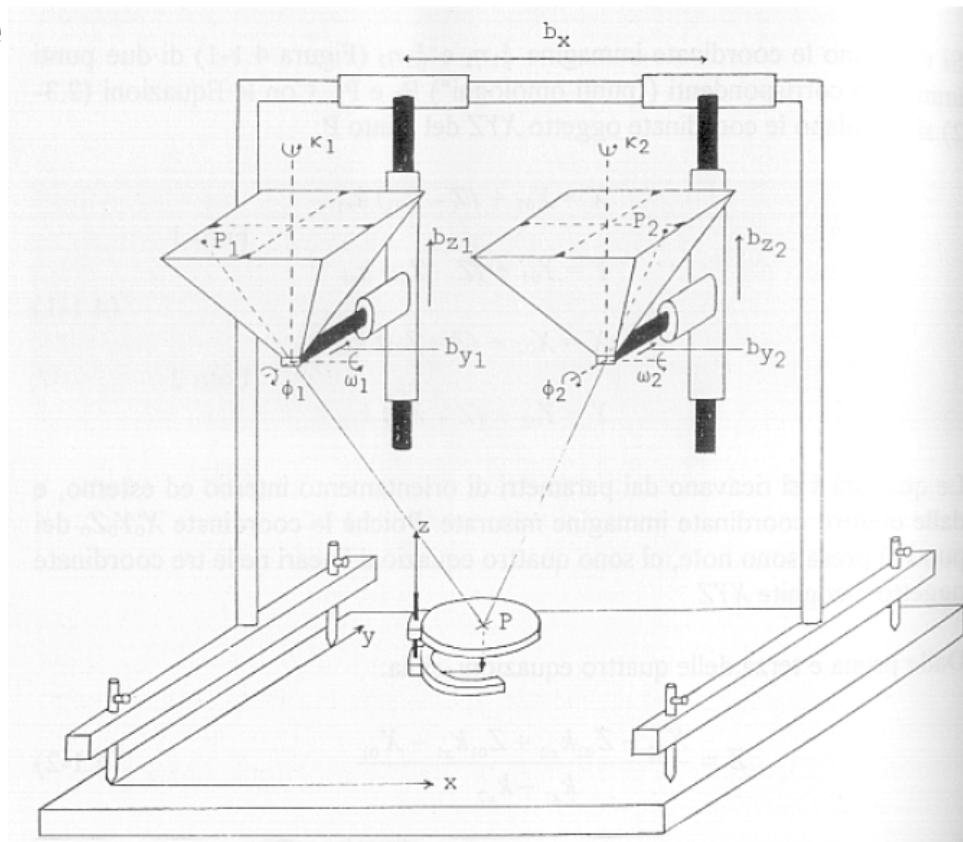
FUNZIONI DEI RESTITUTORI

- ESECUZIONE DELLE PROCEDURE DI ORIENTAMENTO
(INTERNO ED ESTERNO)
- RESTITUZIONE DI PUNTI, CURVE DI LIVELLO, ETC.
- PERMETTERE LA VISIONE STEREOSCOPICA



RESTITUTORI ANALOGICI

- Viene fisicamente ricostruita in scala la posizione e l'assetto relativo fra i due fotogrammi
- Lo strumento permette direttamente di restituire sulla carta (il prodotto quindi non è numerico)
- Apparecchiature ormai obsolete



RESTITUTORI ANALITICI

- Tutti i calcoli vengono eseguiti da un calcolatore integrato
- La movimentazione dei fotogrammi è limitata al loro piano
- La restituzione viene registrata in forma numerica

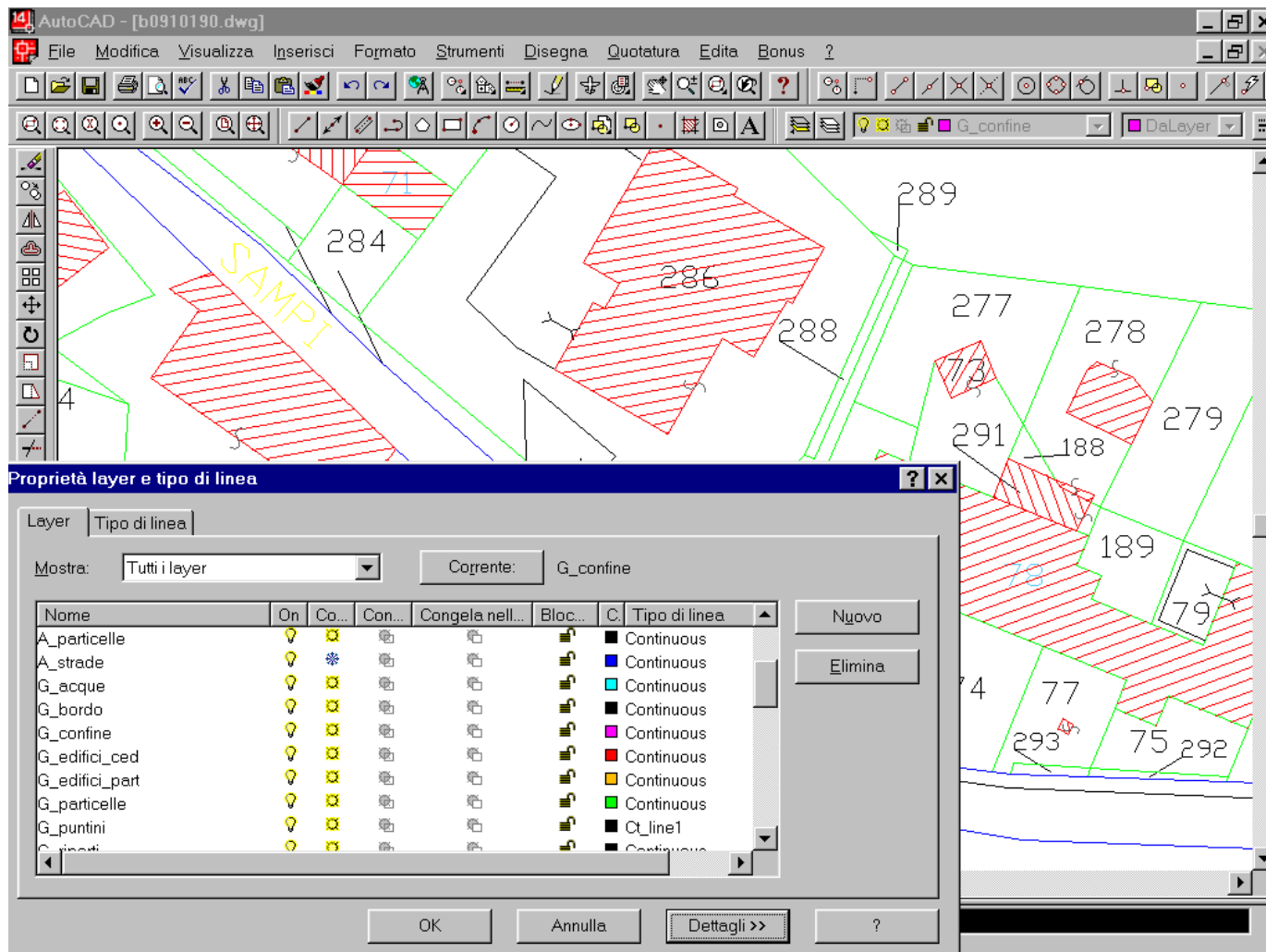


RESTITUTORI DIGITALI

- Operano su immagini digitali
- La stereoscopia viene ottenuta mediante apparecchi appositi (schermi polarizzati, occhiali per visione 3D, etc.)
- Sono analoghi ai restitutori analitici ma possono utilizzare algoritmi di fotogrammetria digitale (matching, etc.)



CARTOGRAFIA VETTORIALE



MODELLI DIGITALI DEL TERRENO

Un modello digitale del terreno (digital terrain model o DTM) è un modello che fornisce una rappresentazione dell'elevazione del terreno a partire da un insieme finito di dati.

I dati del terreno, generalmente, sono costituiti da un insieme di punti tridimensionali ed eventualmente da una serie di linee non intersecantesi (curve di livello e/o breaklines).

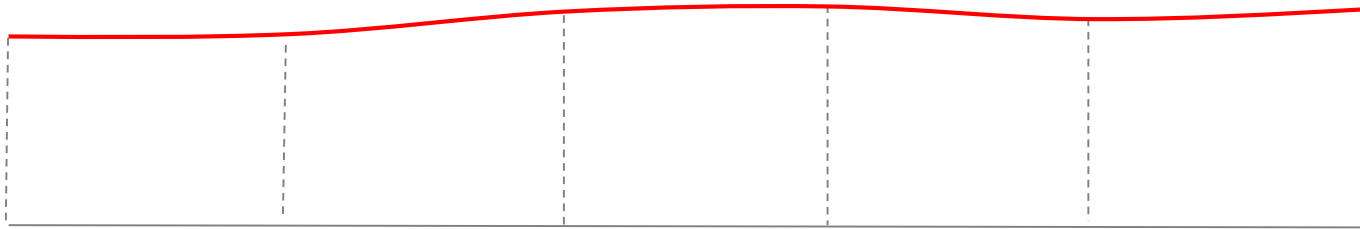
I dati puntuali possono essere distribuiti irregolarmente o formare una griglia regolare.



MODELLI DIGITALI DEL TERRENO

DATI DISTRIBUITI SU GRIGLIA:

Quando il terreno presenta zone molto regolari è conveniente mantenere un passo di campionamento costante (ad esempio su una griglia regolare).



In questi casi, noto il passo di griglia in X e Y devo solo associare la Z a ciascun nodo (o cella) della griglia.

I valori della griglia possono essere interpolati con grande facilità

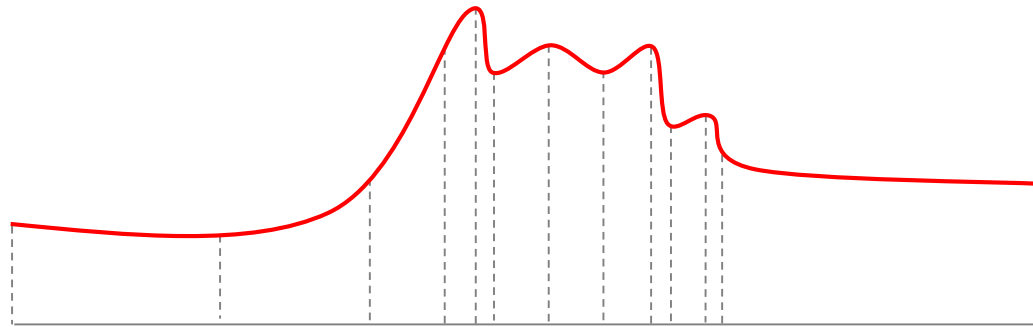
Ho, in definitiva, una struttura dati più semplice.



MODELLI DIGITALI DEL TERRENO

DATI DISTRIBUITI IRREGOLARMENTE:

Quando il terreno presenta zone approx. regolari e zone molto più accidentate può essere conveniente utilizzare una densità di punti variabile.



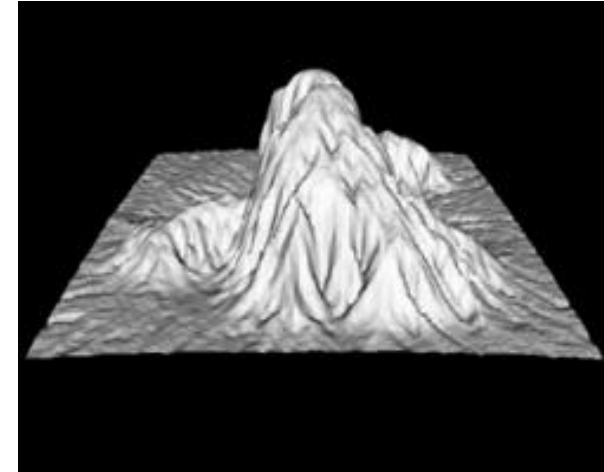
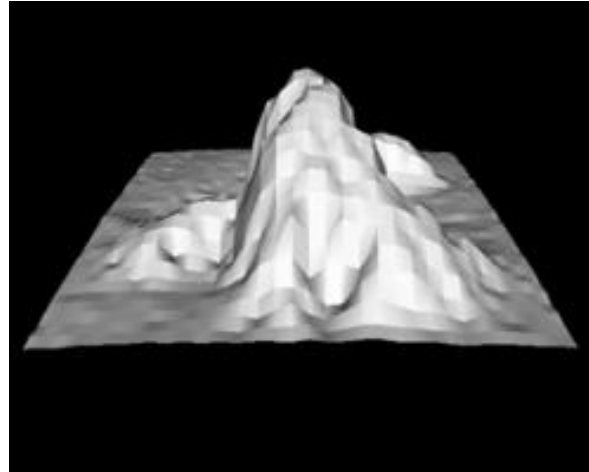
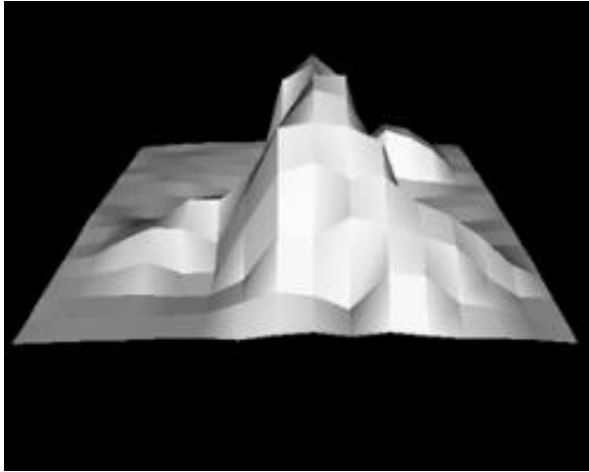
In questi casi, però devo memorizzare oltre che la Z di ciascun punto, anche la sua posizione in planimetria.

Ho maggiori problemi nell'andare ad interpolare i valori.

Ho, in definitiva, una struttura dati più complessa.

MODELLI DIGITALI DEL TERRENO

In generale, comunque, un maggior numero di informazioni (punti) porta sempre ad avere una maggior definizione della topografia del terreno:



TIPOLOGIE DI MODELLI DIGITALI:

Modelli poliedrici del terreno

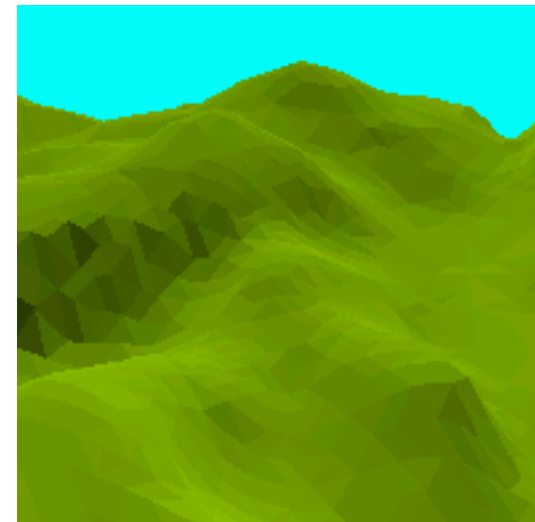
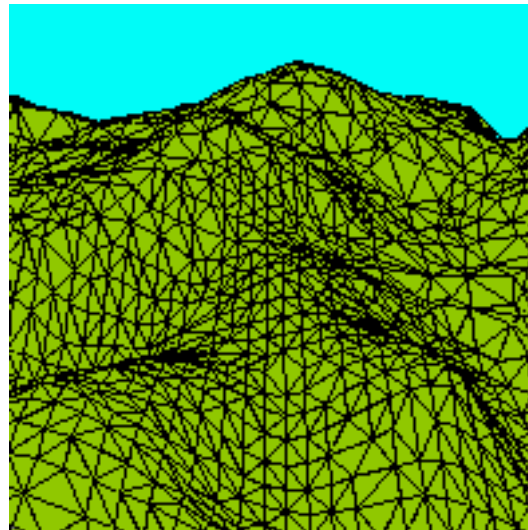
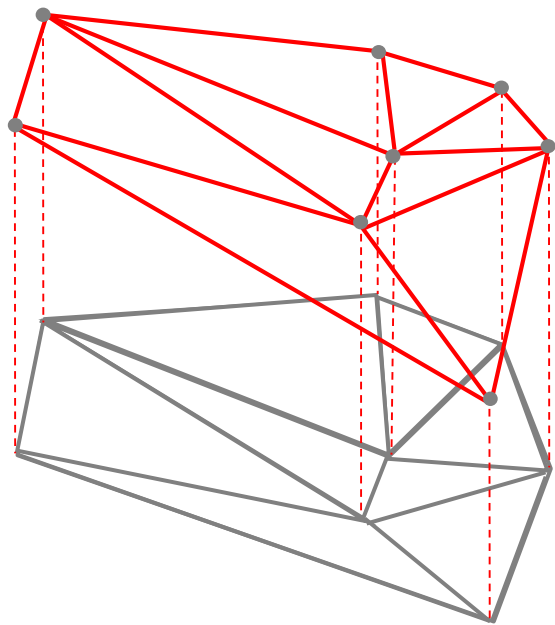
Modelli di elevazione grigliati

Modelli a curve di livello

MODELLI POLIEDRICI DEL TERRENO

Utilizzano una partizione del dominio XY in zone poligonali ed un modello funzionale per ciascuna regione che ne definisce la forma.

Il modello solitamente più usato è il TIN (Triangulate Irregular Network) in cui il dominio è suddiviso in regioni triangolari a cui corrispondono porzioni piane nello spazio tridimensionale.

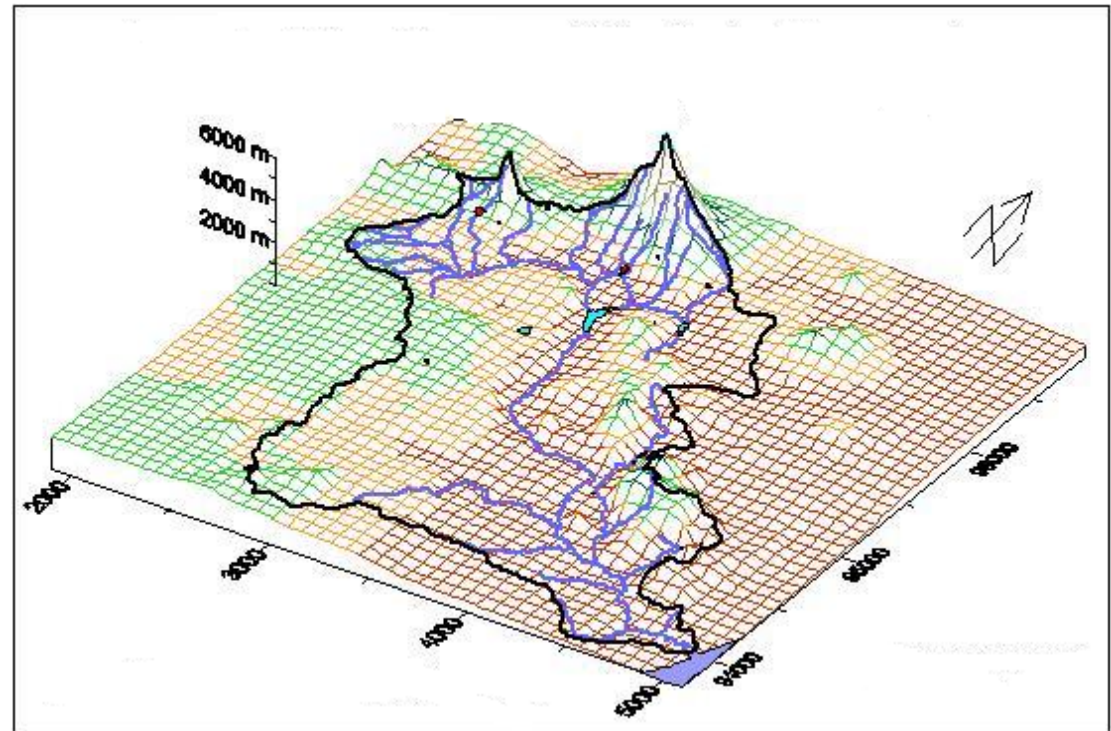
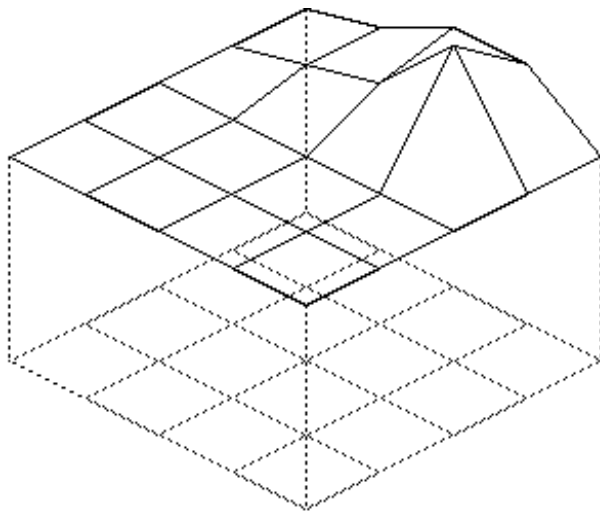


La triangolazione viene solitamente eseguita per mezzo di una triangolazione di Delaunay

MODELLI GRIGLIATI DEL TERRENO

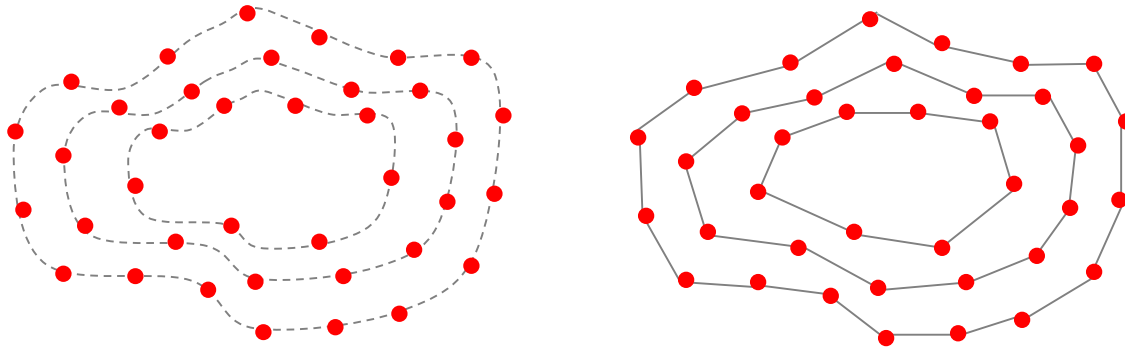
Utilizzano una GRIGLIA REGOLARE nel dominio XY ai cui nodi è associato un valore numerico che indica l'elevazione del nodo stesso.

In questo caso il DTM può essere rappresentato con una sorta di immagine digitale (raster) in cui in ciascun "pixel" viene immagazzinato il valore della quota.



MODELLI DEL TERRENO A CURVE DI LIVELLO

Utilizzano un'insieme di punti planimetrici per i quali passa una certa linea del piano (spline, polilinee, etc.) a cui è associato un valore di elevazione.



Possono essere facilmente rappresentate sul supporto cartaceo;

Risultano particolarmente intuitive nel rappresentare la forma del terreno;

Risulta più complesso, tuttavia, svolgere analisi di tipo numerico su di esse e nel complesso non rappresentano il modo più efficiente di rappresentare un DTM.

MODELLI DIGITALI

TIPOLOGIE DI MODELLI DIGITALI:

DIGITAL SURFACE MODEL (DSM):

Sono modelli digitali della superficie misurata. In fotogrammetria aerea, per esempio, contengono tutte le informazioni sia del terreno che di eventuali manufatti (edifici, ponti, etc.)

DIGITAL TERRAIN MODEL (DTM):

Sono modelli digitali del terreno. Non comprendono manufatti (edifici, ponti, etc.)

DIGITAL ELEVATION MODEL (DEM):

Rappresentano tutto ciò che si eleva dal terreno (edifici, etc.)

$$\text{DSM} = \text{DTM} + \text{DEM}$$



GEOREFERENZIAZIONE DI IMMAGINI

Un'immagine non è immediatamente impiegabile a scopi metrici perché è:

1. Affetta da deformazioni prospettiche
2. Non riferita ad un sistema di coordinate terreno.

Le immagini su cui si va ad operare in fotogrammetria possono però essere ricampionate al fine di essere utilizzate direttamente per scopi metrici:

- **FOTOPIANO**: quando l'oggetto è ben approssimato da un piano, si ricava un'immagine georeferenziata con un procedimento detto **RADDRIZZAMENTO**
- **ORTOFOTO**: per un terreno generico, si ottiene un'immagine georeferenziata rimuovendo pixel per pixel le deformazioni prospettiche

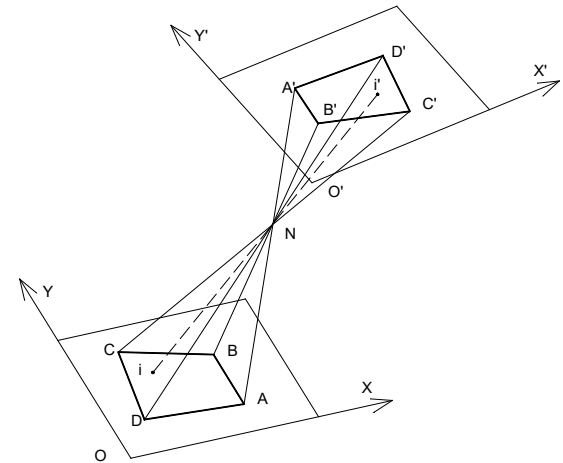


FOTOPIANI

Quando l'oggetto è ben approssimabile da un piano (ad esempio orizzontale):

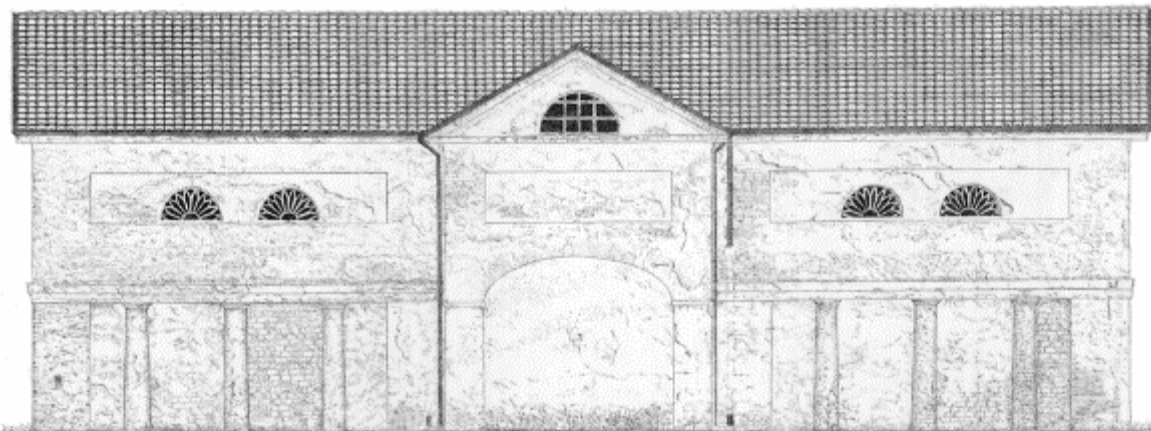
- Informazioni metriche possono essere derivate da una sola foto (ad es. la coordinata Z è nota).
- Determino almeno 4 punti sul fotogramma che abbiano coordinate (piane) note e determino i parametri dell'omografia.

$$\begin{cases} X = \frac{a_1\xi + a_2\eta + a_3}{c_1\xi + c_2\eta + 1} \\ Y = \frac{b_1\xi + b_2\eta + b_3}{c_1\xi + c_2\eta + 1} \end{cases}$$



- Tramite ricampionamento genero una nuova immagine in cui tutti i punti del fotogramma originario vengono traslati nella corrispondente posizione sul fotopiano.

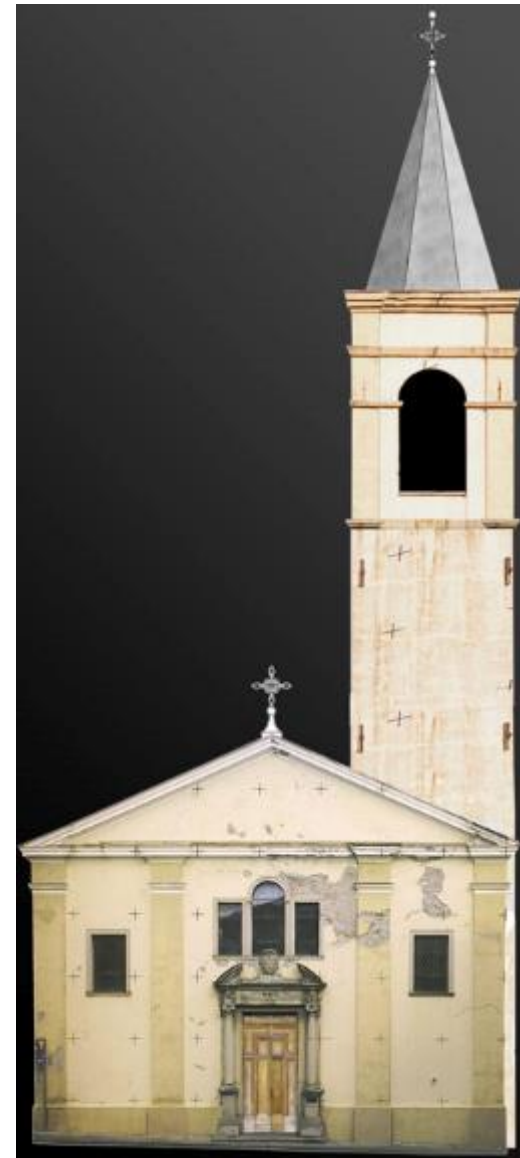
FOTOPIANI - ESEMPI



FOTOPIANI - ESEMPI



FOTOPIANI - ESEMPI

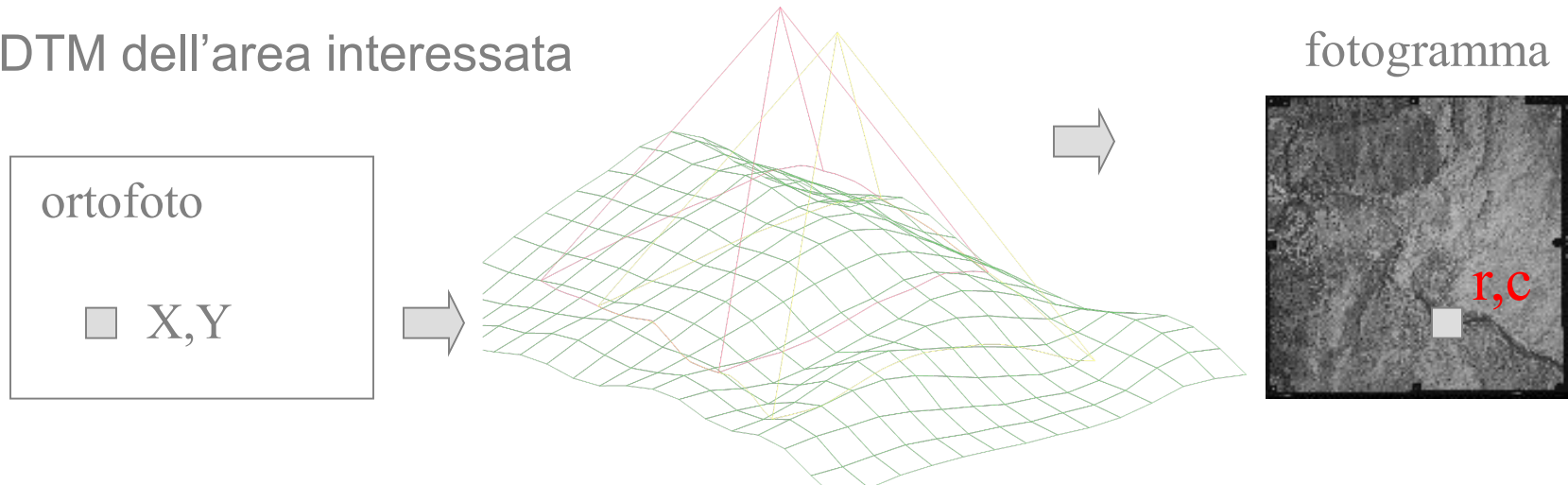


ORTOFOTO

Quando l'oggetto non può essere approssimato da un piano bisogna eliminare l'effetto prospettico punto a punto:

ELEMENTI NECESSARI:

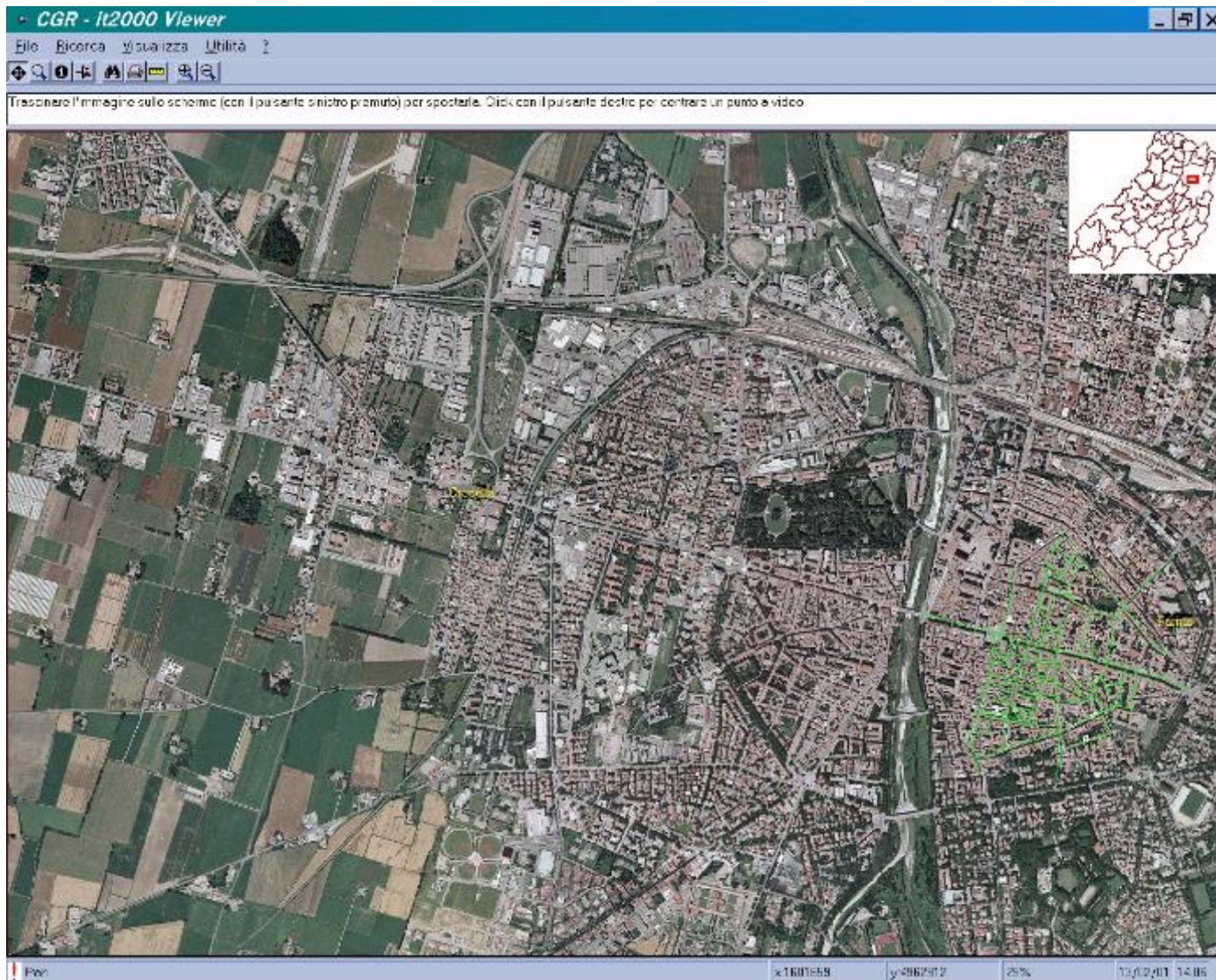
- Parametri di orientamento di ciascun fotogramma si voglia utilizzare
- DTM dell'area interessata



∀ pixel ortofoto, trovo il tono di grigio sulla foto

$$X,Y \implies Z(X,Y) \implies x,y \implies r,c$$

ORTOFOTO - ESEMPI



ORTOFOTO - FOTOPIANI

VANTAGGI:

- FACILITÀ DI LETTURA PER UTENTI NON SPECIALISTI
- PROCESSO FORTEMENTE AUTOMATIZZATO
- COSTI MOLTO INFERIORI ALLA CARTA NUMERICA
- SOVRAPPONIBILITÀ CON DATI VETTORIALI (GIS)

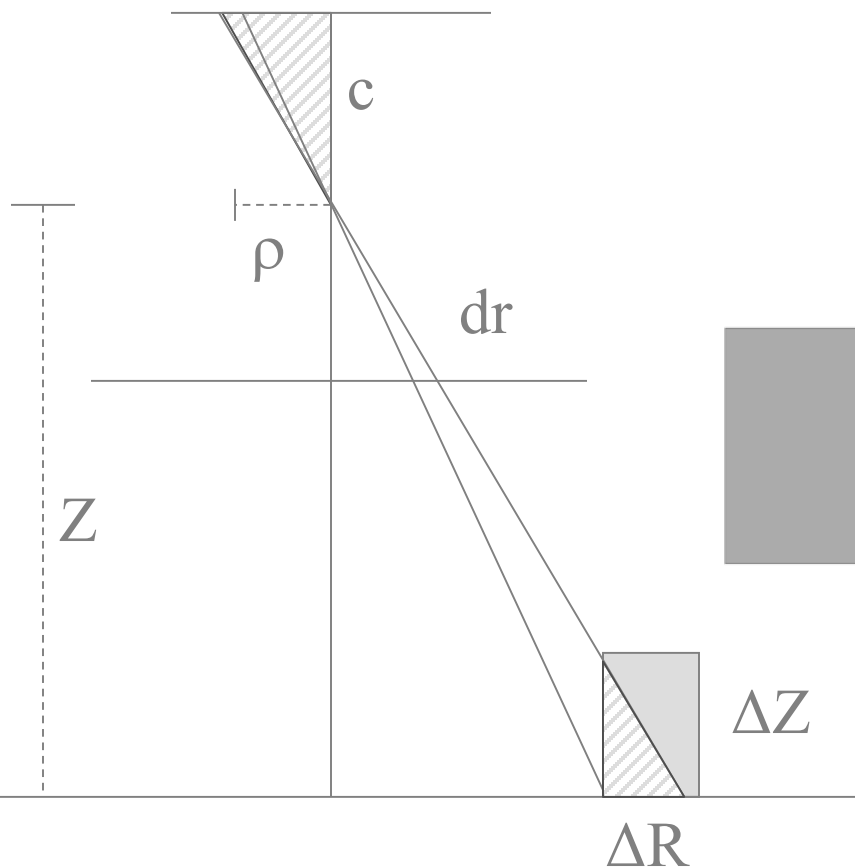
SVANTAGGI:

- ALTIMETRIA E TOPONOMASTICA SONO NECESSARI PER UN USO EFFETTIVO (ORTOFOTOCARTA)
- SI POSSONO DERIVARE DATI VETTORIALI SOLO 2D



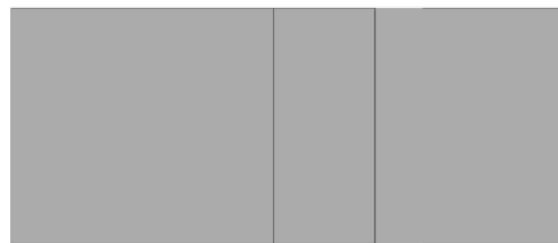
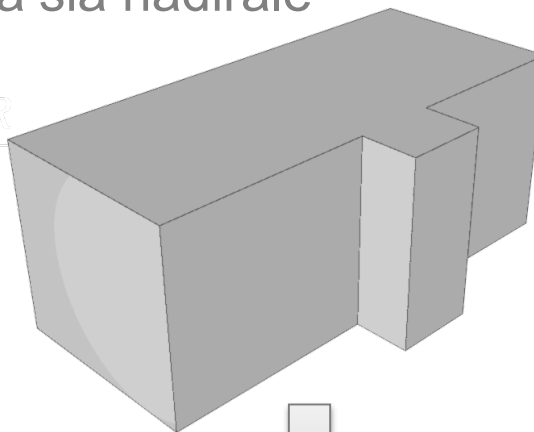
FOTOPIANI - ERRORI

Per semplicità assumiamo che il fotogramma sia nadirale

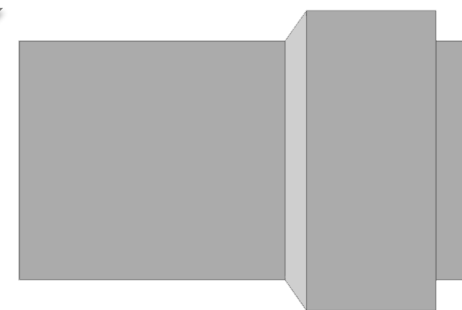


$$\frac{\Delta \rho}{c} = \frac{\Delta R}{Z}$$

$$\frac{\Delta R}{\Delta Z} = \frac{\rho}{c}$$



CORRETTO



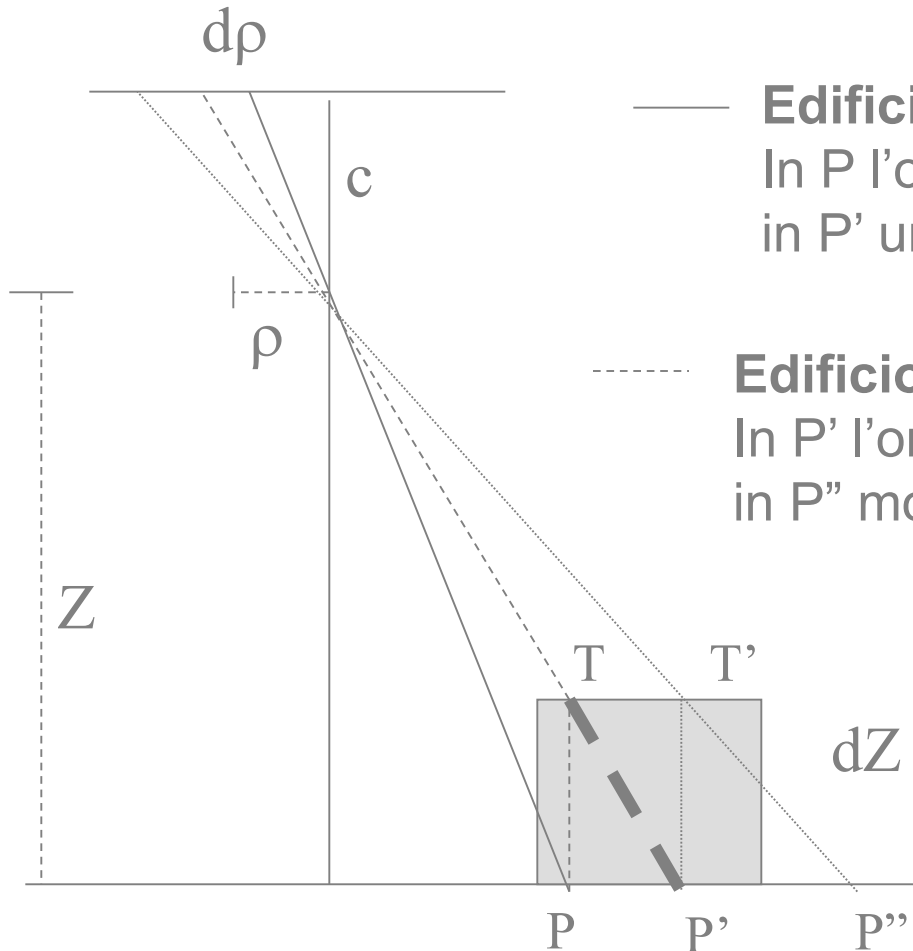
NON CORRETTO

$$\Delta R = \Delta Z \cdot \frac{\rho}{c}$$



ORTOFOTO - ERRORI

Non essendo inclusi nel DTM, gli edifici (ma anche viadotti, ecc.) vengono rappresentati non correttamente: proprio nel caso dell'edificio, ad esempio, mentre il piede (se visibile) è corretto, il tetto appare spostato radialmente.



— Edificio non incluso nel DTM:

In P l'ortofoto mostra la facciata dell'edificio, in P' un punto T del tetto non corretto

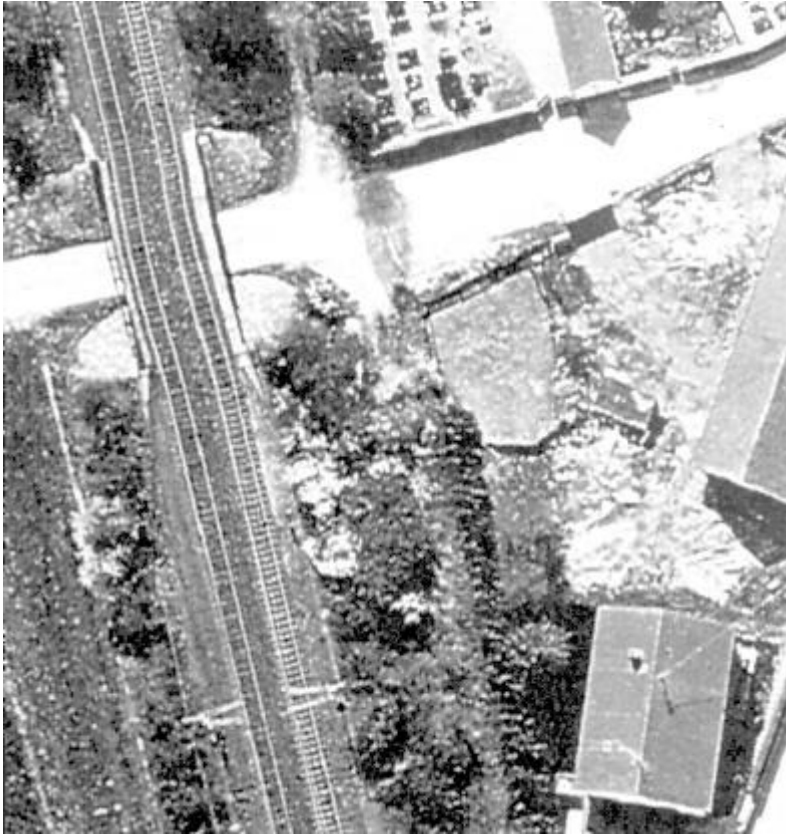
- - - Edificio incluso nel DTM

In P' l'ortofoto mostra il punto T' del tetto:OK in P'' mostra nuovamente T' (non corretto!)

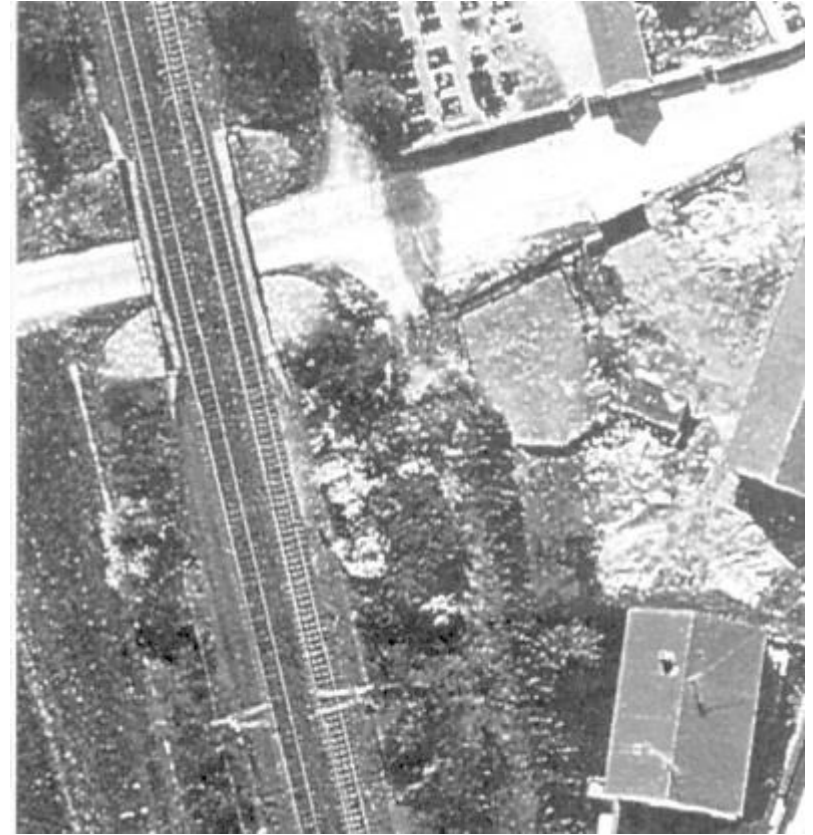
Occorre quindi una soluzione più sofisticata

ORTOFOTO - ERRORI

Non essendo inclusi nel DTM, gli edifici (ma anche viadotti, ecc.) questi vengono rappresentati non correttamente.



SBAGLIATO



CORRETTO

ORTOFOTO - MOSAICATURA

L'unione di foto, anche se prese in sequenza nello stesso volo, evidenzia un effetto scacchiera, per cui sono visibili i bordi tra i fogli.

Questo perché:

- La riflettività del terreno varia nel piano di illuminazione;
- Fotogrammi diversi hanno solitamente differente esposizione (la scena non è esattamente la stessa per l'esposimetro);
- Variazioni di illuminazione fra strisciate adiacenti;
- Effetto *hot spot* (maggior luminosità nella zona del fotogramma opposta alla direzione di illuminazione del sole);



ORTOFOTO - MOSAICATURA

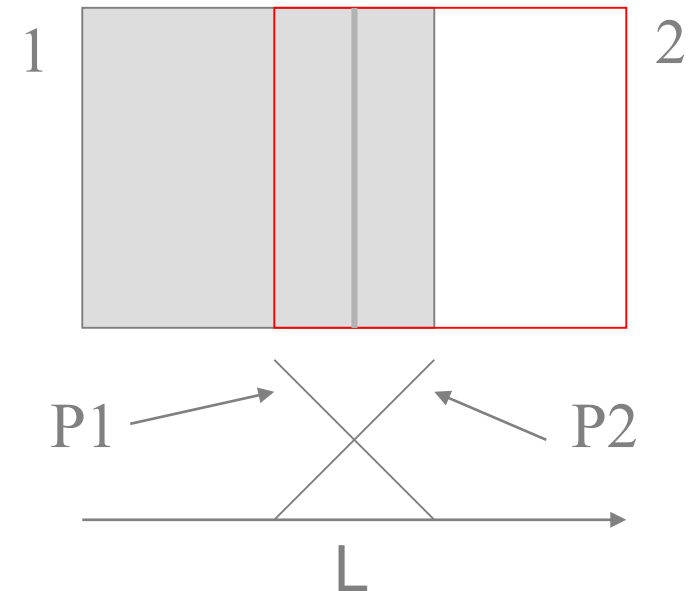
Per risolvere il problema, durante la mosaicatura, posso cercare di correggere i parametri globali di luminosità e contrasto di ciascun fotogramma e utilizzare algoritmi di blending nelle zone di sovrapposizione:

SULLA ZONA DI SOVRAPPOSIZIONE:

- ❑ Calcolo i nuovi g.v. facendo una media pesata
- ❑ Considero prima le coppie lungo la strisciata
- ❑ Adatto poi una strisciata sull'altra

$$g.v.(x, y) = w_1 \cdot g_1(x_1, y_1) + w_2 \cdot g_2(x_2, y_2)$$

$$w_1 = \frac{L - \xi}{L} \quad w_2 = \frac{\xi}{L} \quad (0 < \xi < L)$$



MODELLI FOTOREALISTICI

Un modello 3D fotorealistico è costituito dagli oggetti restituiti, rappresentati da un insieme di superfici (e/o solidi), su ciascuna delle quali è definito un raster i cui pixel riportano il contenuto pittorico dell'oggetto stesso.

In altre parole abbiamo:

1. Il modello geometrico dell'oggetto
 2. Le caratteristiche superficiali dell'oggetto (Texture).
- La rappresentazione è solitamente gestita e creata tramite programmi di modellazione appositi.
 - Essa può consentire la generazione di viste arbitrarie della scena, contenendo tutti gli elementi necessari allo scopo.
 - Con le tecniche VR è inoltre possibile aggregare più livelli di rappresentazione e dettaglio, ottenendo una navigazione virtuale nella scena e nei suoi ambienti.

