

GEOREFERENZIAZIONE DEI DATI RASTER

Borgogno Mondino Enrico 2021

Obiettivo:

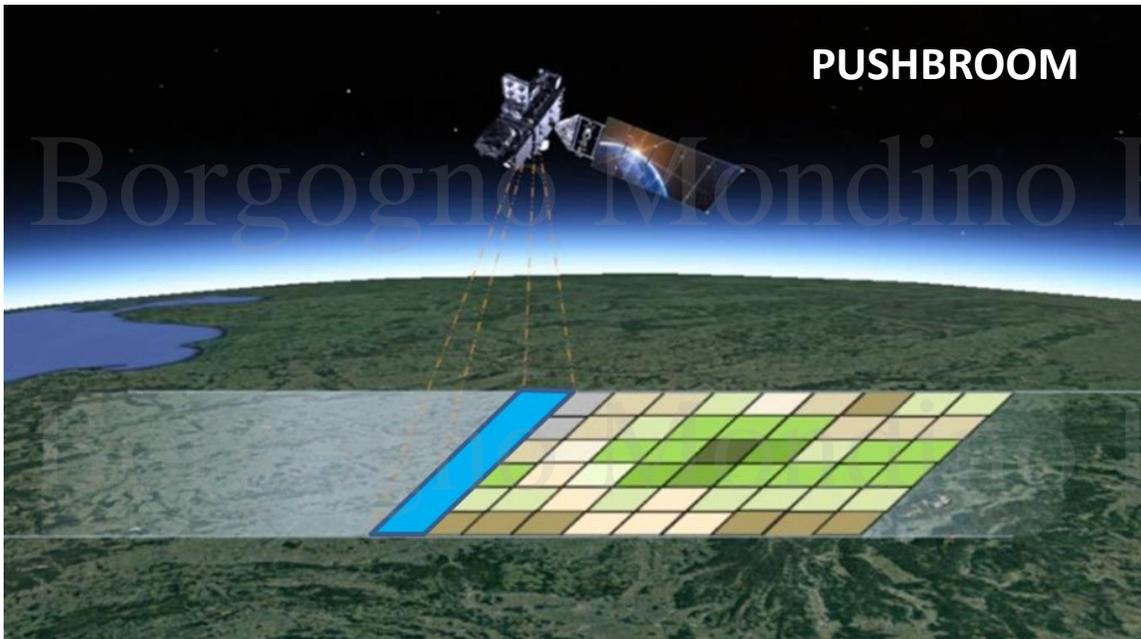
Minimizzare le distorsioni geometriche presenti nell'immagine (terrestre, aerea o satellitare) collocandola all'interno di un sistema cartografico opportuno. Le distorsioni sono imputabili ai sistemi di presa, alla geometria dell'oggetto acquisito e all'atmosfera.

- Sensore (*pushbroom, whiskbroom, frame*)
- rotazione terrestre (*skew*)
- piattaforma (variazioni di quota, velocità, assetto)
- curvatura terrestre
- ottica
- prospettiva/assetto angolare
- discontinuità altimetriche (*relief displacement*)
- rifrazione atmosferica

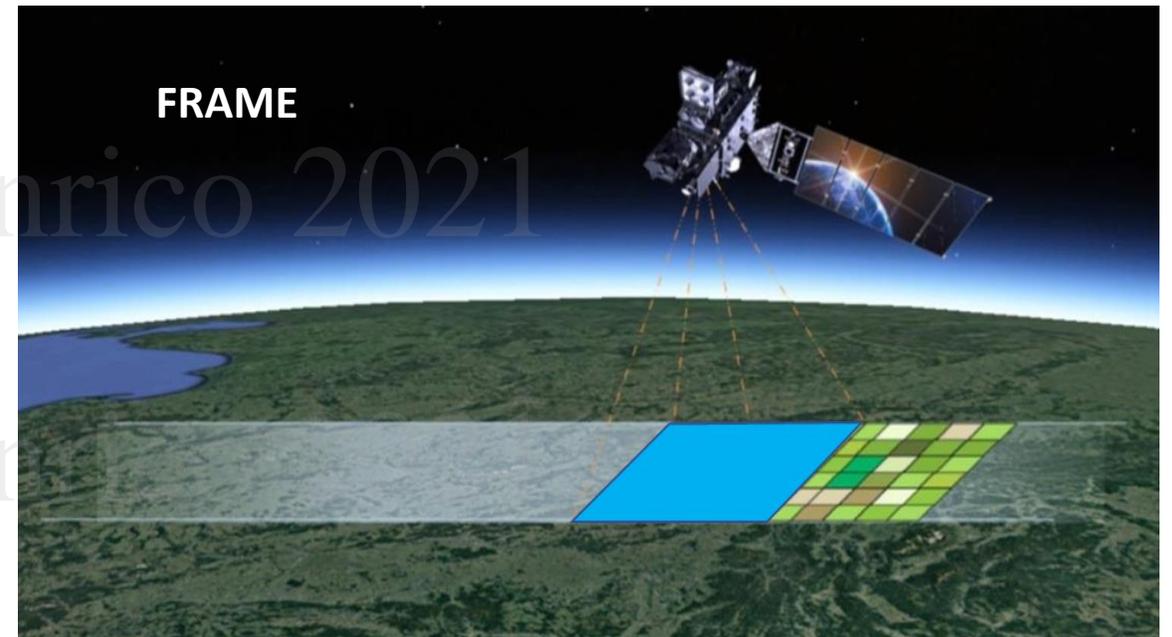
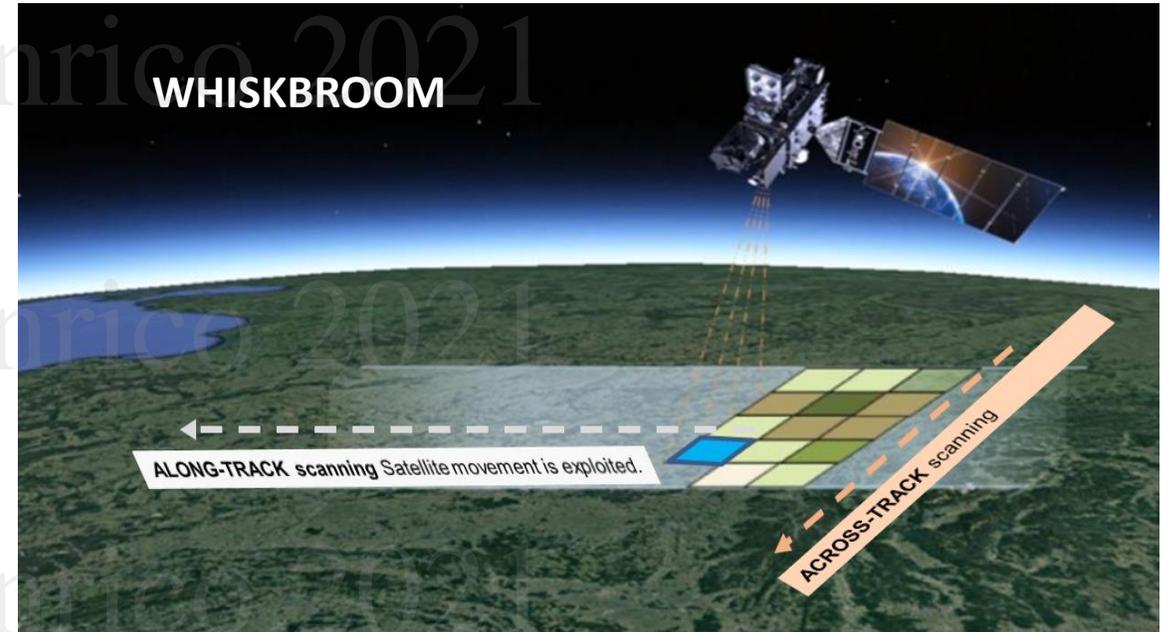
TIPOLOGIE DI SENSORI

L'immagine è generata una riga per volta. Gli SCANNER per la digitalizzazione (raster) di rappresentazioni cartacee opera in modalità PUSHBROOM.

L'immagine è generata un PIXEL alla volta. Le distorsioni geometriche sono maggiori.

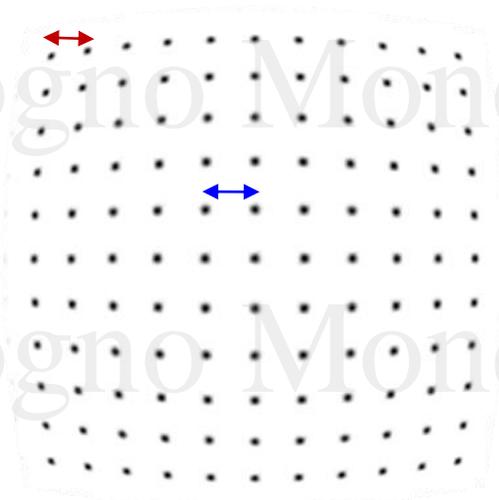


L'immagine è generata interamente nello stesso istante. Le distorsioni geometriche sono minori.

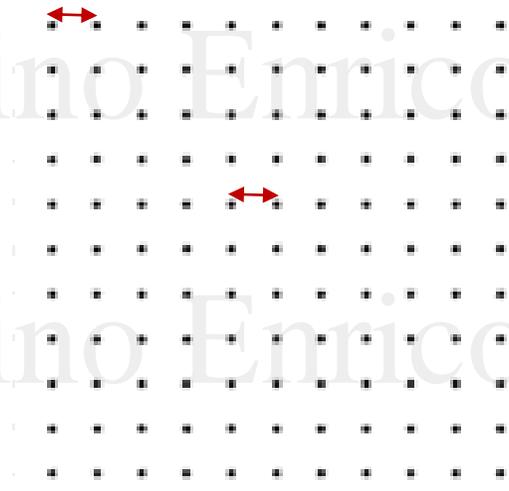
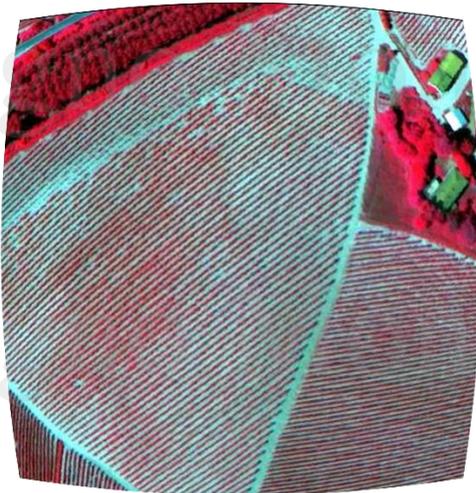


Borgogno Mondino Enrico 2021

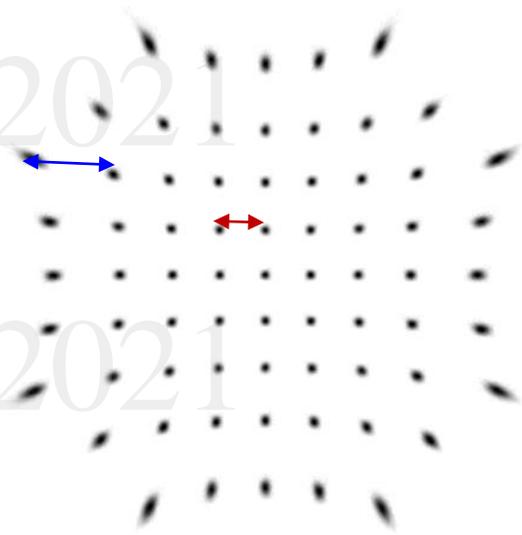
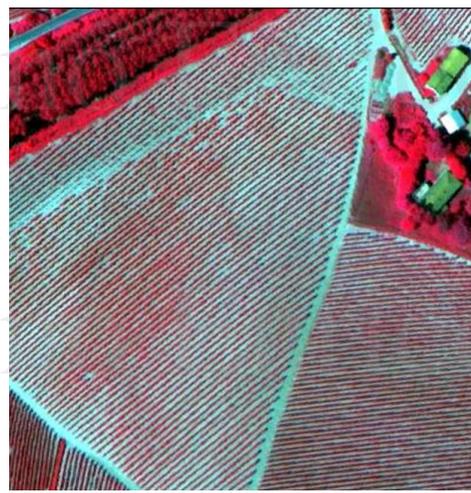
DISTORSIONI GEOMETRICHE effetti del sistema ottico dell'obiettivo



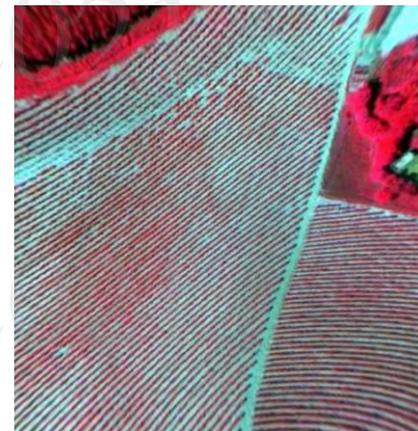
Short focal length



No distortion



Long focal length



Borgogno Mondino Enrico 2021

DISTORSIONI GEOMETRICHE

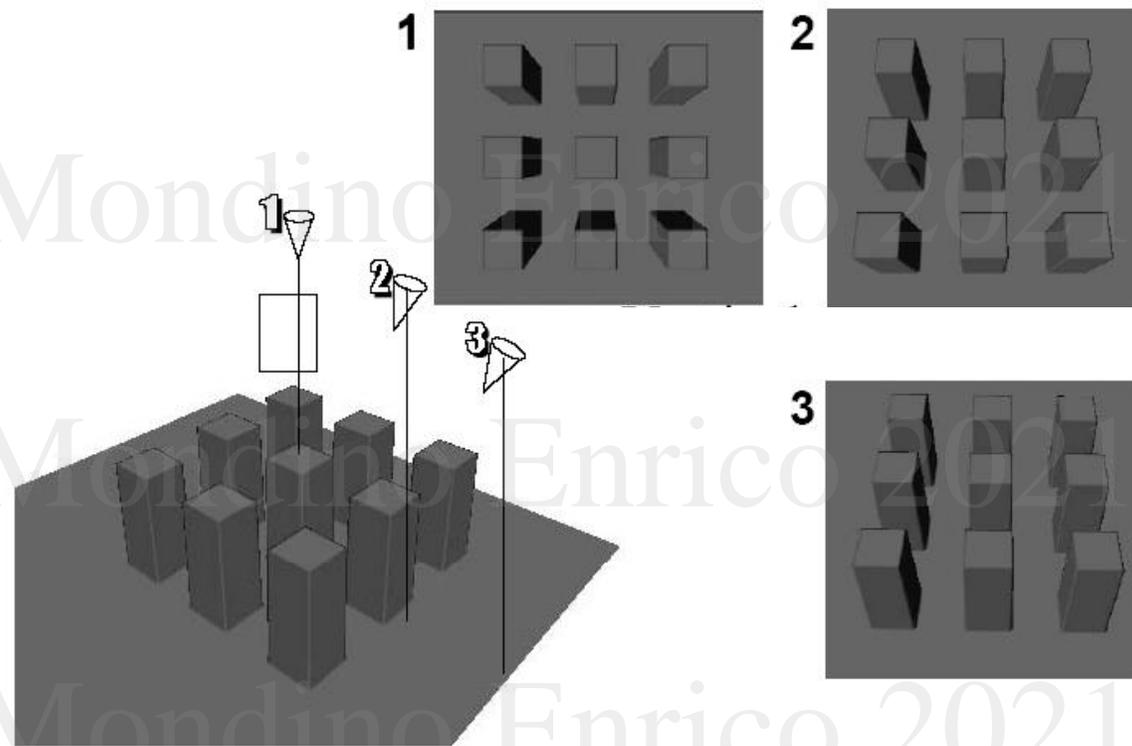
effetti prospettici legati alle direzioni di proiezione non nadirali

Borgogno Mondino Enrico 2021

Borgogno Mondino Enrico 2021

Borgogno Mondino Enrico 2021

Borgogno Mondino Enrico 2021

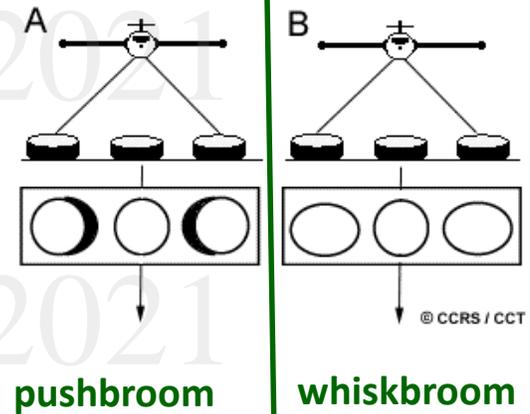
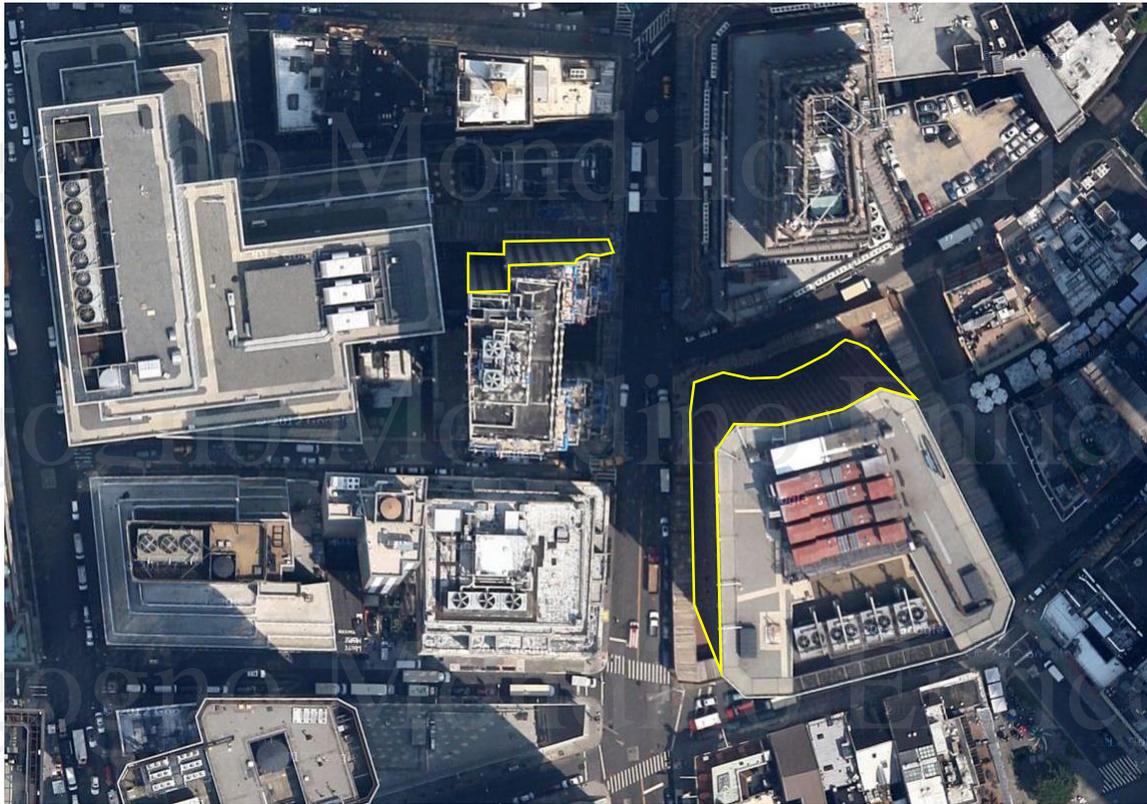


Borgogno Mondino Enrico 2021

DISTORSIONI GEOMETRICHE

effetti prospettici legati alle direzioni di proiezione non nadirali

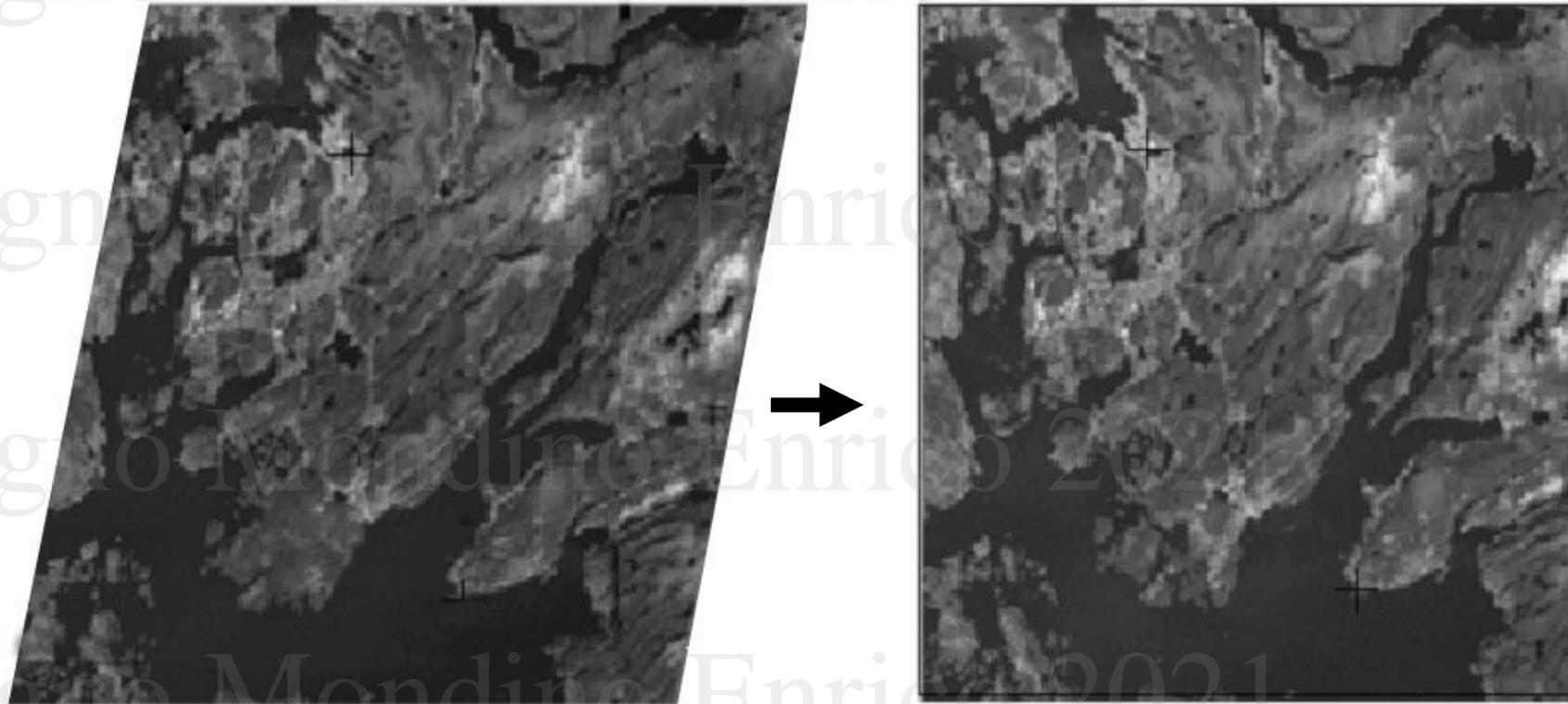
Borgogno Mondino Enrico 2021



Borgogno Mondino Enrico 2021

DISTORSIONI GEOMETRICHE

effetti prospettici (skew) legati rotazione terrestre



Borgogno Mondino Enrico 2021

Borgogno Mondino Enrico

Borgogno Mondino Enrico 2021

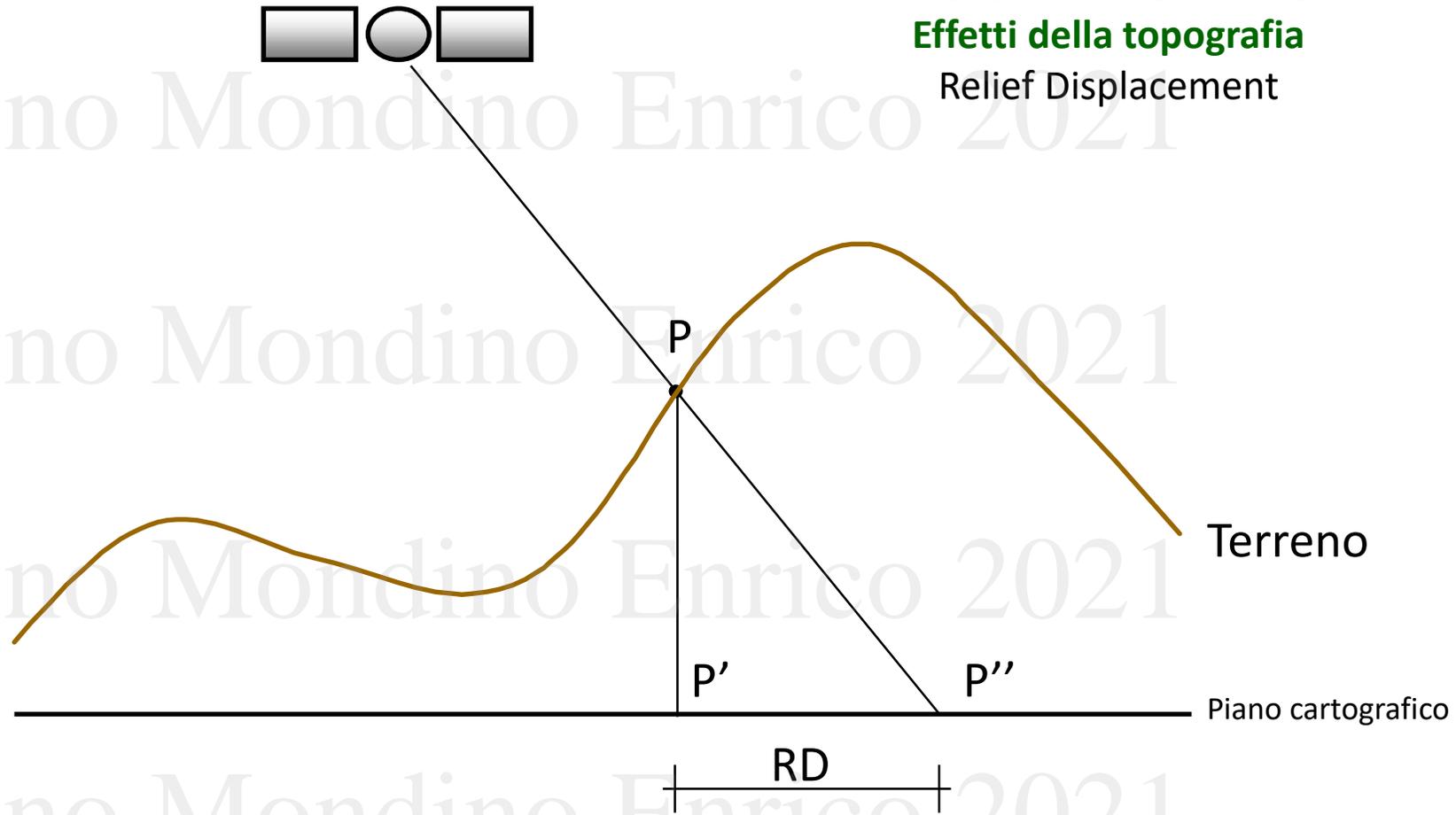
Borgogno Mondino Enrico 2021

Borgogno Mondino Enrico 2021

DISTORSIONI GEOMETRICHE

Effetti della topografia

Relief Displacement

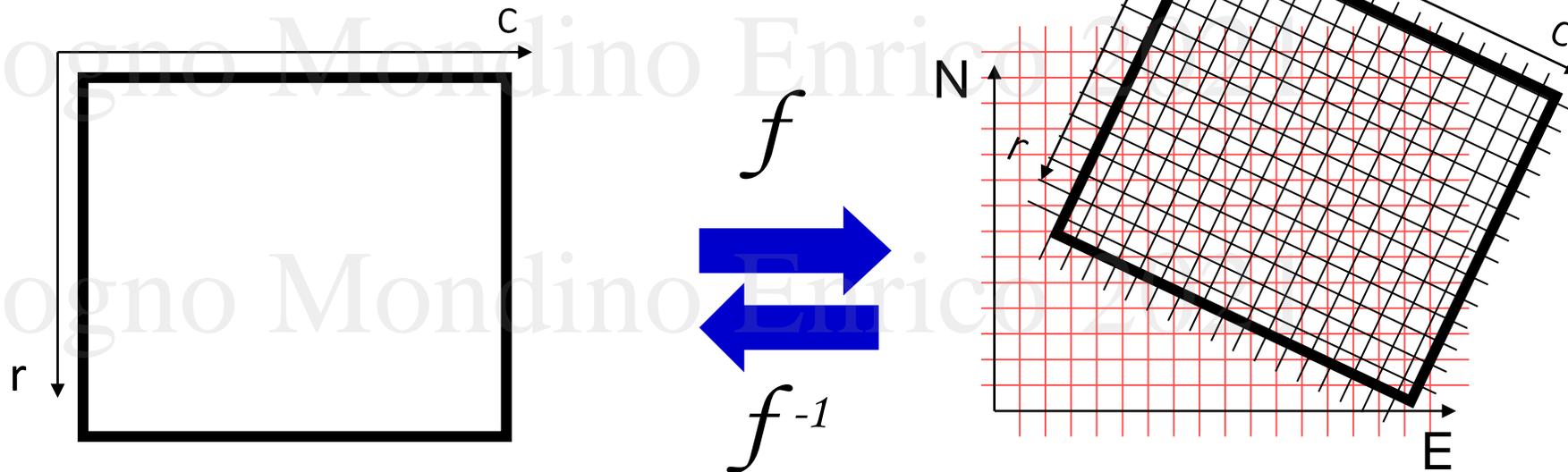


Borgogno Mondino Enrico 2021

CORREZIONE GEOMETRICA DI IMMAGINI DIGITALI METODOLOGIA

Trasformazione geometrica tra il sistema di riferimento IMMAGINE (c,r) e quello CARTOGRAFICO (E,N). **4 fasi operative:**

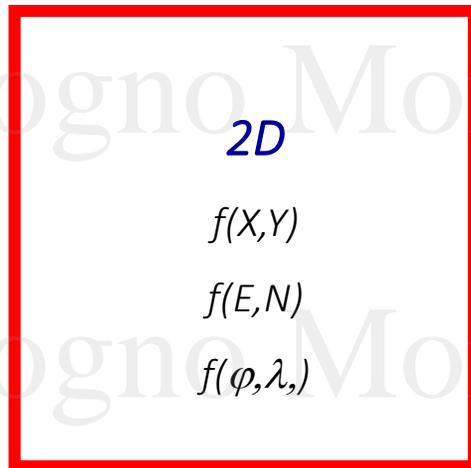
- Scelta del modello di trasformazione
- Stima dei parametri della trasformazione
- Verifica degli scarti
- Applicazione della trasformazione



SCelta DEL MODELLO DI TRASFORMAZIONE

Che tipo di trasformazione f utilizzare?

Dipende essenzialmente dal tipo di dato e dal tipo di applicazione



3D

$f(X,Y,Z)$

$f(E,N,Z)$

$f(\varphi,\lambda,h)$

Si parla in questo caso di **ortoproiezione**. Il procedimento presuppone la conoscenza dell'andamento topografico dell'area (serve DTM)

**GEOREFERENZIAZIONE
CLASSICA (GIS)**

Idonea per dati a bassa o media risoluzione geometrica
o per scansioni di cartografia cartacea

SCelta DEL MODELLO DI TRASFORMAZIONE

Esempi di trasformazioni 2D

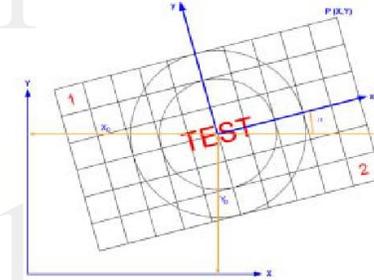
$$c = a_0X + a_1Y + a_2$$

$$r = -a_1X + a_0Y + a_3$$

RST

Rotazione, Traslazione X, Traslazione Y
Variazione di scala anisotropa

4 parametri



$$c = a_0X + a_1Y + a_2$$

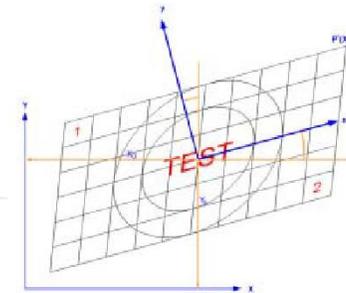
$$r = a_3X + a_4Y + a_5$$

Polinomiale 1° (AFFINE)

Rotazione, Traslazione X,
Traslazione Y Doppia variazione

di scala, Taglio

6 parametri



$$c = \frac{aX + bY + c}{gX + hY + 1}$$
$$r = \frac{dX + eY + f}{gX + hY + 1}$$

OMOGRAFIA

8 parametri

STIMA DEI PARAMETRI DELLA TRASFORMAZIONE (ANALISI)

Borgogno Mondino Enrico 2021

Borgogno Mondino Enrico 2021

$$\begin{aligned}c &= a_0X + a_1Y + a_2 \\ r &= a_3X + a_4Y + a_5\end{aligned}$$

Polinomiale I grado

Borgogno Mondino Enrico 2021

Ipotizziamo di voler georeferenziare una immagine utilizzando una Polinomiale di I grado

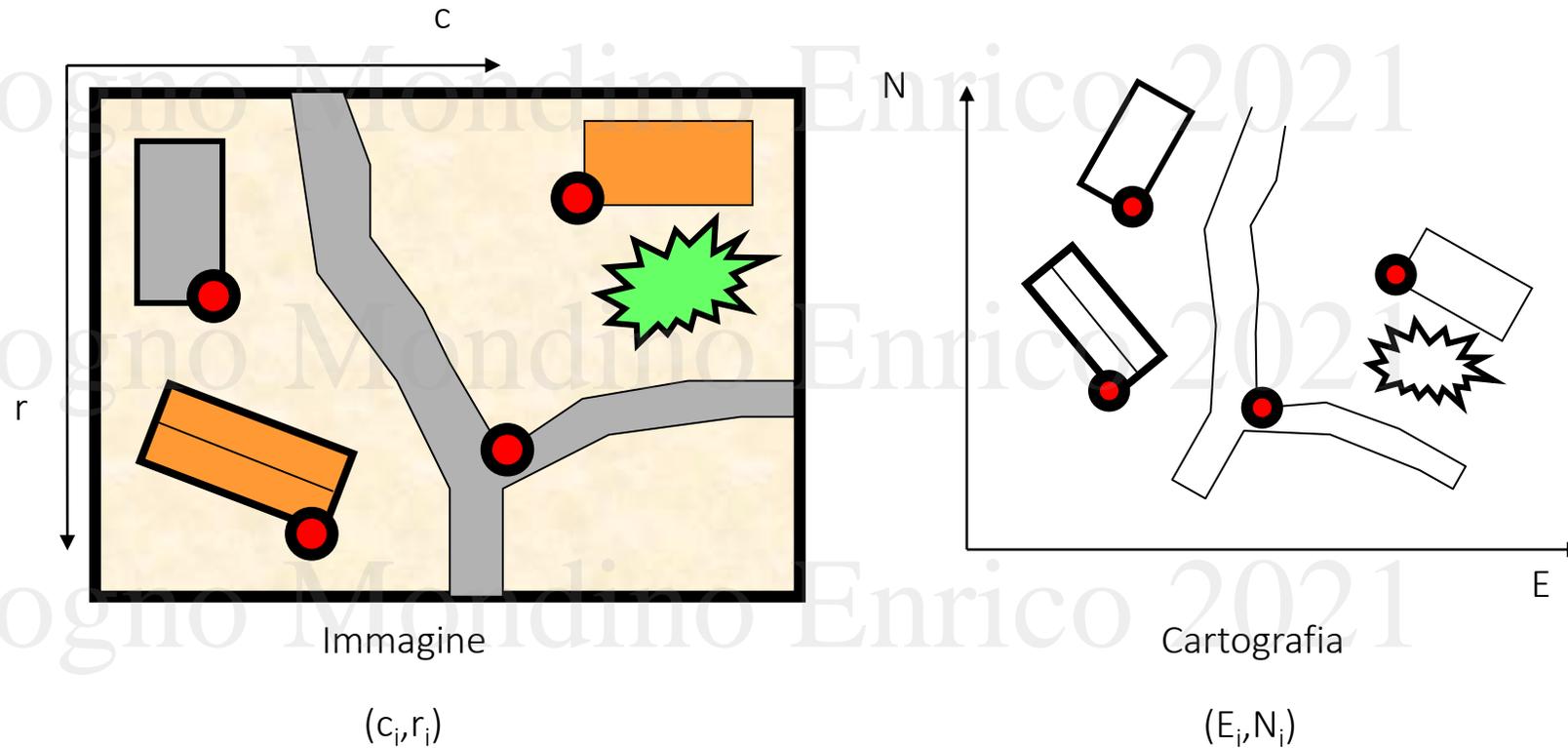
I 6 parametri incogniti della trasformazione (a_i) possono essere determinati, generalmente attraverso una stima ai minimi quadrati, qualora siano noti un sufficiente numero di punti di coordinate immagine (c,r) e cartografiche (E, N) note.

Borgogno Mondino Enrico 2021

Ad ogni punto di appoggio corrispondono 2 equazioni.

Borgogno Mondino Enrico 2021

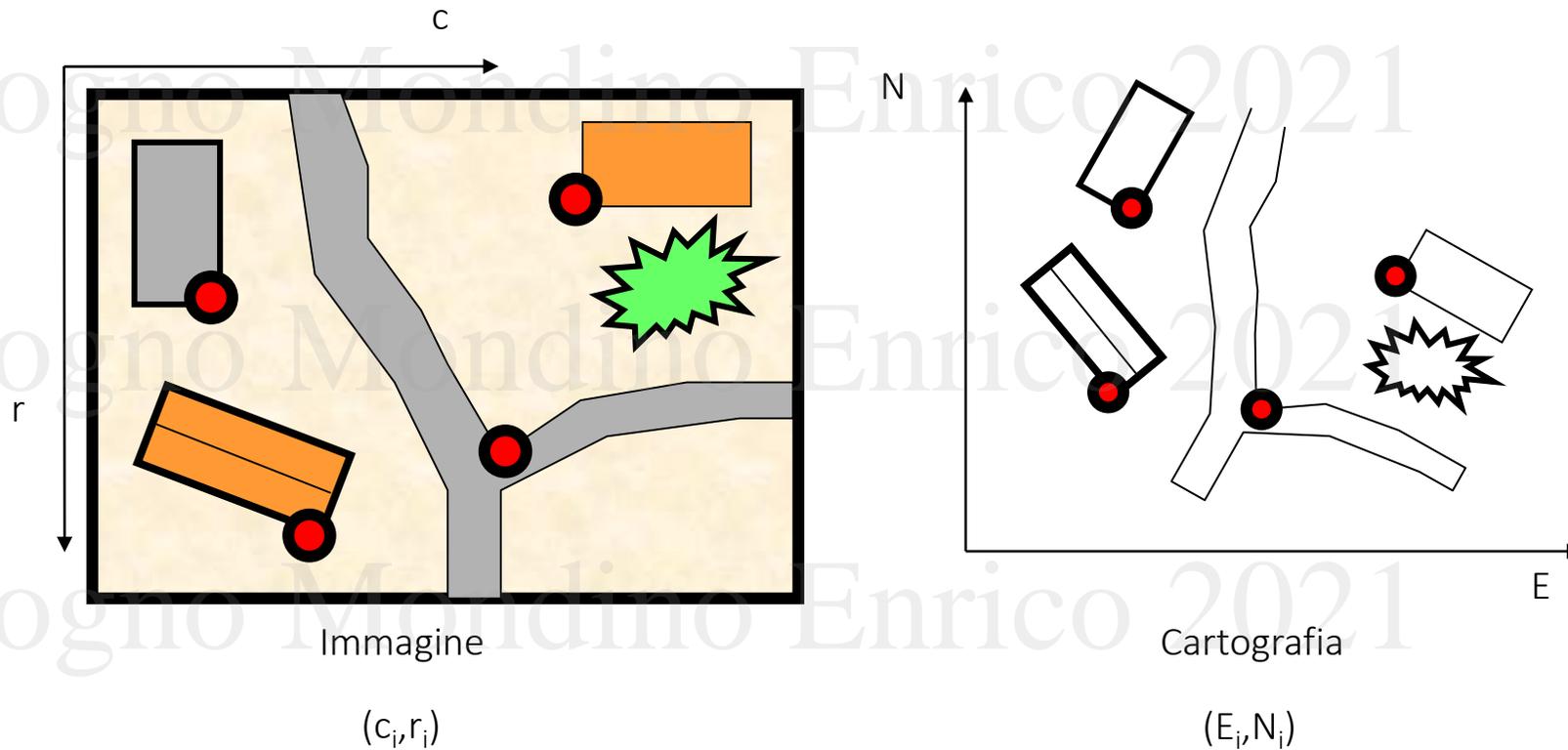
STIMA DEI PARAMETRI DELLA TRASFORMAZIONE (ANALISI)



I punti collimati in questa fase sono denominati **punti di appoggio (GCP, Ground Control Point)**

NB1: omogeneamente distribuiti sull'intera immagine

STIMA DEI PARAMETRI DELLA TRASFORMAZIONE (ANALISI)



NB2: è opportuno utilizzare una cartografia di riferimento ad una scala nominale tale da garantire una precisione superiore a quella desiderata per l'immagine georeferita

STIMA DEI PARAMETRI DELLA TRASFORMAZIONE (ANALISI)

$$\text{GCP}_1 \rightarrow (c_1, r_1, E_1, N_1)$$

$$\text{GCP}_2 \rightarrow (c_2, r_2, E_2, N_2)$$

...

$$\text{GCP}_n \rightarrow (c_n, r_n, E_n, N_n)$$

Il numero minimo di punti è funzione del numero di parametri della trasformazione utilizzata. Nel caso della RST sono necessari almeno 2 punti (4 parametri \rightarrow ogni punto genera due equazioni)

Per effettuare una stima ai minimi quadrati è ovviamente necessario avere a disposizione un numero di punti superiore a quello minimo richiesto ([ridondanza](#))

STIMA DEI PARAMETRI DELLA TRASFORMAZIONE (ANALISI)

Le equazioni che si vanno componendo per i punti di appoggio definiscono un sistema ridondante da risolvere con procedimento di stima ai minimi quadrati.

Nella fase di ANALISI le incognite del problema sono i coefficienti del modello di trasformazione (a_i)



MINIMI QUADRATI IN NOTAZIONE MATRICIALE

$$\begin{matrix} \mathbf{A} & \mathbf{X} & \mathbf{L} \\ \begin{pmatrix} E_1 & N_1 & 1 & 0 \\ E_1 & N_1 & 0 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ E_n & N_n & 1 & 0 \\ N_n & -E_n & 0 & 1 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{pmatrix} & = \begin{pmatrix} c_1 \\ r_1 \\ \dots \\ c_n \\ r_n \end{pmatrix} \end{matrix}$$



$$c_1 = a_0 X_1 + a_1 Y_1 + a_2$$

$$r_1 = a_3 X_1 + a_4 Y_1 + a_5$$

$$c_2 = a_0 X_2 + a_1 Y_2 + a_2$$

$$r_2 = a_3 X_2 + a_4 Y_2 + a_5$$

...

...

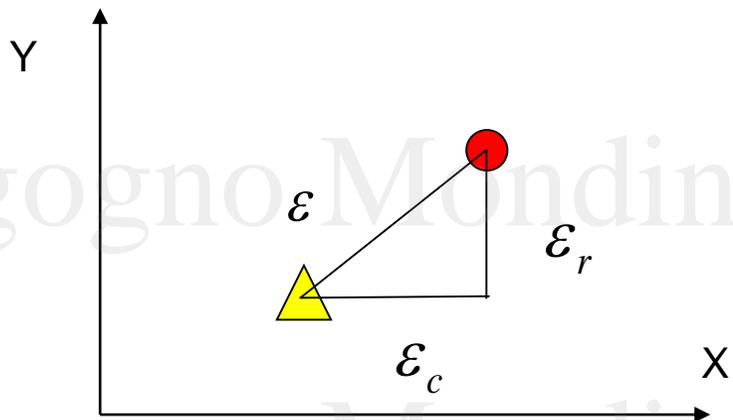
$$c_n = a_0 X_n + a_1 Y_n + a_2$$

$$r_n = a_3 X_n + a_4 Y_n + a_5$$

$$\mathbf{AX} = \mathbf{L}$$

$$\mathbf{X} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{L}$$

VERIFICA DEGLI SCARTI



La precisione di una georeferenziazione viene generalmente valutata attraverso un parametro globale denominato **RMSE** (Round Mean Squared Error) e definito come:

$$\varepsilon_c = c_i - \hat{c}_i$$

$$\varepsilon_r = r_i - \hat{r}_i$$

$$\rightarrow \varepsilon_i = \sqrt{\varepsilon_c^2 + \varepsilon_r^2}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}{n-1}}$$



(c_i, r_i)

coord. collimate dell'i-esimo punto



(\hat{c}_i, \hat{r}_i)

coord. Stimate dal modello dell'i-esimo punto

VERIFICA DEGLI SCARTI

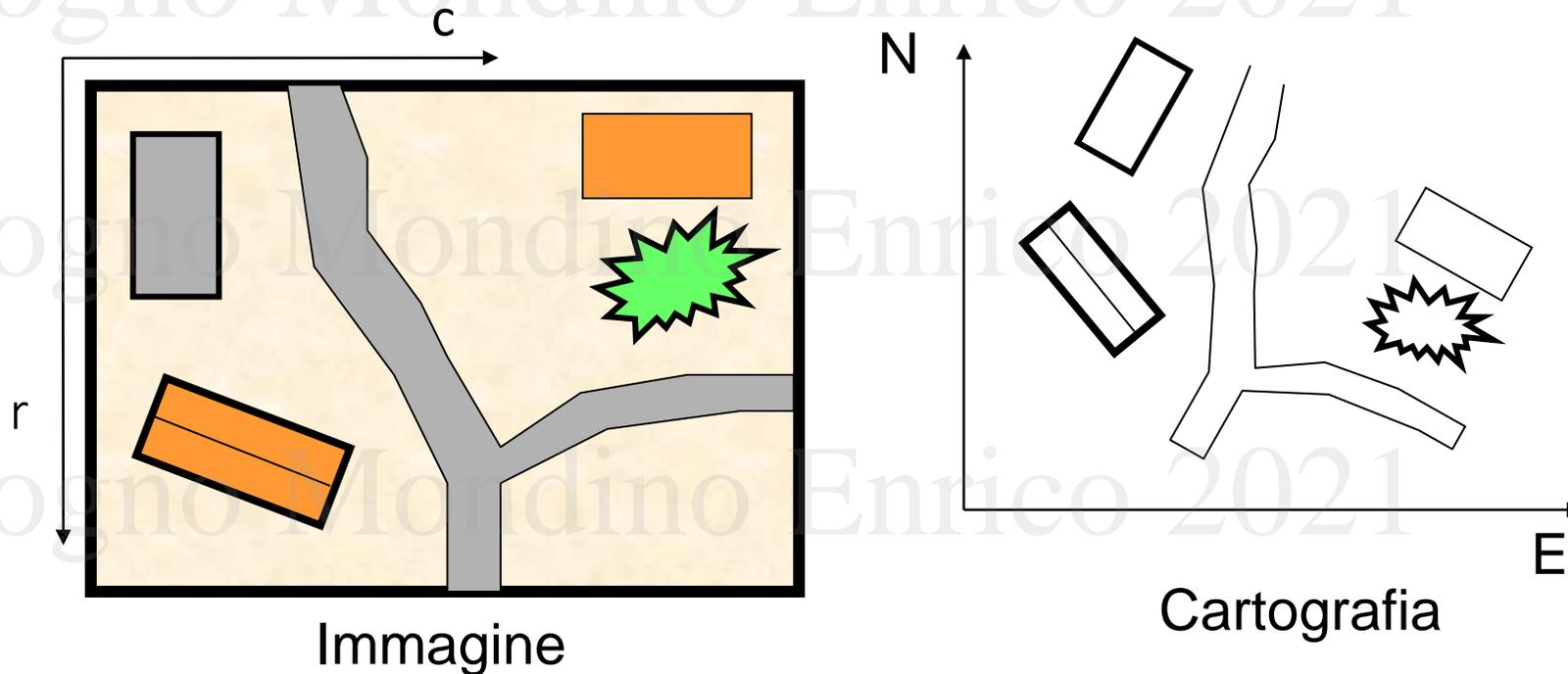
Risulta maggiormente cautelativo, al fine di stimare la precisione della georeferenziazione, calcolare i precedenti parametri utilizzando punti di coordinate note ma **che non siano stati utilizzati** per la stima dei parametri della trasformazione.

Tali punti, collimati con modalità analoga a quanto illustrato per i GCPs, sono denominati **punti di controllo** (CP, Check Point)

Borgogno Mondino Enrico 2021

APPLICAZIONE DEL MODELLO

Una volta determinati i parametri incogniti è possibile applicare la relativa trasformazione a tutte le celle dell'immagine di partenza per ottenere un'immagine geometricamente corretta (**warping**).



APPLICAZIONE DEL MODELLO

Una volta determinati i parametri incogniti è possibile applicare la relativa trasformazione a tutte le celle dell'immagine di partenza per ottenere un'immagine geometricamente corretta (**warping**).

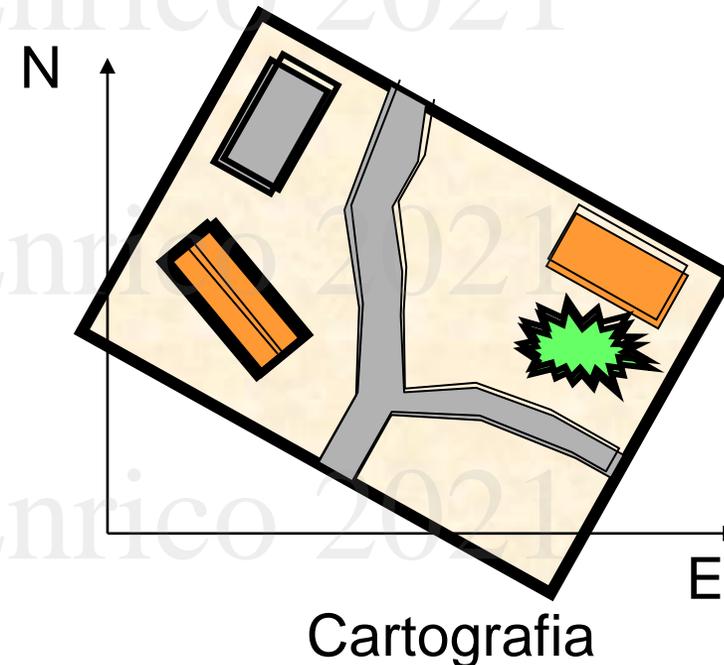
Dal punto di vista operativo i *software* non operano una trasformazione dal sistema di riferimento immagine a quello cartografico, ma effettuano l'operazione inversa nota come **Ricampionamento Inverso**.

Le relazioni illustrate in precedenza sono infatti del tipo

$$(c,r)=f(E,N)$$

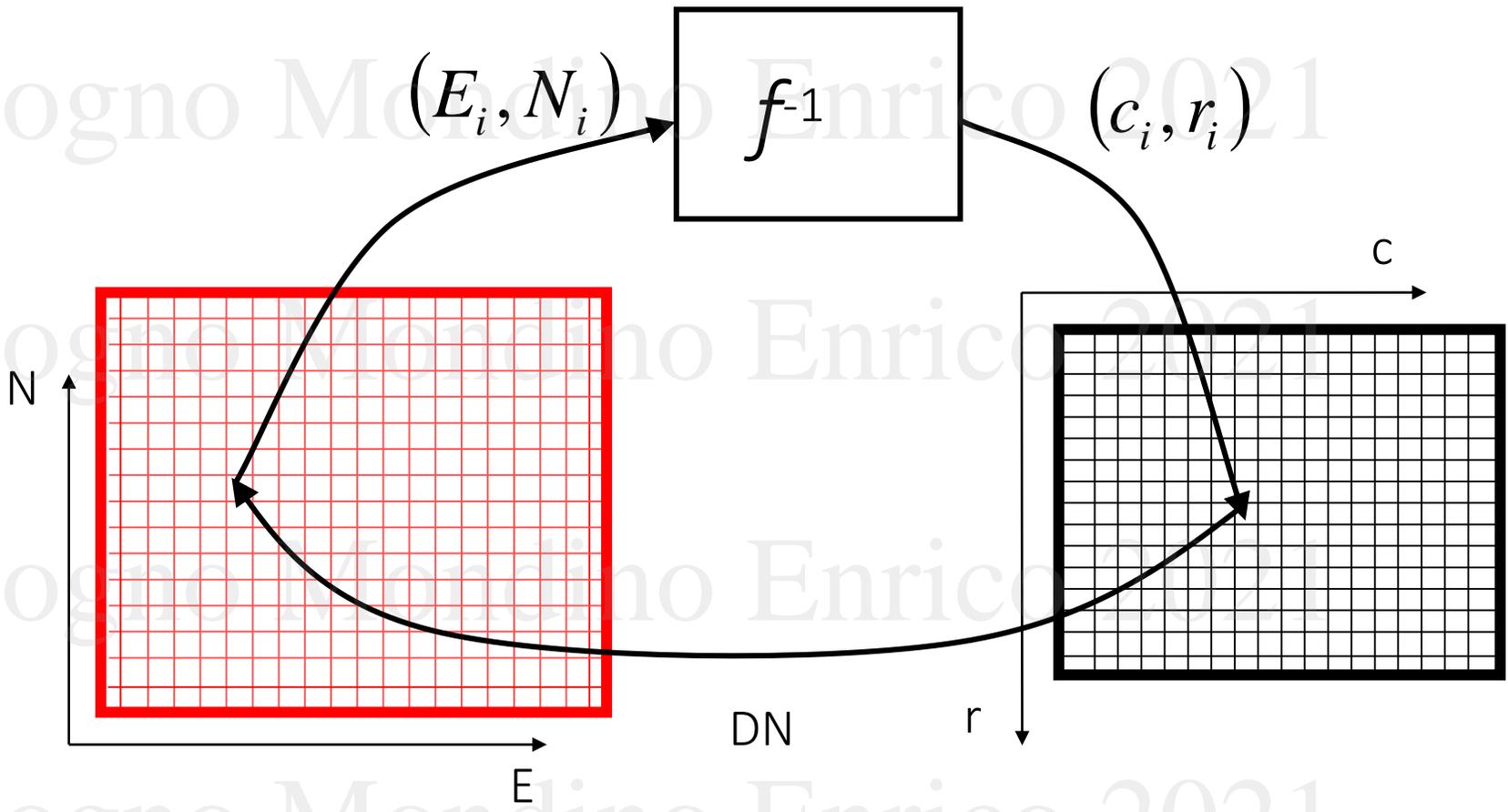
e non

$$(E,N)=f(c,r)$$



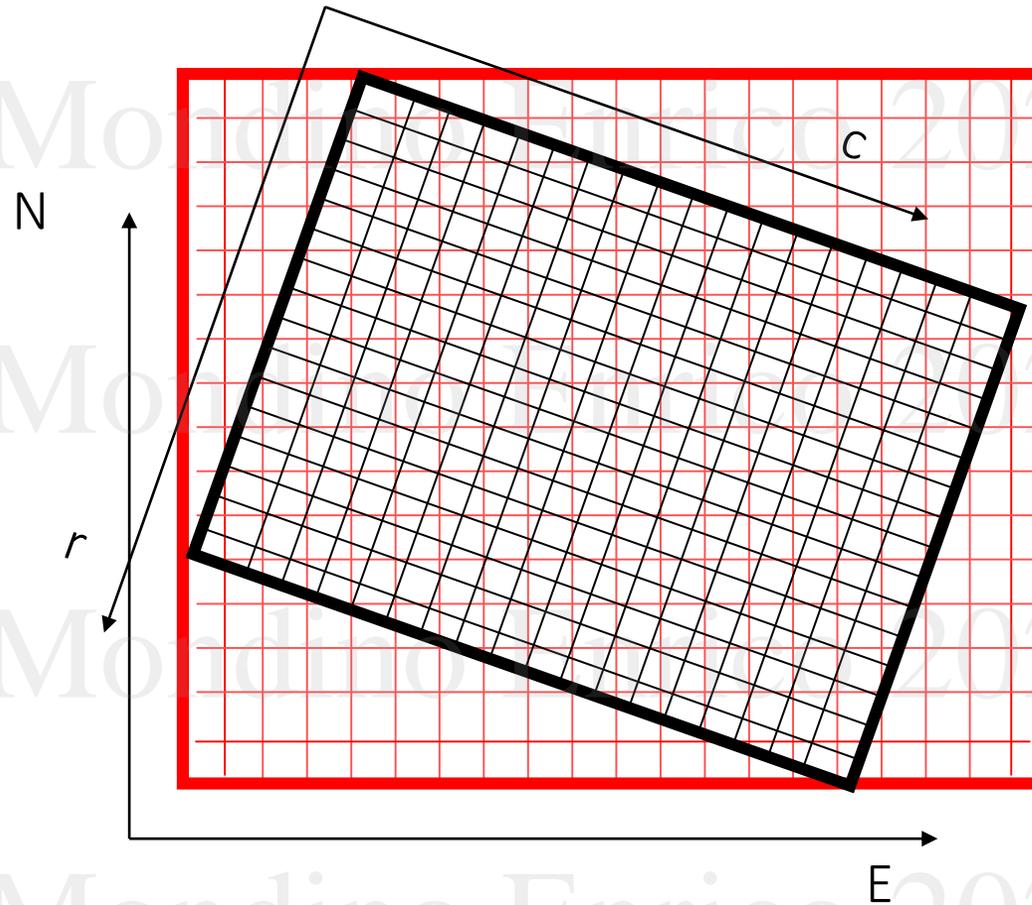
Borgogno Mondino Enrico 2021

APPLICAZIONE DEL MODELLO



Il ricampionamento inverso impedisce che vi siano celle dell'immagine corretta a cui non sia stato attribuito nessun DN

APPLICAZIONE DEL MODELLO



Ogni cella dell'immagine corretta si sovrappone a più celle dell'immagine originale.
Quale DN viene attribuito?

METODI DI RICAMPIONAMENTO

Borgogno Mondino Enrico 2021

Borgogno Mondino Enrico 2021

E' necessario scegliere a priori il **metodo di ricampionamento** da utilizzare e la risoluzione geometrica dell'immagine corretta che si vuole ottenere.

Borgogno Mondino Enrico 2021

Borgogno Mondino Enrico 2021

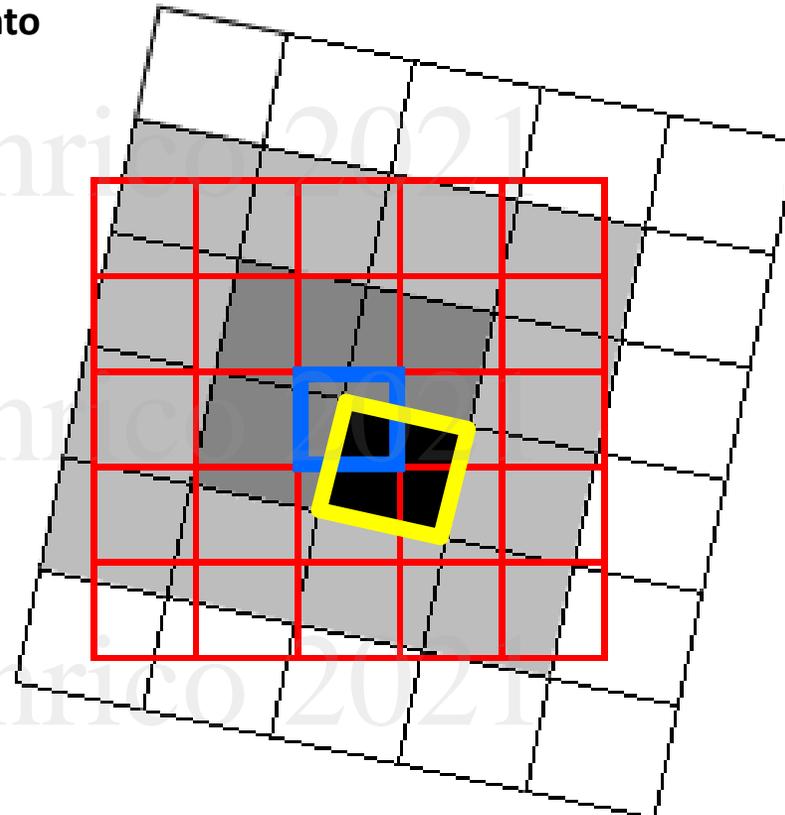
Borgogno Mondino Enrico 2021

Borgogno Mondino Enrico 2021

CORREZIONE GEOMETRICA DI IMMAGINI DIGITALI METODOLOGIA – METODI DI RICAMPIONAMENTO

NEAREST NEIGHBOUR

Celle dell'immagine originale utilizzate dai diversi metodi di ricampionamento per assegnare il DN della cella della immagine corretta in esame



METODI DI RICAMPIONAMENTO

BILINEAR

Il nuovo valore di radianza DN viene definito mediante un'interpolazione che coinvolge le quattro celle più vicinie alle coordinate immagine ottenute dalla trasformazione geometrica.

I valori di radianza originali vengono modificati e l'immagine che ne risulta presenta contrasti meno marcati con passaggi più graduali.

La cosa può essere poco desiderabile se si intendono fare delle classificazioni dopo il ricampionamento. In questo caso, è consigliabile effettuare la trasformazione dopo la classificazione.

Celle dell'immagine originale utilizzate dai diversi metodi di ricampionamento per assegnare il DN della cella della immagine corretta in esame

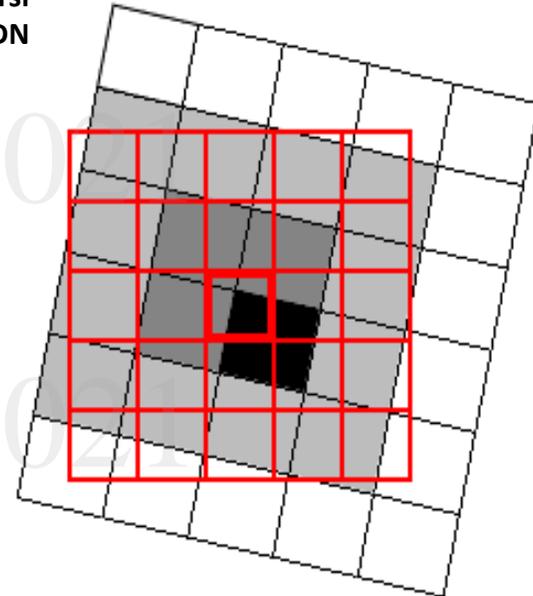
Nearest
Neighbour



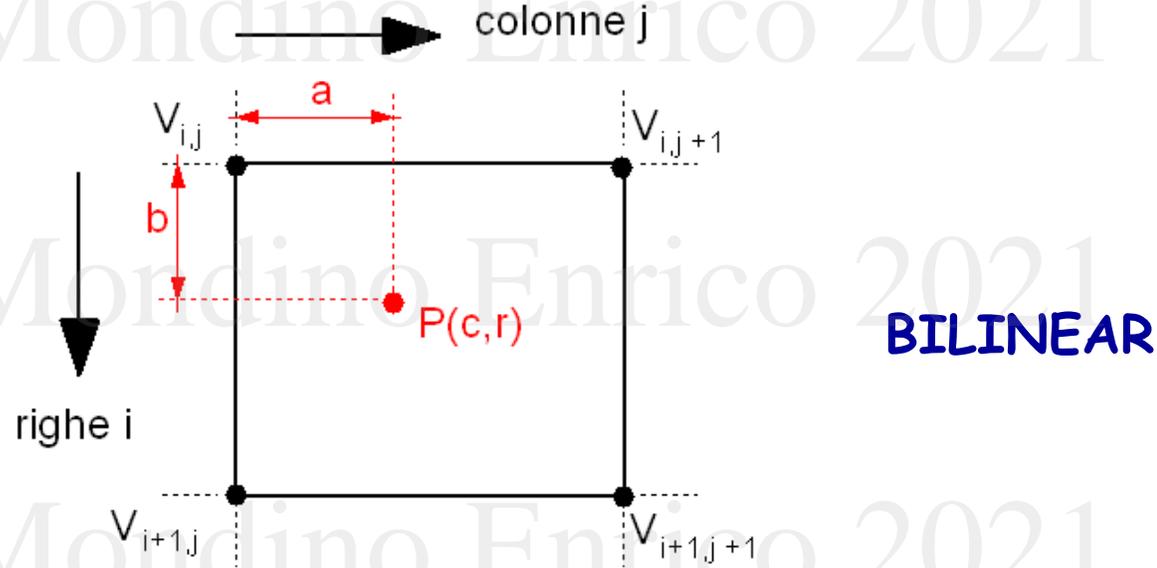
Bilinear
Interpolation



Cubic
Convolution



METODI DI RICAMPIONAMENTO



BILINEAR

$$V = (1-a)(1-b)V_{i,j} + a(1-b)V_{i,j+1} + b(1-a)V_{i+1,j} + abV_{i+1,j+1}$$

METODI DI RICAMPIONAMENTO

CUBIC CONVOLUTION

Si opera un'interpolazione di ordine superiore nella quale vengono coinvolti i sedici pixel più vicini.

Da un punto strettamente geometrico questo metodo risulta essere il più fedele, per contro, il contenuto radiometrico viene alterato fortemente.

Quindi questa tecnica ben si presta per l'interpretazione visiva dell'immagine ma non deve essere utilizzata per analisi strettamente radiometriche.

Celle dell'immagine originale utilizzate dai diversi metodi di ricampionamento per assegnare il DN della cella della immagine corretta in esame

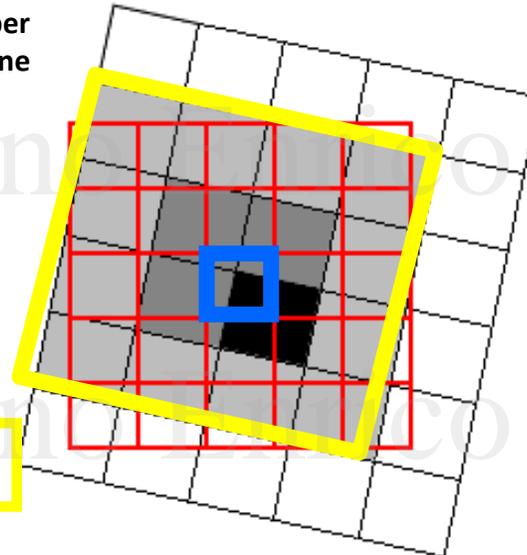
Nearest
Neighbour



Bilinear
Interpolation

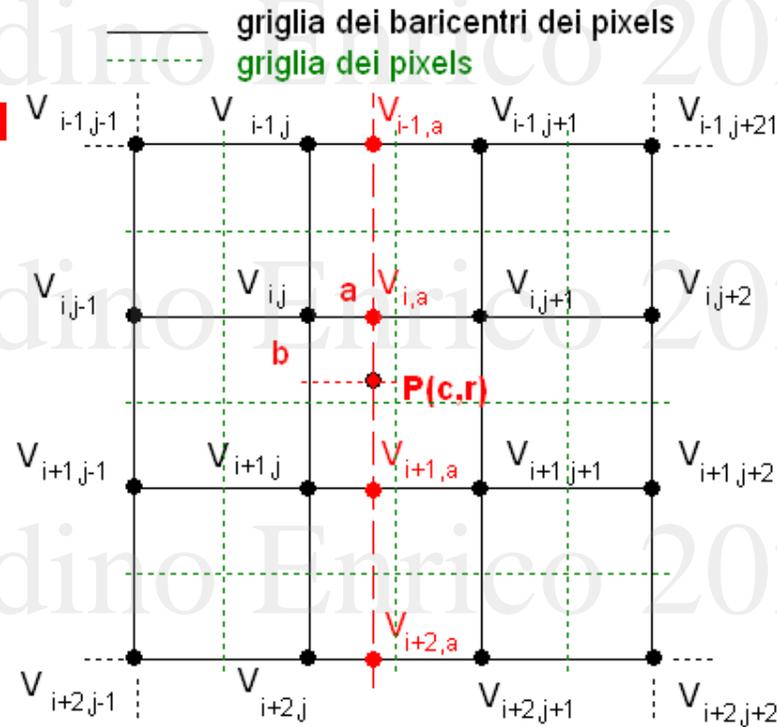


Cubic
Convolution



CORREZIONE GEOMETRICA DI IMMAGINI DIGITALI METODOLOGIA – METODI DI RICAMPIONAMENTO

CUBIC CONVOLUTION

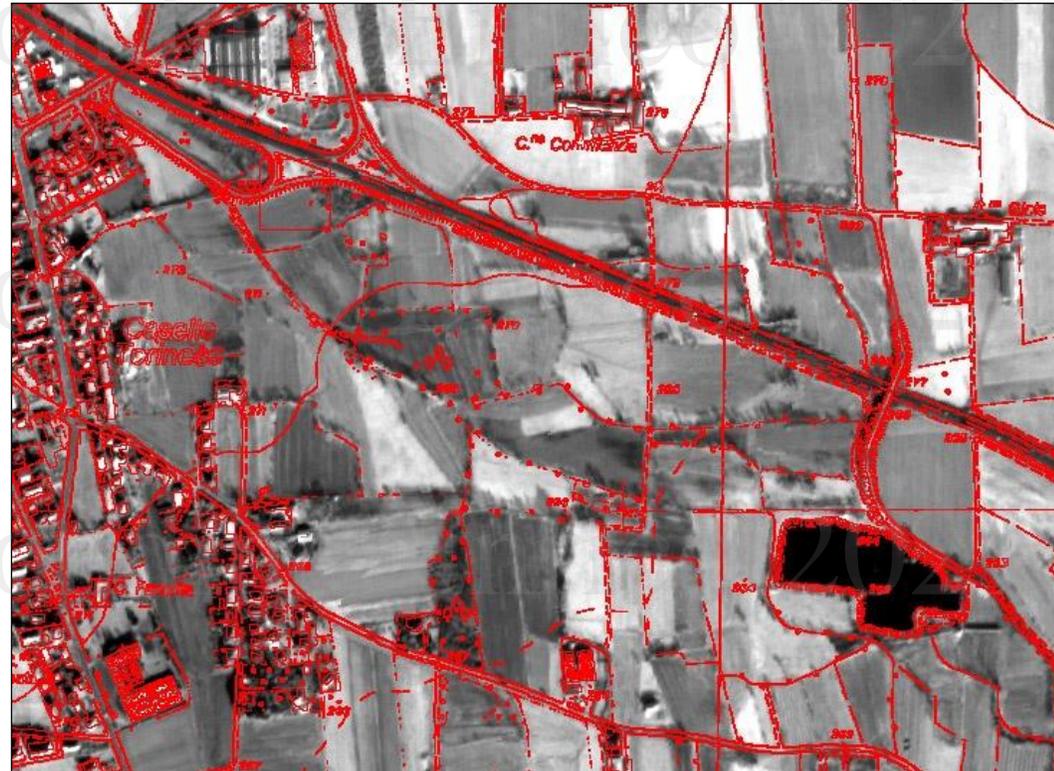


$$V_{r,a} = a(1-a^2)V_{r,j-1} + (1-2a^2+a^3)V_{r,j} + a(1+a-a^2)V_{r,j+1} + a^2(a-1)V_{r,j+2}$$

$$V_p = b(1-b^2)V_{i-1,a} + (1-2b^2+b^3)V_{i,a} + b(1+b-b^2)V_{i+1,a} + b^2(b-1)V_{i+2,a}$$

Borgogno Mondino Enrico 2021

Georeferenziazione: prodotti



QUICKBIRD - 0.62m

Borgogno Mondino Enrico 2021

Georeferenziazione: prodotti



QUICKBIRD – 0.62m

Borgogno Mondino Enrico 2021

Georeferenziazione: prodotti



QUICKBIRD – 0.62m