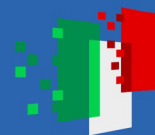




Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA  
Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale



# Principles of Image Analysis and Photomonitoring

P. Mazzanti,

**G.M Marmoni**, C.A. Stefanini



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

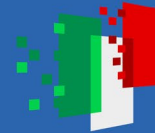




Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



**Italiadomani**  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



# Indice della Videolezione

**Image Analysis e Photomonitoring<sup>tm</sup>**

**Algoritmi di Change Detection e Digital image correlation**

**Accuratezza e precisione**

**Come si affrontano i problemi?**

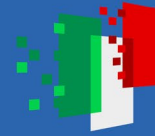
**Analisi multi-immagine**



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA  
Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale

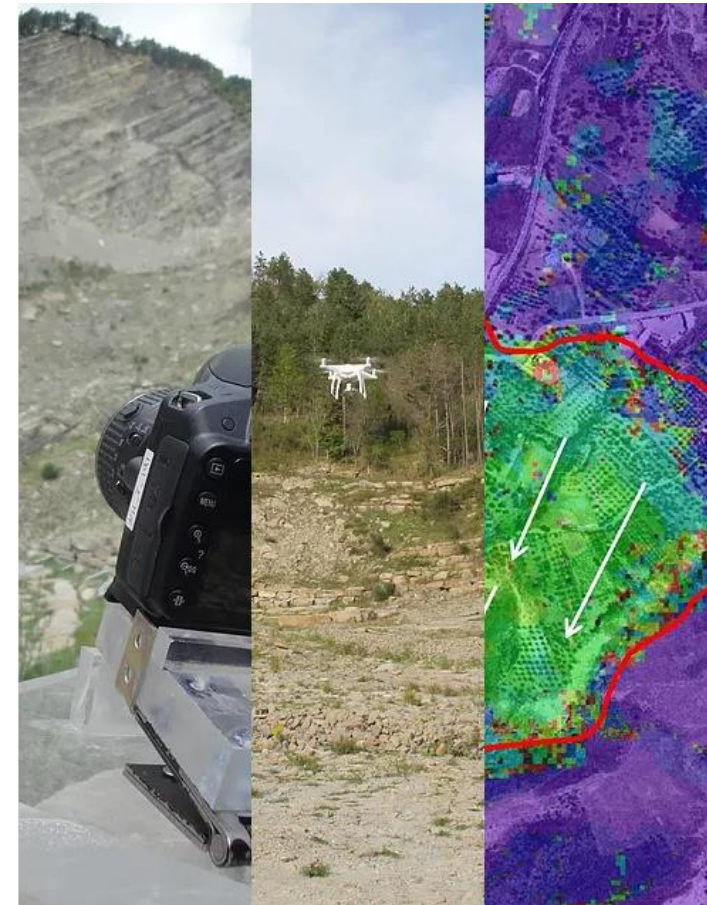


## Digital Image Analysis e Photomonitoring<sup>tm</sup>

**Image analysis** consiste nell'estrazione di informazioni e dati dalle immagini. Quando si analizzano immagini digitali per mezzo di algoritmi informatici, si tratta di **Digital Image Processing (DIP)**

Il **fotomonitoraggio** è una soluzione di monitoraggio che sfrutta la grande diffusione nel mondo di **sensori ottici/multispettrali** al fine di ottenere **informazioni** circa i **cambiamenti** o gli **spostamenti** del terreno, mediante opportune tecniche DIP

Il **fotomonitoraggio** opera a **diverse scale** spaziali e temporali, rappresentando uno strumento integrativo e a basso costo per lo studio e il monitoraggio di processi deformativi superficiali nell'ambito del controllo del territorio e delle strutture

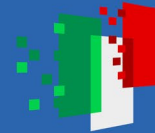




Finanziato dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero dell'Università e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA

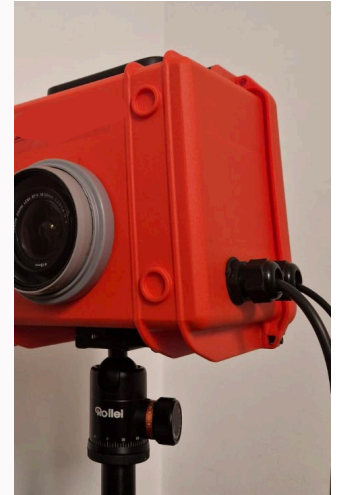
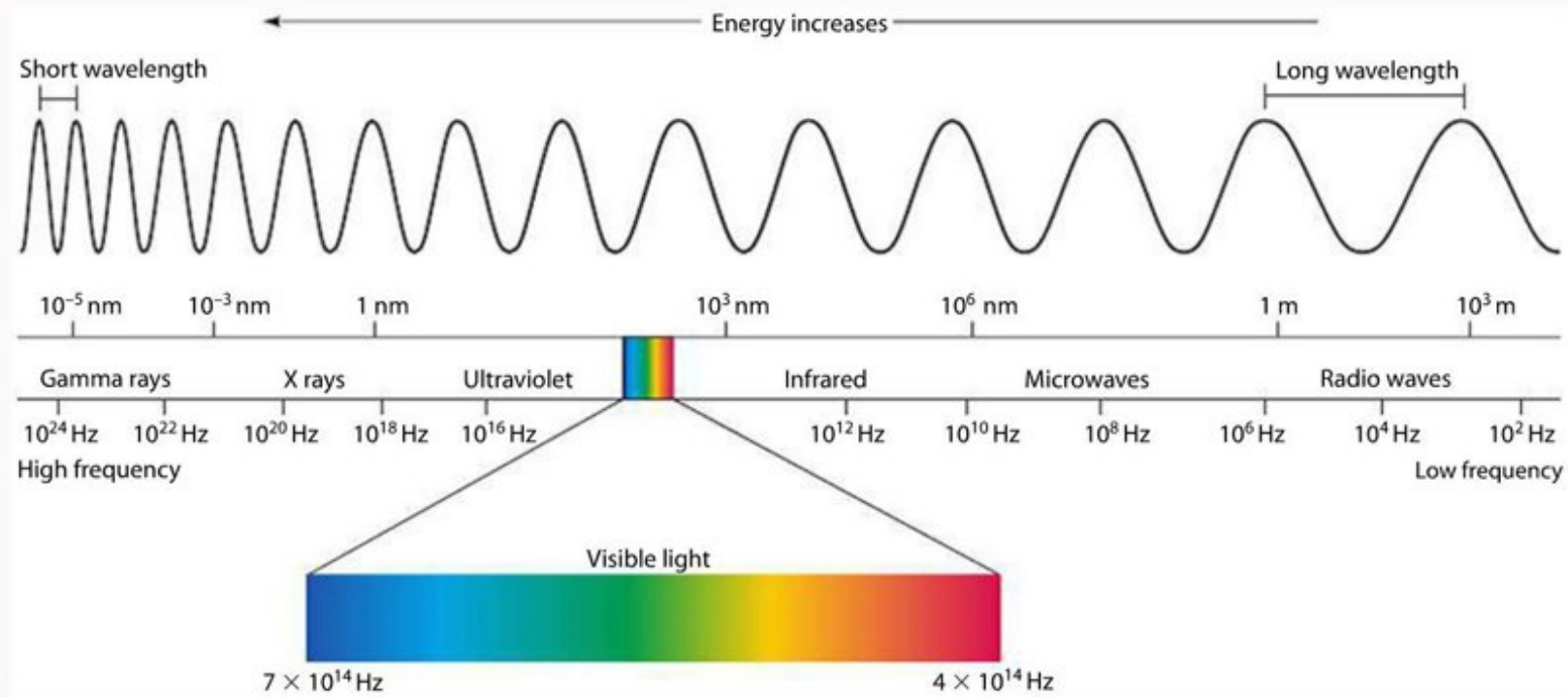


ISPRA  
Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale



Istituto Nazionale per la Protezione dell'Ambiente

# Fotocamere

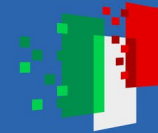




Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



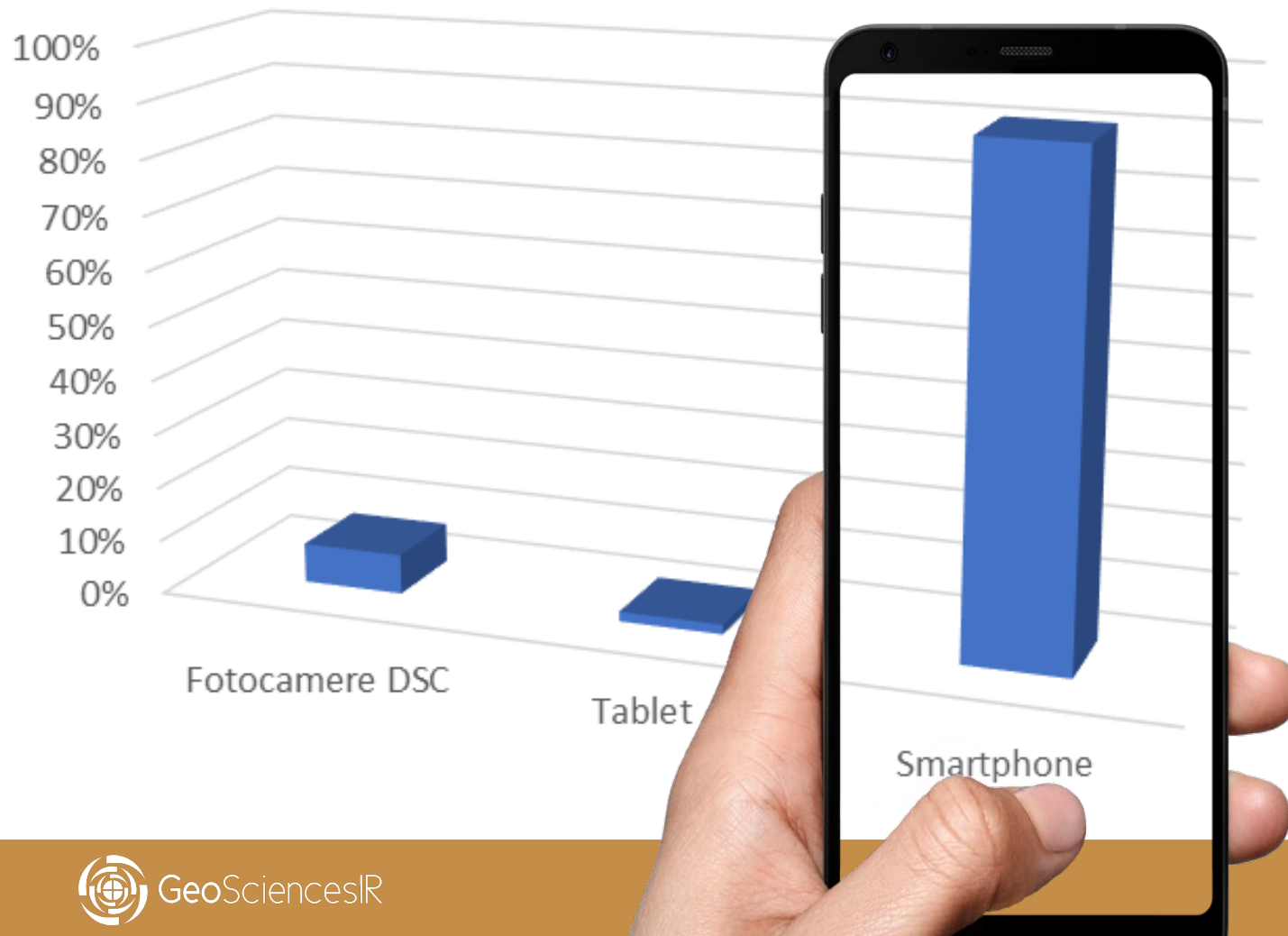
Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



## Le nuove frontiere della fotografia digitale



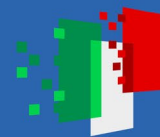
**Stima delle percentuali di foto che saranno scattate nei prossimi anni in funzione della tipologia di dispositivo**



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA  
Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale



Istituto Nazionale  
per la Protezione  
dell'Ambiente

**> 600 missioni spaziali dedicate all'Earth Observation (EO)**  
**CEOS (Commissione internazionale sui Satelliti EO) fondata nel 1984**  
**e costituita nel 2020 da 34 Agenzie Spaziali**



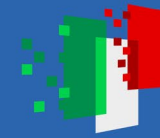
## Fotomonitoraggio – cosa intendiamo?

- Confronto tra immagini che riprendono lo **stesso scenario** acquisite in **tempi diversi**
- La **fotointerpretazione** manuale è la più semplice forma di fotomonitoraggio: si osservano due o più immagini e si determinano "a occhio" le differenze.
- Ma è possibile operare in via quantitativa:

Due macro-categorie di indagine:

- Analisi delle **differenze**
- Analisi degli **spostamenti o deformazioni**





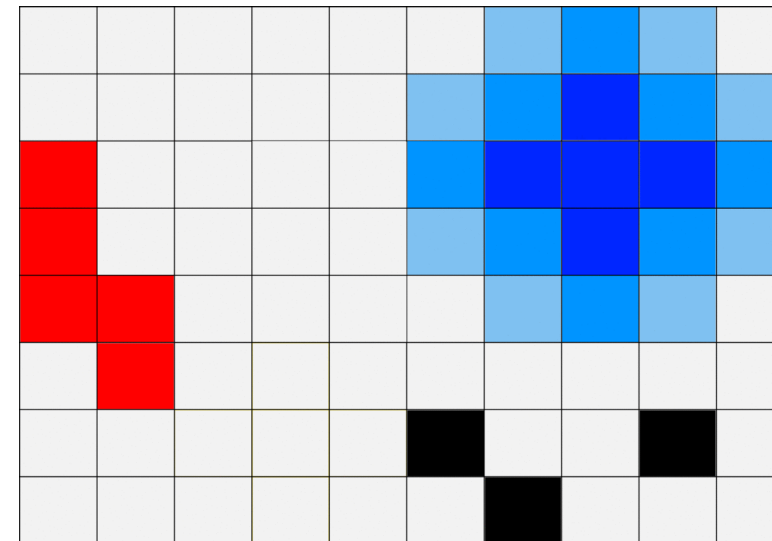
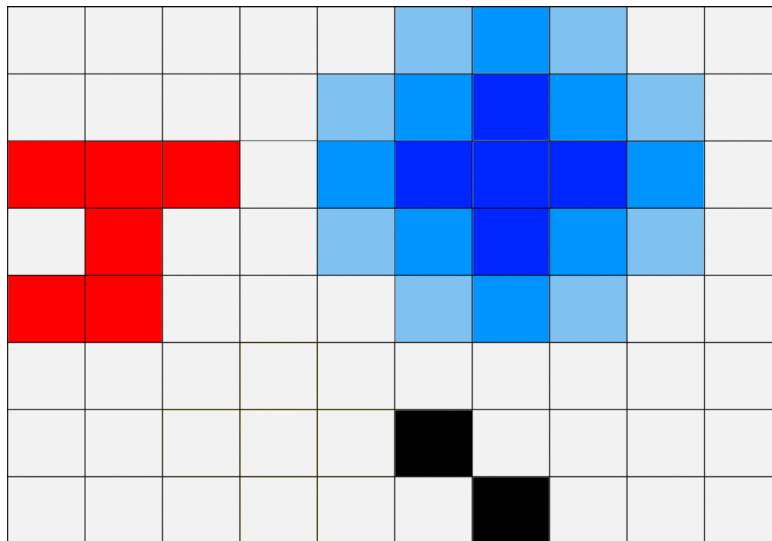
## Fotomonitoraggio – cosa intendiamo?

### a) Analisi delle differenze: **Change detection**

Identificazione di elementi mutevoli, nuovi soggetti, caratteristiche che scompaiono

### b) Analisi degli spostamenti: **Displacement analysis**

Identificazione e monitoraggio della traslazione, rotazione, spostamento delle feature





## CHANGE DETECTION - differenza tra immagini

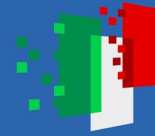
Identificazione di elementi mutevoli, nuovi soggetti, caratteristiche che scompaiono

- L'obiettivo è quindi ottenere un'immagine di sintesi che mostri le variazioni di alcune componenti dell'immagine (Features)

*Come calcoliamo queste variazioni?*

- La più semplice ed utilizzata tecnica di Change Detection è una **differenza tra le singole immagini** calcolata su ogni pixel.

$$D(x) = I_1(x) - I_2(x)$$



## CHANGE DETECTION - differenza tra immagini

$$D(x) = I_1(x) - I_2(x)$$

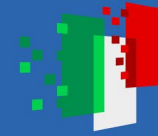


### PRO:

- Semplice da implementare e intuitiva
- Veloce (una singola operazione matriciale)

### CONTRO:

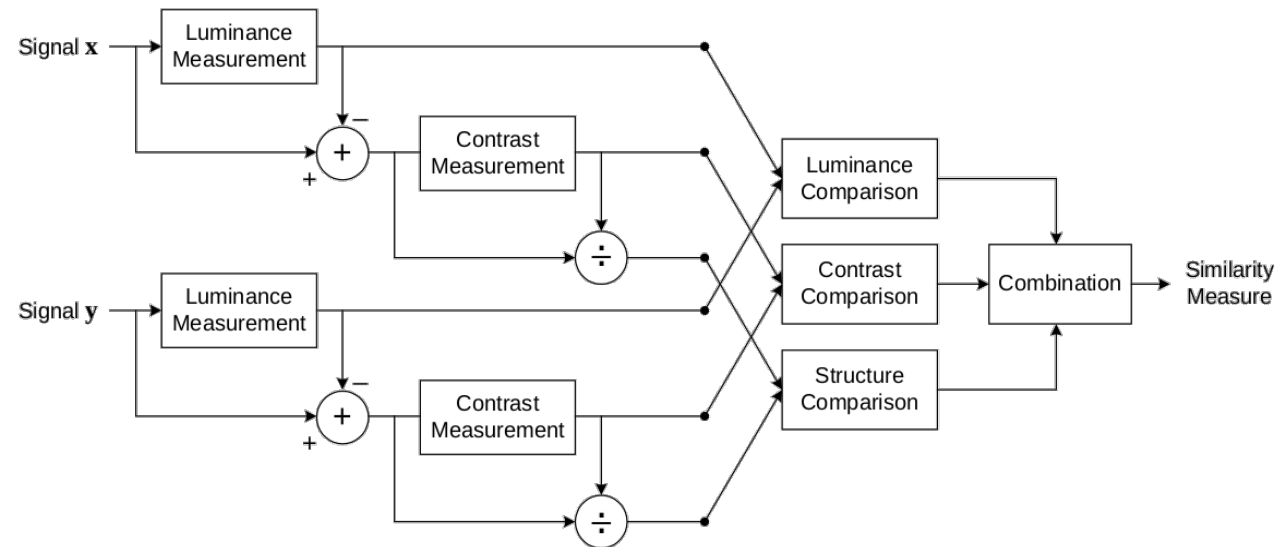
- Non sensibile alle Features strutturali
- Gran parte del cambiamento è dato da variazioni di luminosità o rumore nelle immagini

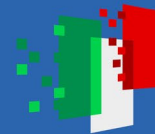


## CHANGE DETECTION avanzata – Structure SIMilarity index

- Nel tempo sono state proposte diverse tecniche di Change Detection più evolute, quella presentata qui si basa sullo **Structure SIMilarity Index (SSIM)**;
- Lo SSIM è un indice risultante dalla combinazione di tre contributi **calcolati sull'intera immagine**

- Illuminazione
- Contrasto
- Componente Strutturale





## CHANGE DETECTION avanzata – Structure SIMilarity index

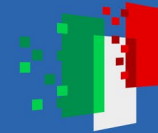
- Nel tempo sono state proposte diverse tecniche di Change Detection più evolute, quella presentata qui si basa sullo **Structure SIMilarity Index (SSIM)**;
- Lo SSIM è un indice risultante dalla combinazione di tre contributi **calcolati sull'intera immagine**

- **Illuminazione**
- **Contrasto**
- **Componente Strutturale**

$$l(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \frac{2 \mu_x \mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1}$$



$\mu$  = media,  $C_1$  = costante dipendente dalla ris. radiometrica, x e y indicano le due immagini



## CHANGE DETECTION avanzata – Structure SIMilarity index

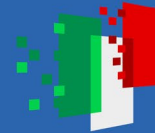
- Nel tempo sono state proposte diverse tecniche di Change Detection più evolute, quella presentata qui si basa sullo **Structure SIMilarity Index (SSIM)**;
- Lo SSIM è un indice risultante dalla combinazione di tre contributi **calcolati sull'intera immagine**

- Illuminazione
- **Contrasto**
- Componente Strutturale

$$c(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \frac{2 \sigma_x \sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2}$$



$\sigma$  = deviazione standard e  $C_2$  = costante dipendente dalla ris. radiometrica



## CHANGE DETECTION avanzata – Structure SIMilarity index

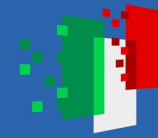
- Nel tempo sono state proposte diverse tecniche di Change Detection più evolute, quella presentata qui si basa sullo **Structure SIMilarity Index (SSIM)**;
- Lo SSIM è un indice risultante dalla combinazione di tre contributi **calcolati sull'intera immagine**

- Illuminazione
- Contrasto
- **Componente Strutturale**

$$s(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x \sigma_y + C_3}$$



$\sigma_{xy}$  = cross-covarianza e  $C_3$  = costante dipendente dalla ris. radiometrica



## CHANGE DETECTION avanzata – Structure SIMilarity index

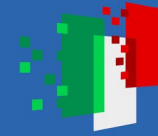


### PRO:

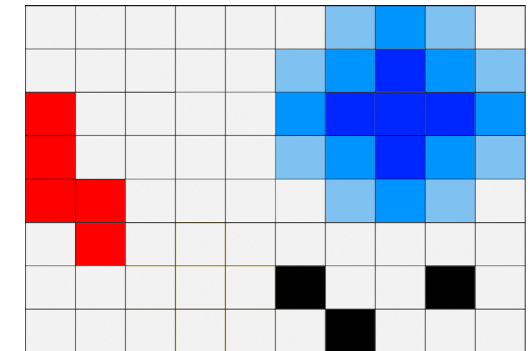
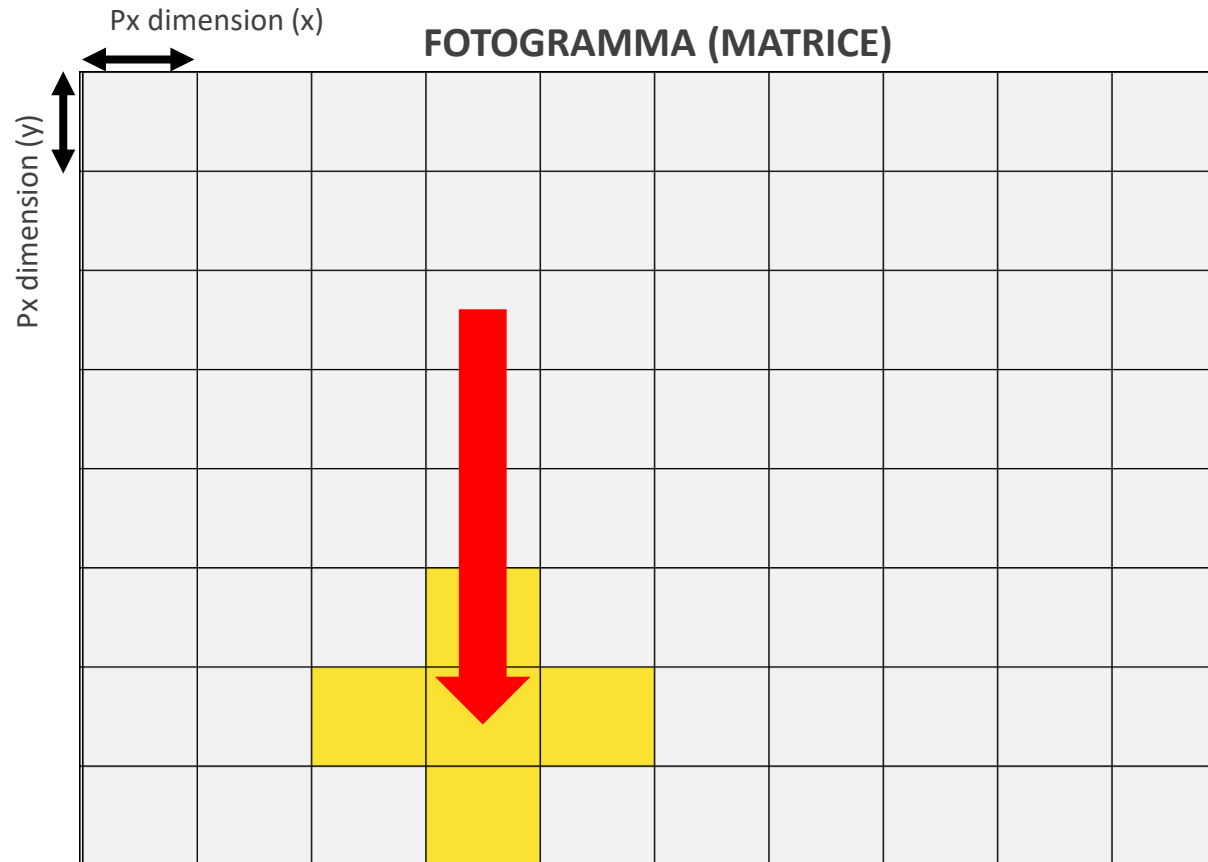
- Robusta nei confronti di cambi di illuminazione globali e rumore
- In grado di usare l'informazione di distribuzione spaziale
- Personalizzabile a seconda del contesto

### CONTRO:

- Implementazione non immediata
- Processing lento se non ottimizzato



## DISPLACEMENT ANALYSIS - DIGITAL IMAGE CORRELATION (DIC)



Identificazione e  
monitoraggio della  
traslazione, rotazione,  
spostamento delle feature

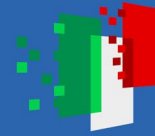
Le direzioni di movimento misurabili (o le relative componenti) sono esclusivamente quelle lungo il piano del fotogramma (ovvero perpendicolare alla linea di vista)



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



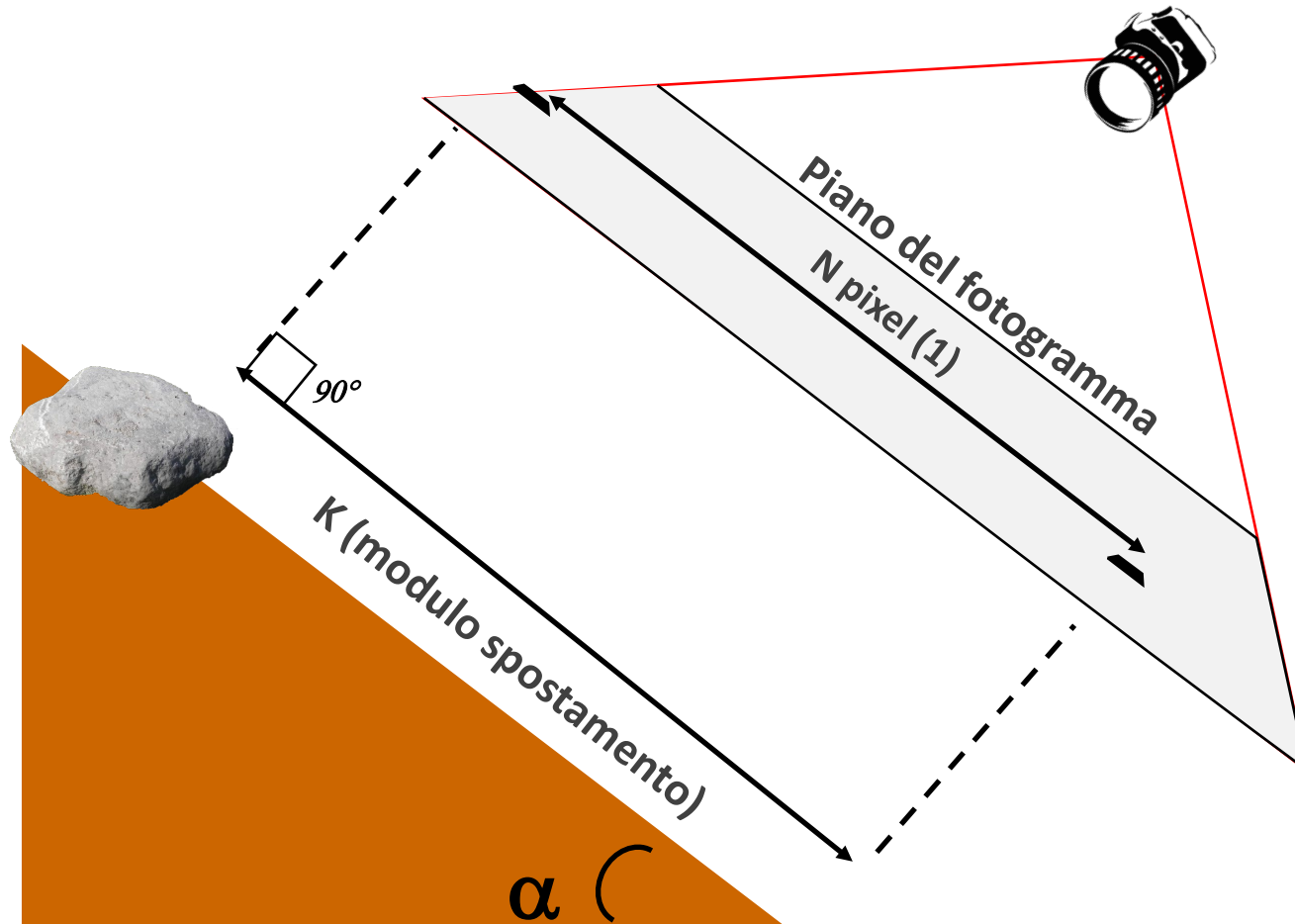
Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



## DIREZIONI DI MOVIMENTO RILEVABILI

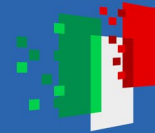




Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca

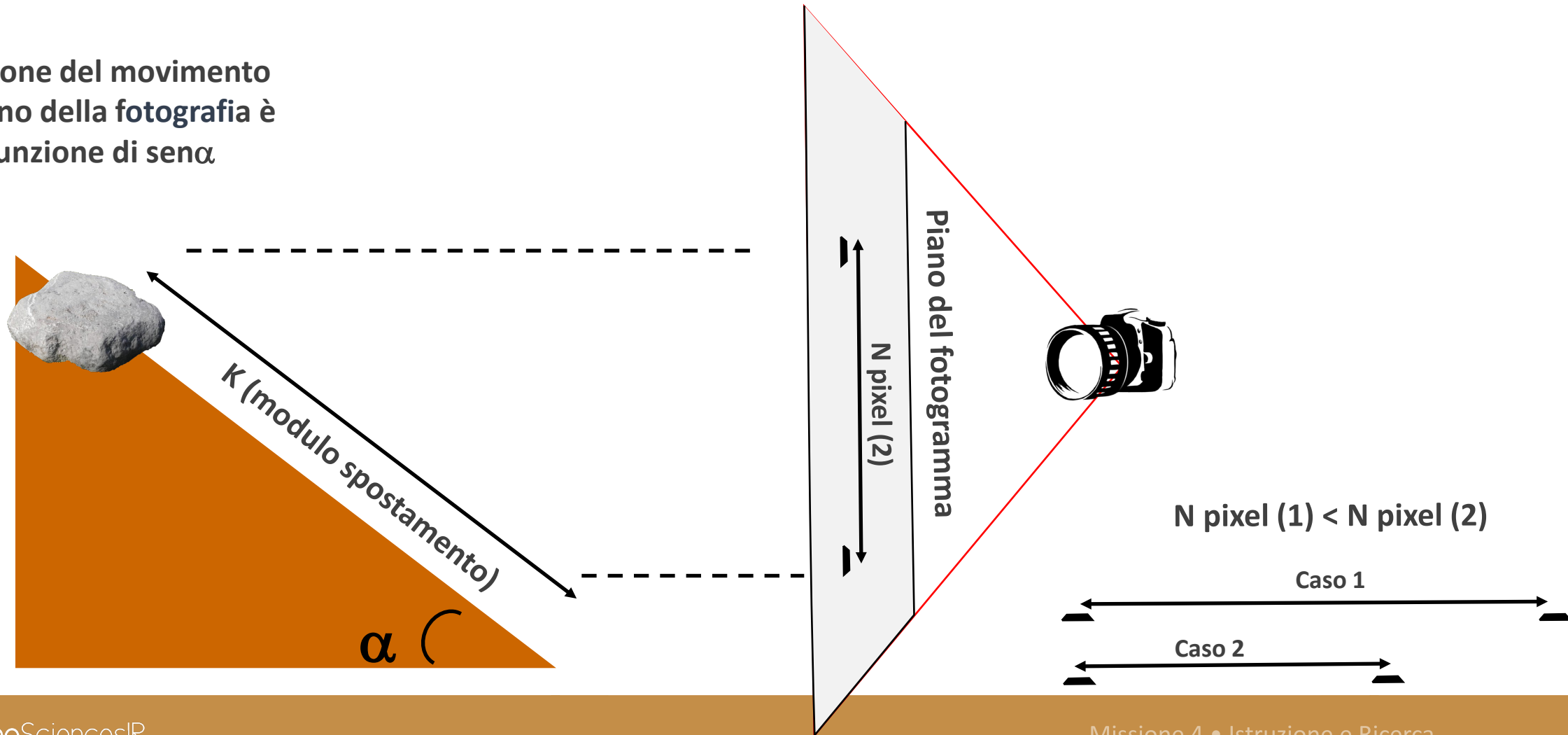


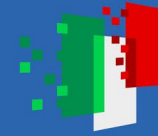
Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



## DIREZIONI DI MOVIMENTO RILEVABILI

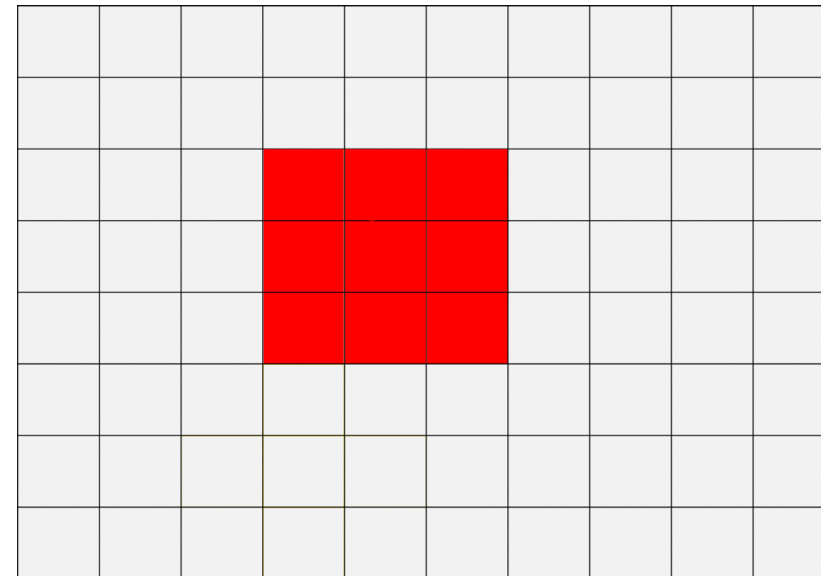
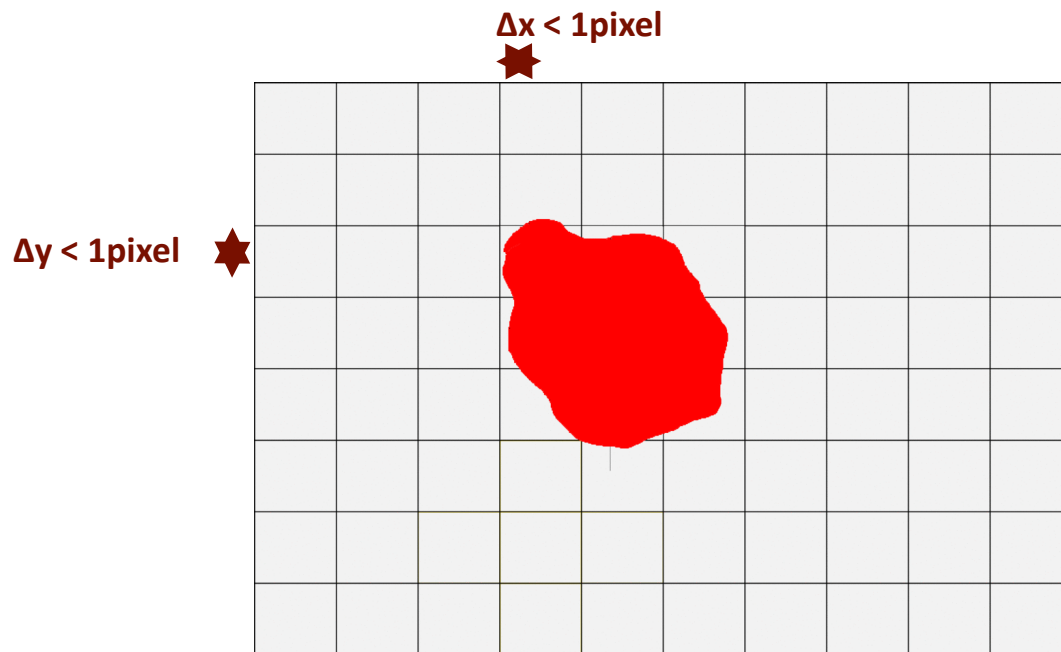
La proiezione del movimento  
( $k$ ) sul piano della fotografia è  
una funzione di  $\sin\alpha$

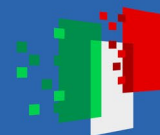




## Analisi degli spostamenti – il sub-pixel

- Supponiamo, ad esempio, di avere immagini satellitari con una risoluzione geometrica (Ground Sample Distance, GSD) di 10 m e un oggetto che si muova di una quantità pari a 1 px.
- Tramite le tecniche di analisi degli spostamenti si può raggiungere una sensibilità sulla **misura inferiore al pixel**
- Questa **informazione è presente nell'immagine** e può essere rilevata con le giuste tecniche





## Analisi degli spostamenti – Normalized Cross Correlation

- La Normalized Cross Correlation (NCC) è forse la più diffusa tra le tecniche per l'analisi degli spostamenti
- Rientra nella categoria del **Template Matching** ed è una misura di quanto due segnali o immagini sono simili tra loro e viene calcolata confrontando due segnali o immagini in punti diversi nel tempo o nello spazio.
- Lavora su **finestre mobili** (template) di cui si cerca la migliore corrispondenza
- Il template è preso dall'immagine di riferimento e si ricerca la **corrispondenza nell'immagine da analizzare**

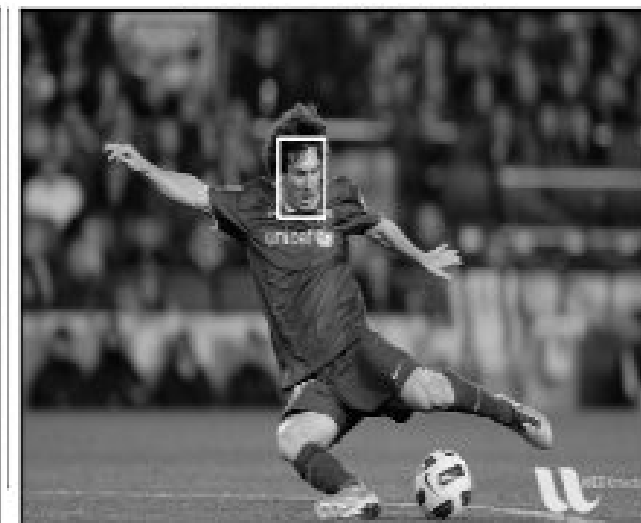
Template



Correlazione sull'intera immagine



Posizione identificata

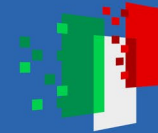




Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



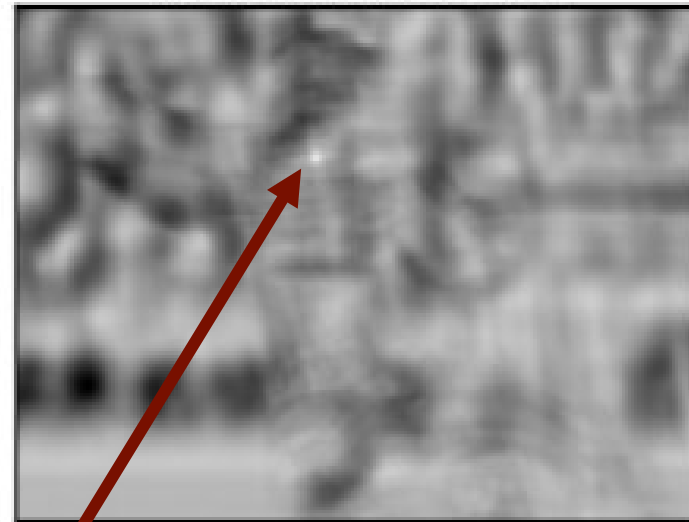
## Analisi degli spostamenti – Normalized Cross Correlation

- **Per ogni pixel** dell'immagine di riferimento si prende come template una finestra circostante (finestra mobile)
- **Si calcola iterativamente** il valore di NCC all'interno di un raggio di ricerca per ottenere una **superficie di correlazione**

Template



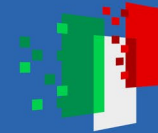
Correlazione sull'intera immagine



Posizione identificata



La **posizione della miglior corrispondenza** (massimo della superficie) ci fornisce le nuove coordinate del template nell'immagine analizzata, che useremo per ottenere il **valore di spostamento** da assegnare al pixel.



## Analisi degli spostamenti – Normalized Cross Correlation

- **Accuratezza al sub-pixel** possibile con un sovracampionamento della superficie di correlazione.
- L'entità del sovra-campionamento determina il minimo spostamento identificabile
- Parametri da definire:
  - **Dimensione finestra** di template
  - **Raggio di ricerca** della corrispondenza (max spostamento ammesso/stimato)
  - **Valore di sovra-campionamento** (ad es.  $10\times = 0.1$  pixel di accuratezza)
  - **Step** (o stride), possiamo eseguire l'operazione ogni N pixel e interpolare i risultati

Template

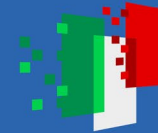


Correlazione sull'intera immagine



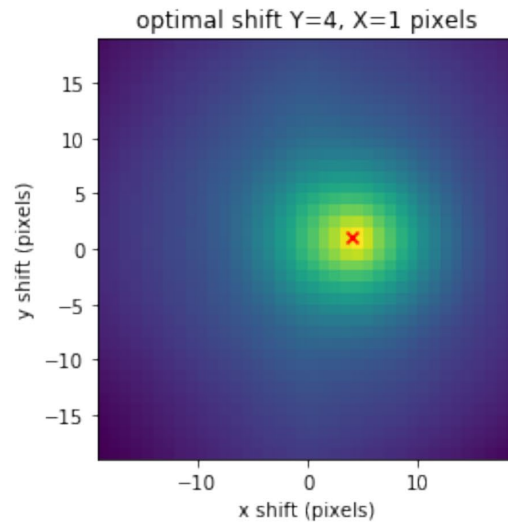
Posizione identificata





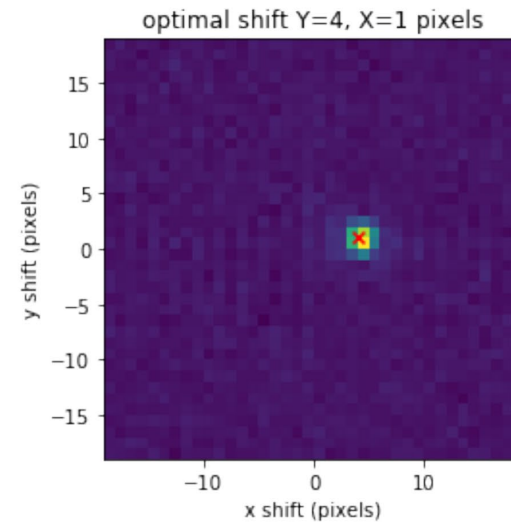
## Cross & Phase Correlation

### Cross-correlation

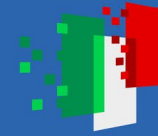


Le immagini vengono moltiplicate in ciascun punto dello spazio e i prodotti risultanti vengono sommati e poi normalizzati

### Phase-correlation

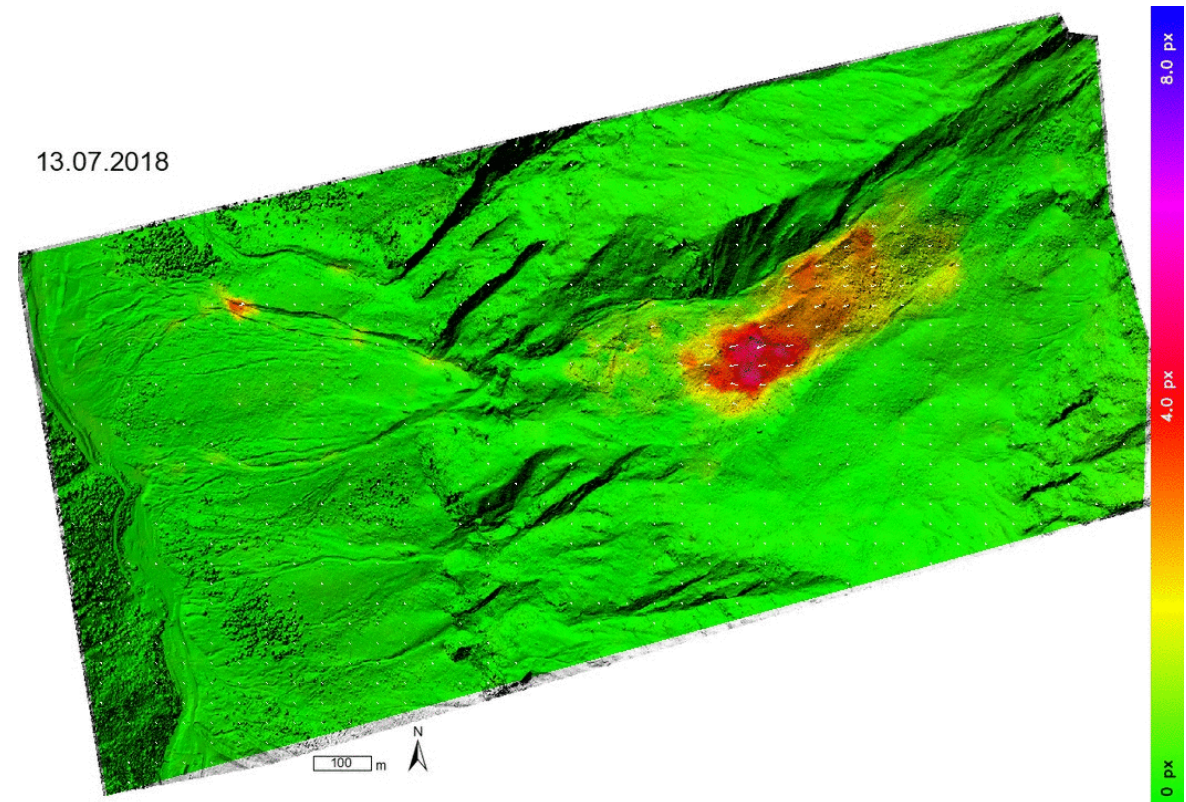


La correlazione di fase calcola lo spettro di Fourier delle immagini e li normalizza prima di moltiplicarli. Questa normalizzazione enfatizza la correlazione tra le componenti a frequenza più alta delle immagini.

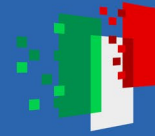


## Analisi degli spostamenti – Optical flow

- Gli optical flow (OF) sono una famiglia di algoritmi molto usata per stimare il movimento tra frame consecutivi in una sequenza di immagini
- Misurano lo **spostamento apparente dei pixel** tra due immagini in successione
- Rientra nella categoria del **Motion Estimation**
- Principali algoritmi:
  - **Lucas-Kanade**
  - **Horn-Schunck**
  - **Metodo di Fleet e Jepson**

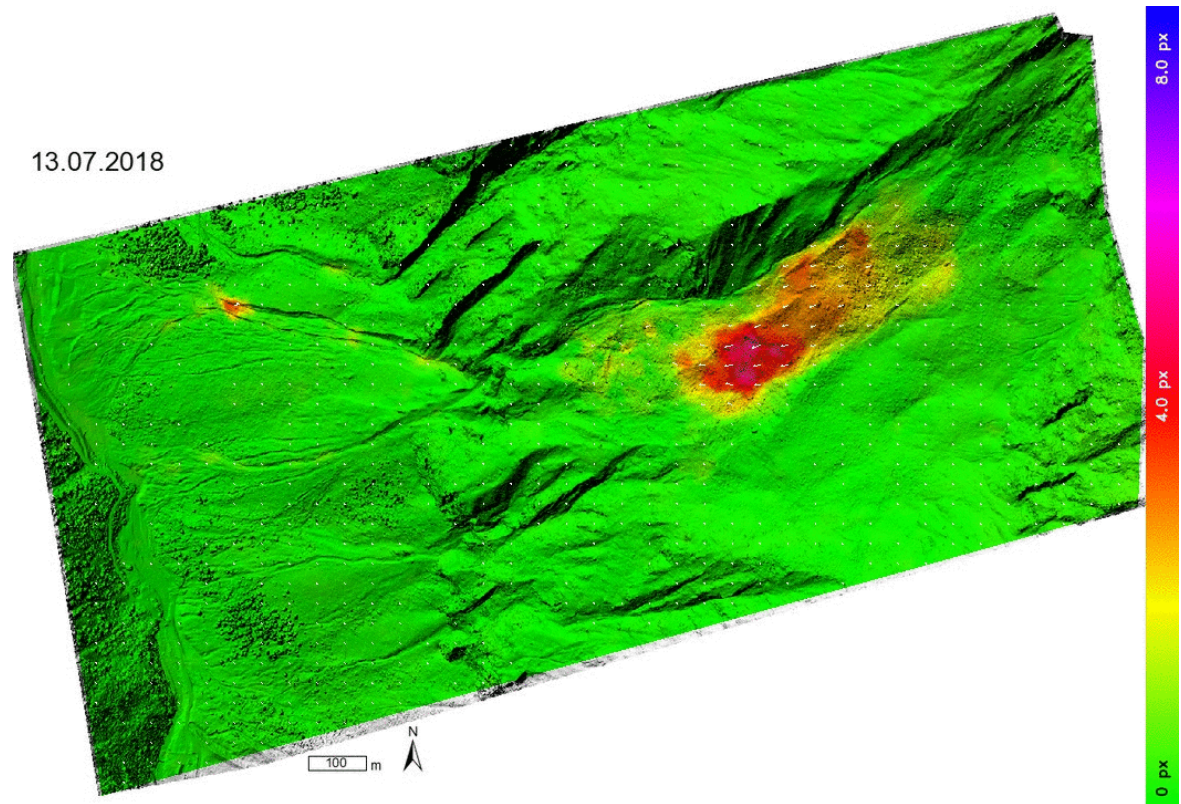


Hermle, D., Gaeta, M., Krautblatter, M., Mazzanti, P., & Keuschnig, M. (2022). Performance testing of optical flow time series analyses based on a fast, high-alpine landslide. *Remote Sensing*, 14(3), 455.

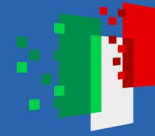


## Analisi degli spostamenti – Optical flow

- Il calcolo matematico è basato sulle ipotesi della **Consistenza di luminosità** e della **Coerenza spaziale del movimento**
- Nell'analisi, si definisce una **finestra mobile** di analisi per ogni pixel dell'immagine iniziale
- Si cerca la corrispondenza di quella finestra nell'immagine seguente
- **Si calcola iterativamente** il valore degli spostamenti all'interno di un raggio di ricerca
- Si definisce quale è il **vettore di movimento** che massimizza la correlazione tra le finestre

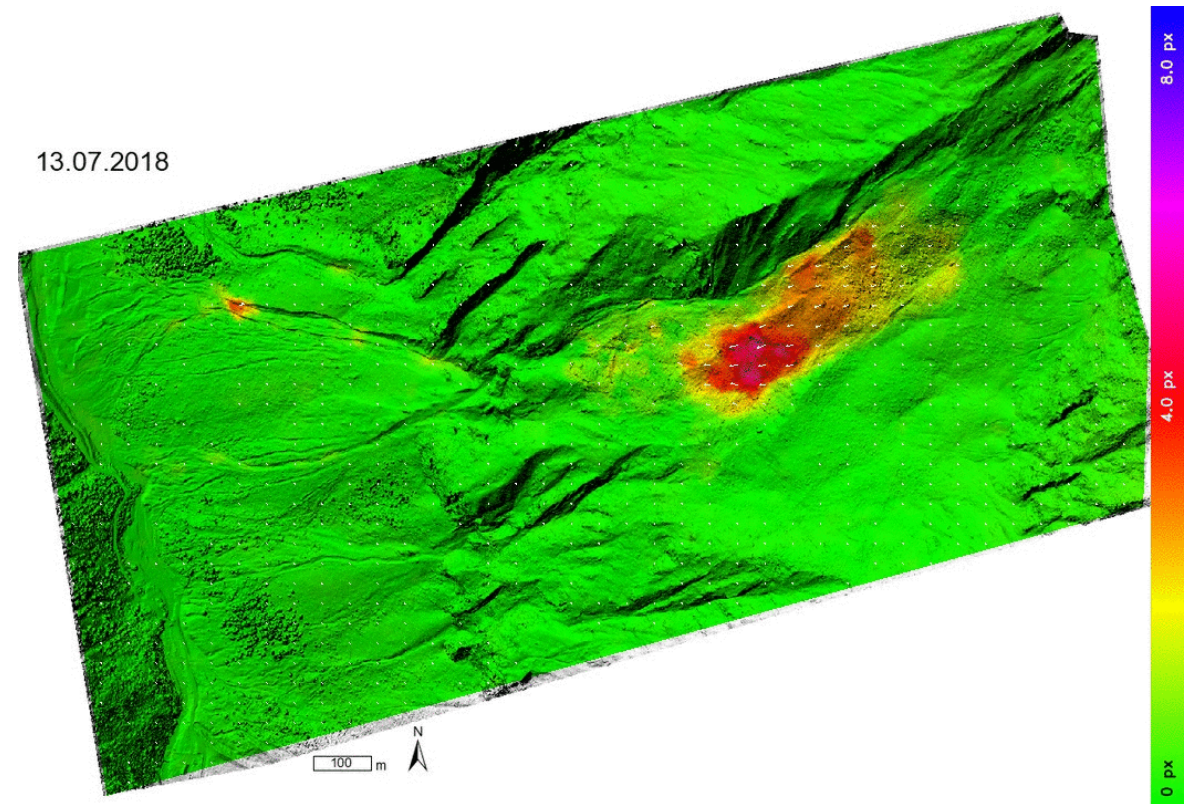


Hermle, D., Gaeta, M., Krautblatter, M., Mazzanti, P., & Keuschnig, M. (2022). Performance testing of optical flow time series analyses based on a fast, high-alpine landslide. *Remote Sensing*, 14(3), 455.

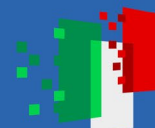


## Analisi degli spostamenti – Optical flow

- **Accuratezza al sub-pixel** possibile fino a valori di 1/10 di pixel
- Parametri da definire:
  - **Dimensione finestra** di analisi
  - **Raggio di ricerca** degli spostamenti
  - **Numero di iterazioni**
  - **Soglie di convergenza**
  - **Parametri di regolarizzazione**

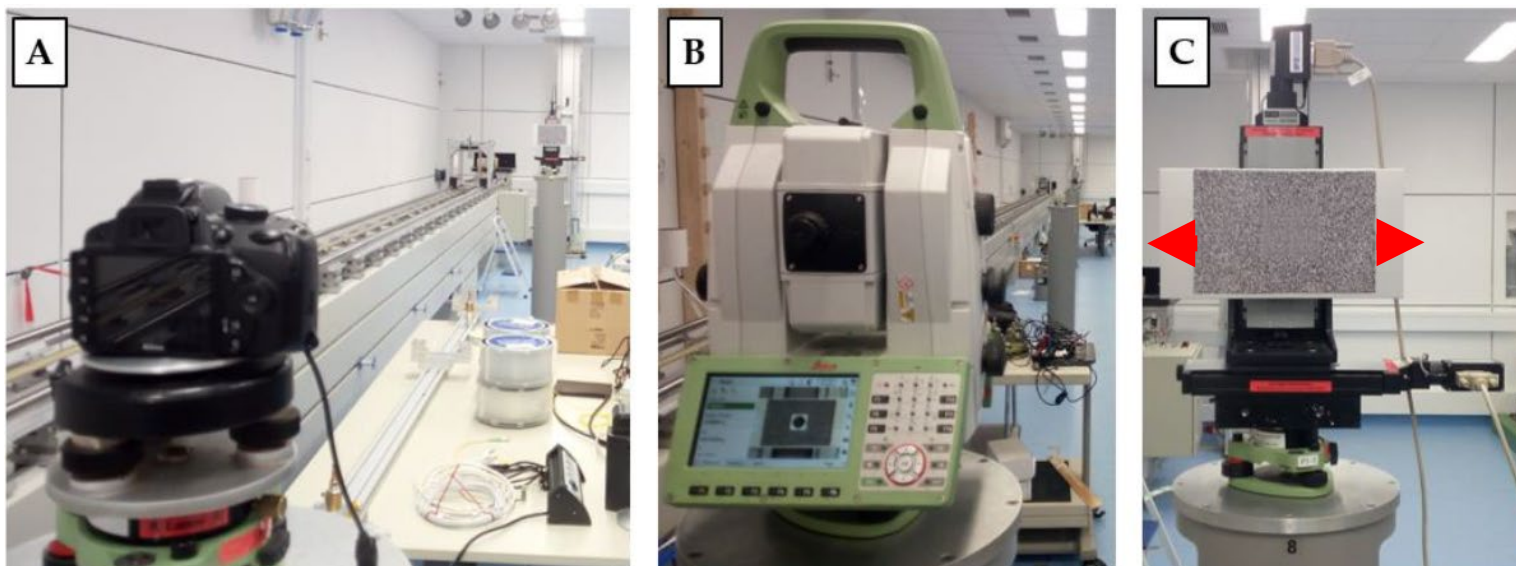


Hermle, D., Gaeta, M., Krautblatter, M., Mazzanti, P., & Keuschnig, M. (2022). Performance testing of optical flow time series analyses based on a fast, high-alpine landslide. *Remote Sensing*, 14(3), 455.



## ACCURATEZZA E PRECISIONE DEL FOTOMONITORAGGIO

Laboratorio dell'Institute of Engineering Geodesy and Measurement Systems (IGMS) University of Technology – Graz (Autria)



A) DSLR Nikon D3200 camera

B) IATS Leica Nova MS60

C) Target costituito da una piastra con speckle pattern casuale. La distanza target-sensore è stata fatta variare da un minimo di 6,3 m a un massimo di 26,5 m.

*Mugnai et al., . Eur. J.Remote Sens. 2022, <https://doi.org/10.1080/22797254.2021.2025153>*

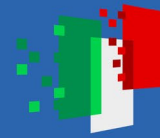
Il target è stato installato su un sistema di posizionamento che consente di indurre spostamenti noti con una ripetibilità di  $2\mu\text{m}$ .



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA

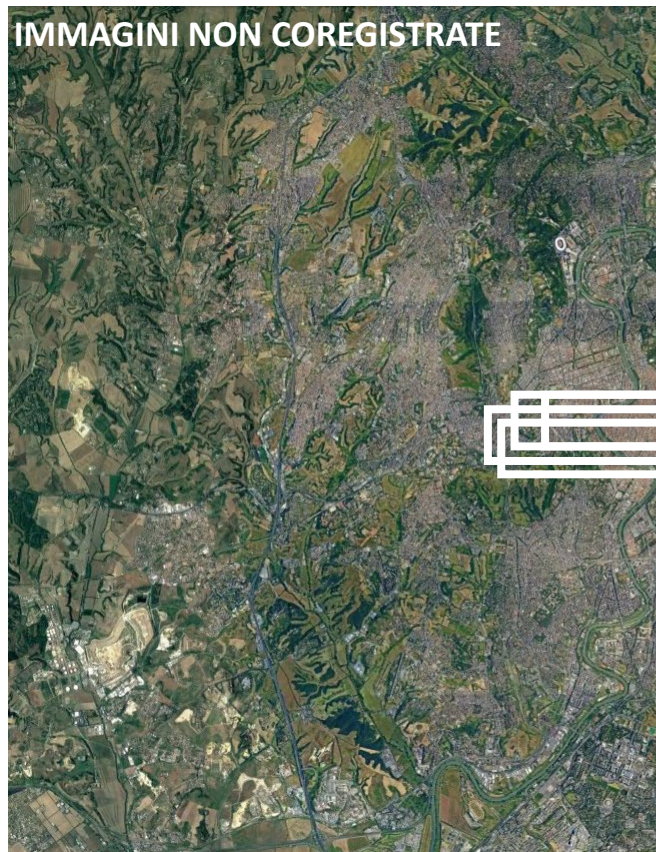


ISPRA  
Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale



Istituto Nazionale  
per la Protezione  
dell'Ambiente

## Fuori dal laboratorio però tutto cambia

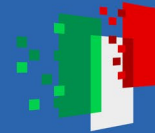




Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



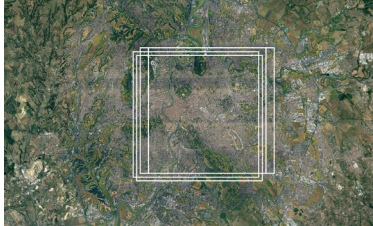
Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



## COME SI AFFRONTANO I PROBLEMI?



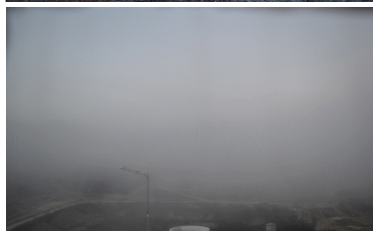
### IMMAGINI DISALLINEATE

(variazione della posizione relativa del sensore nel tempo)



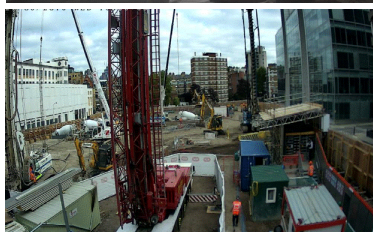
### VARIAZIONI DI ILLUMINAZIONE

(rotazione terrestre, nuvole, variazioni stagionali, ecc.)



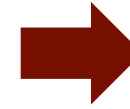
### DISTURBI AMBIENTALI

(nebbia, pioggia, neve, ecc.)

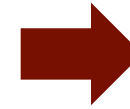


### SPOSTAMENTI INDESIDERATI

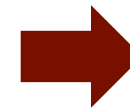
(movimenti indotti dal vento, transito di veicoli o di animali ecc.)



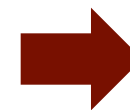
ALGORITMI AVANZATI DI **COREGISTRAZIONE**



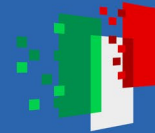
**PRE-PROCESSING** (CORREZIONI RADIOMETRICHE)



UTILIZZO DI IMMAGINI IN **BANDE DIVERSE DAL VISIBILE** E/O **APPROCCI RIDONDANTI**



UTILIZZO DI **FILTRI DI POST-PROCESSING** (ES. **MASCHERE**)



## Pre-processing

- Il problema della differente illuminazione può essere parzialmente risolto con delle tecniche di pre-processing
- Il procedimento consiste in una **equalizzazione dei toni**
- Possiamo agire su scala globale (una correzione per tutta l'immagine) o locale con approccio a **finestra mobile**





Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



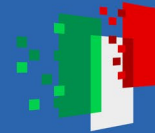
Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



## Pre-processing

- Un altro problema che può essere affrontato in pre-processing è la presenza di **rumore nelle immagini**
- Tramite tecniche basate su **filtri spaziali** è possibile ridurre il rumore
- Nell'eseguire questa operazione bisogna stare **attenti a non perdere informazione**

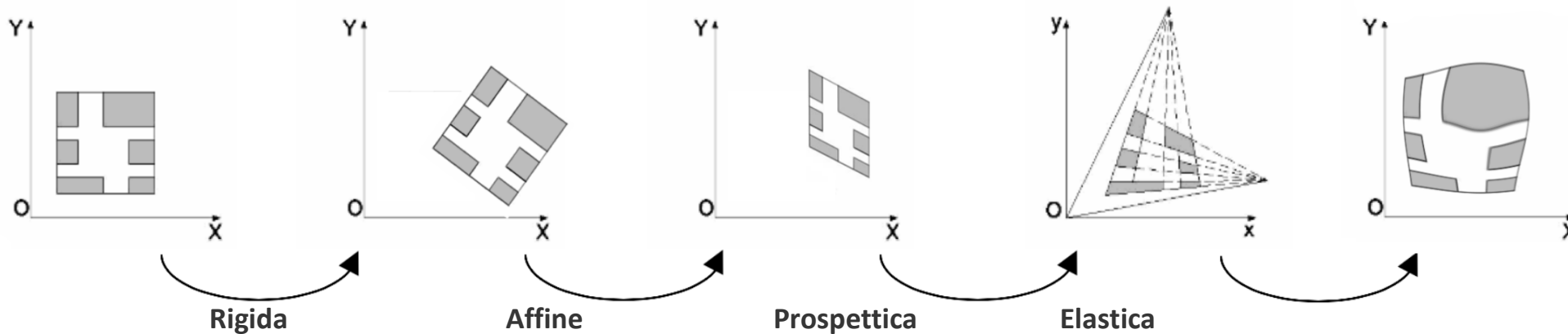


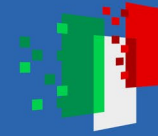


## Coregistrazione

- La coregistrazione consiste nell'**allineamento preciso** di due immagini
- **Necessaria** per effettuare analisi sia di Change Detection che di Spostamento
- Consiste nella **stima della deformazione/shift** tra le immagini e successiva **trasformazione** dell'immagine Slave
- La trasformazione può essere:

- Rigid
- Affir
- Pros
- Elas

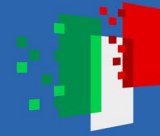




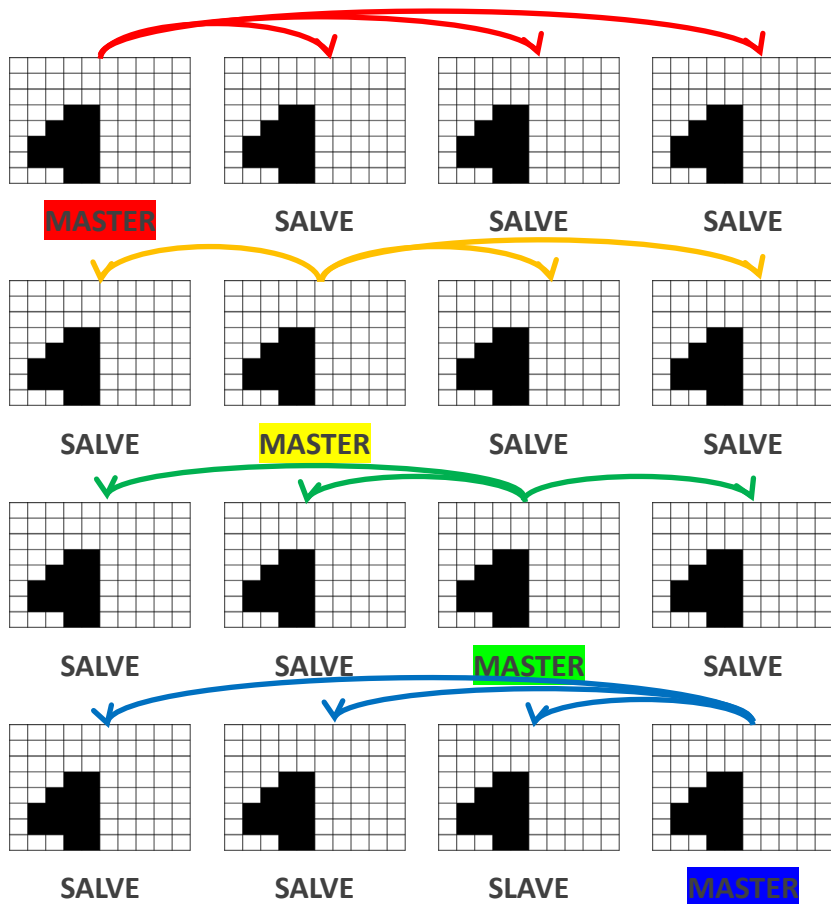
## Coregistrazione

- La **scelta della tipologia di trasformazione** può variare a seconda dell'applicazione e del tipo di analisi da effettuare
- Se ad esempio siamo interessati ad un'analisi di spostamento non possiamo optare per una **trasformazione elastica** perché **annulla anche gli spostamenti localizzati**





## ANALISI MULTI-IMMAGINE



Ogni singola immagine del *dataset* può essere utilizzata come *master* e come *slave* in differenti e consecutivi cicli di correlazione.

E' dunque possibile correlare le  $n-1$  immagini *slave* con le  $n$  immagini *master*, generando ad ogni ciclo, per le  $n$  immagini disponibili,  $n-1$  mappe di correlazione

ESEMPIO: nel caso di 4 immagini (come da schema) è possibile ottenere  $4 \times 3 = 12$

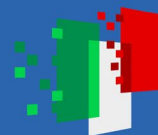
**VANTAGGI:** riduzione del rumore ambientale, incremento dell'accuratezza, possibilità di analisi di lungo periodo, ecc.



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



ISPRA  
Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale

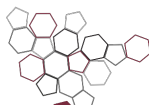


Sistema Nazionale  
per la Protezione  
dell'Ambiente

PNRR "GeoSciences IR" - Missione 4 "Istruzione e Ricerca" - Componente 2 "Dalla ricerca all'impresa" -  
Linea di investimento 3.1 "Fondo per la realizzazione di un sistema integrato di infrastrutture di ricerca e innovazione"  
Finanziato dall'Unione Europea NextGenerationEU CUP: I53C2200800006



Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale



Sistema Nazionale  
per la Protezione  
dell'Ambiente



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI SALERNO



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI MILANO  
BICOCCA



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI  
FEDERICO II



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI  
DELL'INSUBRIA



Politecnico  
di Torino



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DEL MOLISE



OGS

Istituto Nazionale  
di Oceanografia  
e di Geofisica  
Sperimentale



Consiglio Nazionale  
delle Ricerche



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DI BARI  
ALDO MORO



Università  
degli Studi  
di Palermo



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DELL'AQUILA



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DELLA  
TUSCIA



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI  
DI CAGLIARI

## Disclaimer

L'Autore/gli Autori è/sono pienamente responsabile/i di tutti i contenuti inseriti nella presentazione. I contenuti di questa presentazione (testo, grafica, immagini e altri materiali) non violano i diritti di terzi e sono nella piena e libera disponibilità, avendo acquisito da ogni eventuale terzo avente diritto su di essi espressa autorizzazione alla pubblicazione; pertanto saranno utilizzati per le finalità strettamente connesse al progetto GeoSciences IR.



**Grazie per l'Attenzione !**