

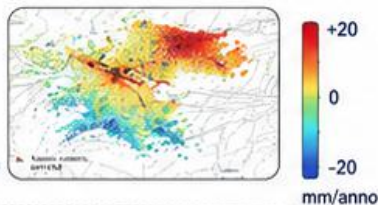
NICOLA CASAGLI
Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale - OGS

INTELLIGENZA ARTIFICIALE E PREVENZIONE E GESTIONE DELLE GRANDI EMERGENZE

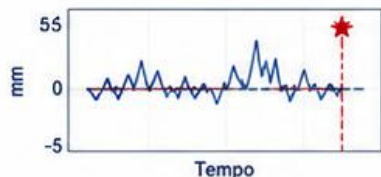
AI E PREVENZIONE E GESTIONE DELLE GRANDI EMERGENZE

Dai dati multi-sensore al supporto decisionale per la Protezione Civile

TECNOLOGIE E DATI



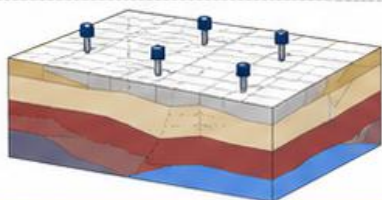
1. Satellite / PS-InSAR
milioni di punti, mappe di deformazione, serie temporali



2. GB-InSAR e radar Doppler
monitoraggio continuo e rilevamento di eventi rapidi



3. Droni e LiDAR
DSM, DTM, rimozione della vegetazione, fessure



4. Geofisica e sensori a terra
modelli 3D del sottosuolo e monitoraggio puntuale

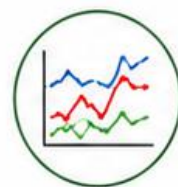
RUOLO DELL'AI



1. Clustering automatico dei PS in movimento



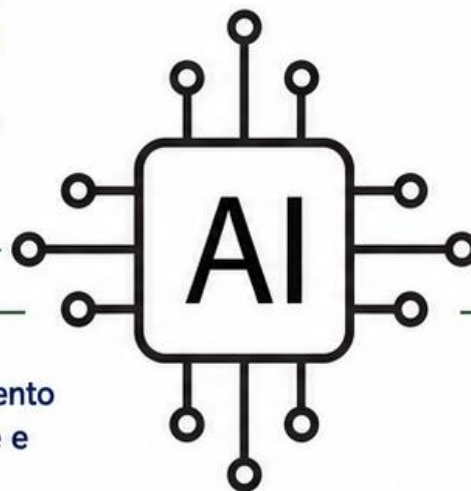
3. Riconoscimento di anomalie e segnali precursori



2. Interpretazione automatica di mappe e serie temporali



4. Fusione multi-sensore per allerta e decisioni



MAPPARE



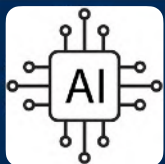
MONITORARE



PREVEDERE



DECIDERE



L'AI non sostituisce l'esperto: **accelera** l'interpretazione, **riduce il rumore** e trasforma dati eterogenei in **informazione operativa**.

ECOSISTEMA DI MONITORAGGIO MULTISCALA

Satelliti, radar, droni e sensori da terra integrati dall'AI

TECNOLOGIE, SCALE E RISOLUZIONI

Dalla sorveglianza regionale alla diagnostica di dettaglio: ogni sensore copre una diversa scala spaziale e temporale.



PS-InSAR satellitare

Copertura regionale e nazionale, misure millimetriche, milioni di *persistent scatterers*.

SCALA / UPDATE
km - 1000 km
6 - 12 giorni



GB-InSAR

Monitoraggio continuo di versanti e infrastrutture con mappe di spostamento ad alta frequenza.

SCALA / UPDATE
10 m - 2 km
1 s - 1 ora



Radar Doppler da terra

Rilevamento di eventi rapidi e supporto all'allerta in tempo quasi reale per caduta massi e flussi.

SCALA / UPDATE
100 m - 3 km
sub-minuto



Drone multisensore

DSM, DTM, ortofoto e rilievi di dettaglio per analisi geomorfologica, fessurazioni e instabilità.

SCALA / UPDATE
1 m - 5 km
on demand



Geofisica e sensori a terra

Ricostruzione del sottosuolo, modelli 3D e verifica delle condizioni di stabilità per la mitigazione.

SCALA / UPDATE
sito / sezione
campagne mirate

INTEGRAZIONE AI E FUSIONE MULTISORGENTE



Osservazione regionale

copertura estesa, hotspot, aree in movimento



Monitoraggio continuo

serie temporali dense, soglie, accelerazioni



Diagnostica di dettaglio

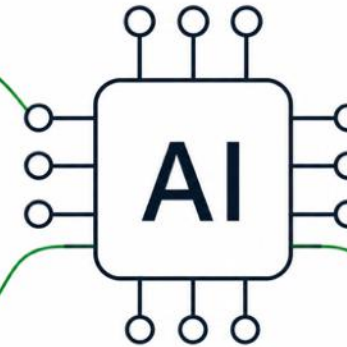
modelli di terreno e sottosuolo, evidenze nascoste



Clustering
Cluster di punti
in movimento



Previsione
Probabilità e tempi

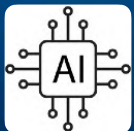


Anomalie
Trend, accelerazioni,
outlier



Supporto alle decisioni
Azioni e allerta

OSSERVARE → FONDERE → PREVEDERE → SUPPORTARE LE DECISIONI

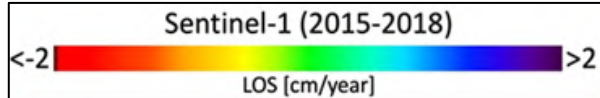


L'AI **connette sensori eterogenei**, armonizza scale spaziali e temporali e trasforma dati multiformi in **informazione operativa coerente**.

AI E PS-InSAR: DA MILIONI DI PUNTI AGLI HOTSPOT

Clustering automatico, classificazione dei MAC e priorità operative

IL DATO DI PARTENZA: COPERTURA NAZIONALE



>20 milioni

PS su due geometrie orbitali
ascendente e discendente



80 × 80 m

celle di elaborazione
coerenza selezionata $\geq 0,9$



mm/anno

velocità LOS e serie temporali
misure multi-temporali Sentinel-1



MAC

Moving Area Clusters
aree in movimento estratte
automaticamente

IL RUOLO DELL'AI NELLA CATENA PS-InSAR

1

Filtraggio

selezione dei PS mobili e
rimozione del fondo stabile

2

Clustering

DBSCAN/MAC su densità
spaziale e velocità LOS

3

Classificazione

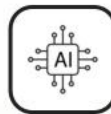
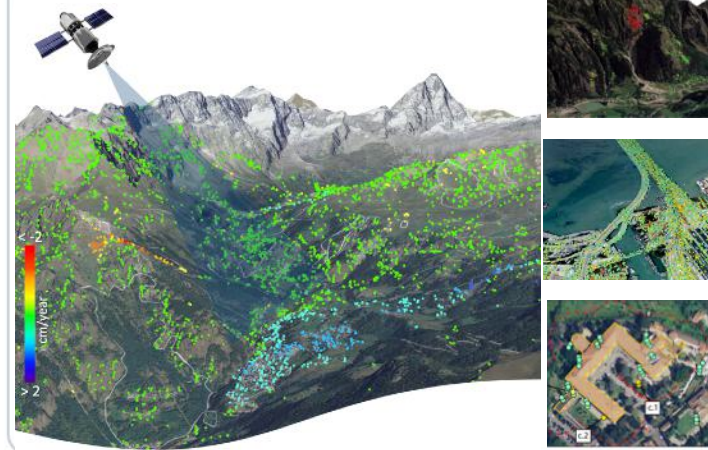
causa probabile e categoria
del fenomeno deformativo

4

Priorità

ranking operativo per
verifica e bollettini

Interferometria radar satellitare (PS-InSAR)



Da punti isolati a zone di attenzione

A

Soglia di movimento

$|V| \geq 1$ cm/anno per trattenere gli outlier
dinamici.

B

Buffer spaziale

raggio di influenza coerente con la risoluzione del
dataset.

C

Densità minima

minimo di PS per definire un nucleo di cluster.

PS-InSAR



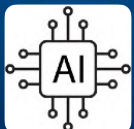
cluster MAC



classi di causa



priorità di campo



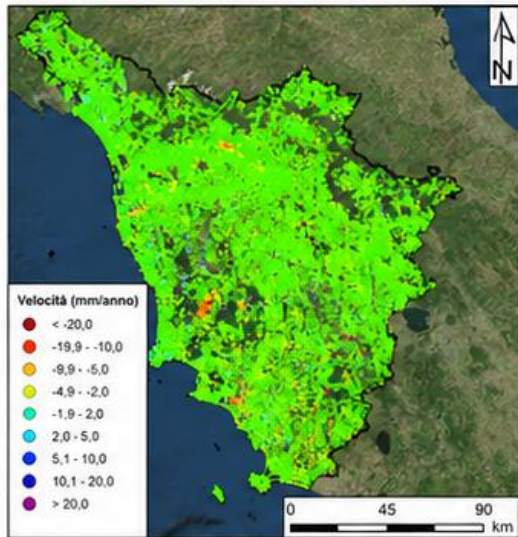
L'AI permette di passare da **milioni di misure puntuali** a pochi **hotspot interpretabili**, verificabili e integrabili nei processi di Protezione Civile.

AI E PS-InSAR: RILEVAMENTO AUTOMATICO DELLE ANOMALIE

Dal monitoraggio regionale ai punti prioritari per la verifica sul campo

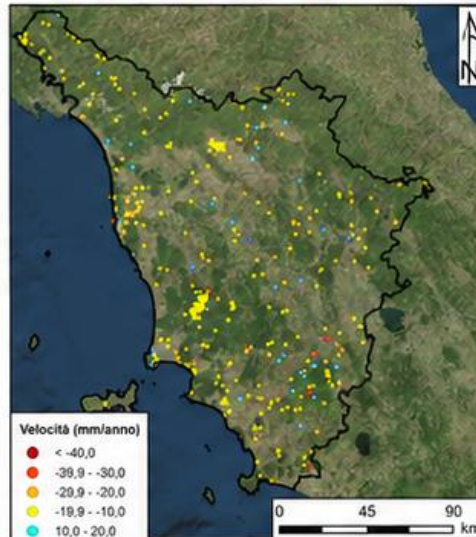
CASO TOSCANA: DAL MONITORAGGIO AL FILTRAGGIO

Mappa completa delle deformazioni



863.763 PS

Filtraggio AI dei punti anomali



3.035 PS rilevanti

soglia
 $|V| > 10$ mm/anno



22.987 km²
superficie monitorata



276
comuni



~90.000
frane note



12 giorni - 1 mese
intervallo di aggiornamento

IL RUOLO DELL'AI NELLA SELEZIONE DELLE PRIORITÀ

1

Screening

analisi massiva
delle serie temporali

2

Soglia

individuazione
automatica dei
punti mobili

3

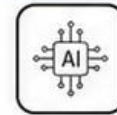
Hotspot

aggregazione e
contesto
geomorfologico

4

Output

supporto
a verifiche e
bollettini



Da archivio regionale a siti prioritari

Archivio regionale
~863.000 PS



Punti prioritari
~3.000 PS



Output operativi



verifiche di campo mirate



supporto ai
bollettini comunali



aggiornamento
degli inventari



integrazione nei piani
di protezione civile

Perché è essenziale

A

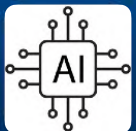
scalabilità
centinaia di migliaia
di serie

B

rapidità
selezione automatica
dei target

C

tracciabilità
criteri espliciti
e ripetibili



L'AI riduce drasticamente il numero di punti da analizzare e concentra l'attenzione su **hotspot interpretabili**, verificabili e utili per le decisioni di Protezione Civile.

AI E GB-InSAR: MAPPE E SERIE TEMPORALI IN TEMPO QUASI REALE

Dal monitoraggio continuo alla previsione del momento di collasso

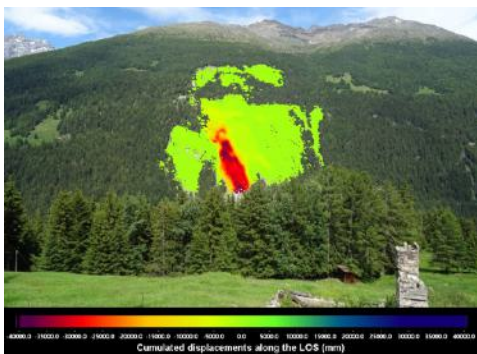
MONITORAGGIO DA TERRA AD ALTA FREQUENZA

Interferometria radar da terra (GB-InSAR)

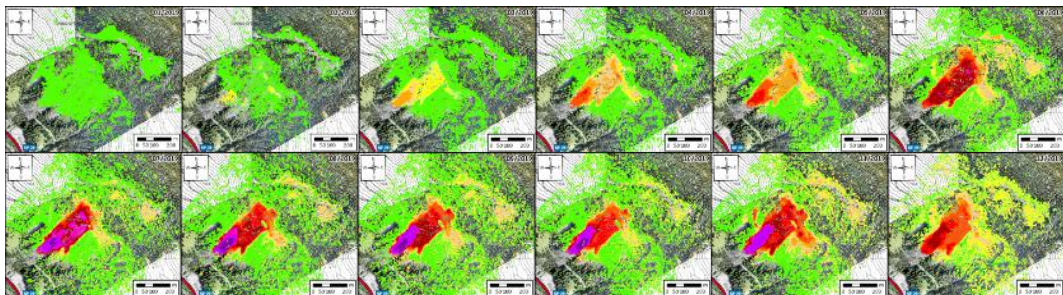
LiSAMobile 5th gen. (Linear Synthetic Aperture Radar)



Frana del Ruinon (Sondrio)



Serie temporali dense: L'AI seleziona automaticamente i pixel rappresentativi, stima velocità e accelerazione e ordina i cluster per criticità.



IL RUOLO DELL'AI NELL'INTERPRETAZIONE GB-InSAR

1

Segmentazione

aree omogenee nelle
mappe radar

2

Tracking

evoluzione temporale
dei cluster

3

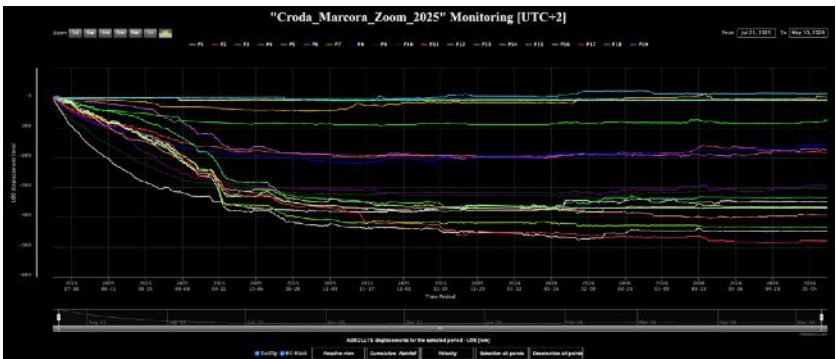
Previsione

fit aggiornato sul
tempo di collasso

4

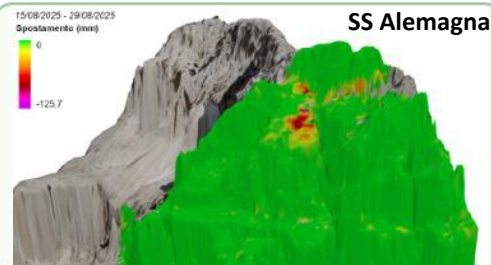
Allerta

livelli operativi e
incertezza

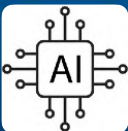


Output operativi

- ranking automatico dei punti critici
- aggiornamento quasi in tempo reale
- stima dell'incertezza sui livelli di allerta
- reportistica per sale operative e Protezione Civile



Sistema Nazionale di Allertamento	Pluviometri	GB-InSAR	Rete di sensori wireless	Doppler radar	Livello di allerta	Azioni
Fattori d'innescio (telerilevamento)	Fattori d'innescio (in situ)	Movimenti pendio (telerilevamento)	Movimenti pendio (in situ)	Distacchi improvvisi (rilascio di massa)		
VERDE	< soglia	< soglia	< soglia	-	NESSUNO	Niente
GIALLO	> soglia	> soglia	> soglia	-	ATTENZIONE	Maggiore attenzione e ispezioni sul campo
ARANCIO	> soglia	> soglia	soglia	-	PREALLARME	Preparazione per la chiusura della strada
ROSSO	> soglia	> soglia	> soglia	> soglia	ALLARME	Chiusura della strada

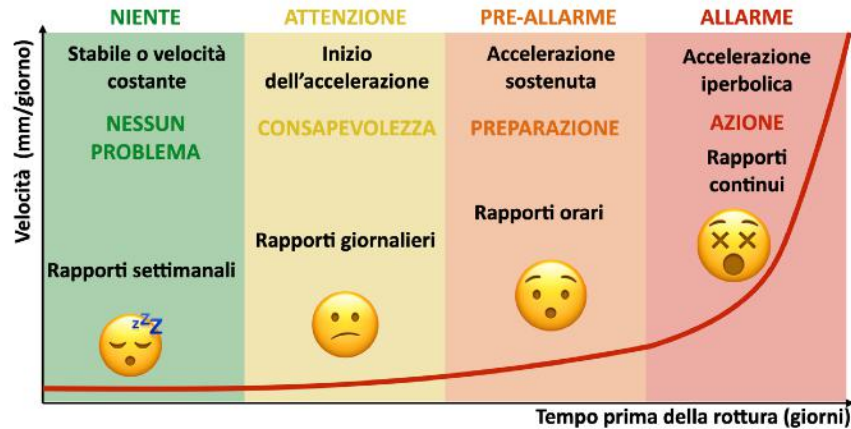


Nel monitoraggio GB-InSAR l'AI trasforma **centinaia di migliaia di pixel** in pochi cluster interpretabili e in una **previsione aggiornata** del possibile collasso.

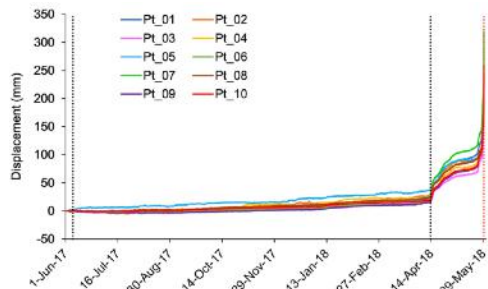
AI E SISTEMI DI ALLERTAMENTO PRECOCE

Dalla soglia statica alla previsione dinamica del rischio

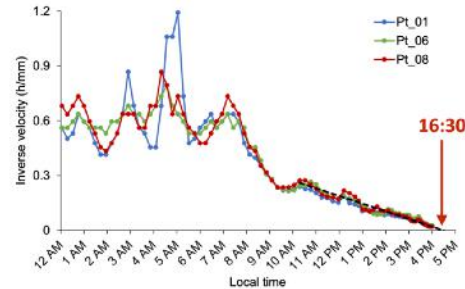
DALL'ACCELERAZIONE ALL'AZIONE



Accelerazione iperbolica



Inverse velocity method



IL RUOLO DELL'AI NELLA CATENA DI ALLERTAMENTO

1

Acquisire

GB-InSAR, radar
Doppler e sensori in
situ

2

Filtrare

rumore, outlier e
falsi segnali

3

Stimare

velocità,
accelerazione e
incertezza

4

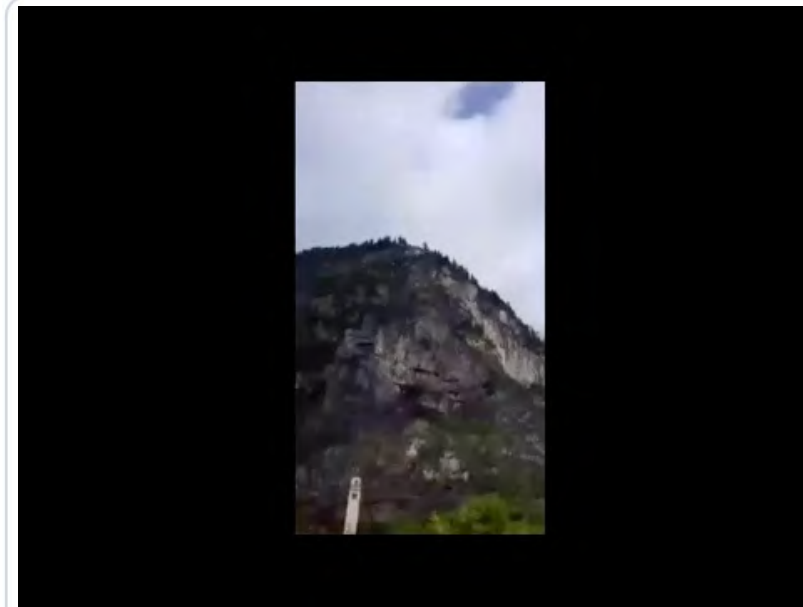
Prevedere

probabilità di
evoluzione e tempo
critico

5

Attivare

soglie operative e
procedure di
emergenza



Gallivaggio, 29 maggio 2018 16:36

Valore aggiunto

t_f

stima aggiornata del possibile collasso

σ

intervallo di confidenza e affidabilità

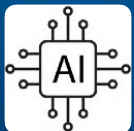
sec-min

tempi operativi per l'attivazione delle
procedure

L'AI propone scenari e priorità; la
decisione resta tecnico-istituzionale.

Output

- bollettini revisionabili
- priorità di campo
- livelli di allerta
- tracciabilità delle decisioni



L'AI consente di passare da soglie fisse a **allerta dinamica**, integrando trend, accelerazioni e incertezza per anticipare le decisioni operative.

AI E RADAR DOPPLER: ALLERTA RAPIDA PER FRANE E CADUTA MASSI

Riconoscimento automatico dei segnali e attivazione tempestiva delle misure di protezione

SENSORE, SCENARIO E LIVELLI DI ALLERTA

Scenario monitorato e campo di vista del radar



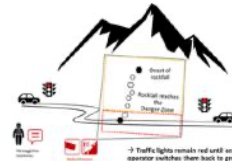
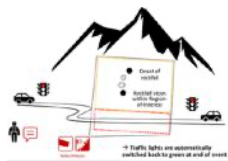
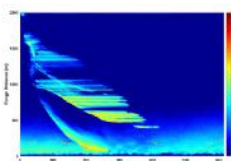
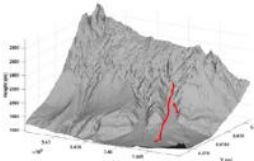
Frana del Ruinon



quasi real-time
aggiornamento e rilevamento evento

eventi rapidi
massi, frane superficiali, disturbi

allerta
semaforo, chiusura strada, intervento



COME L'AI INTERPRETA IL SEGNALE DOPPLER

1

Acquisizione
eco radar, ampiezza, frequenza e durata

2

Pre-processing
pulizia del rumore e selezione dei segnali utili

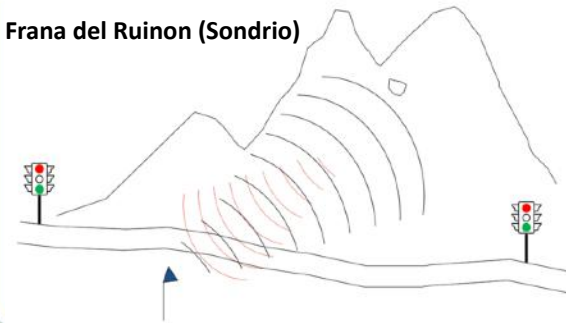
3

Classificazione
evento reale vs disturbo ambientale

4

Decisione
allerta, semafori e chiusura della viabilità

Frana del Ruinon (Sondrio)



Classi riconosciute

Caduta massi
picchi rapidi, velocità elevata

Frana attiva
segnale persistente e spazialmente coerente

Disturbo
pioggia intensa, vegetazione, interferenze

Oggetto mobile
traffico, animali, falsi allarmi

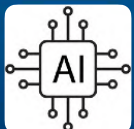
Vantaggi dell'AI

- riduzione dei **falsi positivi** da rumore e disturbi meteorologici
- riconoscimento di **pattern precursori** prima del superamento delle soglie
- integrazione con semafori, telecamere e procedure di allerta
- supporto alla decisione per Protezione Civile e gestori stradali

Alerts Notification*



Local Alerts**



L'AI rende il radar Doppler un sistema di **allerta rapida intelligente**: discrimina i segnali rilevanti, limita i falsi allarmi e attiva in modo tempestivo le **misure di protezione**.

AI E DRONI LiDAR: DAL DSM AL DTM

Rimozione della vegetazione e interpretazione automatica delle evidenze geomorfologiche

ACQUISIZIONE MULTISENSORE DA DRONE

Drone multisensore SATURN



Payload integrato



 **3 echi**
LiDAR multi-echo
attraverso la vegetazione

 **< 0,1 m**
risoluzione DTM elaborato

 **0,03 m**
errore residuo medio del
rilievo



Diagnostica di dettaglio dove il satellite non vede

Il drone LiDAR produce nuvole di punti, mesh 3D, DSM e DTM anche in aree boscate o con forme geomorfologiche mascherate dalla vegetazione.

ELABORAZIONE AI: VEGETAZIONE → TERRENO

1

Classificazione

ritorni laser: terreno,
vegetazione, manufatti

2

Filtraggio

rimozione automatica
della copertura vegetale

3

DTM

modello del terreno ad
alta risoluzione

4

Lettura

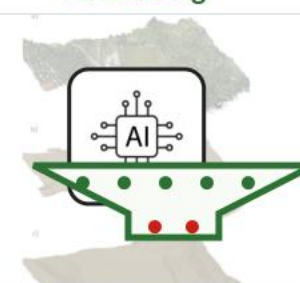
forme, lineamenti e
indicatori di instabilità

DSM



superficie reale con alberi, edifici e
manufatti

AI filtering



segmentazione dei ritorni e
separazione terreno/non terreno

DTM



morfologia del terreno e forme
nascoste dalla vegetazione

Output geomorfologici

Impluvi

incisioni e drenaggi
concentrati

Coni detritici

accumuli al piede delle
scarpate

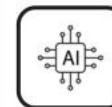
Scarpate

rotture di pendenza e
gradonature

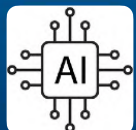
Fessure

lineamenti sub-metrici su
terra, roccia o ghiaccio

Analisi automatica del DTM



- calcolo di pendenza, curvatura, rugosità ed esposizione
- riconoscimento di indicatori di instabilità e fenomeni erosivi
- confronto multi-temporale tra rilievi successivi e mappe di cambiamento



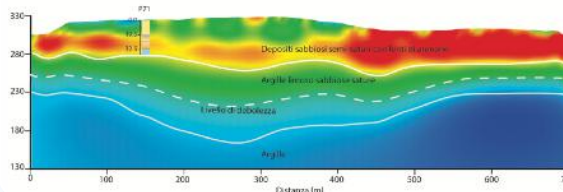
L'AI rende il drone LiDAR uno strumento di **diagnostica geomorfologica**: separa vegetazione e terreno, evidenzia **forme non visibili** e produce mappe operative per la prevenzione.

AI PER MODELLI GEOFISICI 3D DEL SOTTOSUOLO

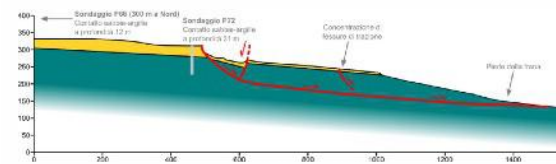
Inversione, fusione dati e interpretazione geologica per mitigare il rischio

DAL DATO GEOFISICO AL MODELLO DI SOTTOSUOLO

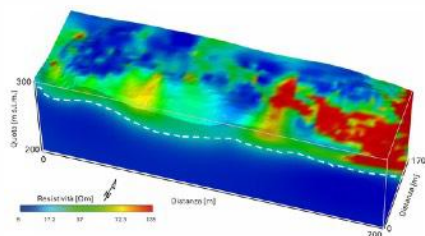
Indagini geofisiche 3D



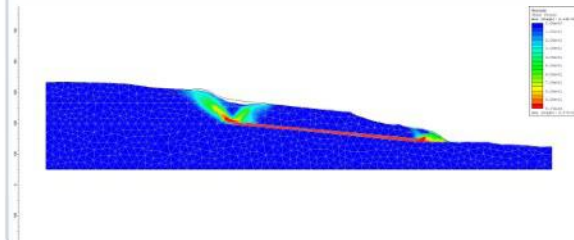
Sezione geologica vincolata



Modello di resistività



Modello numerico FEM



Perché serve l'AI

- **multi parametri:** resistività, velocità sismiche, stratigrafia, geometrie
- **problema inverso:** soluzioni non univoche e vincoli geologici da integrare
- **decisioni operative:** mitigazione, drenaggi, fasce di interdizione

Frana di Niscemi



INVERSIONE AI-ASSISTITA E FUSIONE MULTISORGENTE

1

Acquisizione

ERT, sismica, georadar, sondaggi

2

Inversione

modelli fisici vincolati da ML

3

Interpretazione

unità, discontinuità, superfici deboli

4

Simulazione

scenari FEM e stabilità residua



Workflow AI per il modello geologico-geotecnico

Dati puntuali

sondaggi, prove in situ, inclinometri



Dati areali

ERT, sismica, georadar, topografia



AI inversion

regolarizzazione e vincoli geologici



Modello 3D

strati, superfici, incertezza

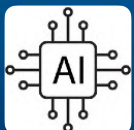
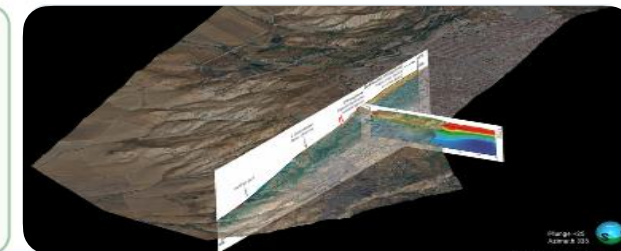
output superfici di scivolamento

output scenari di mitigazione

output rischio residuo

Output tecnico-scientifici

- ricostruzione 3D del volume instabile
- identificazione di discontinuità e livelli deboli
- stima dell'incertezza del modello
- vincoli quantitativi per simulazioni FEM



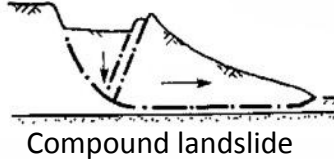
L'AI consente di passare da indagini geofisiche eterogenee a un **modello 3D coerente**, utile per simulare scenari, progettare interventi e gestire il **rischio residuo**.

CASO NISCEMI: AI PER SCENARIO, MITIGAZIONE E RISCHIO RESIDUO

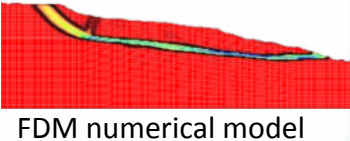
Fusione di telerilevamento, geofisica, modelli numerici e decisioni di Protezione Civile

DATI, MODELLI E INTERVENTI

Meccanismo di rottura e sezioni interpretative

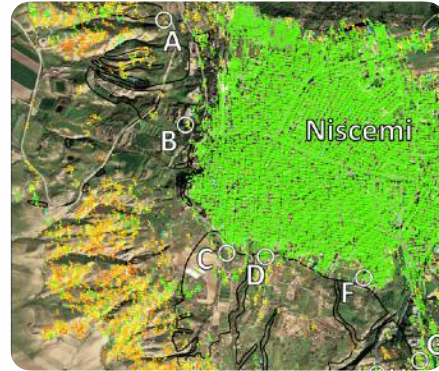


Compound landslide

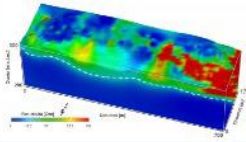
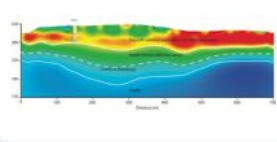


FDM numerical model

Telerilevamento multi-banda



Indagini geofisiche e resistività



Fascia di interdizione



Drone

ricostruzione 3D e confronto
DEM multi-temporale

SAR

Sentinel-1, COSMO-SkyMed
e SAOCOM

Geofisica

modello di resistività e
vincoli del sottosuolo

FEM

simulazione del meccanismo
e del rischio residuo

IL RUOLO DELL'AI NELLA FUSIONE OPERATIVA

1

Scenario

geometria pre, co e post
evento

2

Meccanismo

riconoscimento della
cinematica di frana

3

Mitigazione

priorità degli interventi
strutturali

4

Interdizione

gestione della fascia di
rischio residuo

AI Data Fusion: dal dato eterogeneo alla decisione

Remote sensing
mappe SAR, DEM,
arretramento della scarpata

Modelli fisici
sezione geologica, FEM,
superfici di rottura

Vincoli geofisici
resistività, discontinuità,
livello di debolezza

Matrice decisionale
probabilità, esposizione, urgenza e
fattibilità degli interventi

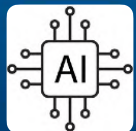
Contesto urbano
edifici, viabilità, reti e aree
esposte

Output per la Protezione Civile

- fascia iniziale di interdizione e successiva rimodulazione
- settori prioritari di intervento e monitoraggio continuo
- aggiornamento del piano comunale di protezione civile

Interventi e rischio residuo

- **Drenaggio:** pozzi di emungimento e gallerie drenanti
- **Idraulica:** sistemazioni di versante e regimazione acque
- **Controllo:** soglie, scenari e gestione della fascia esposta



Nel caso Niscemi l'AI agisce come **integratore decisionale**: combina dati fisici e osservazioni multi-sensore per definire **mitigazione, interdizione e gestione del rischio residuo**.

L'AI NELLE GRANDI EMERGENZE: SINTESI OPERATIVA

Dalla conoscenza del territorio alla decisione di Protezione Civile

QUATTRO FUNZIONI OPERATIVE

1 

MAPPARE

- scala continentale, nazionale e regionale
- clustering DBSCAN e Moving Area Clusters
- aggiornamento inventari e hotspot



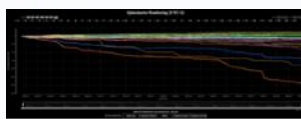
Output

priorità spaziali e aree da verificare

2 

MONITORARE

- serie temporali PS-InSAR e GB-InSAR
- tracking automatico dei cluster instabili
- radar Doppler per eventi rapidi



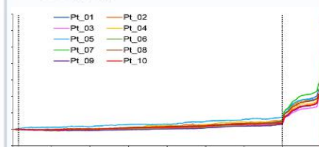
Output

evoluzione temporale e livelli di criticità

3 

PREVEDERE

- anomaly detection e segnali precursori
- inverse velocity AI-assistita
- stima dell'incertezza e degli scenari



Output

probabilità, tempi e scenari di evoluzione

4 

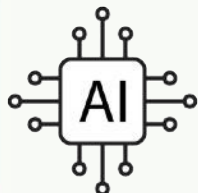
DECIDERE

- soglie dinamiche e decision support
- piani comunali e fasce di interdizione
- interventi strutturali e gestione residua

Stato	Stato	Stato	Stato	Stato	Stato
VERDE	+ soglia	+ soglia	+ soglia	NESSUNO	nessun
GIALLO	+ soglia	+ soglia	+ soglia	ATTENZIONE	attenzione
ARANCIO	+ soglia	+ soglia	+ soglia	PERICOLO	pericolo
ROSSO	+ soglia	+ soglia	+ soglia	PERICOLO	pericolo

Output

azioni tracciabili e supportate da evidenze



Una catena continua dati - modelli - decisioni

L'AI agisce come livello cognitivo trasversale: integra osservazioni eterogenee, riduce il rumore, evidenzia anomalie e restituisce **informazione utilizzabile entro i tempi dell'emergenza**.

DALLA PREVISIONE ALL'AZIONE

Protezione Civile cognitiva: ciclo decisionale

Osservazione

satellite, radar, drone, sensori

Interpretazione

anomalie, cluster, modelli 3D

Azione

allerta, interdizione, mitigazione

Decisione

livelli, priorità, scenari

Condizioni per un uso affidabile

1 Validazione esperta

modelli AI verificati con geologia, campo e monitoraggio

2 Incertezza esplicita

ogni output deve indicare confidenza, limiti e falsi allarmi

3 Tracciabilità

criteri, soglie e versioni dei modelli documentati

4 Responsabilità umana

la decisione resta istituzionale, non automatica



L'AI non sostituisce la conoscenza geologica né l'esperienza di Protezione Civile: è un **moltiplicatore operativo** che amplia ciò che è osservabile, accelera ciò che è interpretabile e sistematizza ciò che è decidibile.

CONCLUSIONI

Dalla gestione reattiva dell'emergenza alla prevenzione predittiva del rischio

TRE MESSAGGI CHIAVE

1

Osservare meglio

L'AI permette di integrare dati satellitari, radar da terra, droni, LiDAR, geofisica e sensori in situ in una **lettura multiscala coerente**.

10^6 - 10^9

punti e serie temporali da selezionare

2

Interpretare prima

Clustering, anomaly detection e modelli predittivi trasformano segnali deboli e mappe dense in **hotspot verificabili** e scenari di evoluzione.

sec-giorni

dalla misura all'informazione operativa

3

Decidere con evidenze

La decisione resta umana e istituzionale, ma è supportata da **indicatori quantitativi**, incertezza esplicita e procedure tracciabili.

4

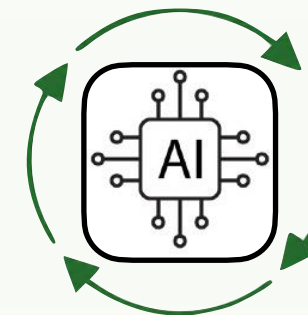
funzioni operative: mappare, monitorare, prevedere, decidere

VERSO UNA PROTEZIONE CIVILE COGNITIVA

AI come livello cognitivo della filiera dati - decisioni

Dati
monitoraggio multi-sensore

Piani
procedure e soglie



Modelli
scenario e previsione

Azione
allerta e mitigazione

Condizioni per un impiego affidabile

1 Validazione esperta
geologia, campo, monitoraggio

2 Incertezza dichiarata
confidenza, limiti, falsi allarmi

3 Tracciabilità
dati, versioni, criteri e soglie

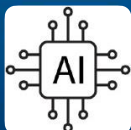
4 Responsabilità umana
l'AI supporta, non decide



Grazie
Nicola Casagli
ncasagli@ogs.it

OGS

Istituto Nazionale
di Oceanografia
e di Geofisica
Sperimentale



L'AI non sostituisce la conoscenza geologica né l'esperienza di Protezione Civile: è un **moltiplicatore operativo** che amplia ciò che è osservabile, accelera ciò che è interpretabile e sistematizza ciò che è decidibile.