



Nuovi sviluppi nel monitoraggio dei versanti in frana: esempi applicativi nella pratica progettuale

L'impiego dell'AI e dell'interferometria radar nel monitoraggio delle opere di protezione e dei fenomeni di dissesto idrogeologico

*Dott.ssa Federica Bardi
Geologo Senior presso Italferr S.p.a.
Ing. Nicla Di Stefano
Ingegnere presso Italferr S.p.a.
Ing. Flavio Conato
Ingegnere presso Italferr S.p.a.*

10 Maggio 2024



Indice degli argomenti:

- Task Force Dissesto Idrogeologico
- Sistemi AI per il monitoraggio delle opere
- Interferometria per lo studio di fenomeni franosi



TASK FORCE DISSESTO IDROGEOLOGICO





TASK FORCE DISSESTO IDROGEOLOGICO

CHI SIAMO?

COSA FACCIAMO?

COME?

La **Task Force del Dissesto Idrogeologico** fa parte dell'S.O. Ingegneria Ambientale e del Territorio ed è composta da un **team multidisciplinare** di professionisti. La presenza di **Geologi e Ingegneri Geotecnici, Idraulici, Strutturisti ed Ambientali** dedicati garantisce la possibilità di gestire **autonomamente** gran parte del **processo** di progettazione.





TASK FORCE DISSESTO IDROGEOLOGICO

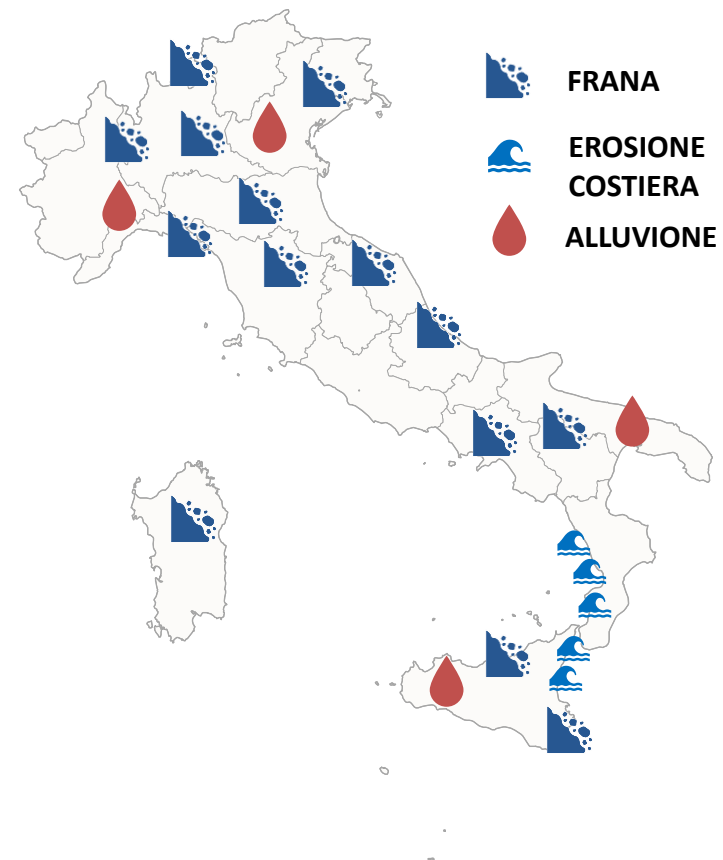
CHI SIAMO?

COSA FACCIAMO?

COME?

Il nostro **obiettivo** è rispondere all'esigenza sempre più urgente di rendere meno **vulnerabile** l'infrastruttura ferroviaria esistente ai fenomeni di **dissesto idrogeologico** come **frane**, **alluvioni** ed **erosione costiera**.

Il nostro gruppo lavora ogni anno su punti singolari distribuiti su **tutto il territorio italiano**, dalla Val D'Aosta alla Sicilia.



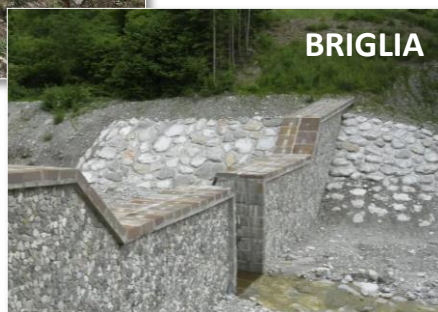


TASK FORCE DISSESTO IDROGEOLOGICO

CHI SIAMO?

COSA FACCIAMO?

COME?



Progettiamo **interventi** di mitigazione del rischio da frana, alluvione e erosione costiera (come barriere **paramassi**, **pennelli**, **briglie**, ecc.) seguendo **l'intero processo** a partire dai primi sopralluoghi tecnici in sito fino ad arrivare alla progettazione.

SOPRALLUOGHI IN SITO

PROGETTAZIONE

RILIEVI TOPOGRAFICI

INDAGINI



TASK FORCE DISSESTO IDROGEOLOGICO

CHI SIAMO?

COSA FACCIAMO?

COME?

SOPRALLUOGHI IN SITO

RILIEVI TOPOGRAFICI

INDAGINI

PROGETTAZIONE





TASK FORCE DISSESTO IDROGEOLOGICO

CHI SIAMO?

COSA FACCIAMO?

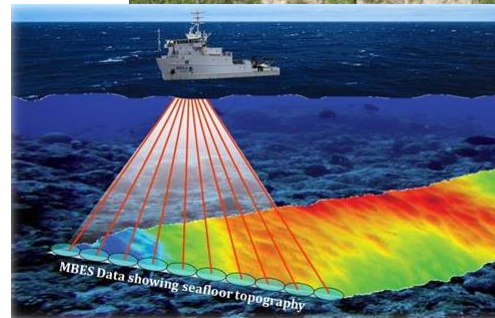
COME?

SOPRALLUOGHI IN SITO

RILIEVI TOPOGRAFICI

INDAGINI

PROGETTAZIONE



TASK FORCE DISSESTO IDROGEOLOGICO

CHI SIAMO?

COSA FACCIAMO?

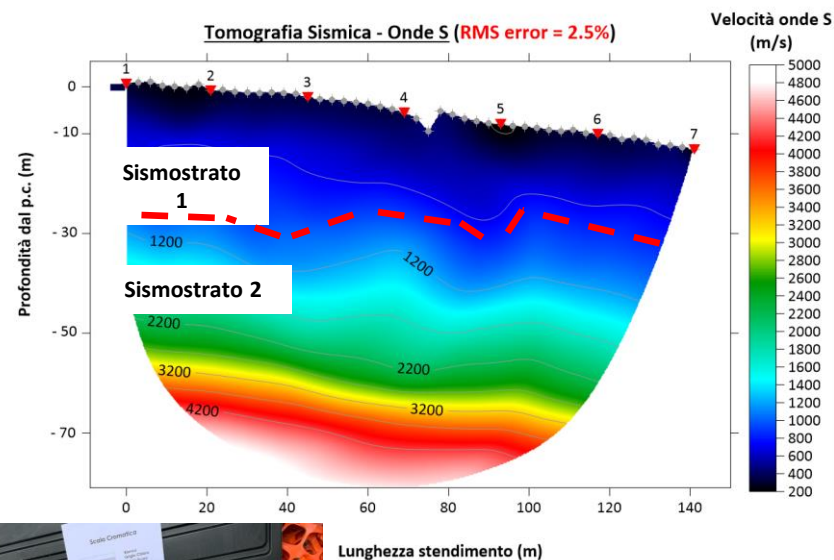
COME?

SOPRALLUOGHI IN SITO

RILIEVI TOPOGRAFICI

INDAGINI

PROGETTAZIONE



TASK FORCE DISSESTO IDROGEOLOGICO

CHI SIAMO?

COSA FACCIAMO?

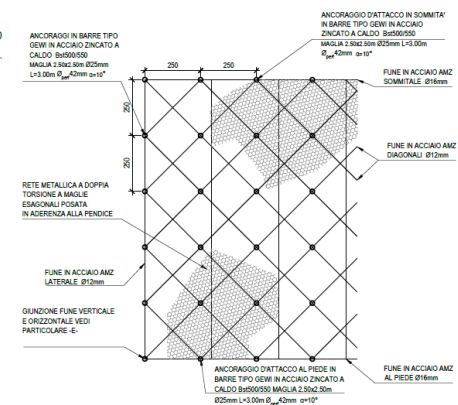
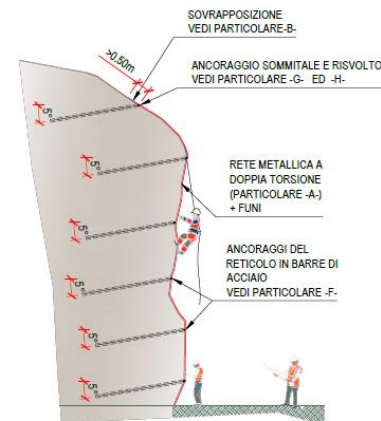
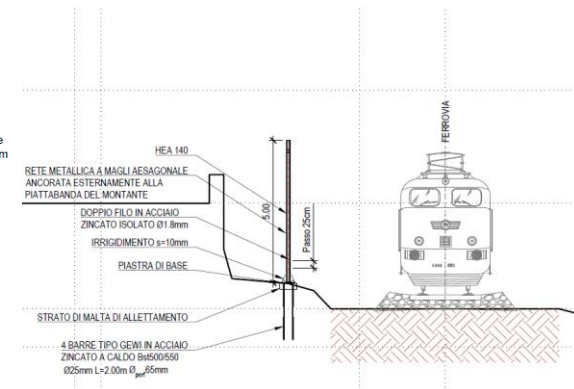
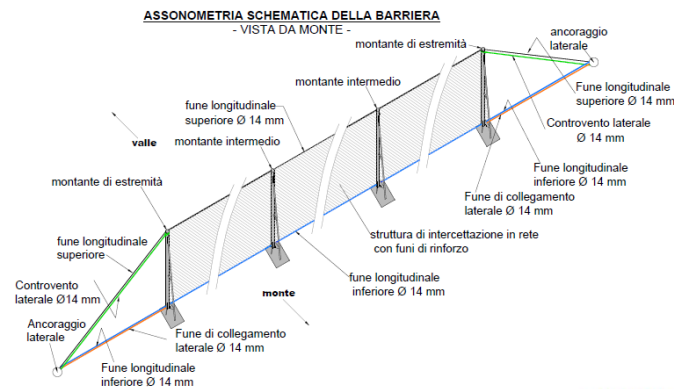
COME?

SOPRALLUOGHI IN SITO

RILIEVI TOPOGRAFICI

INDAGINI

PROGETTAZIONE





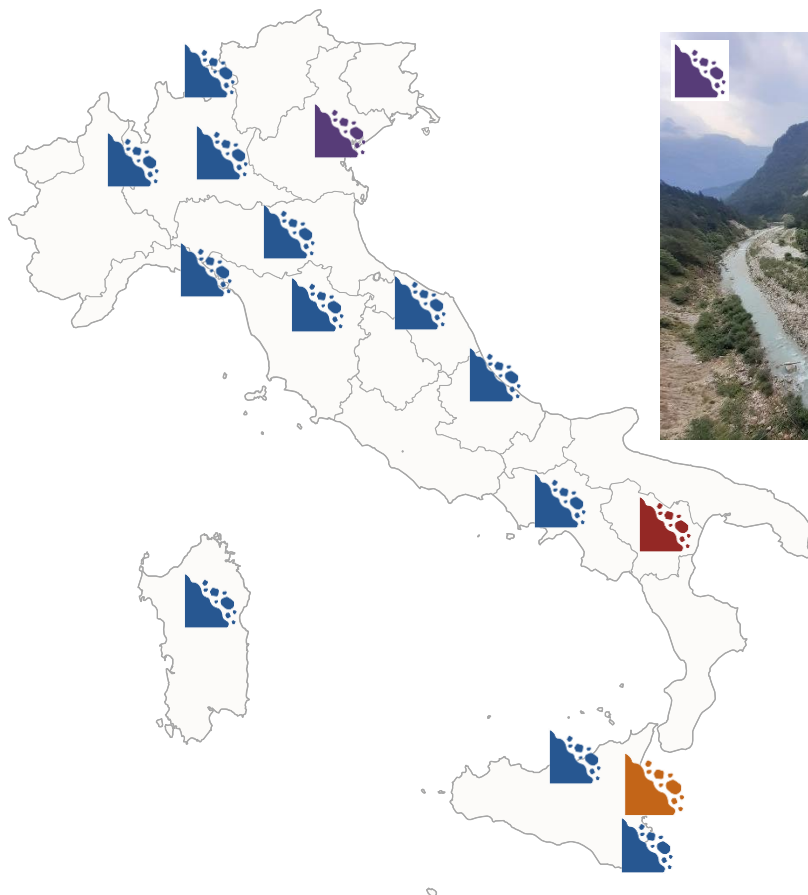
SISTEMI AI PER IL MONITORAGGIO DELLE OPERE





SISTEMI AI PER IL MONITORAGGIO

NUOVI SISTEMI DI MONITORAGGIO PREDITTIVO:
RAIL «Relax, Artificial Intelligence is Looking»



Dott.ssa Federica Bardi, Ing. Nicla Di Stefano, Ing. Flavio Conato

Nuovi sviluppi nel monitoraggio dei versanti in frana: esempi applicativi nella pratica progettuale



SISTEMI AI PER IL MONITORAGGIO

NUOVI SISTEMI DI MONITORAGGIO PREDITTIVO: RAIL «Relax, Artificial Intelligence is Looking»

CONDIZIONI ALLA BASE DEL NEED

Interventi su linee ferroviarie esistenti, poste in zone remote e difficilmente accessibili. Su tali aree insistono opere installate in passato, difficilmente monitorabili.

CONSEGUENZE

Progettazione ex-novo di interventi spesso simili a quelli già in opera, con dispendio di risorse e produzione di rifiuti.

LA NUOVA ROTTA

Progettazione integrata «opera & monitoraggio» con l'obiettivo di controllare l'intero ciclo di vita degli interventi posti in opera.



Dott.ssa Federica Bardi, Ing. Nicla Di Stefano, Ing. Flavio Conato

Nuovi sviluppi nel monitoraggio dei versanti in frana: esempi applicativi nella pratica progettuale



SISTEMI AI PER IL MONITORAGGIO

NUOVI SISTEMI DI MONITORAGGIO PREDITTIVO: RAIL «Relax, Artificial Intelligence is Looking»

SOLUZIONE INNOVATIVA

Sistema di monitoraggio predittivo basato su acquisizione di immagini e «AI» da applicare a opere di protezione da fenomeni di dissesto idrogeologico.

CREAZIONE DATASET

LABELING E DATA
AUGMENTATION

TRAINING ALGORITMI –
RICONOSCIMENTO DISPOSITIVI

TRAINING ALGORITMI –
RICONOSCIMENTO ANOMALIE





SISTEMI AI PER IL MONITORAGGIO

NUOVI SISTEMI DI MONITORAGGIO PREDITTIVO: RAIL «Relax, Artificial Intelligence is Looking»

SOLUZIONE INNOVATIVA

Sistema di monitoraggio predittivo basato su acquisizione di immagini e «AI» da applicare a opere di protezione da fenomeni di dissesto idrogeologico.

CREAZIONE DATASET

LABELING E DATA
AUGMENTATION

TRAINING ALGORITMI –
RICONOSCIMENTO DISPOSITIVI

TRAINING ALGORITMI –
RICONOSCIMENTO ANOMALIE





SISTEMI AI PER IL MONITORAGGIO

NUOVI SISTEMI DI MONITORAGGIO PREDITTIVO:
RAIL «Relax, Artificial Intelligence is Looking»

SOLUZIONE INNOVATIVA

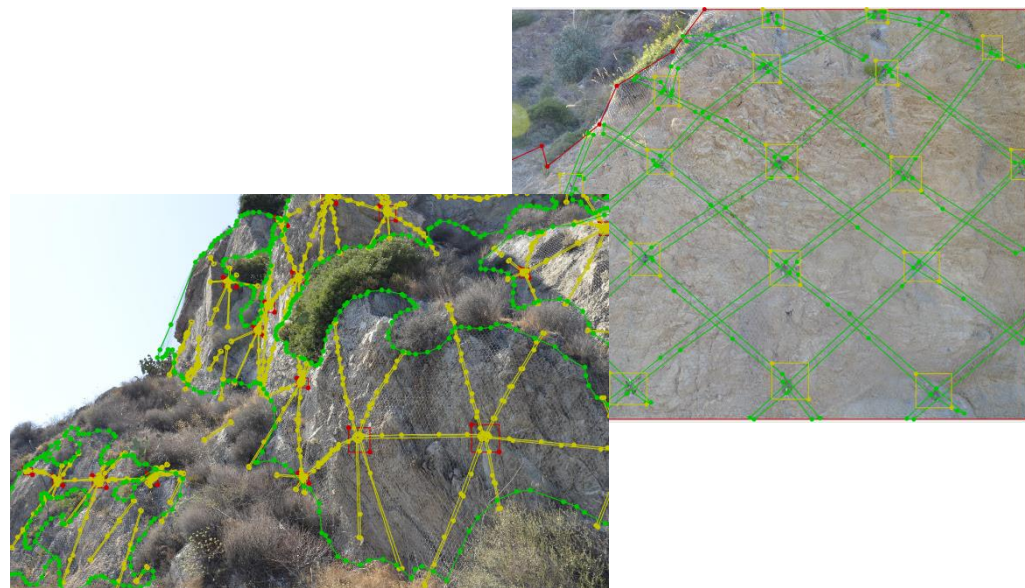
Sistema di monitoraggio predittivo basato su acquisizione di immagini e «AI» da applicare a opere di protezione da fenomeni di dissesto idrogeologico.

CREAZIONE DATASET

LABELING E DATA
AUGMENTATION

TRAINING ALGORITMI –
RICONOSCIMENTO DISPOSITIVI

TRAINING ALGORITMI –
RICONOSCIMENTO ANOMALIE



Dott.ssa Federica Bardi, Ing. Nicla Di Stefano, Ing. Flavio Conato

Nuovi sviluppi nel monitoraggio dei versanti in frana: esempi applicativi nella pratica progettuale



SISTEMI AI PER IL MONITORAGGIO

NUOVI SISTEMI DI MONITORAGGIO PREDITTIVO: RAIL «Relax, Artificial Intelligence is Looking»

SOLUZIONE INNOVATIVA

Sistema di monitoraggio predittivo basato su acquisizione di immagini e «AI» da applicare a opere di protezione da fenomeni di dissesto idrogeologico.

Segmentazione semantica

CREAZIONE DATASET

LABELING E DATA
AUGMENTATION

TRAINING ALGORITMI –
RICONOSCIMENTO DISPOSITIVI

TRAINING ALGORITMI –
RICONOSCIMENTO ANOMALIE



Dott.ssa Federica Bardi, Ing. Nicla Di Stefano, Ing. Flavio Conato

Nuovi sviluppi nel monitoraggio dei versanti in frana: esempi applicativi nella pratica progettuale



SISTEMI AI PER IL MONITORAGGIO

NUOVI SISTEMI DI MONITORAGGIO PREDITTIVO: RAIL «Relax, Artificial Intelligence is Looking»

SOLUZIONE INNOVATIVA

Sistema di monitoraggio predittivo basato su acquisizione di immagini e «AI» da applicare a opere di protezione da fenomeni di dissesto idrogeologico.

CREAZIONE DATASET

LABELING E DATA
AUGMENTATION

TRAINING ALGORITMI –
RICONOSCIMENTO DISPOSITIVI

TRAINING ALGORITMI –
RICONOSCIMENTO ANOMALIE

Segmentazione semantica



Dott.ssa Federica Bardi, Ing. Nicla Di Stefano, Ing. Flavio Conato

Nuovi sviluppi nel monitoraggio dei versanti in frana: esempi applicativi nella pratica progettuale



SISTEMI AI PER IL MONITORAGGIO

NUOVI SISTEMI DI MONITORAGGIO PREDITTIVO: RAIL «Relax, Artificial Intelligence is Looking»

SOLUZIONE INNOVATIVA

Sistema di monitoraggio predittivo basato su acquisizione di immagini e «AI» da applicare a opere di protezione da fenomeni di dissesto idrogeologico.

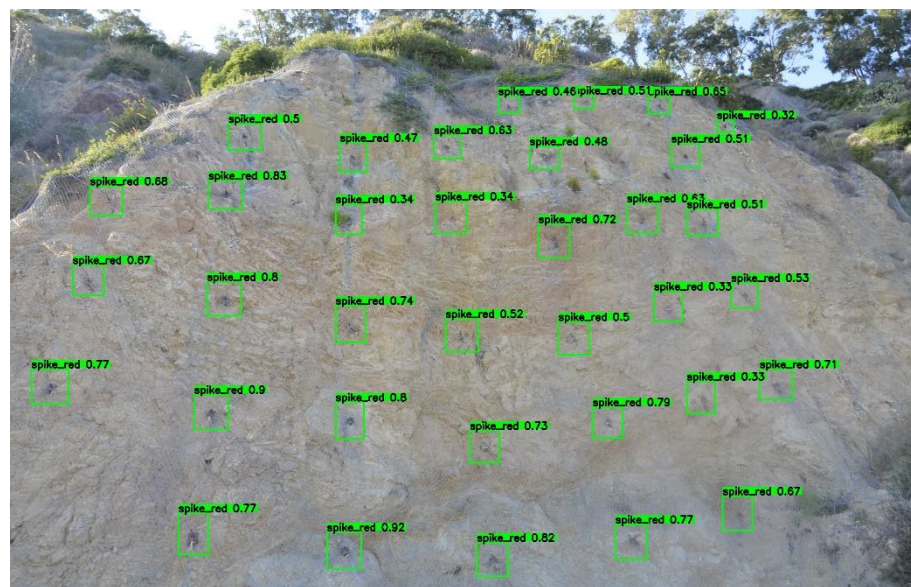
CREAZIONE DATASET

LABELING E DATA
AUGMENTATION

TRAINING ALGORITMI –
RICONOSCIMENTO DISPOSITIVI

TRAINING ALGORITMI –
RICONOSCIMENTO ANOMALIE

Object Detection



Dott.ssa Federica Bardi, Ing. Nicla Di Stefano, Ing. Flavio Conato

Nuovi sviluppi nel monitoraggio dei versanti in frana: esempi applicativi nella pratica progettuale



SISTEMI AI PER IL MONITORAGGIO

NUOVI SISTEMI DI MONITORAGGIO PREDITTIVO: RAIL «Relax, Artificial Intelligence is Looking»

SOLUZIONE INNOVATIVA

Sistema di monitoraggio predittivo basato su acquisizione di immagini e «AI» da applicare a opere di protezione da fenomeni di dissesto idrogeologico.

CREAZIONE DATASET

LABELING E DATA
AUGMENTATION

TRAINING ALGORITMI –
RICONOSCIMENTO DISPOSITIVI

TRAINING ALGORITMI –
RICONOSCIMENTO ANOMALIE

Object Detection





SISTEMI AI PER IL MONITORAGGIO

NUOVI SISTEMI DI MONITORAGGIO PREDITTIVO: RAIL «Relax, Artificial Intelligence is Looking»

SOLUZIONE INNOVATIVA

Sistema di monitoraggio predittivo basato su acquisizione di immagini e «AI» da applicare a opere di protezione da fenomeni di dissesto idrogeologico.

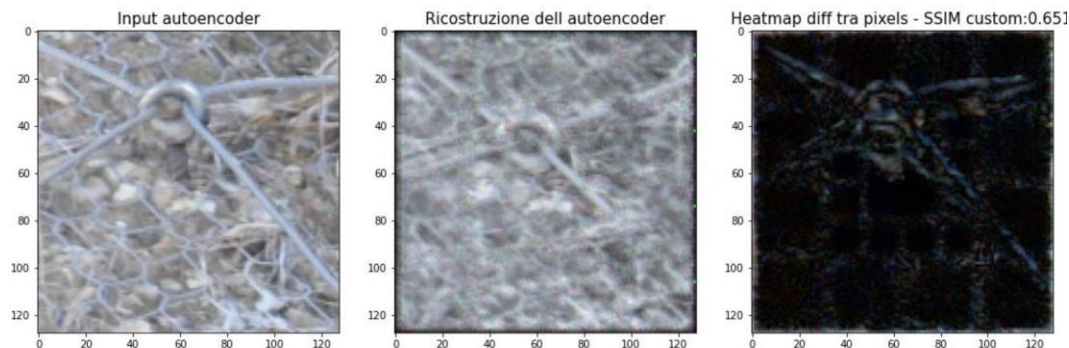
CREAZIONE DATASET

LABELING E DATA
AUGMENTATION

TRAINING ALGORITMI –
RICONOSCIMENTO DISPOSITIVI

TRAINING ALGORITMI –
RICONOSCIMENTO ANOMALIE

Change Detection con metrica SSIM
Structural Similarity Index Measure



Dott.ssa Federica Bardi, Ing. Nicla Di Stefano, Ing. Flavio Conato

Nuovi sviluppi nel monitoraggio dei versanti in frana: esempi applicativi nella pratica progettuale



SISTEMI AI PER IL MONITORAGGIO

NUOVI SISTEMI DI MONITORAGGIO PREDITTIVO:
RAIL «Relax, Artificial Intelligence is Looking»

SOLUZIONE INNOVATIVA

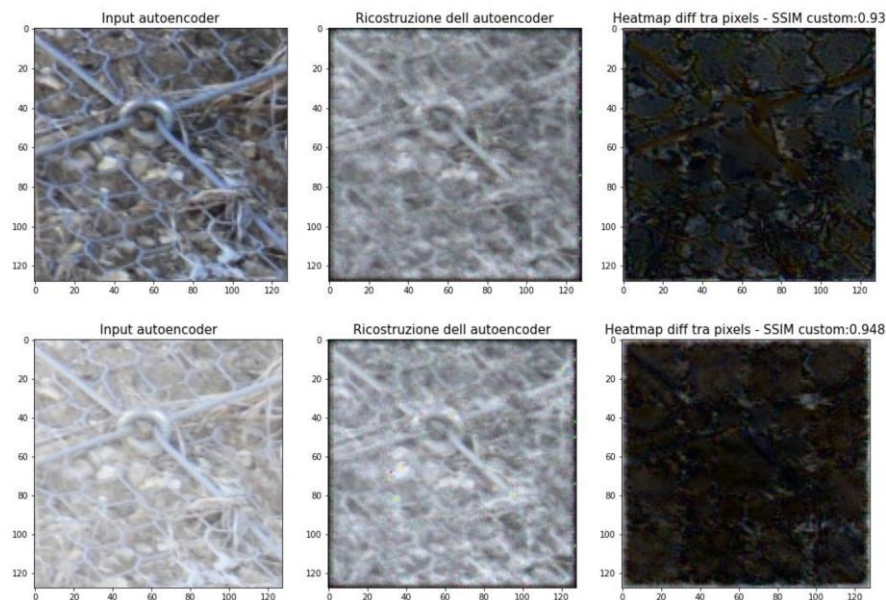
Sistema di monitoraggio predittivo basato su acquisizione di immagini e «AI» da applicare a opere di protezione da fenomeni di dissesto idrogeologico.

CREAZIONE DATASET

LABELING E DATA
AUGMENTATION

TRAINING ALGORITMI –
RICONOSCIMENTO DISPOSITIVI

TRAINING ALGORITMI –
RICONOSCIMENTO ANOMALIE



Dott.ssa Federica Bardi, Ing. Nicla Di Stefano, Ing. Flavio Conato

Nuovi sviluppi nel monitoraggio dei versanti in frana: esempi applicativi nella pratica progettuale



SISTEMI AI PER IL MONITORAGGIO

NUOVI SISTEMI DI MONITORAGGIO PREDITTIVO: RAIL «Relax, Artificial Intelligence is Looking»

SOLUZIONE INNOVATIVA

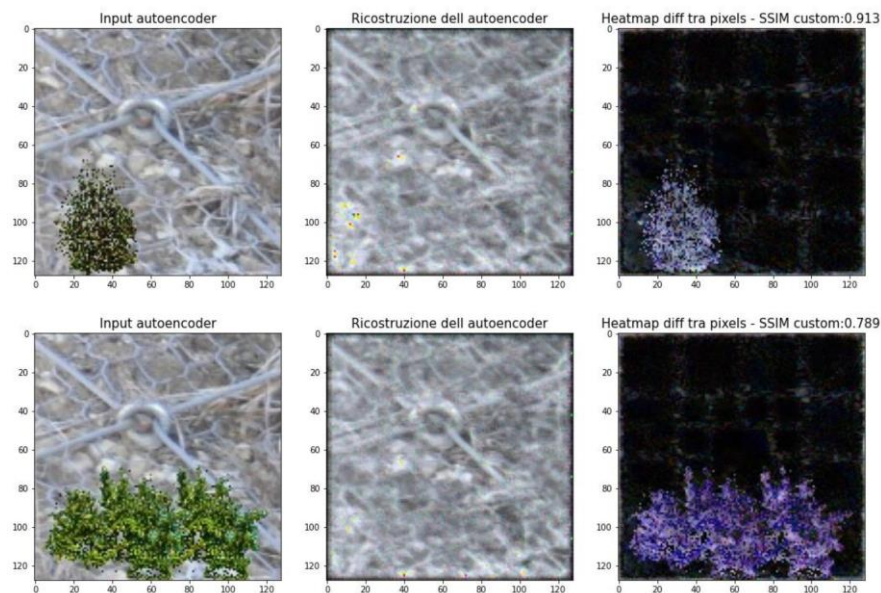
Sistema di monitoraggio predittivo basato su acquisizione di immagini e «AI» da applicare a opere di protezione da fenomeni di dissesto idrogeologico.

CREAZIONE DATASET

LABELING E DATA
AUGMENTATION

TRAINING ALGORITMI –
RICONOSCIMENTO DISPOSITIVI

TRAINING ALGORITMI –
RICONOSCIMENTO ANOMALIE



Dott.ssa Federica Bardi, Ing. Nicla Di Stefano, Ing. Flavio Conato

Nuovi sviluppi nel monitoraggio dei versanti in frana: esempi applicativi nella pratica progettuale

SISTEMI AI PER IL MONITORAGGIO

NUOVI SISTEMI DI MONITORAGGIO PREDITTIVO: RAIL «Relax, Artificial Intelligence is Looking»

SOLUZIONE INNOVATIVA

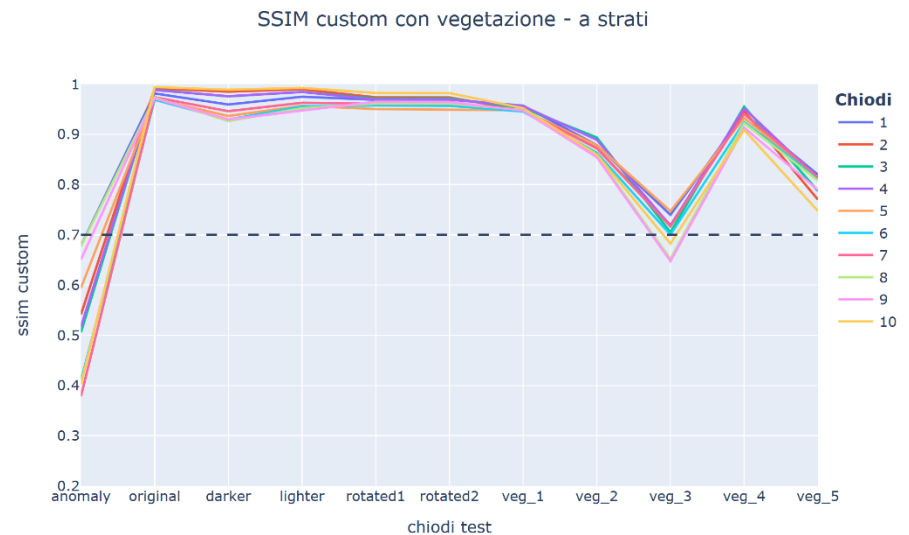
Sistema di monitoraggio predittivo basato su acquisizione di immagini e «AI» da applicare a opere di protezione da fenomeni di dissesto idrogeologico.

CREAZIONE DATASET

LABELING E DATA
AUGMENTATION

TRAINING ALGORITMI –
RICONOSCIMENTO DISPOSITIVI

TRAINING ALGORITMI –
RICONOSCIMENTO ANOMALIE



Dott.ssa Federica Bardi, Ing. Nicla Di Stefano, Ing. Flavio Conato

Nuovi sviluppi nel monitoraggio dei versanti in frana: esempi applicativi nella pratica progettuale



SISTEMI AI PER IL MONITORAGGIO

NUOVI SISTEMI DI MONITORAGGIO PREDITTIVO: RAIL «Relax, Artificial Intelligence is Looking»

SOLUZIONE INNOVATIVA

Sistema di monitoraggio predittivo basato su acquisizione di immagini e «AI» da applicare a opere di protezione da fenomeni di dissesto idrogeologico.

CREAZIONE DATASET

LABELING E DATA
AUGMENTATION

TRAINING ALGORITMI –
RICONOSCIMENTO DISPOSITIVI

TRAINING ALGORITMI –
RICONOSCIMENTO ANOMALIE



Dott.ssa Federica Bardi, Ing. Nicla Di Stefano, Ing. Flavio Conato

Nuovi sviluppi nel monitoraggio dei versanti in frana: esempi applicativi nella pratica progettuale



SISTEMI AI PER IL MONITORAGGIO

NUOVI SISTEMI DI MONITORAGGIO PREDITTIVO:
RAIL «Relax, Artificial Intelligence is Looking»



VANTAGGI

- Monitoraggio in continuo;
- Sistema di gestione delle opere basato sulla manutenzione.

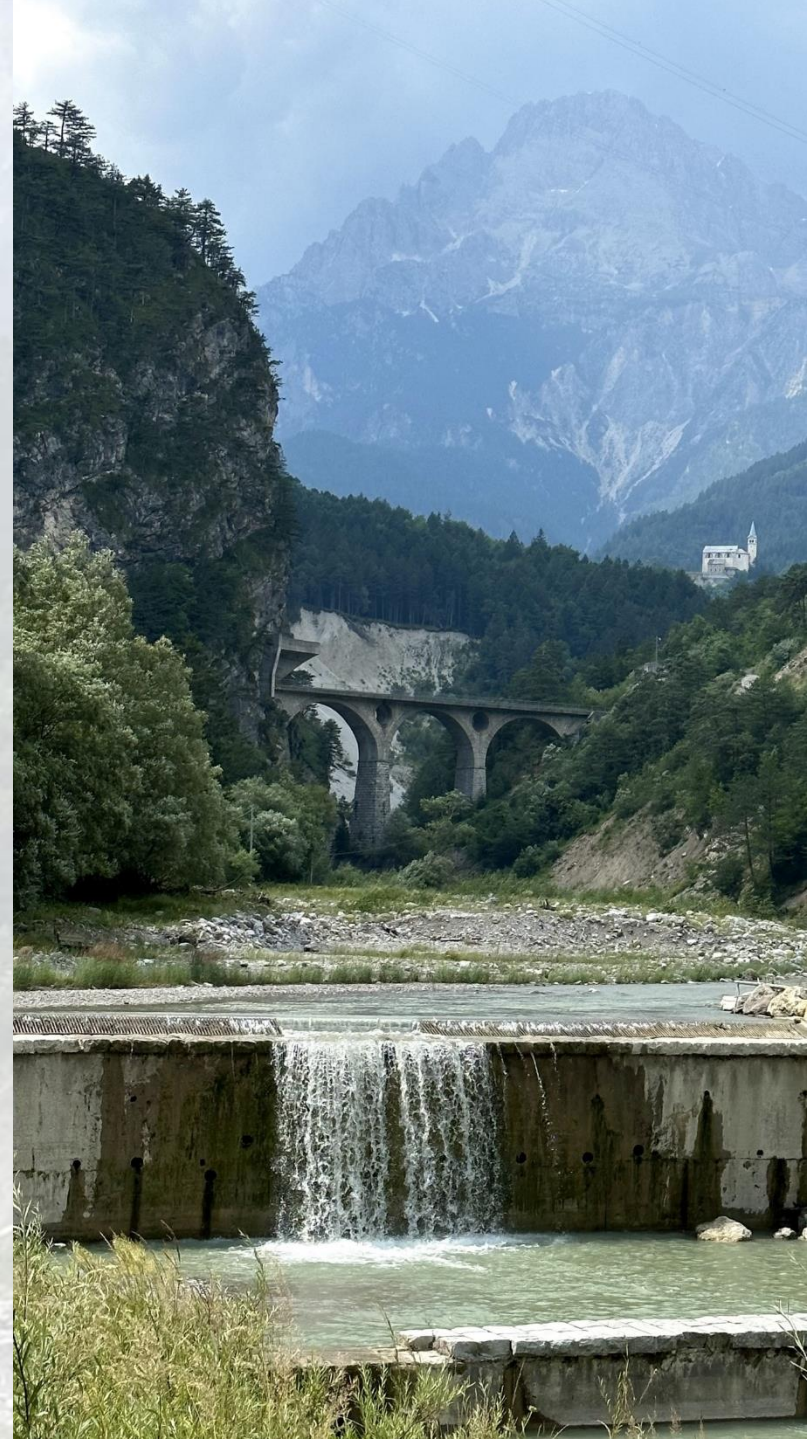
SVILUPPI FUTURI

- Training altre anomalie (allentamento funi, sacche, ecc.);
- Training altre opere (barriere);
- Test componente hardware ottimale.

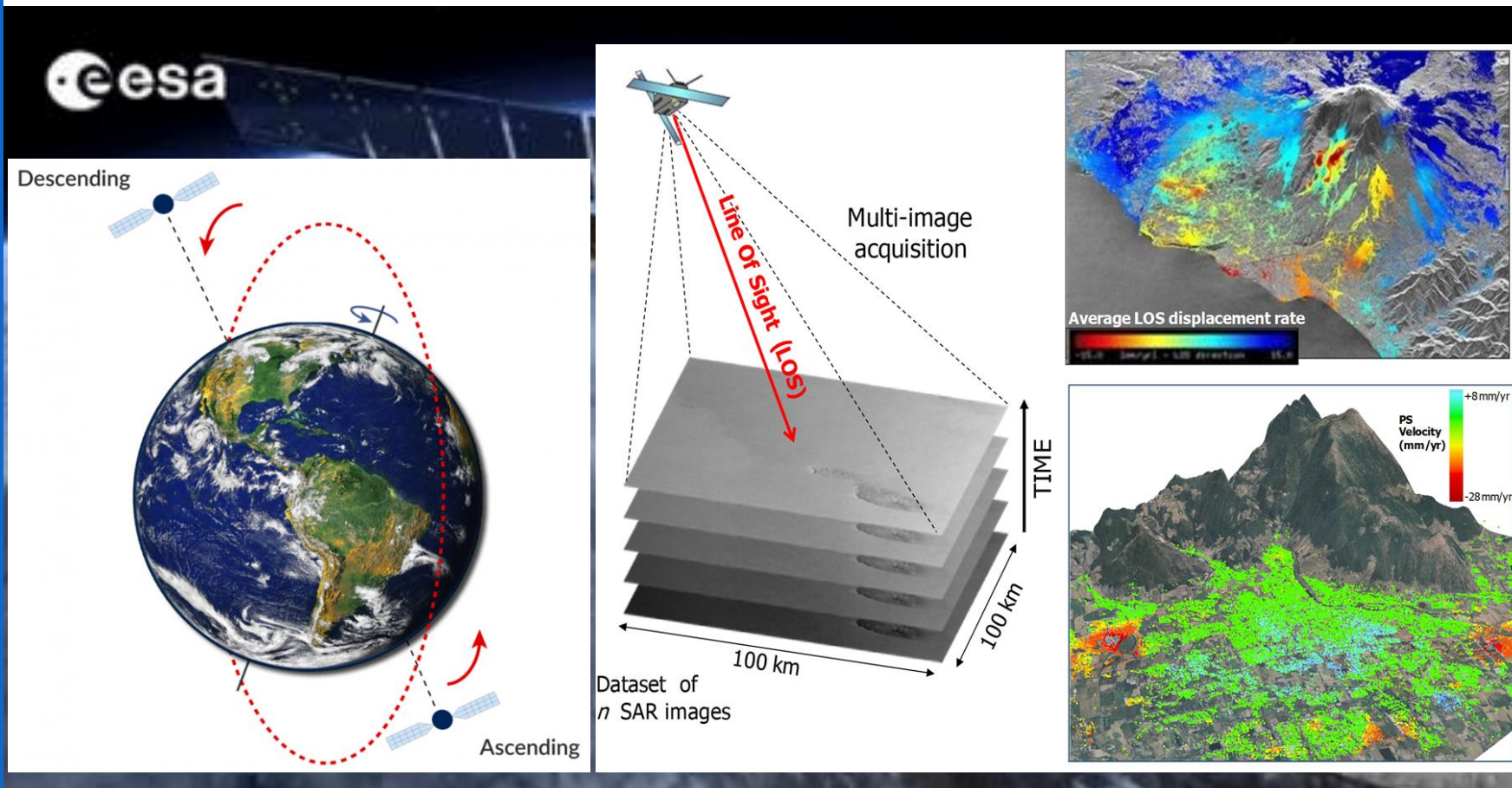




INTERFEROMETRIA PER IL DISSESTO IDROGEOLOGICO



L'INTERFEROMETRIA RADAR SATELLITARE





L'I

L-band (~23.6 cm)

Resolution (azimuth x range)
NISAR: up to 100 m
SAOCOM: up to 10 m
ALOS-2: up to 1x3 m
ALOS: up to 10 m
JERS: up to 18 m

JERS

S-band (~10 cm)

Resolution (azimuth x range)
NovaSAR-1: up to 6 m
HJ-1C: up to 5 m

C-band (~5.6 cm)

Resolution (azimuth x range)
RCM: up to 1x3 m
Sentinel-1a: up to 5 m
Sentinel-1b: up to 5 m
RISAT-1: up to 1 m
Gaofen-3: up to 1 m
Radarsat-2: up to 1x3 m
Radarsat-1: up to 10x5 m
Envisat: up to 20x5 m
ERS1-2: up to 20x5 m

Radarsat-1

Envisat

ERS-2

ERS-1

X-band (~3.1 cm)

Resolution (azimuth x range)
PAZ: up to 1 m
TerraSAR-X: up to 1 m
Asnaro-2: up to 1 m
KOMPSAT-5: up to 1 m
RISAT-2: up to 1 m
TecSAR: up to 1 m
COSMO SkyMed: up to 1 m
Capella: up to 0.3 m
ICEYE: up to 0.4 m

TerraSAR-X

PAZ

Asnaro-2

KOMPSAT-5

RISAT-2

RISAT-2B

RISAT-2BR1

TecSAR

CSK-SG

CSK-4

CSK-3

CSK-2

CSK-1

Capella

ICEYE

ROSE-L

NISAR

SAOCOM 1a

SAOCOM 1b

ALOS-2

ALOS-1

NovaSAR-1

HJ-1C

RCM-3

RCM-2

RCM-1

Sentinel 1b

Sentinel 1a

RISAT-1

Gaofen-3

Radarsat-2

PAZ

Asnaro-2

KOMPSAT-5

RISAT-2

RISAT-2B

RISAT-2BR1

TecSAR

CSK-SG

CSK-4

CSK-3

CSK-2

CSK-1

Capella

ICEYE

NISAR

16 days

16 days

14 days

46 days

44 days

14 days

4 days

12 days

12 days

12 days

Sentinel 1c

12 days

12 days

25 days

29 days

12 days

24 days

35 days

35 days

35 days

11 days

11 days

1 day

28 days

14 days

14 days

14 days

14 days

16 days

16 days

16 days

16 days

16 days

6 hours

17 days

LITARE

y

1

Marche 1

1999

Total: 1

2016 2017 2018 2019



EUROPEAN GROUND MOTION SERVICE

PROGRAMMA EUROPEO COPERNICUS



European
Environment
Agency

European Ground Motion Service



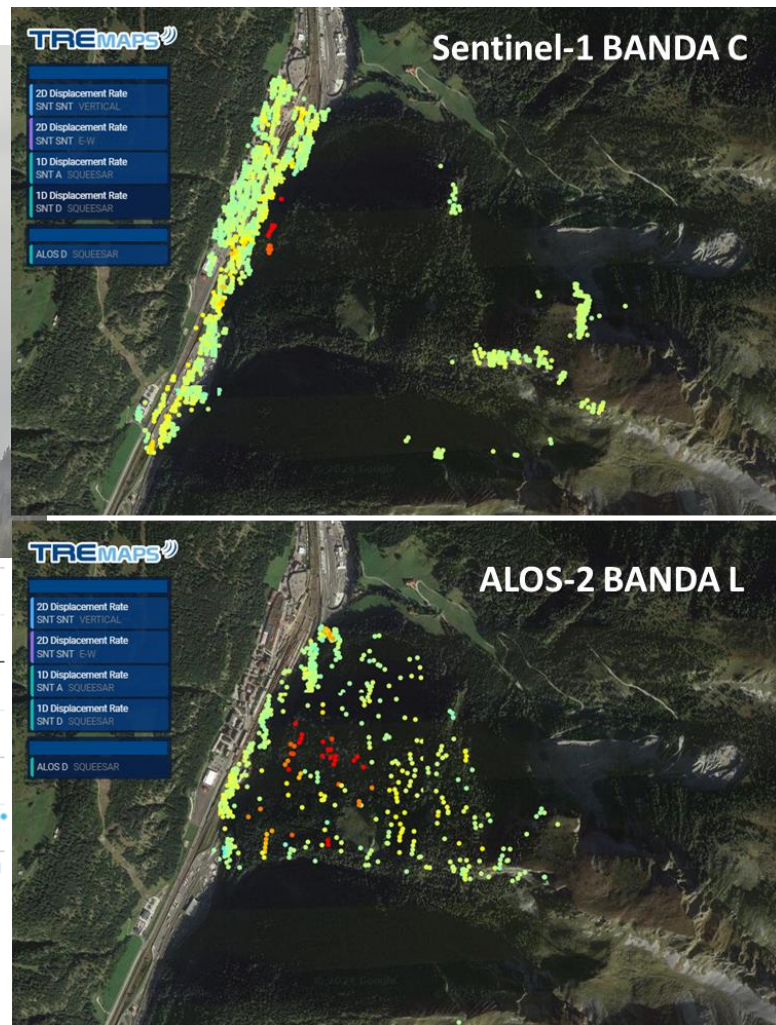
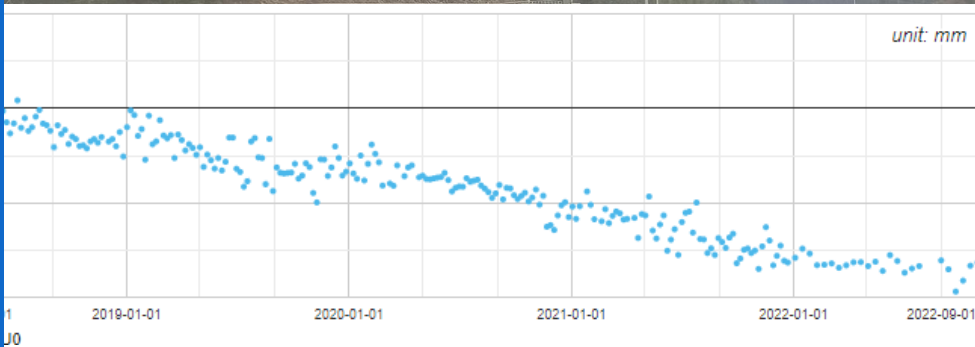
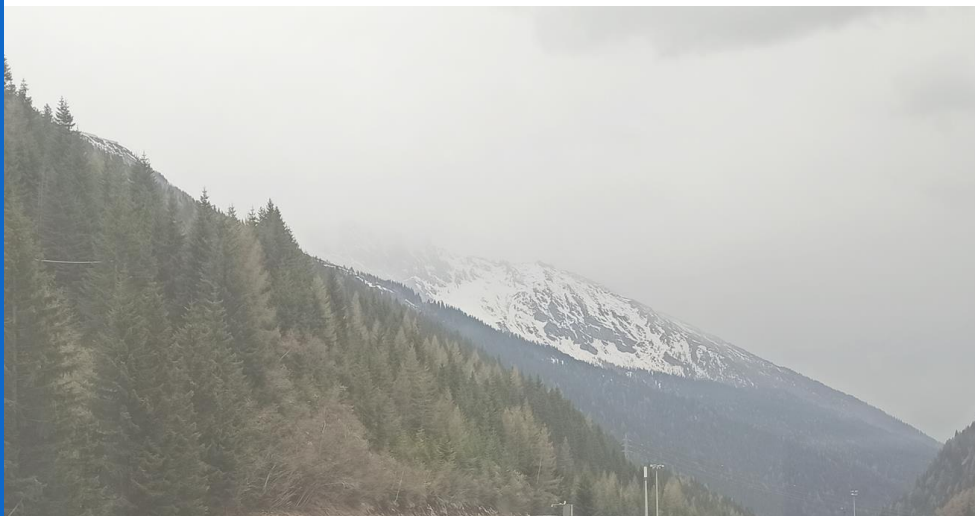
Dott.ssa Federica Bardi, Ing. Nicla Di Stefano, Ing. Flavio Conato

Nuovi sviluppi nel monitoraggio dei versanti in frana: esempi applicativi nella pratica progettuale



TASK FORCE DISSESTO IDROGEOLOGICO

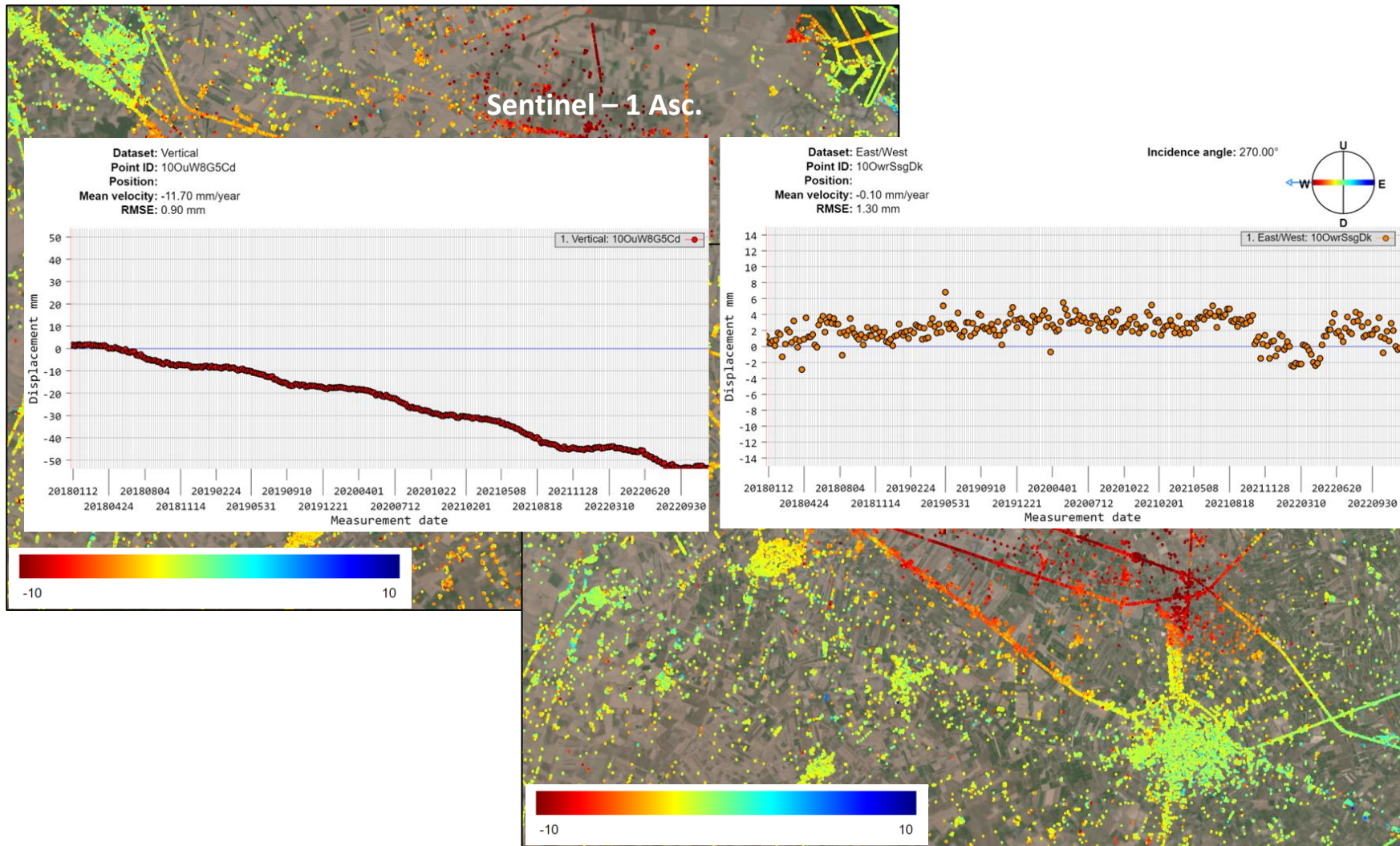
L'INTERFEROMETRIA PER LO STUDIO DELLE FRANE





TASK FORCE DISSESTO IDROGEOLOGICO

L'INTERFEROMETRIA PER LO STUDIO DELLA SUBSIDENZA





TASK FORCE DISSESTO IDROGEOLOGICO

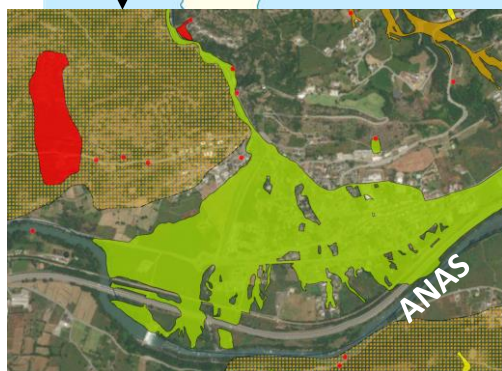
L'INTERFEROMETRIA PER AGGIORNAMENTO INVENTARI



Aggiornamento Mappe Inventario IFFI su un'area di *buffer* che comprende RETI STRADALI ANAS.

Mappatura aree in frana interferenti con la rete stradale ANAS per:

1. **SUPPORTO** alla Progettazione;
2. **PRIORITIZZAZIONE** interventi di mitigazione.

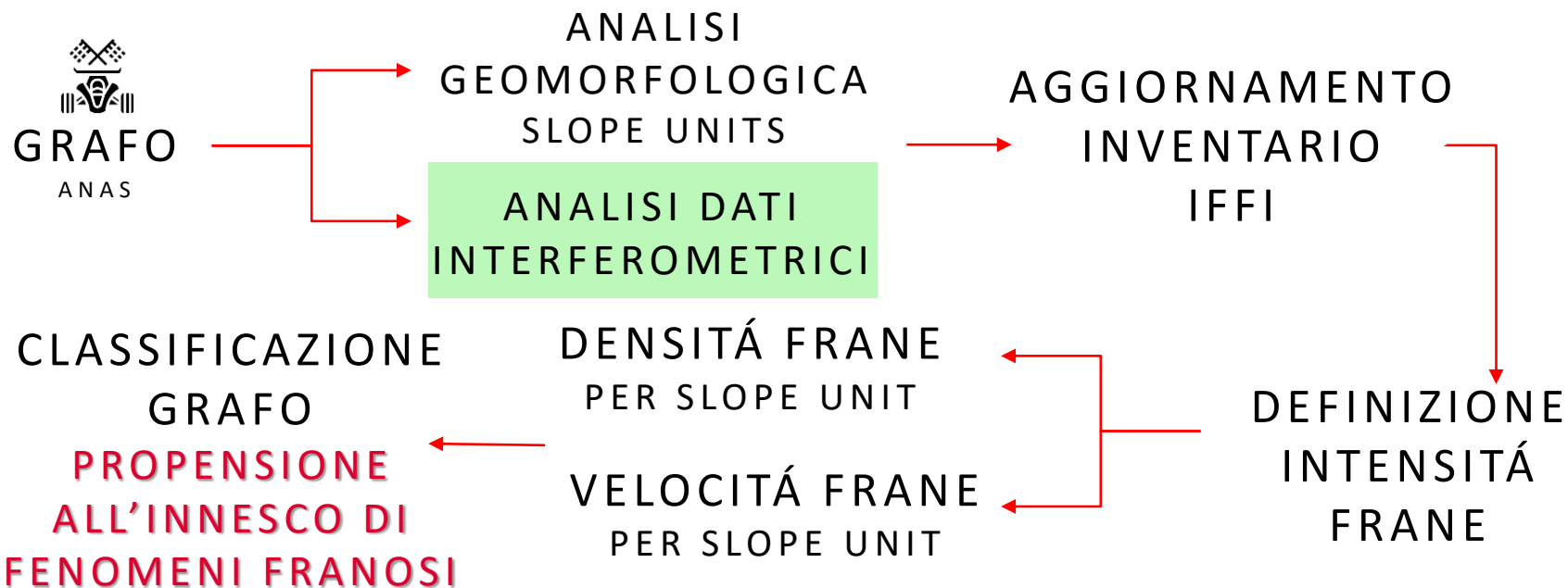


UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE
**CENTRO
PROTEZIONE
CIVILE**

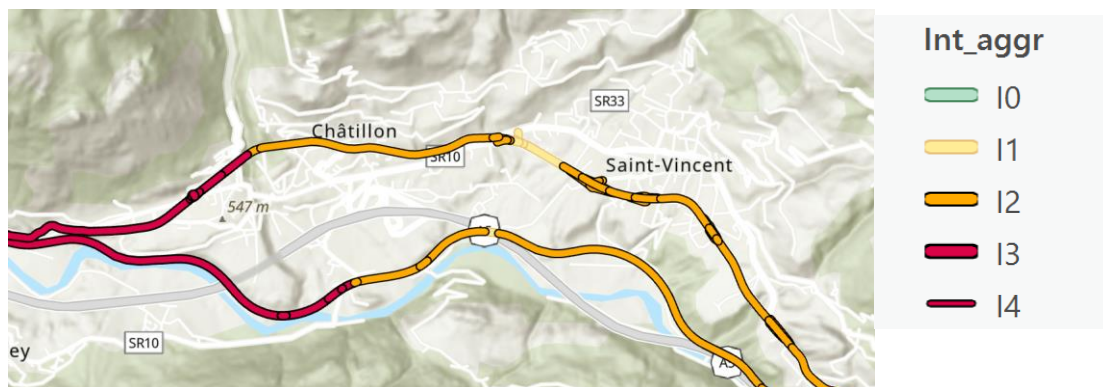


AGGIORNAMENTO INVENTARI REGIONALI

FLUSSO DELLE ATTIVITÀ



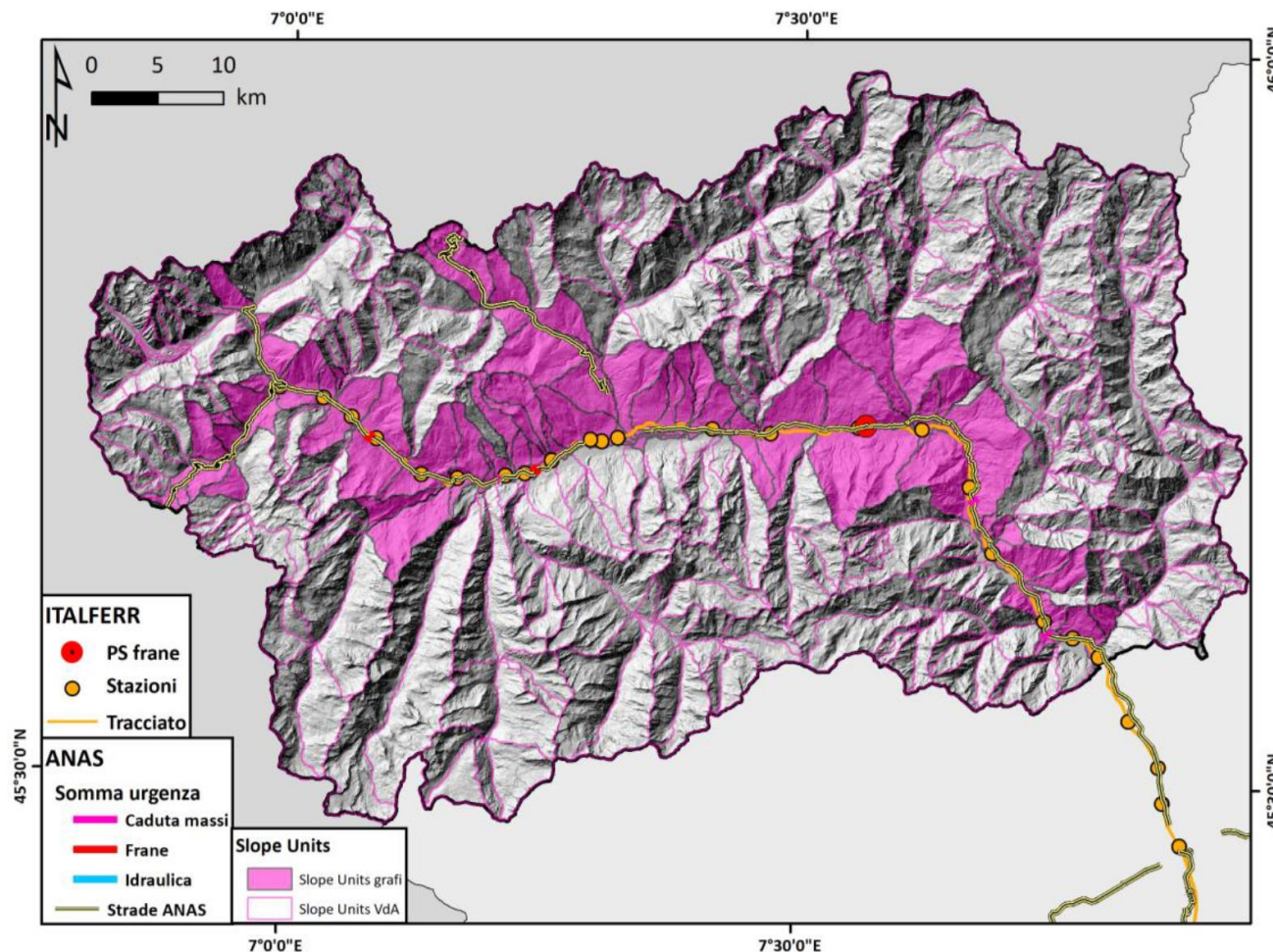
**STRUMENTO DI
PIANIFICAZIONE
TERRITORIALE**





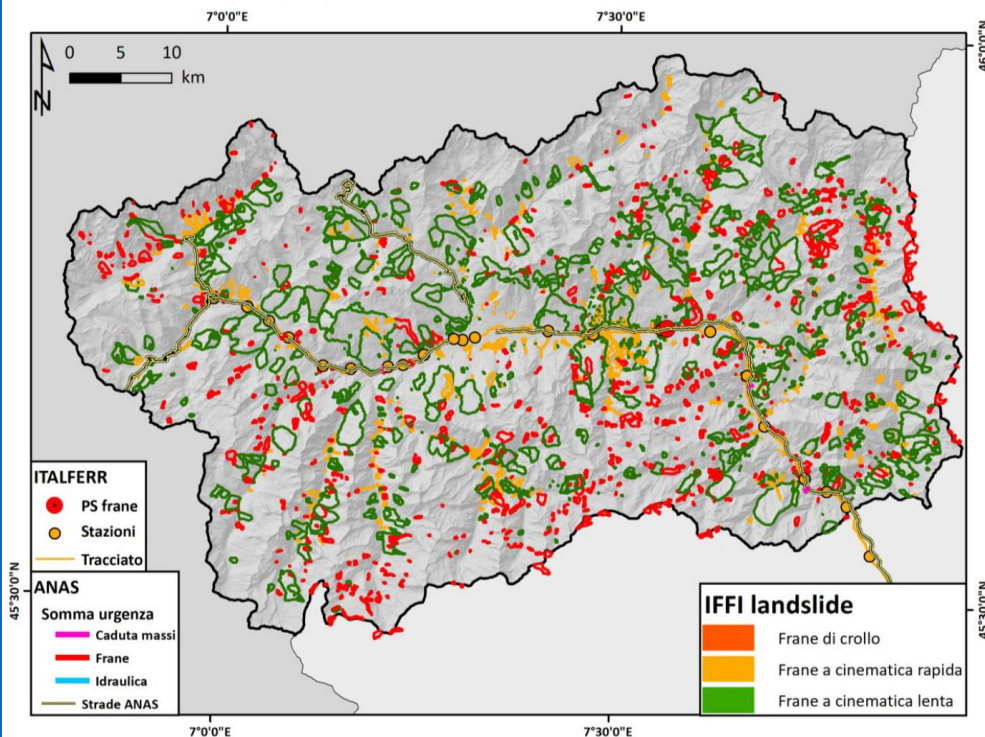
PARTIZIONE GEOMORFOLOGICA IN UNITÀ DI RIFERIMENTO

N. 385 SLOPE UNITS



ANALISI CARTE INVENTARIO

CATALOGO IFFI



2.728 frane

307 frane diffuse (46 km²),

262 DGPV (460 km²)

2.158 frane poligonali (151 km²)

Il totale dell'area in frana
è di 657 km²

Classi	Tipologia di movimento IFFI	%
FRANE DI CROLLO	Crollo/ribaltamento, Aree soggette a crolli e ribaltamenti diffusi	32.1
FRANE RAPIDE	Colamento rapido Aree soggette a frane superficiali diffuse	28.7
FRANE LENTE	Scivolamento rotazionale e traslativo, Colamento lento, Complesso, DGPV, Non determinato	39.1
ESCLUSE	Sprofondamenti, Espansione	0.1

Dott.ssa Federica Bardi, Ing. Nicla Di Stefano, Ing. Flavio Conato

Nuovi sviluppi nel monitoraggio dei versanti in frana: esempi applicativi nella pratica progettuale

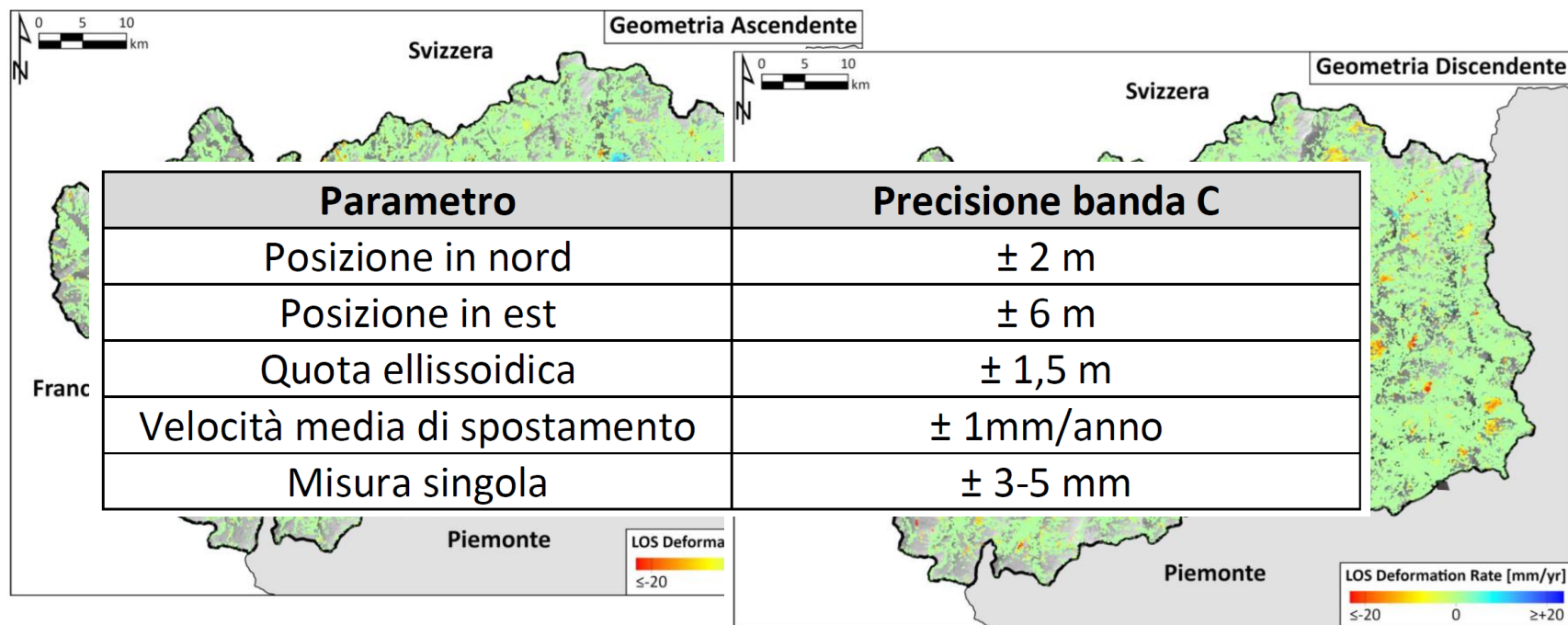


ANALISI DI DATI INTERFEROMETRICI SATELLITARI SENTINEL-1

INTERVALLO TEMPORALE 2014-2021

MAPPATURA DELLE AREE A MAGGIOR DEFORMAZIONE (PS MAPPING) →
ANALISI DELLE VELOCITÀ MEDIE

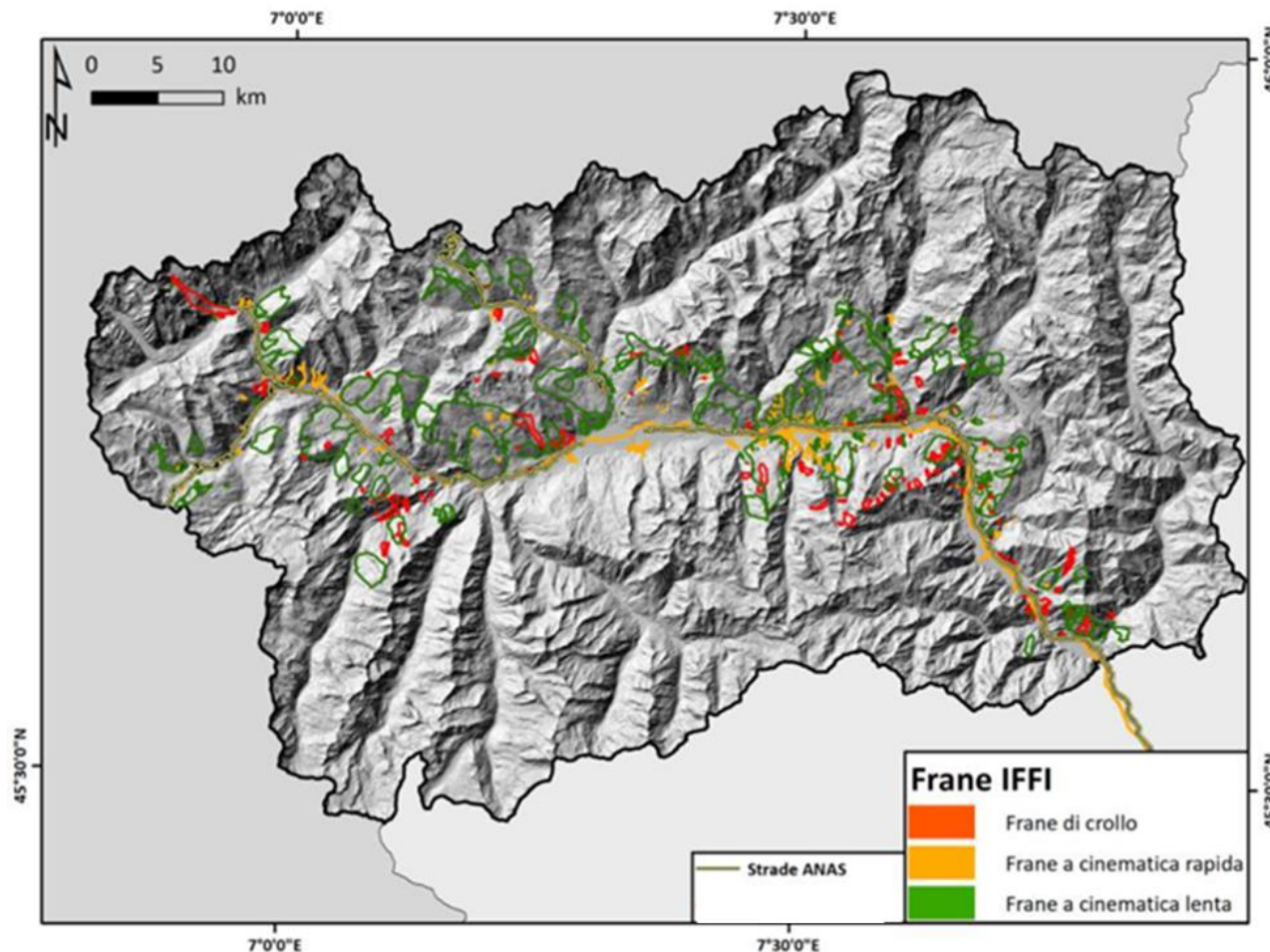
MONITORAGGIO DELLE DEFORMAZIONI DEL TERRENO (PS MONITORING) →
ANALISI SERIE TEMPORALI DI SPOSTAMENTO



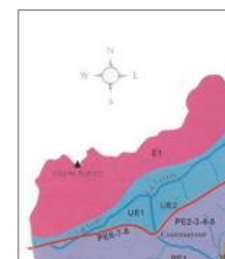


AGGIORNAMENTO E REVISIONE MAPPE INVENTARIO

ANALISI DATI SATELLITARI + DATI ANCILLARI



Litologia



Pendenze



Immagini
ottiche

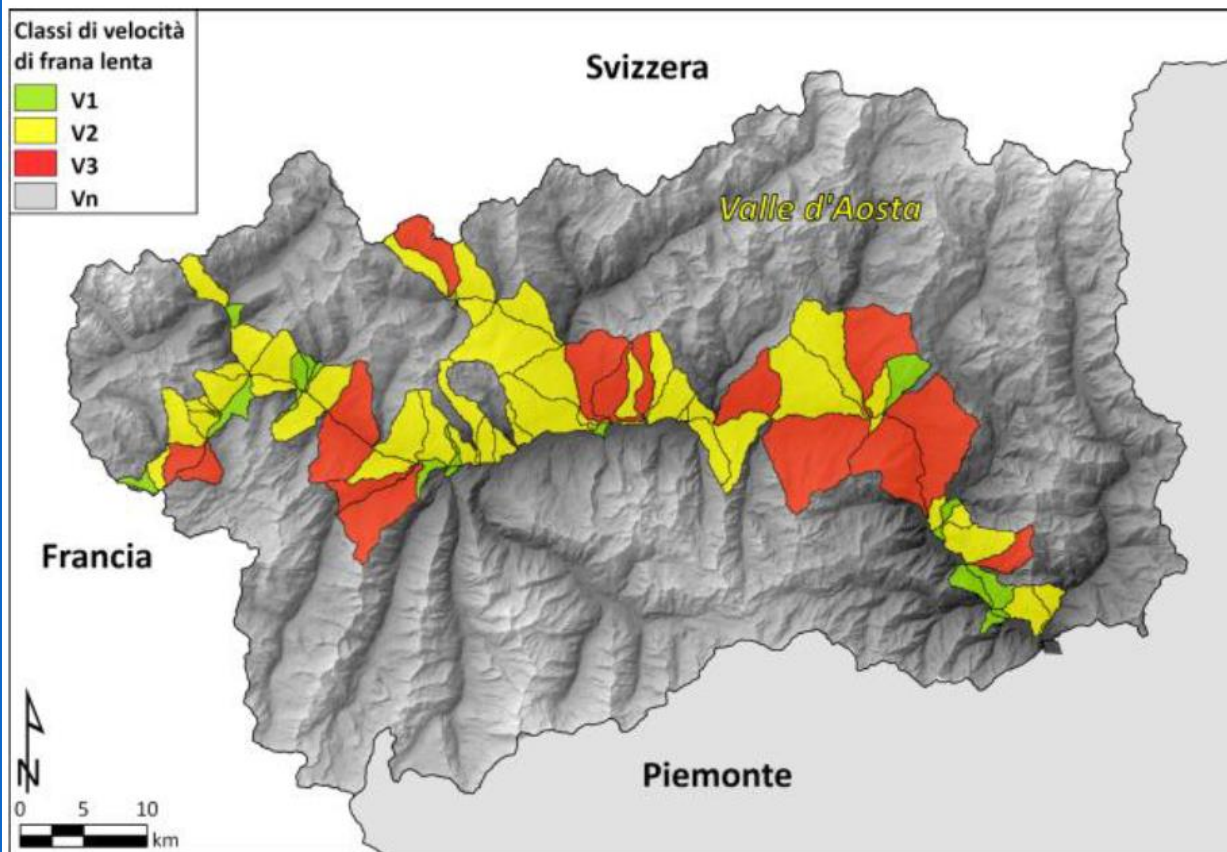


Uso del
suolo





CLASSIFICAZIONE DELLE FRANE IN BASE ALLA LORO INTENSITÀ



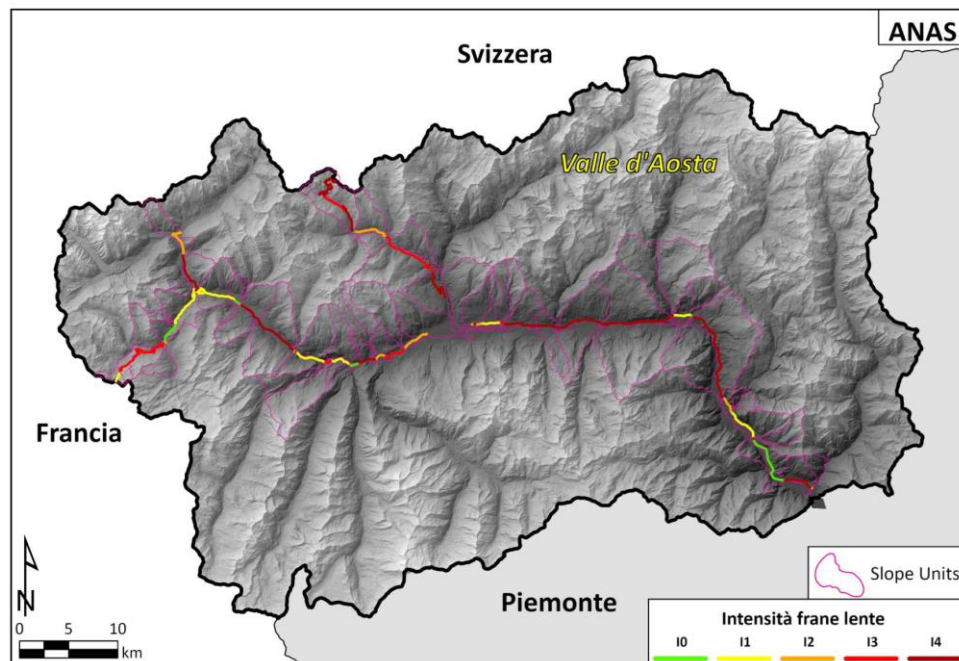
L'intensità della frana (I) nella Regione Valle d'Aosta è stata stimata in funzione della scala di velocità della frana (v) e delle classi di areale di frana (A : rapporto percentuale dell'area in frana sulla superficie dell'unità)

$$I=f(v,a)$$



INDICI DI INTENSITÀ DA FRANA

FRANE LENTE



Classi di velocità (V): la velocità limite (16 mm/anno) rappresenta il limite tra le frane estremamente lente e le frane molto lente secondo la classificazione di Cruden e Varnes (1996)

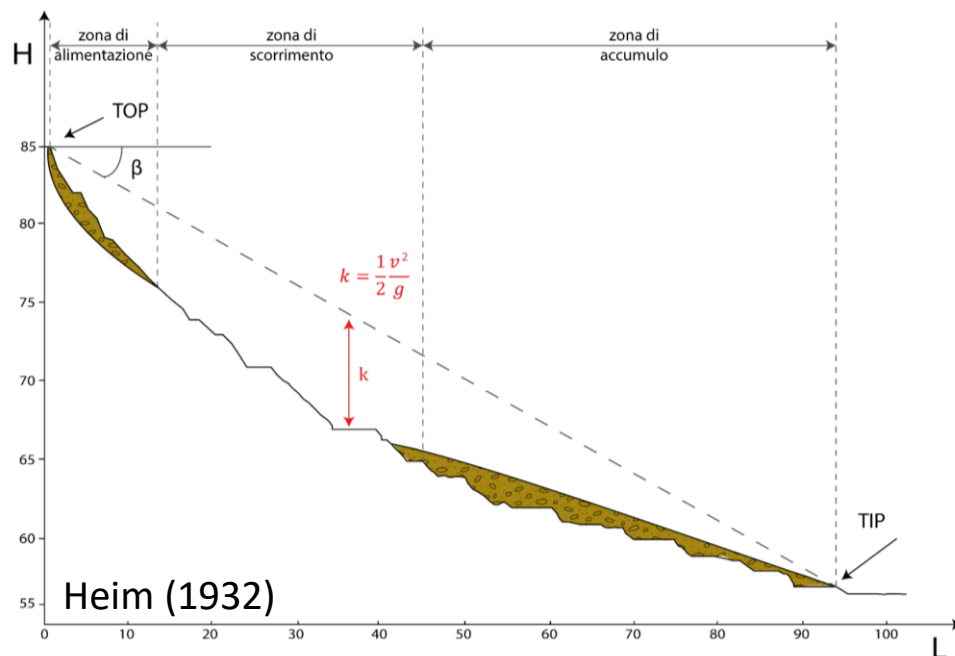
Classi di densità (A) definite in base a un algoritmo statistico che individua raggruppamenti naturali dei dati. Le classi risultanti saranno tali che ci sarà una varianza massima tra le singole classi e una minima varianza all'interno di ciascuna classe.

		VELOCITÀ DI DEFORMAZIONE DEL CLUSTER			
DENSITÀ DI FRANA		Vel1 Vel < 4mm/a	Vel2 4mm/a < Vel < 16mm/a	Vel 3 Vel > 16mm/a	Vel n Nessun cluster
	A0	I0	I1	I2	I0
	A1	I1	I2	I3	I1
	A2	I2	I3	I4	I2
	A3	I3	I4	I4	I3



INDICI DI INTENSITÀ DA FRANA

FRANE VELOCI



k esprime il carico cinetico, ovvero l'energia cinetica divisa per il peso della massa spostata; all'interno di una frana **k** è esprimibile come il semi-rapporto tra il quadrato della velocità di propagazione (**v**) e l'accelerazione di gravità (**g**)

$$k = \frac{1}{2} \frac{v^2}{g}$$

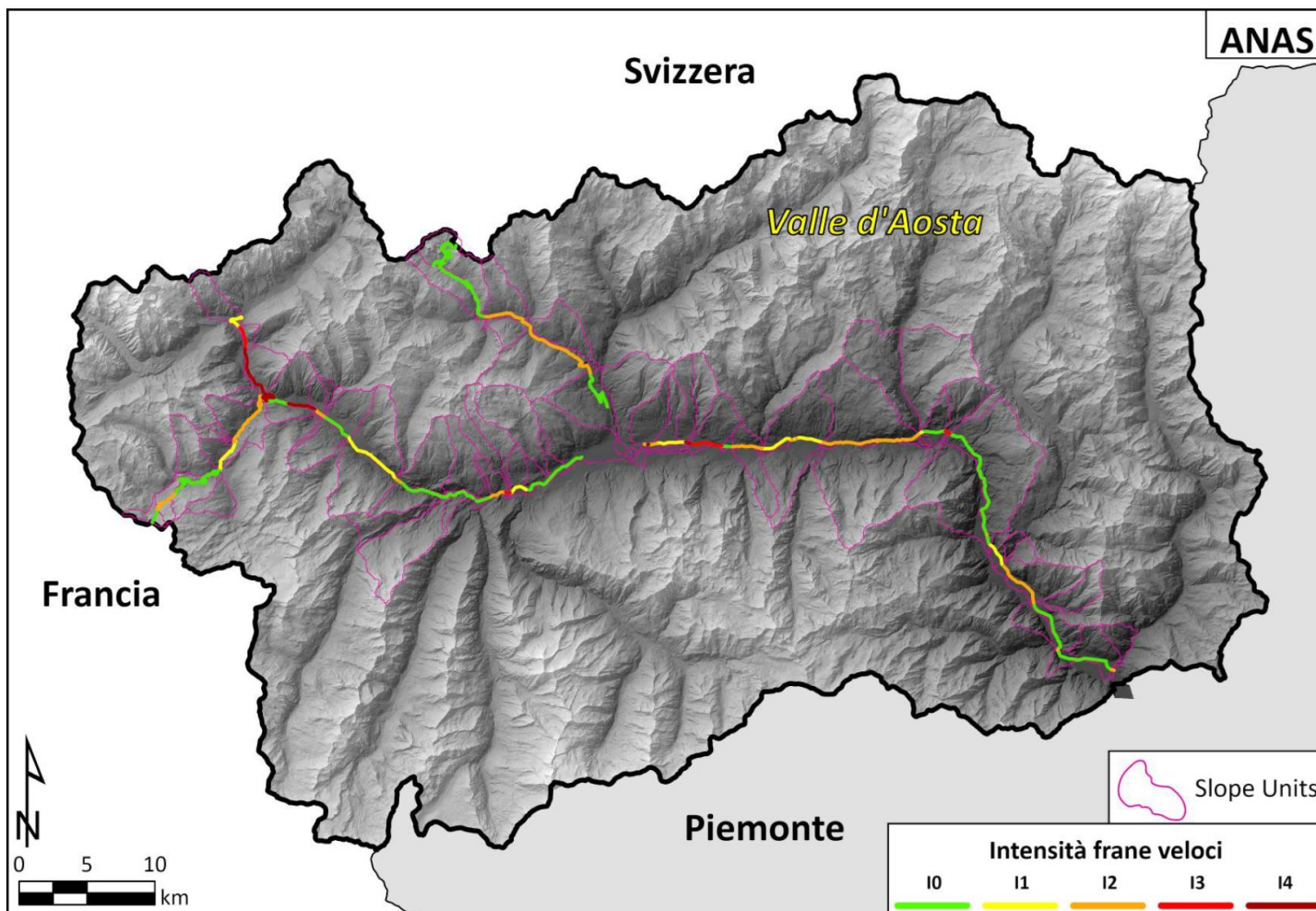
$$v(x) = (2kg)^{0.5}$$

		VELOCITÀ DELLA FRANA			
		Vel1	Vel2	Vel3	Vel4
DENSITÀ DI FRANA	A0	I0	I0	I0	I1
	A1	I1	I2	I2	I3
	A2	I1	I2	I3	I4
	A3	I2	I3	I4	I4



INDICI DI INTENSITÀ DA FRANA

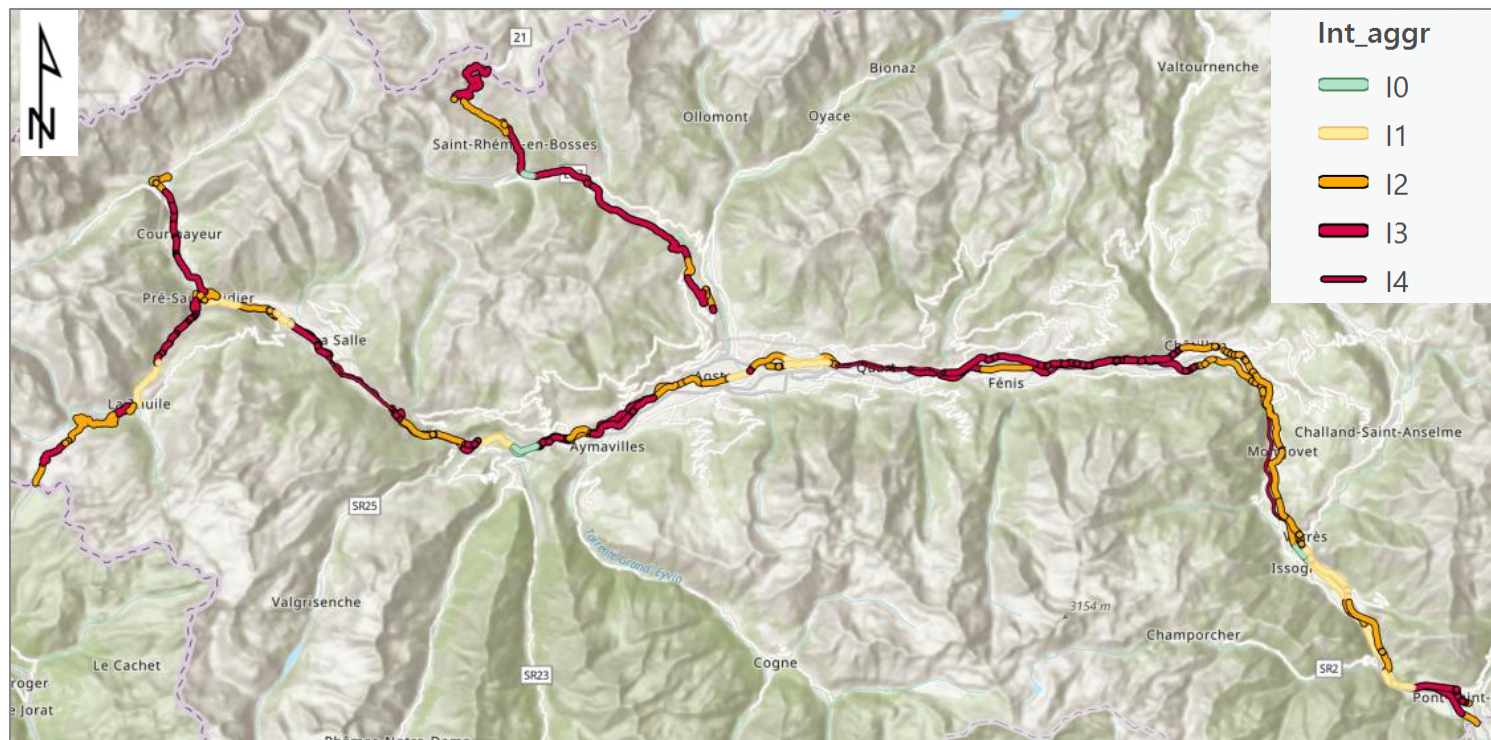
FRANE VELOCI





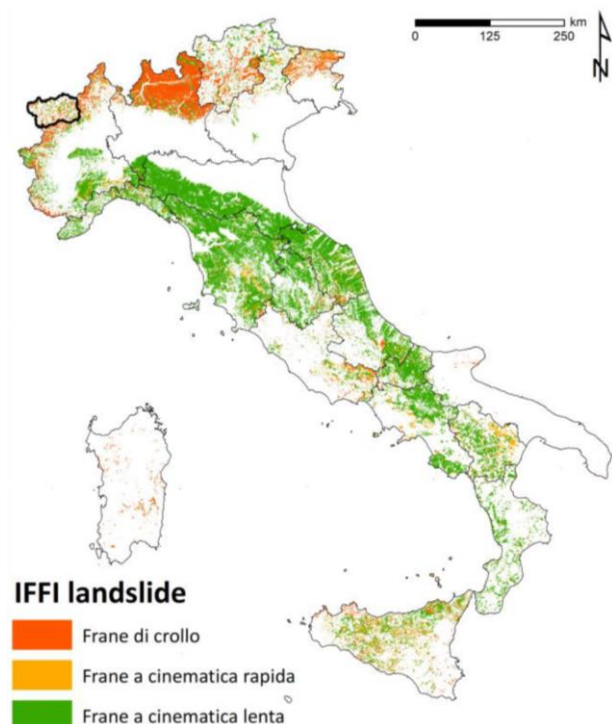
INDICI TOTALE DI INTENSITÀ DA FRANA

Determinata attribuendo a ciascun dei valori di intensità un peso derivante dal corrispondente valore di probabilità spaziale di accadimento frane, in modo da ottenere un valore finale che sia ponderato sull'**effettiva propensione del singolo tratto stradale ad essere interessato da frane di una determinata tipologia.**



LOOKING FORWARD...

Aggiornamento inventario IFFI su tutto il territorio italiano interferente con infrastrutture lineari



Classificazione infrastrutture lineari in termini di intensità di propensione al dissesto da frana



STRUMENTO DI PIANIFICAZIONE TERRITORIALE A SCALA NAZIONALE

Dott.ssa Federica Bardi, Ing. Nicla Di Stefano, Ing. Flavio Conato

Nuovi sviluppi nel monitoraggio dei versanti in frana: esempi applicativi nella pratica progettuale



Grazie per l'attenzione

*Dott.ssa Federica Bardi
Geologo Senior presso Italferr S.p.a.
Ing. Nicla Di Stefano
Ingegnere presso Italferr S.p.a.
Ing. Flavio Conato
Ingegnere presso Italferr S.p.a.*



Riconoscimento chiodi --> Object Detection (average precision 70/82%).

Riconoscimento funi e rete --> Segmentazione Semantica che permette la classificazione di ogni pixel come rete/fune oppure background (precision rete 89% e precision funi 72%).

Riconoscimento anomalia --> Change Detection con metrica di confronto SSIM (confronta la similarità tra due immagini).