



Seminario sull'utilizzo delle tecniche interferometriche satellitari: esperienze a confronto

L'approccio di analisi a scala regionale e l'interpretazione geologica del dato PS

Claudia Meisina, Davide Notti, Francesco Zucca
Dip. di Scienze della Terra e dell'Ambiente, Università di Pavia
claudia.meisina@unipv.it

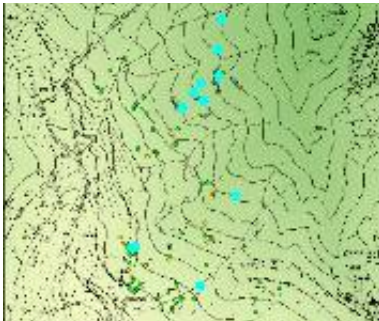
Indice

- ▶ Metodologia di interpretazione del dato interferometrico a scala regionale
 - ▶ Le aree anomale
 - ▶ Le aree aggregate
 - ▶ L'interpretazione
- ▶ Fattori che determinano la distribuzione dei bersagli
 - ▶ Tipi di bersagli
 - ▶ Tipi di sensori
 - ▶ Tipo di tecnica
- ▶ Tecniche di analisi del dato PS
- ▶ Problematiche
- ▶ Esempi di interpretazione



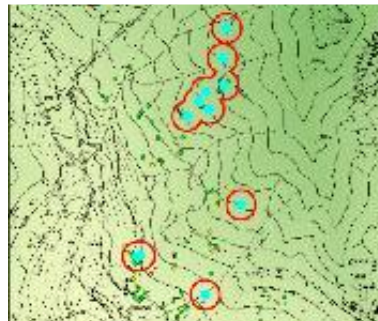
METODOLOGIA DI INTERPRETAZIONE DEL DATO INTERFEROMETRICO A SCALA REGIONALE

Velocity threshold



$-2 > \text{vel}_{\text{LOS}} > +2 \text{ mm/yr}$

Distance between PS



50m

PS number



> 3

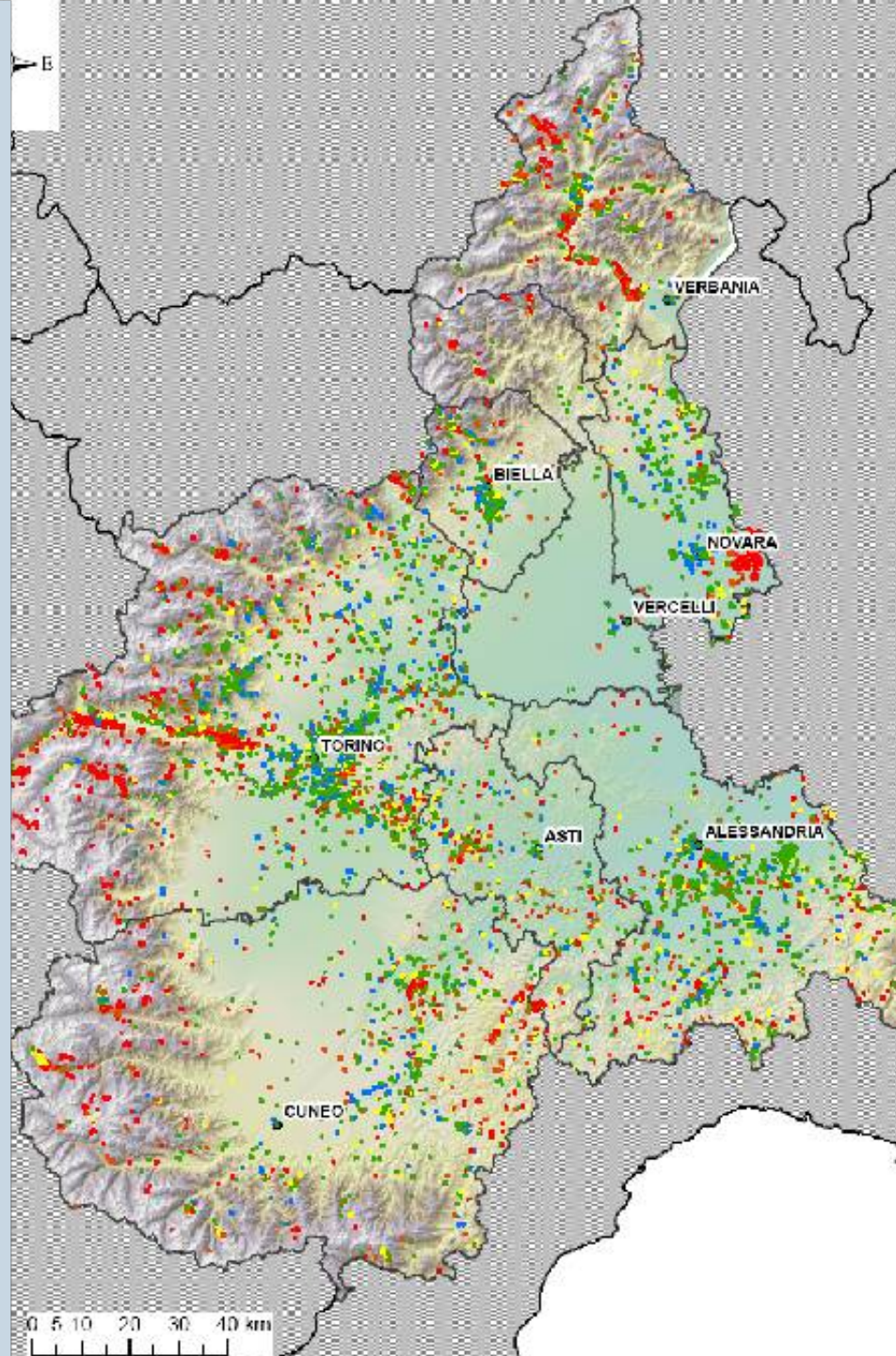
Obiettivi:

-realizzare una procedura su ambito esteso (l'intera regione) che metta in luce pattern deformativi locali basandosi sul contenuto informativo dei PS



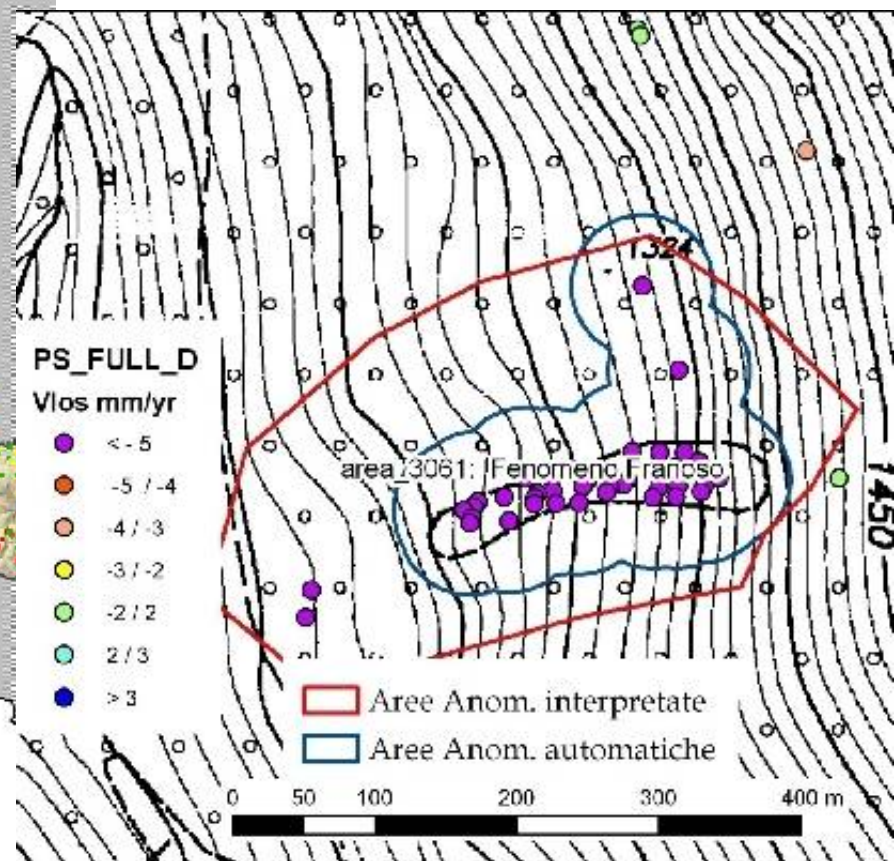
areas with "moving" PS
6452

LE AREE ANOMALE



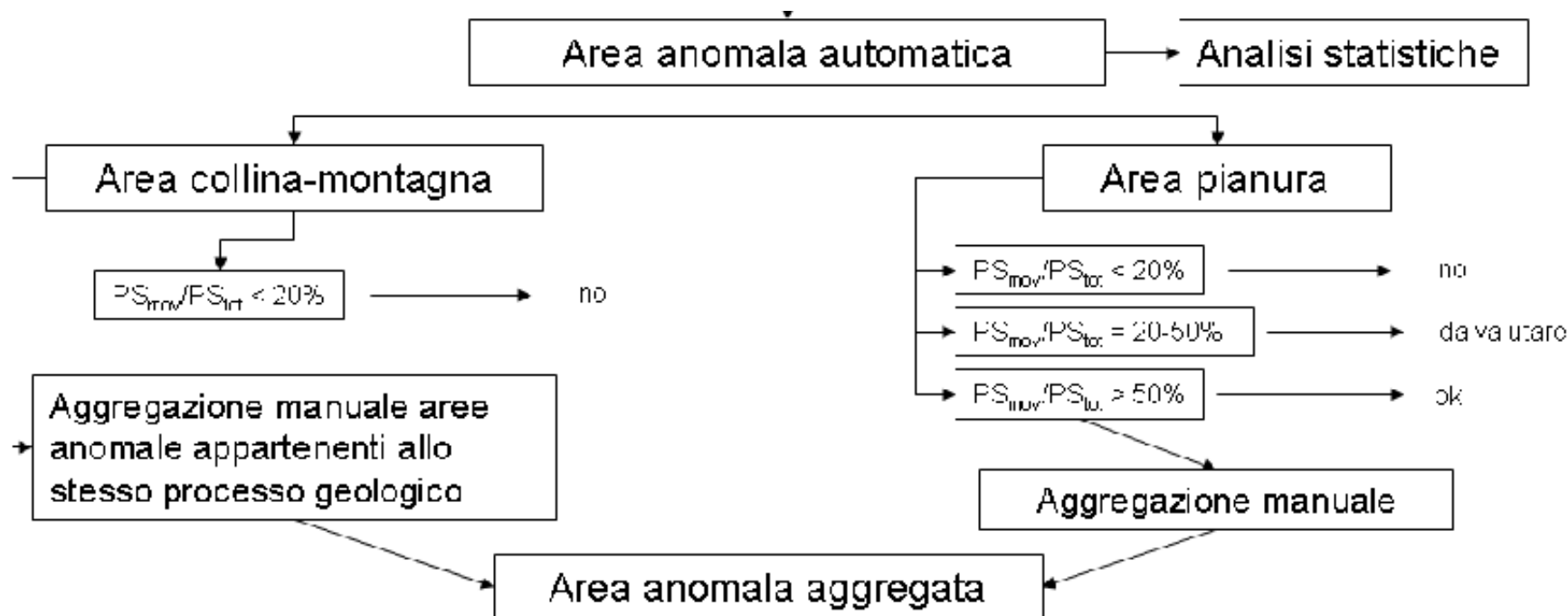
..le AREE ANOMALE per il PIEMONTE (+ di 6000)

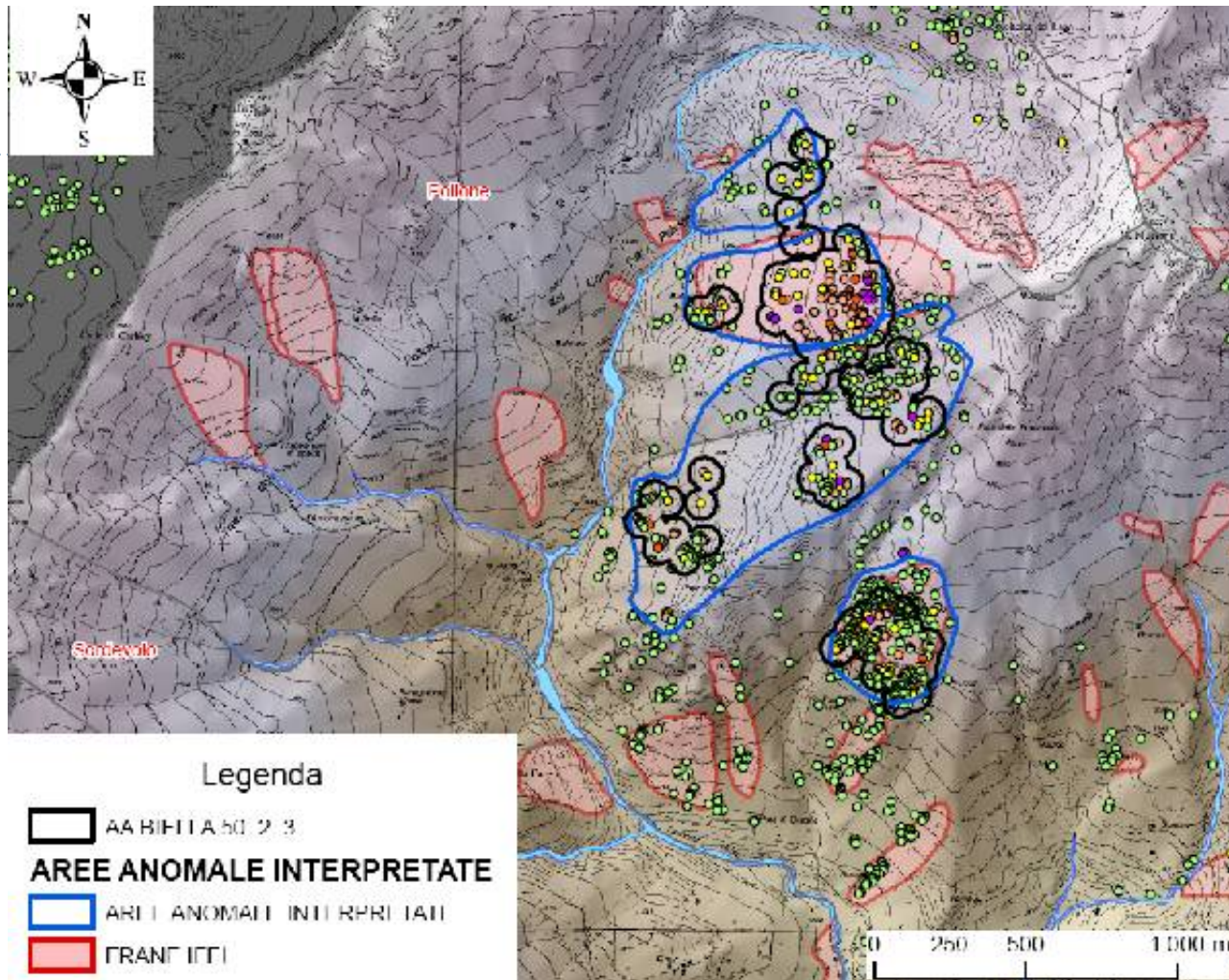
La forma dell'area NON corrisponde alla forma del PROCESSO!



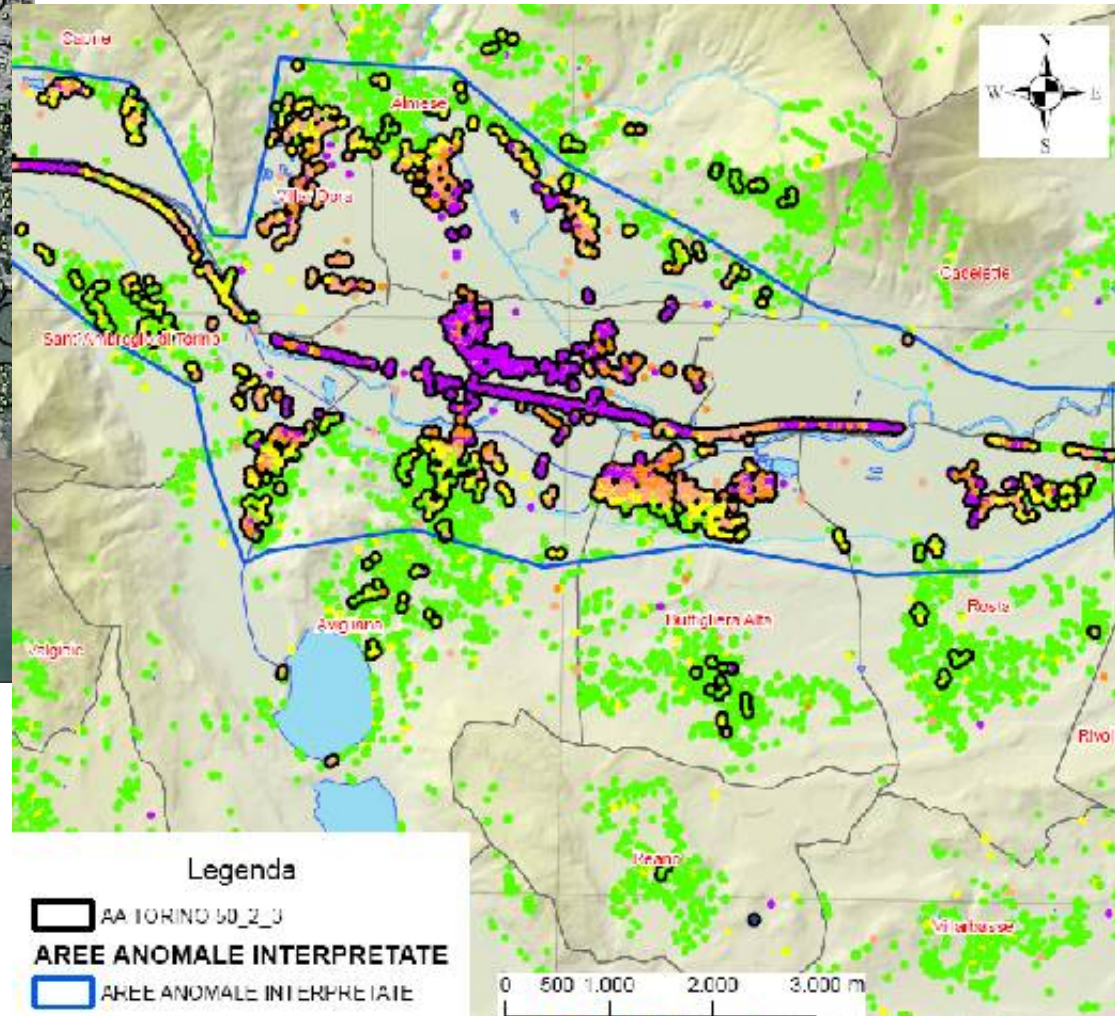
LE AREE AGGREGATE

Indice di omogeneità o ratio = PS_{mov}/PS_{tot}





Esempio di aggregazione di aree anomale automatiche – Comuni di Sordevole e Pollone (BI) in ambiente Alpino - Le aree anomale automatiche non sono state sempre aggregate, e in alcuni casi un'area anomala automatica è stata separata in due aree interpretate diverse; è presente una zona (1) con movimenti molto elevati in corrispondenza di una frana (DGPV del M. Mucrone), i settori attigui (2) hanno movimenti disomogenei imputabili al detrito di versante.

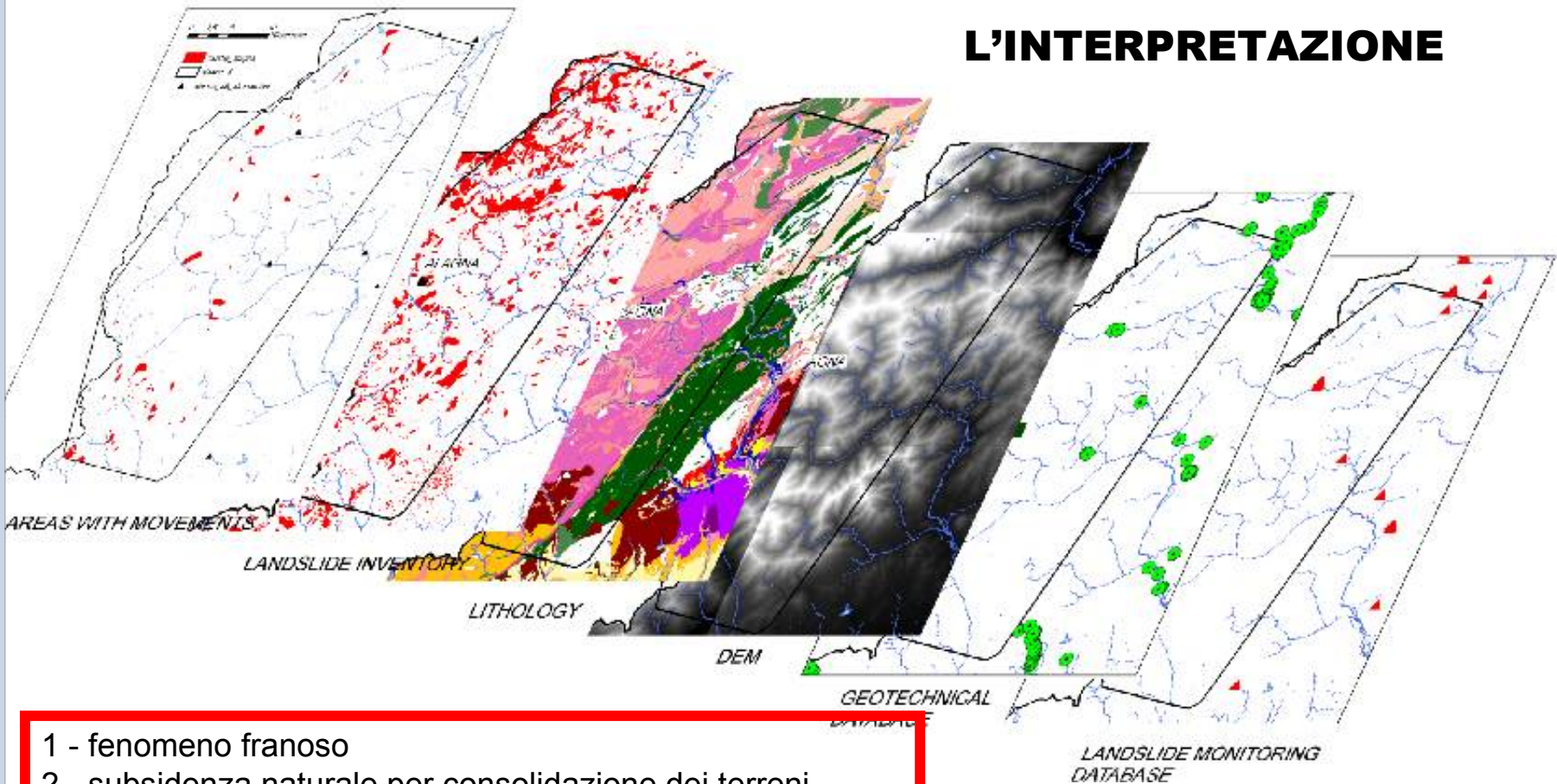


Aggregazione aree anomale in pianura

..le AREE AGGREGATE per il
PIEMONTE (2300)

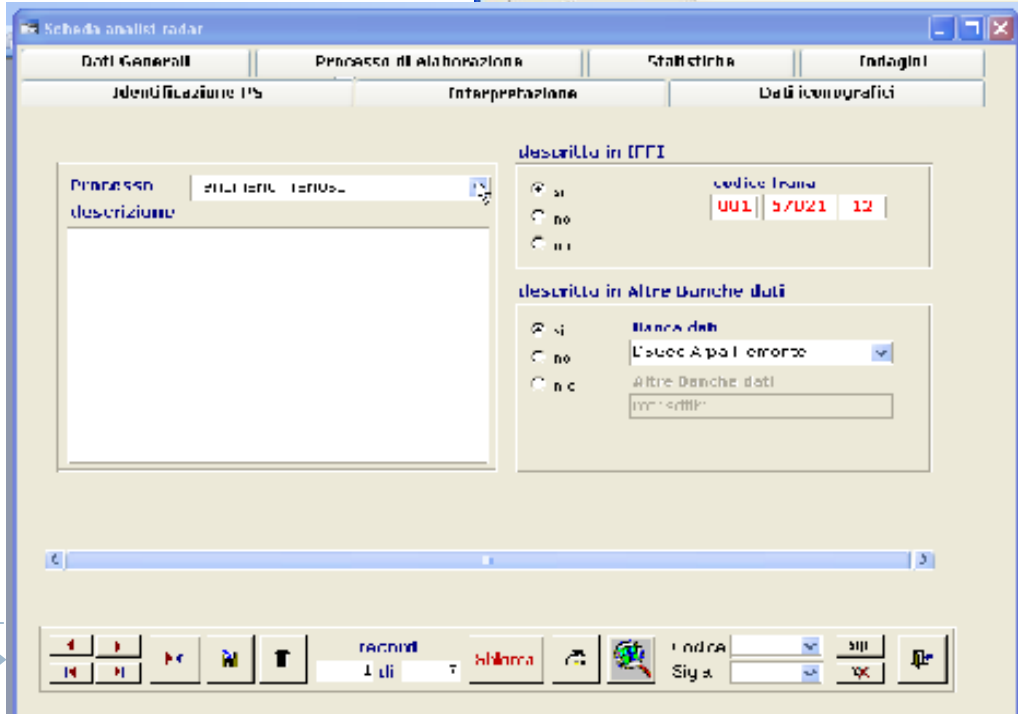
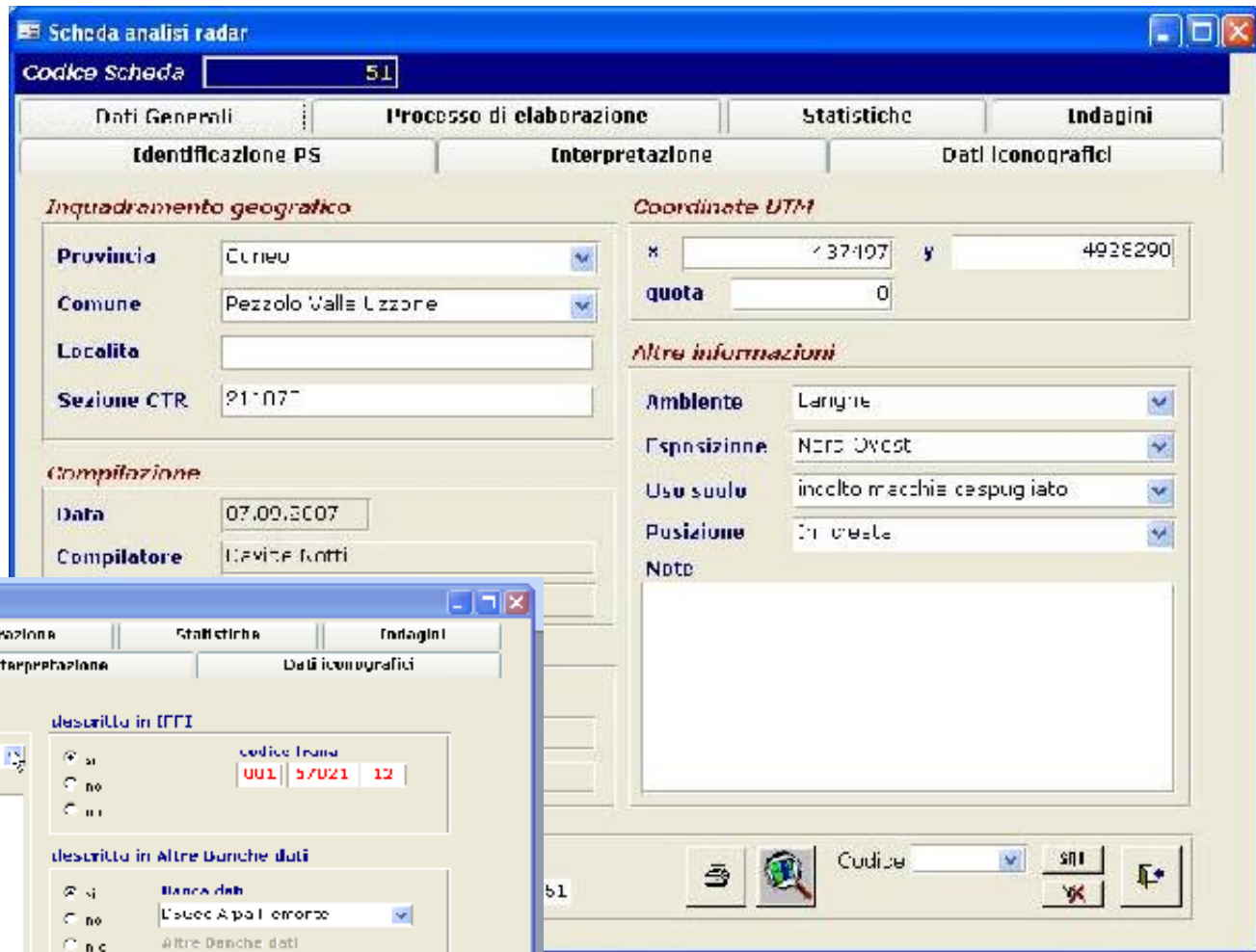
**Dati ERS elaborati
con la tecnica
PSInSAR**

L'INTERPRETAZIONE



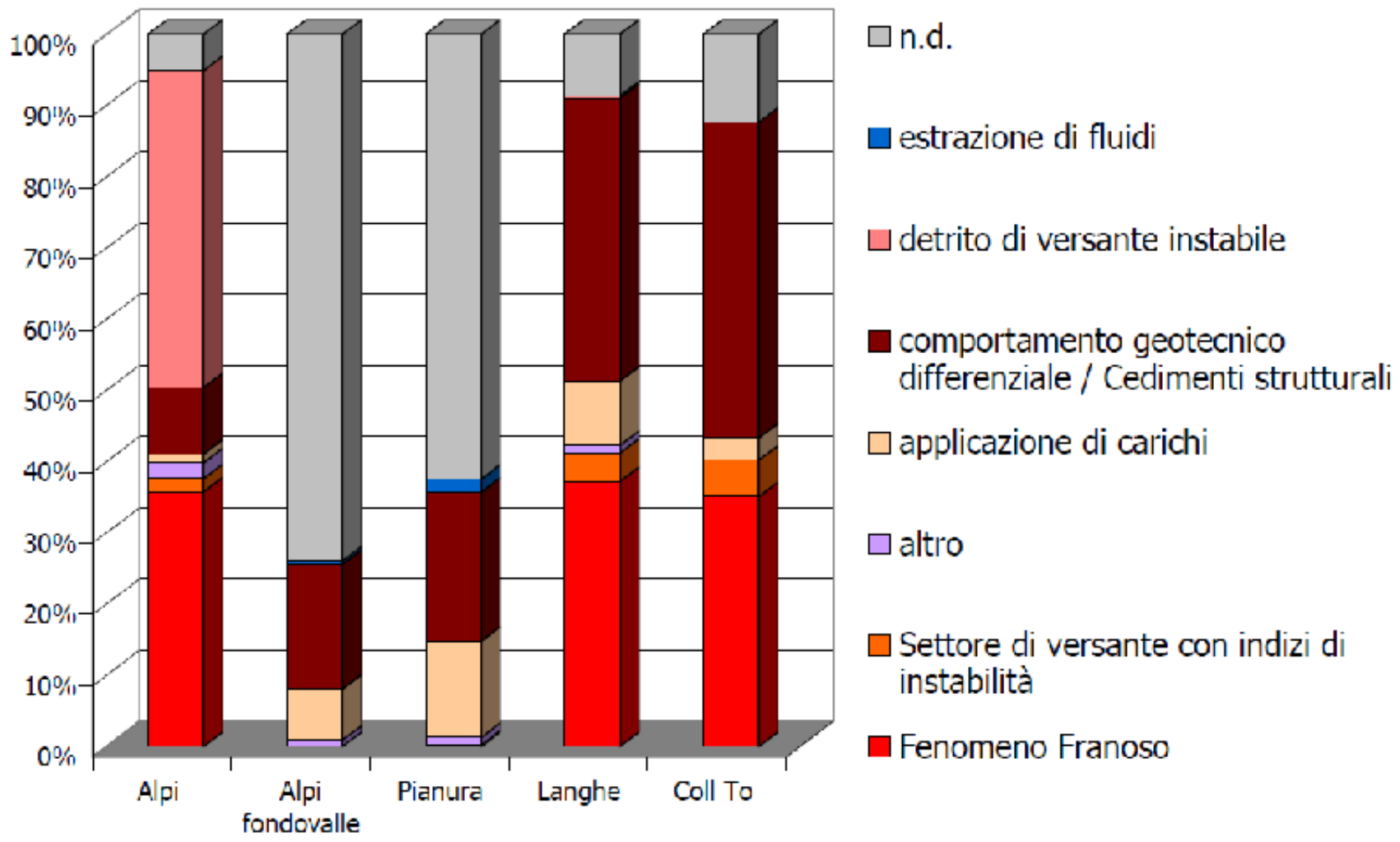
- 1 - fenomeno franoso
- 2 - subsidenza naturale per consolidazione dei terreni
- 3 - subsidenza naturale per fenomeni di dissoluzione
- 4 - subsidenza indotta da estrazione di fluidi
- 5 - subsidenza indotta da opere/attività in sotterraneo
- 6 - subsidenza indotta da applicazione di carico
- 7 - comportamento geotecnico differenziale o cedimenti puntuali
- 8 - instabilità del detrito di versante
- 9 - settore di versante con indizi di instabilità
- 10 - attività neotettonica e sismica
- 11 - n.d.

*Velocità,
RATIO,
distribuzione spaziale dei
PS,
tipologia di bersaglio*



Base-dati delle aree "anomale"

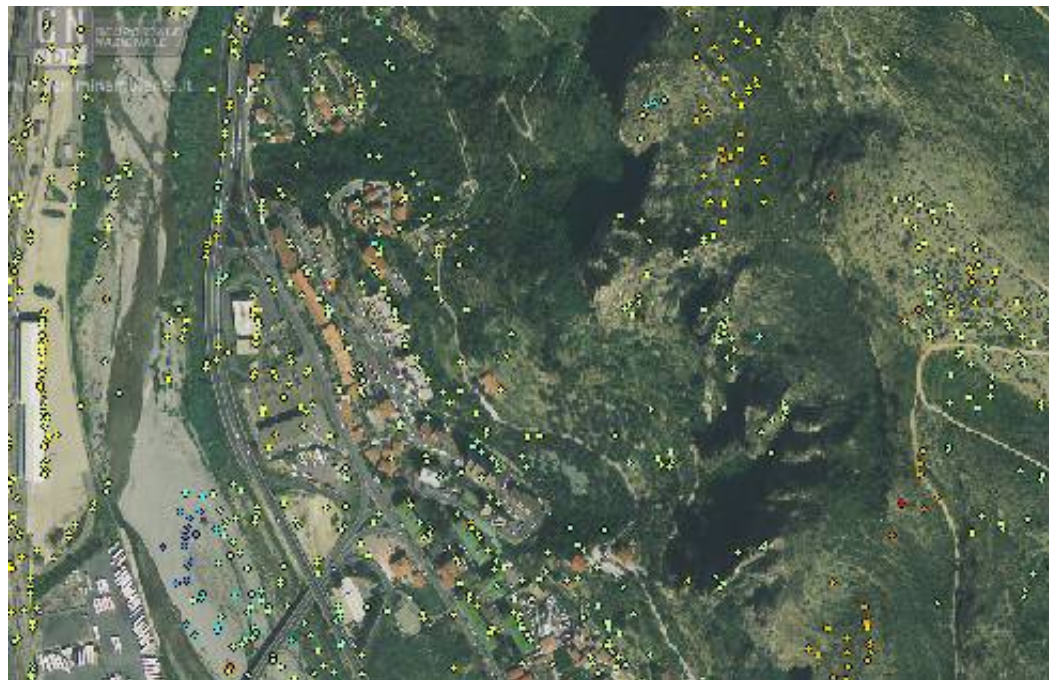
I



TIPI DI BERSAGLI

PS/DS in roccia
(conglomerati)
(Roverino,
Ventimiglia)

DS in
corrispondenza di
depositi alluvionali



PS/DS
corrispondenti a
detrito (alpi
piemontesi)

FATTORI CHE DETERMINANO LA DISTRIBUZIONE DEI BERSAGLI

Tipologie di PS e densità nei diversi ambienti geologici (ERS -) (Piemonte)

Main geological Regions	Density PS/km ²	PS = buildings
Monferrato / Langhe	26	> 80 %
Apennines	10	> 80 %
Alps	23	< 40 %



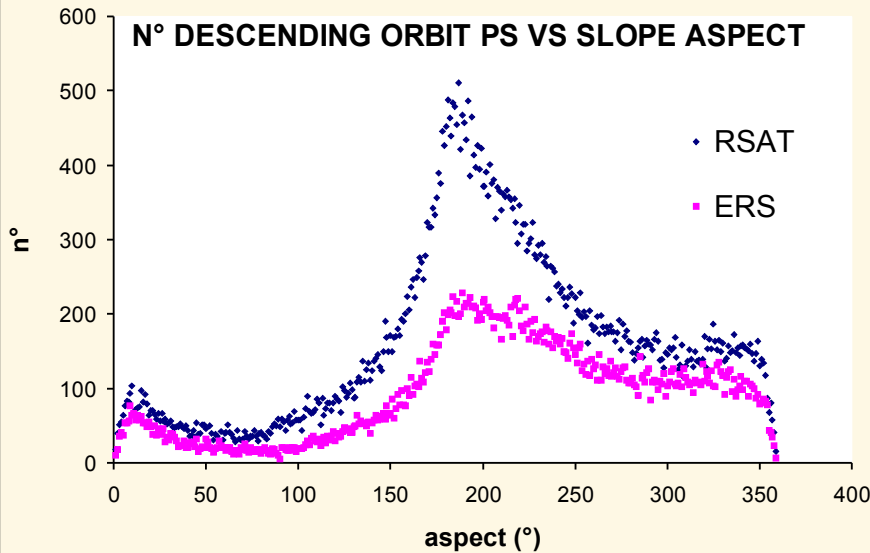
a) Ambiente geologico

height above sea level (m)	PS /km ²		
	ERS	RSAT	% PS on buildings
0-500	156	233	> 90
500-750	45	79	80 - 90
750-1000	26	44	60 - 80
1000-1250	20	38	30 - 60
1250-1500	10	15	15 - 30
1500-2000	6	13	5 - 15
2000-2500	11	40	0 - 10
2500-3000	10	43	≈ 0
>3000	3	15	≈ 0

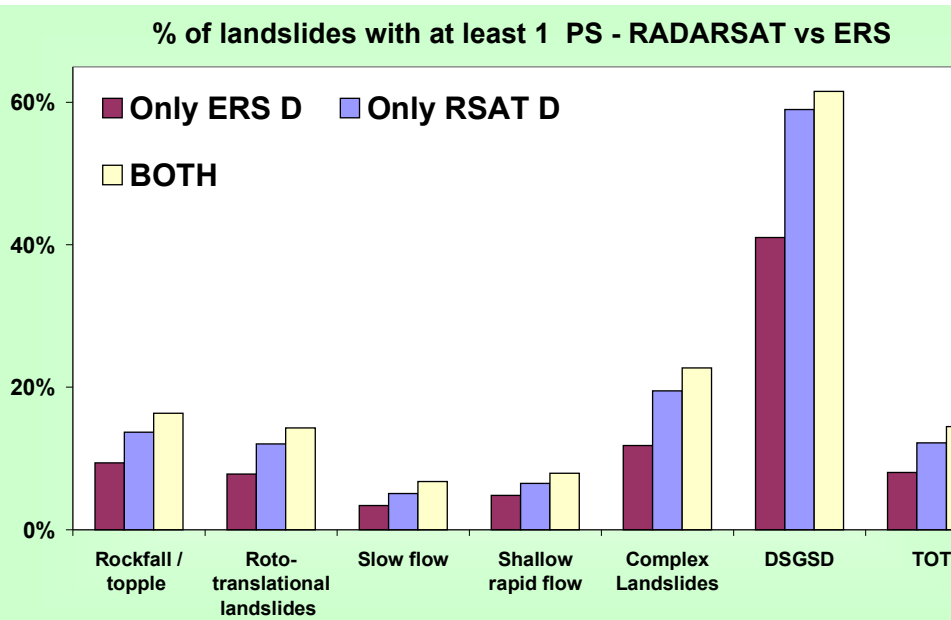
Densità PS vs altitudine in ambiente alpino (Lombardia)

b) Geometria di acquisizione e Tipo di sensore

Utilizzando un sensore con un tempo di rivisitazione più breve (RADARSAT) permette di ottenere un aumento di PS/DS.

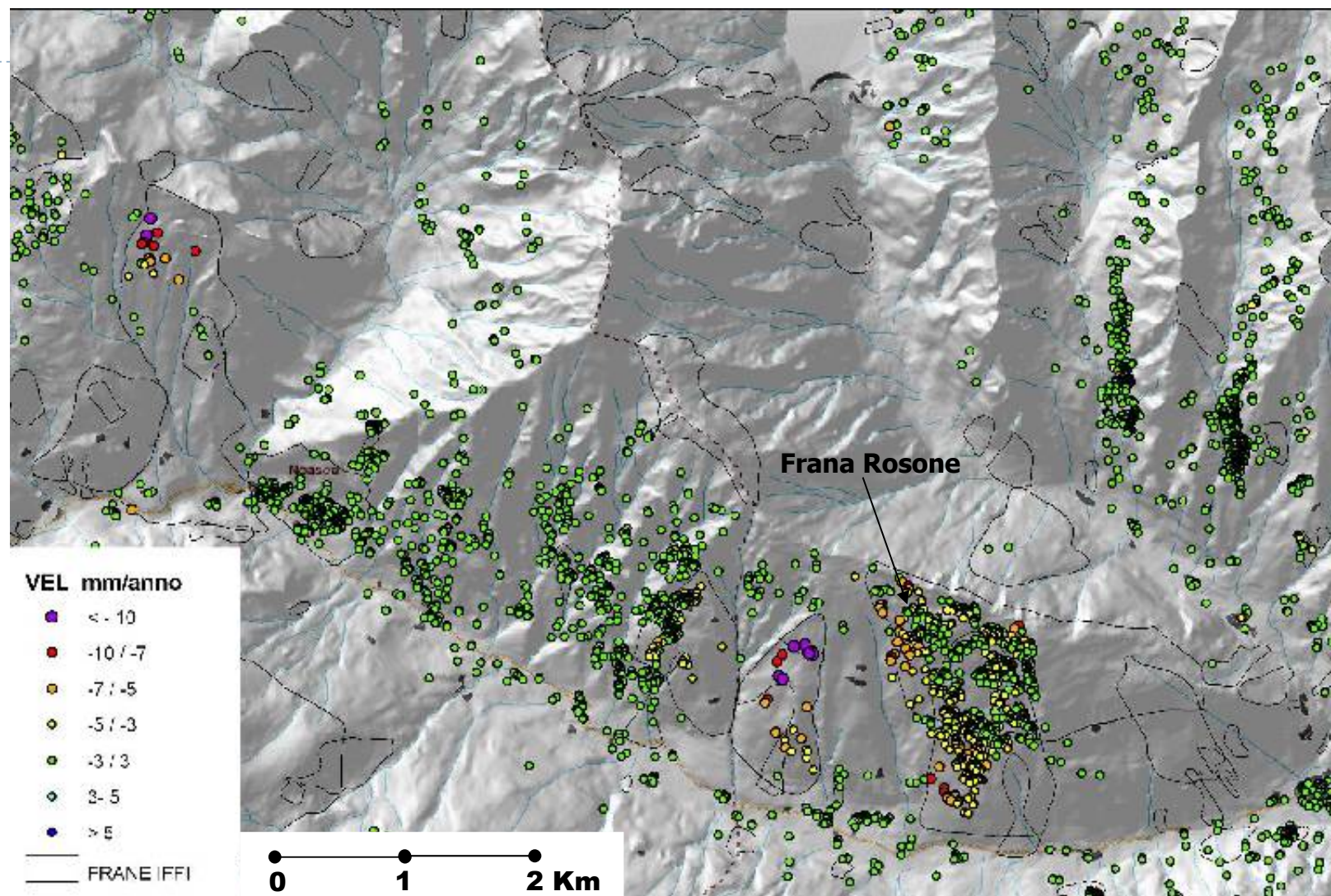


% OF LANDSLIDES WITH 1 OR MORE PS				
Type	RA	RD	RA or RD	RA & RD
Rockfall / topple	9%	16%	22%	4%
Roto-translational landslides	11%	14%	20%	6%
Slow flow	13%	13%	19%	6%
Complex Landslides	14%	25%	32%	7%
DSGSD	55%	71%	77%	49%
ALL	10%	15%	20%	5%



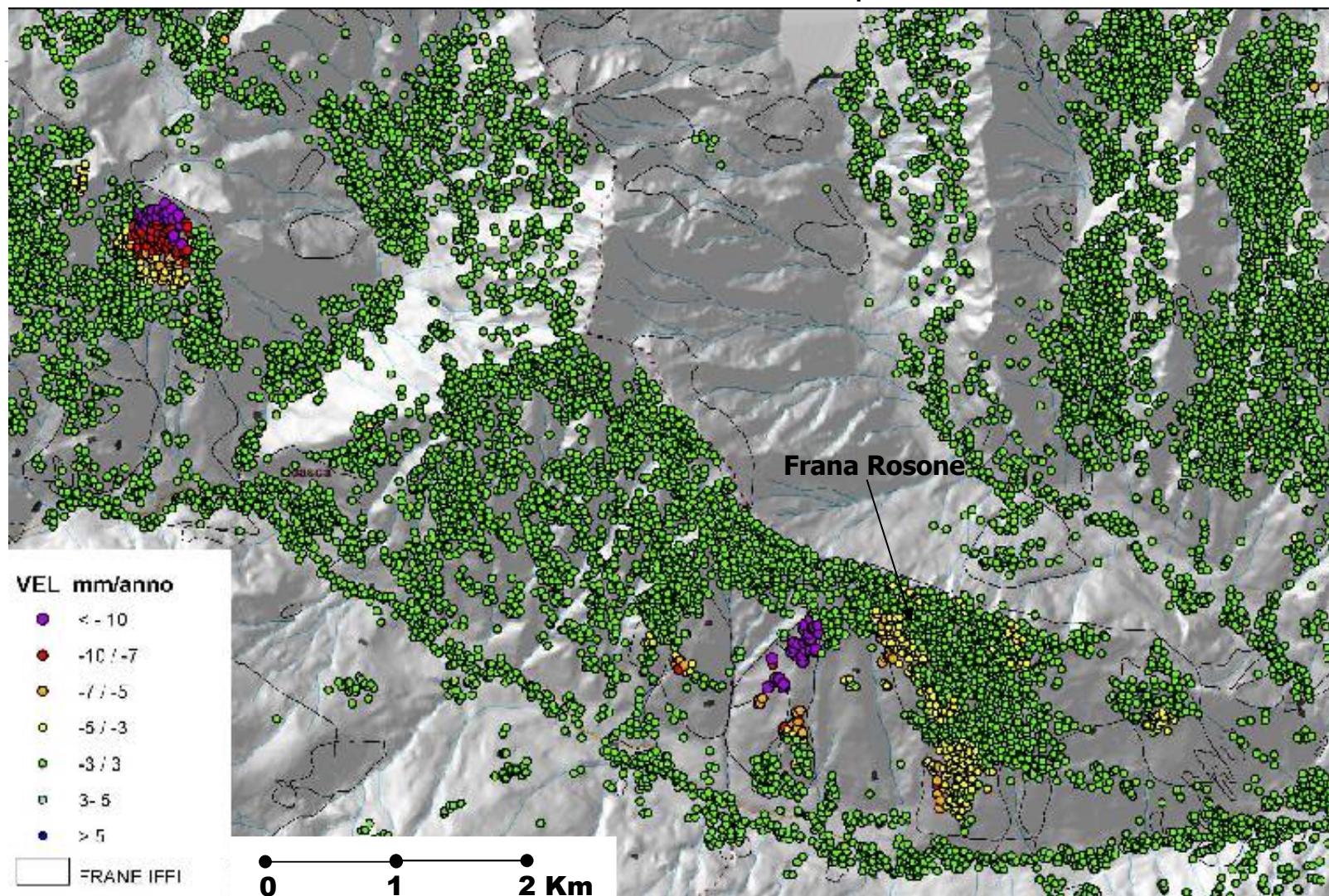
Percentage of landslide with almost 1 PS detected using different geometries of acquisition (R: RADARSAT data), A = ascending orbit; D= descending orbit .

Dati ERS – Discendenti Processamento PSInSAR



c) Tipo di tecnica

Dati Radarsat – Discendenti Processamento SqueeSAR

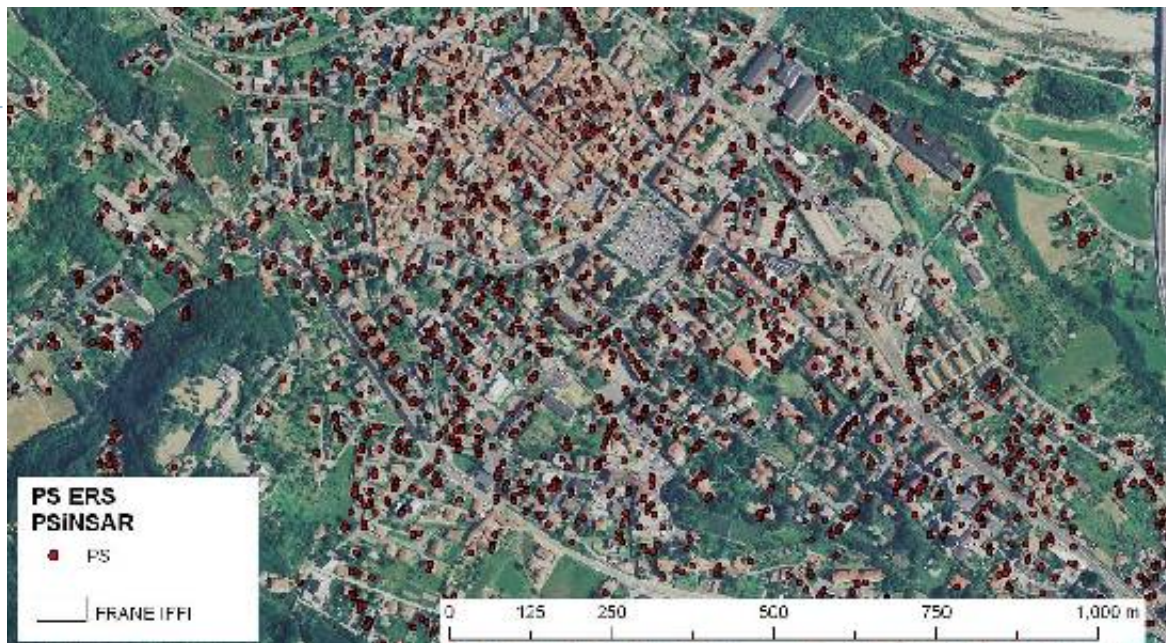


Aumento della densità di dato PS-DS

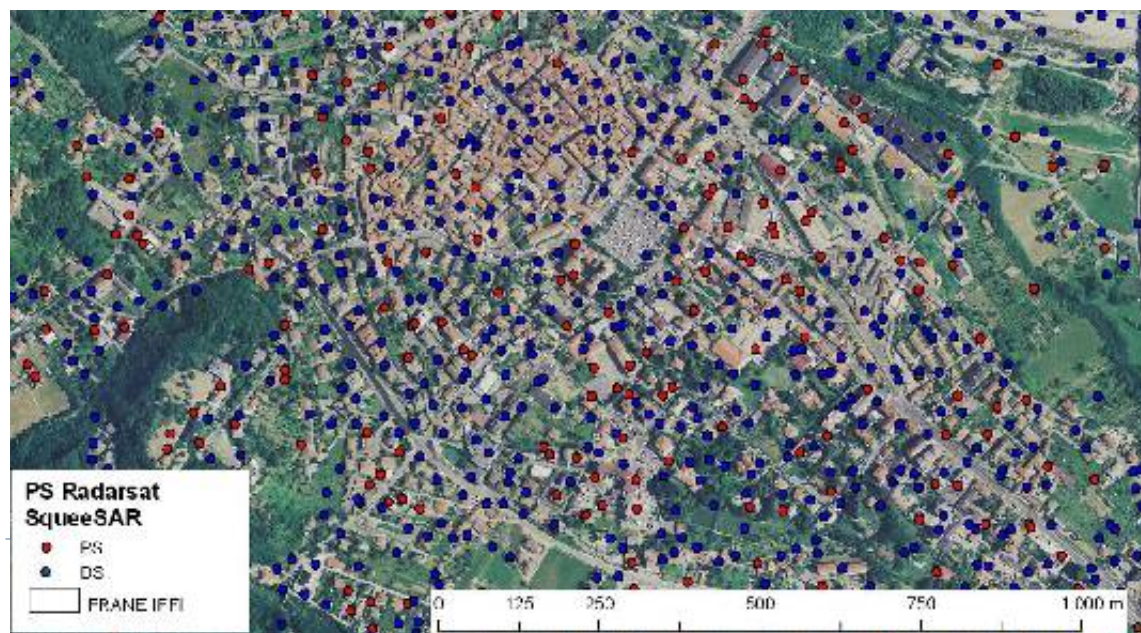
Nelle aree con detrito, pascoli / praterie di alta quota notevole aumento di densità del dato grazie ai DS (dataset Prigelato)

LAND USE	Density PS/km ²			% PS
	PS + DS	PS	DS	
Buildings	571.5	190.1	381.4	33.3%
Highway	511.0	160.6	350.3	31.4%
Railways	391.6	49.9	341.8	12.7%
Urban area general	299.2	56.4	242.8	18.9%
Mountains Grassland	83.9	3.4	80.5	4.1%
Debris and rock	81.1	4.2	76.9	5.2%
Grass land	51.6	3.5	48.1	6.8%
Cultivate field	48.0	7.5	40.4	15.7%
Beechwood	16.1	0.8	15.3	4.9%
Chestnut wood	13.3	1.1	12.2	8.2%
larch wood	8.2	0.2	8.0	2.6%
All area	63	8	54	13%

Are Urbanizzate il dato cambia poco



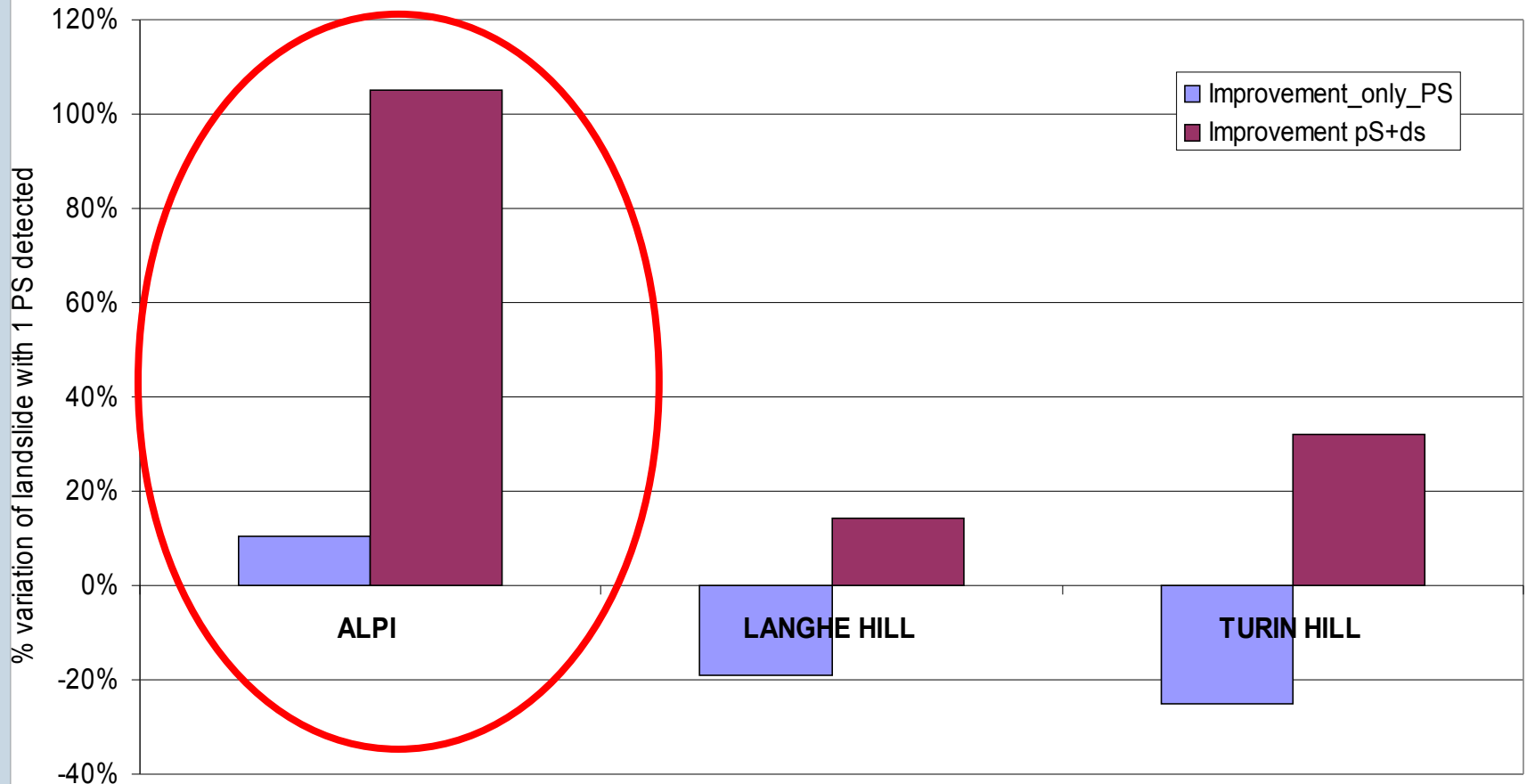
Ciriè
(TO)



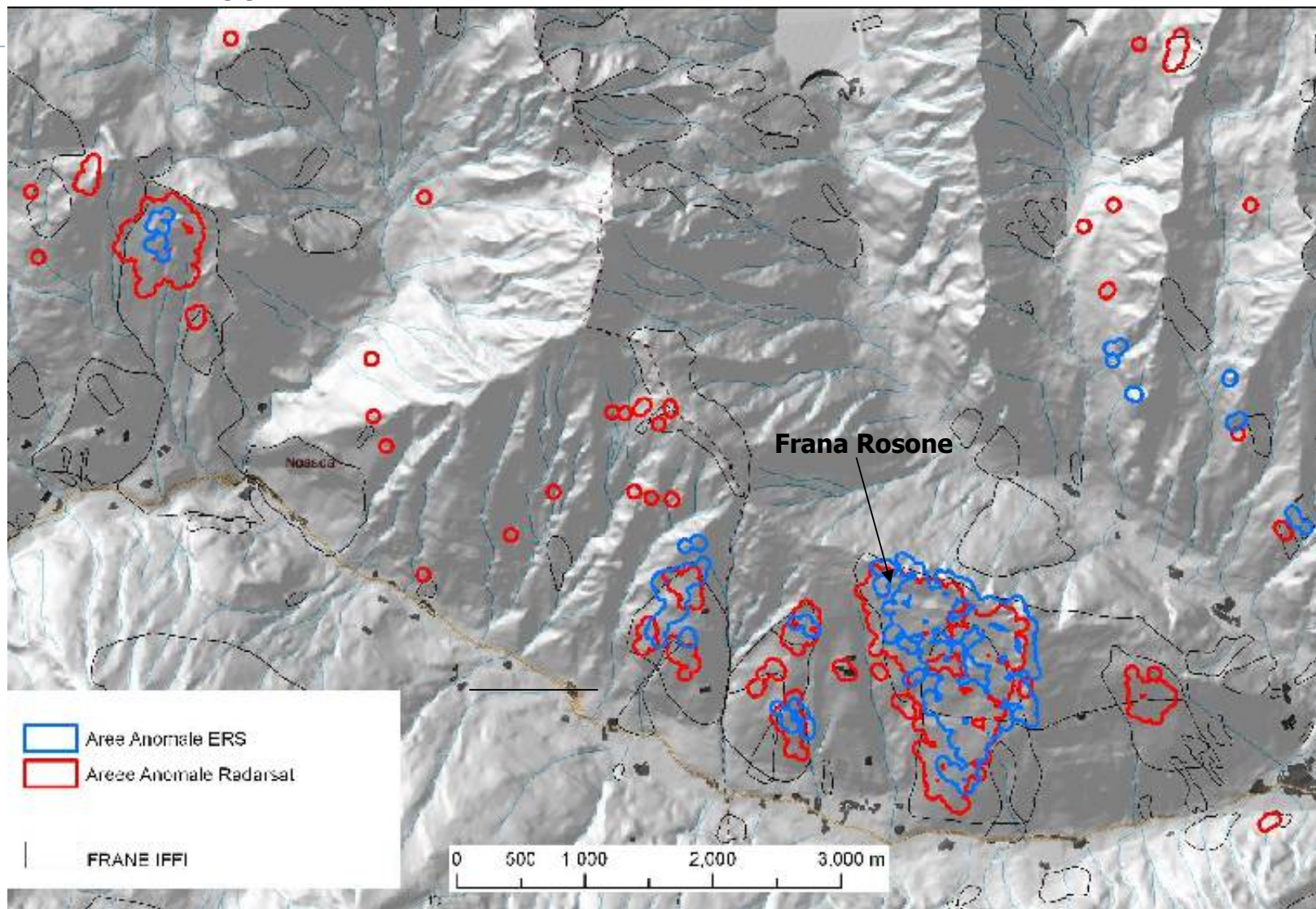
Aumento della densità di dato PS/DS

Rispetto ai vecchi ERS processati con il metodo PSInSAR, le frane con almeno 1 PS/DS sono raddoppiate per le Alpi, aumentate del 20 – 30 % nelle Langhe e nella Collina di Torino. (RDARSAT – SqueeSAR)

Radardat VS ERS

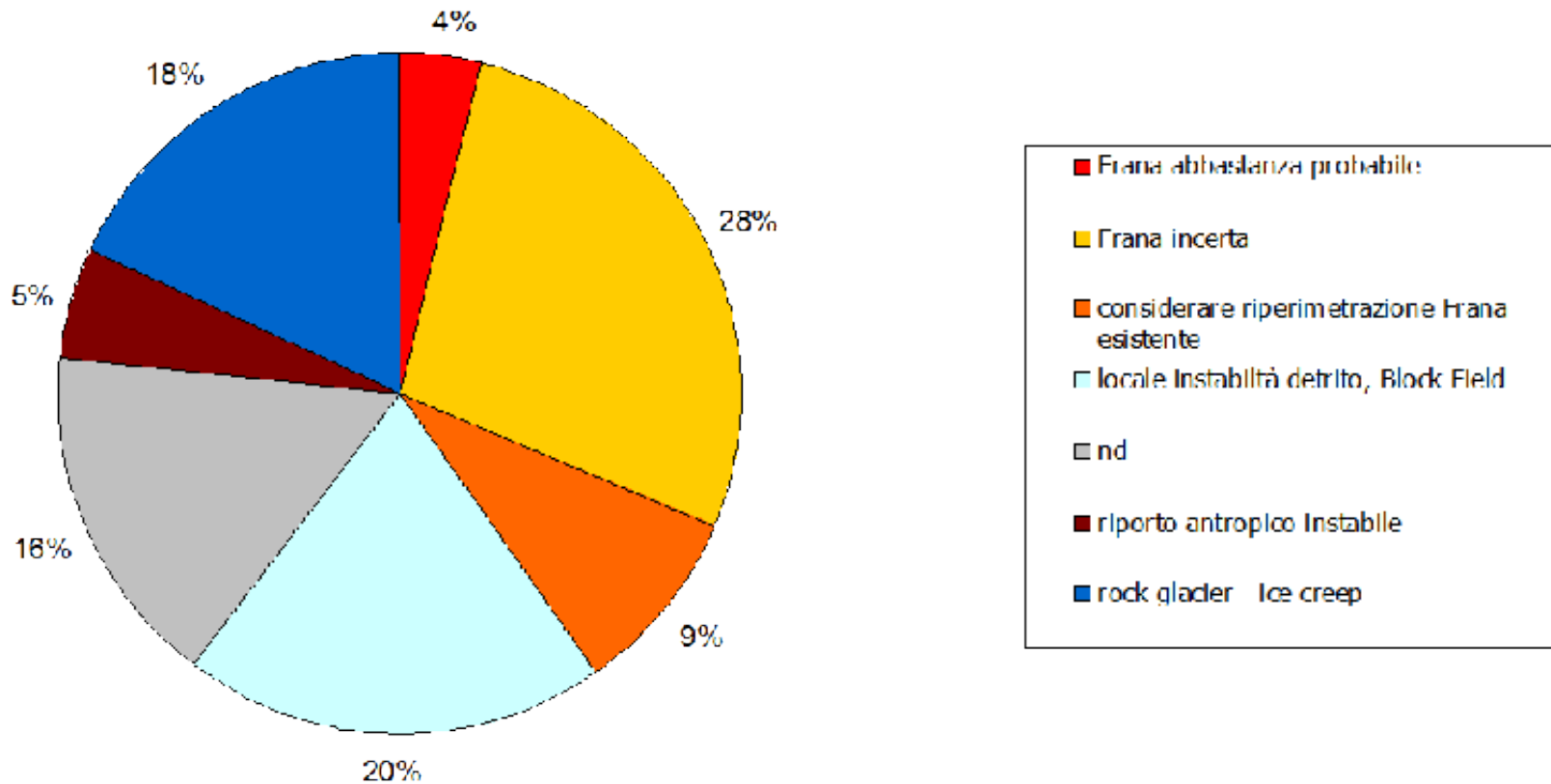


Aree Anomale ERS/RADASAT: le anomalie maggiori sono confermate, con una maggiore densità

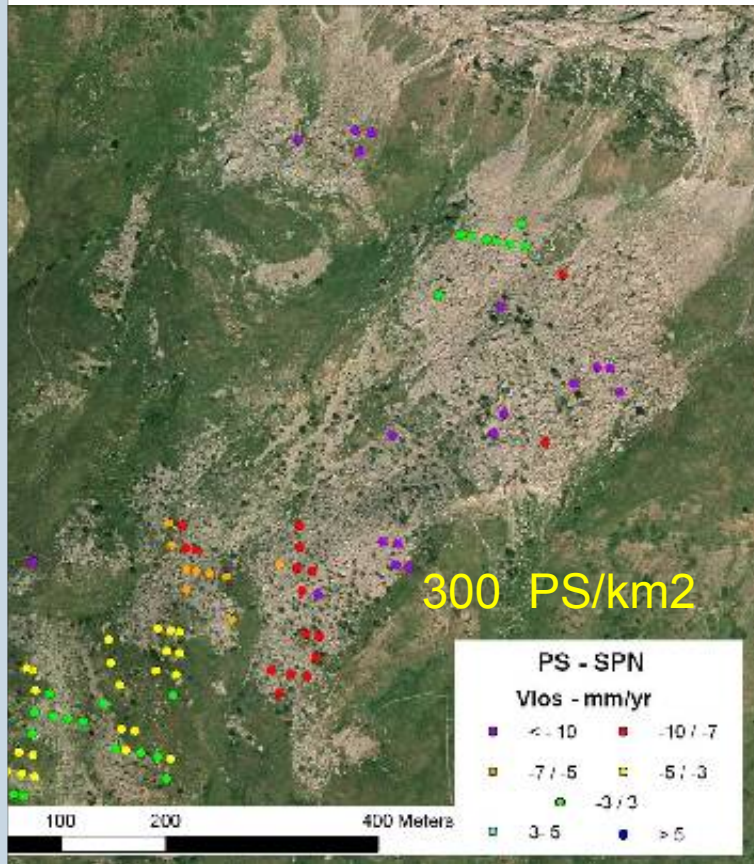


Una rapida interpretazione del dato Radarsat, su pendio, i fenomeni rilevati sono gli stessi, una novità sono alcuni processi lenti legati, probabilmente soliflussi, geliflussi o rock-glacier

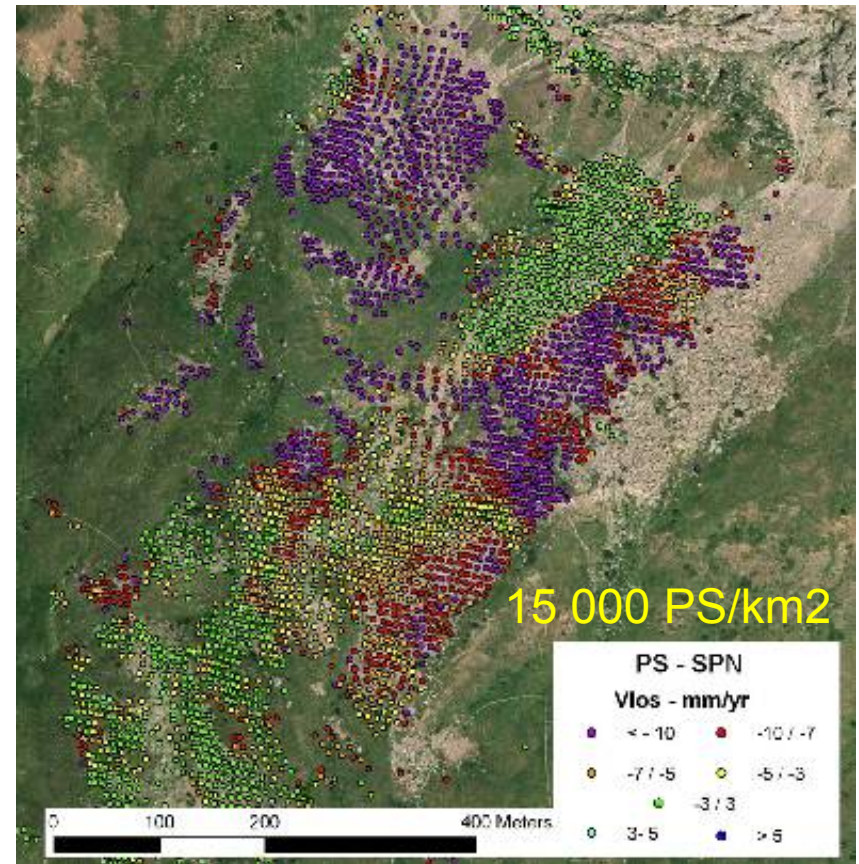
Area Anomale con dato Radarsat



A – ERS , ENVISAT

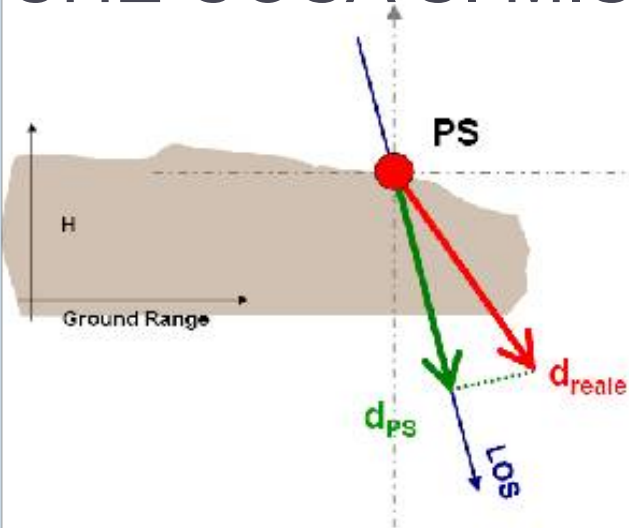


B – TerraSAR-X

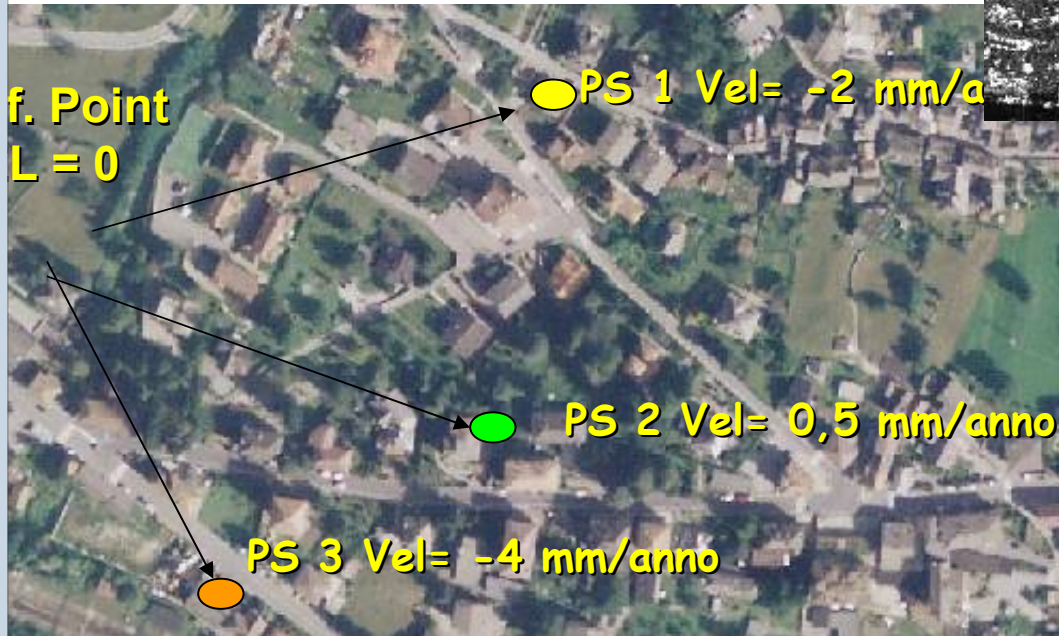
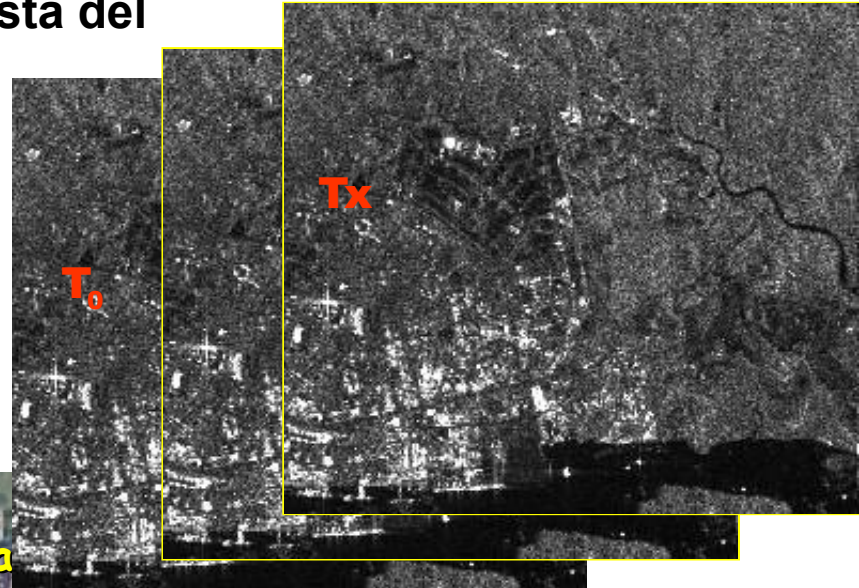


PS data: SPN Elaboration (Stable Point Network, Arnaud et al., 2003; Duro et al., 2005) - Formigal (Spain).

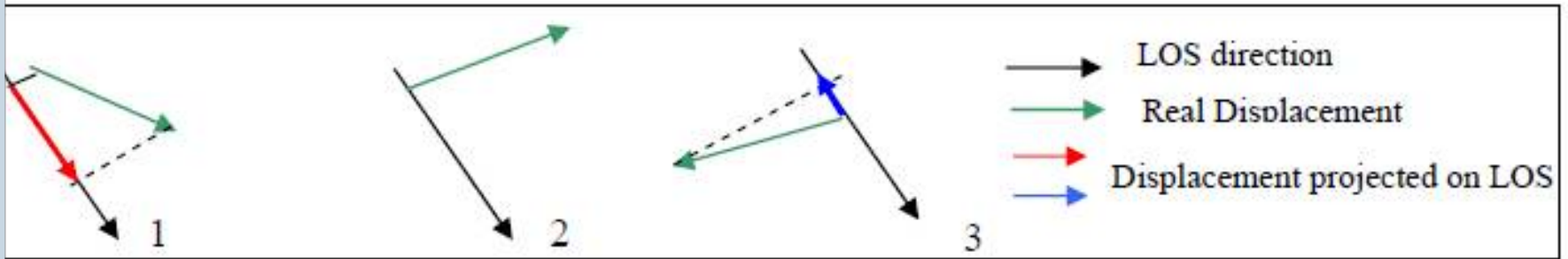
CHE COSA SI MISURA



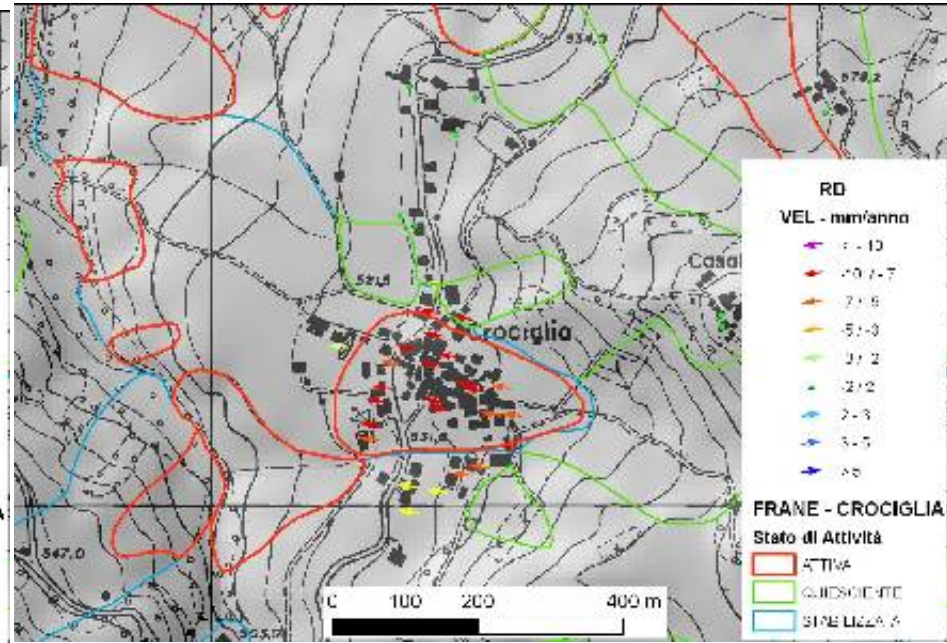
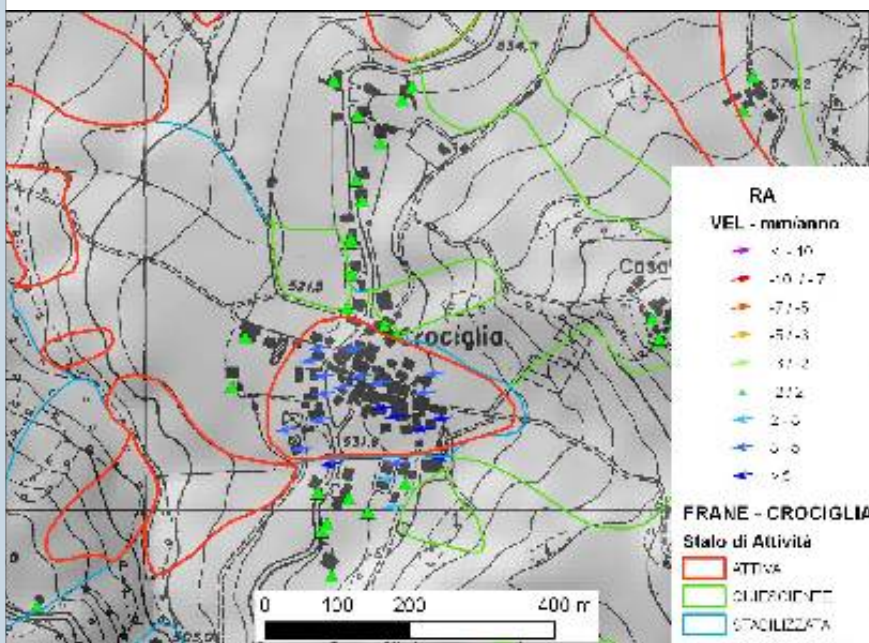
Spostamenti lungo la direzione di vista del satellite (LOS)



Movimenti relativi nello spazio (rispetto ad un reference point) e nel tempo (rispetto ad un'immagine master)



Caso 1 Spostamenti reali \approx spostamenti lungo LOS. **Caso 2.** Lo spostamento \acute{e} ortogonale alla LOS: nessun movimento viene misurato. **Caso 3** il movimento \acute{e} verso il basso ma \acute{e} misurato come positivo



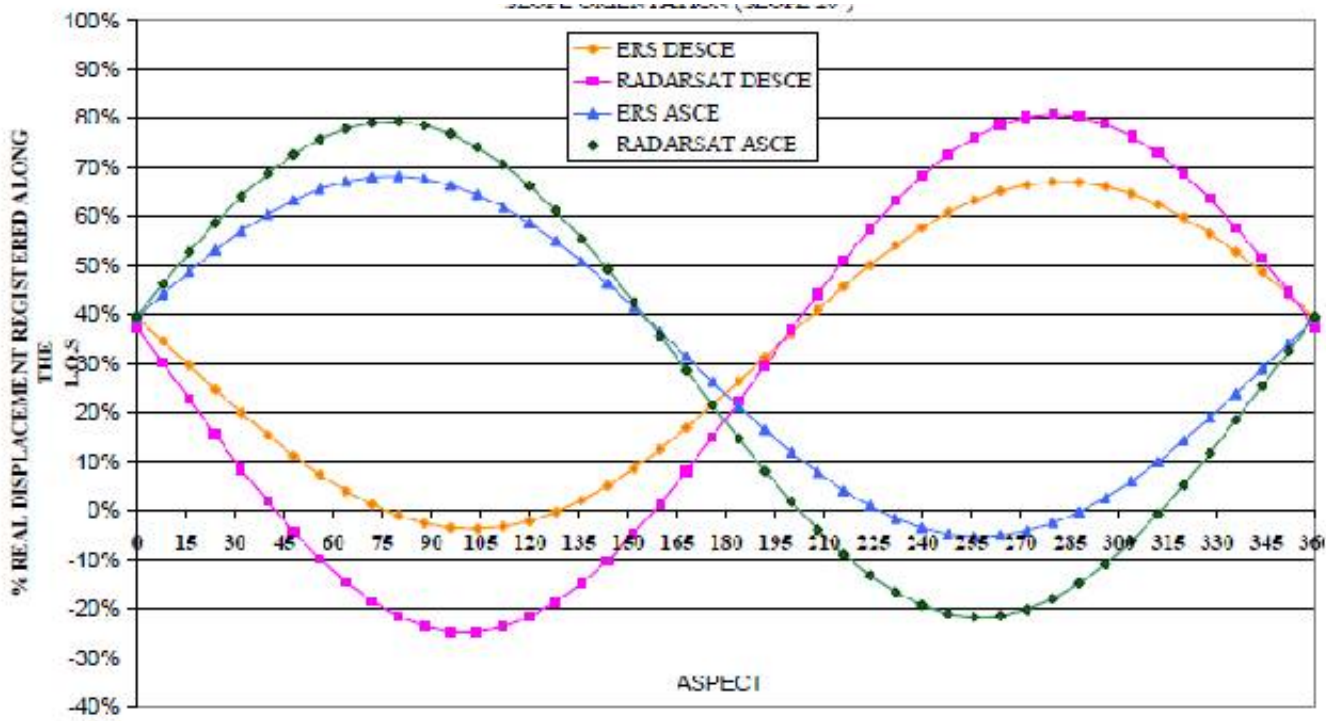
Dati RADARSAT ascendenti

Dati RADARSAT discendenti

Effetto apparente di sollevamento

variabilità della componente di deformazione misurata per mezzo dell'interferometria SAR radar in funzione dell'orientazione della direzione reale di deformazione

% di movimento reale misurato lungo LOS vs esposizione dei versanti (slope = 20°)

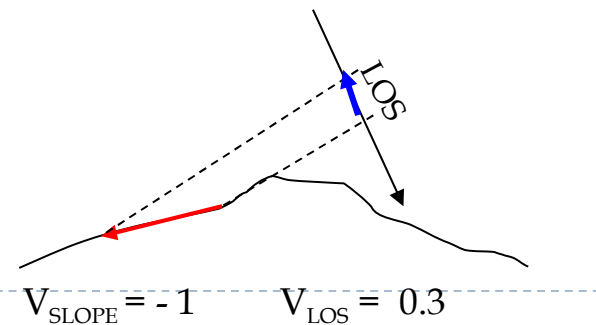
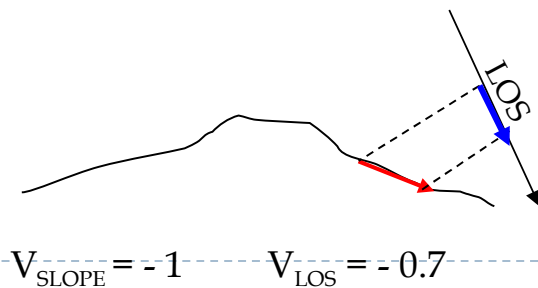


Notti, 2010

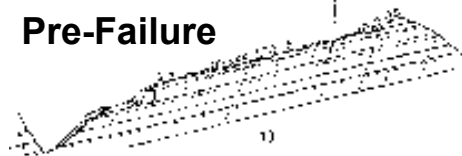
Velocita registrate sono quelle reali solo quando:

L.O.S. // MOVIMENTO REALE

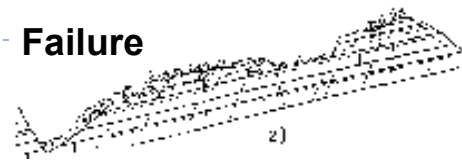
...una possibile soluzione
La proiezione della V_{LOS} lungo il pendio



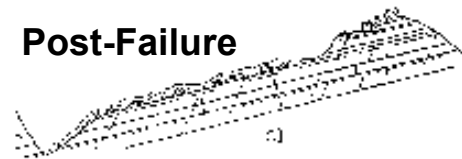
Pre-Failure



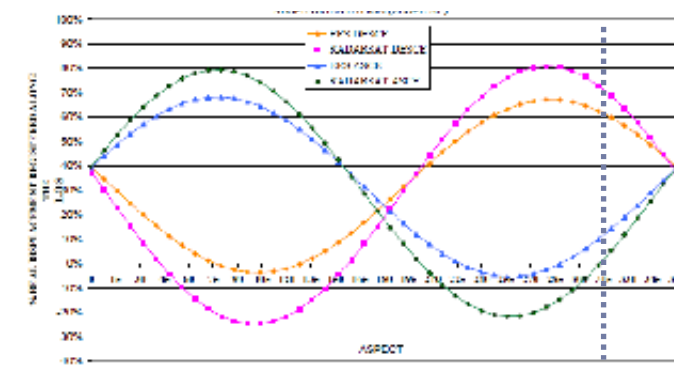
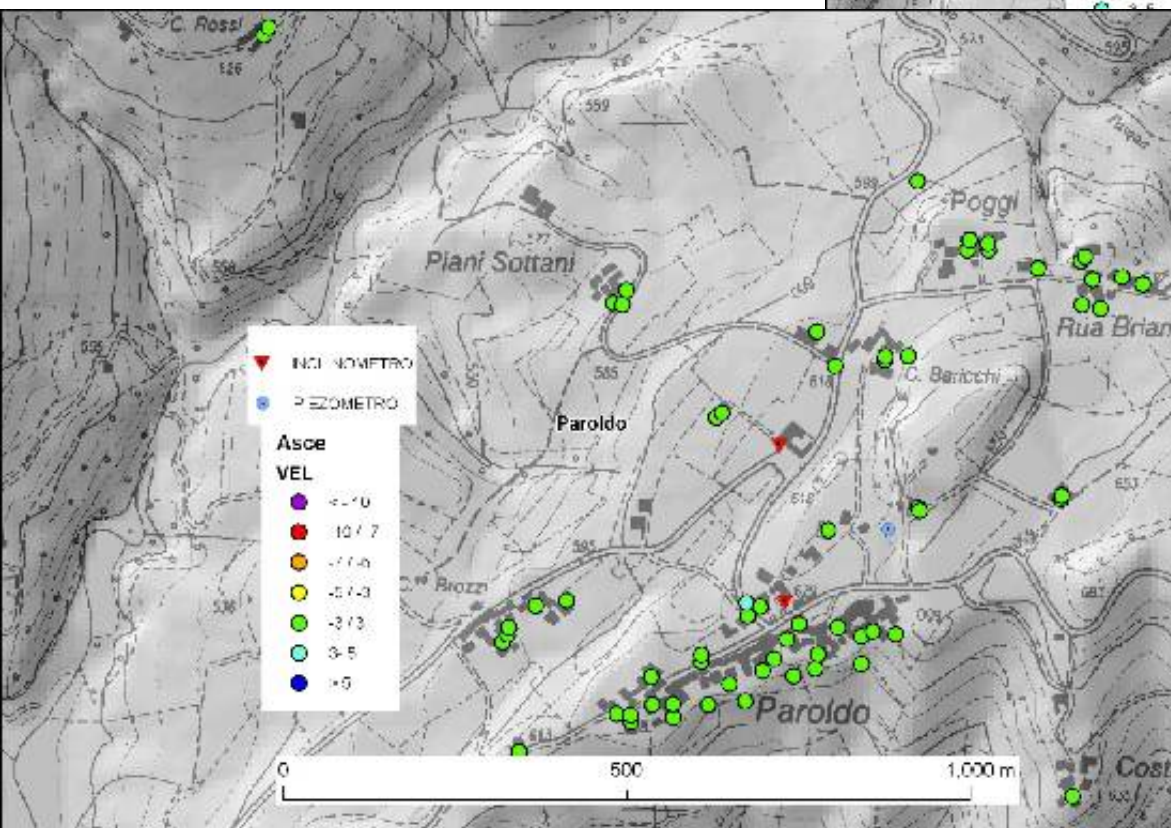
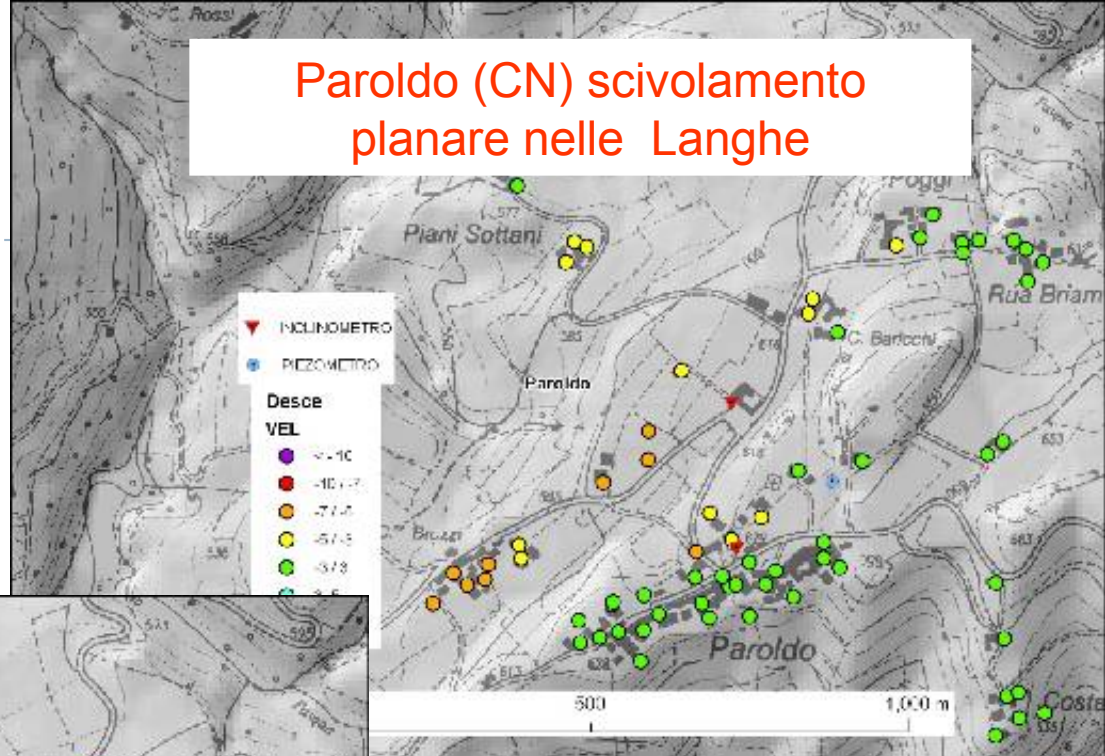
Failure



Post-Failure



Paroldo (CN) scivolamento planare nelle Langhe



Proiezione delle velocità lungo la linea di massima pendenza

Scala di dettaglio

Paroldo (CN) scivolamento planare nelle Langhe

$$V_{\text{slope}} = V_{\text{los}} / \text{Coeff};$$

Coeff: dipende da Esposizione, Pendenza e direzione LOS

Le velocità proiettate si equivalgono, indice che il movimento avviene lungo pendio

Dato Radarsat 2003-2010:

$V_{\text{los}} \text{ desce} = -4 / -5 \text{ mm/yr}$

Coeff = 0.65

$V_{\text{slope}} = -6 / -7 \text{ mm/yr}$

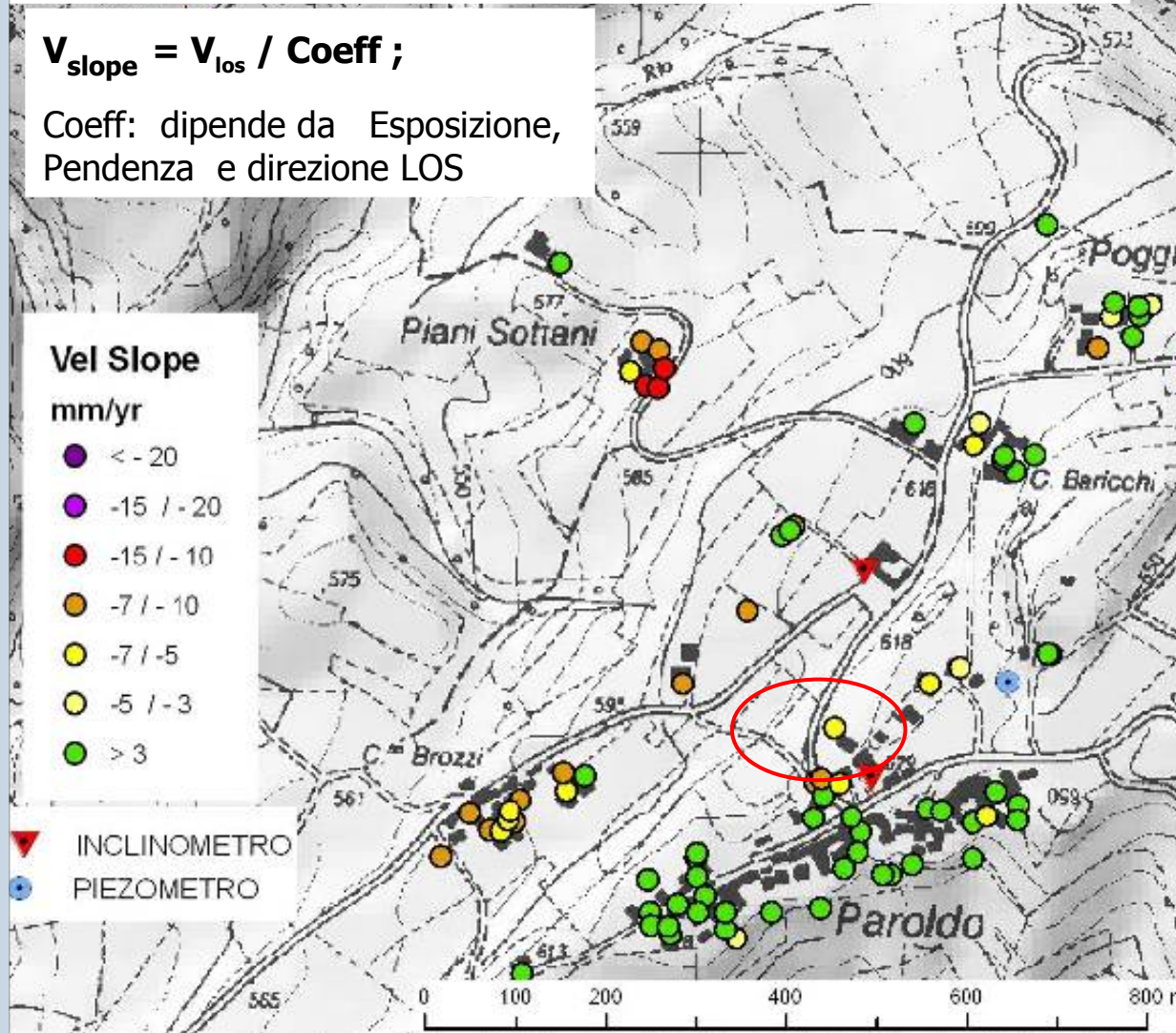
$V_{\text{los}} \text{ asce} = +2 / +3 \text{ mm/yr}$

Coeff = -0.4

$V_{\text{slope}} = -6 / -7 \text{ mm/yr}$

Inclinometro 2008

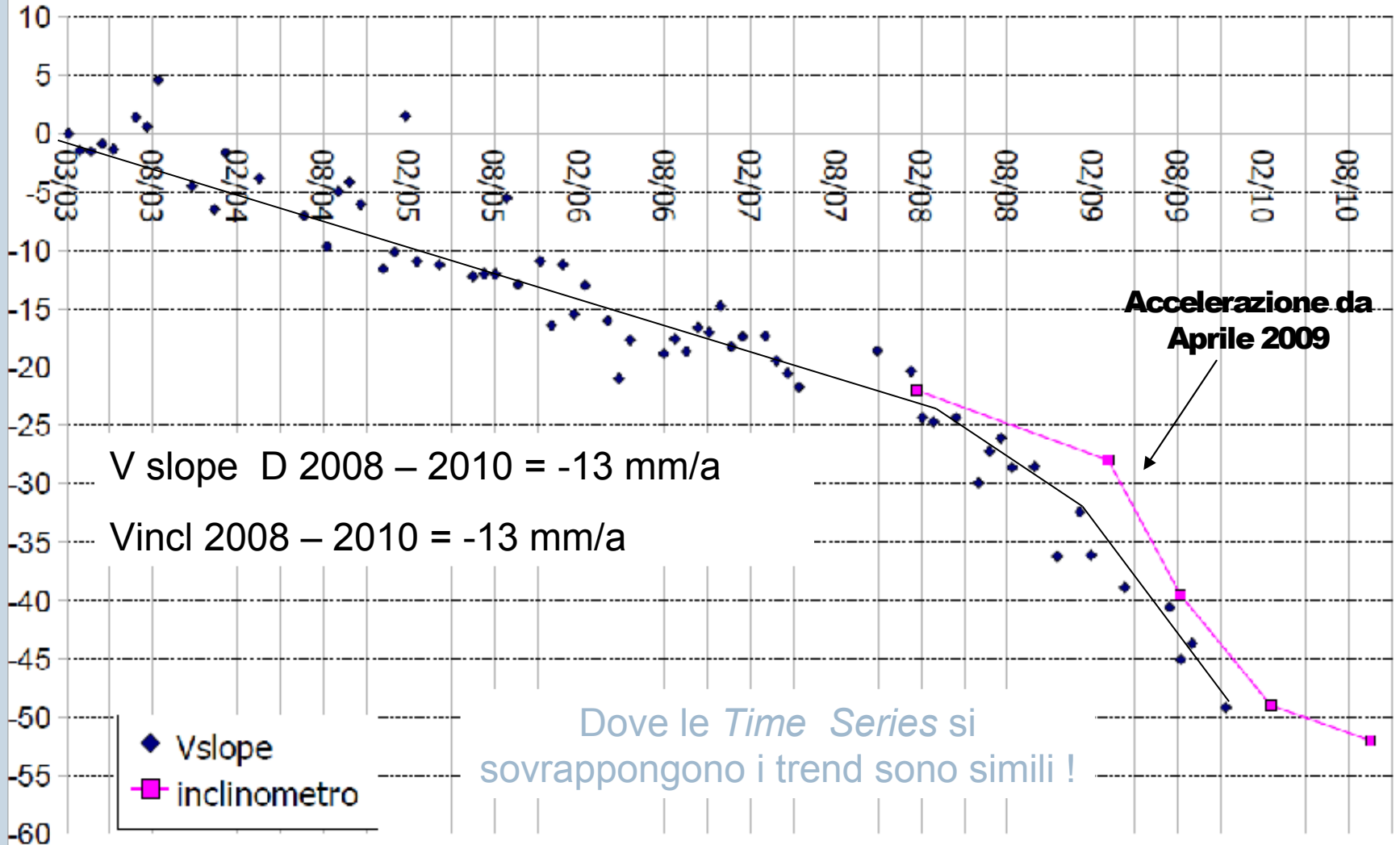
-2010: -13 mm/yr



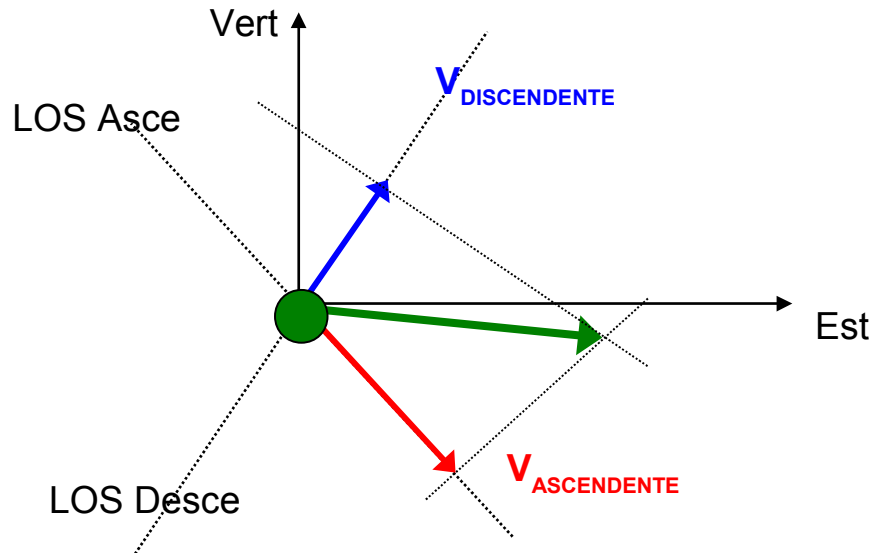
Proiezione delle velocità lungo la linea di massima pendenza

Paroldo (CN) scivolamento planare nelle Langhe

TECNICHE DI ANALISI DEL DATO PS



Scomposizione del movimento



- Punto di riferimento locale
- Densità elevata di PS e DS

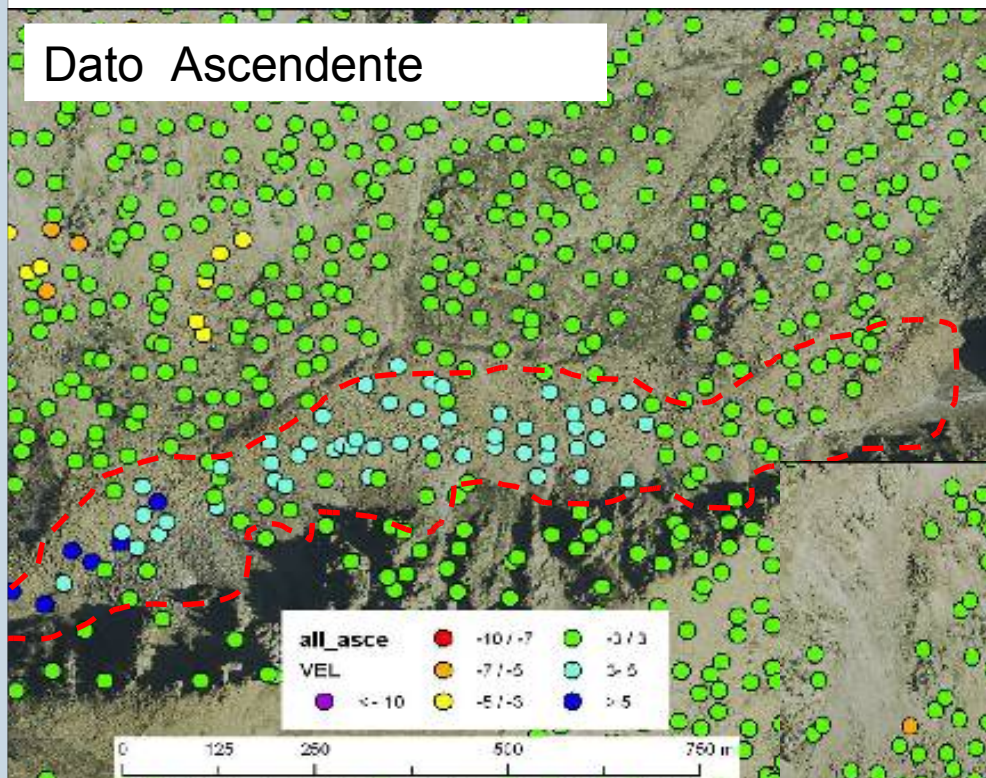
Laddove siano presenti dati ripresi con modalità ascendente e discendente è possibile, tramite algoritmi trigonometrici, ottenere informazioni sul moto nelle sue componenti verticali ed E-W.

La componente di deformazione N-S non può essere misurata poiché i sensori attualmente operativi seguono orbite orientate circa lungo i meridiani.

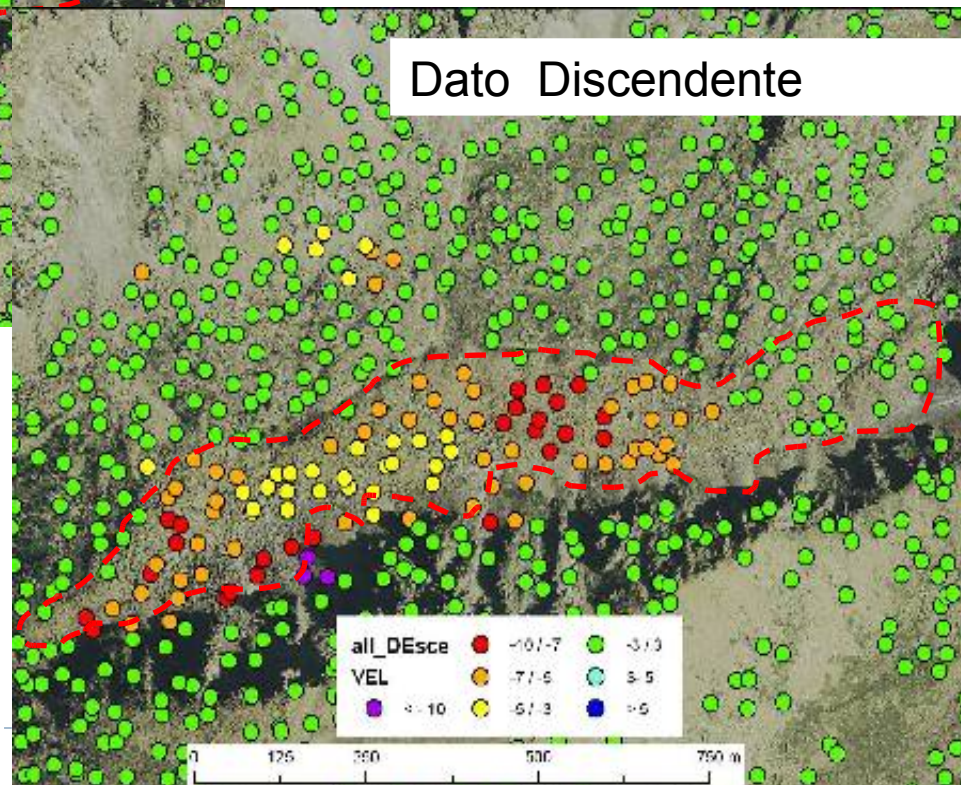
Scomposizione del moto

Dato Ascendente

Alta Valle Varaita (CN)

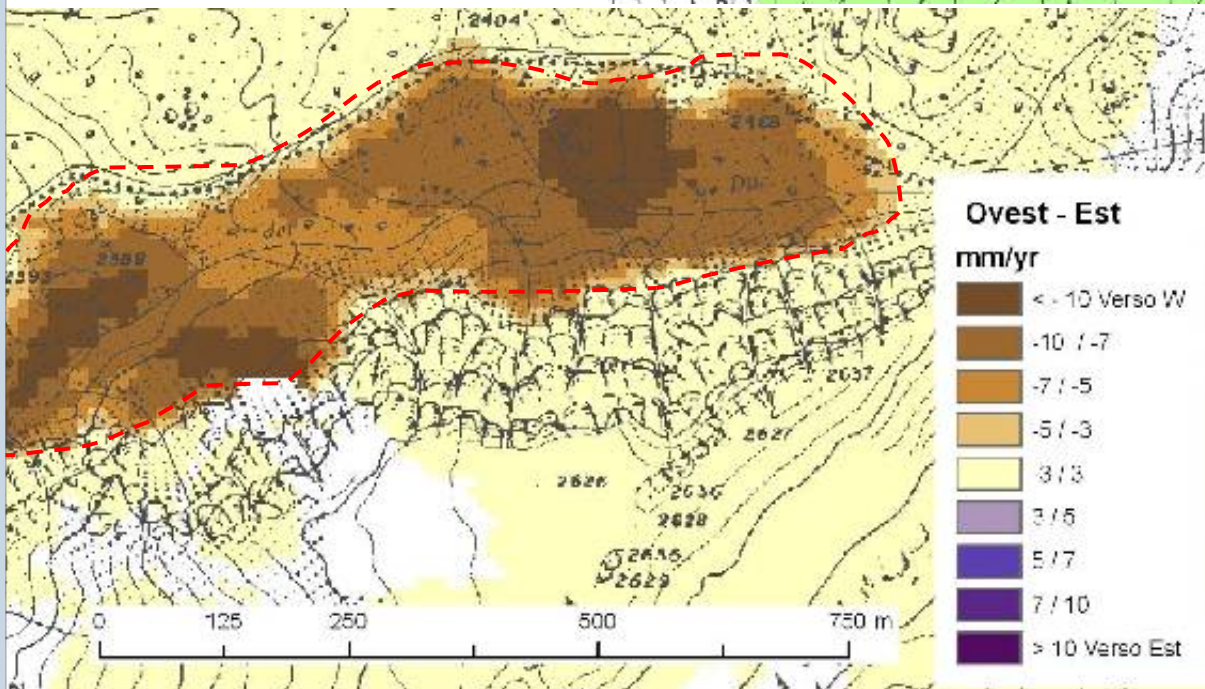
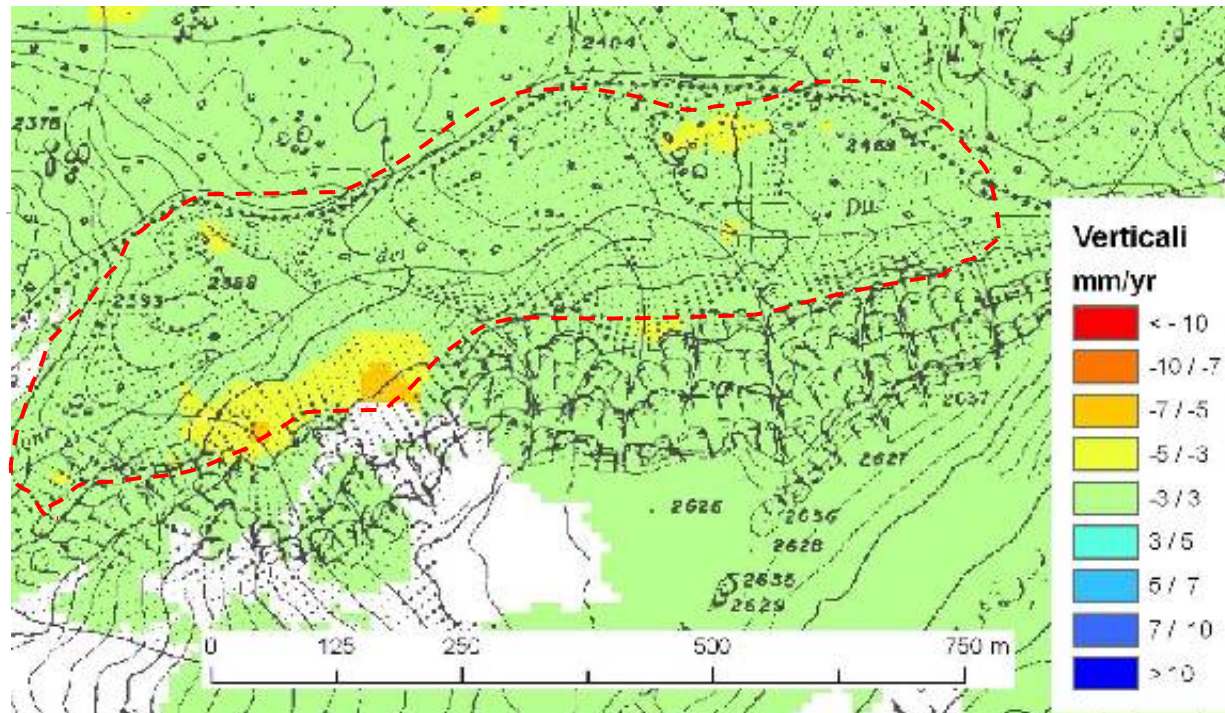


Dato Discendente



Il moto ha una forte componente orizzontale verso W, la componente verticale è assente:

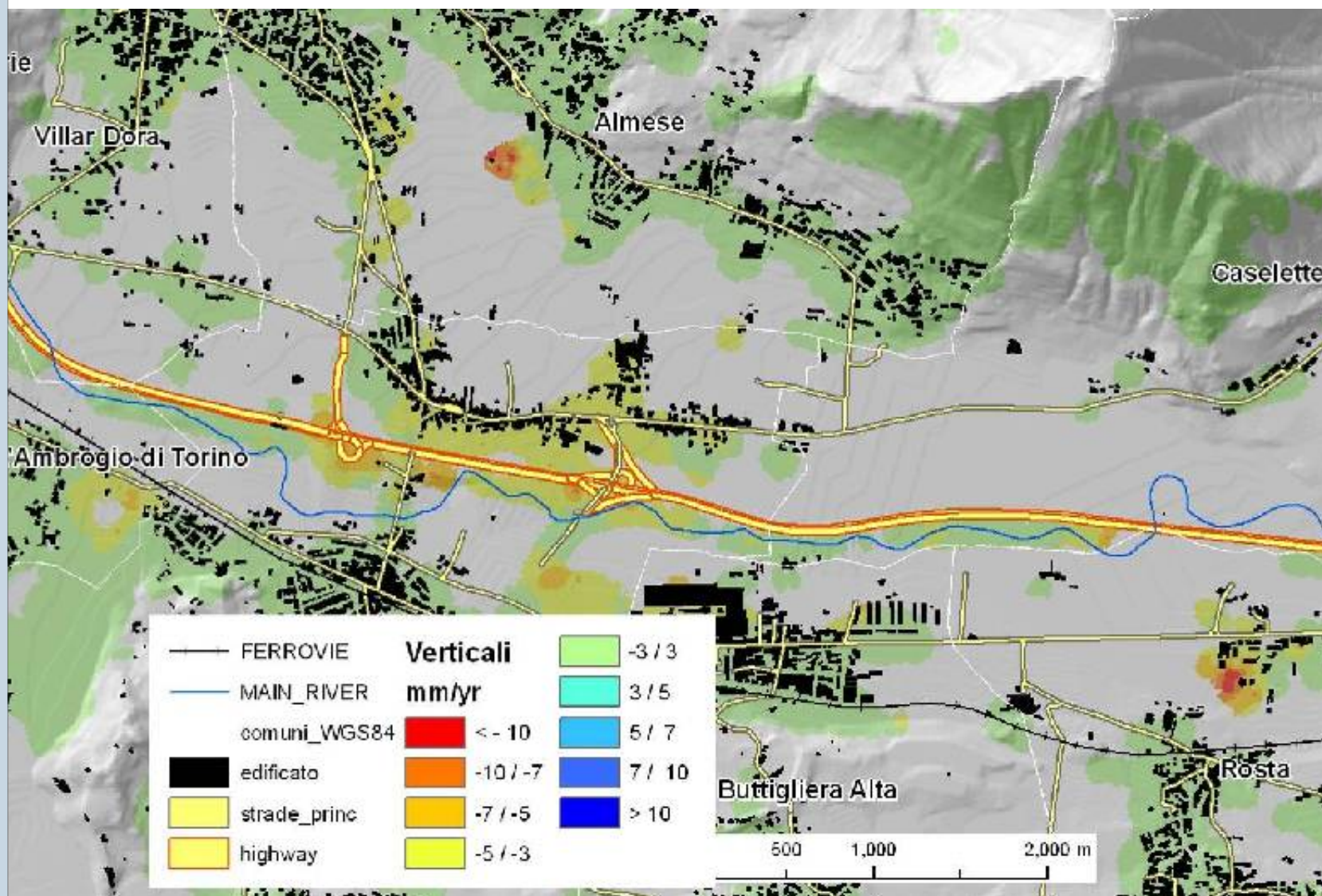
- Geliflusso, rock Glacier
- Colamento lento



Scomposizione del moto

Scomposizione del moto / 2

Val Susa: Subsidenza : solo moto verticale



PROBLEMATICHE

1. Le velocità massime misurabili dal sensore sono limitate ad $1/4$ della lunghezza d'onda ad ogni passaggio successivo

2. Mancanza di PS

A. Problemi legati alla topografia

B. Mancanza di bersagli

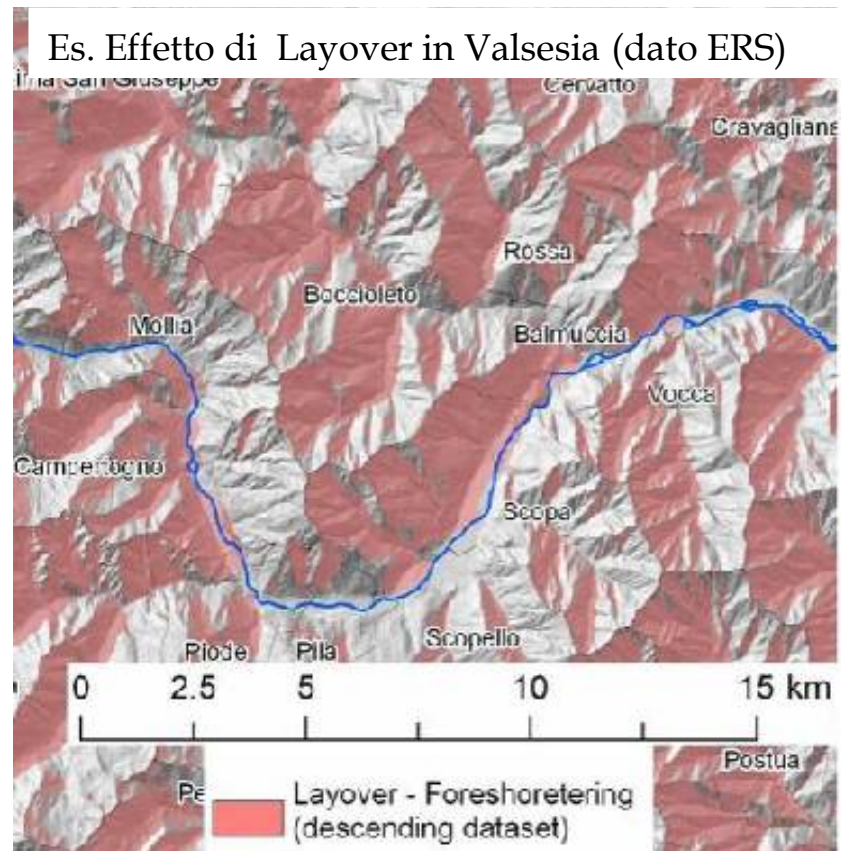
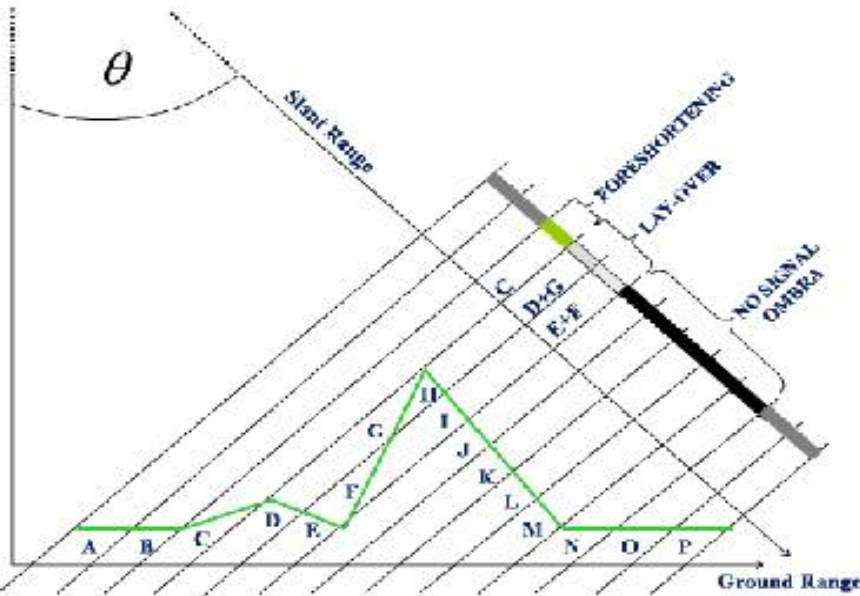
3. Difficoltà nel separare diversi processi geologici

1. Velocità massime misurabili

Impossibile misurare una deformazione lungo LOS superiore a $\lambda/4$ nell'intervallo di passaggio del satellite es. 1.4 cm/35 giorni per ERS

Velocity Class	Description	Velocity (mm/sec)	Typical Velocity
7	Extremely Rapid	5×10^3	5 m/sec
6	Very Rapid	5×10^1	3 m/min
5	Rapid	5×10^{-1}	1.8 m/hr
4	Moderate	5×10^{-3}	13 m/month
3	Slow	5×10^{-5}	1.6 m/year
2	Very Slow	5×10^{-7}	15 mm/year
	Extremely SLOW		

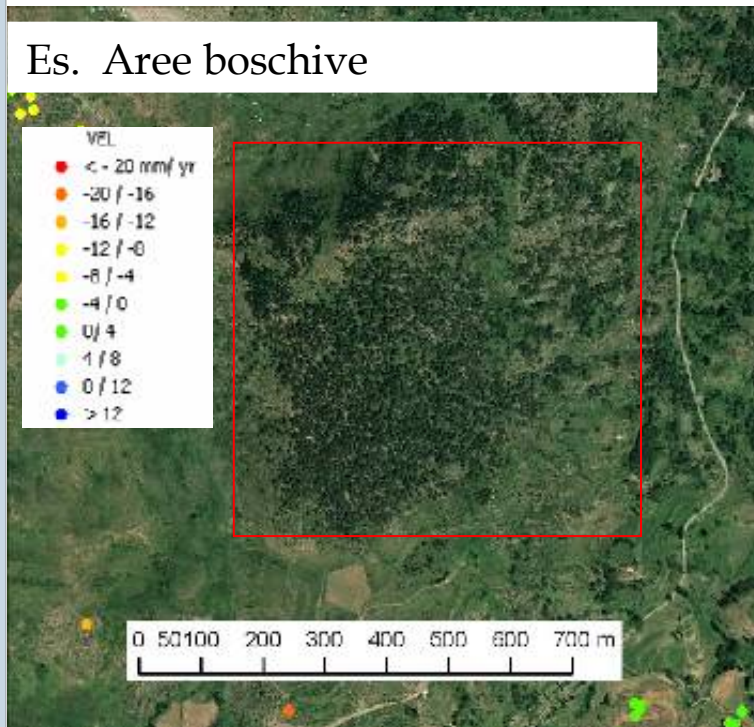
A. Mancanza di bersagli per effetti topografici sull'immagine SAR



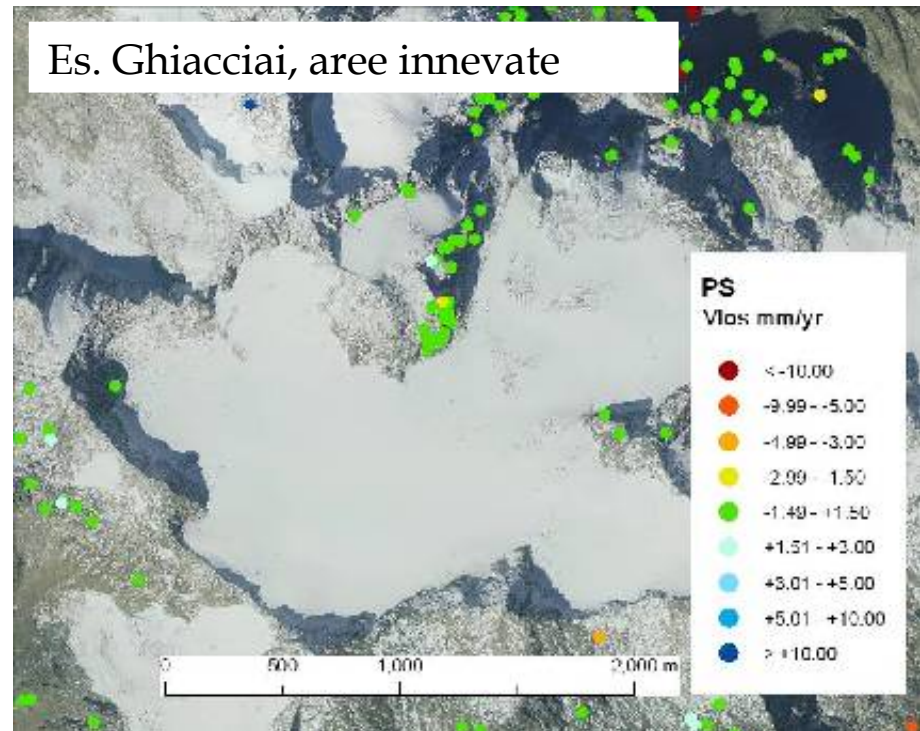
B. Mancanza di bersagli, legata all'uso del suolo

Uso del suolo

Es. Aree boschive



Es. Ghiacciai, aree innevate



Uso del suolo

Applicabilità della tecnica Persistent Scatterer alle diverse classi di uso del suolo, riferita al livello 1 della classificazione CORINE Land Cover del 2000

Uso del suolo	Applicabilità della tecnica Persistent Scatterer
Territori modellati artificialmente	Si Se presenti PS naturali o artificiali
Territori agricoli	Si Se presenti DS
Territori boscati e ambienti semi-naturali	BASSA
Zone umide e corpi idrici	NO

un modello per prevedere la possibile presenza di ps

metodo *pre-processing* basato sulla combinazione di due fattori:

- la deformazione prospettica
- l'uso del suolo

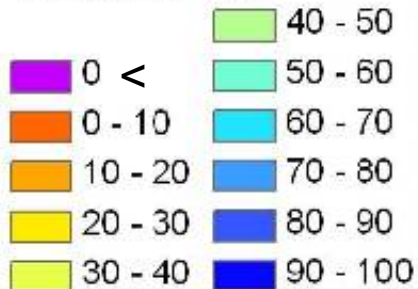
Colombo et al, 2006
Notti et al, 2010

1) L'indice R si ottiene dal modello di Esposizione e Pendenza

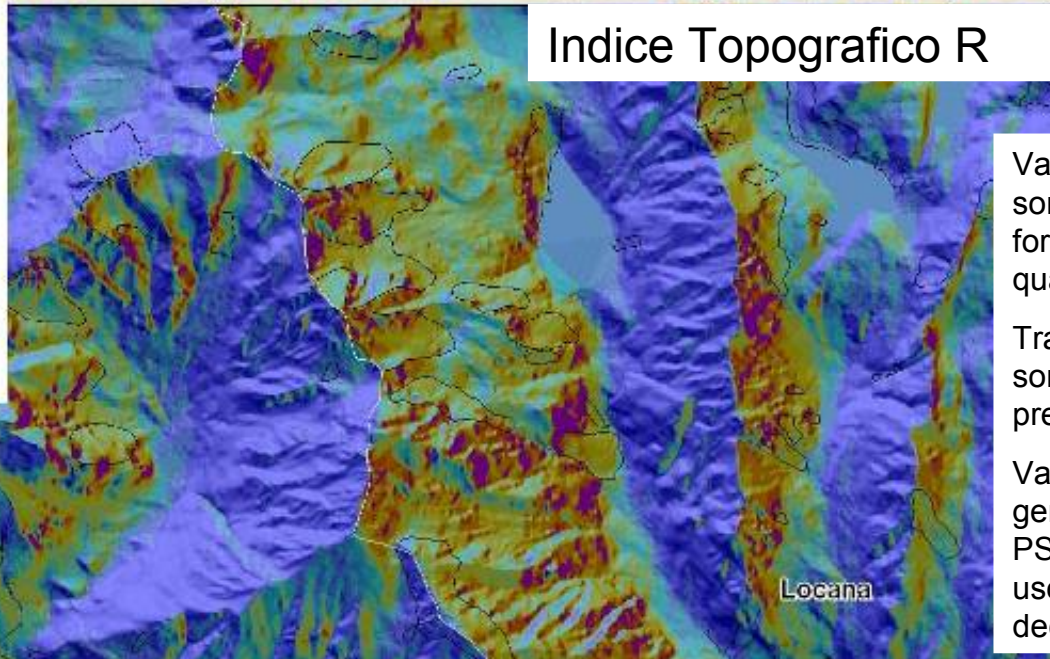
$$R = -(\text{Sin}([Pendenza] * \text{Sin}([Esposizione] - 10) / 57.925) - [\text{angolo di incidenza LOS}] / 57.925)$$

↘ + 188 con ascending / - 10 desce

INDICE R * 100



FRANE IFFI

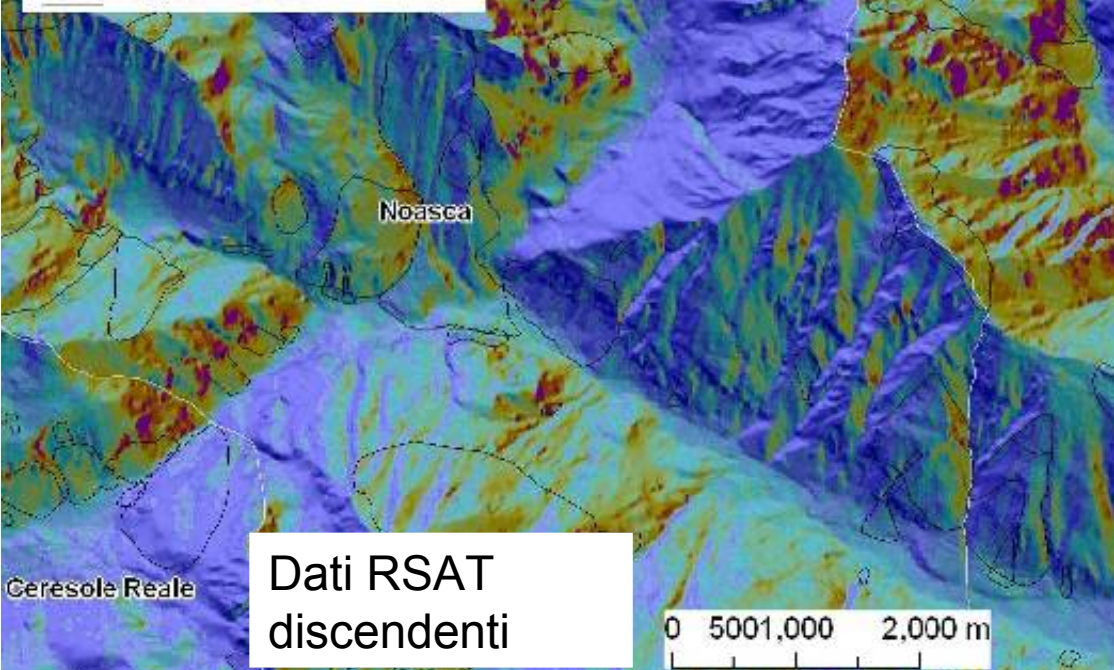


Indice Topografico R

Valori inferiori o uguali a 0 sono le zone in layover foreshortening; si stima quasi nessun PS.

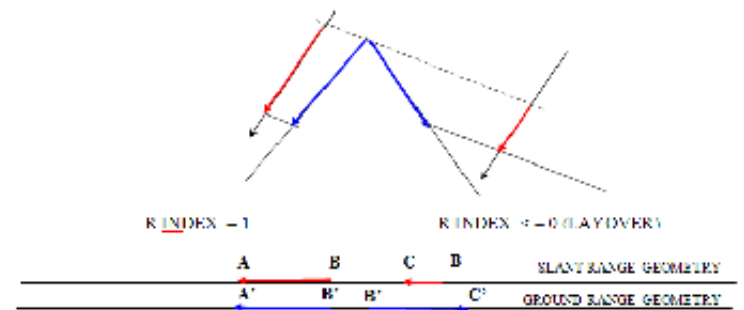
Tra 0 e 30 (o 0,3); i valori sono molto bassi e i PS presenti sono pochi

Valori maggiori di 30 sono in genere sufficienti per avere PS e man mano il fattore uso del suolo diventa decisivo

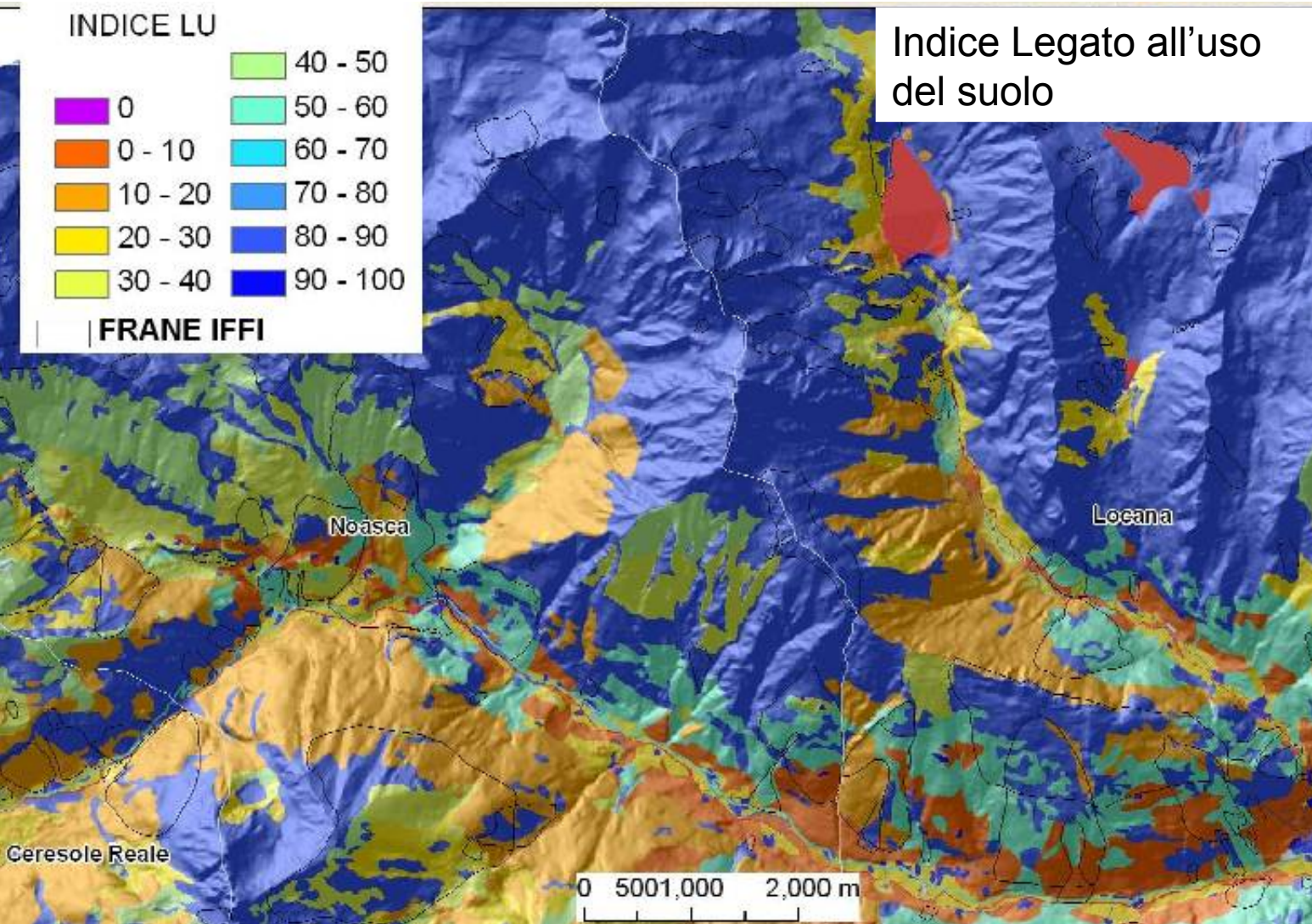


Dati RSAT discendenti

LOS: Descending: 31° / 260° N

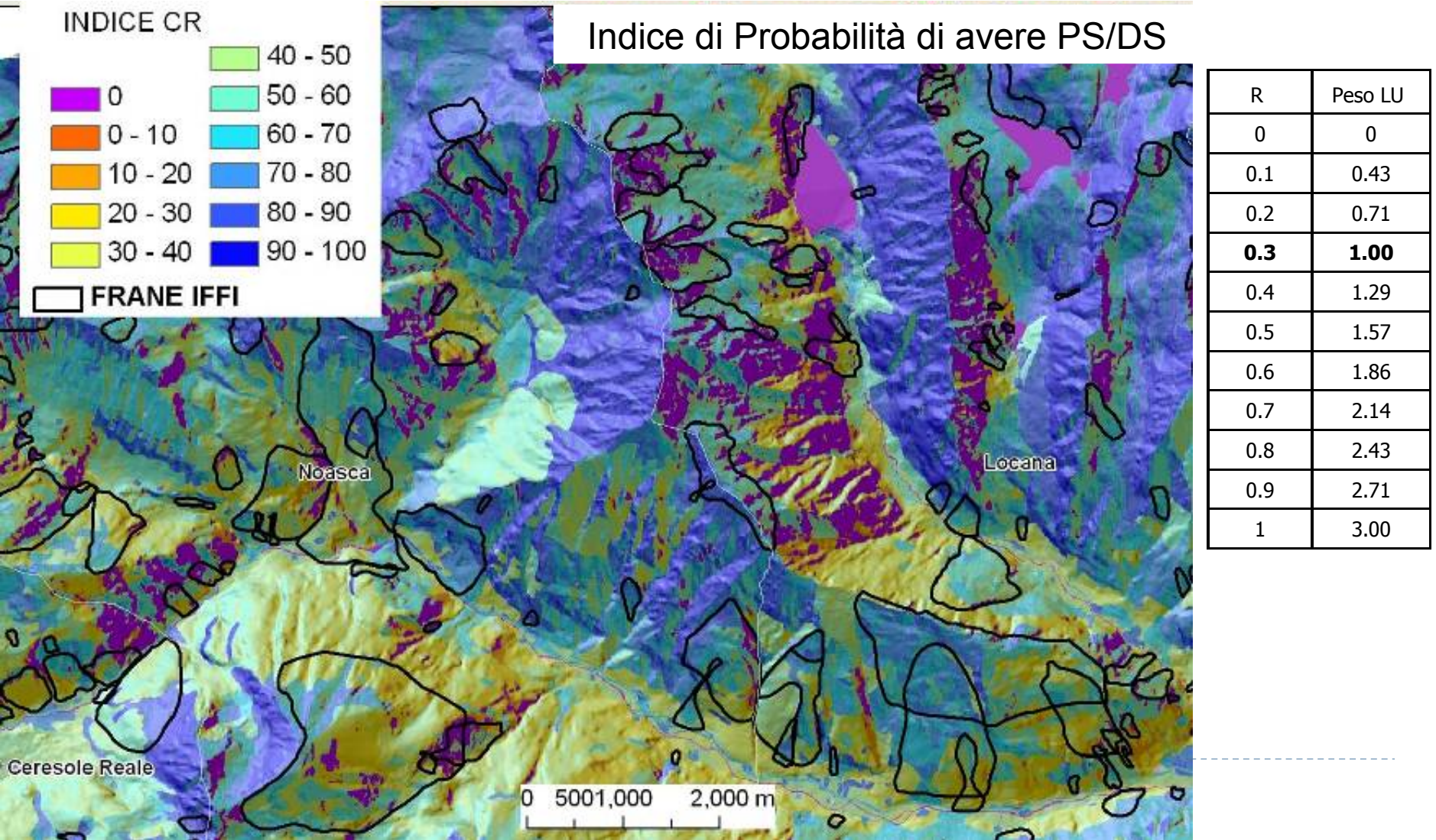


Stimare la probabilità di avere PS

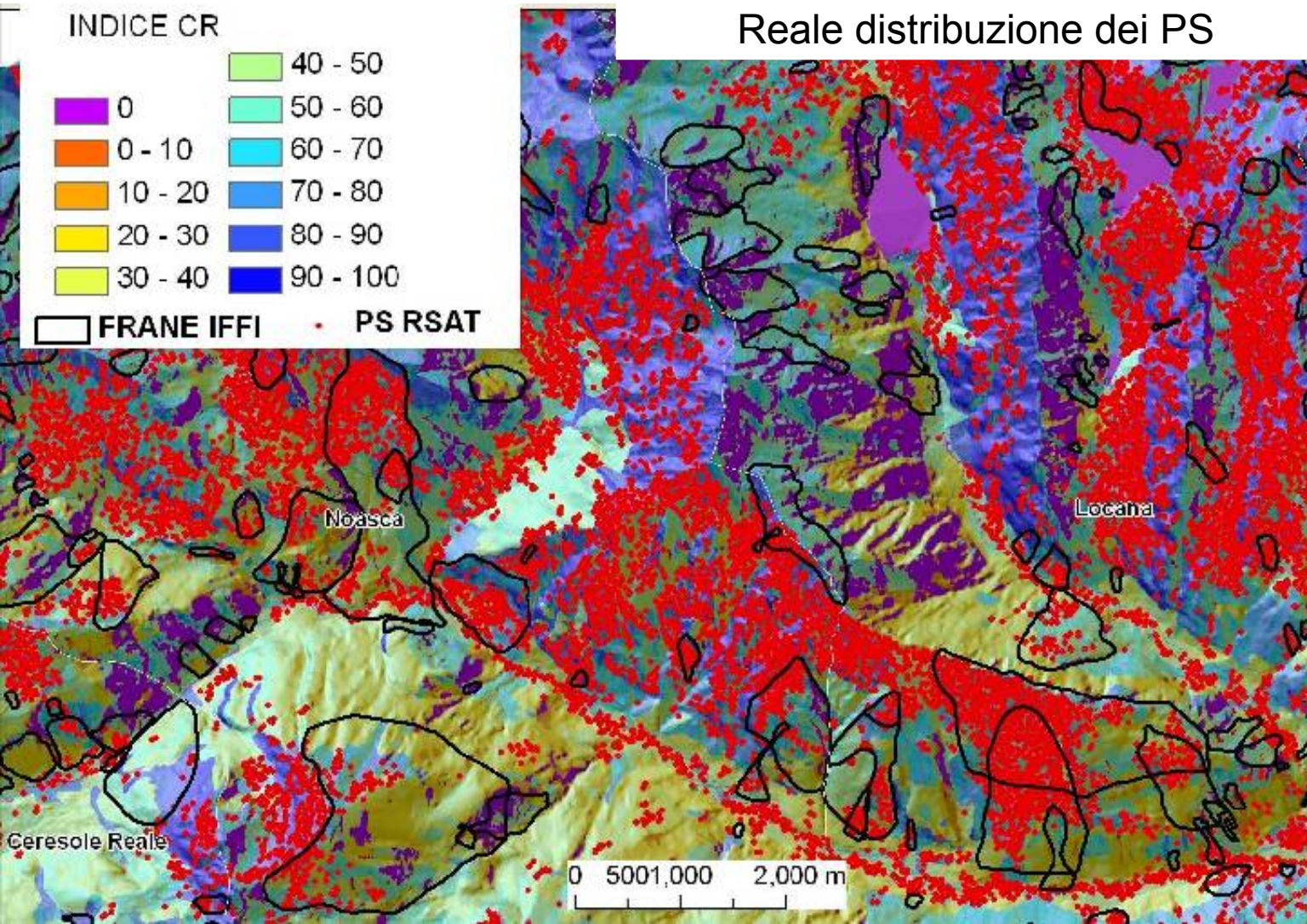


Stimare la probabilità di avere PS

Indice CR è una media ponderata = $(\text{Indice R} * 100 + \text{Indice LU} * \text{PESO dell'indice}) / (1 + \text{PESO dell'indice R})$; Se uno dei 2 indici è = 0 allora CR = 0, non si fa la media

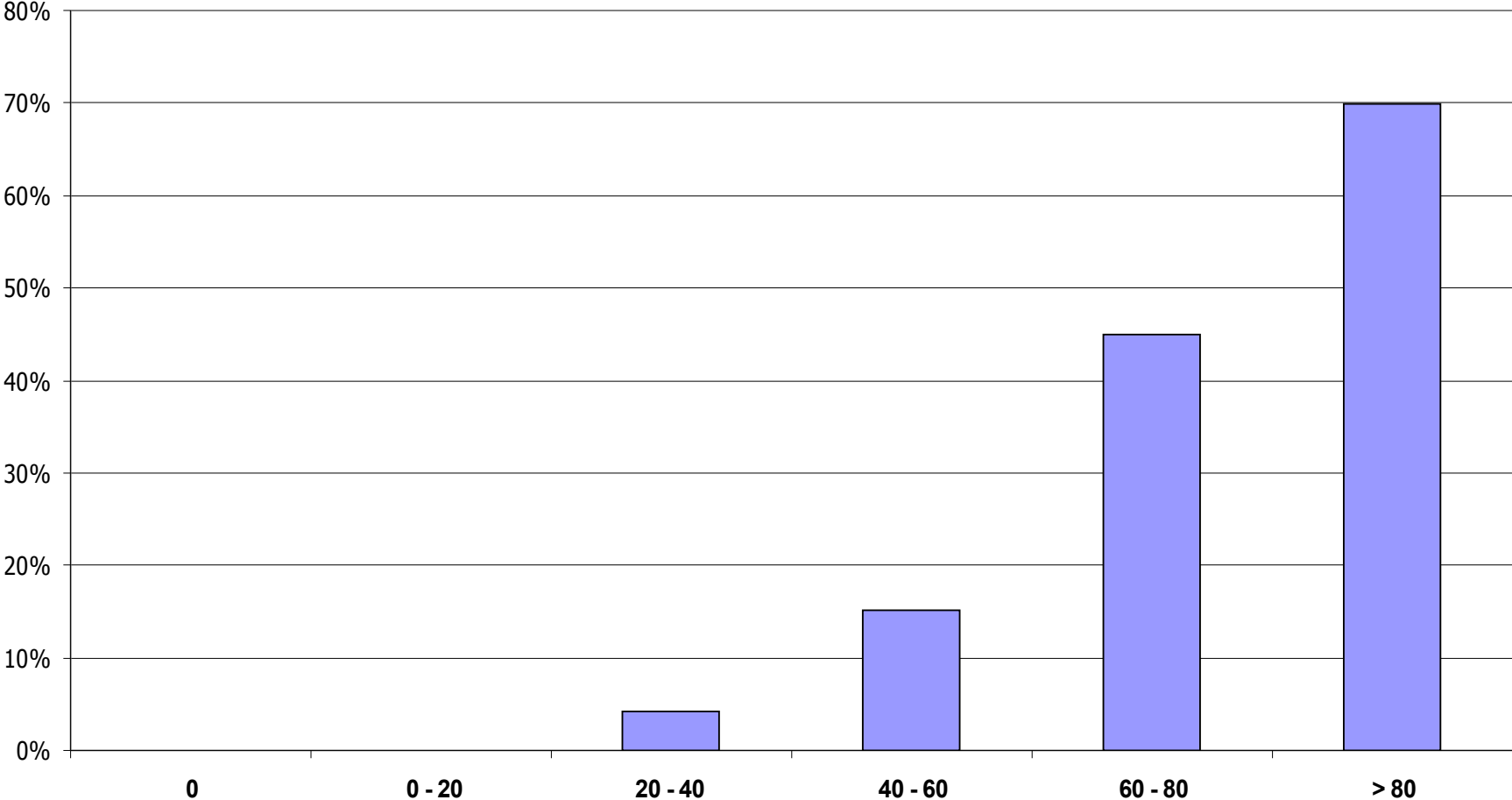


Stimare la probabilità di avere PS

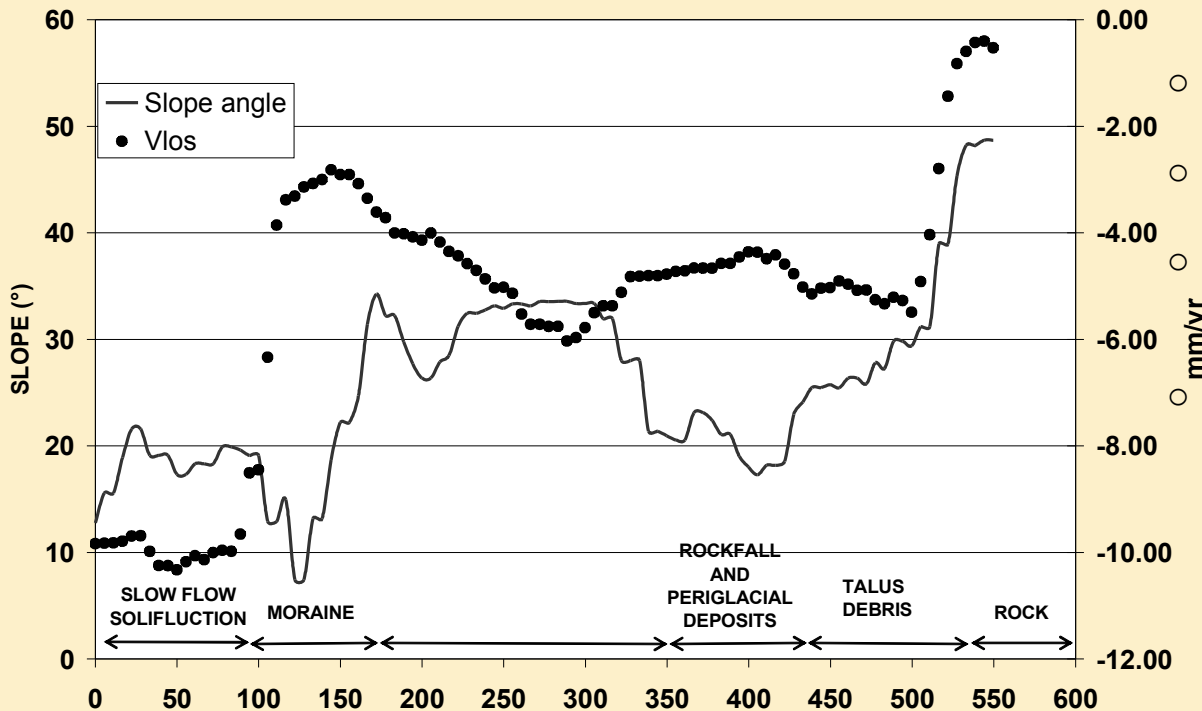
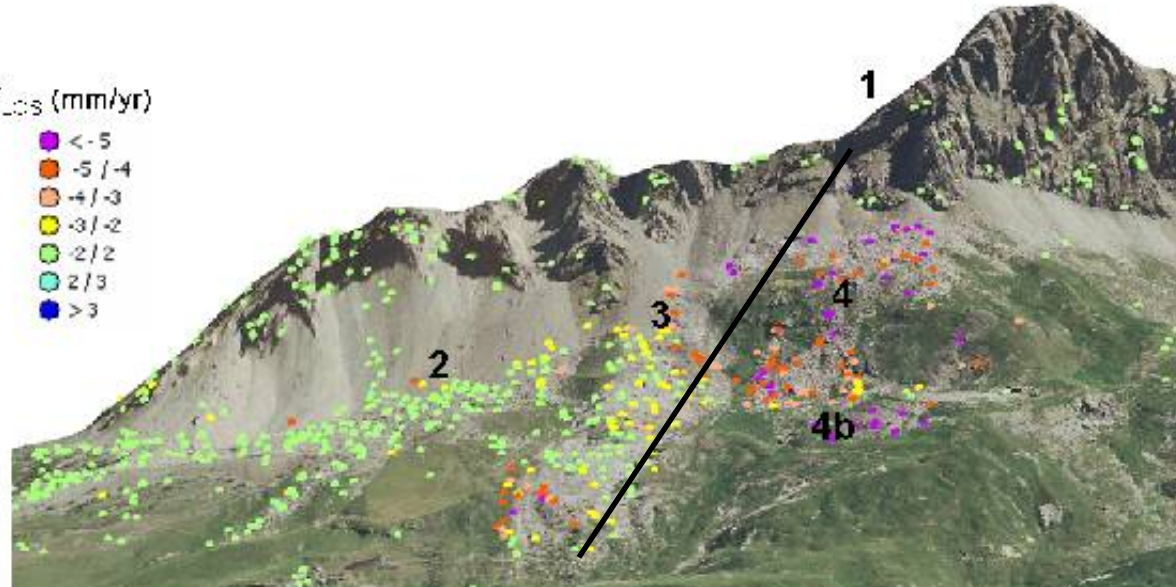


FRANE CON PS e INDICE CR

Indice_CR e % di frane con PS



3. Difficoltà nel separare diversi processi (non solo frane!)



- Paredi in roccia: i PS sono stabili (1);
- coni di falda alla base delle pareti: PS stabili(2);
- paleo rockglacier: PS stabili o con movimenti piuttosto contenuti (3);
- depositi di versante e accumuli di crollo a SE del rock-glacier (4): i PS hanno registrato velocità di spostamento fino a 10 mm/anno in particolare nel settore inferiore dell'area in esame (4b).

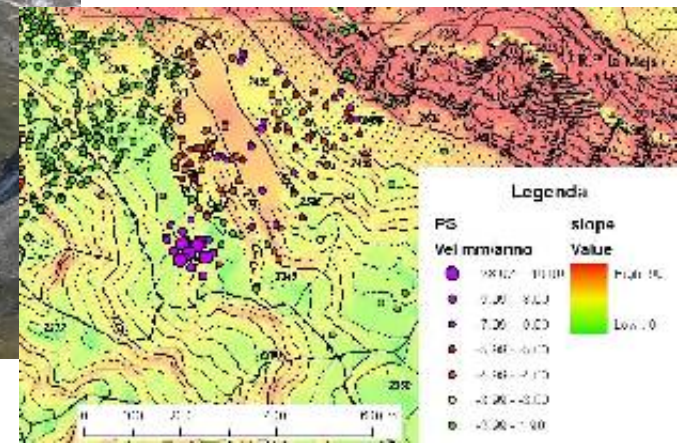


B



A) Colamento lento di detrito

B) il movimento dei blocchi (4-5 mm/anno) è probabilmente legato a processi periglaciali (processi di gelo-disgelo) che interessano la coltre di alterazione.

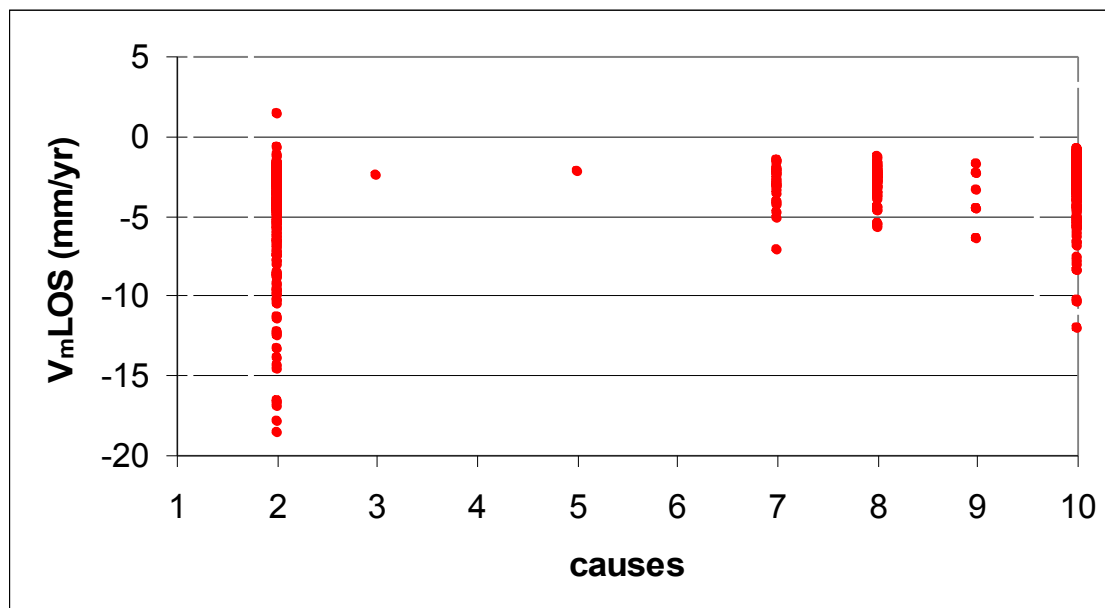


Detrito di versante

frane

$$v_{mLOS} = -4.2 \text{ mm/yr}$$

$$PS_{mov} / PS_{tot} > 80\%$$

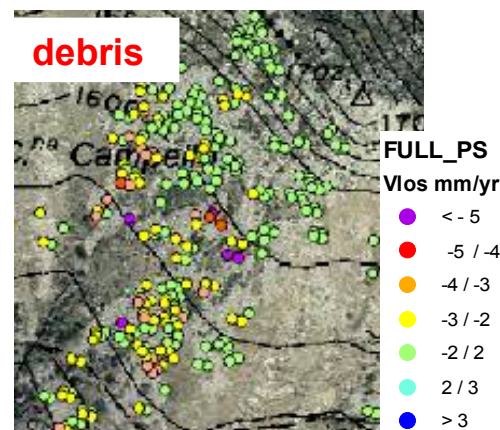


Detrito

$$v_{mLOS} = -2.7 \text{ mm/yr}$$

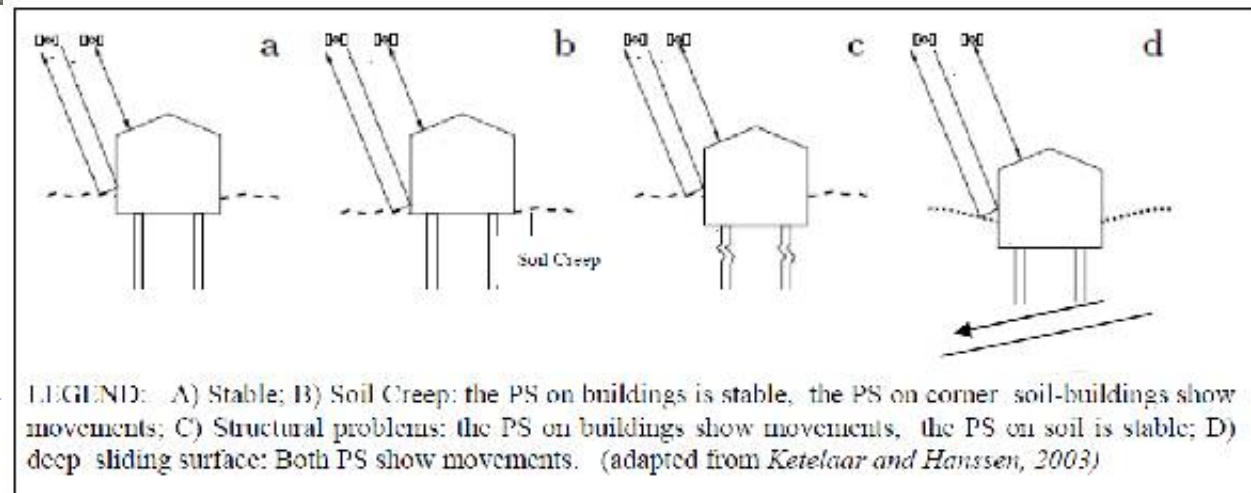
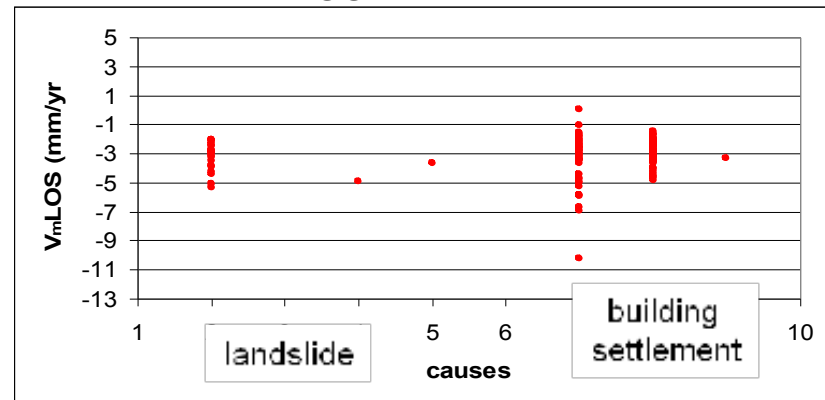
$$PS_{mov} / PS_{tot} < 60\%$$

landslide



Edifici lesionati per problematiche geotecniche del terreno di fondazione o per problemi strutturali

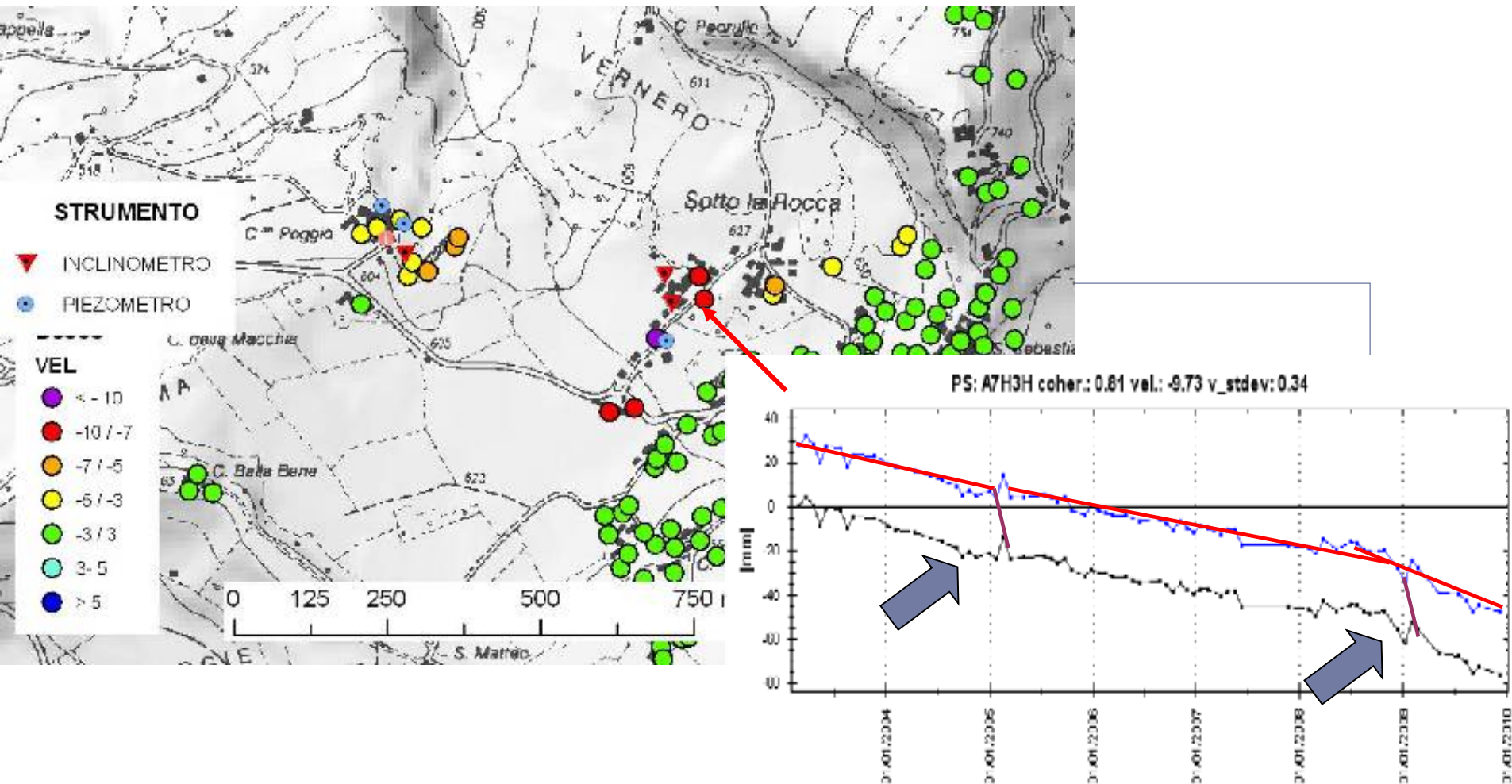
Nell'analisi dei fenomeni franosi bisogna tenere conto che i movimenti registrati dai PS possono essere dati dalla somma più di processi e non solo da quelli della frana come avviene per strumenti di monitoraggio tradizionali



Problemi delle Time Series: i salti di fase

nel caso di fenomeni di deformazione caratterizzati da evoluzione particolarmente rapida, si può presentare il problema dell'equivocazione di fase che può complicare l'interpretazione dei risultati (aumento della velocità rilevabile dai PS).

ES di TS A Prunetto, Langhe(CN): Salto di Fase possibile?

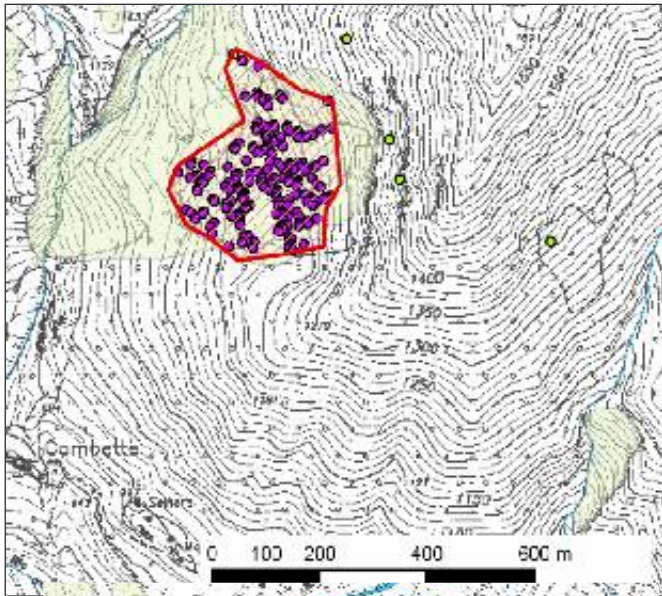


Identificazione frane a scala regionale

Area	Area km ²	% of Landslides with almost 1 PS	Sensor
Piemonte (<i>Meisina et al, 2009</i>)	16000	30% (Alps) 6% (Monferrato Hills)	ERS
Lombardia (<i>Notti, 2010</i>)	12000	20% (Alps) 7-13% (Apennines)	ERS, RADARSAT
Liguria (Provincia di Imperia)	1150	34% (80% DSGD)	RADARSAT
Valle de Tena (<i>Notti, 2010</i>)	40	70%	TerraSAR-X
Arno Basin (<i>Catani et al., 2006</i>)	9130	6%	ERS
Liri Basin (<i>Cascini et al., 2009</i>)	489	34% (slow landslides)	ERS
Biferno Basin (<i>Righini et al, 2010</i>)	1320	-	ERS-ENVISAT
Basin Calabria (<i>Terrafirma project, Pancioli & Farina, 2007</i>)	4200	38%	ERS-ENVISAT

Applicabilità della tecnica PSI alle diverse tipologie di frane individuate da Cruden & Varnes (1996)

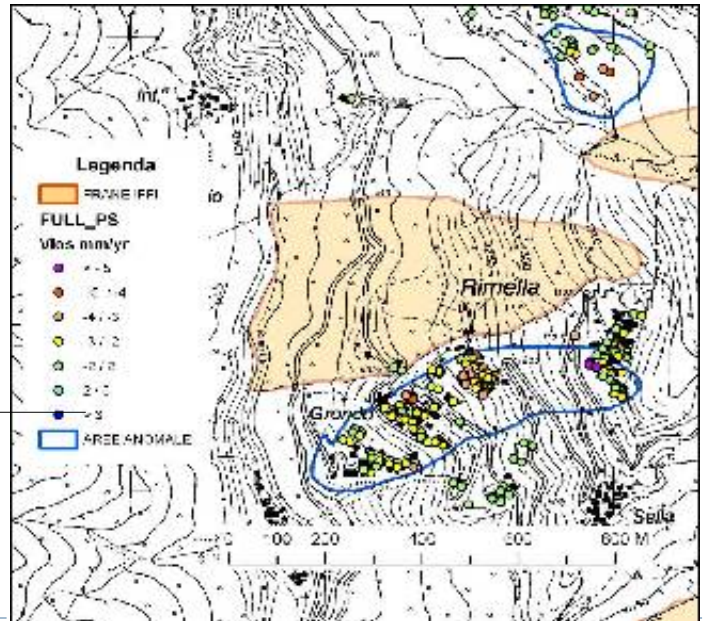
TIPOLOGIA FRANA	TIPOLOGIA MATERIALE	APPLICABILITA' TECNICA PSI	Note
Crollo	Roccia/detrito/terra	NO	Individuazione di movimenti precursori di distacco del materiale
Ribaltamento	Roccia/detrito/terra	NO	Individuazione di movimenti precursori di distacco del materiale
Scivolamento	roccia	SI	
	Detrito/terra	SI	
Colata	Roccia	SI	
	Terra	parzialmente	
Espansione	detrito	NO	
	roccia	SI	



FRANE



Caso 3: Area su frane IFFI ma interpretata come altra tipologia di fenomeno (detrito di versante instabile) - Oropa (BI)

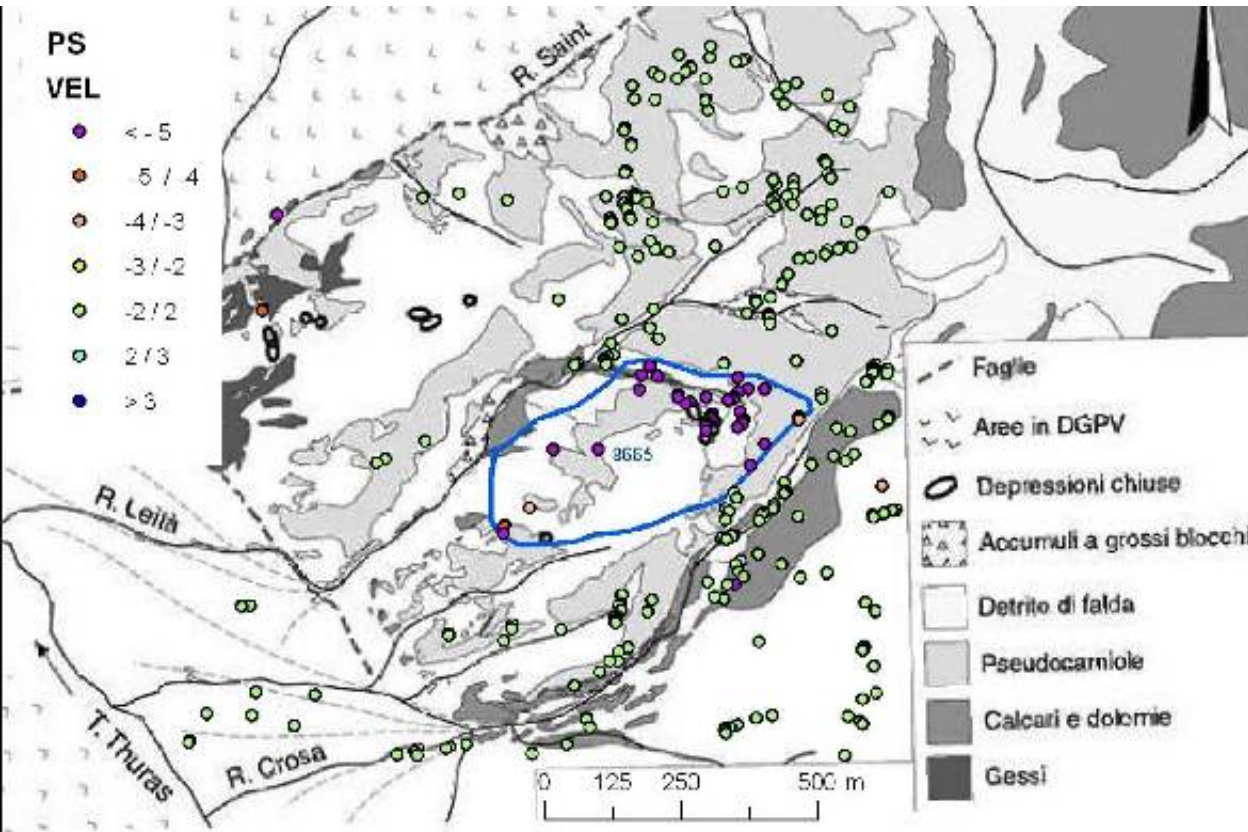


Area con indizi di instabilità

Caso 2: Area non ricadente in frana IFFI ma interpretata come nuova frana - Castino (CN).

Caso 4: Area ND - possibile fenomeno Franoso non presente nel database IFFI - Rimella (VC)

SUBSIDENZA PER DI ROCCE CARBONATICHE



Le cause di movimento sono legate probabilmente a fenomeni di dissoluzione dei gessi e alla conseguente disgregazione e cedimento di cavità dell'ammasso roccioso.

versante destro delle Valle Thuras a Sud del contatto tettonico fra la serie dei calcescisti ed ofioliti ed l'unità mesozoica di margine continentale costituita da affioramenti di gessi e carnirole triassiche.

Alberto et al, 2004

SUBSIDENZA DI TERRENI RECENTI SOTTOCONSOLIDATI VAL DI SUSÀ

Scala del fenomeno: aree vaste

Velocità: Abbassamenti costanti e lenti (-2/-3mm/yr)

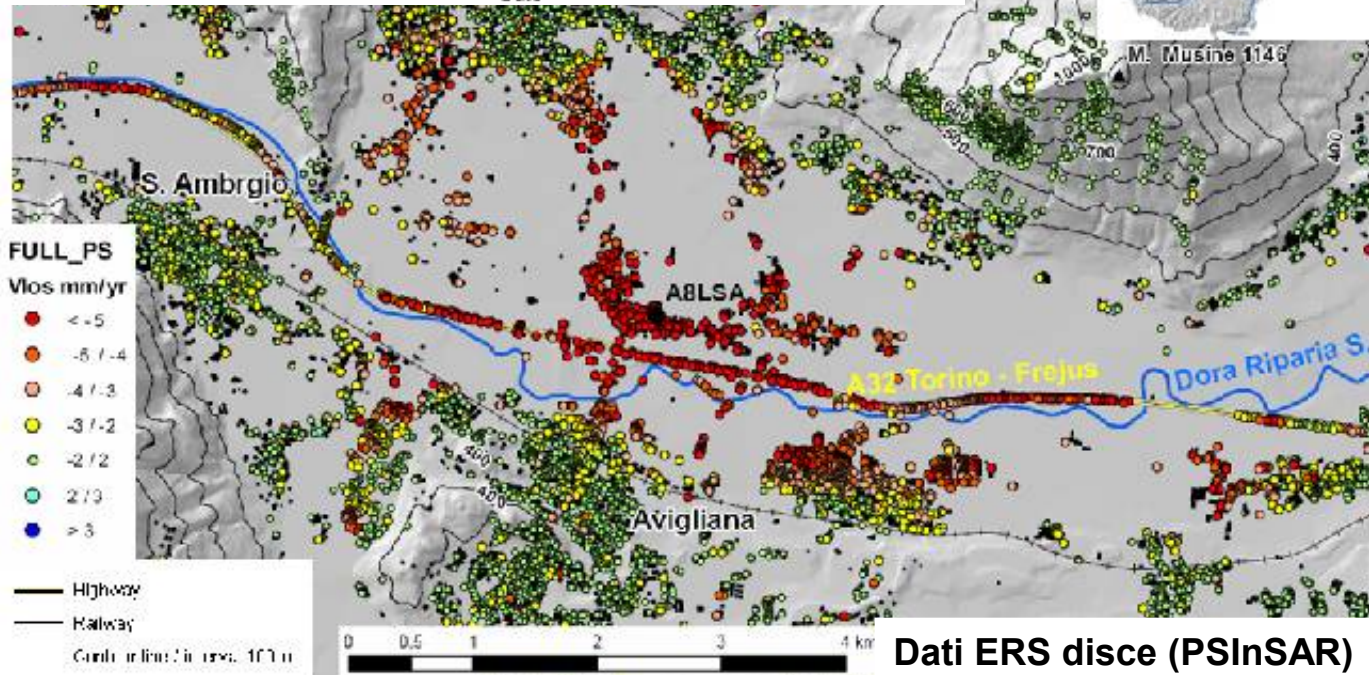
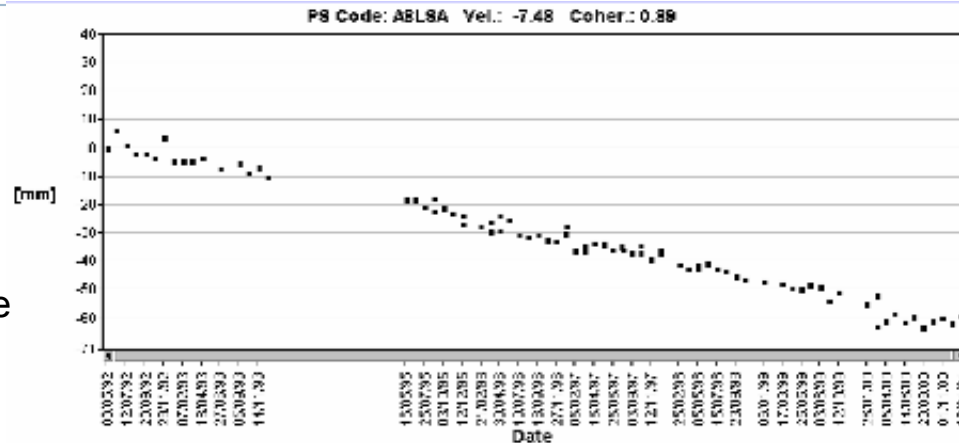
Tipo di movimento: verticale

Monitoraggio tradizionale: assente se non a livello della singola struttura (es. edificio)

Applicabilità della tecnica : ottima

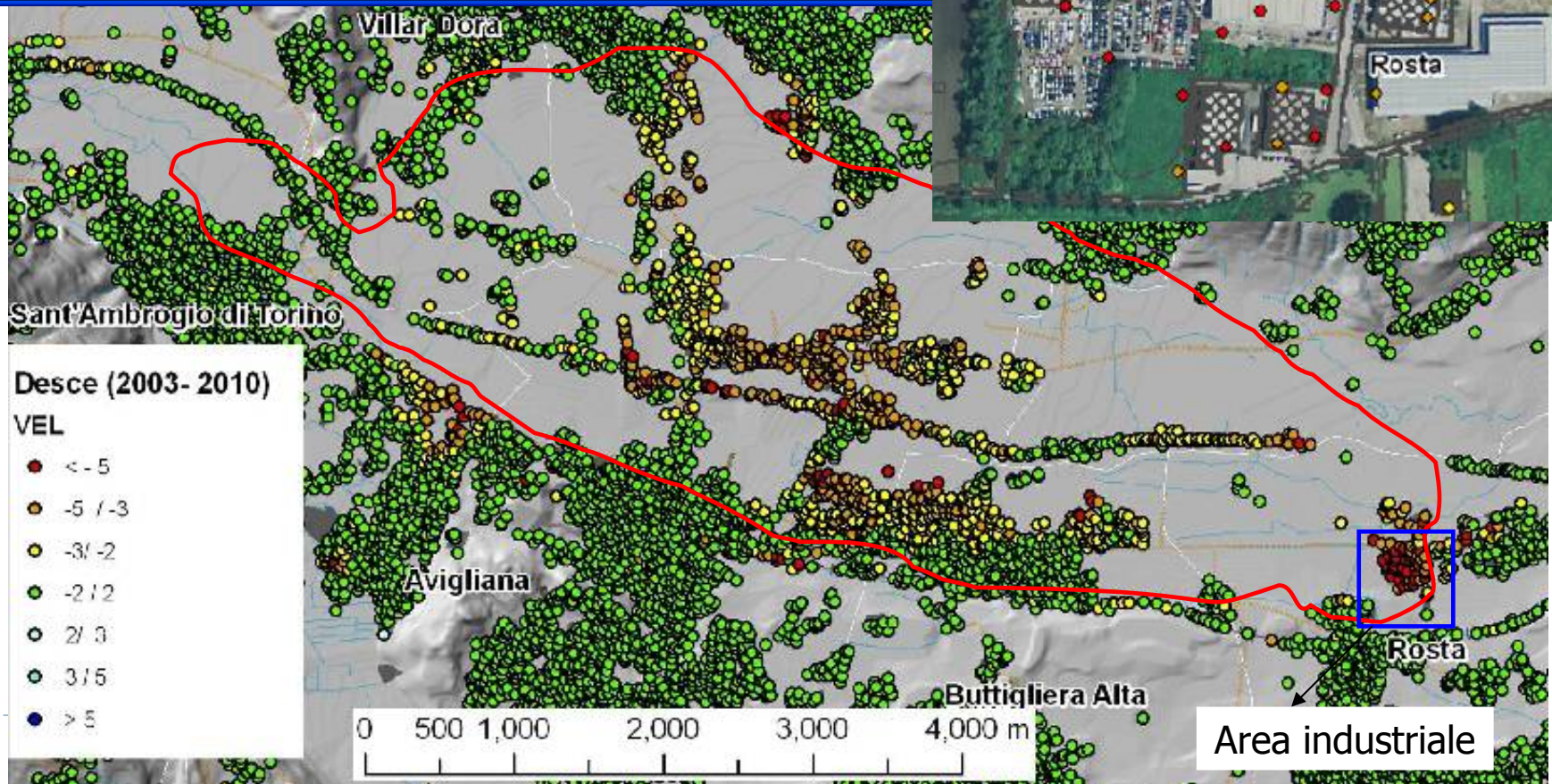
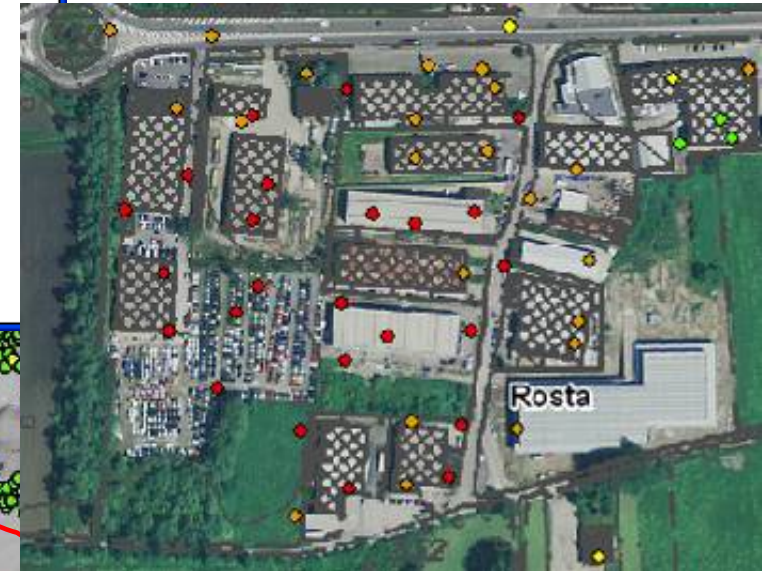
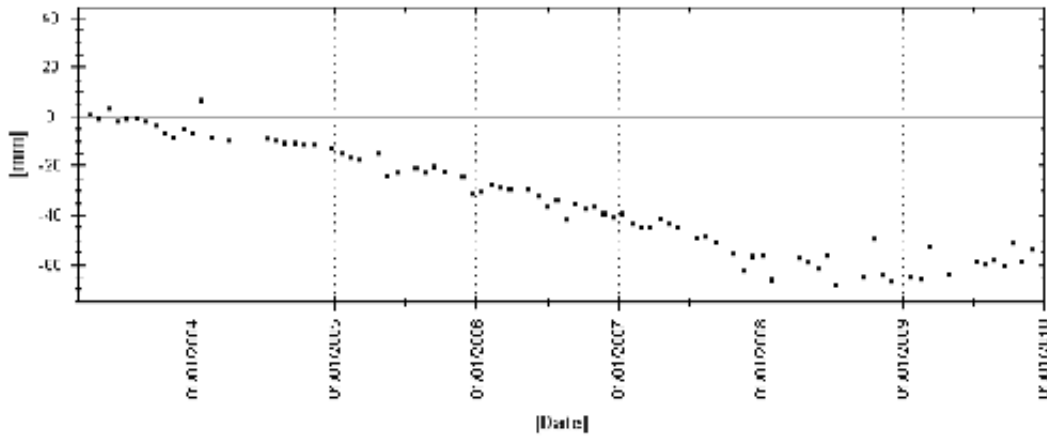
Limiti: sovrapposizione di più fenomeni

(PS_{mov}/PS_{tot})	45 %
VEL MAX	2.65 mm/yr
VEL MIN	-13.98 mm/yr
VEL MEAN	-2.45 mm/yr
AREA	6.7 km ²
N°PS	8125
Densità PS/km ²	1212

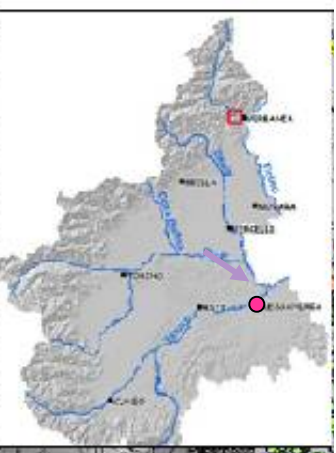


dato Radarsat Desce
2003 – 2010
(SqueeSAR)

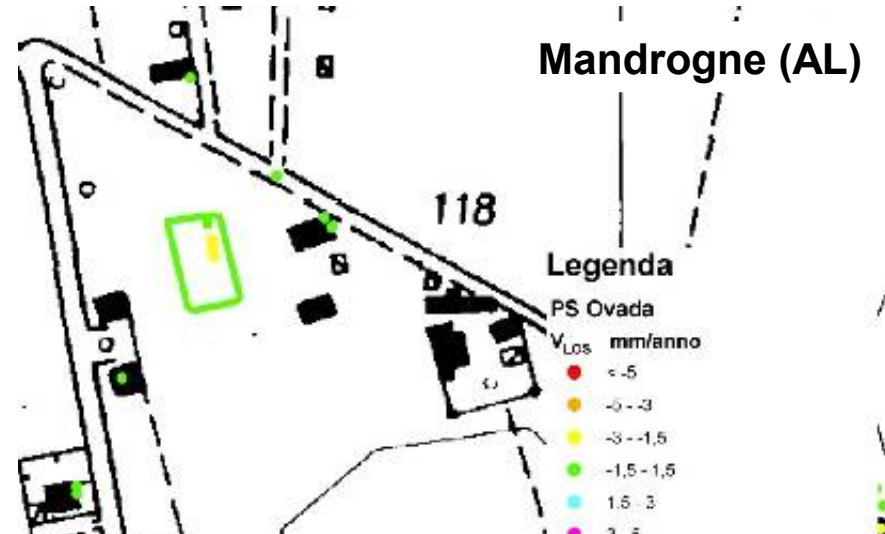
PS: B76CM coher.: 0.76 vel.: -10.84 v_stdev: 0.51



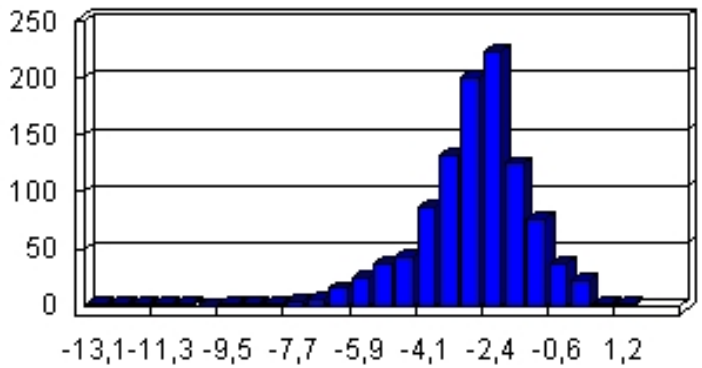
SUBSIDENZA PER APPLICAZIONI DI CARICHI



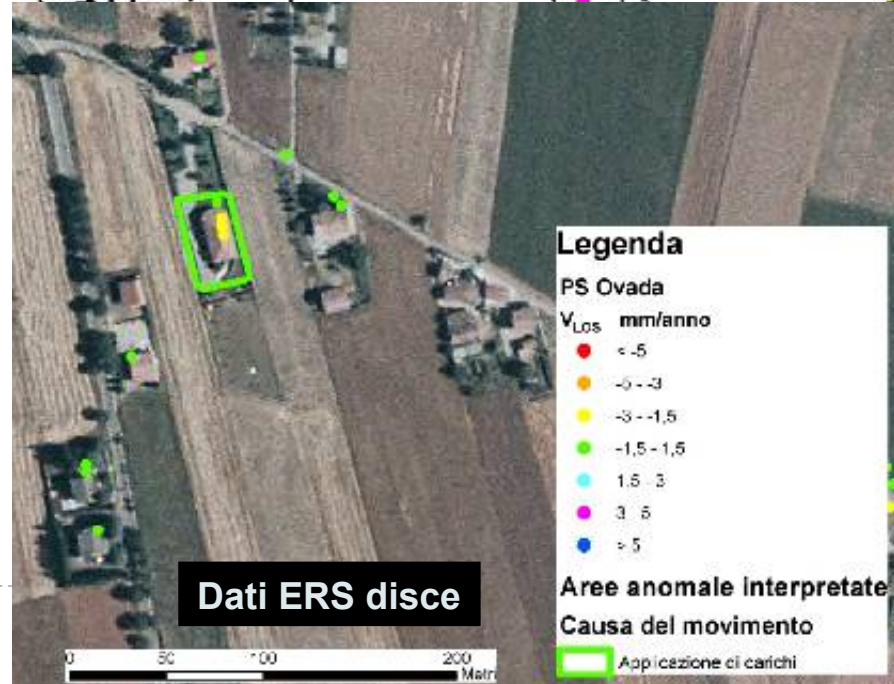
- CTR i PS non corrispondono a edifici o strutture
- Ortofoto presenza edificio
- La costruzione ha indotto un cedimento del terreno di fondazione



frequenza



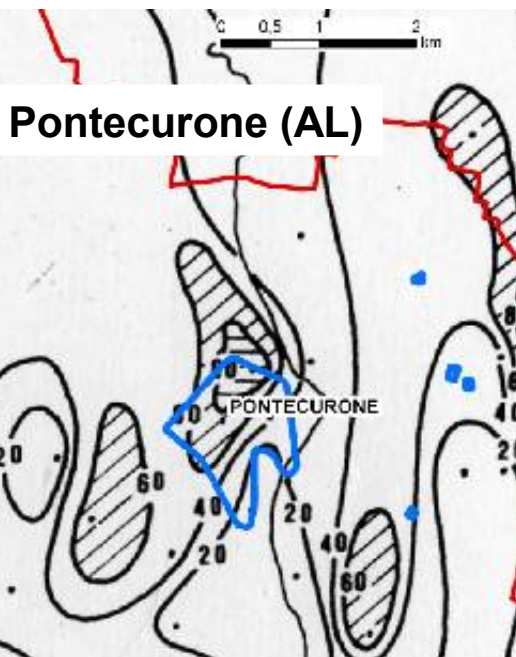
V_{los} (mm/yr)



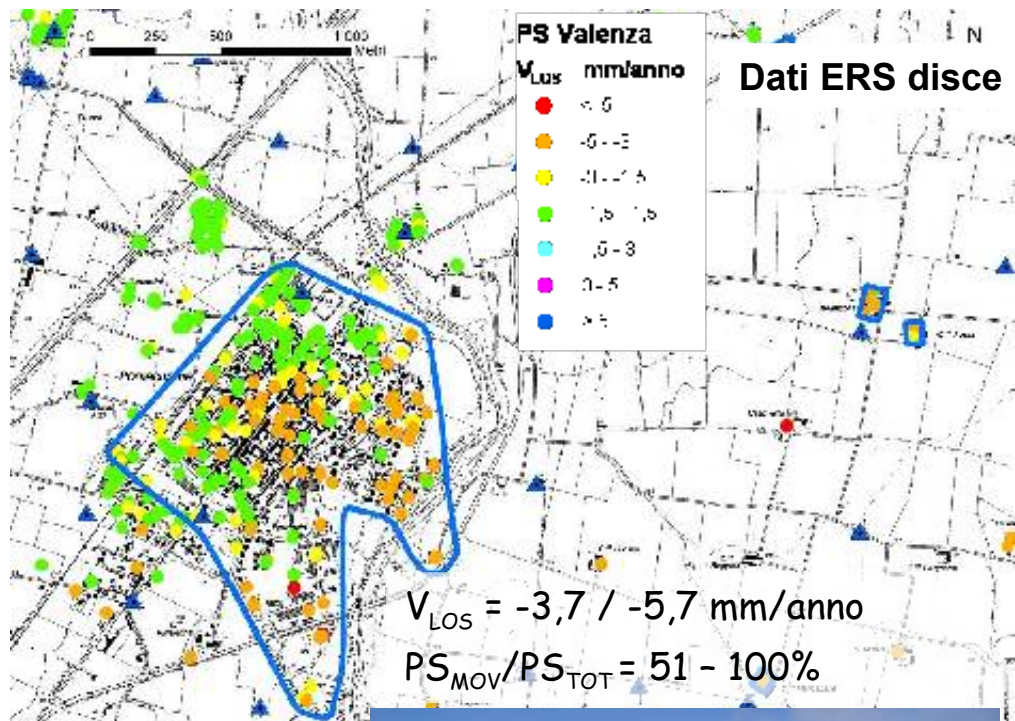
- Scala del fenomeno: puntuale
- Velocità: elevata ma costante
- Tipo di movimento: prevalentemente verticale
- Applicabilità della tecnica : ottima

Limiti: -

SUBSIDENZA PER ESTRAZIONI DI FLUIDI



Carta della distribuzione percentuale dei sedimenti argillosi da 0 a 10 m sotto il piano campagna (Cotta & Peloso, 1987)



RATIO	58 %
VEL_MAX	1.3 mm/a
VEL_MIN	-5.7 mm/a
VEL_MEAN	- 2 mm/a

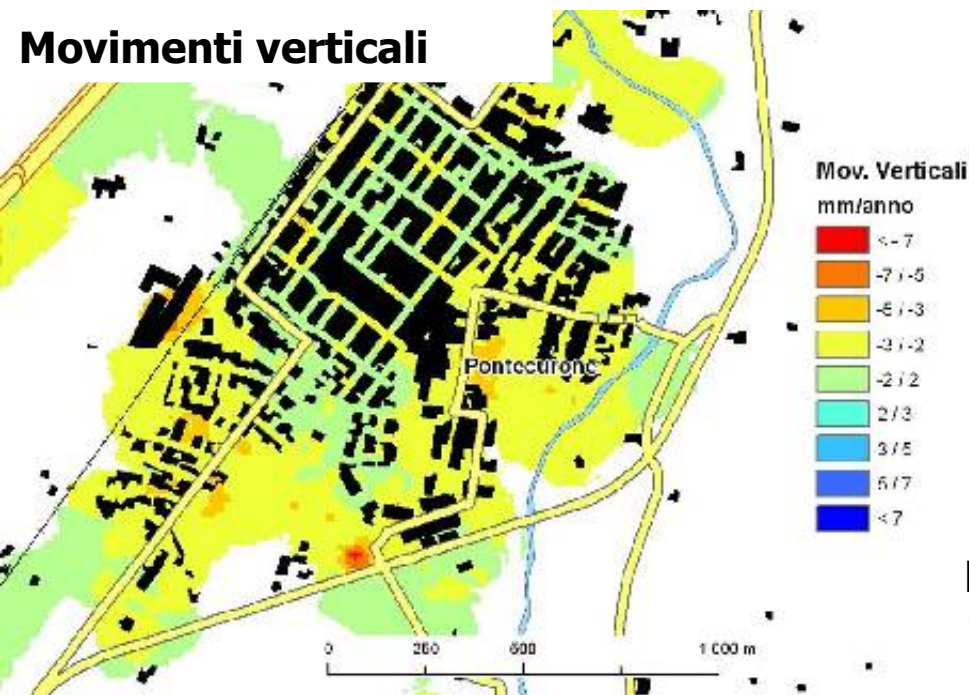


- Fenomeno esteso (1,2 km²)
- Elevata presenza di pozzi per estrazione di acqua
- Zone limitrofe adibite interamente a coltivazioni

Edifici e strutture (corrispondenti a PS) non lesionati e senza problemi strutturali

Pontecurone (AL) - subsidenza e innalzamenti legati alla falda

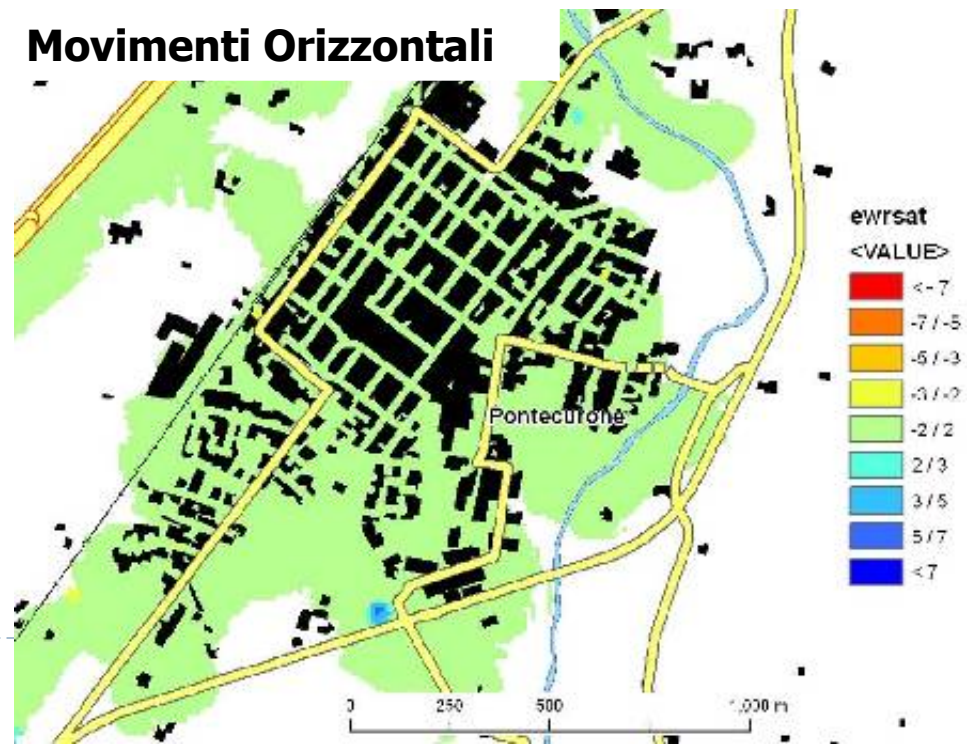
Movimenti verticali



Il dato in parte è spiegabili con la compattazione dell'edificato più recente, e grazie all'analisi delle *time series* anche con l'oscillazione della falda ed il contenuto di acqua del terreno.

Sono individuabili un trend stagionale ed uno pluriennale

Movimenti Orizzontali



Pontecurone (AL) - subsidenza e innalzamenti legati alla falda

Dato radarsat (2003-2010)

