



Rischio idrogeologico

Geomorfometria



Dr. Chiara Calligaris

A.A. 2020-2021

calligar@units.it



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI TRIESTE

www.aedilizia.com

DMG dipartimento
di matematica
e geoscienze

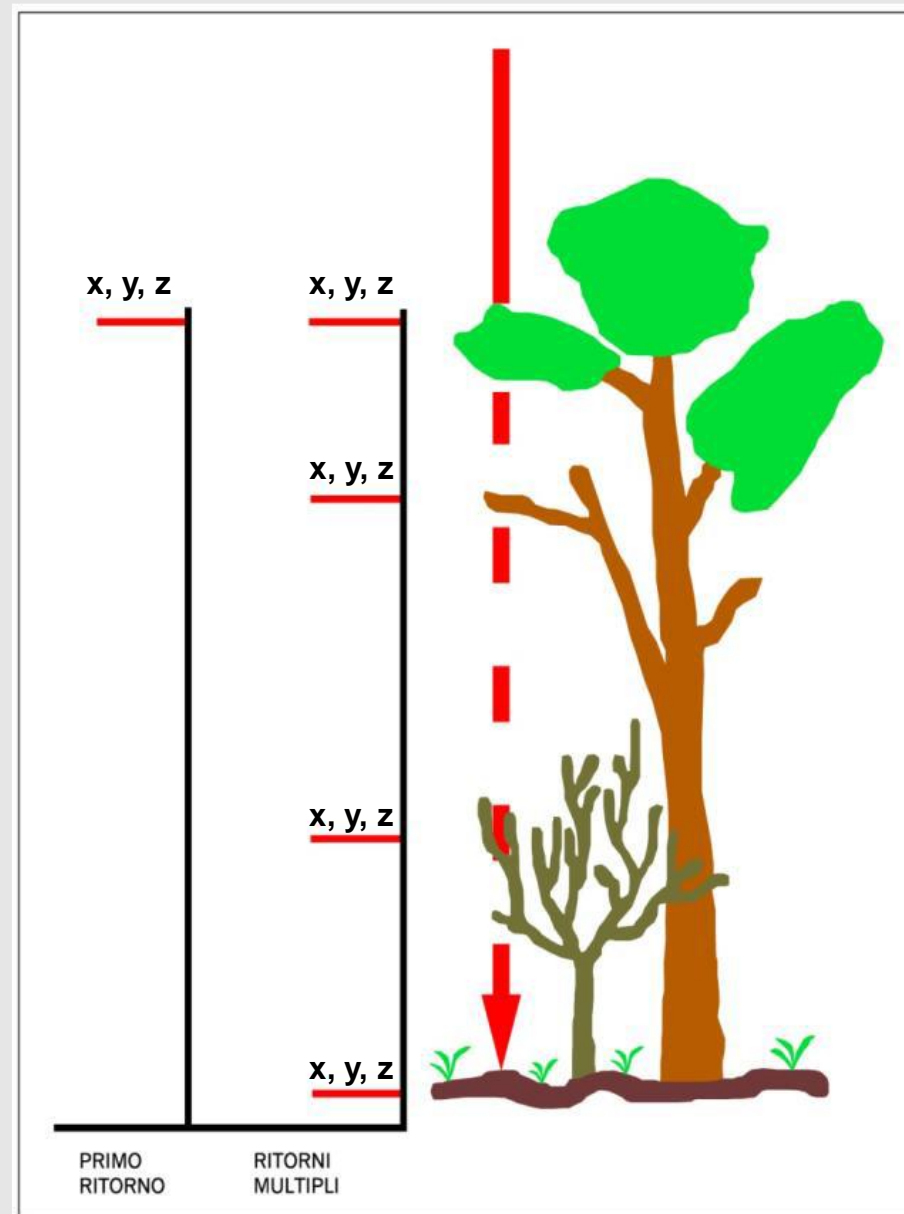
Che cosa sono i dati LIDAR?

LIDAR (**Light Detection and Ranging**) è una tecnica di telerilevamento "attivo" per l'esecuzione di rilievi topografici ad alta risoluzione. Il rilievo viene effettuato tramite mezzo aereo sul quale è installato un laser scanner composto da un trasmettitore (essenzialmente un laser), da un ricevitore (costituito da un telescopio) e da un sistema di acquisizione dati. La peculiarità del sistema è l'altissima velocità di acquisizione dei dati abbinata ad un'elevata risoluzione.

Ciò che si ottiene con un rilievo LiDAR è **un insieme di punti ad ognuno dei quali è associato un dato relativo alle coordinate geografiche (sistema WGS 84), alla quota (Z) calcolata sulla base della differenza di tempo intercorsa tra il segnale emesso e quello riflesso ed il valore dell'intensità di segnale riflessa (I)**. Analizzando i punti riflessi si osserva un ritorno multiplo del segnale, ed in presenza di vegetazione (non eccessivamente densa) il Lidar penetra riflettendo punti a vari livelli della fronda e al suolo.

Vantaggi rispetto alle tradizionali tecniche di acquisizione dati:

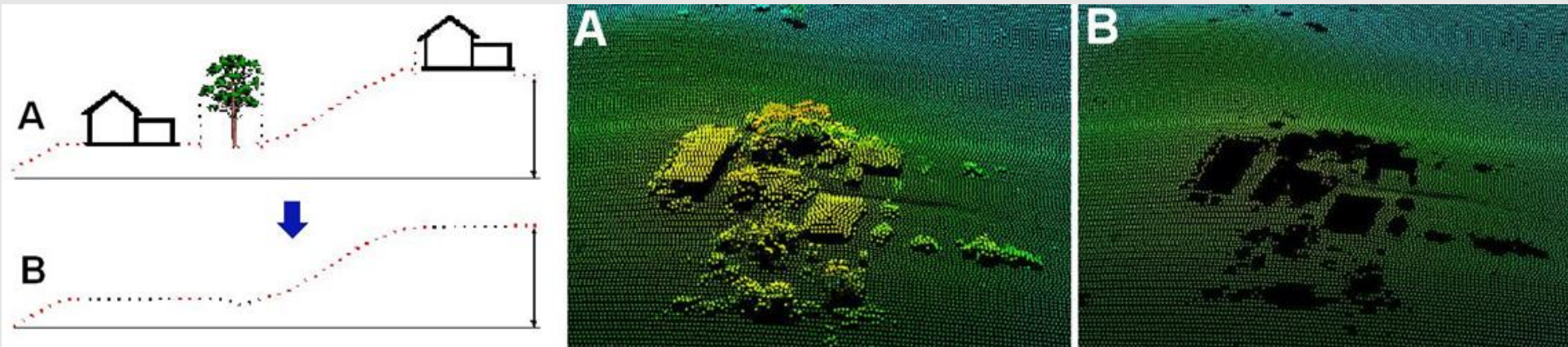
- alta risoluzione (0.5-8 punti/m²)
- elevata accuratezza verticale (circa 15 cm)
- velocità nell'acquisizione (5-50 Km²/h)
- automatico e rapido post-processamento dei dati
- capacità di discriminare tra suolo e vegetazione



Che cosa ottengo dai dati LIDAR?

La nuvola dei punti laser contiene al suo interno **informazioni geografiche su tutti gli elementi riflettenti presenti**. Poiché il laser acquisisce la posizione di molteplici impulsi, si procede ad una **classificazione** del volume di dati al fine di attribuire ad ogni singolo punto un significato fisico specifico, discriminando gli impulsi che risultano appartenenti al suolo (*ground*) dagli impulsi classificabili come superfici arboree ed arbustive, elementi antropici quali cavi elettrici, ponti, edifici, automobili, etc.

<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/costa/il-rilievo-lidar>



A) Punti totali, che comprendono suolo, superfici arboree ed arbustive, elementi antropici quali edifici, ponti, automobili, ecc. **B)** Impulsi che sulla base di un procedimento di filtraggio risultano appartenenti al suolo.

Che cosa ottengo dai dati LIDAR?

Dalla nuvola di punti totali si ottiene un **Modello Digitale di Superficie** (in inglese **DSM**, **Digital Surface Model** – Figura B), mentre per elaborazioni successive, che comprendono sia un filtraggio automatico che manuale, si estraggono i soli punti che appartengono al suolo da cui si ottiene un **Modello Digitale del Terreno** (DTM, Digital Elevation Model- Figura C).

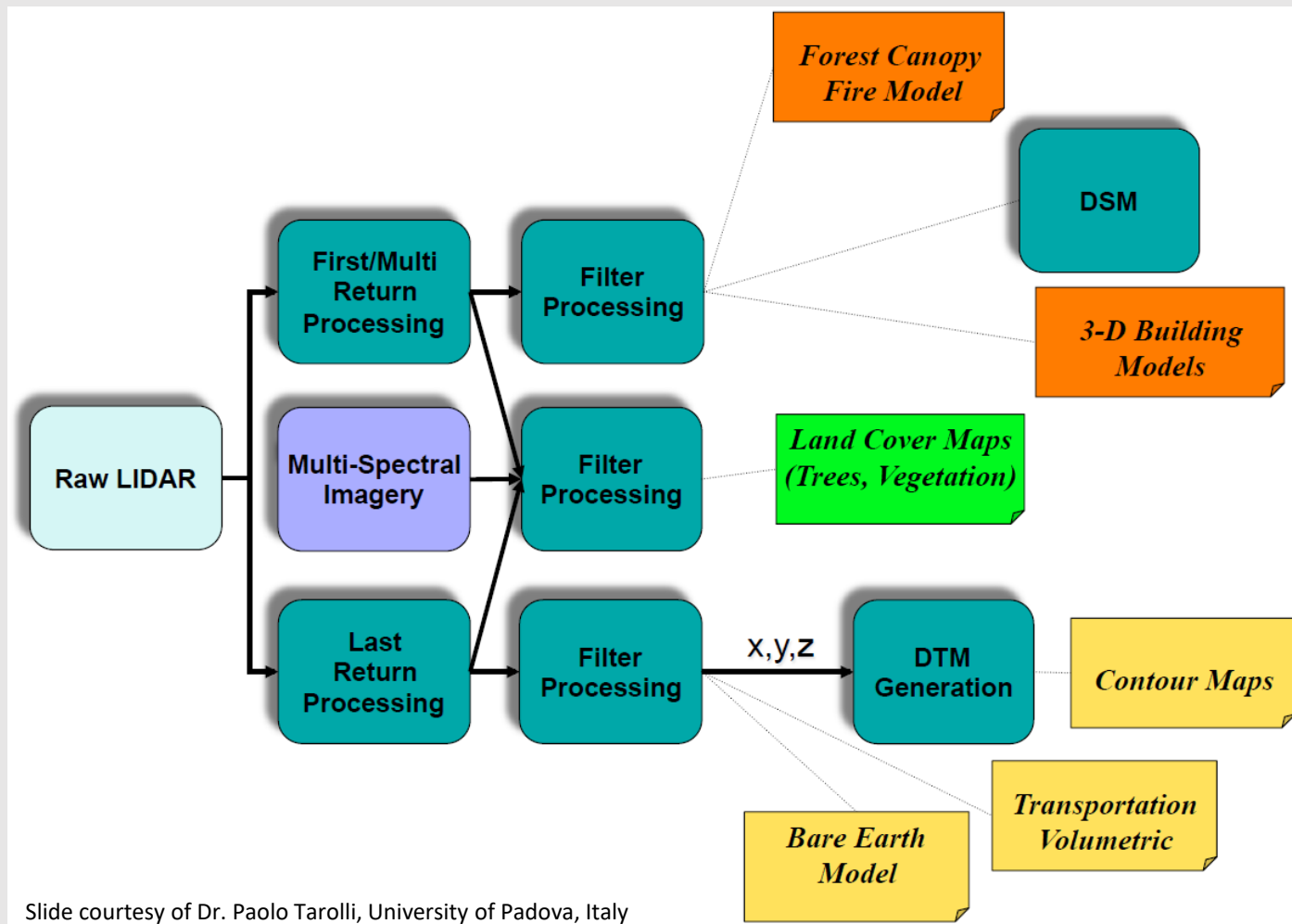
<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/costa/il-rilievo-lidar>



Esempio di rappresentazione 3D del tratto di costa a sud della Foce del Savio.

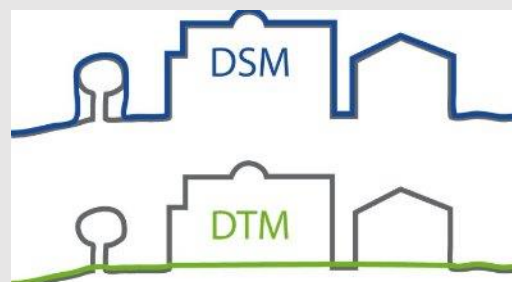
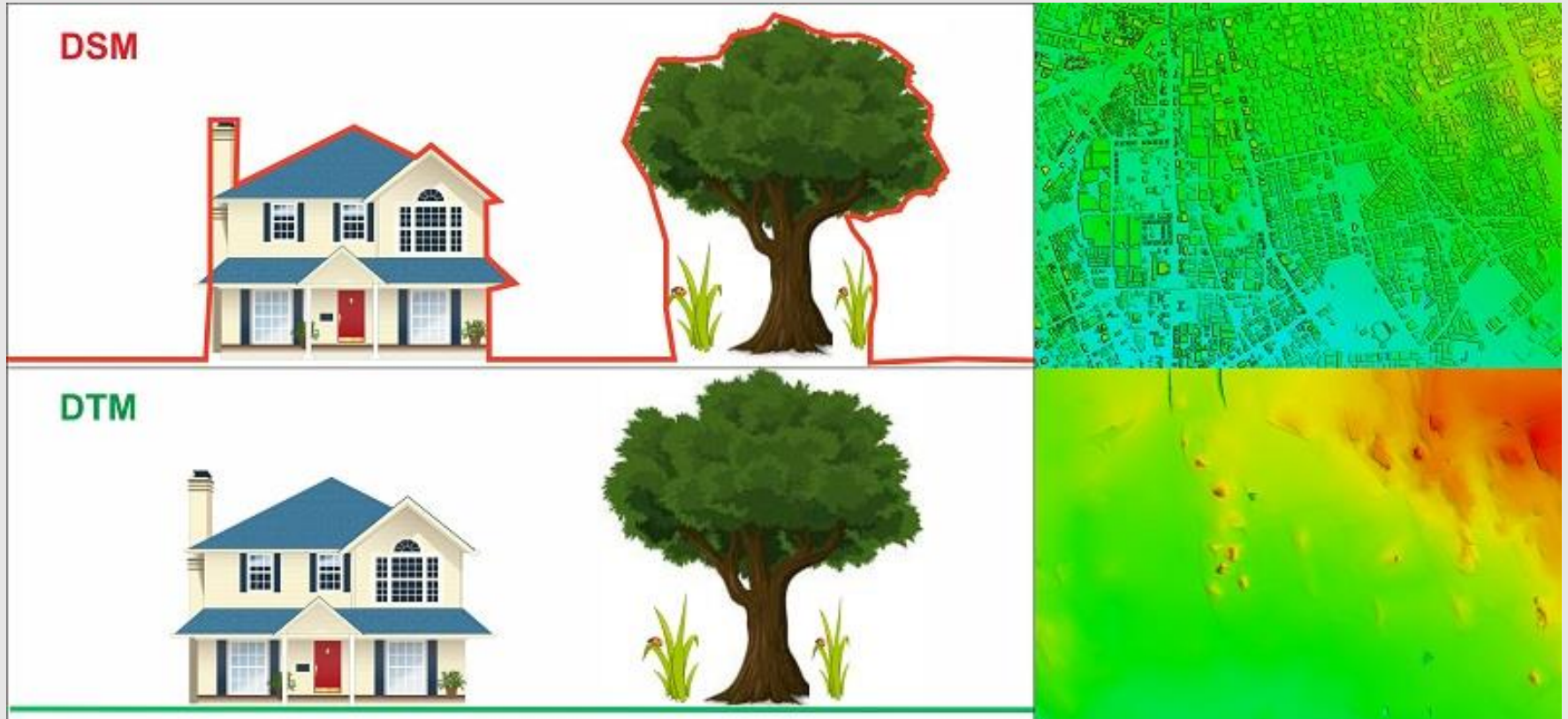
A) Foto aerea, B) Modello Digitale di Superficie (DSM), C) Modello Digitale del Terreno (DTM).

Riassumendo: Che cosa ottengo dai dati LIDAR?



Slide courtesy of Dr. Paolo Tarolli, University of Padova, Italy

DTM vs DSM



PER CHIARIRE

DTM sta per Digital Terrain Model (Modello Digitale del Terreno)

DSM sta per Digital Surface Model (Modello Digitale della Superficie – o delle superfici)

DEM sta per Digital Elevation Model (Modello Digitale di Elevazione)

IN CONCLUSIONE

DEM – è un modello di elevazione generale che comprende DTM e DSM

DSM – è il modello che descrive l'andamento della superficie terrestre con gli oggetti che ci stanno sopra

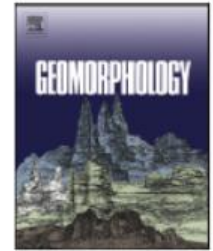
DTM – è il modello della superficie terrestre filtrata dagli elementi antropici o vegetazionali



Contents lists available at ScienceDirect

Geomorphology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/geomorph



Invited review article

High-resolution topography for understanding Earth surface processes: Opportunities and challenges



Paolo Tarolli *

Department of Land, Environment, Agriculture and Forestry, University of Padova, Agripolis, viale dell'Università 16, 35020 Legnaro (PD), Italy

ARTICLE INFO

Article history:

Received 4 February 2013

Received in revised form 21 February 2014

Accepted 3 March 2014

Available online 12 March 2014

Keywords:

Earth surface processes

High-resolution topography

Lidar

Geomorphic signatures

Anthropogenic signatures

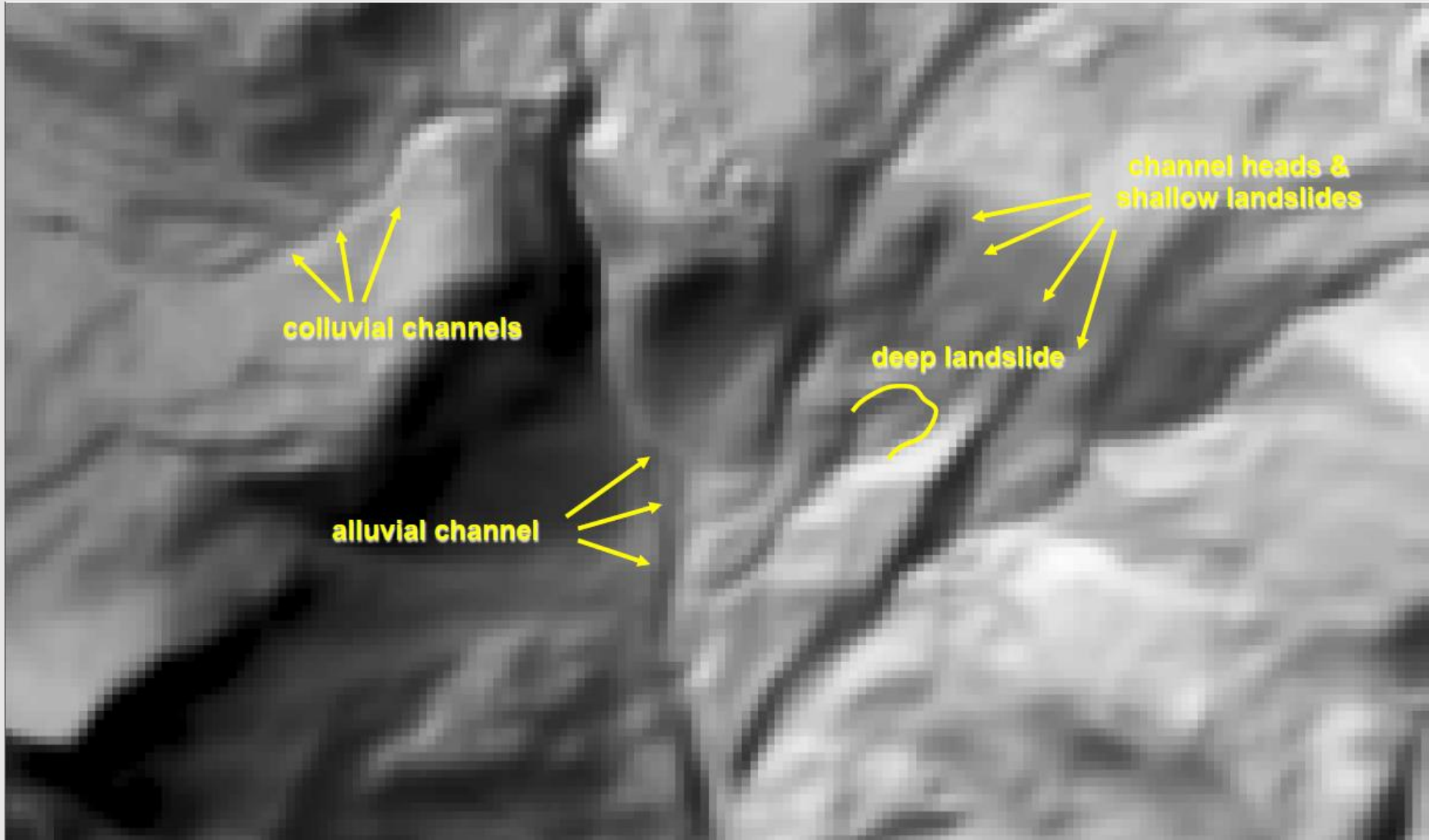
Anthropocene

ABSTRACT

In the last decade, a range of new remote-sensing techniques has led to a dramatic increase in terrain information, providing new opportunities for a better understanding of Earth surface processes based on geomorphic signatures. Technologies such as airborne and terrestrial lidar (Light Detection and Ranging) to obtain high-resolution topography have opened avenues for the analysis of landslides, hillslope and channellization processes, river morphology, active tectonics, volcanic landforms and anthropogenic signatures on topography. This review provides an overview of the recent flourishing literature on high-resolution topographic analyses, underlining their opportunities and critical issues such as their limitations. The goal is to provide answers to questions such as what kind of processes can be analyzed through high-resolution topographic data and how to do it. The review focuses on two different environments: natural and engineered landscapes. In both contexts, high-resolution topography offers opportunities to better understand geomorphic processes from topographic signatures. Particular attention is given to engineered landscapes in which the direct anthropic alteration of processes is significant. The last part of the review discusses future challenges.

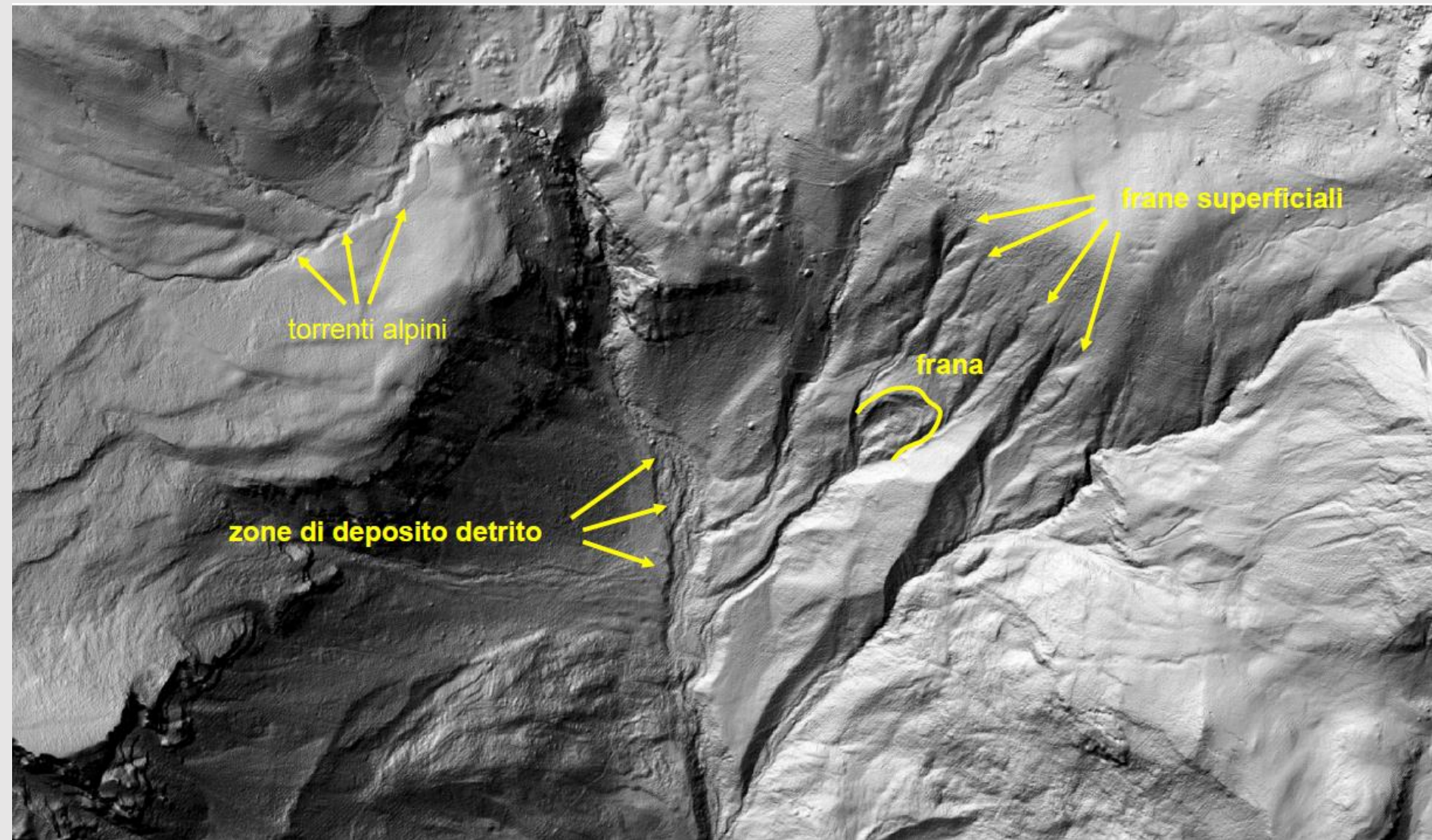
© 2014 Elsevier B.V. All rights reserved.

DTM 10 x 10 m – Rio Cordon Selva di Cadore



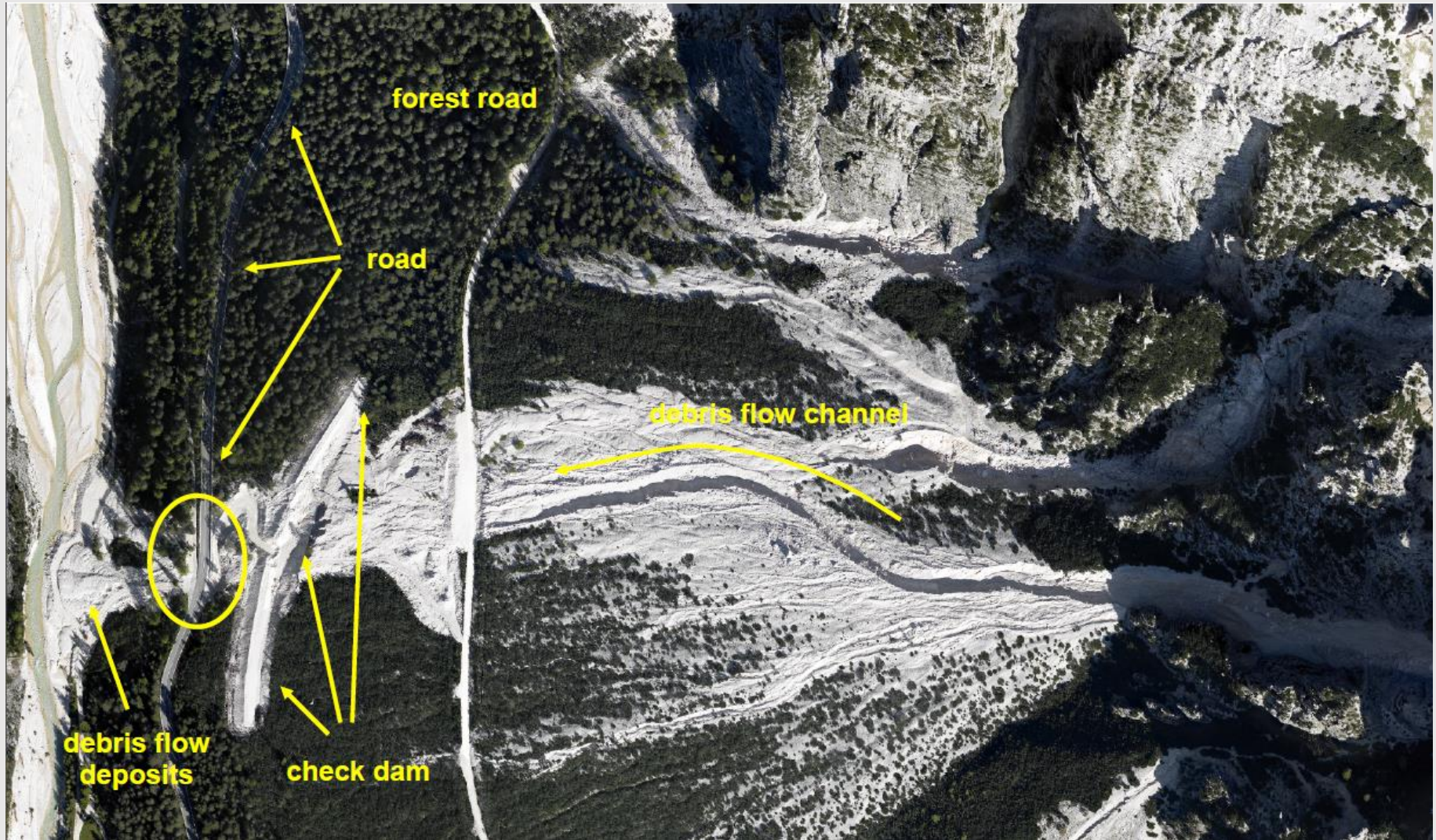
Slide courtesy of Dr. Paolo Tarolli, University of Padova, Italy

DTM 0.5 x 0.5 m – Rio Cordon Selva di Cadore



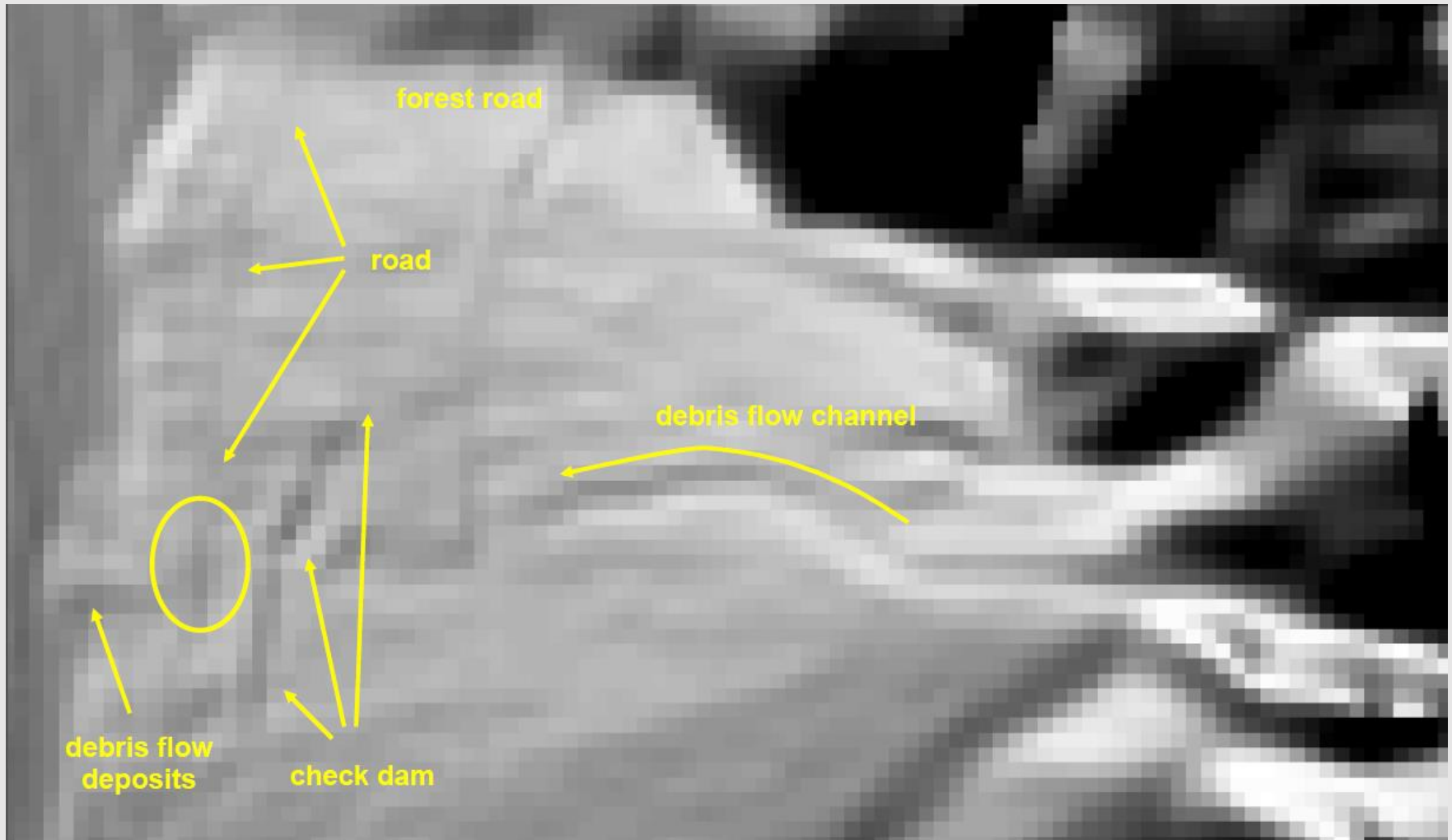
Slide courtesy of Dr. Paolo Tarolli, University of Padova, Italy

Un esempio di utilizzo – Cortina d'Ampezzo



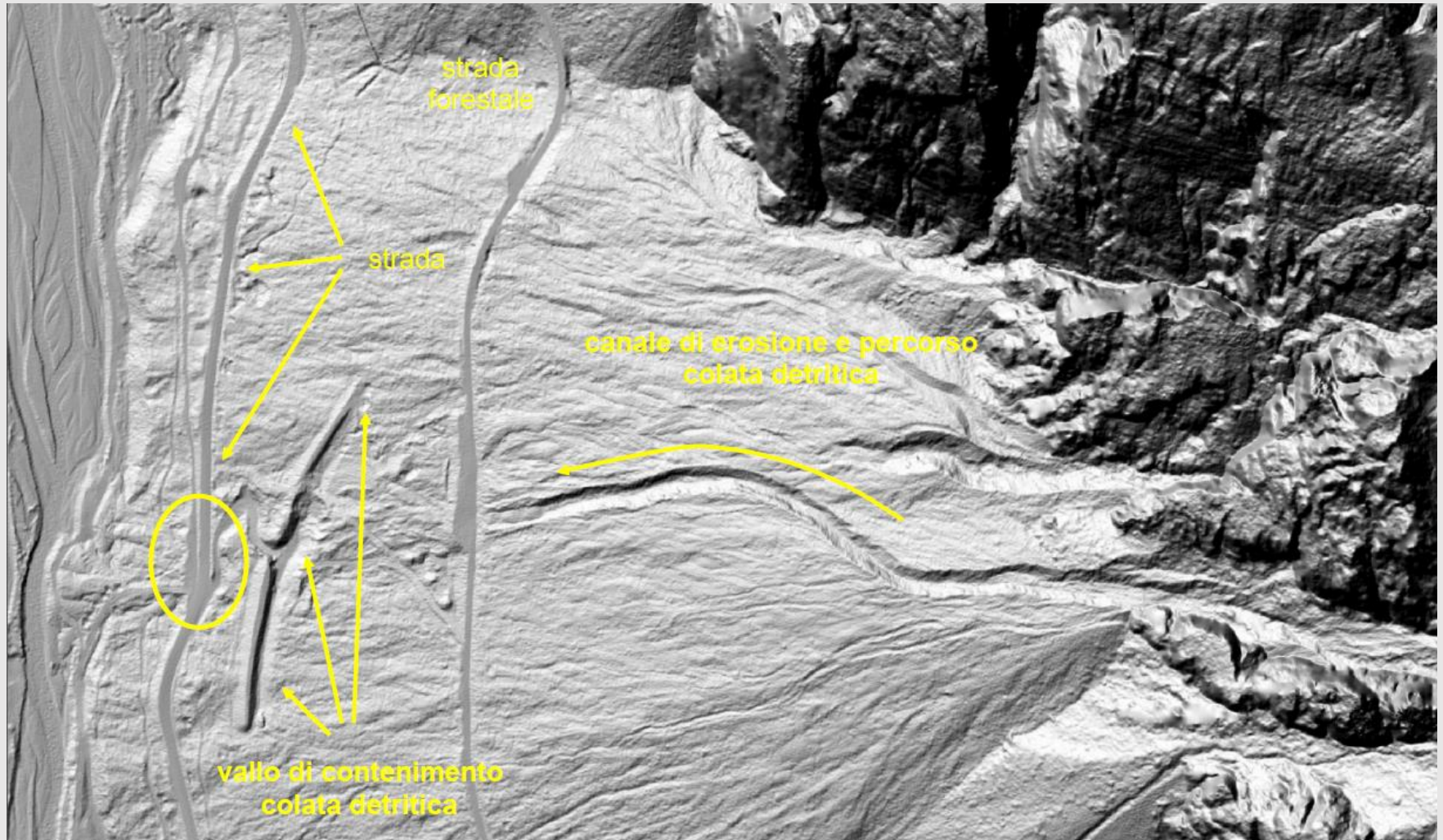
Evento di Cortina d'Ampezzo del 5 luglio 2006, 64 mm/h di pioggia 40.000m^3 di materiale detritico investirono 2 strade alluvionandole e distruggendole.

L'importanza della qualità del dato di base DTM 10 x 10 m



Slide courtesy of Dr. Paolo Tarolli, University of Padova, Italy

L'importanza della qualità del dato di base DTM 0.5 x 0.5 m



Slide courtesy of Dr. Paolo Tarolli, University of Padova, Italy

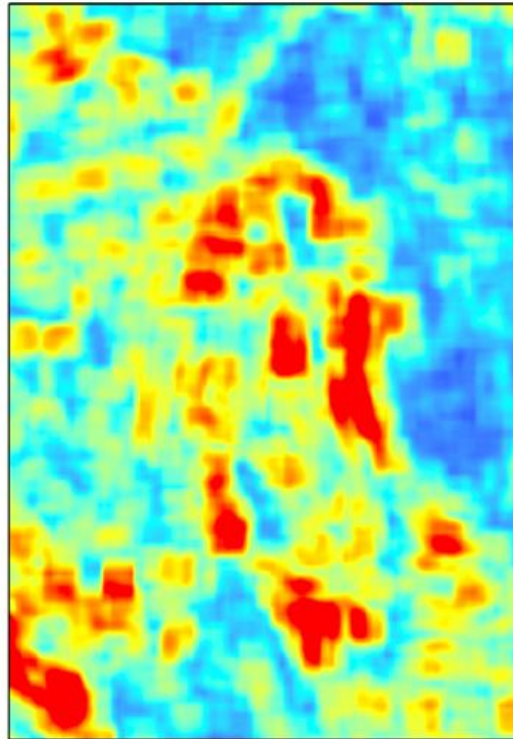
Landslide detection

0.5 m

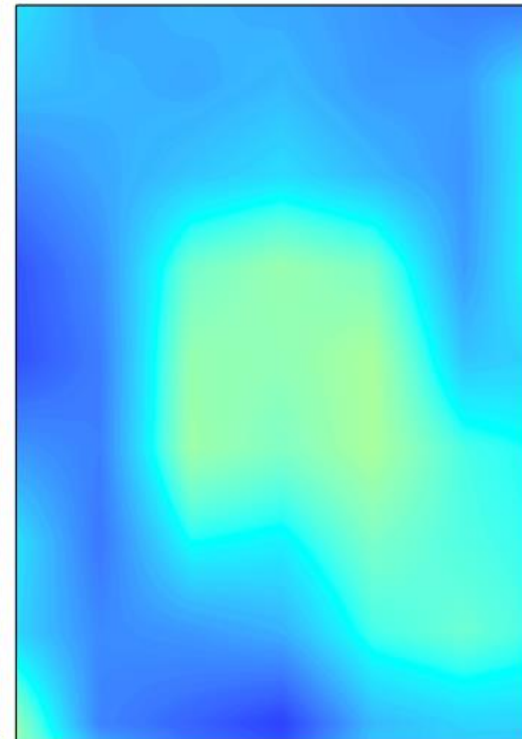
10 m



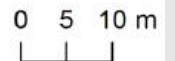
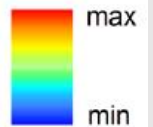
(a)



(b)

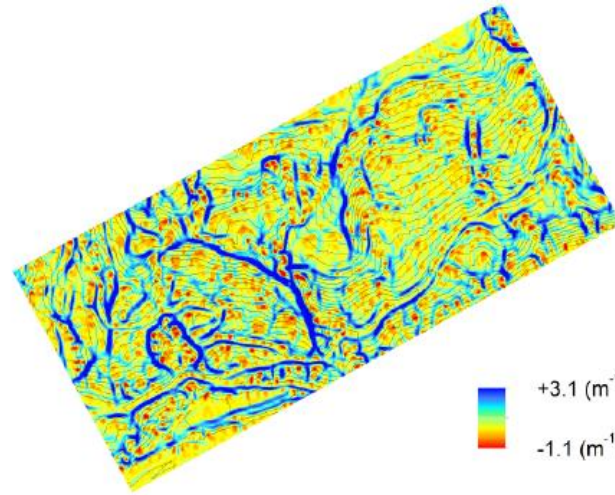
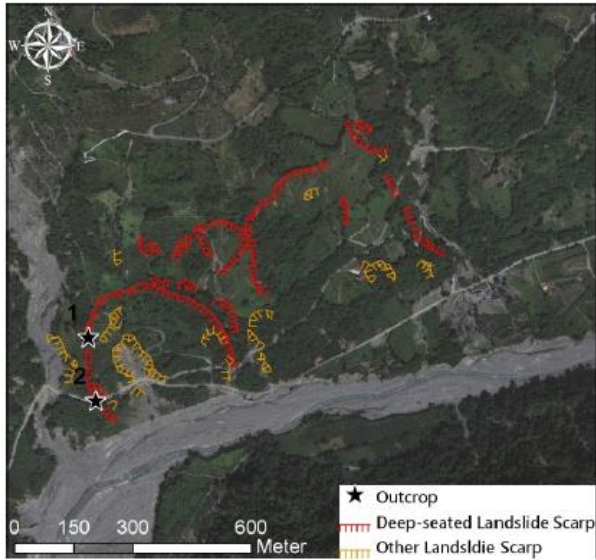


(c)

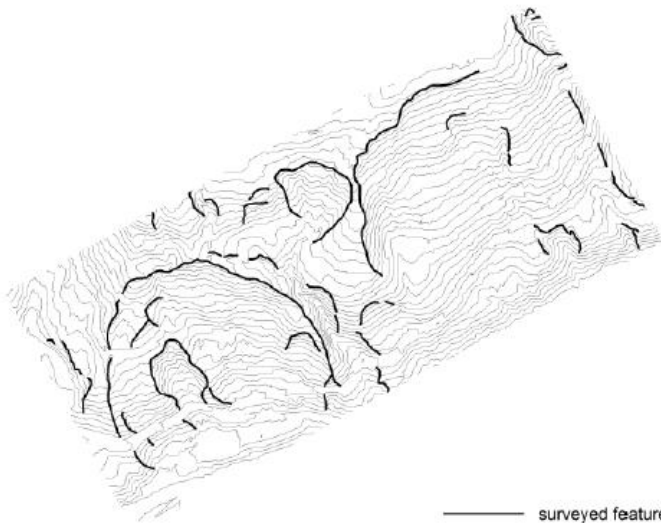
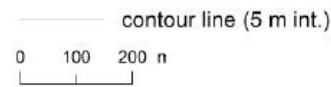
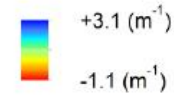


Tarolli P. (2014)

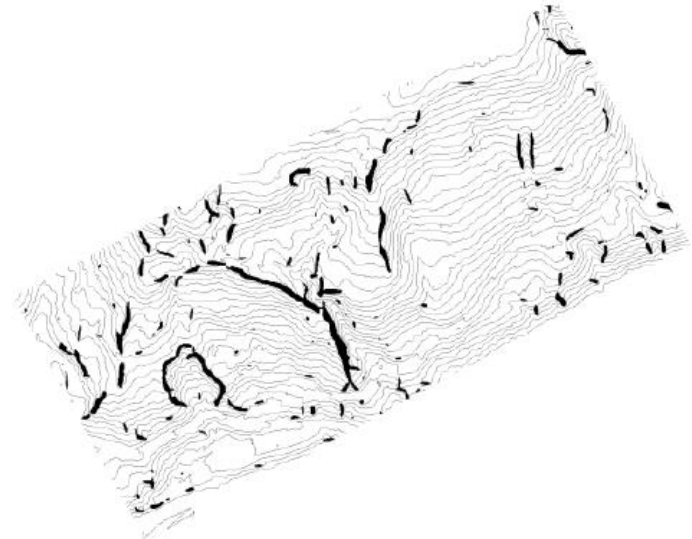
Slide courtesy of Dr. Paolo Tarolli, University of Padova, Italy



curvature

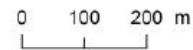


surveyed feature



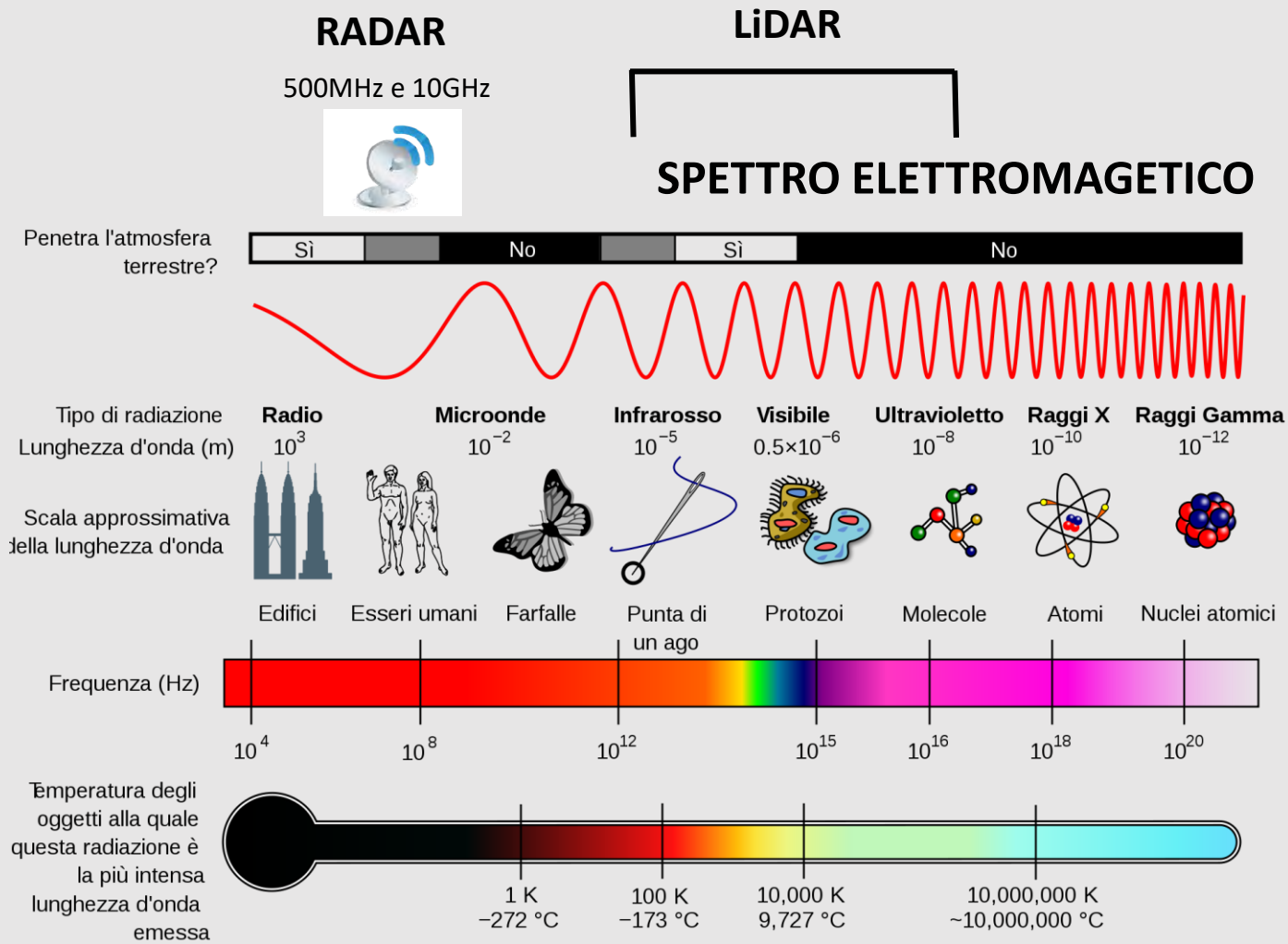
contour line (5 m int.)

extracted feature



Slide courtesy of Dr. Paolo Tarolli, University of Padova, Italy

Esiste anche altro oltre al LS??



Esiste anche altro oltre al LS??

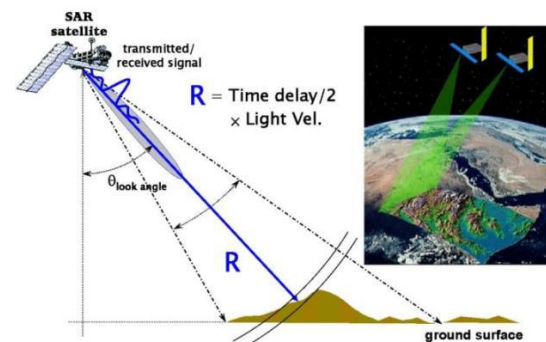
SAR – Synthetic Aperture Radar

I **SAR** sono dispositivi radar che forniscono immagini elettromagnetiche (**a frequenze comprese tra 500MHz e 10GHz**) posizionati a bordo di velivoli mobili che inquadrano un obiettivo fisso; il principio di funzionamento è simile a quello della creazione delle immagini olografiche con l'utilizzo di microonde invece che di luce. Sono una tecnica di rilevamento messa a punto negli anni '80.

Il principio di funzionamento del **RADAR** (acronimo di **Radio Detecting and Ranging**) è: un apparecchio trasmittente illumina lo spazio circostante con un'onda elettromagnetica che incidendo sulla superficie terrestre subisce un fenomeno di riflessione disordinata (diffusione, scattering). Una parte del campo diffuso torna verso la stazione trasmittente, equipaggiata anche per la ricezione, dove vengono misurate le sue caratteristiche.

La tecnologia SAR è più vantaggiosa in termini economici per il rilievo di **estese superfici** (**attraverso le nuvole** e, anche se solo parzialmente, attraverso le precipitazioni), accettando un'accuratezza verticale più bassa rispetto a tecnologia LiDAR.

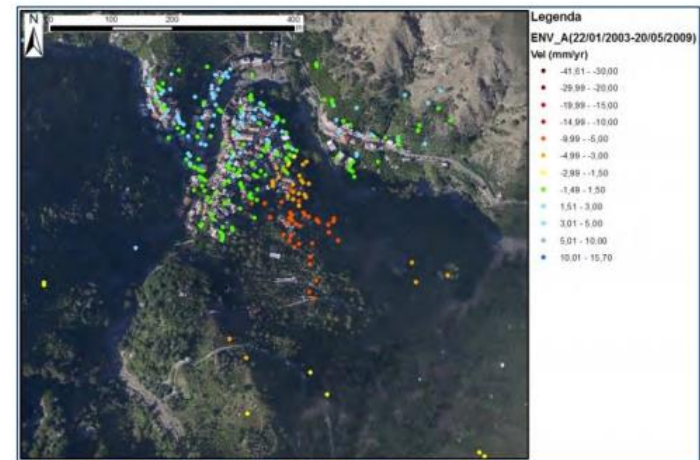
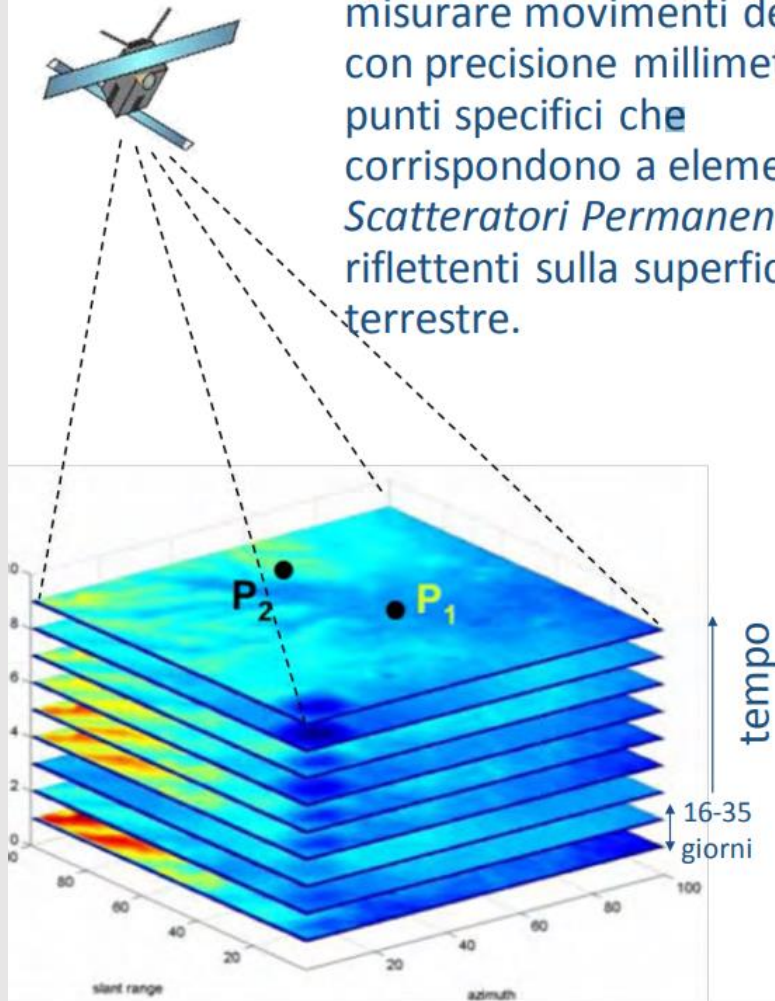
Antenne radar ad apertura sintetica sono state montate, per esempio, sui satelliti ERS, ENVISAT e COSMOSkyMed.



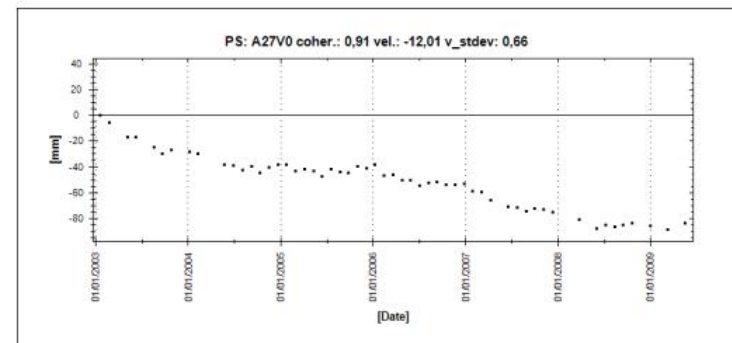
Tarolli, Cavalli (2017)

Interferometria multi-immagine

Tecnica di analisi di immagini SAR che permette di isolare e misurare movimenti del suolo con precisione millimetrica su punti specifici che corrispondono a elementi (PS – *Scatteratori Permanenti*) molto riflettenti sulla superficie terrestre.



Velocità media annua di deformazione

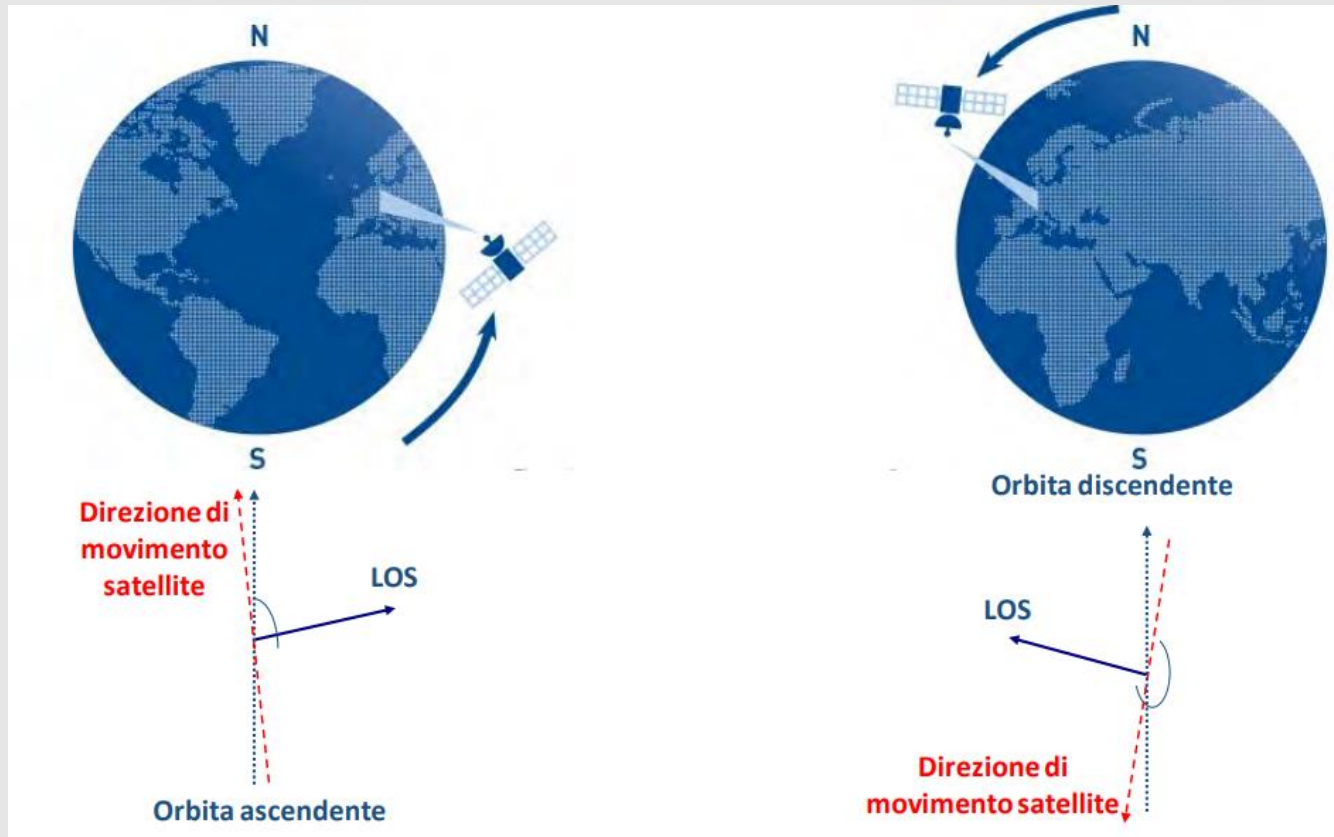


Serie temporali di spostamento

Casagli, 1996 - Interferometria satellitare per il monitoraggio dei dissesti idrogeologici

Chiara Calligaris, Ph.D. – D.M.G. Università degli Studi di Trieste

Geometrie di acquisizione



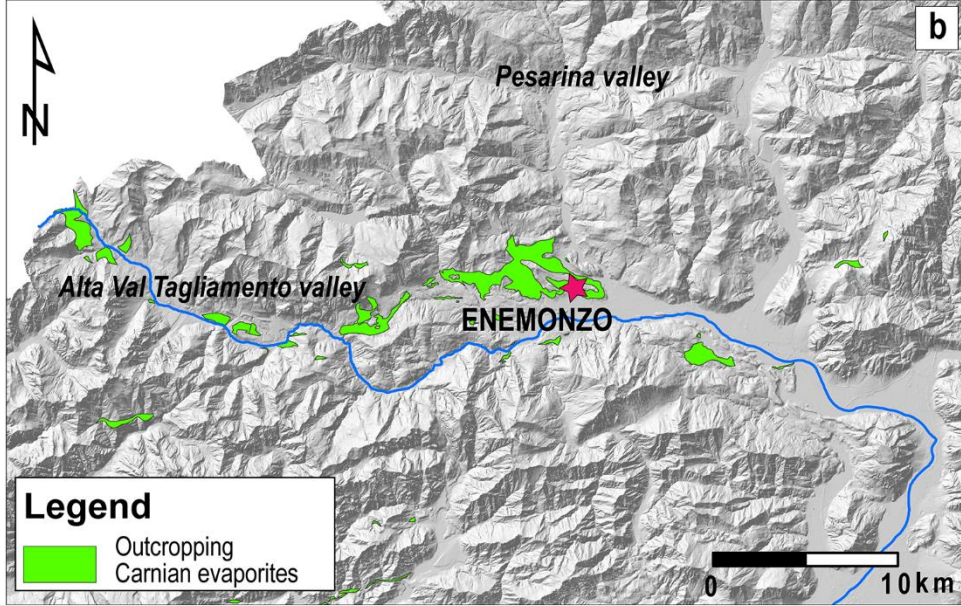
Casagli, 1996 - Interferometria satellitare per il monitoraggio dei dissesti idrogeologici

Combinando la rotazione terrestre con le orbite dei satelliti, una stessa area della superficie terrestre viene illuminata sia durante il passaggio del satellite in direzione Nord-Sud, **geometria discendente**, sia durante il passaggio del satellite in direzione Sud-Nord, **geometria ascendente**

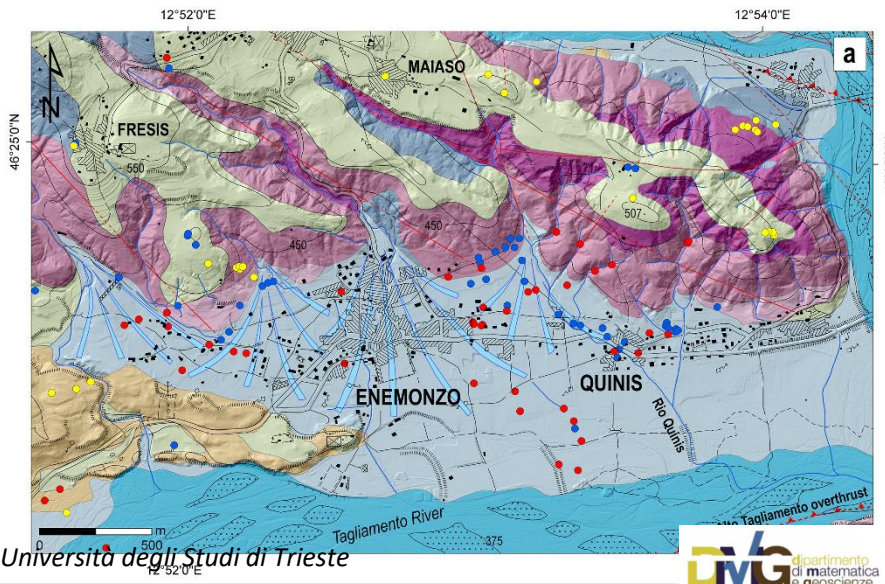
I dati SAR applicati al caso QUINIS

Dott.ssa Alice Busetti

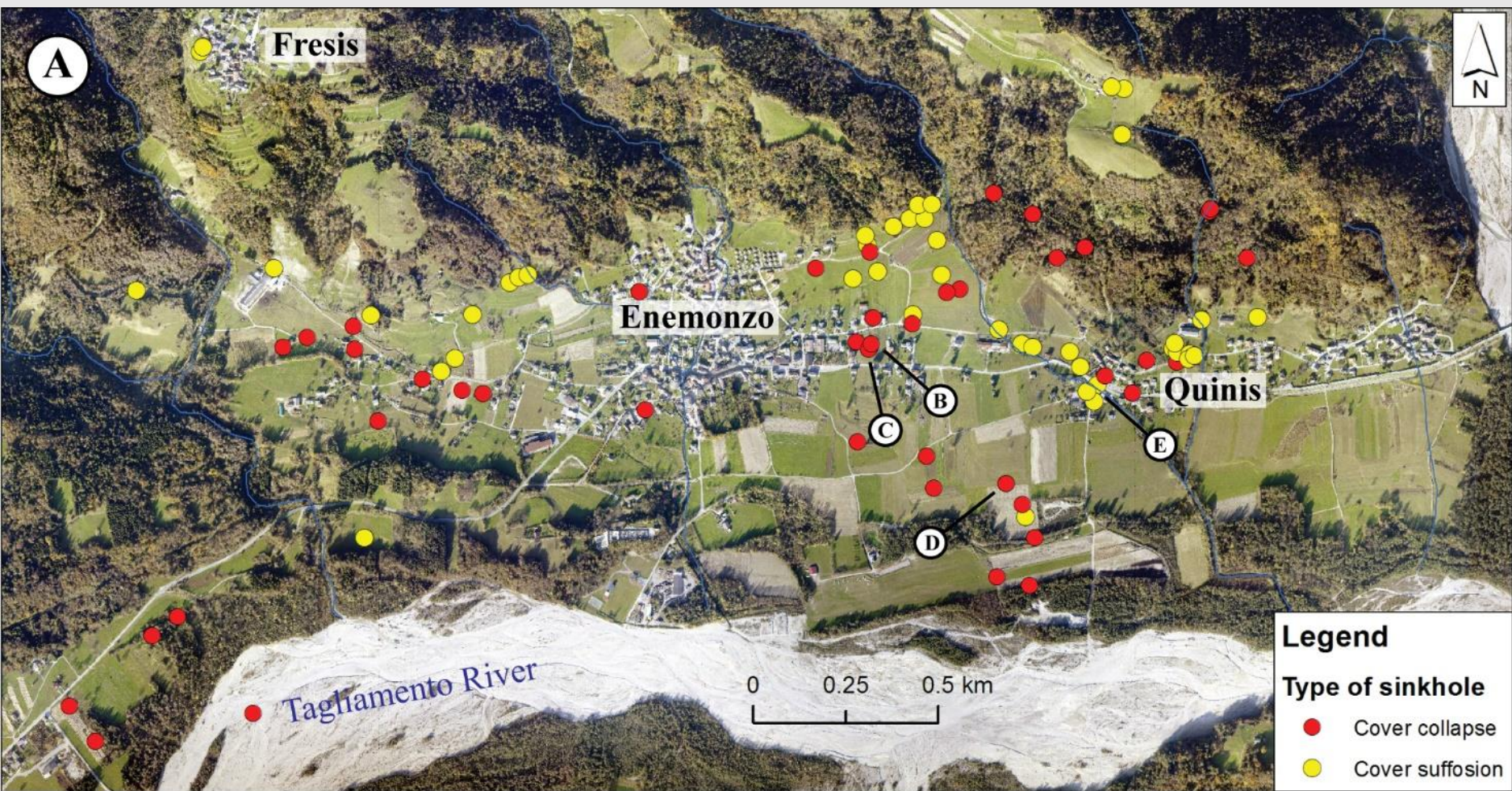
Area di studio



Formazione Raibl divisa in 3 membri, dal basso all'alto:
 Membro a peliti rosse (RBA1);
 Membro a gessi e dolomie grigie (RBA2)
 Membro a dolomie e marne (RBA3)

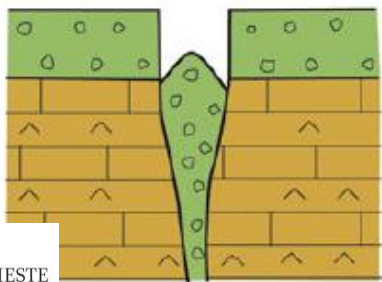


Legend	
Geomorphological features	Lithostratigraphic units
● Cover suffosion sinkhole	b
● Cover collapse sinkhole	b2
● Undefined	QQC
▲ Alluvial fan	QQB
Structural features	QQAb
— Fault	RBA3
- - - Buried or uncertain fault	RBA2
▲ - - - Buried or uncertain overthrust	RBA1
	ER



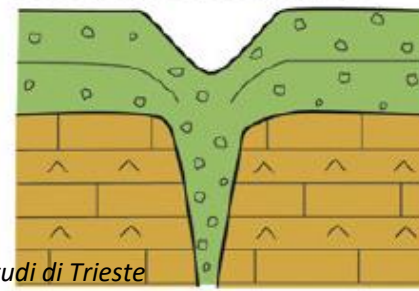
Collapse

Cover collapse sinkhole



Suffosion

Cover suffosion sinkhole



Gutiérrez et al. (2008)

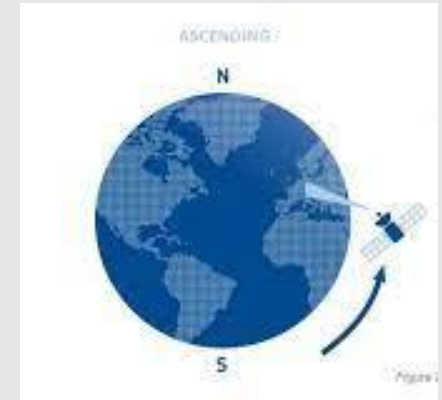
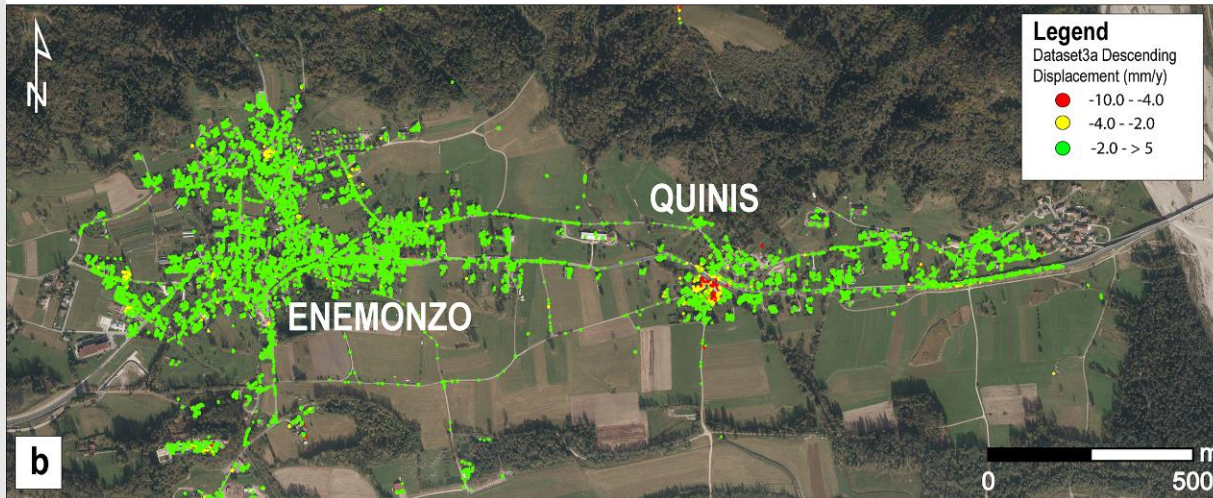
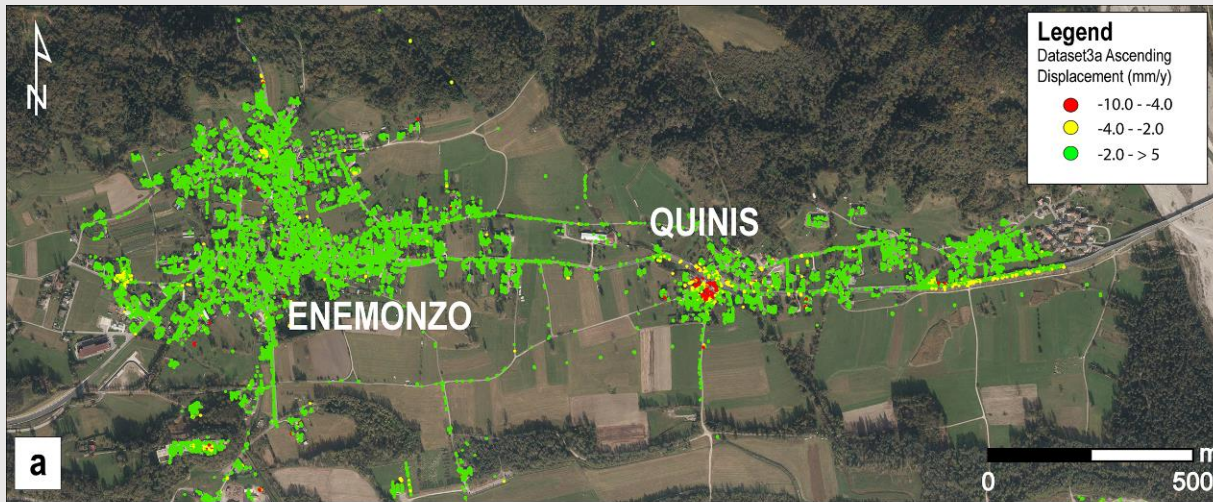
Chiara Calligaris, Ph.D. – D.M.G. Università degli Studi di Trieste

SINKHOLE TRA ENEMONZO E QUINIS



Dati Satellitari - INSAR

Ogni punto è
un PS =
Permanent
Scatterers



FID	Shape	FeatId1	CODE	LAT	LON	UTM_E	UTM_N	UTM_ZONE	GEO_HEI	ELL_HEI	HEI_STD	DEM_ERR	COH	INC_ANG	HEAD_ANG	LOS_COS_X	LOS_COS_Y	LOS_COS_Z	V_LOS	V_LOS_STD	VAL201212	VASDL2012	VAL201312	VASDL2013	VAL201412	VASDL2014	VAL201512
2372	Point	1	L07043P12588	46.400095	12.903841	338865	5140637	33	397.7	445.2	0.1	21.9	0.84	34.481	169.419	0.75176	-0.398702	0.525255	0	0.14	1.5	1.38	1.2	2.4	0	1.04	-1
23727	Point	2	L07043P12589	46.400096	12.90385	338866	5140637	33	396.7	444.2	0.1	20.9	0.91	34.481	169.419	0.75176	-0.398704	0.525254	0	0.1	1	1.06	0.7	1.3	-0.3	0.67	0.3
23726	Point	3	L07044P12588	46.400113	12.903833	338865	5140639	33	397.6	445	0.1	21.6	0.94	34.481	169.419	0.75176	-0.398703	0.525255	0	0.08	1	0.86	0.5	0.84	-0.3	0.59	0.1
23725	Point	4	L07044P12589	46.400114	12.903843	338865	5140639	33	396.7	444.2	0.1	20.7	0.95	34.481	169.419	0.75176	-0.398705	0.525254	0	0.08	0.6	0.84	0.7	0.66	0.1	0.62	0.8
23724	Point	5	L07044P12590	46.400115	12.90385	338866	5140640	33	395.6	443.1	0.1	19.6	0.81	34.481	169.419	0.75176	-0.398707	0.525253	0	0.15	0.7	1.57	0.9	2.07	-0.6	1.44	1.3
23723	Point	6	L07044P12603	46.400115	12.903847	338866	5140640	33	376.9	424.4	0.1	-1.7	0.95	34.484	169.42	0.751756	-0.398737	0.525234	0.5	0.08	0.6	0.85	0.1	0.75	0.2	0.58	0.5

Gli attributi del formato shape hanno il seguente significato:

CODE: Codice alfanumerico univoco che identifica il PS.

LAT e LON [gradi decimali]: Coordinate geografiche del PS espresse come latitudine e longitudine (EPSG: 4326).

UTM_E [m], **UTM_N** [m], **UTM_ZONE** [-]: Coordinate UTM del PS Easting, Northing in [m] e [Zone] (ETRS89 / TM33 EPSG:3025).

GEO_HEI [m]: quota del PS rispetto al geoide di riferimento EGM-96 [m].

ELL_HEI [m]: quota del PS rispetto all'ellissoide WGS 84 impiegato come riferimento [m].

HEI_STD [m]: deviazione standard associata alle stime GEO_HEI ed ELL_HEI [m].

DEM_ERR [m]: quota da aggiungere al DEM SRTM usato in input per ottenere la quota del PS.

COH [-]: coerenza di lungo periodo del PS: valori tra 0 (minima coerenza) e 1 (massima coerenza).

INC_ANG [gradi]: angolo locale di incidenza, l'angolo compreso tra la linea di vista del satellite (o direzione di puntamento dal target al suolo verso il satellite) e la direzione zenitale locale.

HEAD_ANG [gradi]: angolo di heading, espresso come l'angolo compreso, nel piano orizzontale locale, tra la direzione Est e la proiezione sul piano della linea di vista del satellite; esso è misurato in senso orario a partire dalla direzione Est.

LOS_COS_X, **LOS_COS_Y**, **LOS_COS_Z**: coseni direttori della linea di vista del satellite in coordinate geocentriche (ECEF).

V_LOS [mm/anno]: velocità media di spostamento del PS [mm/anno] con riferimento all'intero periodo di osservazione. La velocità stimata risulta proiettata lungo la linea di vista del satellite.

V_LOS_STD [mm/anno]: deviazione standard associata alla stima di V_LOS.

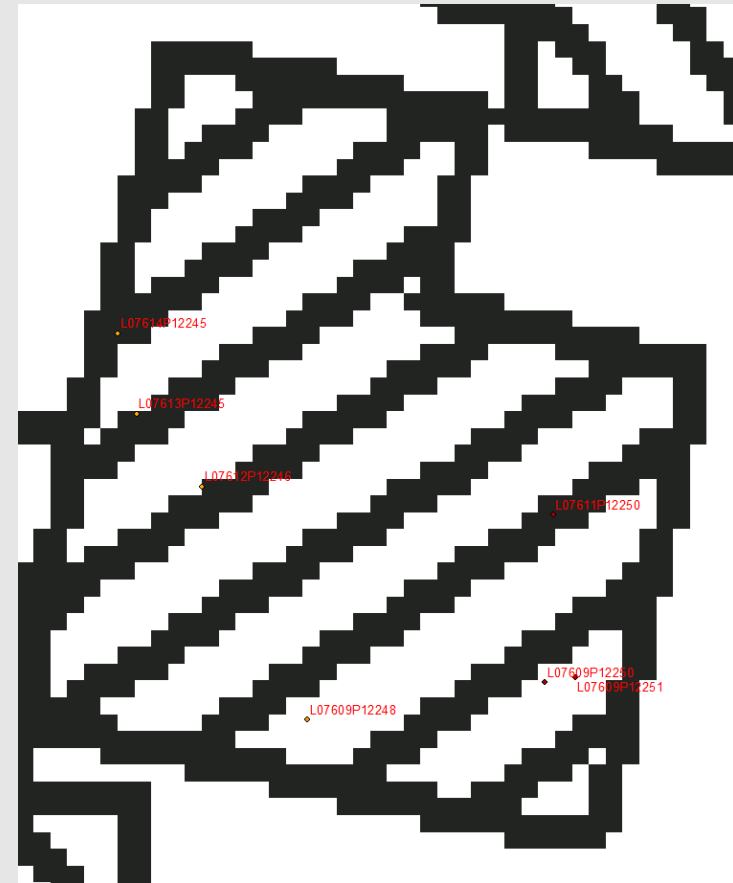
VAL<AAAA>12 [mm/anno]: velocità media di spostamento del PS con riferimento a ciascun anno (indicato nel formato a quattro cifre, <AAAA>) appartenente al periodo di osservazione. La velocità stimata risulta proiettata lungo la linea di vista del satellite.

mm/anno]: deviazione standard associata alla stima di VAL<AAAA>12.

Chiara Calligaris, Ph.D. – D.M.G. Università degli Studi di Trieste

DL<AAAAMMGG> [mm]: valore di spostamento del PS stimato con riferimento alla acquisizione dell'anno <AAAA>, mese <MM> e giorno <GG>. Lo spostamento indicato si intende cumulato rispetto alla prima data di acquisizione e risulta proiettato lungo la linea di vista del satellite.

CODE	L09754P02477	L09754P02476	L09754P02475
V_LOS	-5.00	-5.00	-5.50
DL20120101	0	0	0
DL20120321	-6.60	-0.60	-1.80
DL20120406	-8.20	-1.60	-0.70
DL20120508	-6.40	-2.90	-2.70
DL20120524	-9.70	-2.00	-2.50
DL20120609	-8.30	-2.90	-3.80
DL20120625	-8.30	-2.50	-3.00
DL20120812	-8.50	-2.00	-2.60
DL20120929	-8.10	-3.10	-5.20
DL20121015	-6.60	-5.20	-4.30
DL20121116	-14.70	-4.00	-4.80
DL20121202	-9.00	-4.10	-5.70
DL20121218	-6.30	-4.50	-5.10



Abbiamo costruito una griglia 15x15 metri e per ogni cella abbiamo calcolato la velocità media dei PSs in geometria ascendente e discendente (Δd_{asc} e Δd_{desc}).

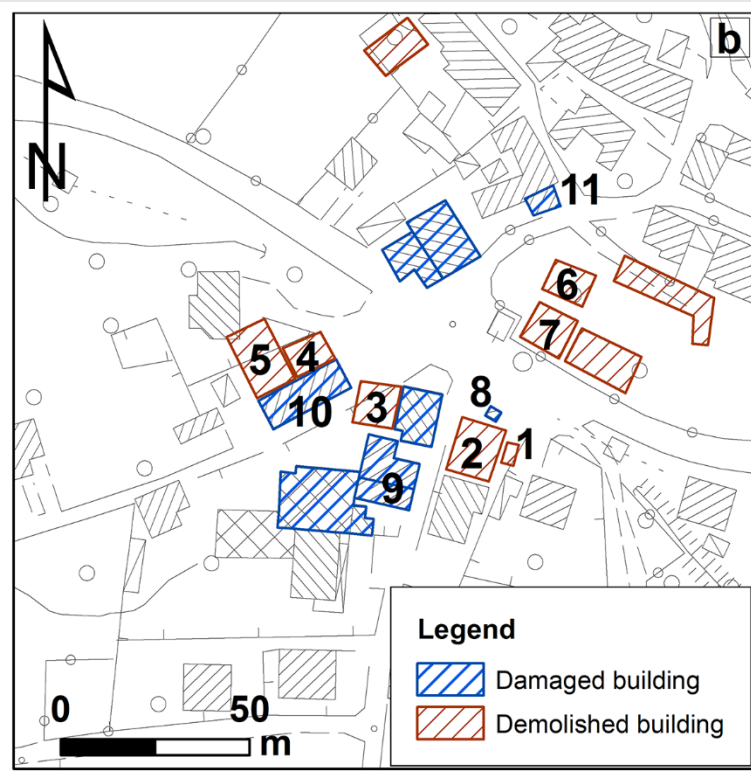
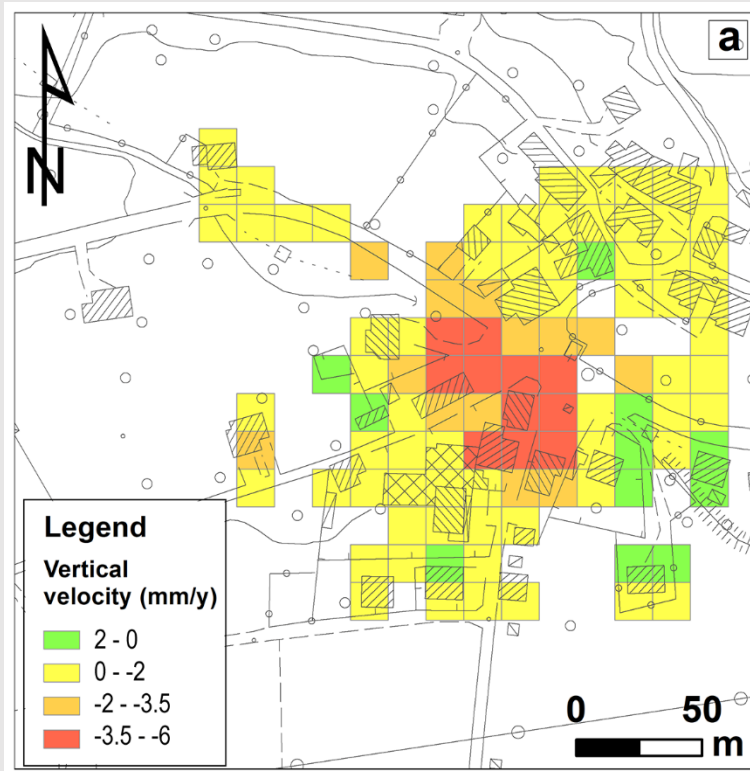
Considerando θ e φ , abbiamo calcolato la deformazione in direzione E-O e nella componente verticale applicando la seguente formula:

$$\begin{pmatrix} \Delta d_{asc} \\ \Delta d_{desc} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\cos \varphi_{asc} \sin \theta_{asc} & \sin \varphi_{asc} \sin \theta_{asc} & \cos \theta_{asc} \\ -\cos \varphi_{desc} \sin \theta_{desc} & \sin \varphi_{desc} \sin \theta_{desc} & \cos \theta_{desc} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta E \\ \Delta U \end{pmatrix}$$

θ = angolo di incidenza locale conteggiato positivo dalla verticale

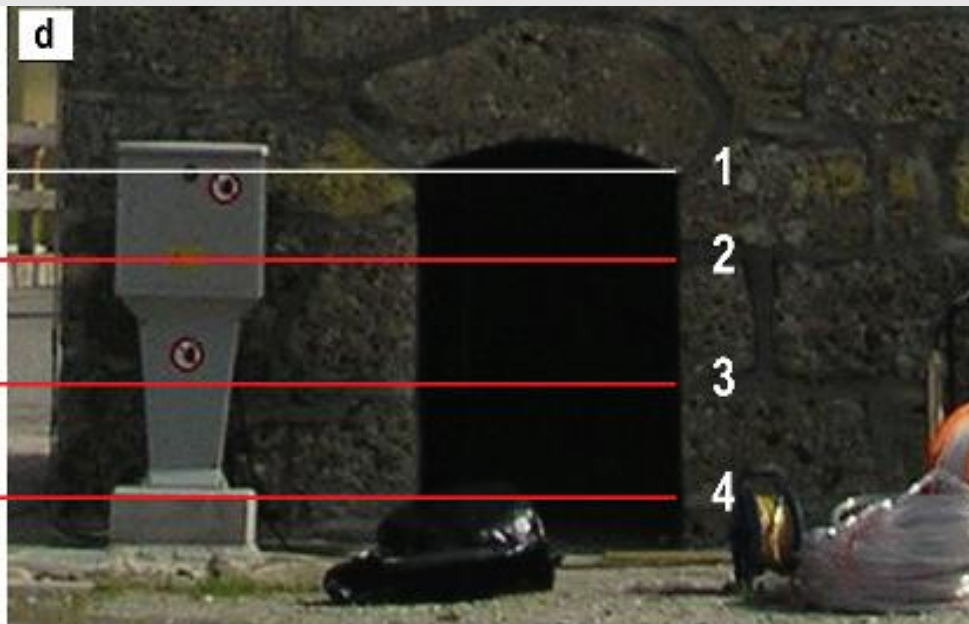
φ = l'azimuth della rotta del satellite

Merryman Boncori, 2019; Fialko et al. 2001; Mehrabi et al. 2019.

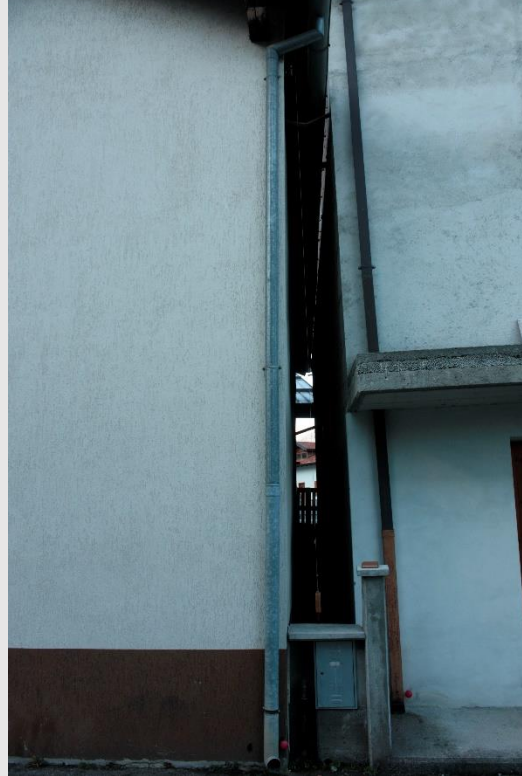


Chiara Calligaris, Ph.D. – D.M.G. Università degli Studi di Trieste

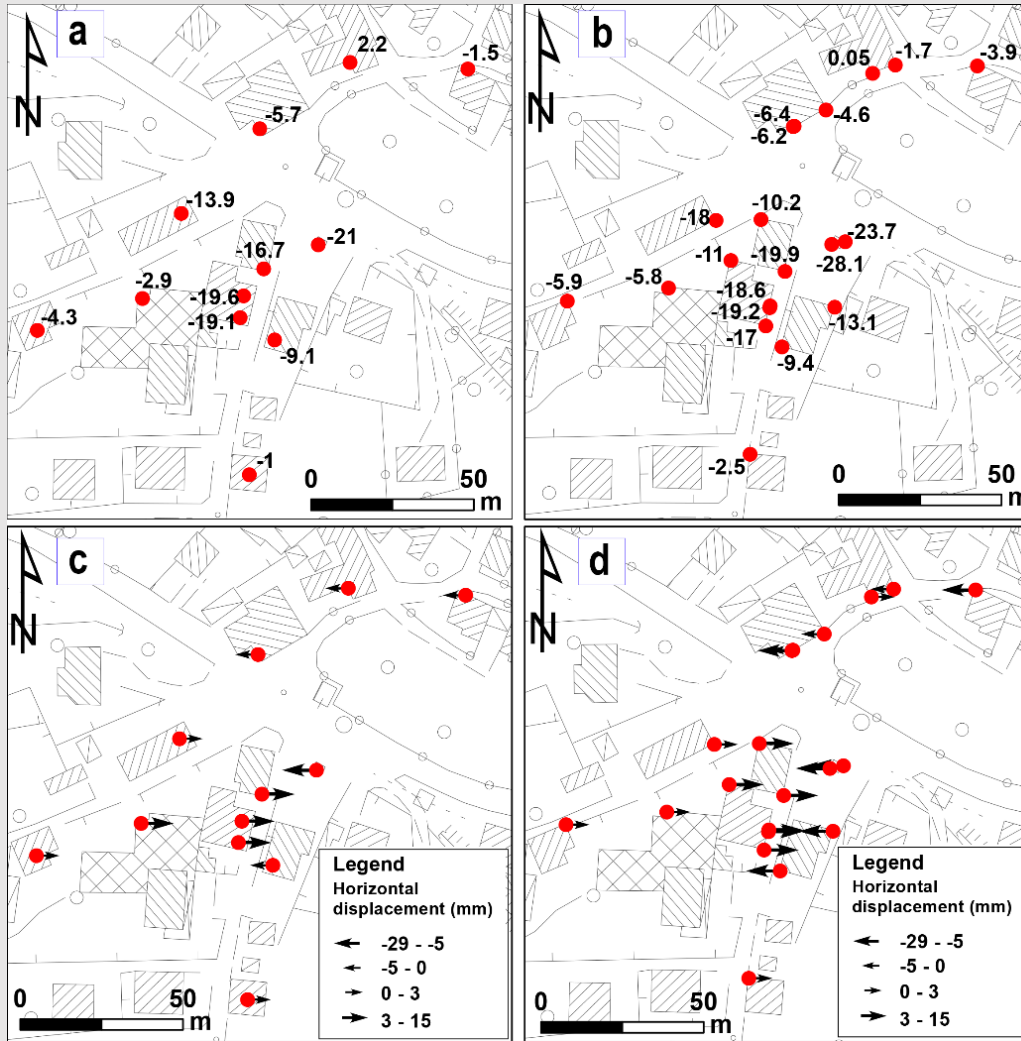
Campanile



Chiara Calligaris, Ph.D. – D.M.G. Università degli Studi di Trieste

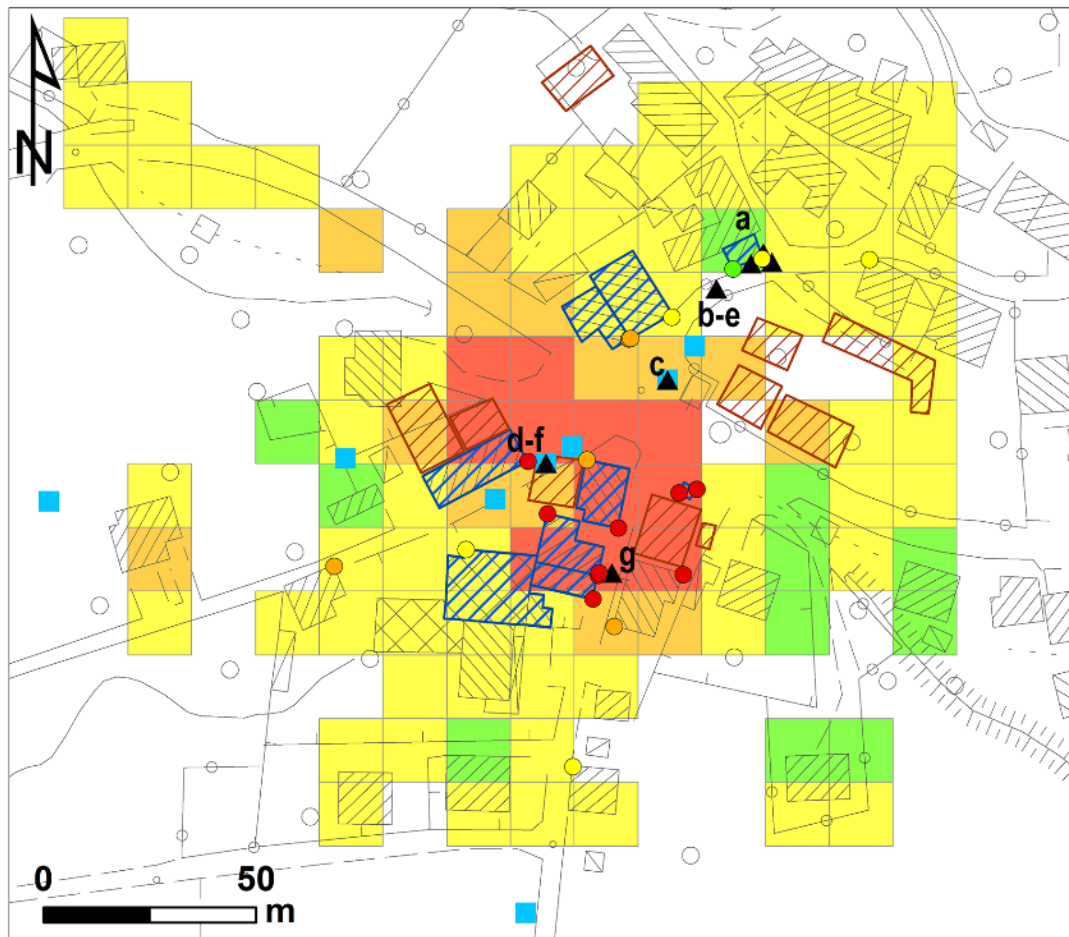


Alcuni dei dissesti
visibili nell'abitato



CONFRONTO TRA DATI INTERFEROMETRICI E DI LIVELLAZIONE GEOMETRICA DI PRECISIONE

(a) Abbassamento verticale e (c) spostamento orizzontale (E-O) dai dati interferometrici; (b) Abbassamento verticale e (d) spostamento orizzontale (E-O) dai dati di livellazione. Tutti i dati rispecchiano il periodo 2012-2015 e sono in mm.



COMPARAZIONE DI TUTTE LE METODOLOGIE UTILIZZATE NELLO STUDIO

Legend

- ▲ Asphalt injured
- Depocenters
(seismic +3D GPR)
- ▨ Damaged building
- ▩ Demolished building

Leveling data

Vertical velocity (mm/y)

- < -3.5
- -3.5 - -2
- -2 - 0
- > 0

Interferometric data

Vertical velocity (mm/y)





- -6 - -3.5
- -3.5 - -2
- -2 - 0
- 0 - 2

PER APPROFONDIRE.....



Article

Non-Invasive Methodological Approach to Detect and Characterize High-Risk Sinkholes in Urban Cover Evaporite Karst: Integrated Reflection Seismics, PS-InSAR, Leveling, 3D-GPR and Ancillary Data. A NE Italian Case Study

Alice Busetti ¹, Chiara Calligaris ^{1,*}, Emanuele Forte ¹, Giulia Areggi ¹, Arianna Mocnik ² and Luca Zini ¹

¹ Mathematical and Geosciences Department, University of Trieste, Via Weiss 2, 34128 Trieste, Italy; abusetti@units.it (A.B.); eforte@units.it (E.F.); giulia.areggi@phd.units.it (G.A.); zini@units.it (L.Z.)

² Esplora Srl, Spin-Off University of Trieste, Via Weiss 1, 34128 Trieste, Italy; arianna@esplorasrl.it

* Correspondence: calligar@units.it

Received: 22 October 2020; Accepted: 18 November 2020; Published: 20 November 2020



Abstract: Sinkholes linked to cover evaporite karst in urban environments still represent a challenge in terms of their clear identification and mapping considering the rehash and man-made structures. In the present research, we have proposed and tested a methodology to identify the subsiding features through an integrated and non-invasive multi-scale approach combining seismic reflection, PS-InSAR (PSI), leveling and full 3D Ground Penetrating Radar (GPR), and thus overpassing the limits of each method. The analysis was conducted in a small village in the Alta Val Tagliamento Valley (Friuli Venezia Giulia region, NE Italy). Here, sinkholes have been reported for a long time as well as the hazards linked to their presence. Within past years, several houses have been demolished and at present many of them are damaged. The PSI investigation allowed the identification of an area with higher vertical velocities; seismic reflection imagined the covered karst bedrock, identifying three depocenters; leveling data presented a downward displacement comparable with PSI results; 3D GPR, applied here for the first time in the study and characterization of sinkholes, defined shallow sinking features. Combining all the obtained results with accurate field observations, we identified and mapped the highest vulnerable zone.

Keywords: sinkhole; PSI; 3D-GPR; reflection seismics; leveling; evaporites; geo-hazard