



<http://www.protezionecivile.fvg.it>



<http://www.centrometeo.com>

Rischio idrogeologico

Geomorfometria



Dr. Chiara Calligaris

A.A. 2019-2020

calligar@units.it



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI TRIESTE

www.aedilizia.com



Bibliografia di riferimento

TOMISLAV HENGL and HANNES I. REUTER (2009) Geomorphometry: concepts, softwares, applications. Elsevier, 775pp.

Che cos'è la geomorfometria?

Geomorphometry is the science of quantitative land-surface analysis

(Pike, 1995, 2000a; Rasemann et al., 2004).

La storia della geomorfometria

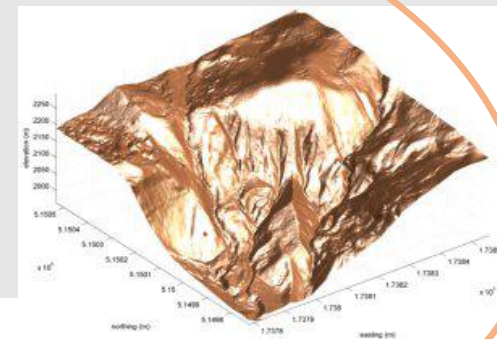
Prima di iniziare con l'esplorazione dei dati e degli algoritmi, bisogna fare un passo indietro considerando l'evoluzione della geomorfometria, dai suoi inizi pionieristici a cura dei geografi tedeschi, fino all'approccio matematico dei francesi e degli inglesi.

La geomorfometria come la intendiamo noi oggi ha iniziato ad evolversi scientificamente grazie a Barnabé Brisson (1777–1828), Carl Gauss (1777–1855), Alexander von Humboldt (1769–1859) e tanti altri, divenendo una disciplina matura grazie ai computer a metà del XX secolo.

- La geomorfometria era considerata una branca minore di attività quali l'esplorazione, la filosofia naturale e la geografia fisica (specialmente la geomorfologia);
- Oggi è forte il legame con la geoinformatica, con vari settori dell'ingegneria e con gran parte delle scienze dell'ambiente e della terra.



PRIMA.....



POI.....

Nel tardo XVIII e primo XIX secolo, si assiste alla nascita dell'***orografia ed orometria*** con le prime precise descrizioni dei rilievi e le misure delle vette;
Molti studi riguardavano fiumi e coste, unici elementi lineari disponibili prima dell'ampia diffusione di mappe topografiche nella metà del XIX secolo.

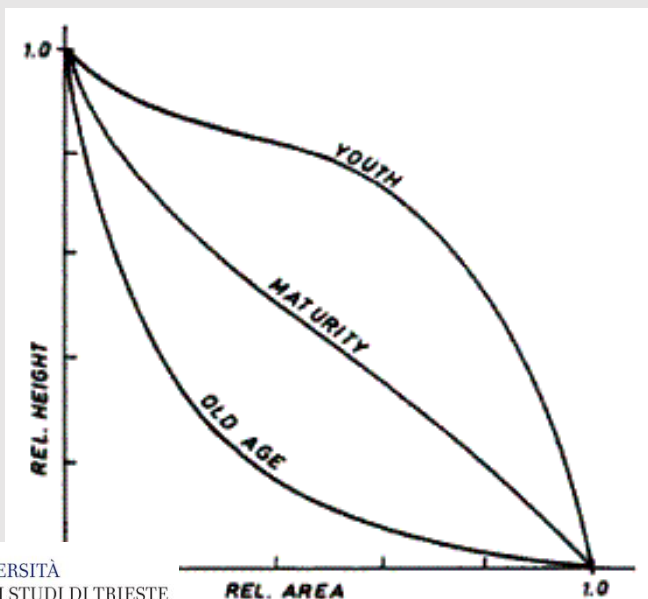


Il generale Anton von Zach realizzò tra il 1798 e il 1805 un'operazione di rilevamento topografico su vasta scala a scopi militari, la "**Kriegskarte**" ("Topographischgeometrische Kriegskarte von dem Herzogthum Venedig") ovvero la carta di guerra dell'Impero austriaco.

Gli antichi egizi e i greci, realizzavano misure sistematiche delle quote sopra il livello del mare.

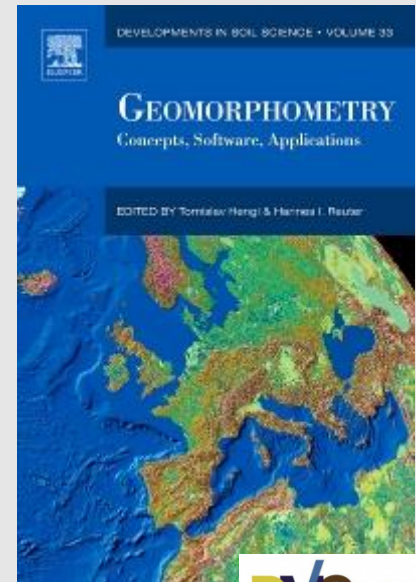
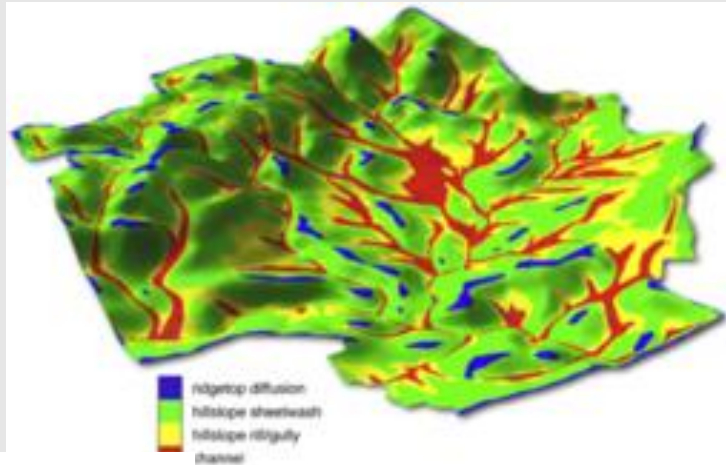
Dopo l'introduzione del concetto di curva di livello, proposto nel **1584** da Pieter Bruinz (esploratore olandese) ma formalizzato solo nel 1774 da Charles Hutton (isoipse), ci fu la redazione delle prime mappe con curve di livello e conseguente esplosione di studi riguardanti il rilievo.

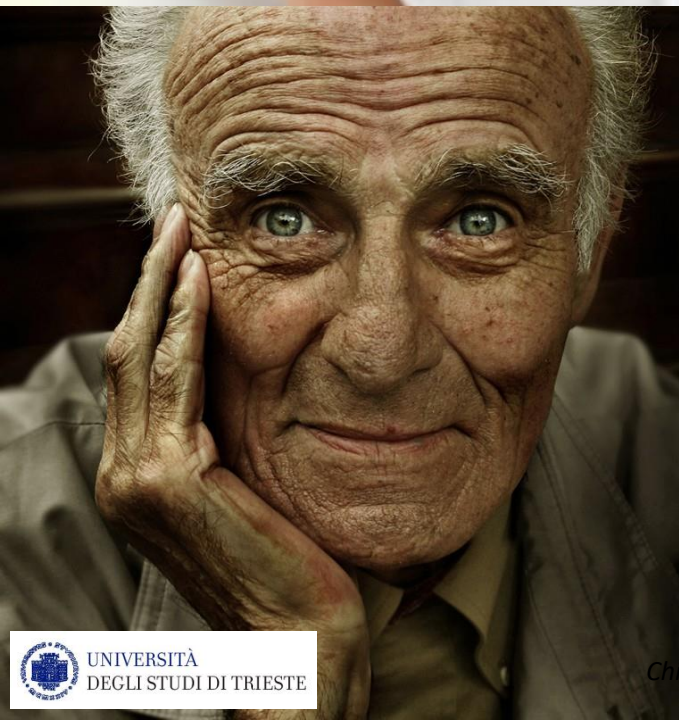
I geografi dell'epoca iniziarono a misurare l'area compresa tra due curve di livello per generare grafici di quota vs area -> curve ipsometriche (curva ipsografica adimensionale) e integrale ipsometrico (Strahler, 1952).



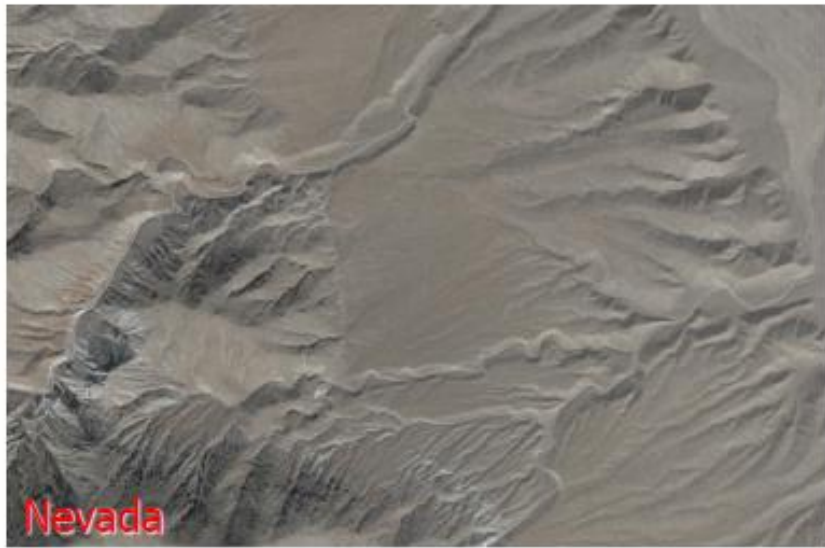
Dopo il 1950: adozione di distribuzione di frequenza (che descrive l'andamento del fenomeno in una popolazione) e test statistici da parte di geomorfologi fluviali e ingegneri idraulici;

- In quegli anni nascono i primi calcolatori digitali che accelerano il progresso della disciplina;
- I primi dati di input non erano DEM (Digital Elevation Model) ma punti quotati e profili topografici;
- Alla fine degli anni '50 "grid" quotate vengono utilizzate da geofisici (geoide), ingegneri (autostrade) e militari (tattiche di combattimento);
- Miller and Laflamme (1958) al M.I.T. (Massachusetts Institute of Technology) espongono per primi il concetto di DEM;
- Primo DEM degli USA (63 m risoluzione) derivato da carta tecnica 1:250,000 distribuito da USGS (1963);
- Successivamente, l'avvento dei computer ha condotto velocemente la geomorfometria a quella che conosciamo oggi...





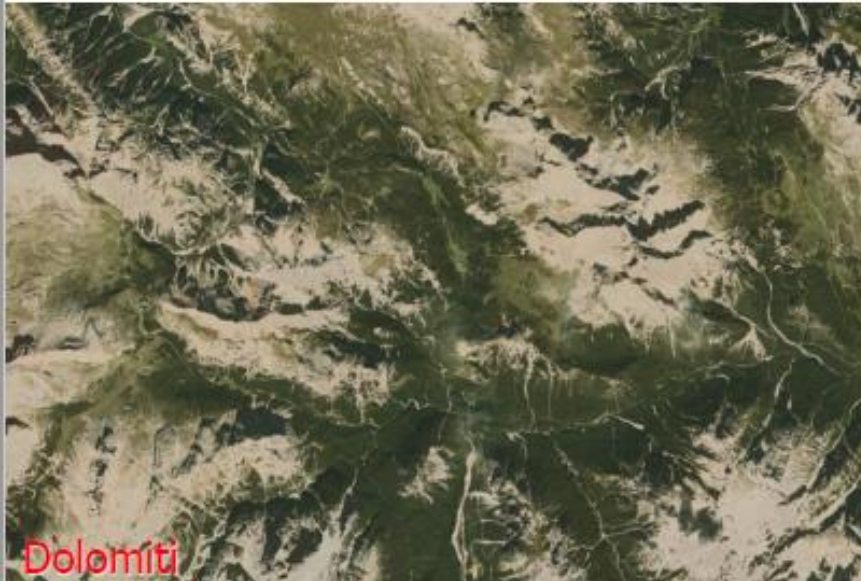
Chiara Calligaris, Ph.D. – D.M.G. Università degli Studi di Trieste



Nevada



Uinta Range (UT)



Dolomiti



Himalaya

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

Orografia e regimi climatici

L'orografia gioca un ruolo chiave nella caratterizzazione dei regimi climatici del nostro pianeta. L'esempio delle Ande (A) e dell'Himalaya (B).

A

Aree vegetate



Aree aride

B

Deserto di alta montagna (Tibet)

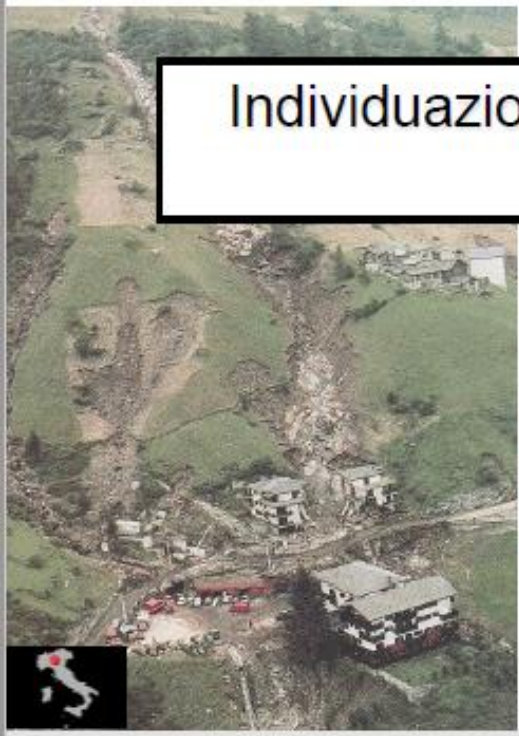
Deserto di alta vegetazione lussureggiante dovuta al monsone



(c) www.asiareport.com



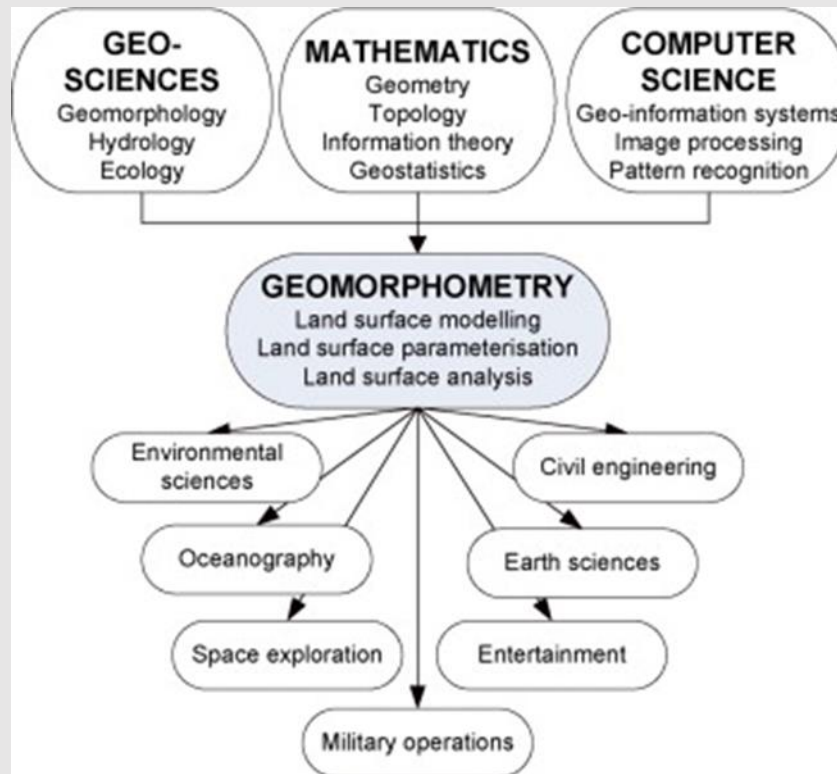
Individuazione aree a rischio e implementazione di modelli previsionali



It is a modern, analytical-cartographic approach to representing bare-earth topography by the computer manipulation of terrain height (Tobler, 1976, 2000).

La geomorfometria è un settore **interdisciplinare** che si è evoluto a partire dalla matematica, dalle scienze della terra attraverso la computer science.

La geomorfometria è la scienza quantitativa della superficie topografica.



Geomorphometry and its relation to source and end-user disciplines.
Modified after Pike (1995).

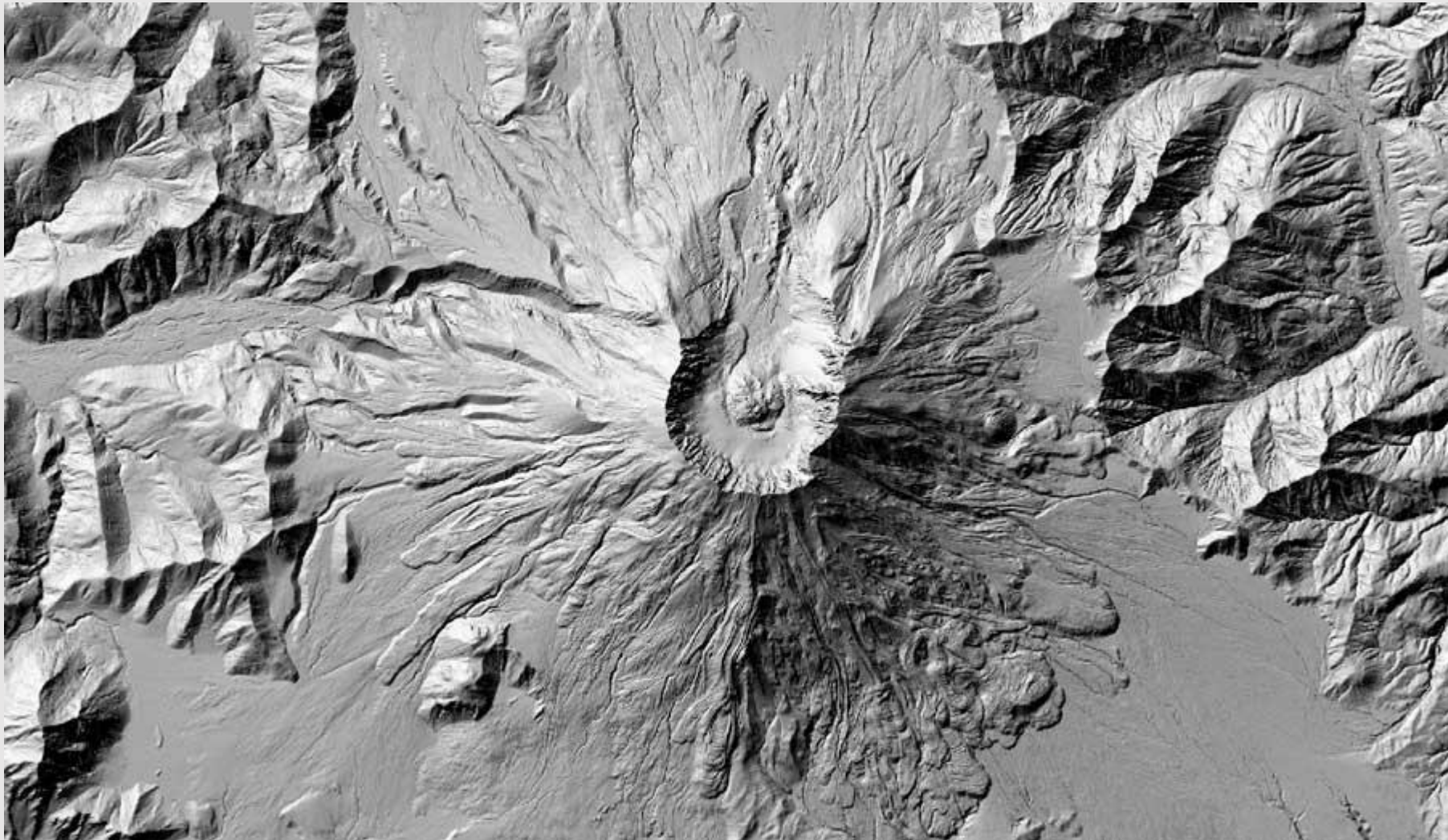
L'accurata rappresentazione e/o riproduzione della topografia di un territorio è strumento strategico ai fini dell'analisi dei processi che avvengono in natura. E' così possibile attuare una corretta politica di pianificazione del territorio con la riproduzione di possibili scenari evolutivi, contribuendo in questo modo alla mitigazione del rischio idrogeologico.

IL MIGLIOR STRUMENTO PER QUESTA FINALITA' E' l'utilizzo dei

DTM (Digital Terrain Model)

Modello Digitale del Terreno

Hill-shaded DEM (Digital Elevation Model)



Mount St. Helens volcano ground surface (USA)

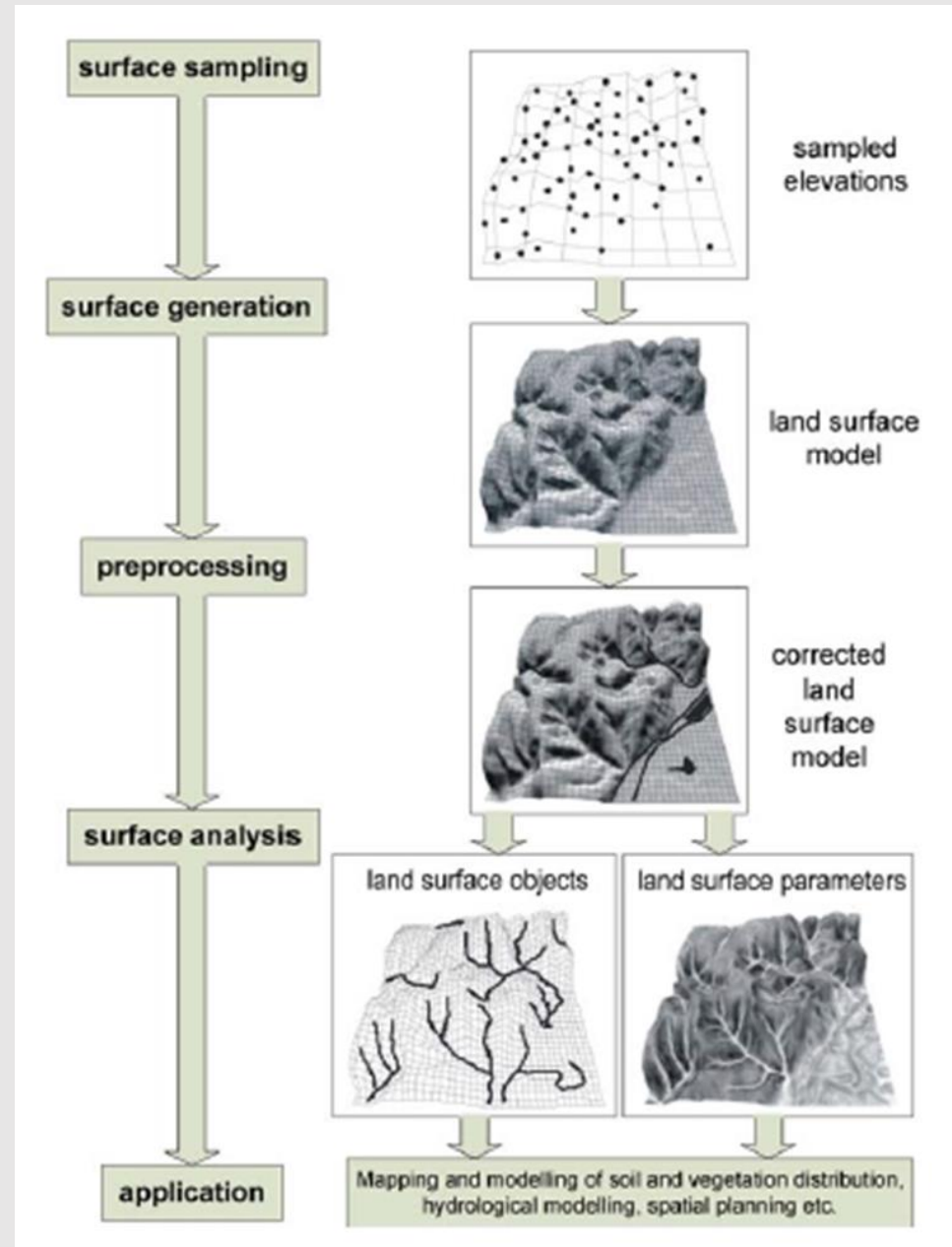
Source: qcoherent.com

L'operazione fondamentale in geomorfometria è l'estrazione di parametri e oggetti dai DEMs

Geomorphometry commonly is implemented in five steps:

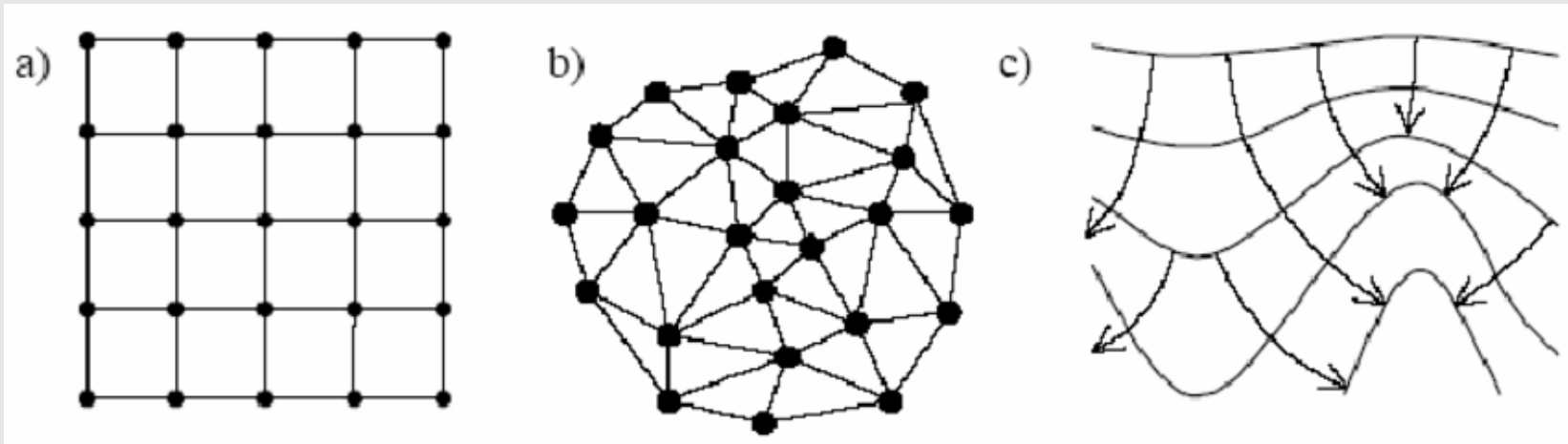
1. ***Sampling the land surface (height measurements).***
2. ***Generating a surface model from the sampled heights.***
3. ***Correcting errors and artefacts in the surface model.***
4. ***Deriving land-surface parameters and objects.***
5. ***Applications of the resulting parameters and objects.***

The fundamental operation in geomorphometry is *extraction of parameters and objects from DEMs*. DEMs, i.e. digital land-surface models, are the primary input to morphometric analysis. In GIS (geographic information system) terms, a DEM is simply a raster or a vector map showing the height of the land surface above mean sea level or some other referent horizon



DTM (Digital Terrain Model)

Possono essere rappresentati attraverso:



GRID

TIN

TUBI DI FLUSSO



TIN e ortofoto



TIN

Triangular
Irregular
Network

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

Come si ottengono i dati necessari a creare i modelli digitali??

- Necessità di grandi quantità di dati per aree estese
- Lavoro di campagna fortemente ridotto
- Archiviazione di dati relativi a zone di difficile accesso e pericolose (es. alta montagna, avverse condizioni meteo, foreste)
- Grandi quantità di dati in poco tempo

E quindi??



laser scanner

I laser scanner sono strumenti in grado di misurare ad altissima velocità la posizione di centinaia di migliaia di punti i quali definiscono la superficie degli oggetti circostanti.

Il risultato dell'acquisizione è un insieme di punti molto denso comunemente denominato "**nuvola di punti**". Possiamo definire i laser scanner come **sistemi di misura diretta**.

Prima di avviare la nostra scansione per ottenere la "nuvola di punti" occorre impostare i **parametri della stessa**. Infatti la **velocità** e il **passo delle rotazioni** possono essere impostate dall'operatore, il quale agendo su questi parametri **determina la risoluzione della scansione, cioè la densità della griglia di punti rilevati** ad una certa distanza, e la qualità del dato acquisito, tipicamente più alta per rotazioni più lente. I due parametri determinano quindi anche la **durata della scansione che può variare da circa trenta secondi fino a varie decine di minuti per scansioni complete a 360°**.

Durante l'acquisizione lo strumento archivia, per ciascun punto rilevato, la **distanza** calcolata e gli **angoli orizzontale e verticale** in base alla posizione del corpo e dello specchio. Oltre a queste informazioni, viene acquisito anche il **valore di riflettanza** della superficie colpita dal laser che sarà tanto più alto quanto la superficie tenderà al colore bianco.

Esistono laser scanner 3D che montano una **fotocamera digitale integrata** che, dopo la fase di acquisizione dei dati geometrici, viene utilizzata attraverso procedure automatiche per l'**acquisizione di immagini** dello spazio rilevato. Le foto così acquisite sono successivamente mosaicate dai software di elaborazione dei dati ed applicate alle nuvole di punti per arricchirle delle informazioni di colore.

come funziona??

Dal punto di vista applicativo il laser è un'apparecchiatura che **trasforma energia da una forma primaria** (elettrica, ottica, chimica, termica o nucleare) **in un fascio monocromatico e coerente di radiazioni elettromagnetiche di intensità elevata**: la luce laser. La scoperta fondamentale che ha permesso l'emissione della luce laser è dovuta ad **Einstein** nel 1917. Il termine "L.A.S.E.R." è, infatti, acronimo di: "**Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation**" (amplificazione della luce da emissione stimolata di radiazione). Dopo Einstein, ci vollero alcuni decenni per poter applicare la scoperta. Furono i fisici statunitensi Schawlow e Townes a brevettare, nel 1958, il primo dispositivo laser.

Il laser, è una radiazione elettromagnetica caratterizzata da:

monocromaticità: è composta da una sola frequenza di luce, non come la luce di una torcia che pur sembrando bianca (o colorata a seconda della lampadina utilizzata) è composta da molte frequenze di luce appartenenti allo spettro visibile all'occhio umano.

coerenza spaziale o unidirezionalità: è composta da un'onda che non viene irradiata in tutte le direzioni come quella delle sorgenti di tipo tradizionale, ma si propaga con estrema direzionalità a grande distanza.

coerenza temporale: è costituita da onde della stessa frequenza e della stessa fase che si sommano l'una all'altra originando un treno di luce che può essere spinto ad elevata intensità e ad elevata potenza.

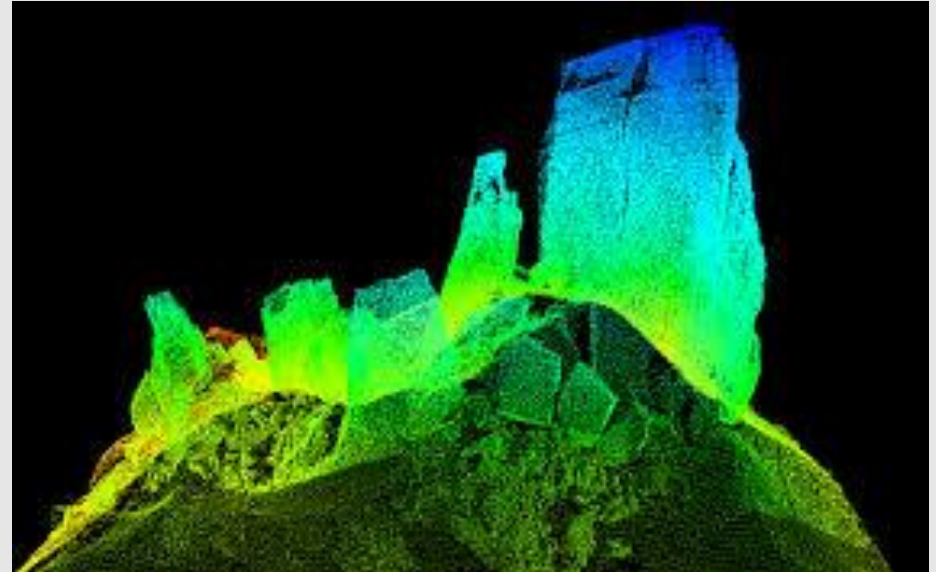
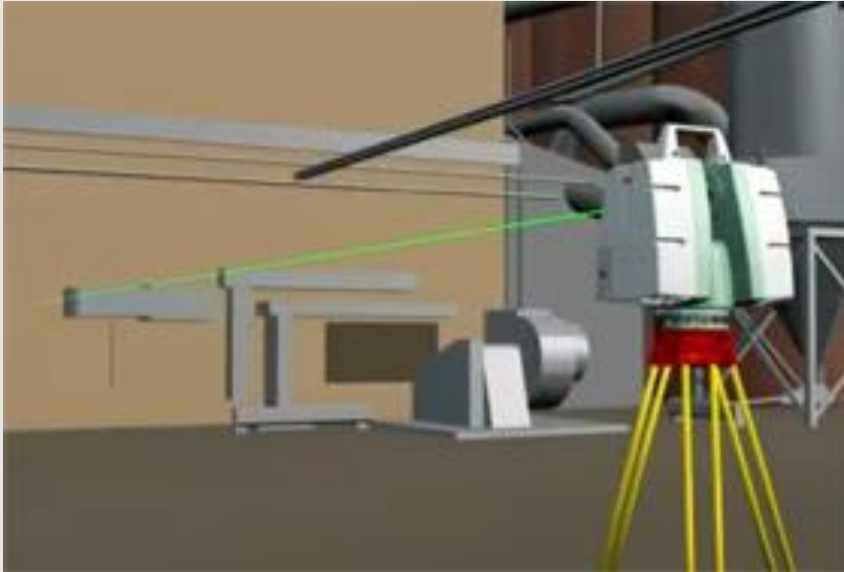
Naturalmente una radiazione luminosa può avere una lunghezza d'onda differente. Nel caso del laser la radiazione può essere ultravioletta (avere cioè una lunghezza d'onda compresa tra i 200 e 400 nm), visibile (tra i 400 e i 700 nm) o infrarossa (tra i 700 e i 3000 nm).

come sono fatti?

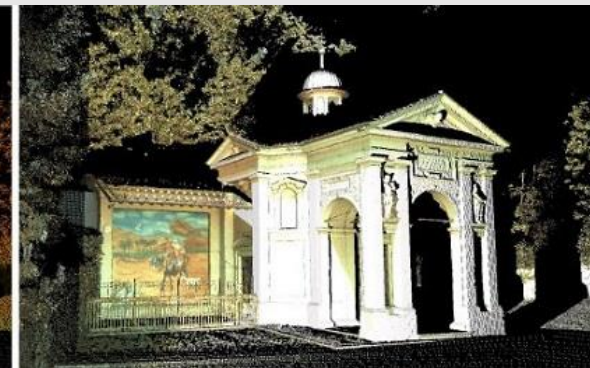


Ambiti di applicazione

Architettura, ingegneria, geologia, impiantistica, topografia, monitoraggi...



«Nuvola di punti» con mappa di intensità

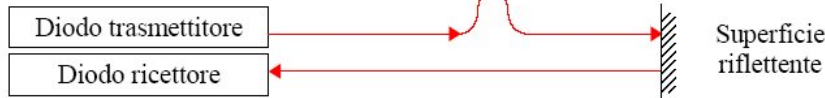


«Nuvola di punti» con texture da fotocamera integrata

http://www.blucantieri.it/html/servizi_laser_scanner_00.html

Distanziometro laser vs laser scanner

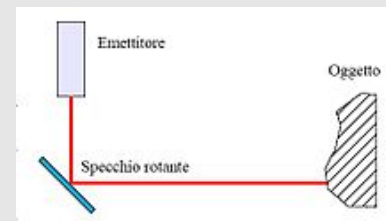
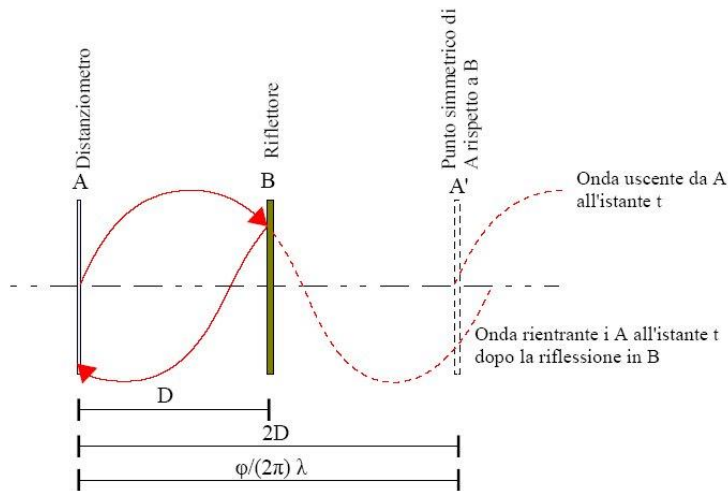
$$2D = v \Delta t$$



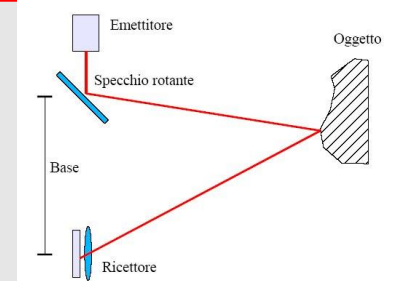
I distanziometri laser oggi presenti sul mercato del rilevamento sono sempre più precisi ed affidabili e possono misurare la posizione di punti ad elevata velocità. **L'unione di un distanziometro con queste caratteristiche ad un insieme di apparati meccanici di alta precisione ha reso possibile la realizzazione dei sensori laser scanner.**

Gli strumenti laser scanner utilizzano in genere distanziometri laser **che misurano il tempo di volo del segnale, ovvero distanziometri ad impulsi.**

Strumenti che prevedono la misura di tempi trascorsi tra due impulsi o tra due treni d'onda (**distanziometri ad impulsi**).



Laser scanner distanziometrici



Laser scanner triangolatori

Strumenti che prevedono la misura dello sfasamento tra l'onda emessa e quella ricevuta (**distanziometri a misura di fase**).

Quanti tipi di laser scanner esistono?

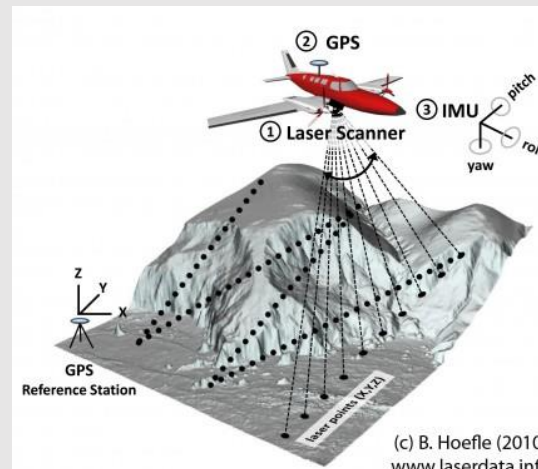
TLS (Terrestrial Laser Scanner)

Singolo ritorno
Full Waveform



ALS (Airborne Laser Scanner)

Ritorni multipli
Full Waveform



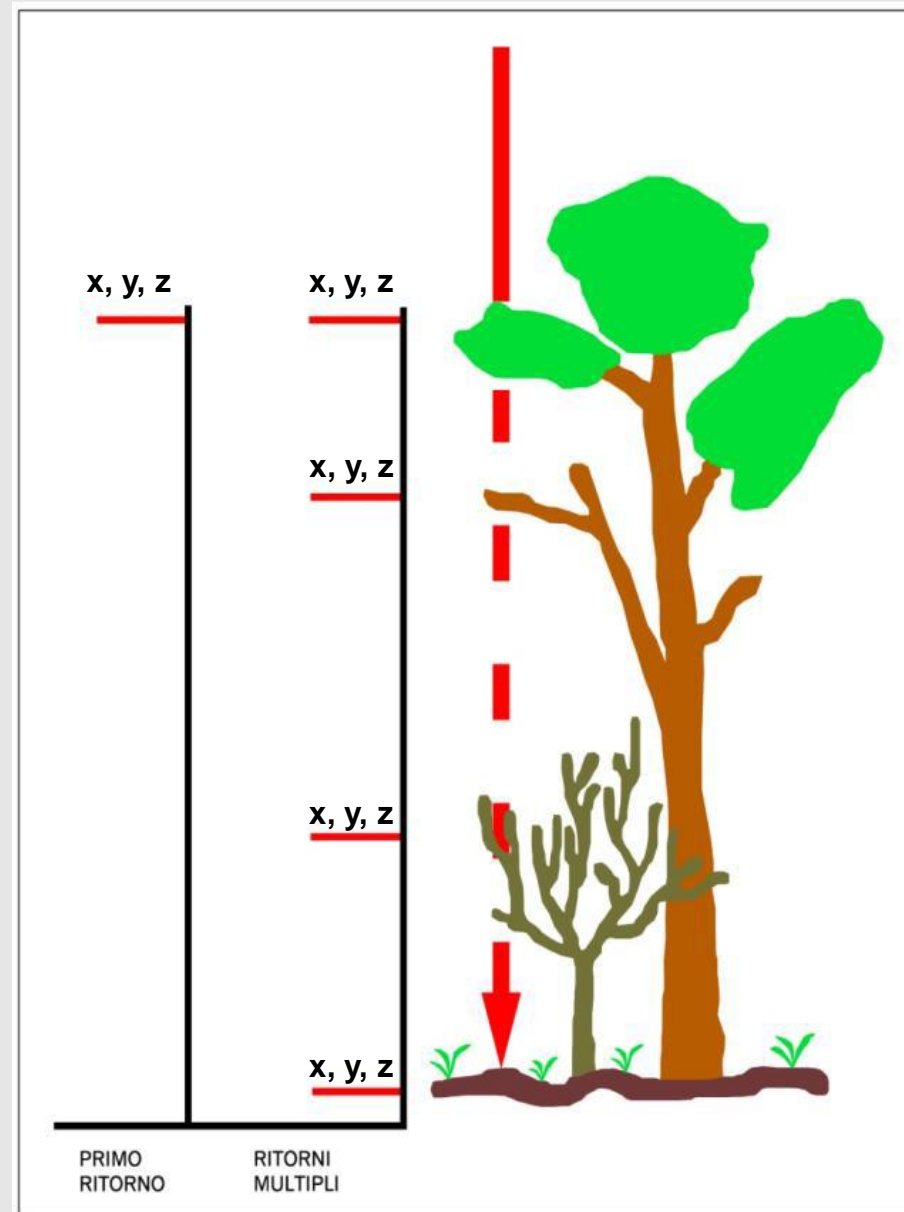
Che cosa sono i dati LIDAR?

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:

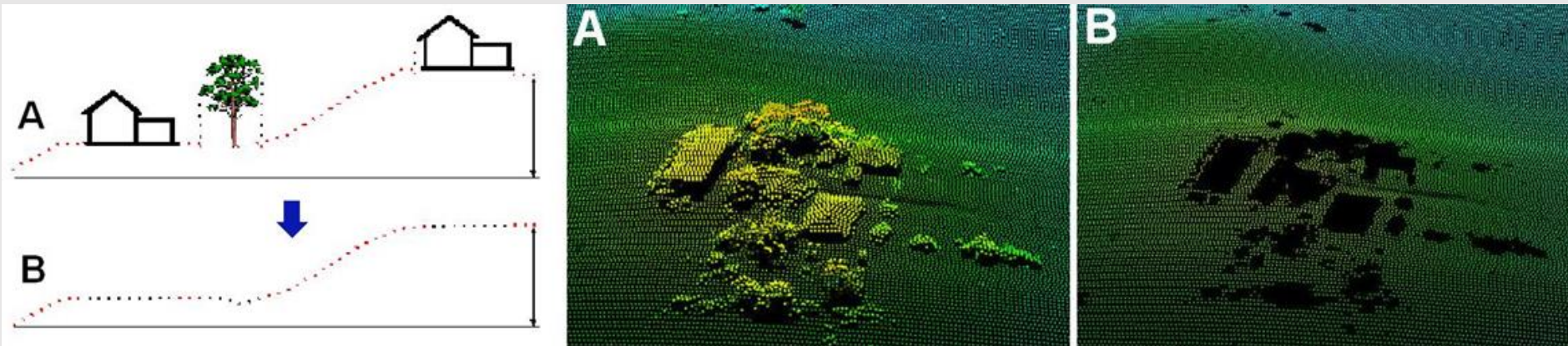
- alta risoluzione (0.5-8 punti/m²)
- elevata accuratezza verticale (circa 15 cm)
- velocità nell'acquisizione (5-50 Km²/h)
- automatico e rapido post-processamento dei dati
- capacità di discriminare tra suolo e vegetazione



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).

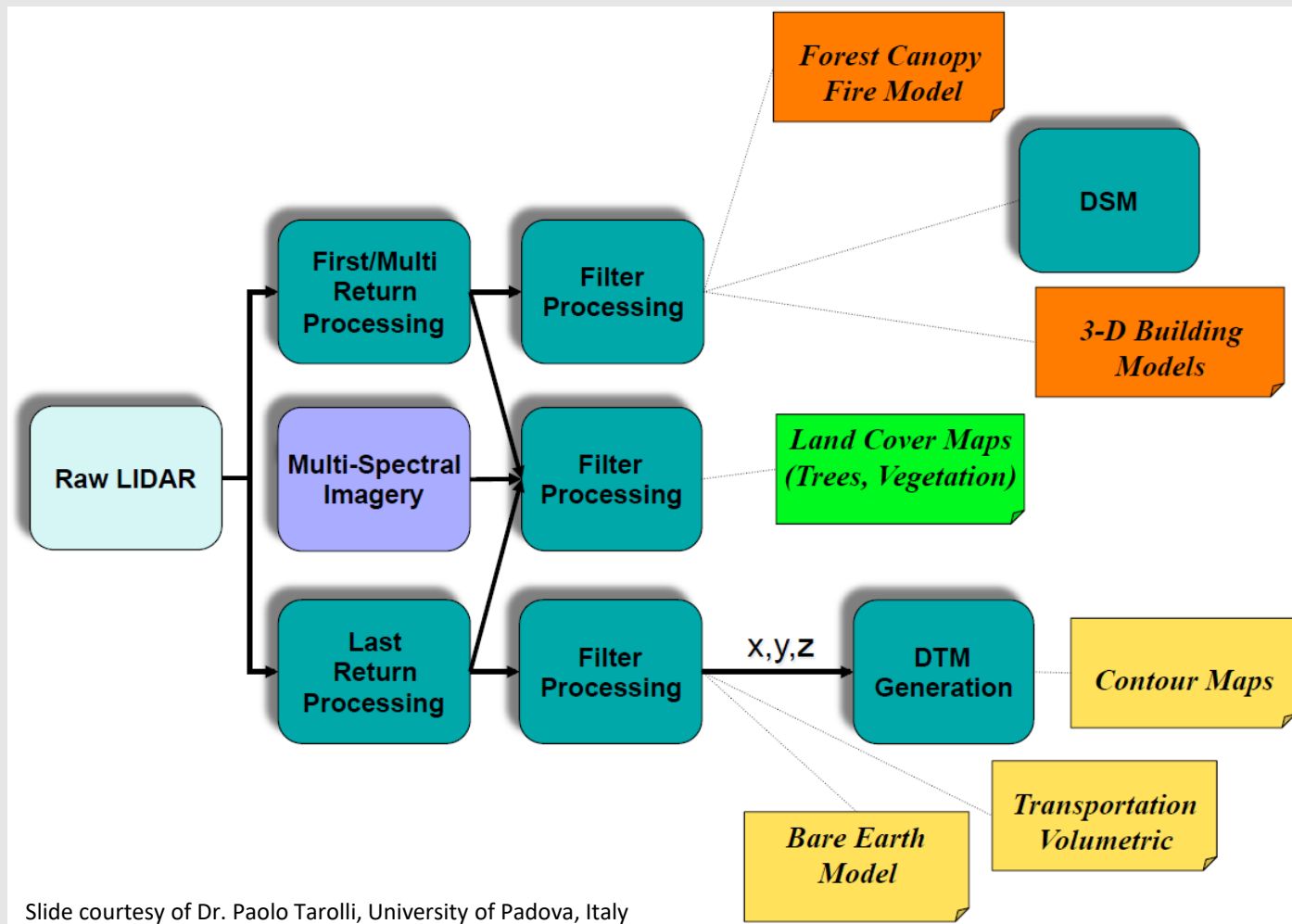
<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/costa/il-rilievo-lidar>



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

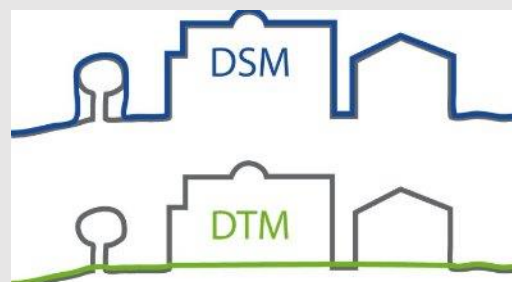
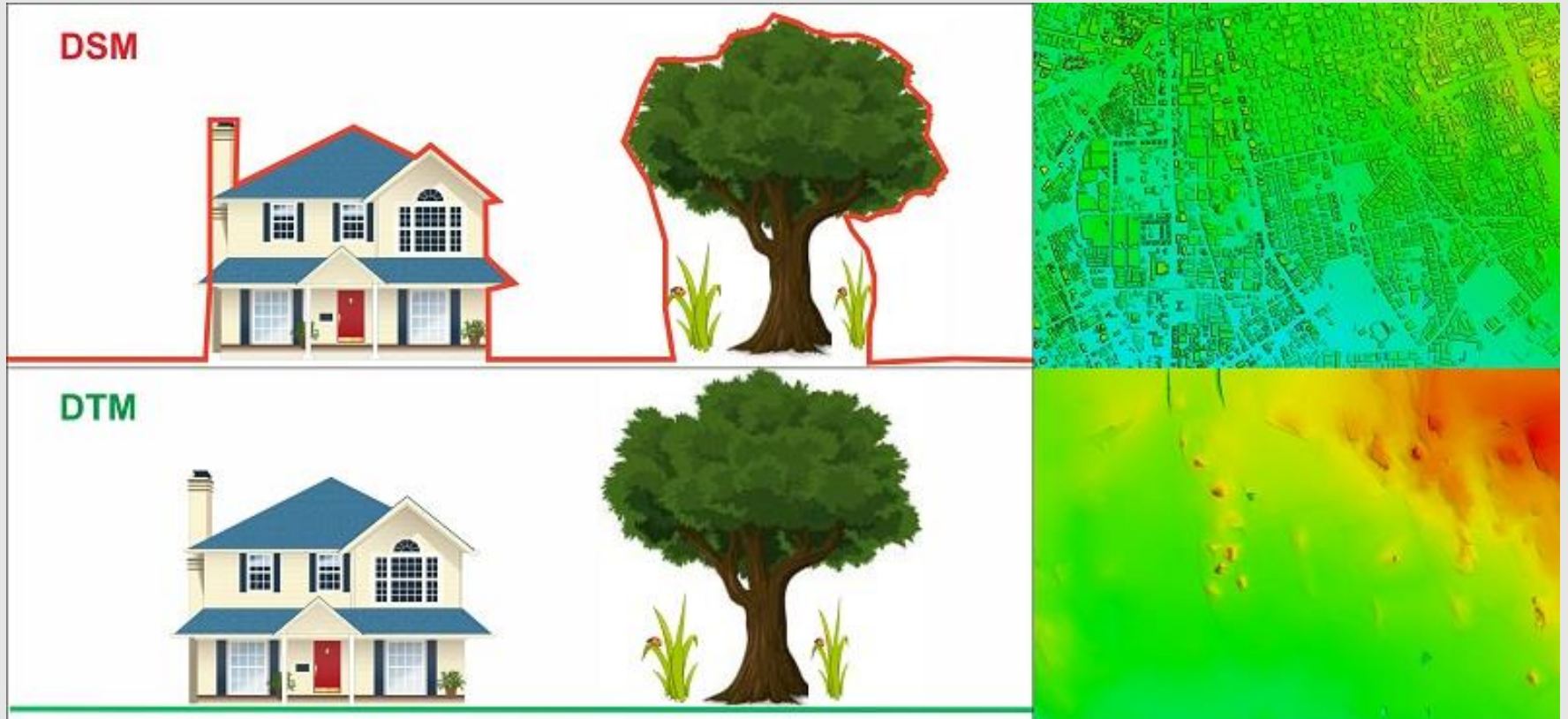
A) Foto aerea, B) Modello Digitale di Superficie (DSM), C) Modello Digitale del Terreno (DTM).

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

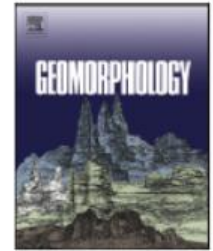
DTM – è il modello della superficie terrestre filtrata dagli elementi antropici o vegetazionali



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

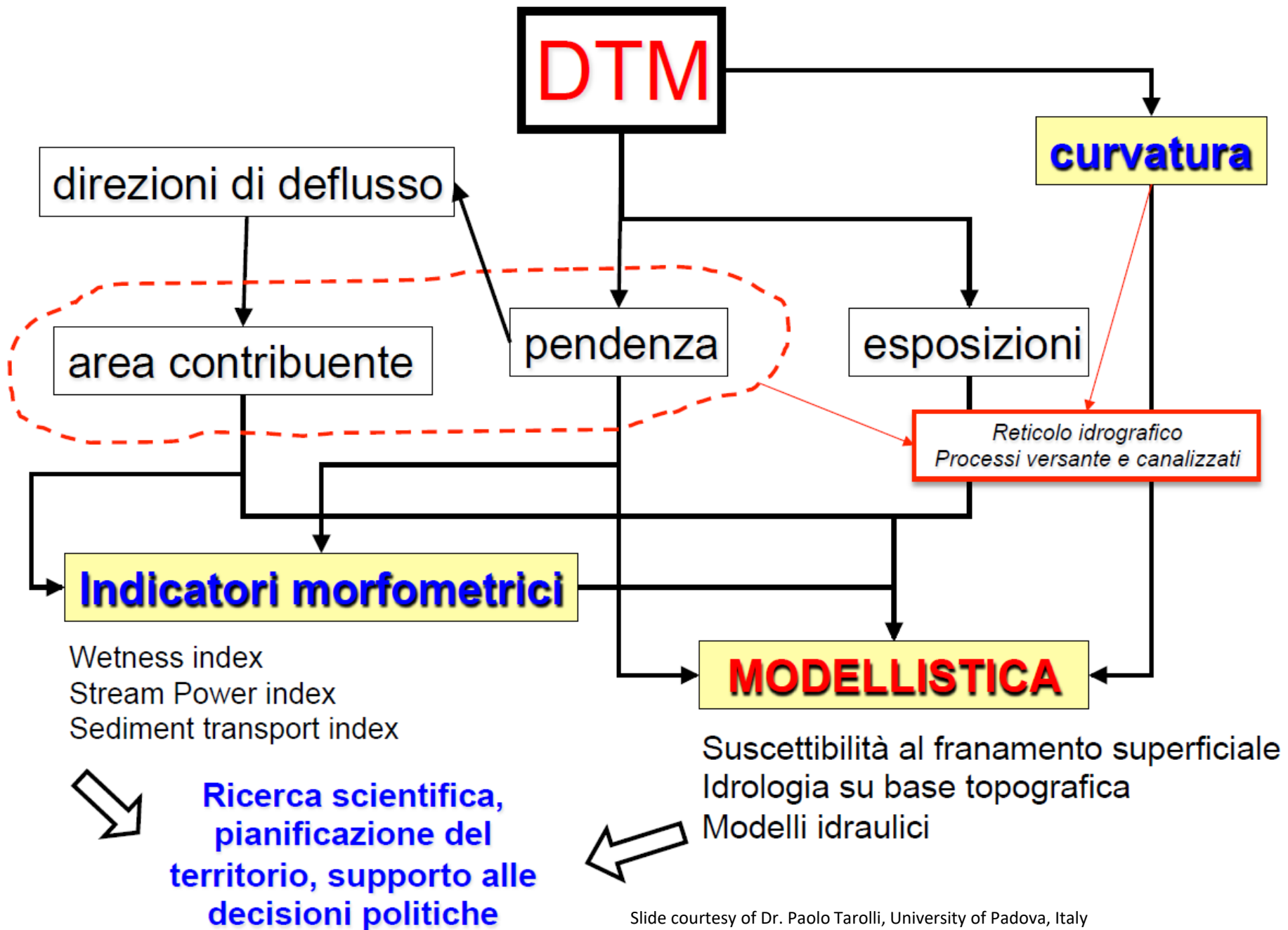
Anthropogenic signatures

Anthropocene

ABSTRACT

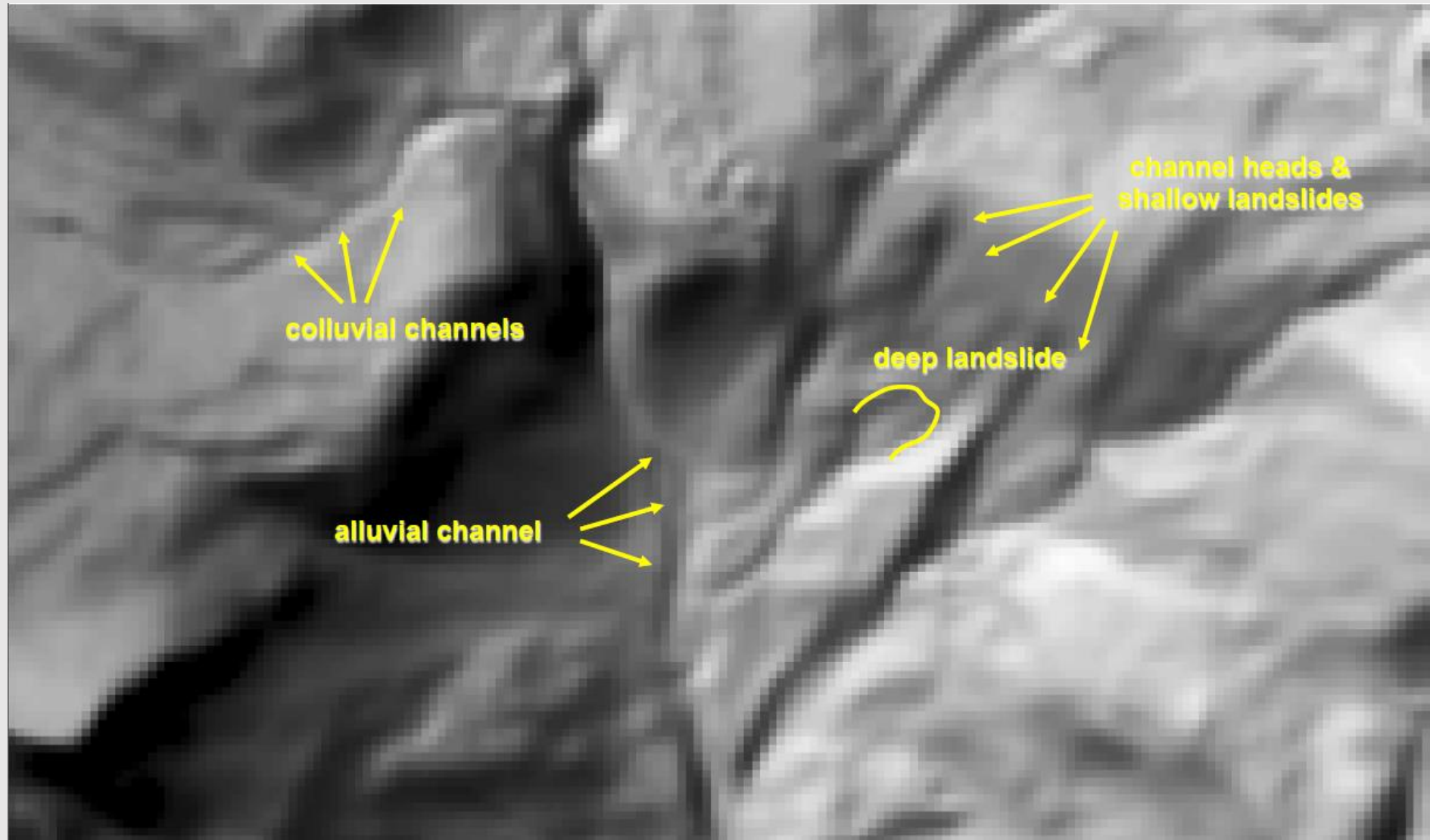
In the last decade, a range of new remote-sensing techniques has led to a dramatic increase in terrain information, providing new opportunities for a better understanding of Earth surface processes based on geomorphic signatures. Technologies such as airborne and terrestrial lidar (Light Detection and 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.



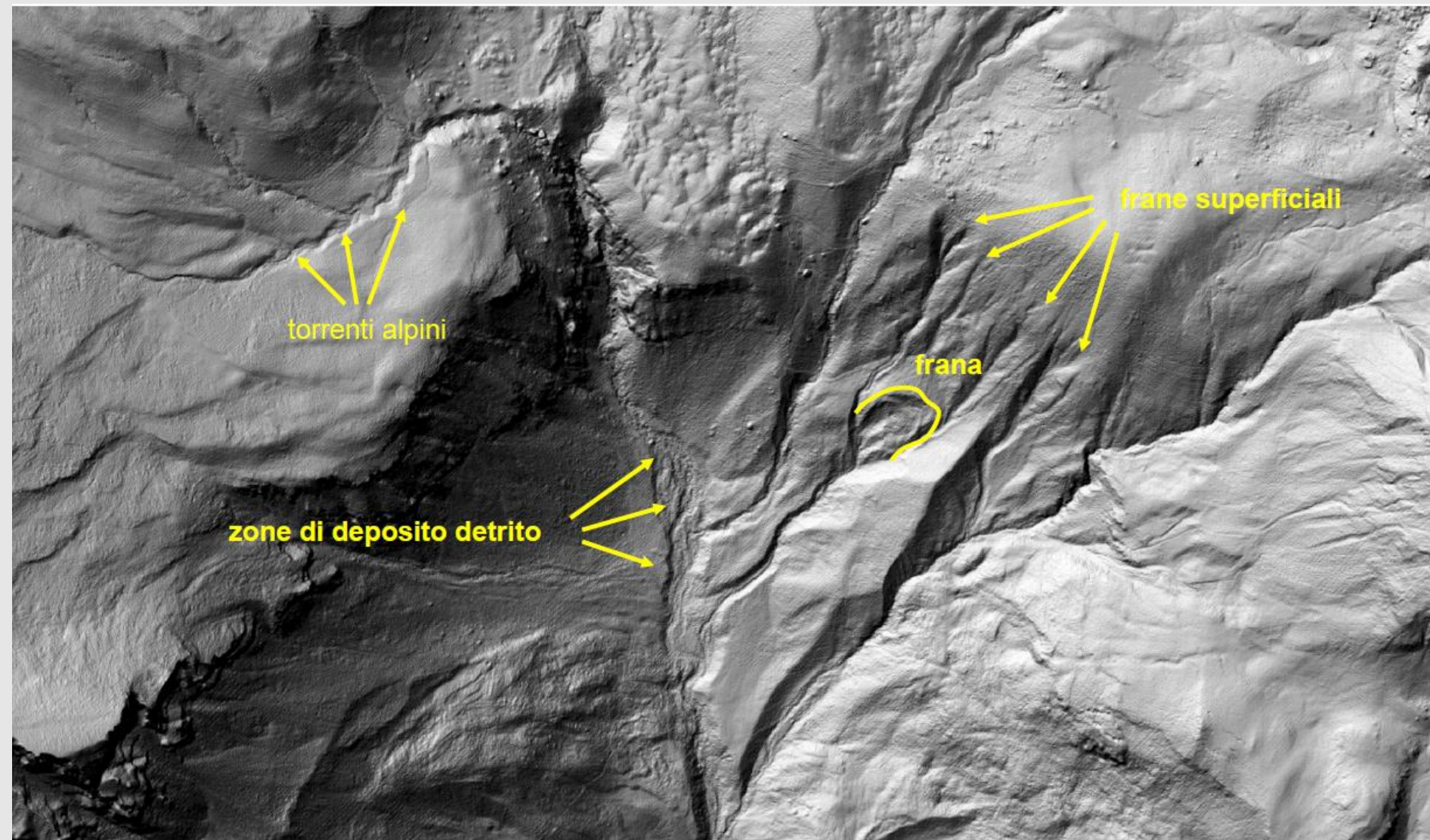
Slide courtesy of Dr. Paolo Tarolli, University of Padova, Italy

DTM 10 x 10 m – Rio Cordon Selva di Cadore



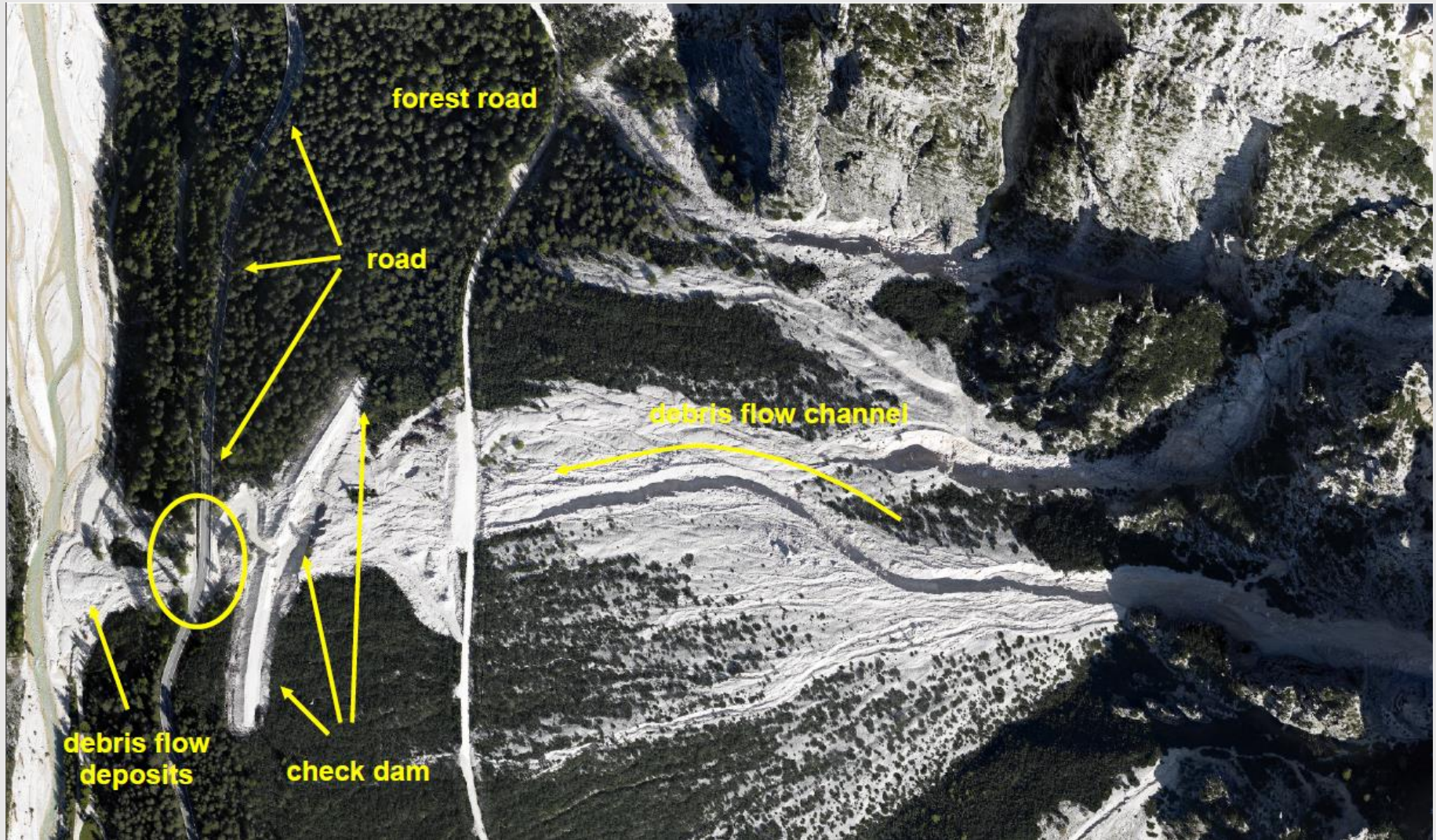
Slide courtesy of Dr. Paolo Tarolli, University of Padova, Italy

DTM 0.5 x 0.5 m – Rio Cordon Selva di Cadore



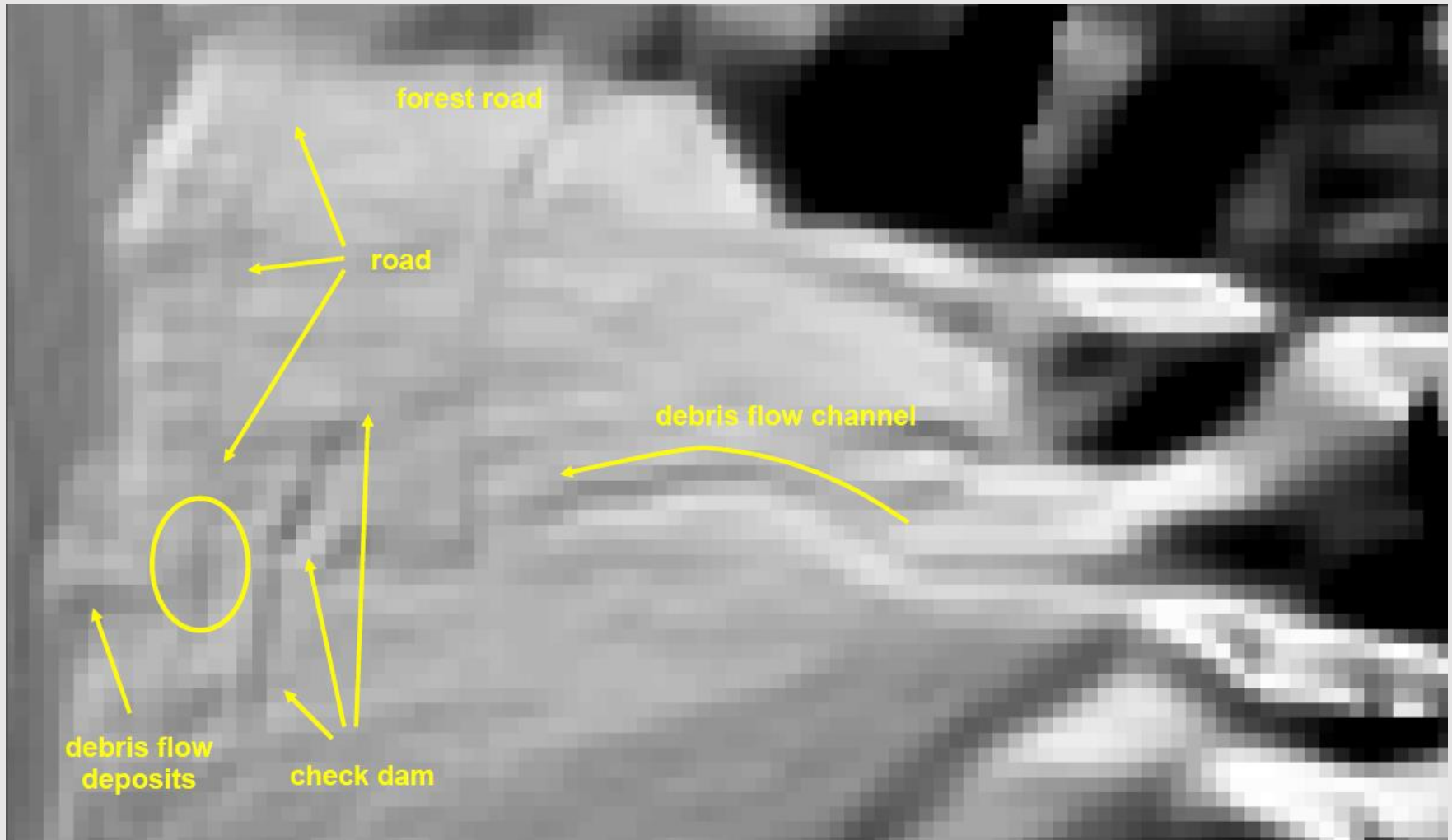
Slide courtesy of Dr. Paolo Tarolli, University of Padova, Italy

Un esempio di utilizzo – Cortina d'Ampezzo



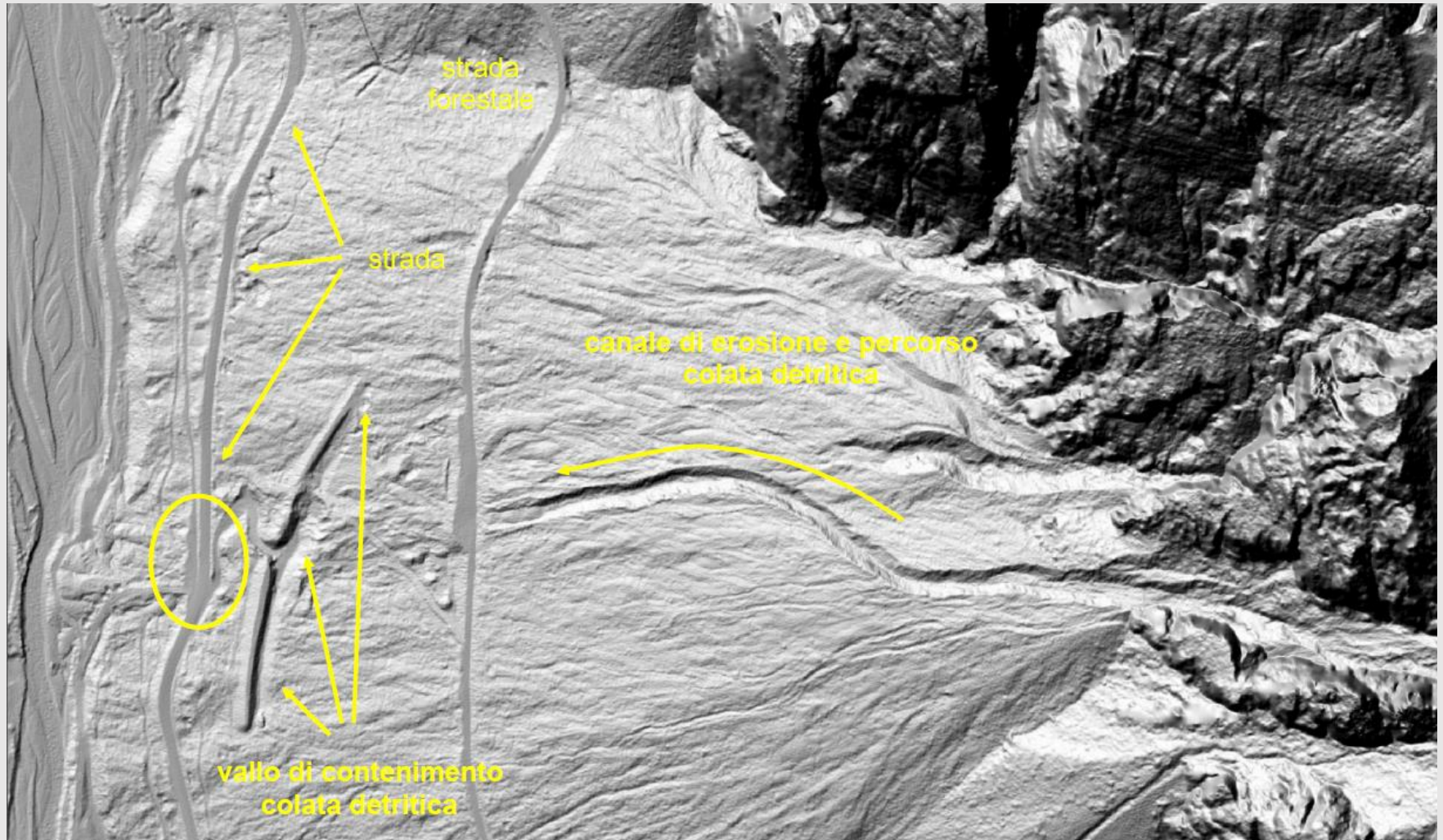
Evento di Cortina d'Ampezzo del 5 luglio 2006, 64 mm/h di pioggia 40.000m^3 di materiale detritico investirono 2 strade alluvionandole e distruggendole.

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

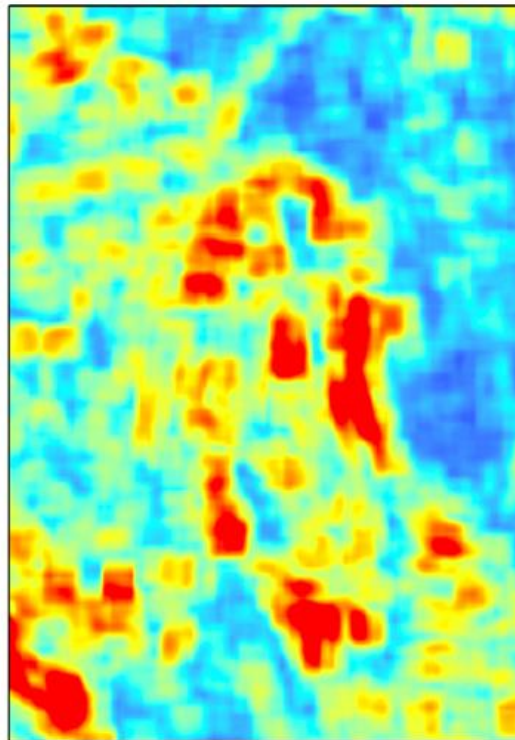
Landslide detection

0.5 m

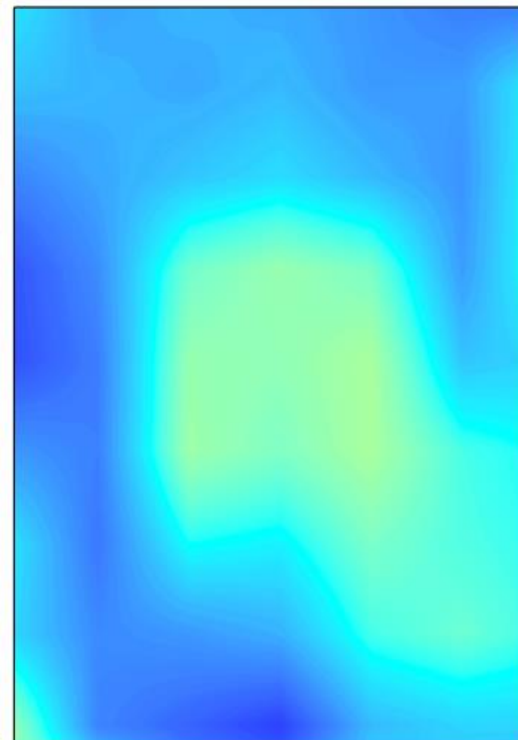
10 m



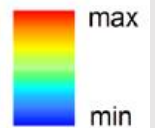
(a)



(b)

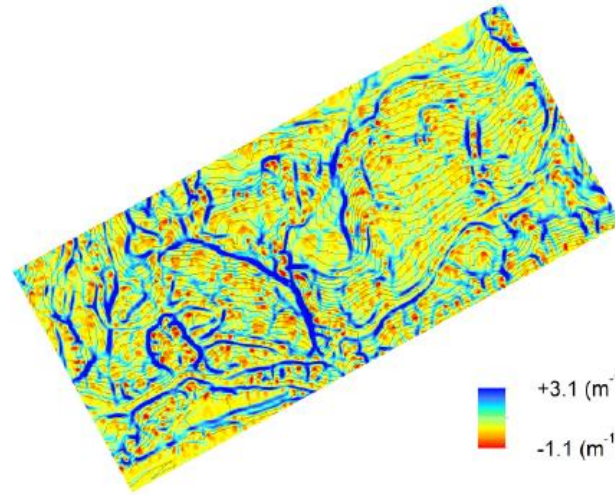
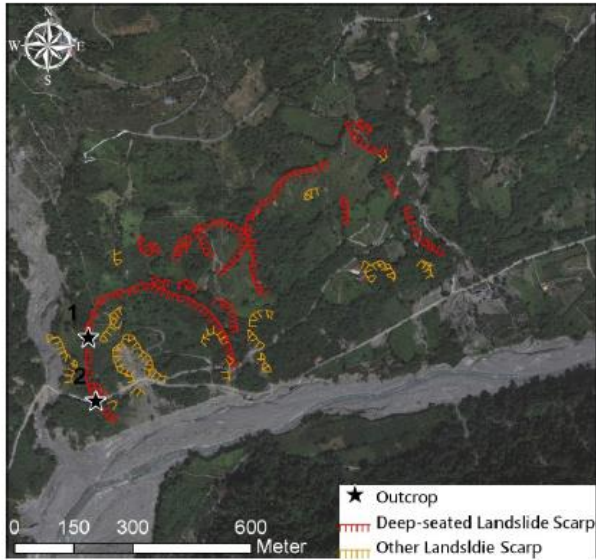


(c)

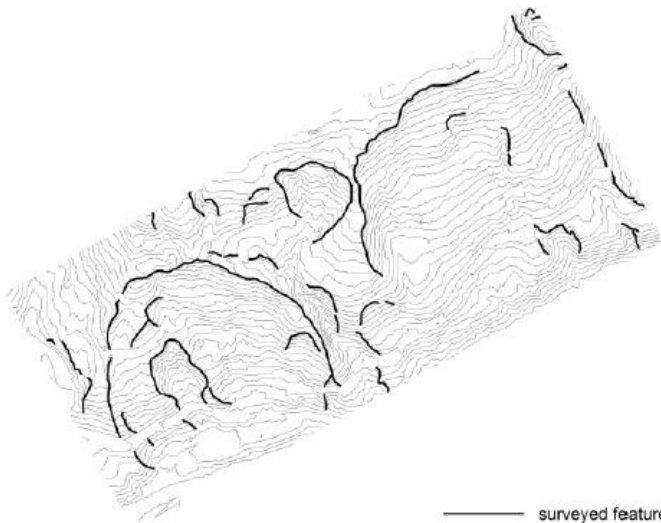
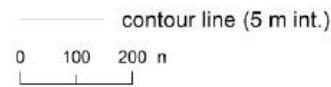
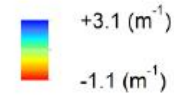


Tarolli P. (2014)

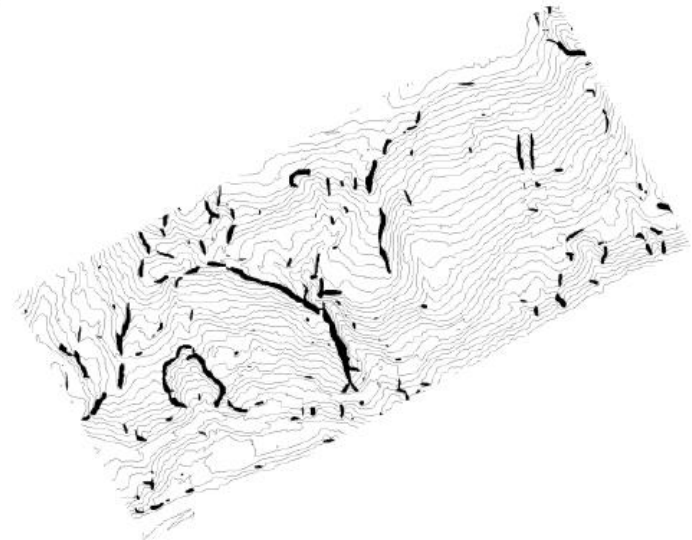
Slide courtesy of Dr. Paolo Tarolli, University of Padova, Italy



curvature

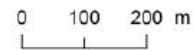


surveyed feature



contour line (5 m int.)

extracted feature



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

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

Esiste anche altro oltre al LS??

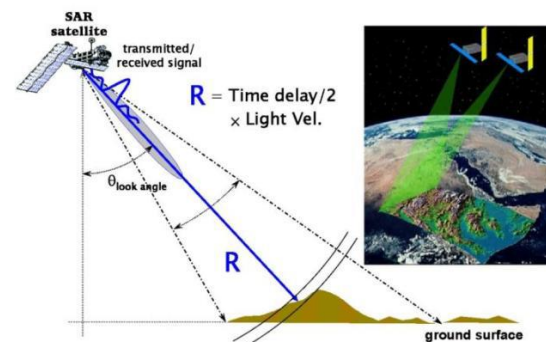
SAR – Synthetic Aperture Radar

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)

InSAR – Interferometric Synthetic Aperture Radar

Fondamentalmente l'InSAR si basa sul confronto tra due immagini radar, acquisite in tempi differenti, sulla stessa area dallo stesso sensore, normalmente installato su satelliti in orbita polare intorno alla Terra. Per risolvere il compromesso risoluzione-estensione, vengono combinati i dati acquisiti dal sensore in posizioni successive e **viene sintetizzata un'antenna fittizia di grandi dimensioni, detta appunto, ad apertura sintetica (Synthetic Aperture Radar)**.

You compare (they do "interfere") two images acquired from slightly different positions (spatial baseline) you can get three-dimensional images of the Earth's surface, measuring the topography.

Sino a 10,000 km² per ora
Minore risoluzione rispetto al LiDAR (1.25 m vs 0.25 m)

DInSAR – Interferometria radar differenziale

La tecnica tradizionale per lo studio dei dati SAR è l'interferometria differenziale (DInSAR) che si basa **sull'analisi dell'evoluzione del valore di fase tra due distinte acquisizioni** in modo tale da mettere in luce eventuali differenze riconducibili a fenomeni di deformazione topografica o disturbi atmosferici.

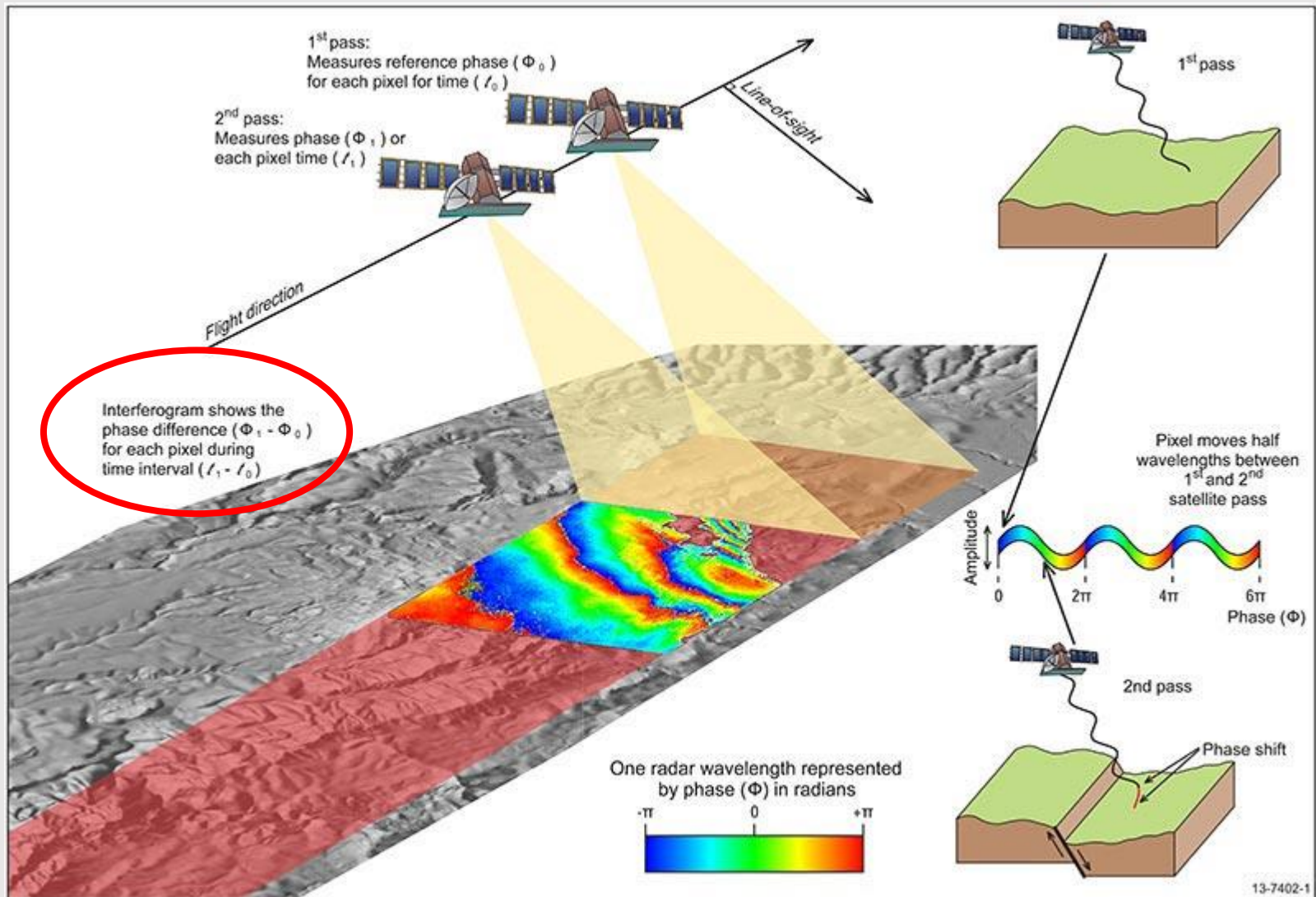
Il risultato del confronto tra due immagini radar permette di stimare lo spostamento del terreno in base allo sfasamento delle onde riflesse durante le due acquisizioni. Si ottiene quindi un'immagine detta **interferogramma**, le cui frange di interferenza sono dovute al movimento del terreno; in altre parole, se la crosta terrestre non subisce movimenti, non si producono frange di interferenza e si ha un'immagine mono-colore.

Dall'interferogramma è possibile risalire allo spostamento del terreno, però solo lungo la linea di vista del sensore.

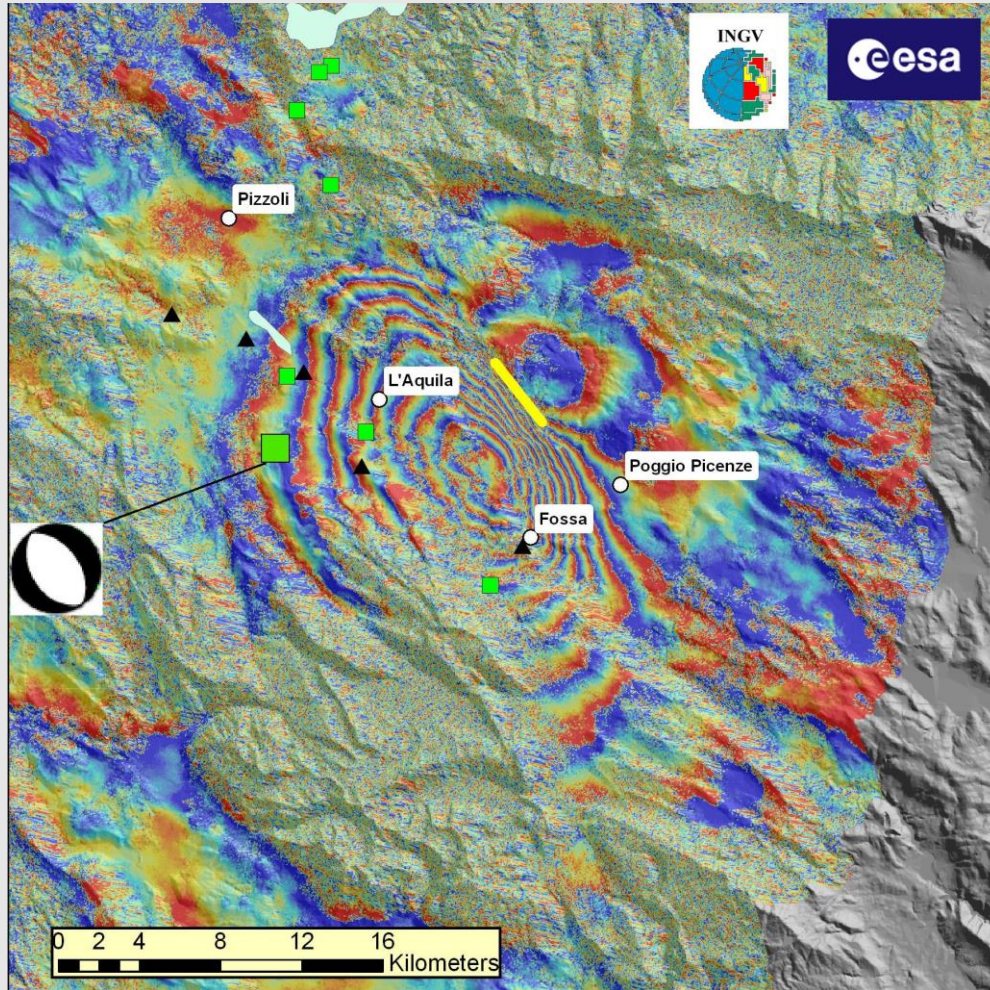
L'InSAR è in grado di fornire informazioni sull'intera area investigata e non su singoli punti, come le normali reti geodetiche. L'InSAR, da solo, non può misurare gli spostamenti nello spazio in 3 dimensioni, come ad esempio il GPS, per cui le sue informazioni vanno integrate con quelle fornite dalle altre tecniche.

When images are acquired in different times (temporal baseline), using the Differential SAR Interferometry (DInSAR) technique, it is possible to measure the changes of the surface.

DInSAR – Interferometria radar differenziale



DInSAR – es. di interferogramma



<https://www.slideshare.net/LucaMarescotti/06-mc-sismologiaws2015>

Terremoto del 6 Aprile 2009 a L'Aquila:
ML 5.8 (Magnitudo Richter); Mw 6.3 (magnitudo momento); Profondità 8.8 Km

Interferogramma ENVISAT calcolato dai ricercatori INGV e del Politecnico di Milano a partire da una coppia di immagini SAR, una del 01.02.2009 e l'altra del 12.04.2009.

Le frange colorate definiscono il campo di spostamento (quasi verticale) indotto dal terremoto.

Il massimo abbassamento è di circa 25 cm tra L'Aquila e Fossa (ogni frangia corrisponde a circa 2.5 cm).

I quadratini verdi indicano il main-shock e gli after-shock con Mw > 5.

La linea gialla indica le fratture osservate in superficie.

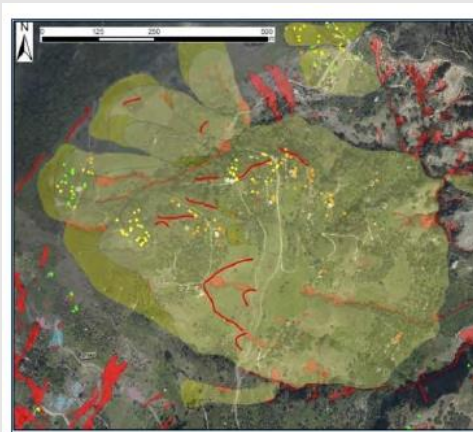
I triangoli neri indicano i caposaldi GPS che sono stati utilizzati per il confronto con le immagini SAR.

Le recenti tecniche di processamento DInSAR permettono l'analisi temporale delle deformazioni su lunghi periodi, utilizzando l'intero dataset di immagini radar acquisite dal sensore nell'intervallo scelto. Il prodotto finale di questa catena di processamento sono le velocità medie di deformazione in linea di vista, su ciascun pixel dell'immagine.

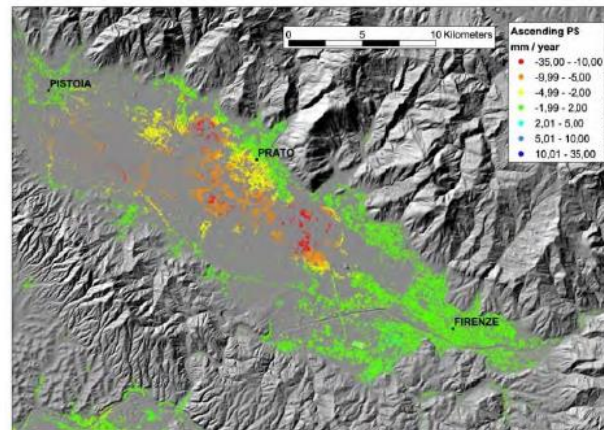
Le informazioni ottenute mediante interferometria possono essere usate per molte applicazioni, dalla creazione di carte topografiche, allo studio delle deformazioni (vulcani, terremoti, sinkhole, frane ...), alle proprietà della vegetazione, alle correnti oceaniche e alla creazione di modelli del terreno in 3D.

Possono essere stimati anche movimenti dell'ordine del centimetro.

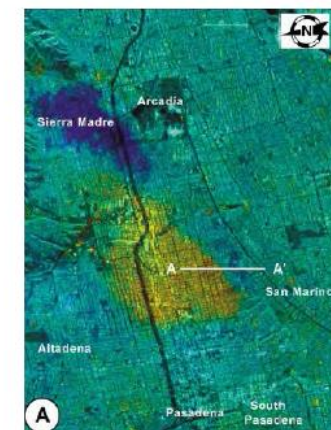
Slide courtesy Prof. Casagli, 2015



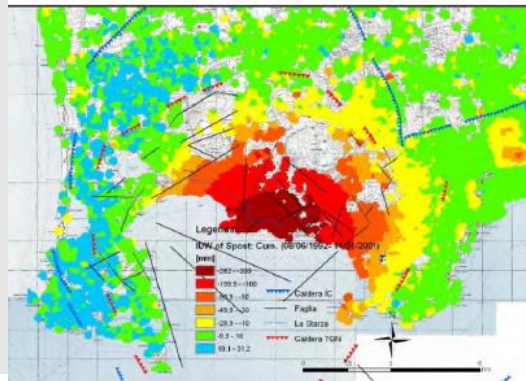
Frane a cinematica lenta



Subsidenza



Movimenti tettonici



Attività vulcanica



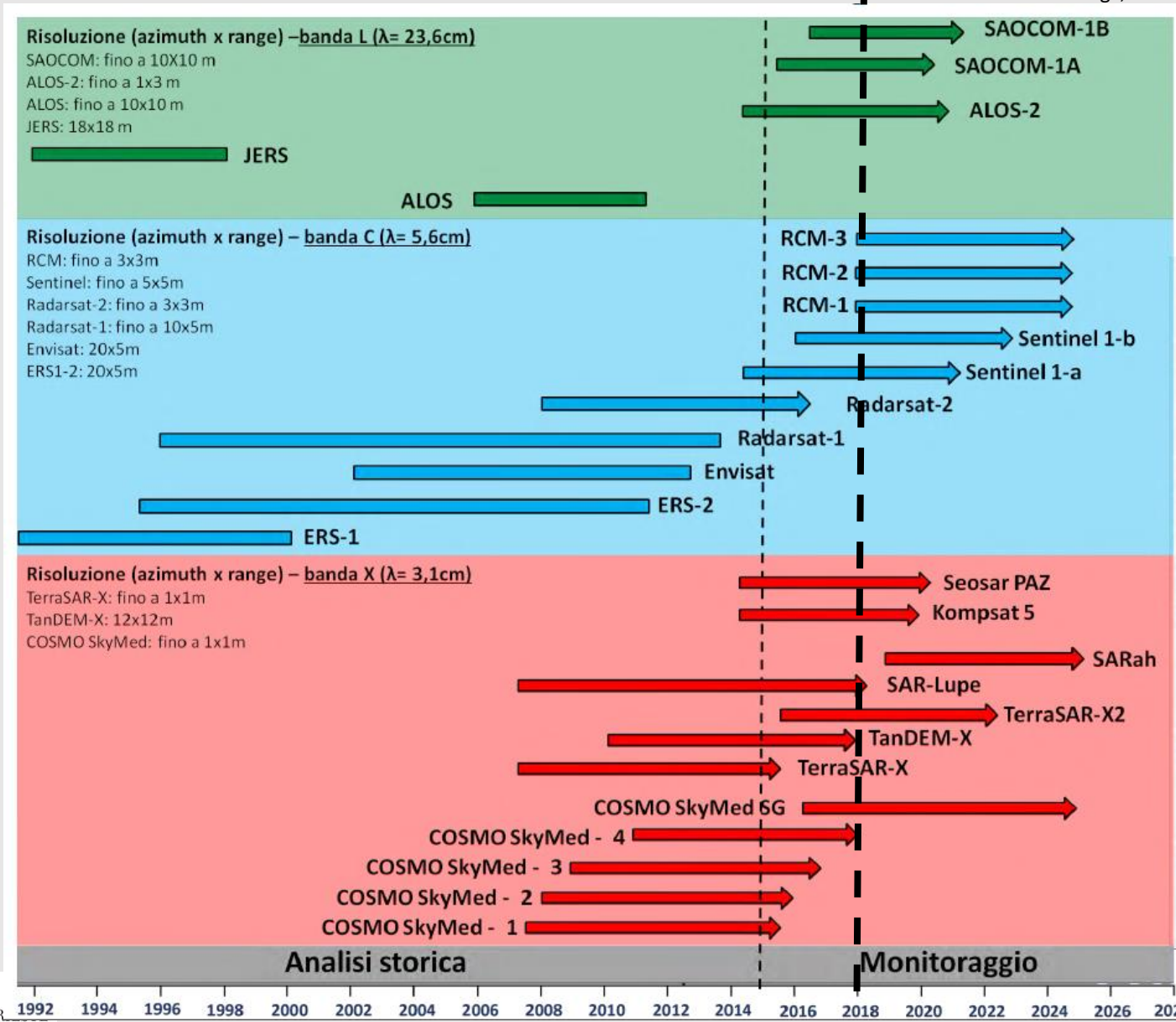
Analisi sul singolo edificio



Monitoraggio di strutture arginali

Satelliti SAR disponibili

Casagli, 2015



SRTM – Shuttle Radar Topography Mission



La Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) è un progetto congiunto tra NASA e NGA (la National Geospatial-Intelligence Agency del Dipartimento della Difesa statunitense) che nel **febbraio del 2000** ha portato alla mappatura della superficie del globo terrestre in tre dimensioni ad un livello di dettaglio mai raggiunto prima.

Grazie all'applicazione di tecniche interferometriche su dati acquisiti mediante uno Spaceborne Imaging Radar-C (SIR-C) ed uno X-band Synthetic Aperture Radar (X-SAR) sono state **ricostruite le altimetrie di circa l'80% della superficie terrestre** tra i 60° di latitudine nord e i 56° di latitudine sud. Il DEM SRTM, attualmente distribuito dal servizio geologico americano (USGS – United States Geological Survey), è fornito con risoluzione di 1 arcosecondo (circa 30 metri, variabili con la latitudine) per gli Stati Uniti e relativi territori, mentre ne viene distribuita una versione “degradata” a risoluzione di 3 arcosecondi (90 metri, variabili) per l'intero globo. L'errore verticale riportato è inferiore ai 16 metri.

<http://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/>

SRTM – Shuttle Radar Topography Mission

Il DEM presenta zone di no-data, che corrispondono ad aree per le quali particolari condizioni durante la ripresa (acqua o presenza di nuvole) hanno comportato errori troppo elevati nella stima delle altimetrie. Si tratta di aree piccole che però in alcuni casi possono rendere i dati NASA SRTM poco utili per applicazioni di modellistica idrogeologica a scala locale.

Farr, T. G., et al. (2007), The Shuttle Radar Topography Mission, Rev. Geophys., 45, RG2004, doi:10.1029/2005RG000183.

The diagram illustrates the SRTM mission. It shows the shuttle's main antenna (transmit and receive) and the outboard antenna (receive only). The outboard antenna is a long mast with a cross-arm at the end. The shuttle is labeled with 'Main antennas (transmit and receive)', 'L-band', 'C-band', 'X-band', 'ACDA', and 'Mast'. The outboard antenna is labeled with 'Outboard antennas (receive only)', 'X-band', and 'C-band'. A photograph shows the shuttle's antennas on the ground. Two topographic maps are shown: one is a color-coded elevation map, and the other is a 3D perspective view of a mountain range. The NASA logo is also present.

Reflected radar signals collected at two antennas, providing two sets of radar signals separated by a distance.

courtesy of NASA/JPL

courtesy of NASA/JPL

courtesy of NASA/JPL

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

SRTM 90m CGIAR

Il Centro per l'Informazione Spaziale **CGIAR-CSI** fornisce un modello digitale del terreno riprocessato a partire da quello prodotto da NASA con la Shuttle Radar Topographic Mission, ovvero una versione dei dati SRTM senza "buchi" di no-data. I dati sono disponibili per il download in tiles (strisciate) di 5 per 5 gradi, in sistema di coordinate geografiche (datum **WGS84**).

I VUOTI

C'erano un totale di 3,436,585 vuoti in 796,217 km², e, in casi estremi, come in Nepal, essi costituivano il 9.6% dell'area dell'intero paese con 32,688 vuoti totali su un'area di 13,740 km².

Aree senza copertura di dati a causa dell'insufficiente dettaglio di acquisizione, erano facilmente individuabili ad esempio in Himalayas e nelle Ande, o in regioni desertiche come nel Sahara.

Il fatto che ci fossero aree senza dati, in un DEM possono causare particolari problemi nella realizzazione dei DEM stessi e nelle applicazioni idrogeologiche, quali l'utilizzo di modelli che richiedono l'uso di superfici continue.

Per questo motivo, il CGIAR ha prodotto il CGIAR-CSI SRTM che, tramite un algoritmo di riempimento dei vuoti, è riuscito a creare un prodotto con superfici continue. I dati sono proiettati in un Sistema WGS84 per il datum orizzontale e EGM96 per il datum verticale.

SRTM 90m CGIAR – riempire i vuoti

Per realizzare questa banca dati completa, il CGIAR ha utilizzato degli algoritmi proposti da Reuter et al. (2007).

Il primo procedimento ha previsto di importare e unire in ambiente GIS, le strisciate 1-degree in modo da ottenere superfici continue.

Il secondo passo ha previsto il riempimento iterativo dei piccoli vuoti e la “pulizia” della superficie ottenuta in modo tale da ridurre buchi e picchi.

Il terzo passo ha previsto l’interpolazione delle superfici con diverse metodologie Basate sulla dimensione dei buchi e in funzione delle morfologie attigue alle no-data areas.

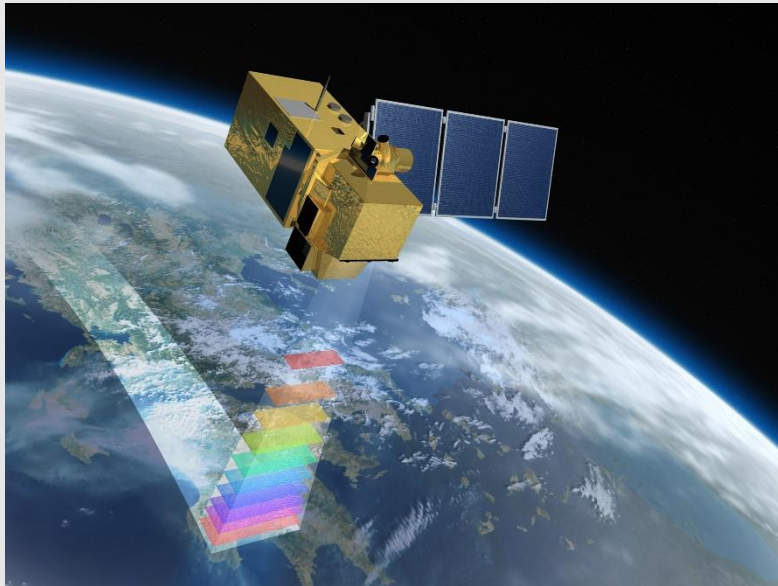
Nel caso in cui fosse disponibile per l’area un DEM a risoluzione migliore, questa disponibilità di dati è stata utilizzata per riprocessare le superfici.

Nel caso in cui non fosse disponibile un DEM ad alta risoluzione, sono stati utilizzati i 30 second SRTM30 DEM per chiudere i vuoti di dimensioni notevoli.

Reuter H.I., Nelson A., Jarvis A. (2007) An evaluation of void-filling interpolation methods for SRTM data. International Journal of Geographical Information Science, 21:9, 983-1008. <https://doi.org/10.1080/13658810601169899>

TERRA – EOS AM-1

Terra (EOS AM-1) è un satellite scientifico multinazionale della NASA, che ruota intorno alla Terra in un'orbita eliosincrona circolare, quasi polare ad un'altitudine media di 705 km dalla superficie terrestre e passa sull'equatore alle 10:30 a. m., come ora locale solare. Viaggiando ad una velocità di 6.7 km/sec, ha un ciclo di funzionamento medio di 8 min/orbita, passando sulla stessa orbita ogni 16 giorni.



Google (2017)

Il satellite fu lanciato dalla base dell'aeronautica di Vandenberg il 18 dicembre 1999 da un razzo-vettore Atlas IIAS ed iniziò a raccogliere dati il 24 febbraio 2000.

Terra trasporta un carico di cinque sensori remoti progettati per monitorare lo stato dell'ambiente naturale sulla Terra e dei cambiamenti in corso nel clima:

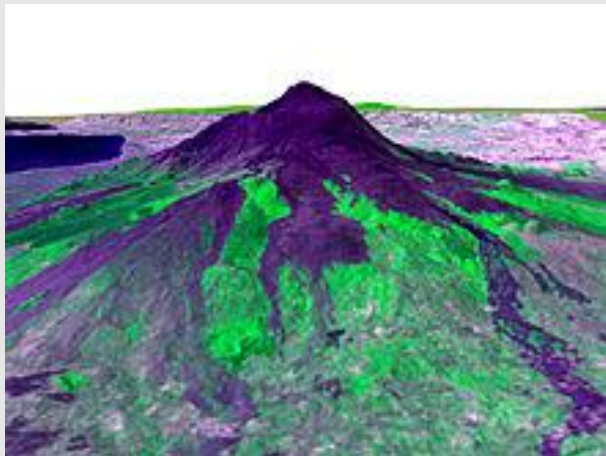
- **ASTER** (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)
- **CERES** (Clouds and the Earth's Radiant Energy System)
- **MISR** (Multi-angle Imaging Spectro Radiometer)
- **MODIS** (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer)
- **MOPITT** (Measurements of Pollution in the Troposphere)

Il sensore ASTER – Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

ASTER è un sensore Giapponese che fornisce immagini ad alta risoluzione del nostro pianeta in **14 lunghezze d'onda diverse** dello spettro elettromagnetico (dal visibile all'infrarosso). Una scena ASTER si estende su una superficie di circa 60 per 60 chilometri con risoluzioni spaziali che variano dai 15 ai 90 metri circa.

Le immagini ASTER vengono utilizzate per creare mappe di dettaglio della temperatura superficiale, dell'emissività, della riflettanza e dell'elevazione.

Dal 1 aprile 2016, tutte le immagini ottenute con lo strumento di telerilevamento giapponese ASTER, sono disponibili per gli utenti di tutto il mondo senza costi.



L'Etna ripreso dal satellite.

Il 29 giugno 2009, il Global Digital Elevation Model (**GDEM1**) fu diffuso pubblicamente.

Nato dalla collaborazione tra la NASA e il Ministero dell'Economia, Commercio e Industria giapponese (METI), il GDEM è la più completa mappatura della Terra mai realizzata, con una copertura del 99% della sua superficie.

Nell'ottobre 2011 la Versione 2 del GDEM (**GDEM2**) è stata diffusa pubblicamente. Questa versione è considerata un miglioramento rispetto alla precedente versione con la copertura di alcuni vuoti e vari artefatti rimossi.

ASTER consta di 3 separati sottosistemi

VNIR (*Visibile and Near-infrared*) con 3 bande nel visibile e nell'infrarosso vicino, con una risoluzione spaziale di **15 m** e un telescopio aggiuntivo retro-orientato per la copertura stereo;

SWIR (*Shortwave Infra-red*) con 6 bande nell'infrarosso a corta lunghezza di onda, con una risoluzione spaziale di **30 m**

TIR (*Thermal Infrared*) con 5 bande, con una risoluzione spaziale di **90 m**.

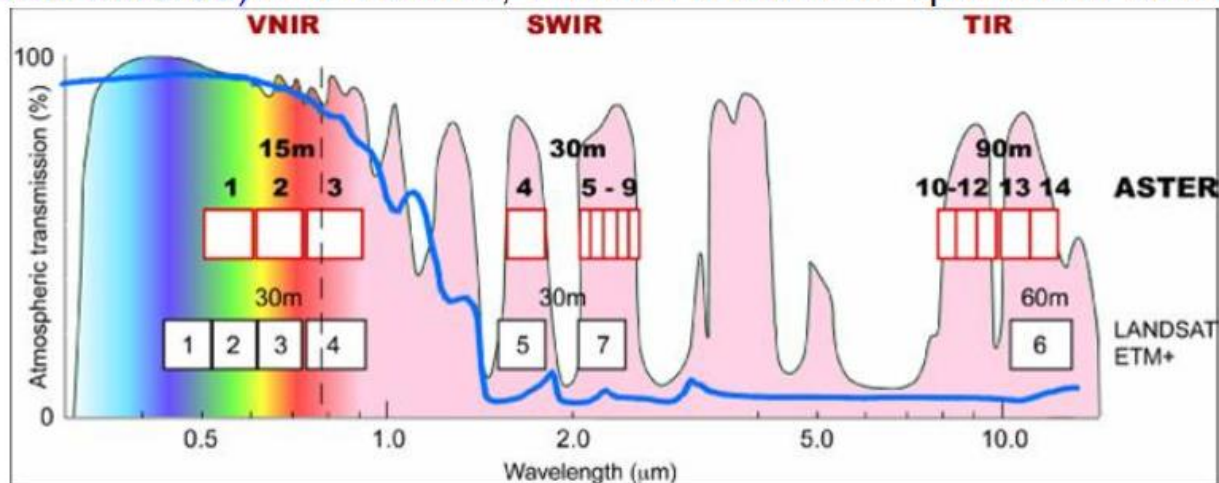


Image courtesy of Dr. Paolo Tarolli, University of Padova, Italy

Le bande di ASTER

Characteristic	VNIR	SWIR	TIR
Spectral Range	Band 1: 0.52 - 0.60 μm Nadir looking	Band 4: 1.600 - 1.700 μm	Band 10: 8.125 - 8.475 μm
	Band 2: 0.63 - 0.69 μm Nadir looking	Band 5: 2.145 - 2.185 μm	Band 11: 8.475 - 8.825 μm
	Band 3: 0.76 - 0.86 μm Nadir looking	Band 6: 2.185 - 2.225 μm	Band 12: 8.925 - 9.275 μm
	Band 3: 0.76 - 0.86 μm Backward looking	Band 7: 2.235 - 2.285 μm	Band 13: 10.25 - 10.95 μm
		Band 8: 2.295 - 2.365 μm	Band 14: 10.95 - 11.65 μm
		Band 9: 2.360 - 2.430 μm	
Ground Resolution	15 m	30m	90m
Data Rate (Mbits/sec)	62	23	4.2
Cross-track Pointing (deg.)	± 24	± 8.55	± 8.55
Cross-track Pointing (km)	± 318	± 116	± 116
Swath Width (km)	60	60	60
Detector Type	Si	PtSi-Si	HgCdTe
Quantization (bits)	8	8	12
System Response Function	VNIR Chart	SWIR Chart	TIR Chart
	VNIR Data	SWIR Data	TIR Data

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



Le immagini ottenute nella finestra spettrale del TIR consentono di caratterizzare univocamente i materiali e le caratteristiche della superficie investigata, come ad esempio la composizione minerale, l'umidità del terreno, anomalie geotermiche ecc. (Quattrocchi et al., 2009)



Cosa scelgo???

LiDAR vs IFSAR o InSAR

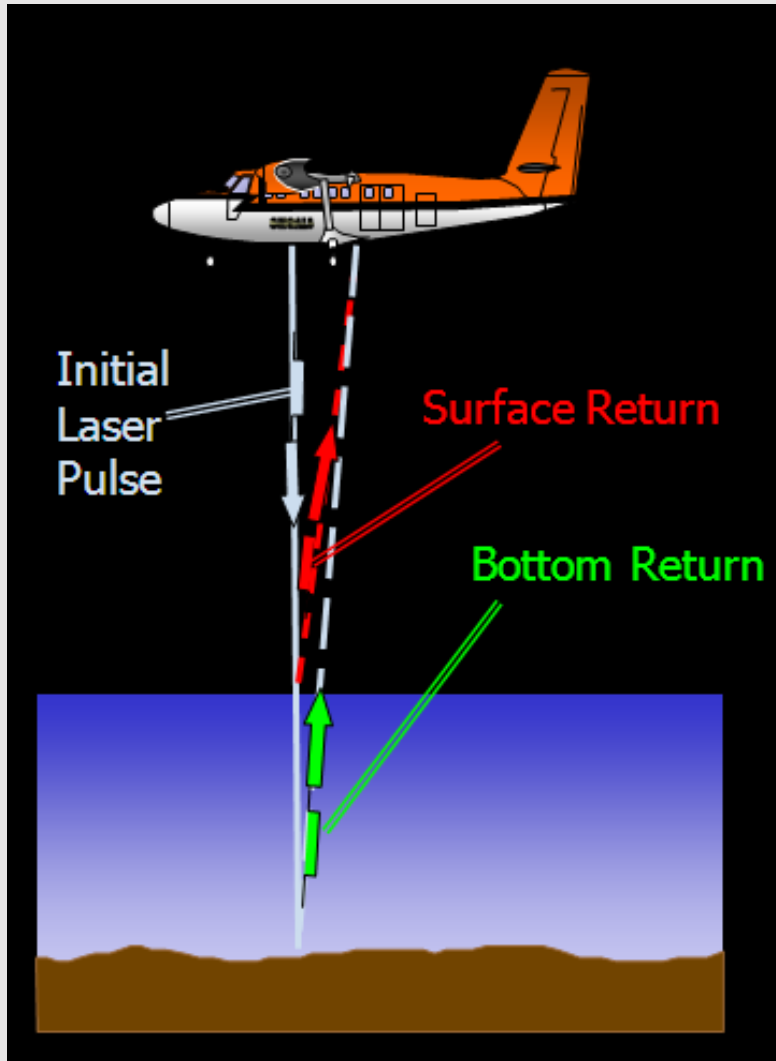
	IFSAR	LIDAR
Collection Process	Collected from fixed-wing aircraft at 6km to 9km in single-pass mode.	Collected from fixed-wing aircraft and helicopter platforms at 50m to 3.5km; may require multiple passes.
Maximum Collection Rates	~ 4,000km ² /hr	~ 200km ² /hr
Wavelengths	X-band (~3cm). Penetrates clouds, haze, fog, dust, light rain, and snow.	IR (~ 1nm). Cannot penetrate clouds and are heavily absorbed by water.
DEM Vertical Accuracy	1.0m RMSE	Between 15 and 50cm RMSE
DEM Horizontal Accuracy	2.0m	0.5 to 1.0m
Operating Speed	~750km/hr	~200km/hr
Ground Swath	5 - 9km	0.7 to 1km
Accuracy	Best accuracy around 0.5m in 7	Best accuracy around 10cm in 7
Applications	Ideal for larger areas requiring a lesser, yet widely acceptable, degree of accuracy.	Best suited for smaller areas and projects that require a high degree of accuracy.
Cost	~ \$25 to \$30/km ²	~ \$150 to \$250/km ²



8310 South Valley Highway, Suite 400 | Englewood, CO 80112 | USA | info@intermap.com | www.intermap.com

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

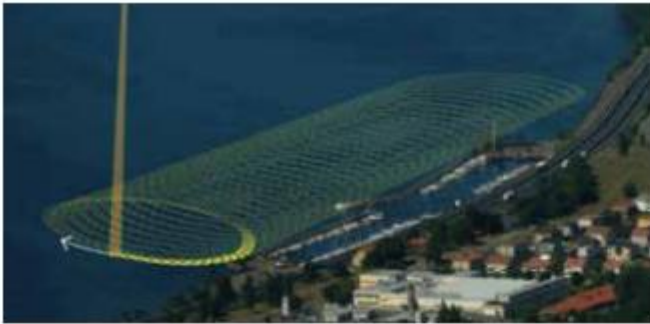
IL FUTURO – II Green LiDAR



Tarolli, Cavalli (2017)

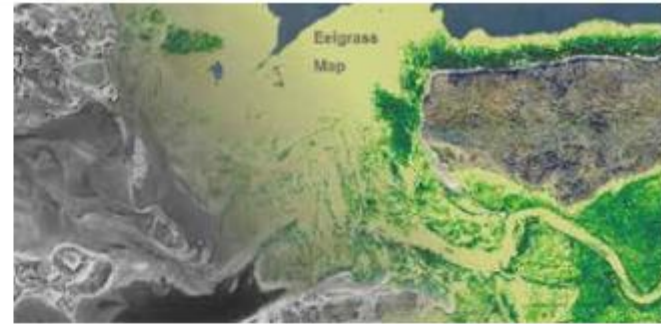
It is important to remember that the deep water surfaces normally do not reflect the signal: however this is not true in case of presence of floating sediments or when using bathymetric LiDAR.

The **bathymetric LiDAR**, that is based on the same principles as **topographic LiDAR**, emits laser beams in two wavelengths: an infrared (1064 nm) and a green one (532 nm). The infrared wavelength is reflected on the water surface, while the green one penetrates the water and is reflected by the bottom surface or other objects in the water. Due to this reason the bathymetric LiDAR is also called **green LiDAR**.



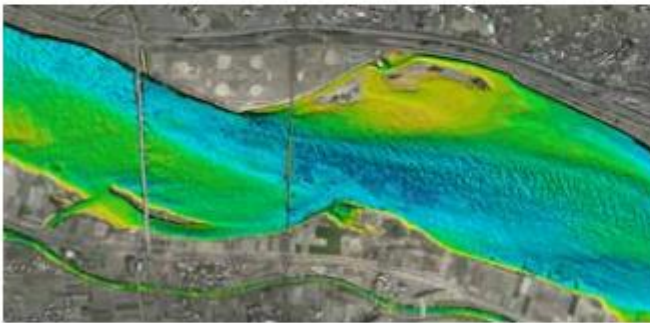
NEARSHORE CHARTING

- Charting according to S-44 standards
- Onshore, shoreline and seamless data down to the seabed
- Obstruction detection with oblique LiDAR
- Maximum depth penetration in turbid water conditions



SEABED CLASSIFICATION

- Reflectance and intensity data available
- Seabed and substrate classification
- Geology and geomorphology
- Coastal processes and erosion



RIVER SURVEYS AND INLAND WATERS

- Flood mapping and prediction
- Disaster management
- Geomorphology studies



ENVIRONMENTAL MONITORING

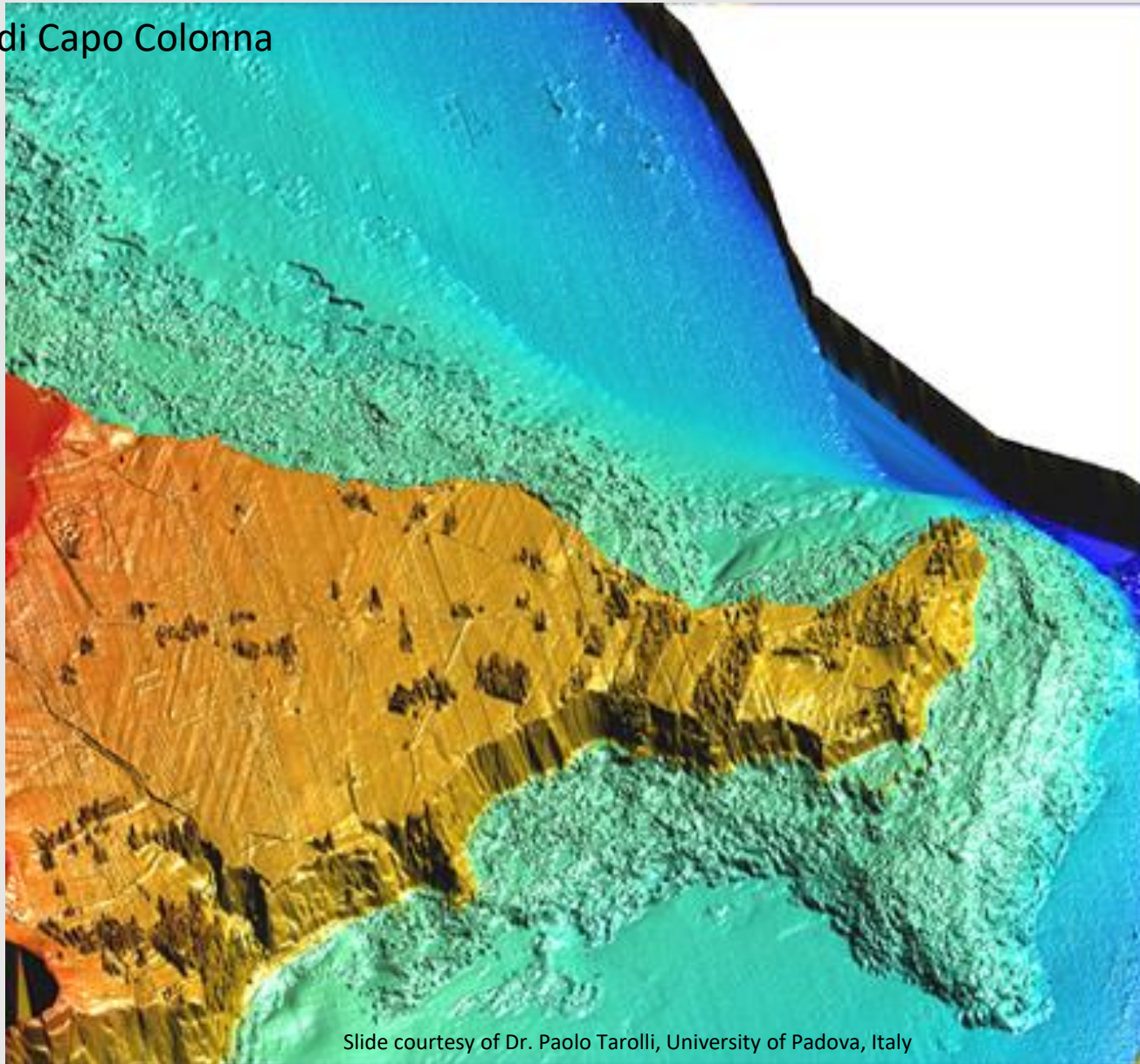
- Marine ecology
- Submerged vegetation and habitat mapping
- Aquaculture: area selection and monitoring
- Hydrodynamics

<file:///C:/Users/Interni/Downloads/Airborne Bathymetric LiDAR solutions BRO.pdf>

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

LiDAR batimetrico da aereo

Linea di costa di Capo Colonna



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

LiDAR su autovettura

