



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



<http://www.centrometeo.com>

Rischio idrogeologico

Geomorfometria



Dr. Chiara Calligaris

A.A. 2021-2022

calligar@units.it



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE

www.aedilizia.com

DMG dipartimento
di matematica
e geoscienze

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.

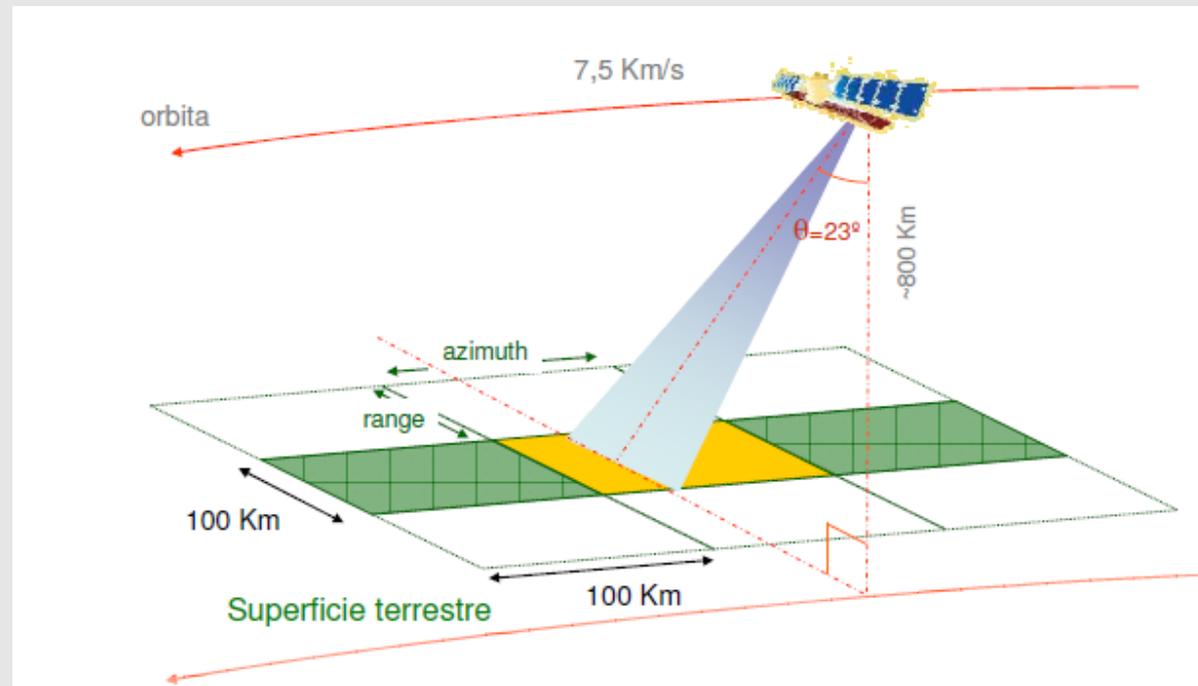
La tecnologia SAR è più vantaggiosa in termini economici per il rilievo di **estese superfici** (**attraverso le nuvole** e, anche se solo parzialmente, attraverso le precipitazioni), accettando un'accuratezza verticale più bassa rispetto a tecnologia LiDAR.

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

Tarolli, Cavalli (2017)

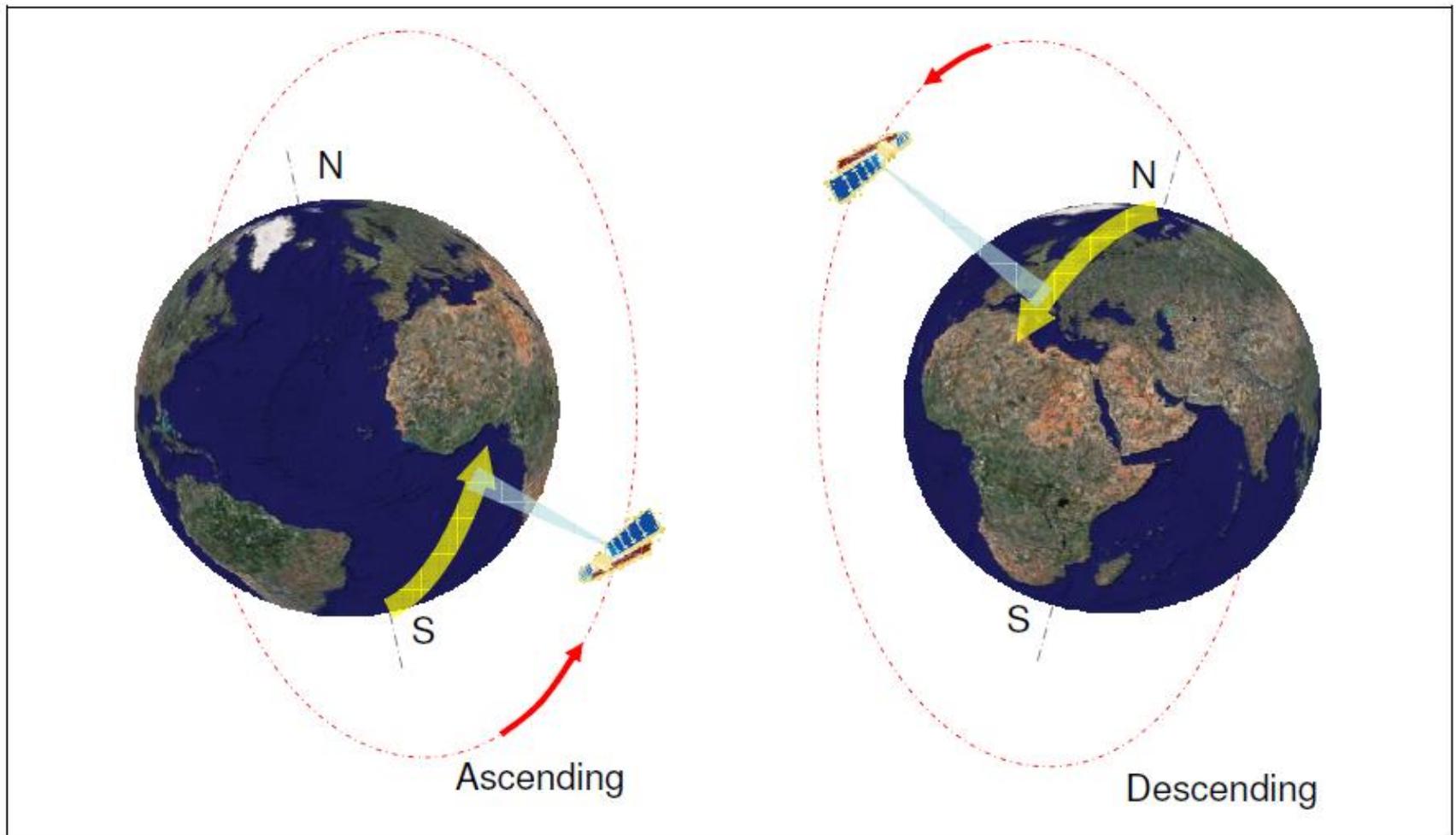
Il dispositivo:

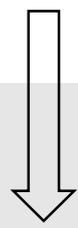
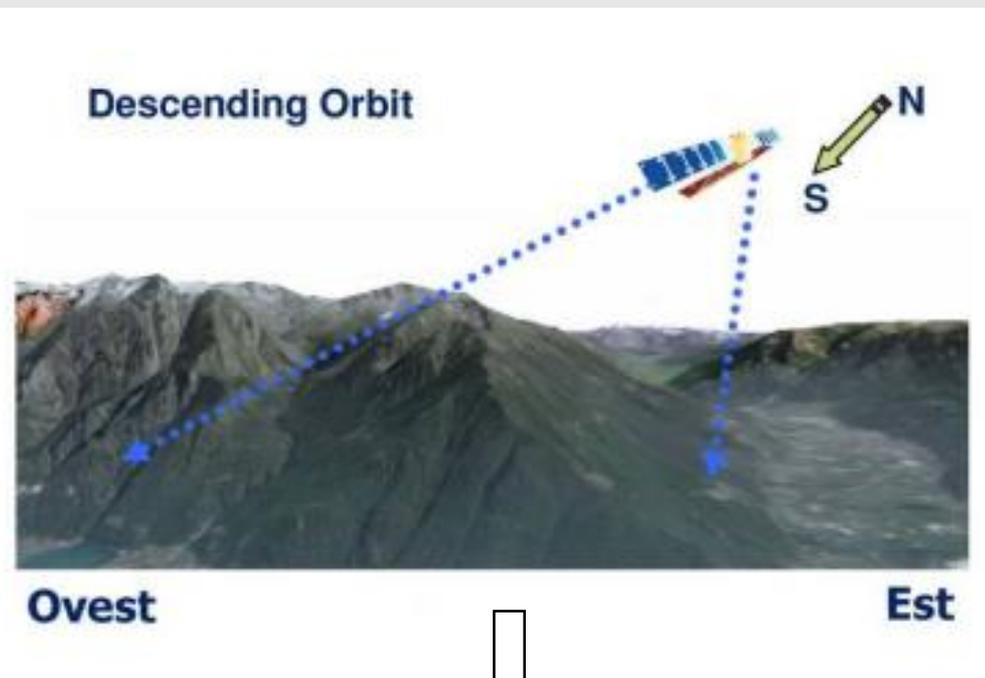
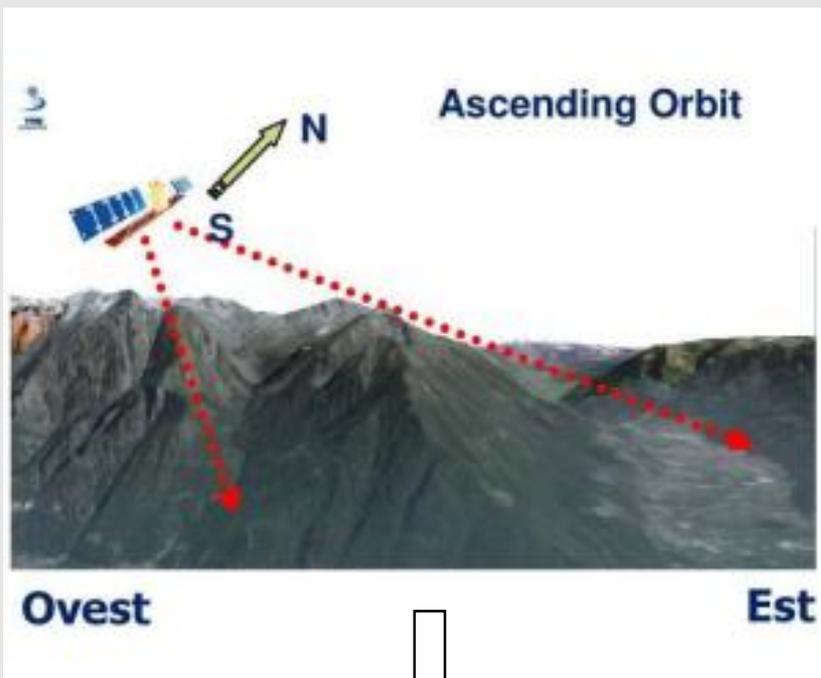
- Individua il bersaglio elettromagnetico;
- Misura il ritardo temporale tra l'istante di trasmissione e quello di ricezione;
- Valuta la distanza a cui è posizionato;
- Localizza il bersaglio lungo la direzione di puntamento dell'antenna.



I satelliti acquisiscono in 2 geometrie

I satelliti ERS ed ENVISAT acquisiscono dati lungo orbita ascendente, passaggio da S verso N, e lungo orbite discendenti, passaggio circa da N verso S.





Geometria Ascendente:

l'orbita viene percorsa da Sud verso Nord e il sensore illumina l'area da Ovest verso Est (ben visibili i versanti esposti ad Est)

Geometria Discendente:

l'orbita viene percorsa da Nord verso Sud e il sensore illumina l'area da Est ad Ovest (ben visibili i versanti esposti verso Ovest)

I diffusori permanenti (*Permanent Scatterers*, PS) sono bersagli radar identificati sulla superficie terrestre, in corrispondenza dei quali è possibile eseguire misure di spostamento con precisione millimetrica.

Permanent Scatterers

Manufatti (edifici, monumenti, strade, linee ferroviarie, antenne, tralici..)

Elementi naturali (affioramenti rocciosi, accumuli di detrito..)

Elevata stabilità nel tempo della risposta elettromagnetica
(«*firma radar*»)

Informazioni associate ad ogni PS:

- Posizione bersaglio a terra (coordinate spaziali: latitudine/longitudine/quota);
- Velocità media annua di spostamento (mm/aa);
- Serie storica di spostamento.

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.

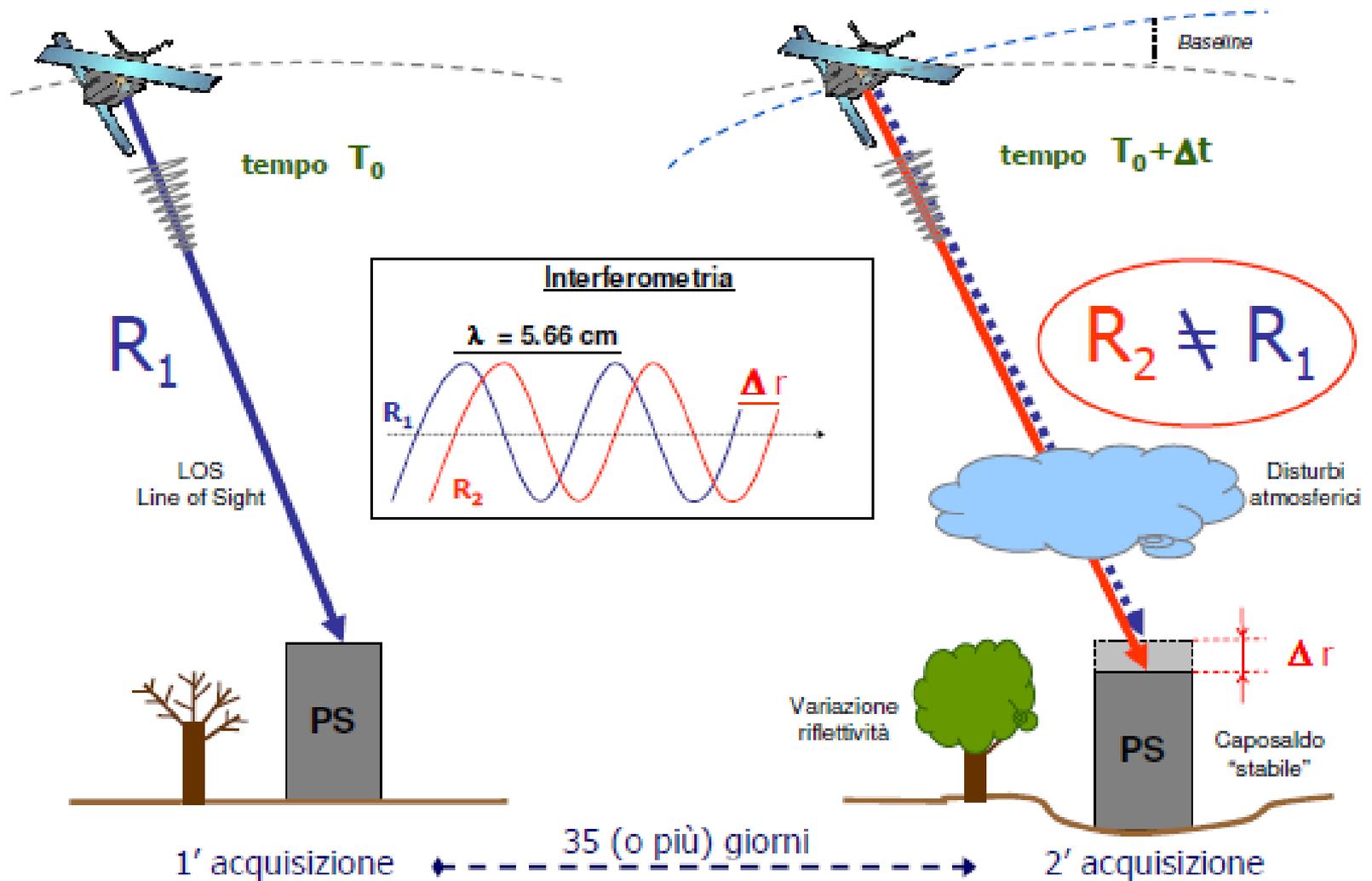
Il risultato del confronto tra due immagini radar permette di stimare lo spostamento del terreno in base allo sfasamento delle onde riflesse durante le due acquisizioni. Si ottiene quindi un'immagine detta **interferogramma**, le cui frange di interferenza sono dovute al movimento del terreno; in altre 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.

Permanent Scatterers

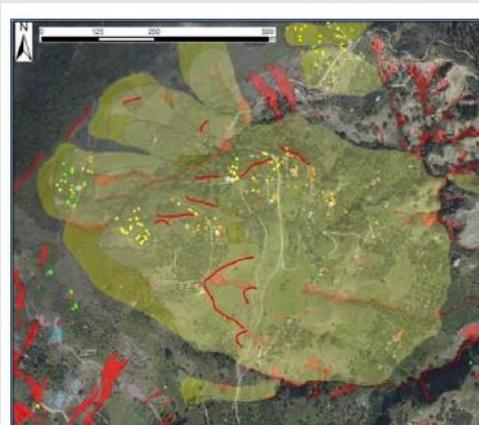


Le recenti tecniche di processamento DInSAR permettono l'analisi temporale delle deformazioni su lunghi periodi, utilizzando l'intero dataset di immagini radar acquisite dal sensore nell'intervallo scelto. Il prodotto finale di questa catena di processamento sono le **velocità medie di deformazione**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

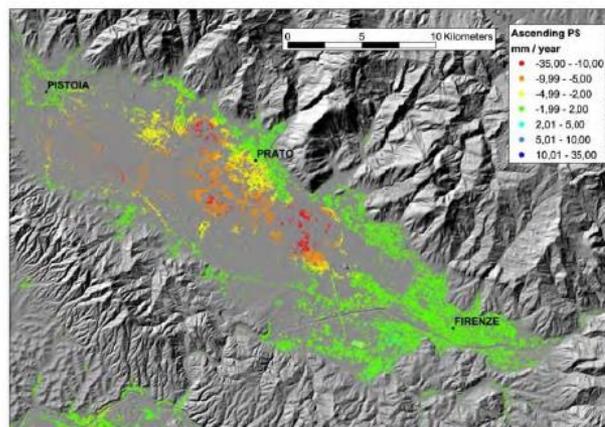
Le informazioni ottenute mediante interferometria possono essere usate per molte applicazioni, dalla creazione di carte topografiche, allo studio delle deformazioni (vulcani, terremoti, sinkhole, frane ...), alle proprietà della vegetazione, alle correnti oceaniche e alla creazione di modelli del terreno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

Possono essere stimati anche movimenti dell'ordine del centimetro.

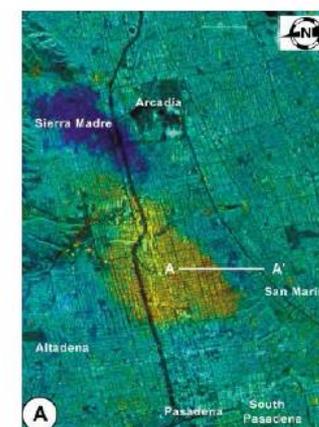
Slide courtesy Prof. Casagli, 2015



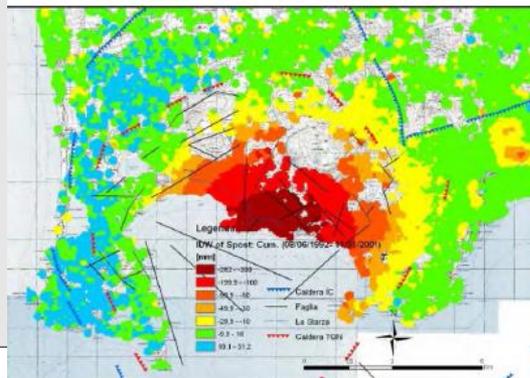
Frane a cinematica lenta



Subsidenza



Movimenti tettonici



Attività vulcanica



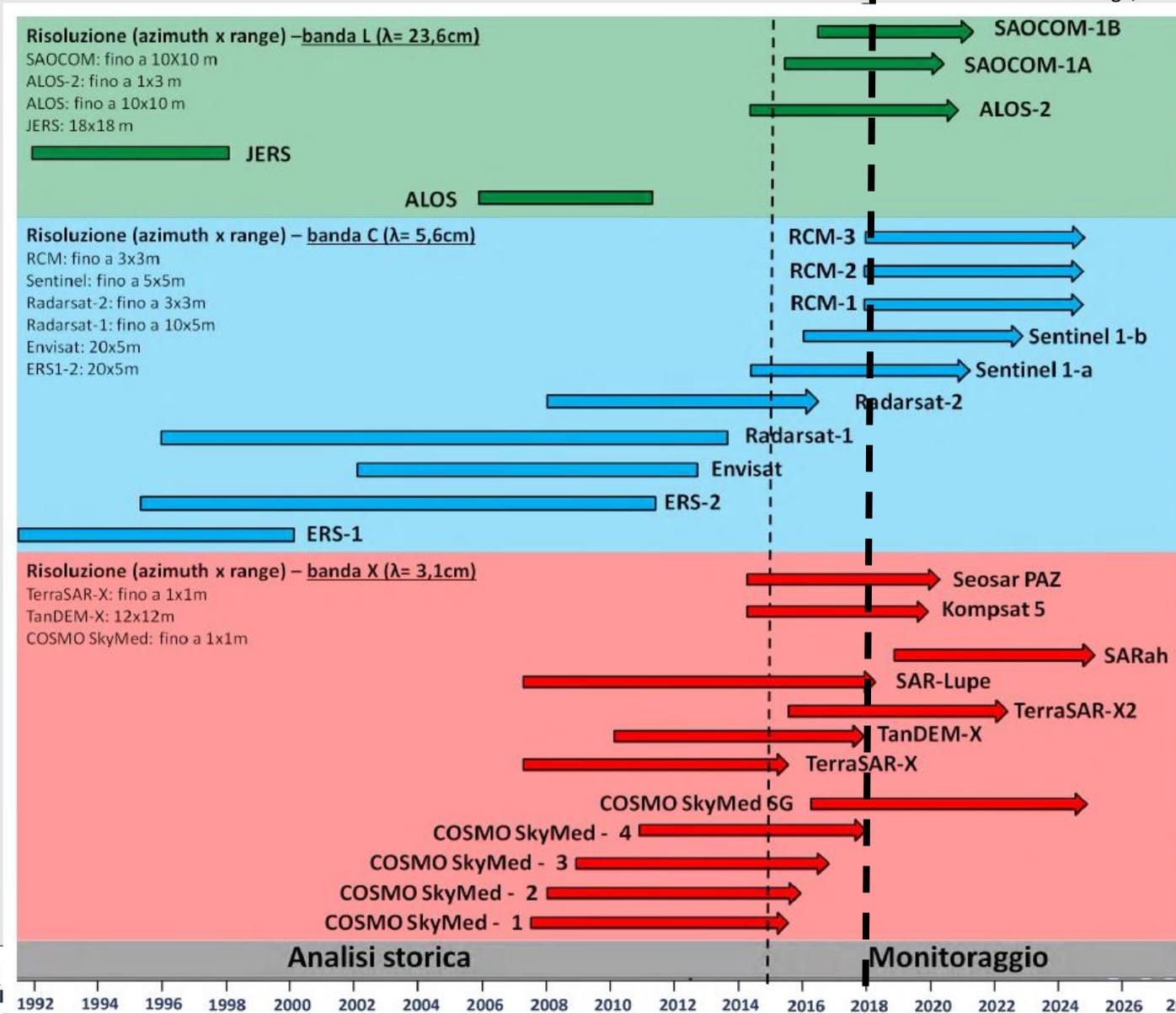
Analisi sul singolo edificio



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.

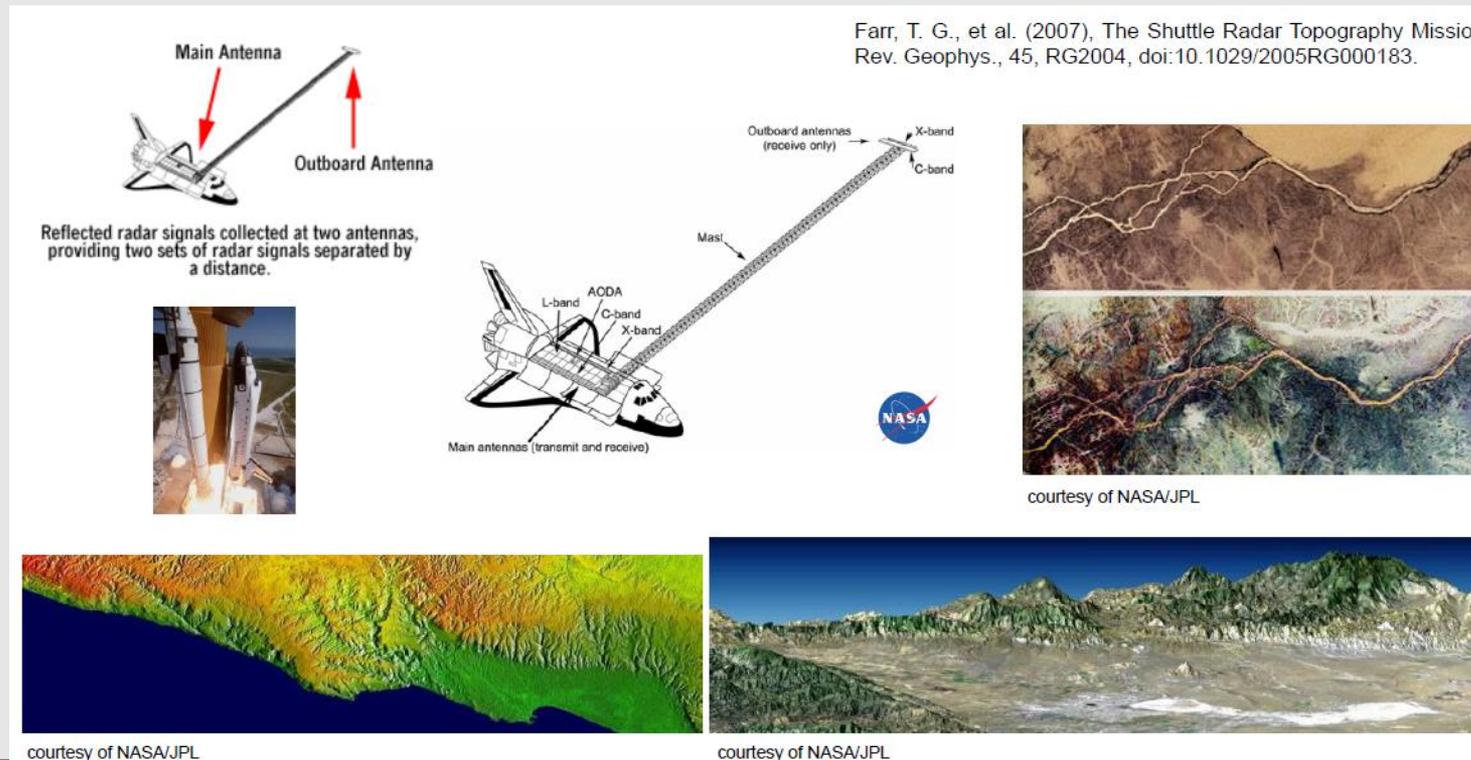
<http://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/>

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.

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

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



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.

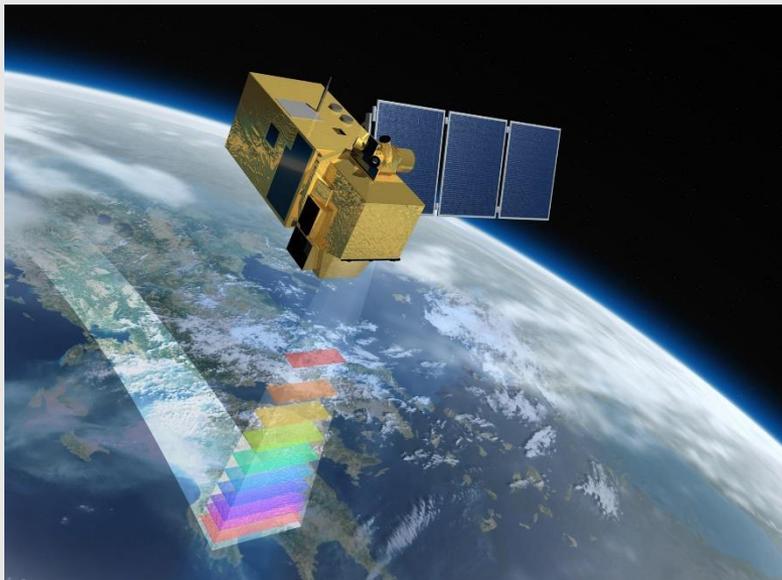
Nel caso in cui fosse disponibile per l’area un DEM a risoluzione migliore, questa disponibilità di dati è stata utilizzata per riprocessare le superfici.

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:

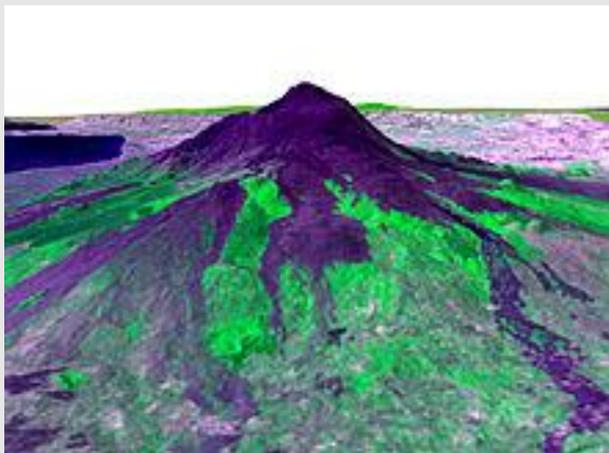
- **ASTER** (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)
- **CERES** (Clouds and the Earth's Radiant Energy System)
- **MISR** (Multi-angle Imaging Spectro Radiometer)
- **MODIS** (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer)
- **MOPITT** (Measurements of Pollution in the Troposphere)

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**.

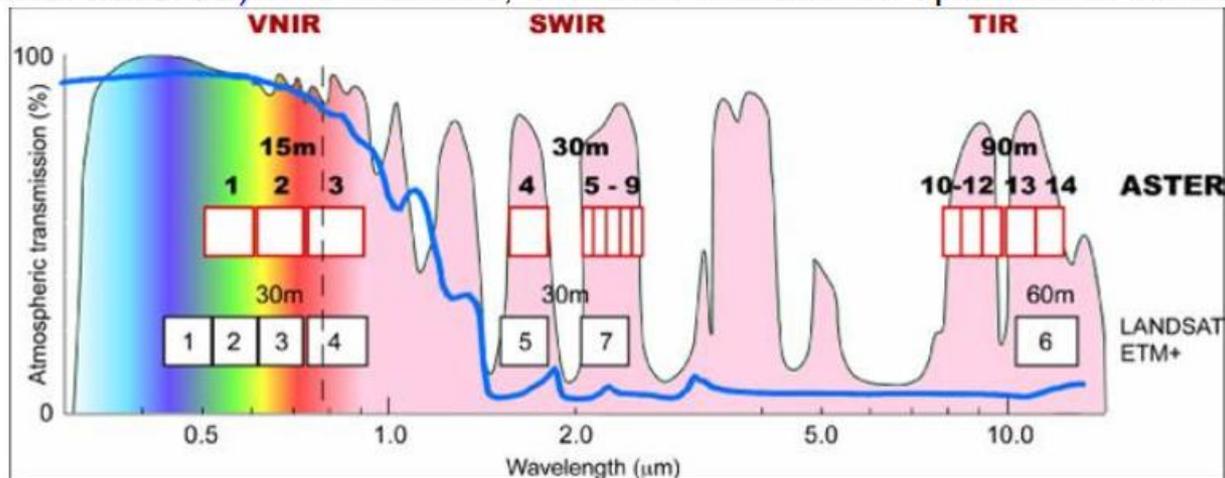


Image courtesy of Dr. Paolo Tarolli, University of Padova, Italy



Le 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. (Quattrochi 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

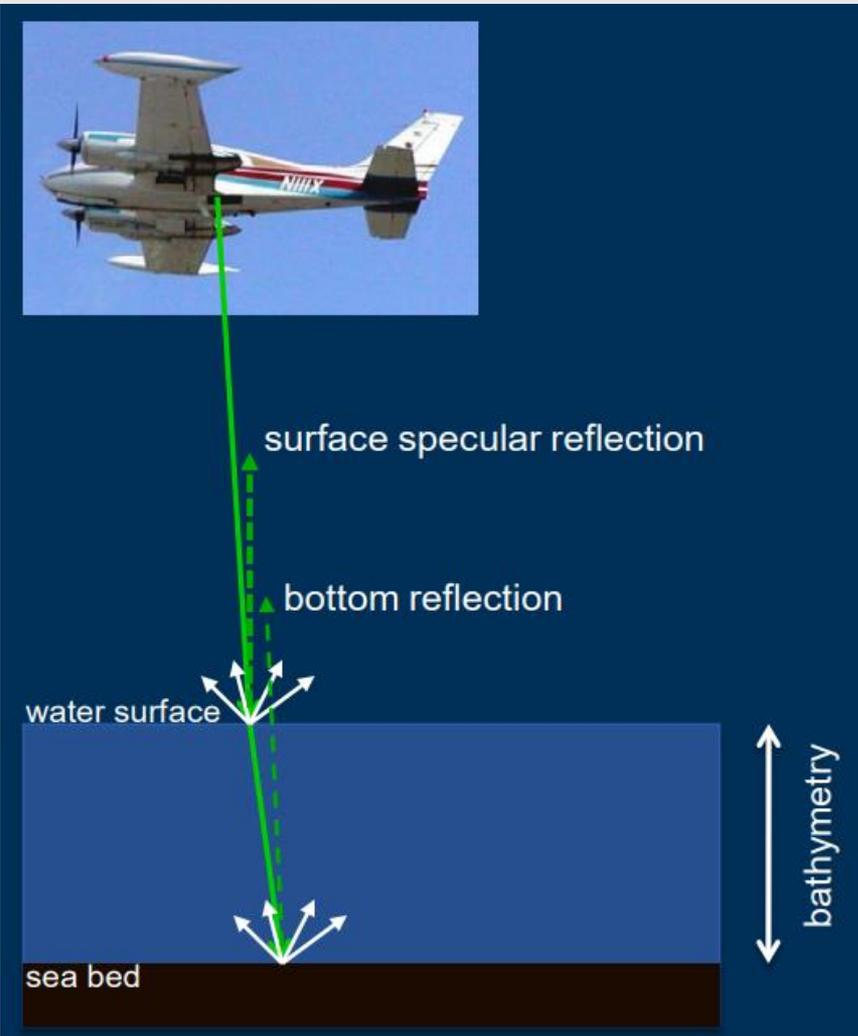


8310 South Valley Highway, Suite 400 | Englewood, CO 80112 | USA | info@intermap.com | www.intermap.com

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

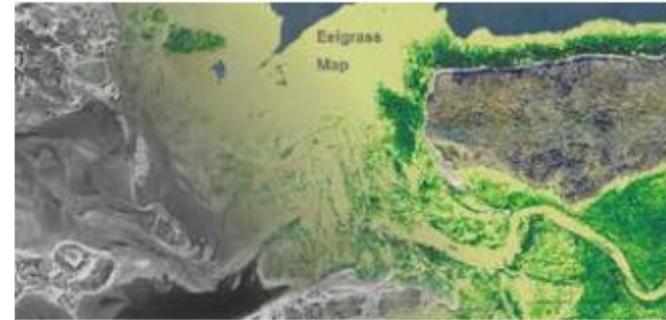
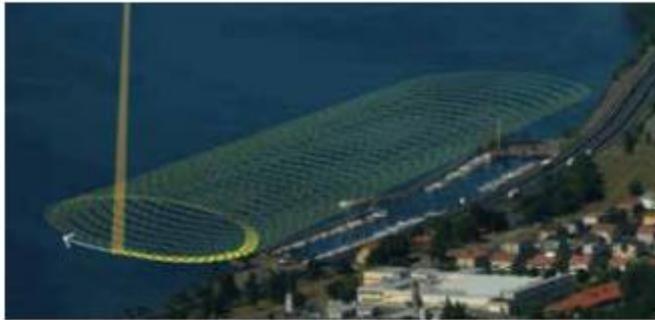
IL FUTURO – Il Green LiDAR

USGS



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**.

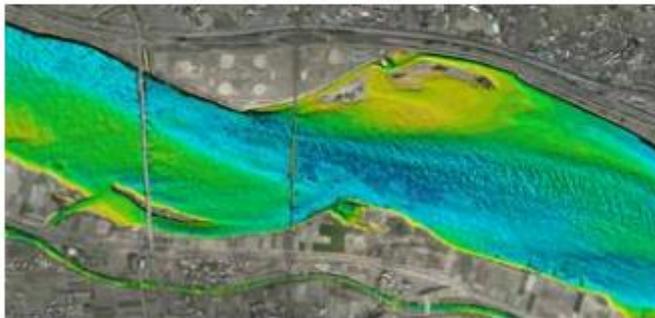


NEARSHORE CHARTING

- 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

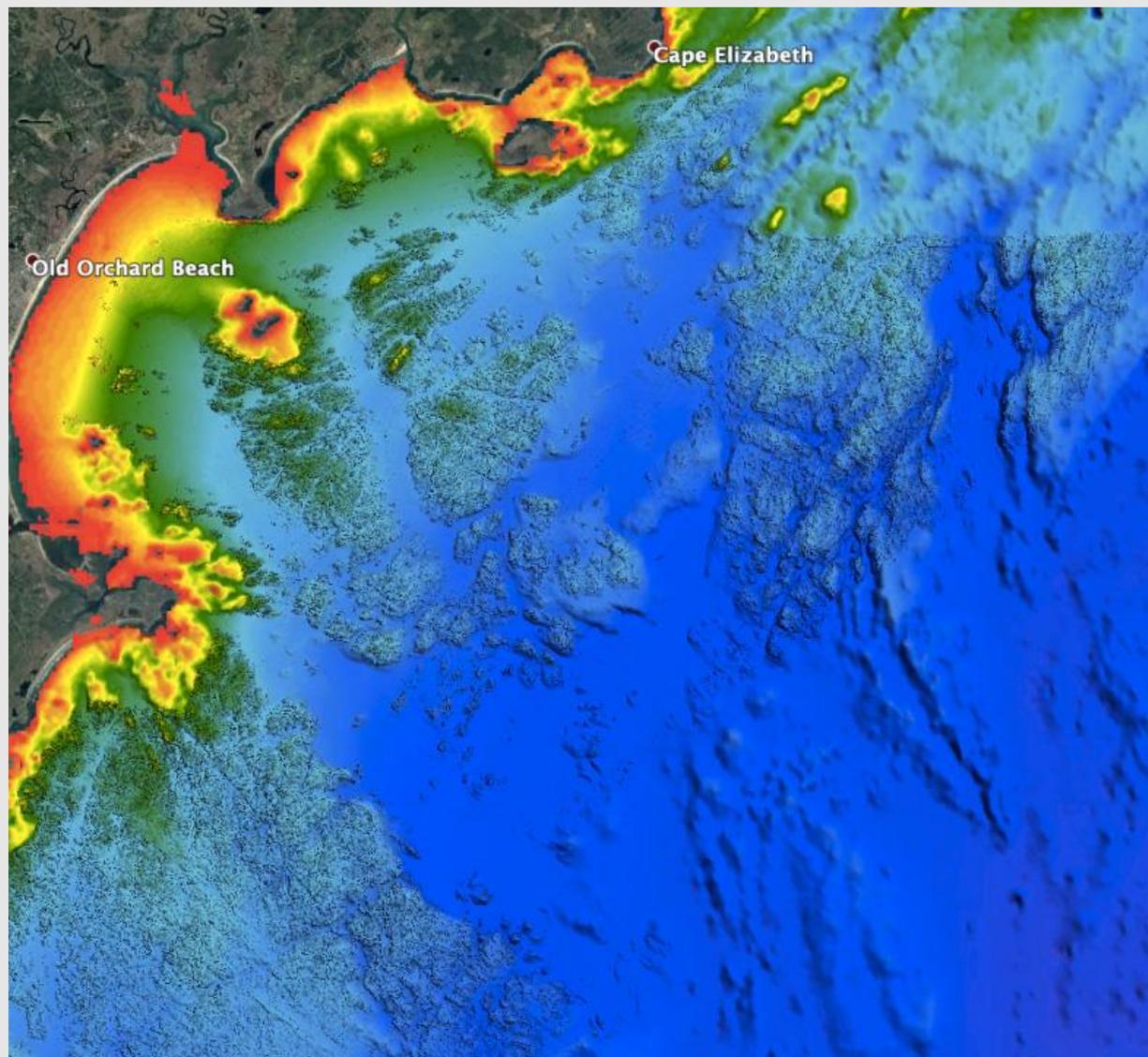
- Flood mapping and prediction
- Disaster management
- Geomorphology studies

ENVIRONMENTAL MONITORING

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

LiDAR batimetrico da aereo

3D Gulf of Maine
StrikeLines Fishing Charts

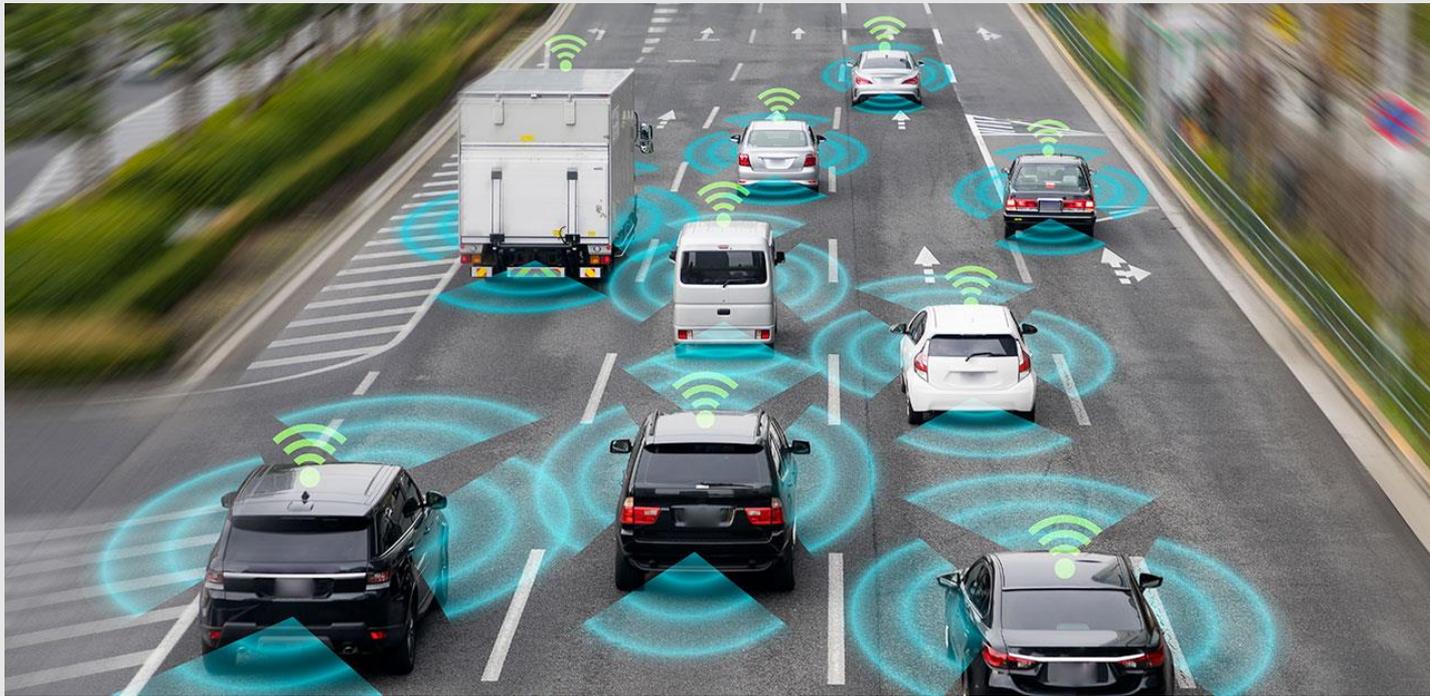


LiDAR su autovettura?



LiDAR da autovettura?

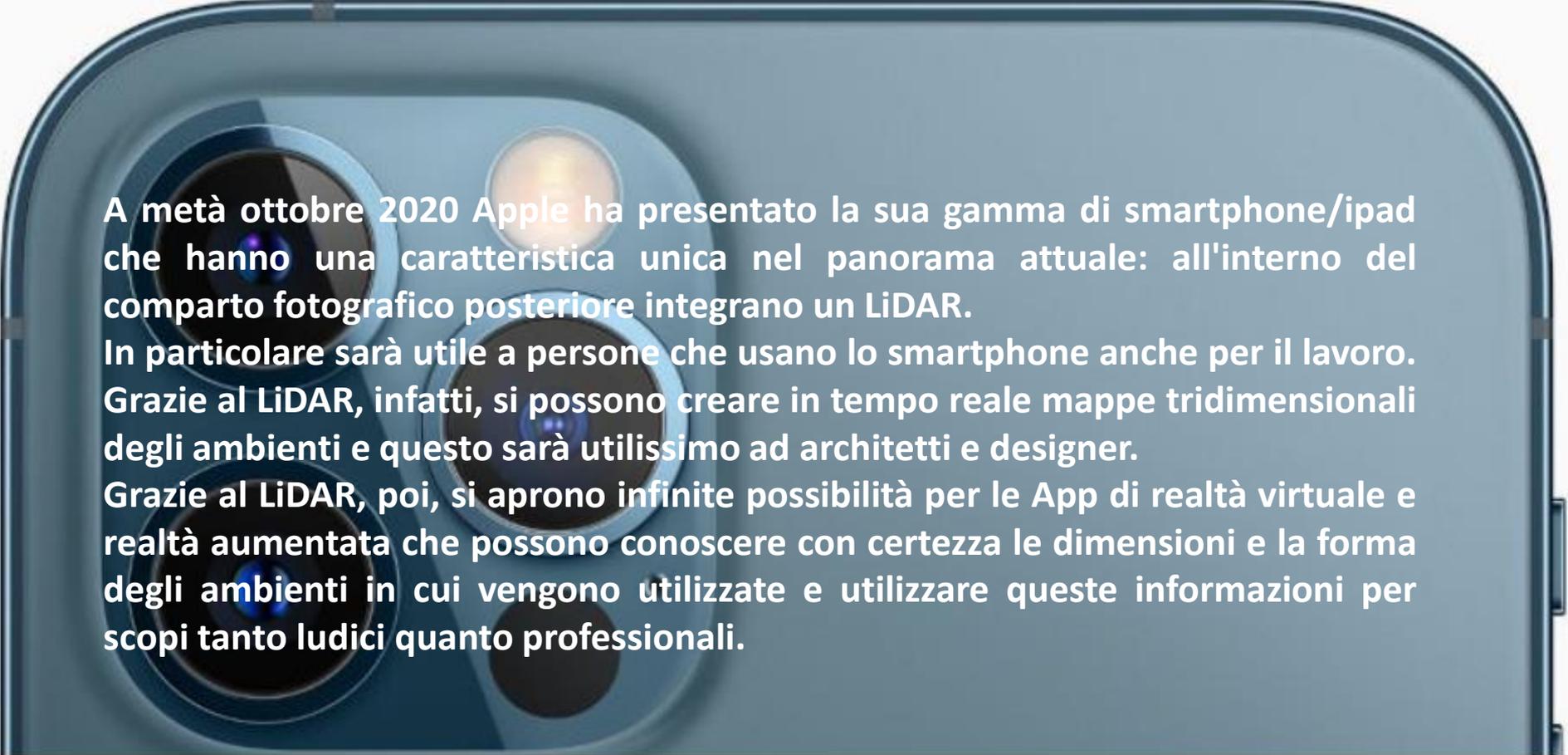
Il LiDAR, infatti, è oggi una delle tecnologie più avanzate che vengono usate dai sistemi di guida autonoma e guida assistita



<https://www.pcabroker.com/auto-a-guida-autonoma-piu-vicine-del-previsto/>

L'applicazione più all'avanguardia del LiDAR, oggi, è quella che ne fanno i sistemi di guida autonoma o assistita. Grazie al LiDAR, infatti, l'auto può "vedere" in modo tridimensionale tutto ciò che ha davanti: dalla conformazione fisica della strada alla segnaletica stradale verticale, ma anche le auto e gli altri mezzi che stanno circolando sulla stessa strada e, soprattutto, il LiDAR può vedere tutti questi oggetti mentre si muovono.

LiDAR da telefono???



A metà ottobre 2020 Apple ha presentato la sua gamma di smartphone/ipad che hanno una caratteristica unica nel panorama attuale: all'interno del comparto fotografico posteriore integrano un LiDAR.

In particolare sarà utile a persone che usano lo smartphone anche per il lavoro. Grazie al LiDAR, infatti, si possono creare in tempo reale mappe tridimensionali degli ambienti e questo sarà utilissimo ad architetti e designer.

Grazie al LiDAR, poi, si aprono infinite possibilità per le App di realtà virtuale e realtà aumentata che possono conoscere con certezza le dimensioni e la forma degli ambienti in cui vengono utilizzate e utilizzare queste informazioni per scopi tanto ludici quanto professionali.

<https://www.fastweb.it/smartphone-e-gadget/lidar-cos-e-e-come-potrebbe-cambiare-i-nostri-smartphone/>

Valutazione della qualità dei dati LiDAR

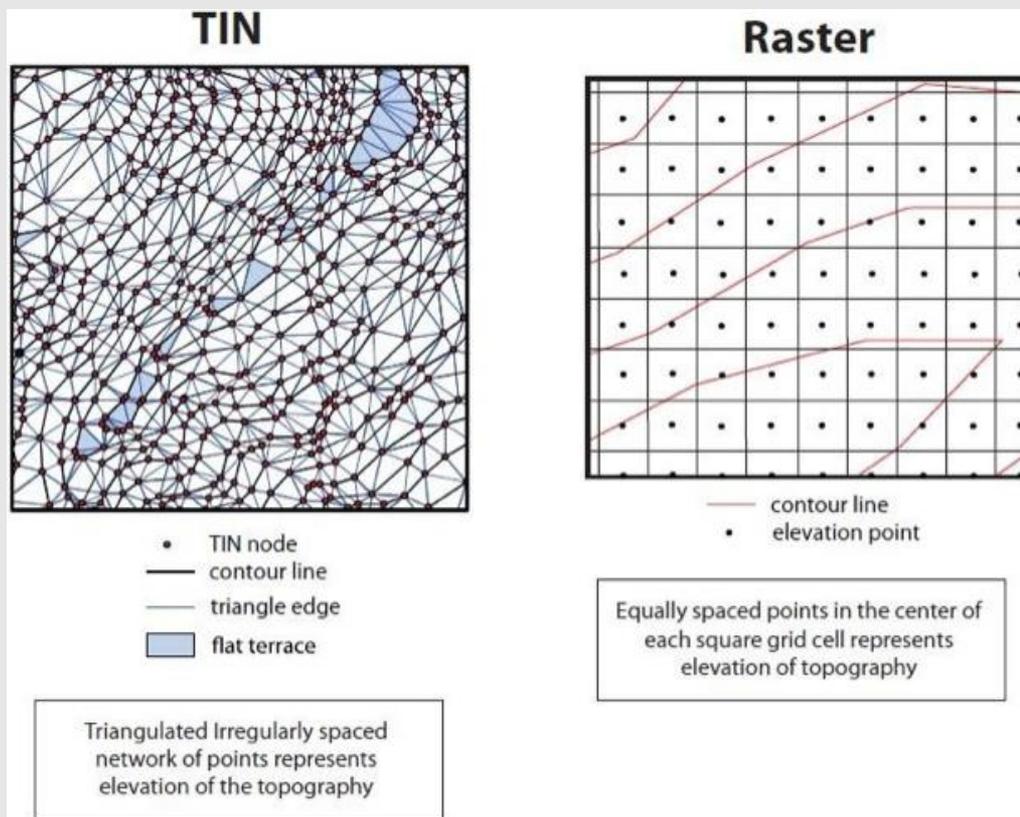


Molte rappresentazioni della superficie terrestre, come ad esempio gli sfondi dei videogiochi o dei film di animazione sono realizzati utilizzando dei **TIN (Triangulated Irregularly spaced Network)** dove a ciascun nodo corrisponde un valore di quota (Blow, 2000; Hormann, 1969).

La maggior parte delle applicazioni geomorfometriche utilizza invece i modelli digitali di elevazione del terreno che vengono rappresentati come una griglia di celle quadrate.

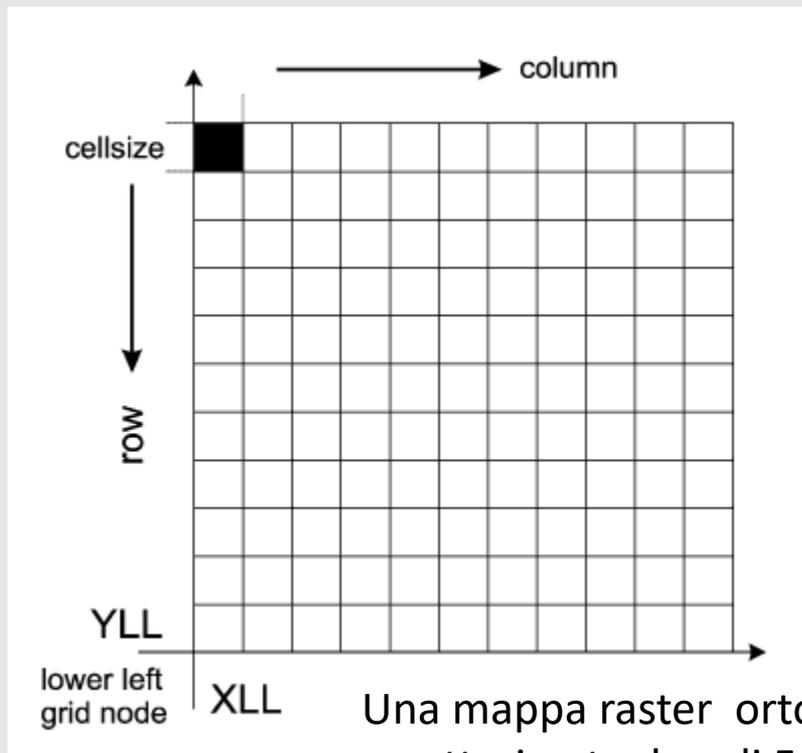
Si tratta di **RASTER**.

Il **TIN** è un modello **VETTORIALE** irregolare di rappresentazione della superficie terrestre.



Per definire un DEM, oltre alla **risoluzione della cella**, è fondamentale conoscere le coordinate di almeno una cella, **per convenzione si utilizza la cella in basso a sinistra dell'intero DEM**,

e il numero di righe e colonne in modo da poter definire l'intera mappa che ovviamente è proiettata in un sistema ortogonale dove tutti i nodi della griglia hanno la medesima dimensione e sono rivolti verso Nord.



```
ncols 6
nrows 6
xllcorner 0
yllcorner 0
cellsize 10.00
nodata_value -32767
10 16 23 16 9 6
14 11 18 11 18 19
19 15 13 21 23 25
20 20 19 14 38 45
24 20 20 28 18 49
23 24 34 38 45 51
```

Una mappa raster ortogonale pertanto può essere caratterizzata da soli 5 parametri.

ASCII

VANTAGGI E SVANTAGGI DELL'UTILIZZO DI UN RASTER

VANTAGGI

- Struttura semplice
- Semplicità di derivazione dei parametri morfometrici
- Struttura spazialmente uniforme controllata dalla DIMENSIONE della cella
- I raster sono facilmente utilizzabili nelle operazioni di processamento dell'immagine e della stampa.

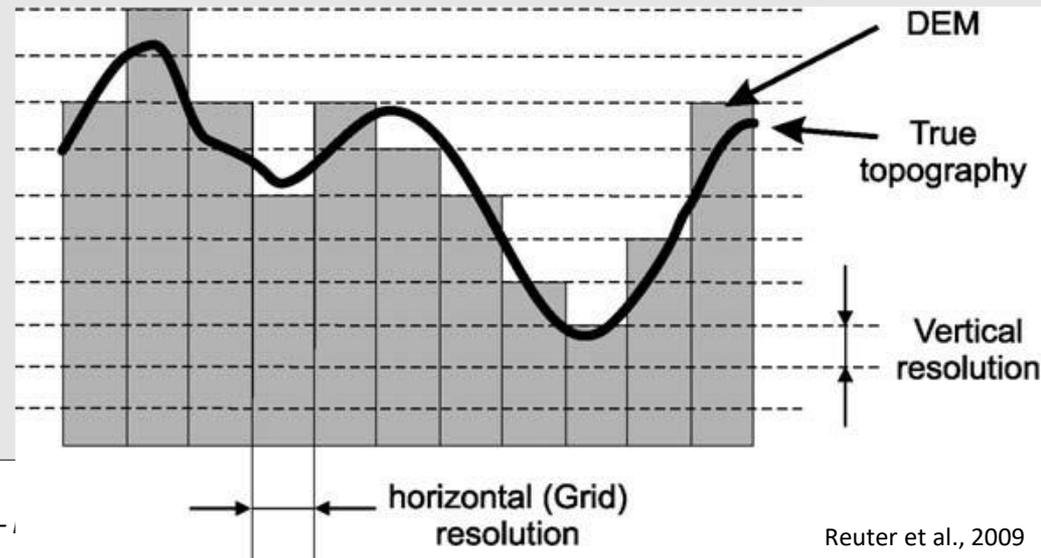
SVANTAGGI

- I raster **sotto-campionano la topografia** nelle aree in cui la morfologia è complessa e risultano ridondanti nelle aree pianeggianti
- I raster hanno bisogno di un uso di memoria maggiore rispetto ai DEM vettoriali per riprodurre la superficie topografica con il medesimo dettaglio;
- Le diverse distanze nelle direzioni cardinali e diagonali dei centri delle celle hanno un impatto sulla precisione dei modelli idrologici (Nelson et al., 2009).

Ma cosa dobbiamo valutare per capire qual è la qualità del DEM con cui abbiamo a che fare??

La qualità dei DEM determina la qualità delle analisi geomorfometriche.
Secondo Florinsky (1998), la qualità di un parametro geomorfometrico dipende:

- dalla scabrezza della superficie topografica
- dalla densità di campionamento (metodo utilizzato per l'acquisizione del dato di quota)
- dalla risoluzione della griglia o del support di campionamento
- dall'algoritmo di *gridding* utilizzato per realizzare il DEM
- dalla risoluzione verticale
- dal tipo di analisi geomorfometrica



Prima di procedere con l'estrazione dei parametri e degli oggetti dalle superfici, è possibile eseguire alcune procedure per il controllo della qualità di un DEM.

These procedures are available in many geomorphometric packages under the name of DEM pre-processing or DEM preparation.

In principle, any pre-processing of DEMs has three main objectives:

- to remove coarse errors and artefacts,
- to make a better approximation of the land surface,
- to make a better approximation of the hydrological/ecological processes (such as flow, radiation, deposition, etc.).

The true applicability of DEMs for geomorphometric analysis can be assessed by providing an answer to the following questions:

- how accurately is the surface roughness presented (micro- and meso- relief)?
- how accurately is the hydrological shape of the land surface presented (concave and convex shapes, erosion or deposition, water divergence or convergence)?
- how accurately can the real ridges and streams be detected?
- how consistently are elevations measured over the whole area of interest?