



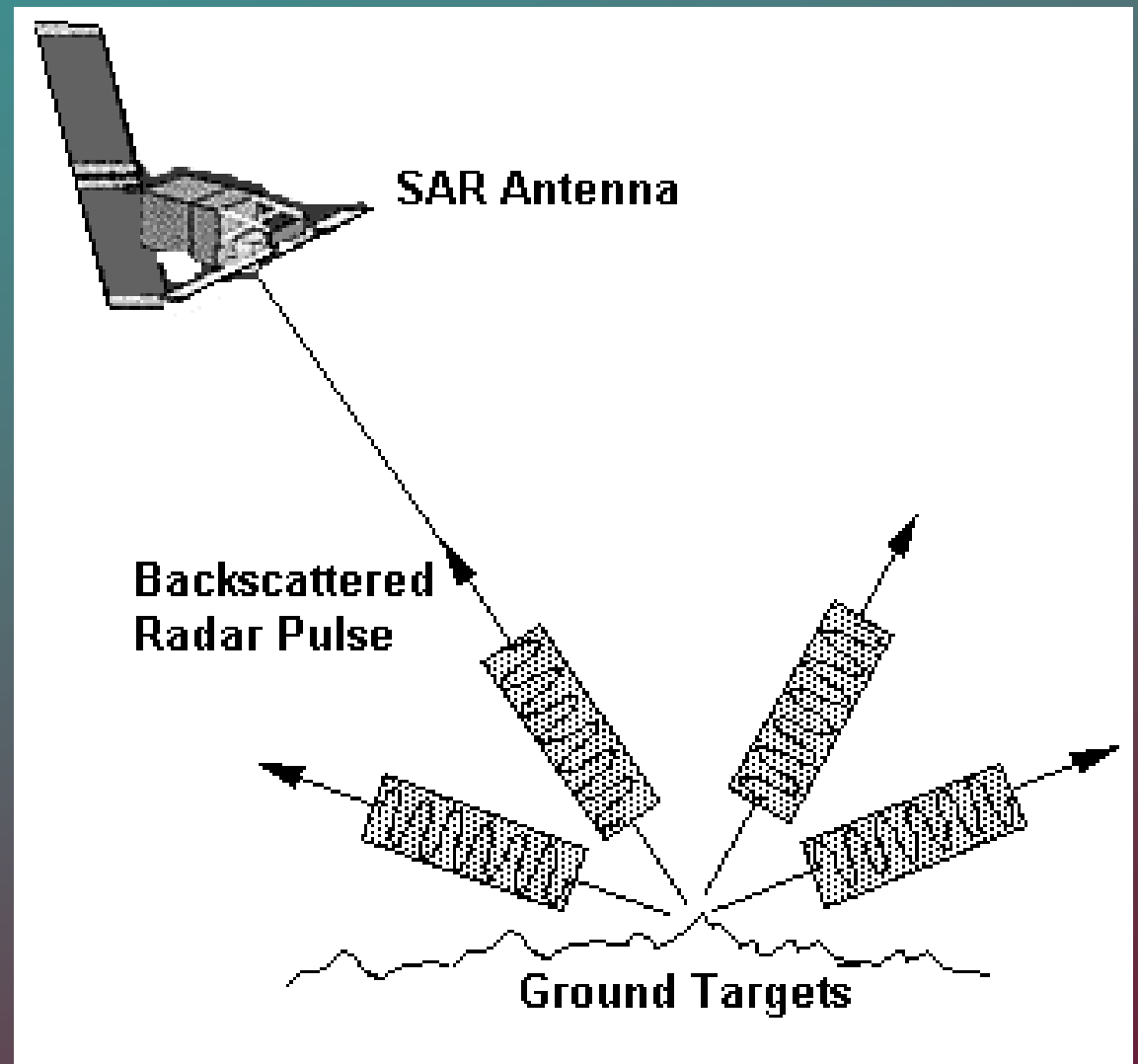
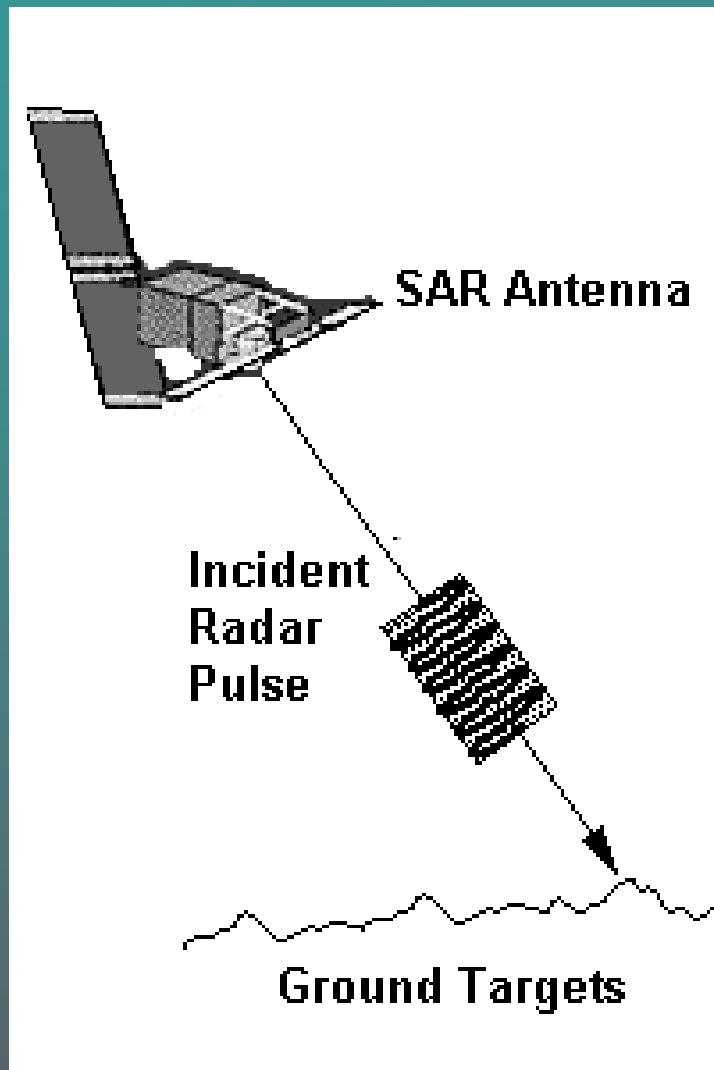
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΩΤΕΡΗΣ ΚΑΙ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ
ΚΕΝΤΡΟ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ ΔΙΟΝΥΣΟΥ

ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ SAR



Αλατζά Σταυρούλα

ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ RADAR



PASSIVE SYSTEMS



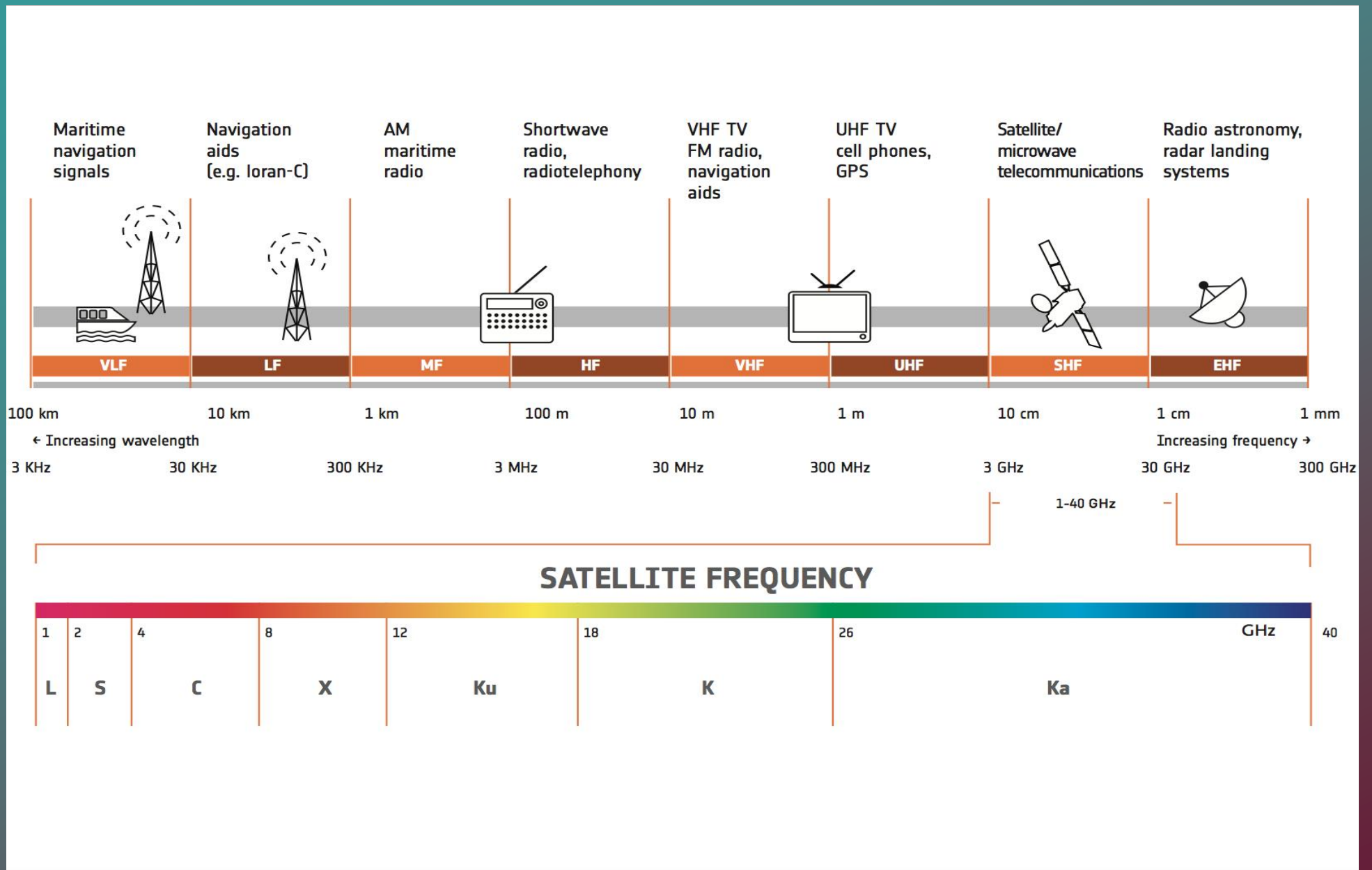
Πηγή: ESA

ACTIVE SYSTEMS



Πηγή: *ESA*

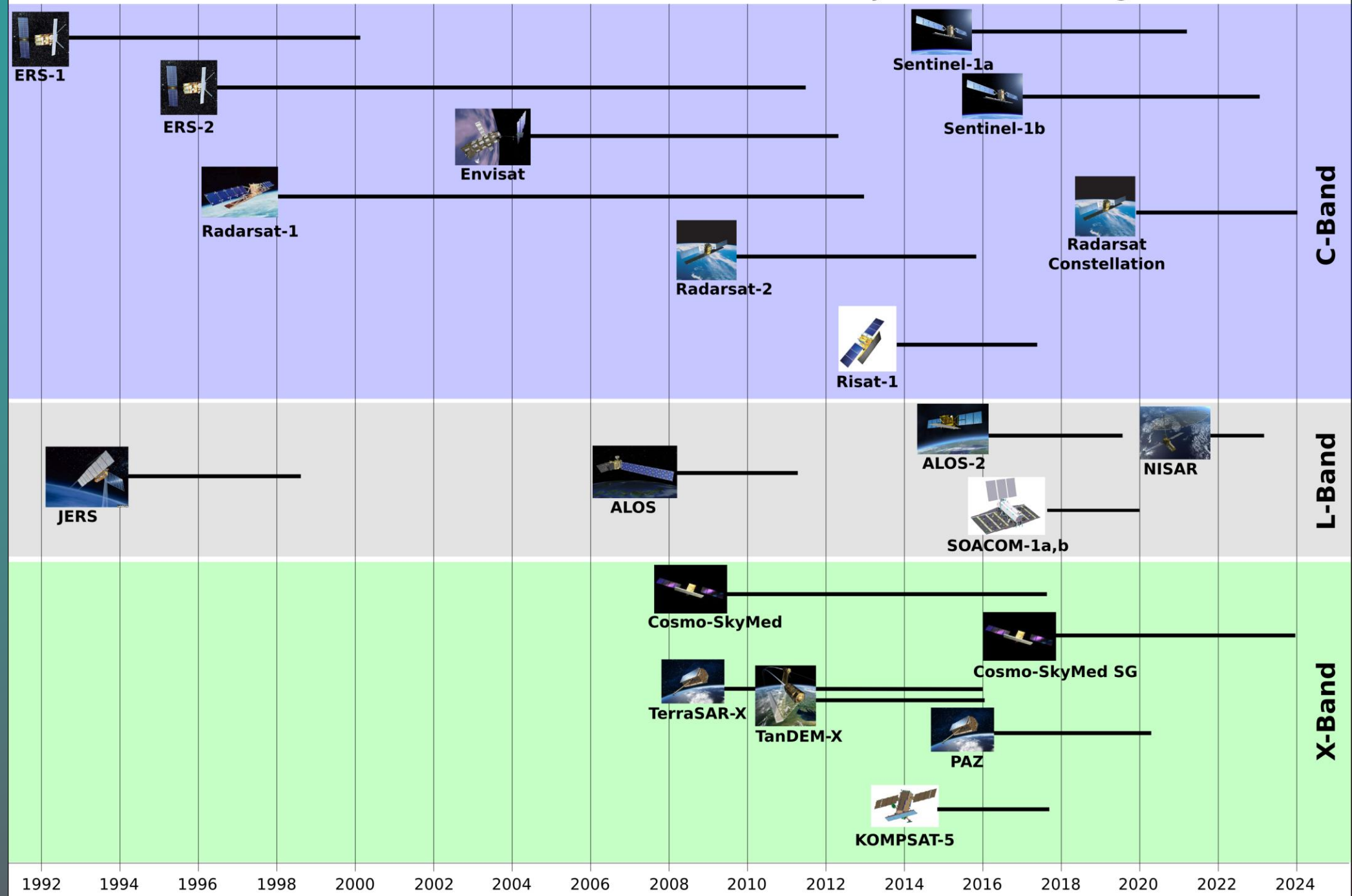
SAR → Ενεργητικοί δέκτες
Συνεχείς λήψεις όλο το 24ωρο, ανεξάρτητες
νεφοκάλυψης και καιρικών συνθηκών



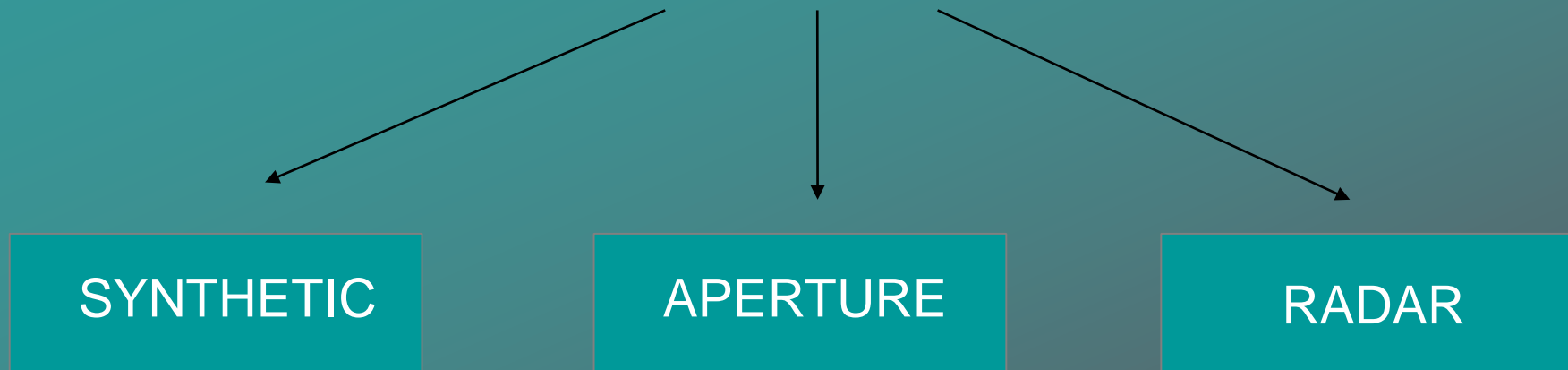
Πηγή: ESA

← Historical Analysis →

← Monitoring →



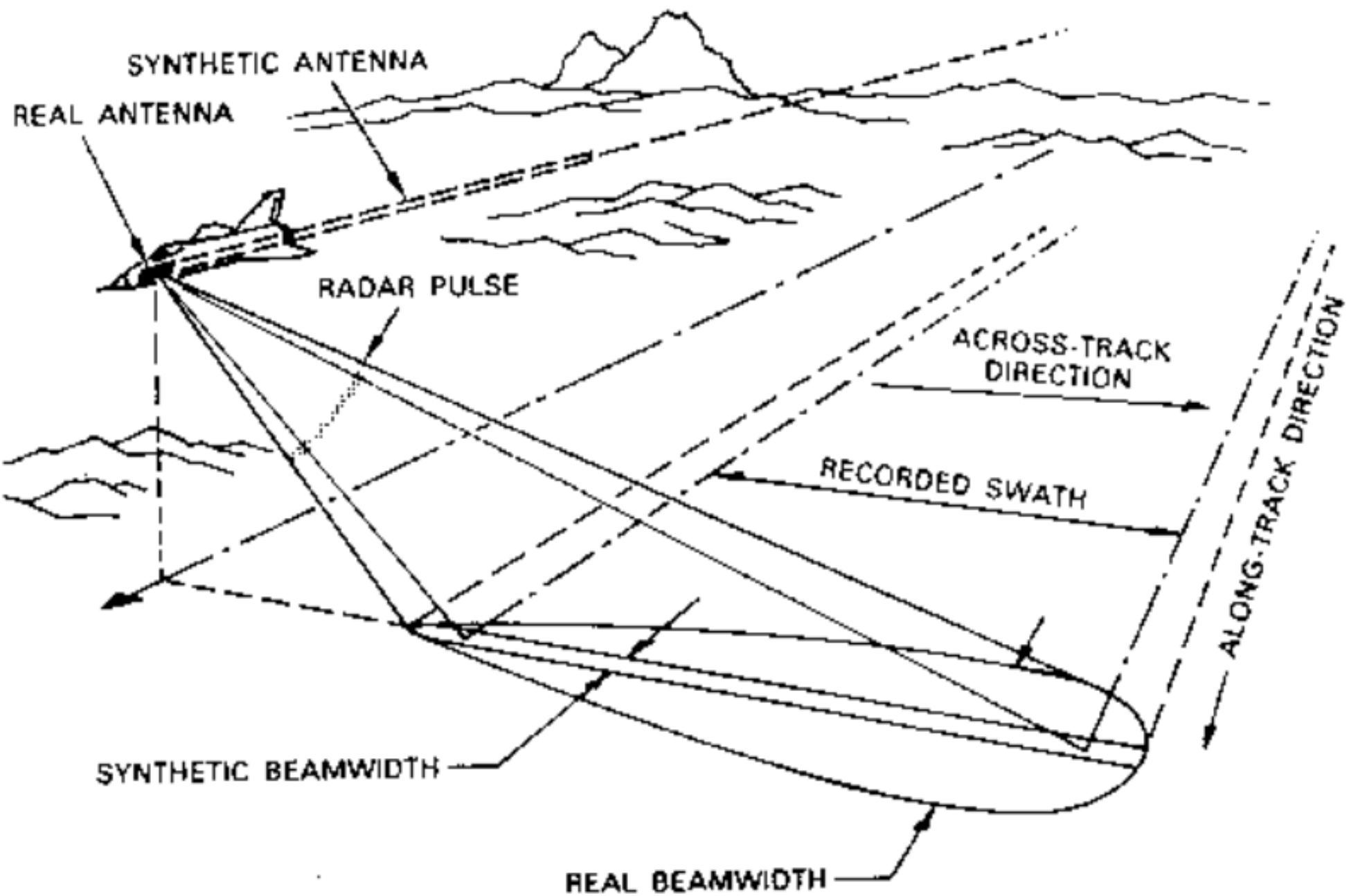
SAR



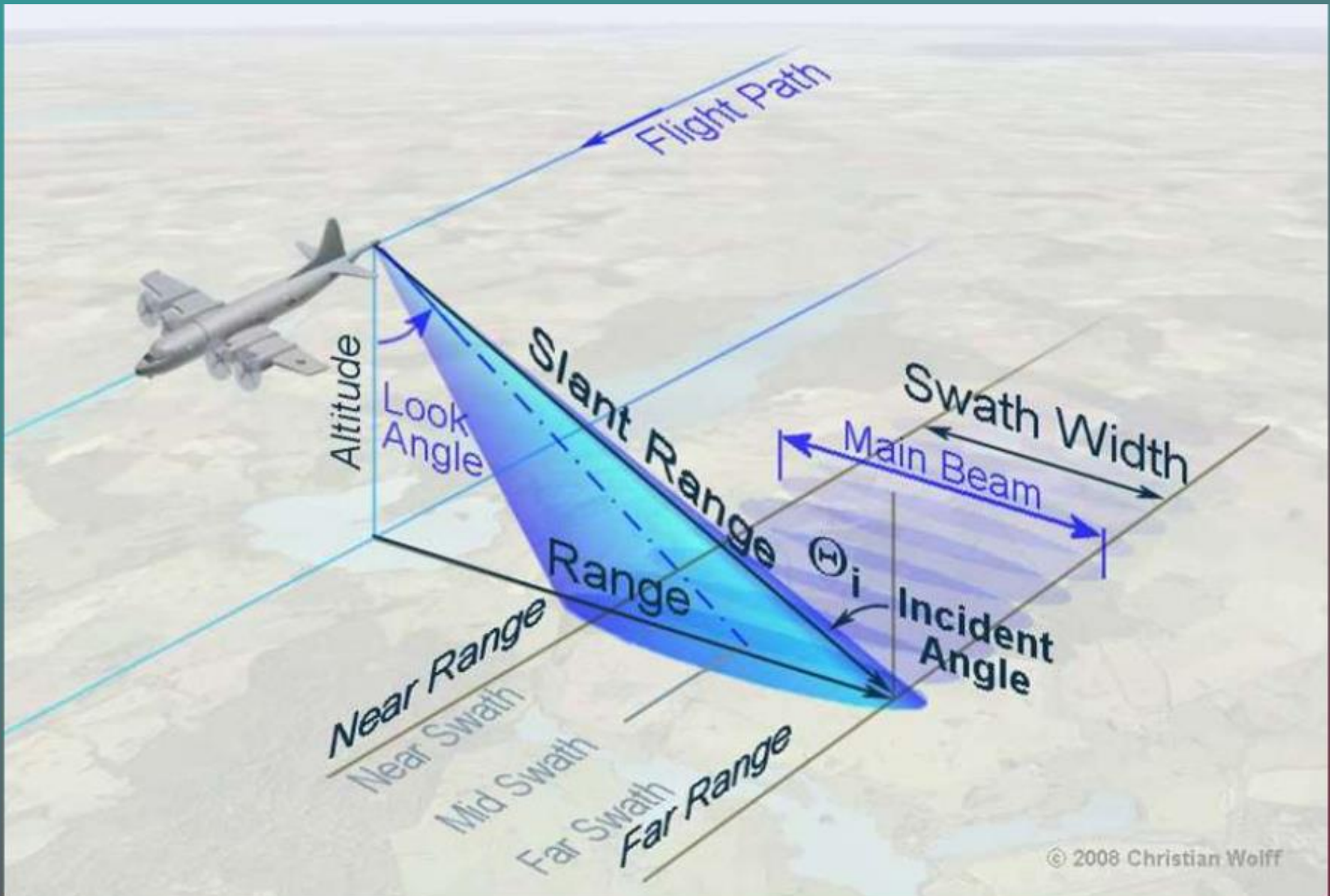
Το ραντάρ συνθετικού ανοίγματος περιγράφει μία μέθοδο για τη λήψη εικόνων radar υψηλής ανάλυσης.

Αντιμετώπιση των περιορισμών του ραντάρ φυσικού ανοίγματος.

Μεγάλα μήκη κύματος (cm-m) σε σύγκριση με οπτικές εικόνες και υπέρυθρης ακτινοβολίας.



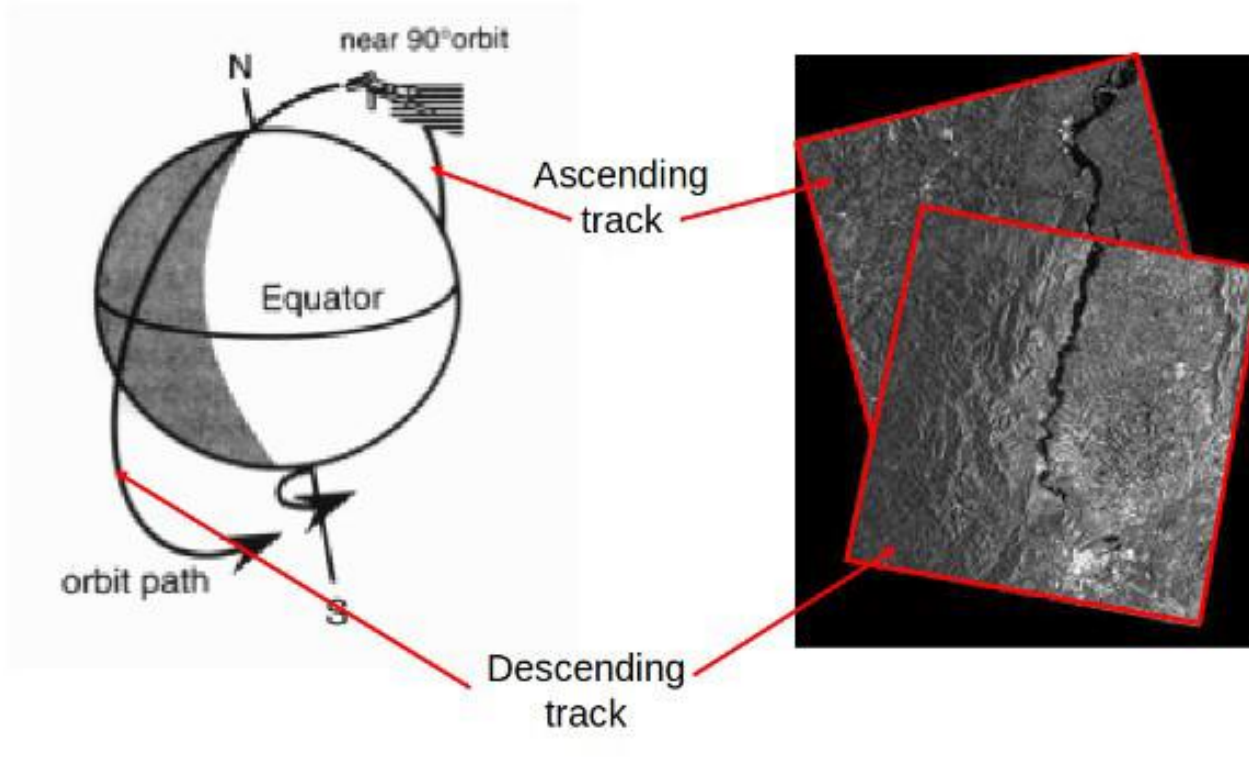
Γεωμετρία SAR



Orbit geometry

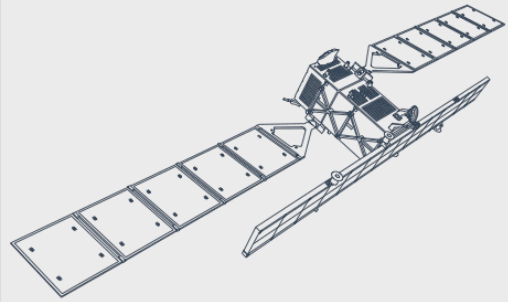
Polar (almost) orbit

Ascending and descending
Ground tracks



- Οι τροχιές των SAR λήψεων είναι πολικές (B-N πόλος)
- Ανοδική-Καθοδική

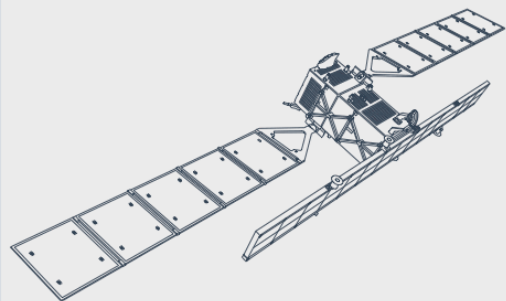
REFLECTION



Πηγή: ESA

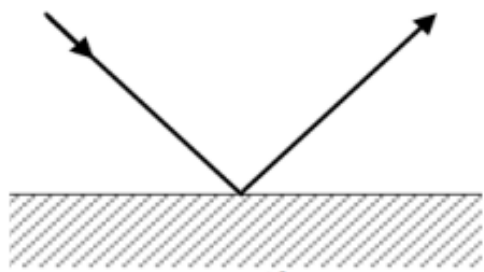
Επίπεδες επιφάνειες που αντανακλούν λίγη η μηδενική ακτινοβολία εμφανίζονται πάντα μάυρες στις απεικονίσεις SAR.

SURFACE SCATTERING



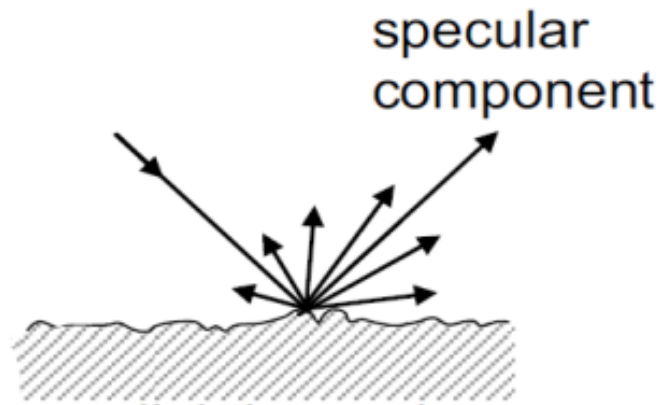
Πηγή: *ESA*

Στις πιο τραχειές επιφάνειες η ένταση της ακτινοβολίας που σκεδάζεται είναι μεγαλύτερη και οι επιφάνειες εμφανίζονται πιο φωτεινές.



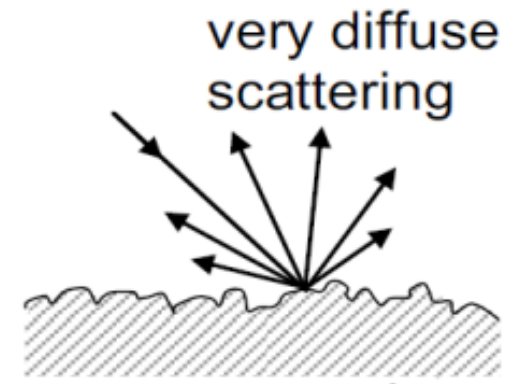
smooth

(a)



slightly rough

(b)

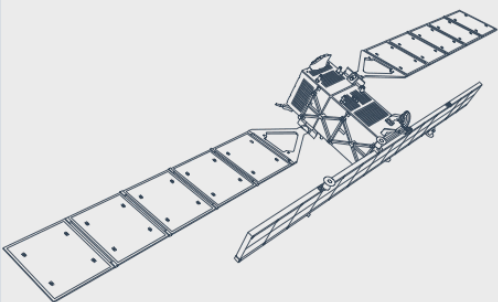


very rough

(c)

Πηγή: Richards (2009): Remote Sensing With Imaging Radar. Springer.

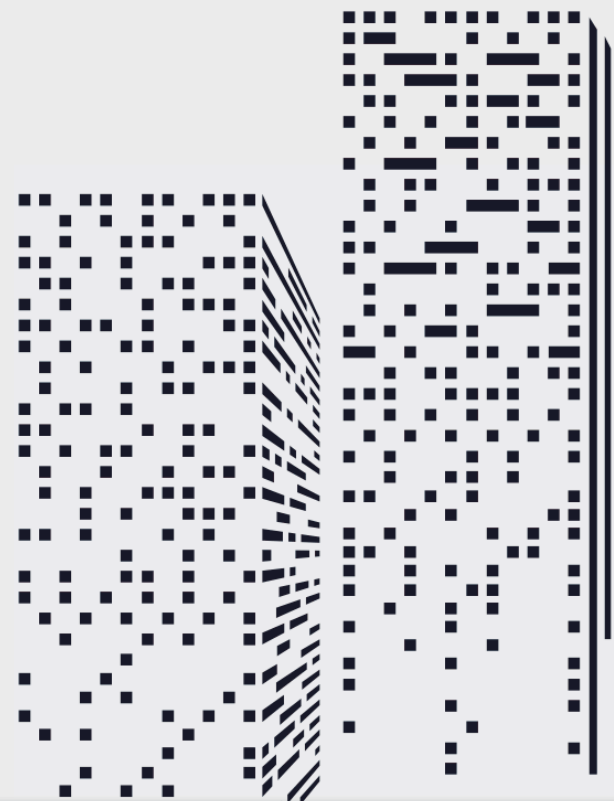
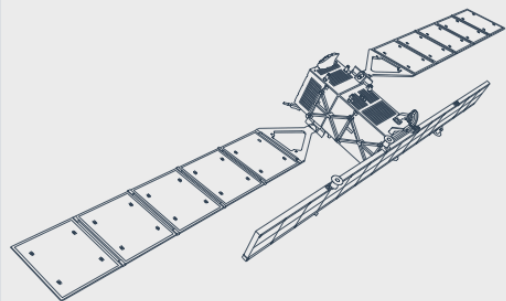
VOLUME SCATTERING



Πηγή: *ESA*

Η βλάστηση είναι ελαφρώς τραχειά επιφάνεια ,οπότε στην κλίμακα των περισσότερων μηκών κύματος radar, εμφανίζεται σκούρο ή ανοιχτό γκρι στις απεικονίσεις SAR.

DOUBLE BOUNCE



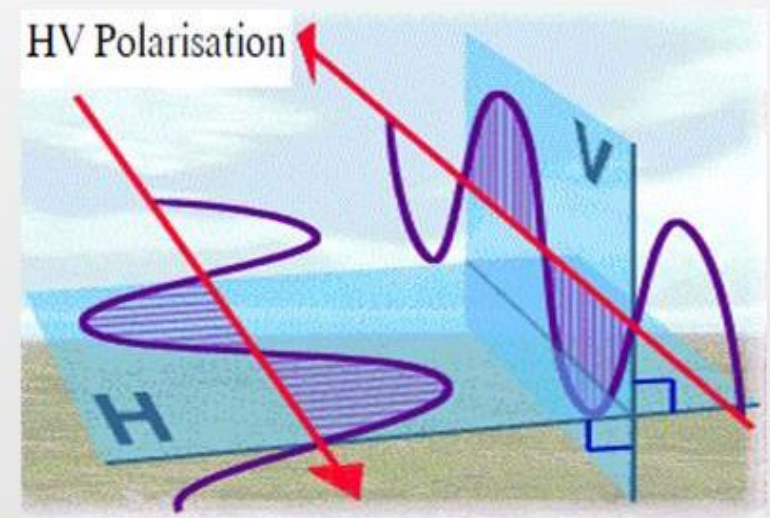
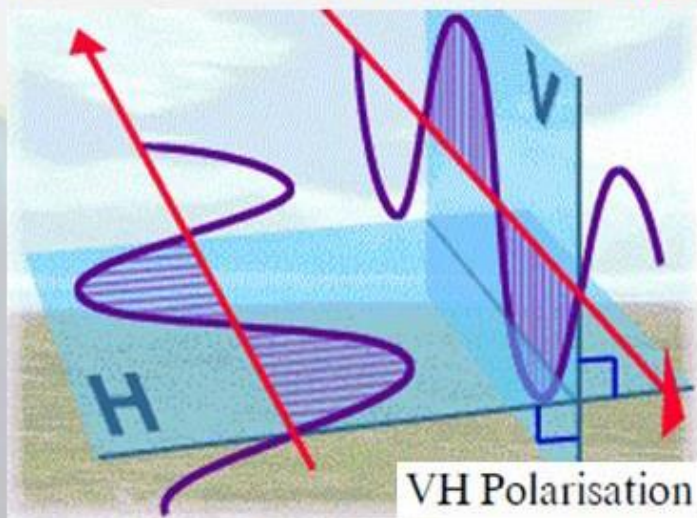
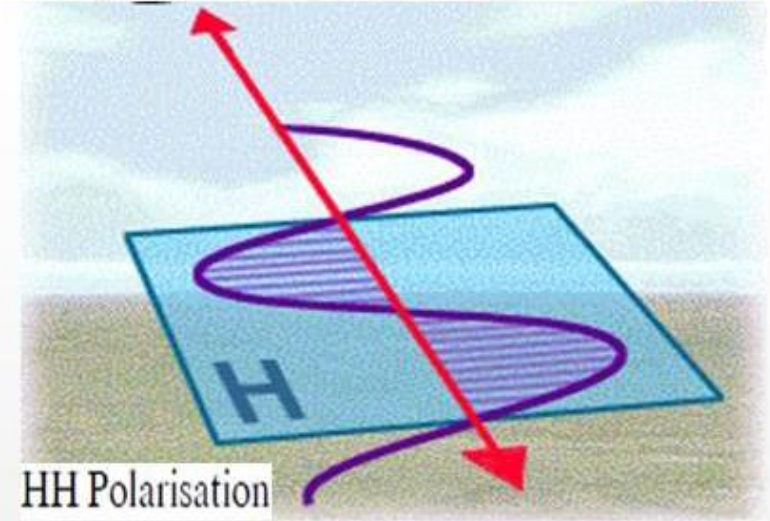
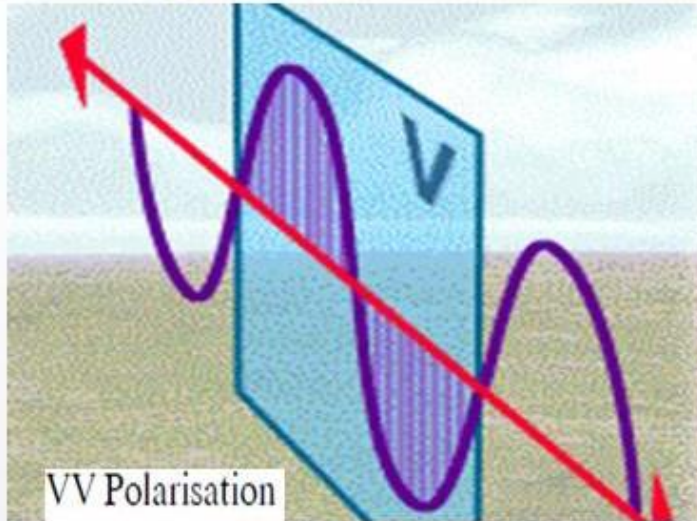
Πηγή: *ESA*

Επιφάνειες με κλίση προς το ραντάρ εμφανίζονται φωτεινές ενώ με αντίθετη κλίση, που “κρύβονται” από το ραντάρ εμφανίζονται σκούρες.

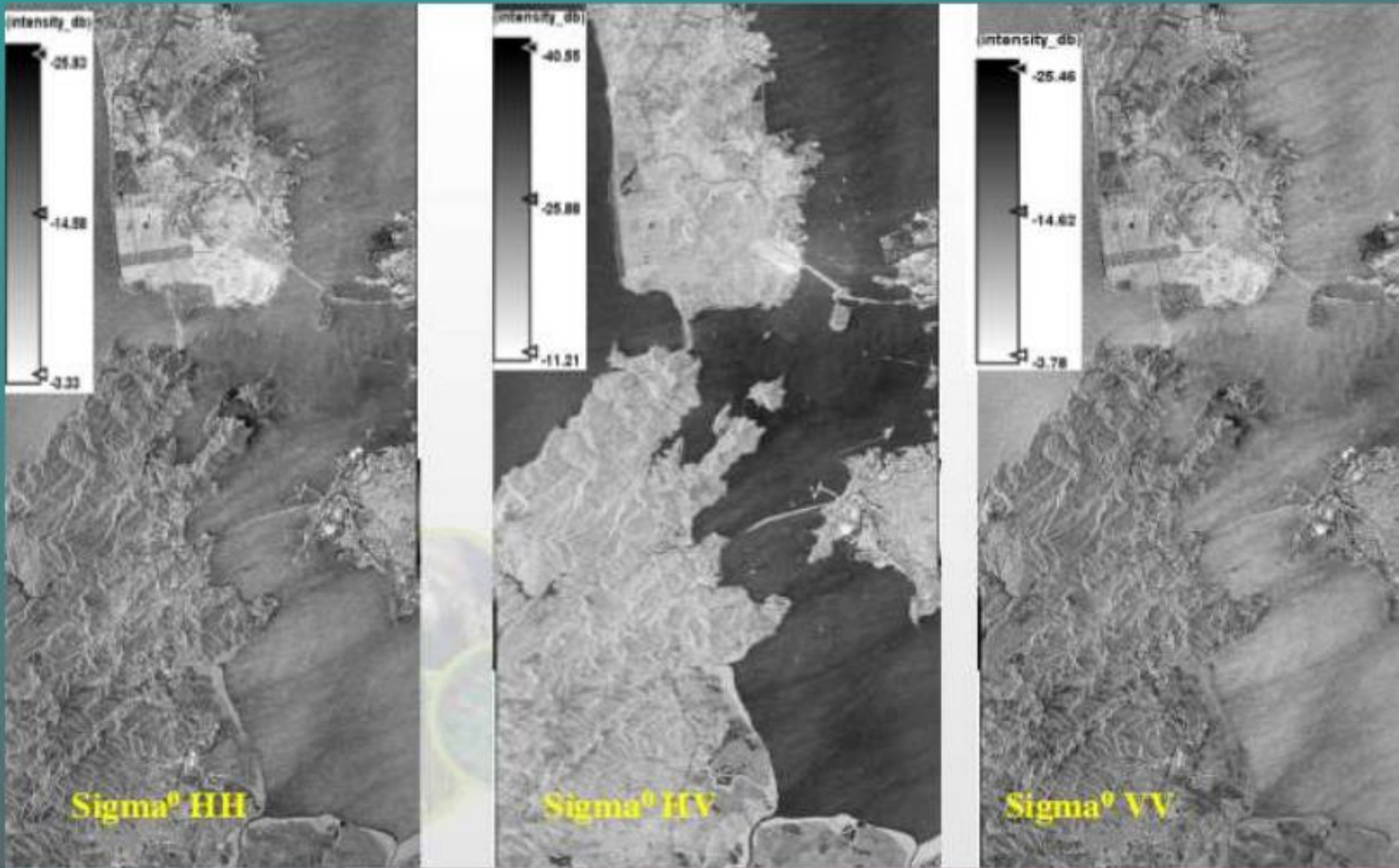
Χαρακτηριστικά Σήματος

- *Πλάτος (Amplitude)*
- *Φάση (Phase)*
- *Πολικότητα (Polarization)*
- *Μήκος κύματος ραντάρ*
- *Διηλεκτρική σταθερά στόχων*
- *Γωνία πρόσπτωσης (Incidence angle)*

Πολικότητες σήματος 1/2

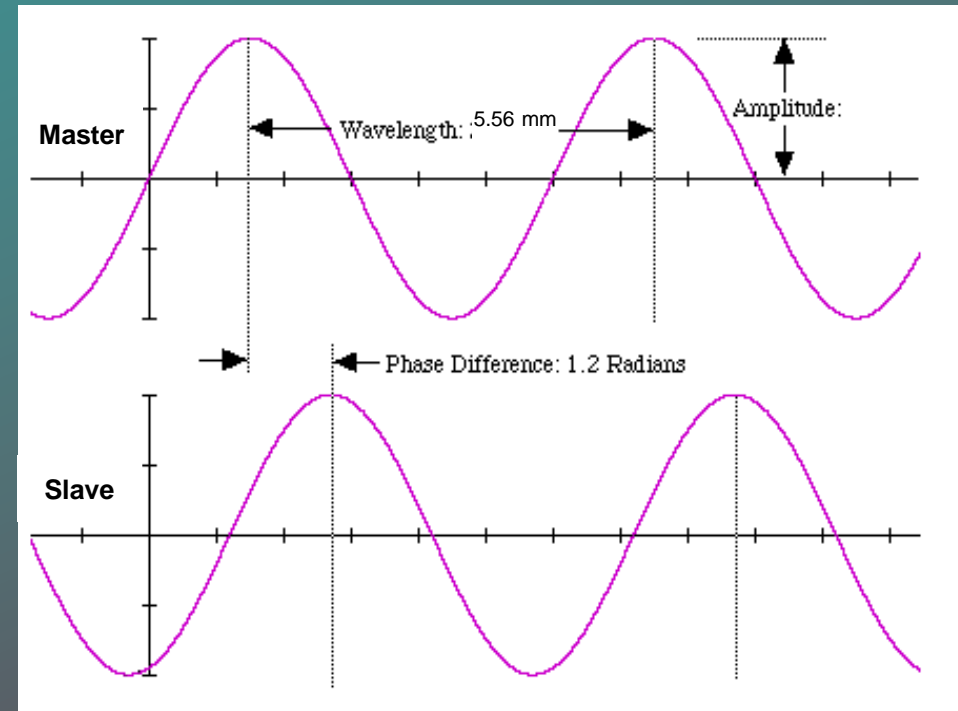
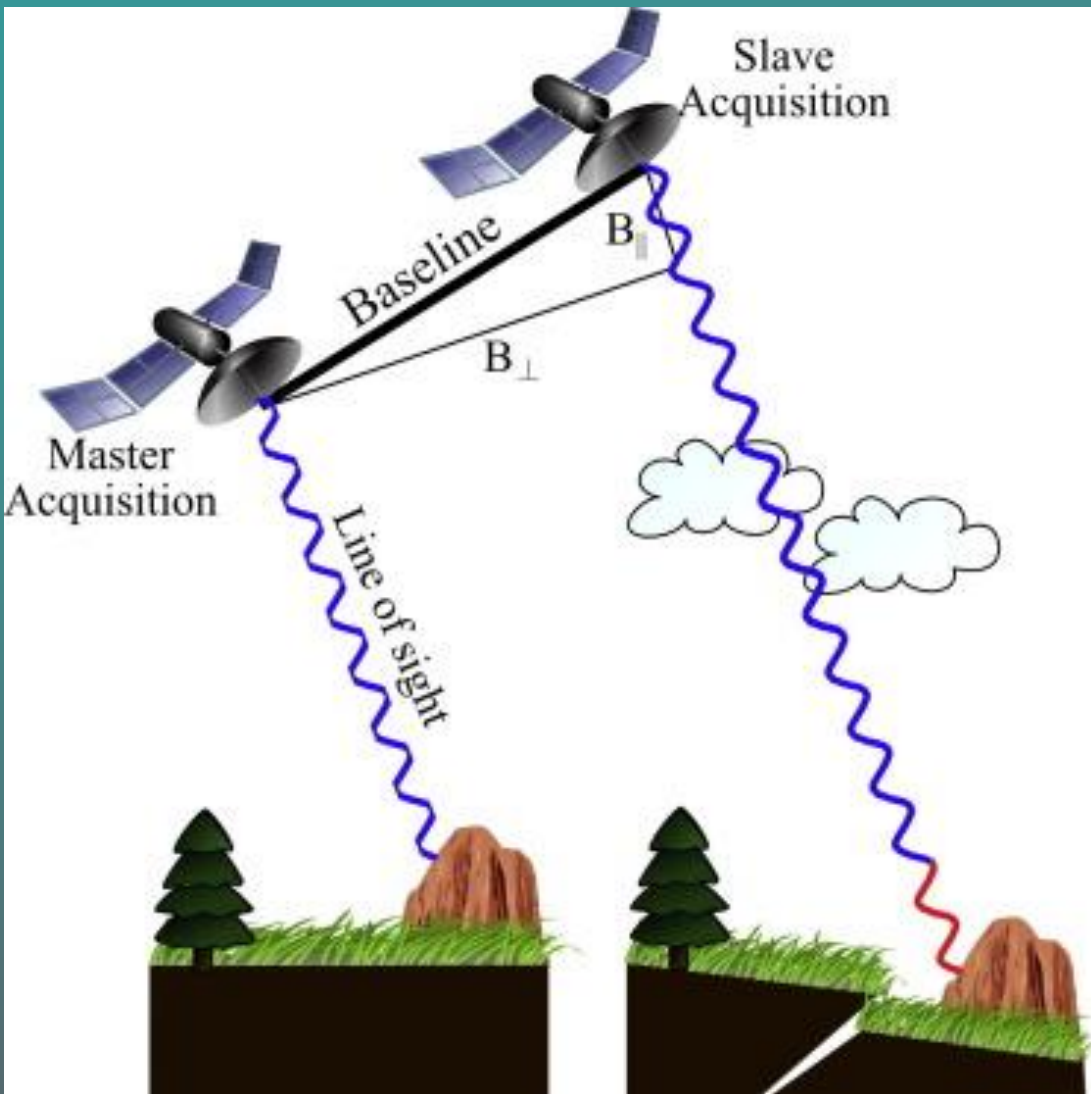


Πολικότητες σήματος 2/2



Πηγή: *Shashi Kumar*
Indian Institute of Remote Sensing
ISRO, INDIA

Βασική αρχή συμβολομετρίας



Πηγή: *Batuhan Osmanoğlu et al, 2016*

The (SAR) data

The SAR records the amplitude and the phase of the returned signal

amplitude

phase

Mt.
Etna

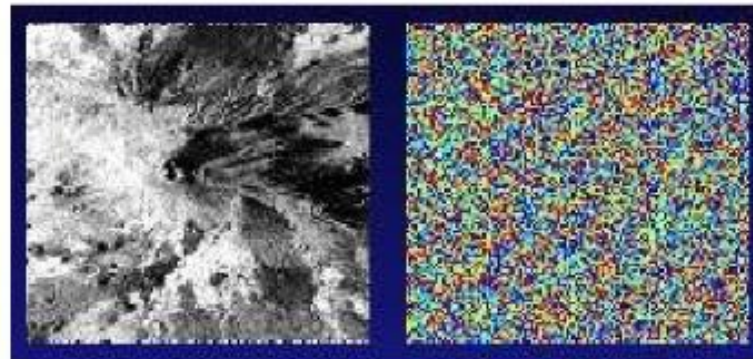
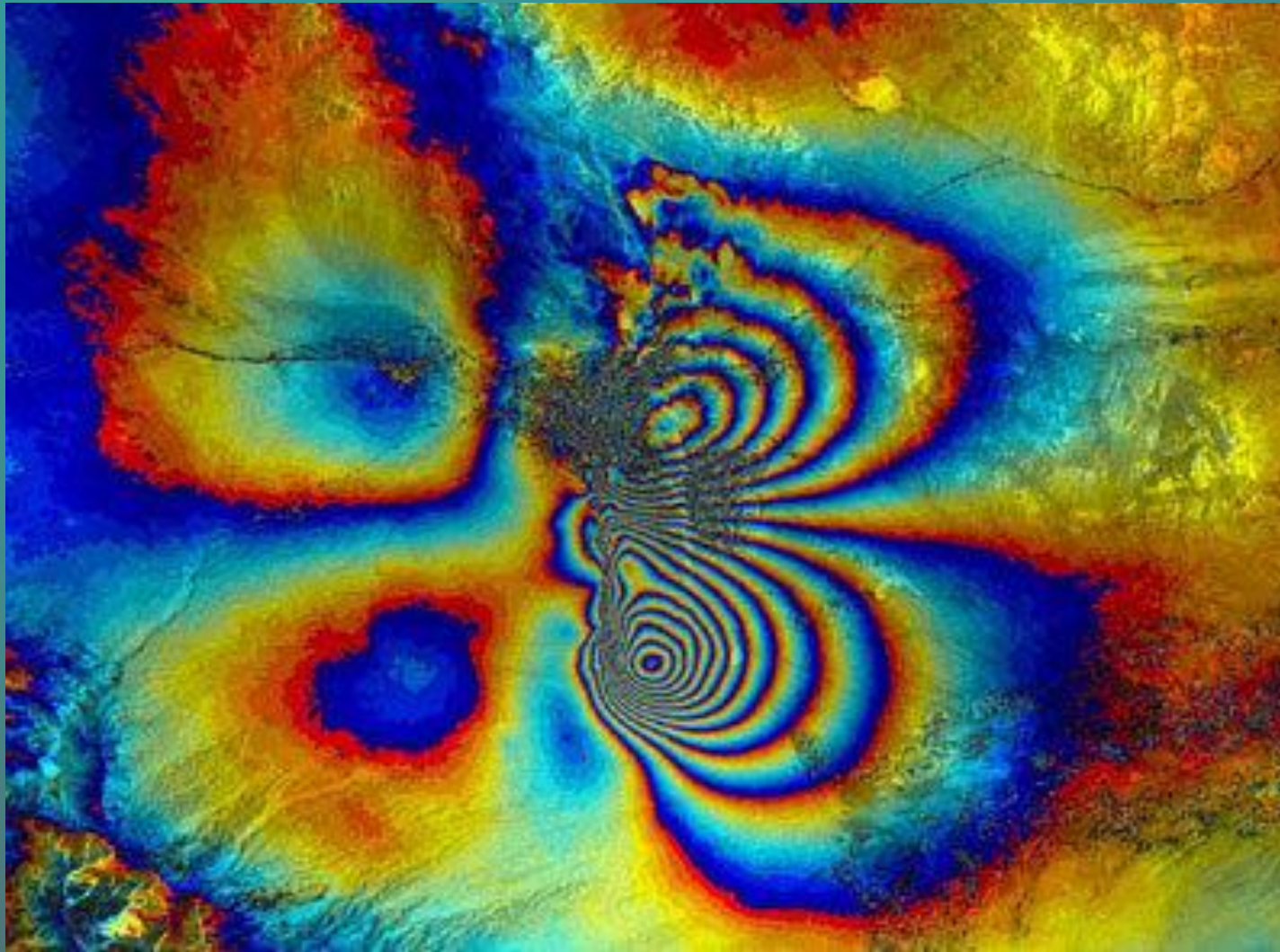


Image from http://epsilon.nought.de/tutorials/insar_tmr/img35.htm

Note that while the amplitude image shows recognizable topographic pattern, the phase image looks random.



Copyright
Polimi/Poliba, ESA.
Συμβολόγραμμα ,
από ENVISAT
εικόνες για το σεισμό
της 26ης Δεκεμβρίου
2003 στο Bam του
Ιράν

Κάθε κροσσός συμβολής αντιπροσωπεύει τη μετακίνηση της επιφάνειας ίση με $\lambda/2$ ως προς το δορυφόρο

ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΦΑΣΗΣ

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_{flat} + \Delta\varphi_{elevation} + \Delta\varphi_{displacement} + \Delta\varphi_{atmosphere} + \Delta\varphi_{noise}$$

The diagram illustrates the decomposition of the total phase difference $\Delta\varphi$ into five components. The components are represented by mathematical formulas in colored boxes below the main equation:

- Flat terrain:** $-\frac{4\pi}{\lambda} \frac{B_n s}{R \tan \theta}$ (Green box)
- Elevation:** $-\frac{\Delta q}{\sin \theta} \cdot \frac{B_n}{R_0} \cdot \frac{4\pi}{\lambda}$ (Red box)
- Displacement:** $+\frac{4\pi}{\lambda} d$ (Blue box)

Πηγή: Luis Veci, ESA, TOPS Interferometry Tutorial

Εστίαση εικόνων (Focusing)

Raw / level 0

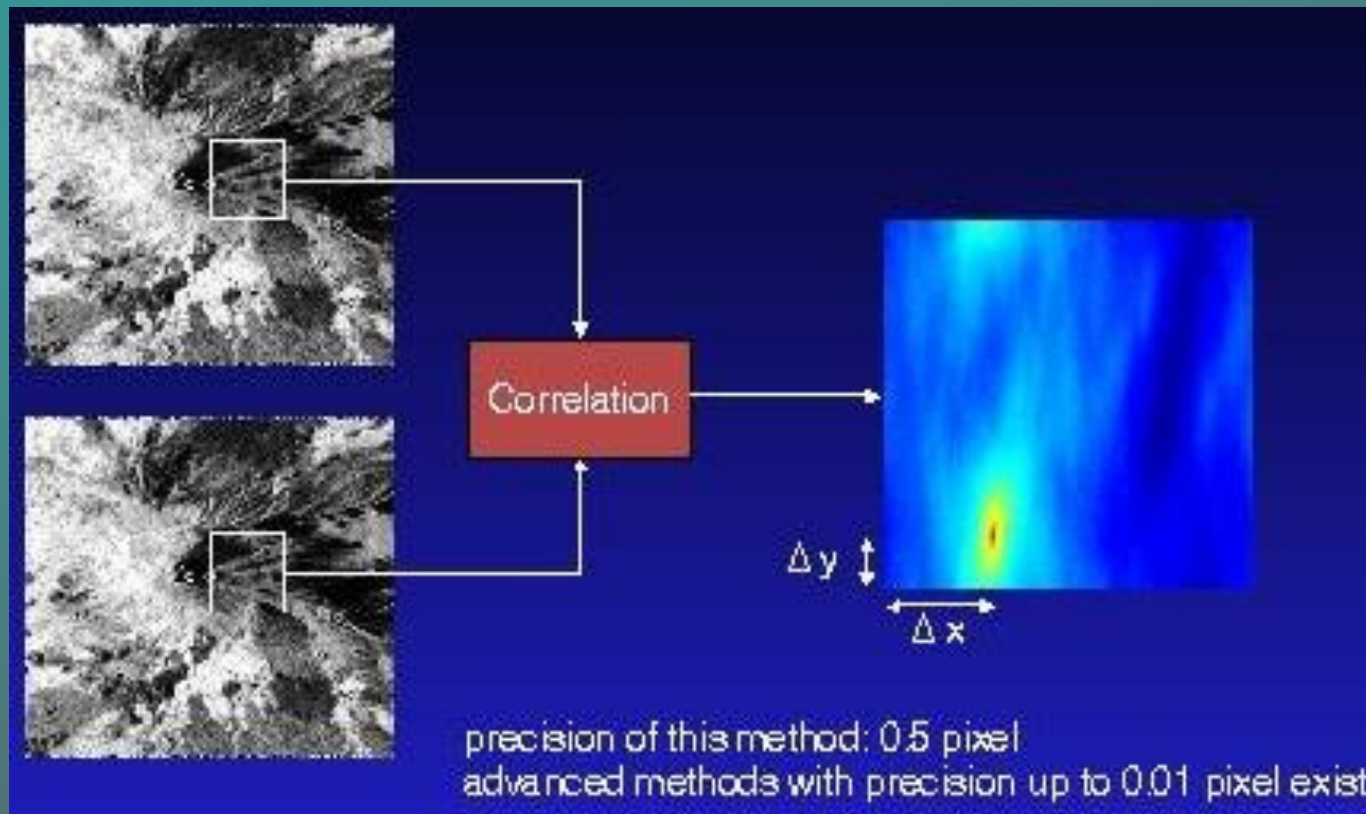


*Πηγή: Shashi Kumar
Indian Institute of Remote Sensing
ISRO, INDIA*

Single Look Complex

SLC / level 1

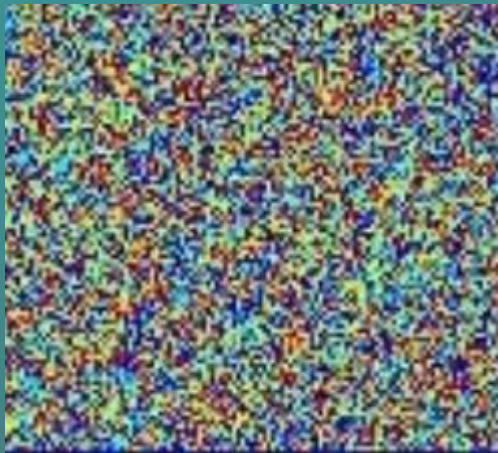
Συμπροσαρμογή εικόνων Master-slave (coregistration)



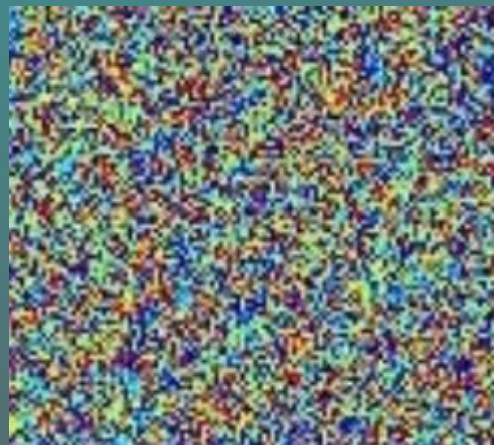
- Η slave εικόνα αποκτά την ίδια γεωμετρία με τη master
- Κάθε αντικείμενο του εδάφους απεικονίζεται στην ίδια θέση στις δύο εικόνες
- Δύο στάδια, ακρίβειας 1-2 pixel και 0.5 pixel

Δημιουργία συμβολογράμματος (interferogram)

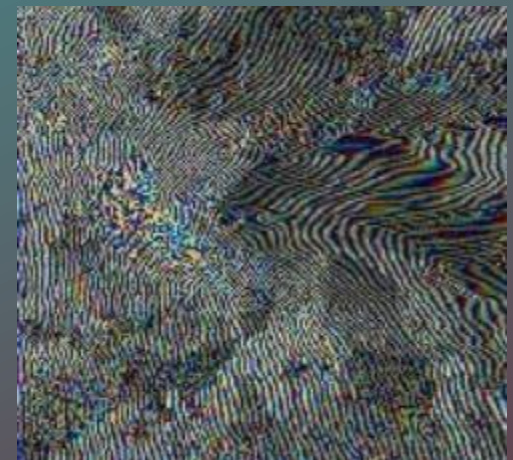
Φάση εικόνας master



Φάση εικόνας slave



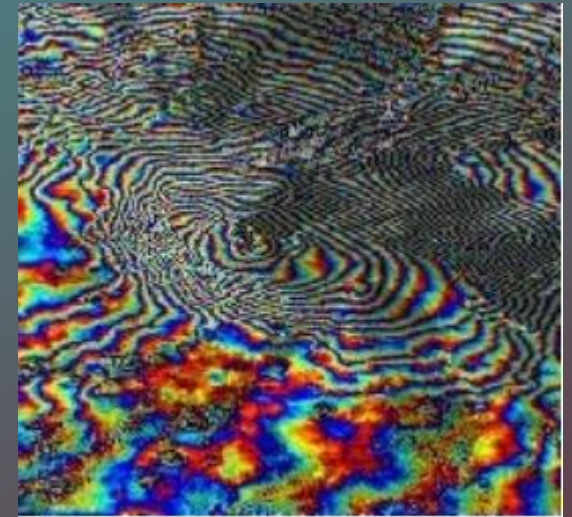
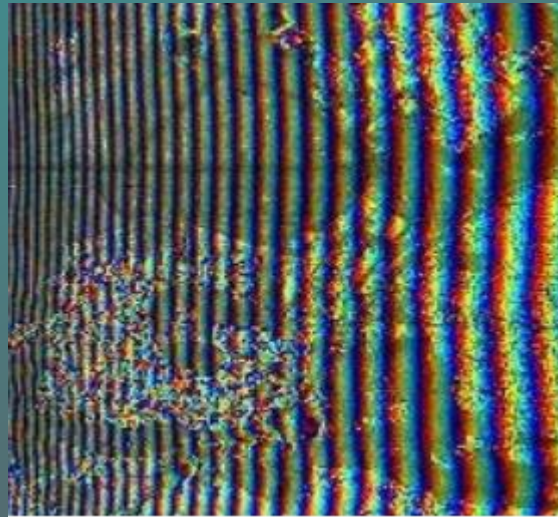
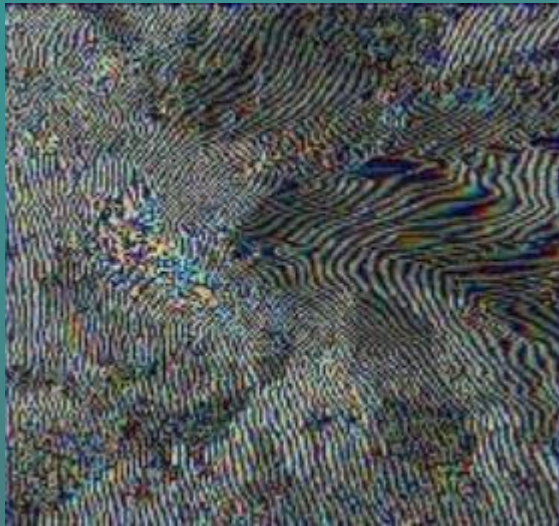
Συμβολόγραμμα



Πηγή: *Simon Wdowinski*

Η αφαίρεση της φάσης των δύο συσχετισμένων εικονων SAR , παράγεται το συμβολόγραμμα.

Αφαίρεση του όρου της επίπεδης γης (Flat-earth phase removal)



Πηγή: *Simon Wdowinski*

$$h_a = \frac{\lambda R \sin \theta}{2B_n}$$

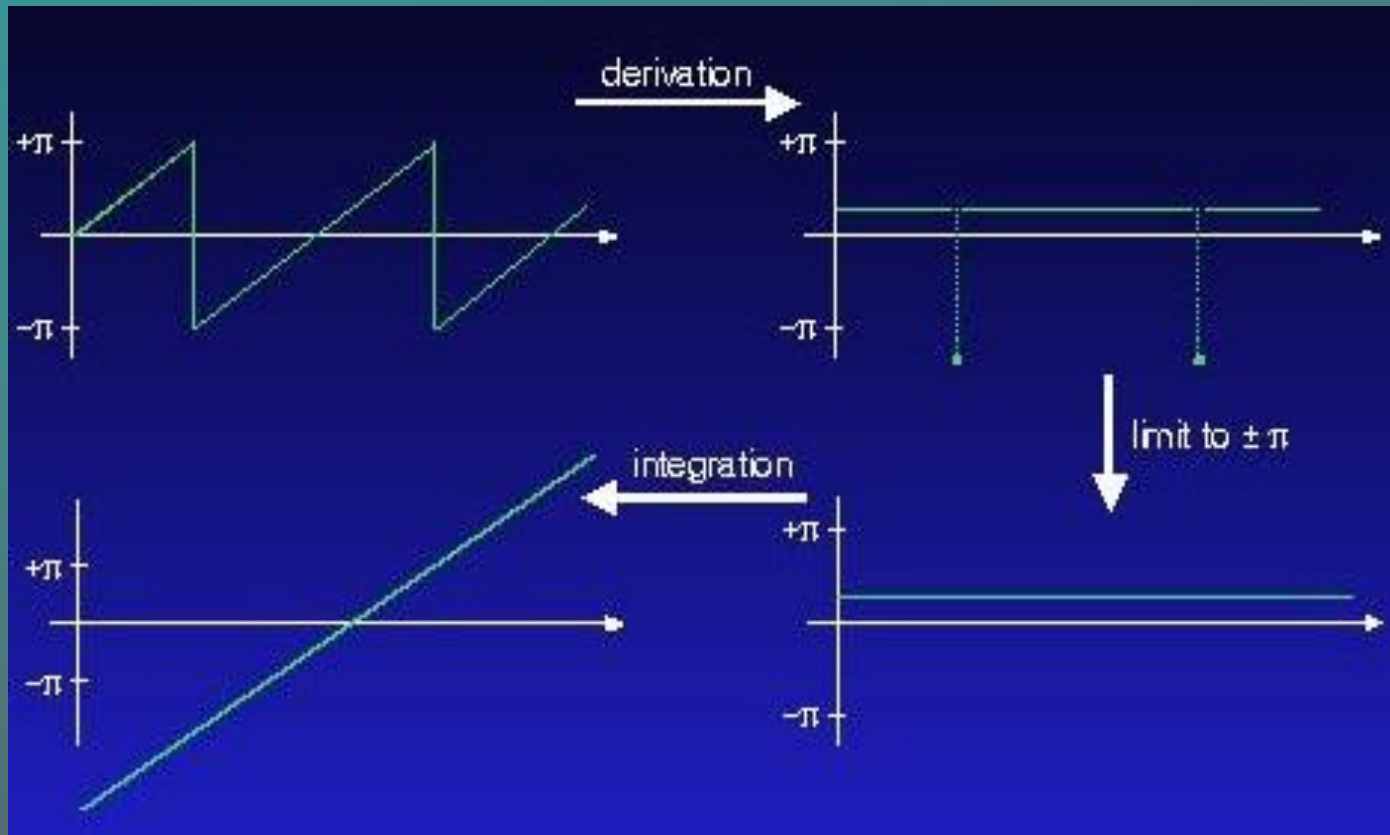
Αφαιρείται η φάση λόγω επίπεδης γης, ώστε οι κροσσοί συμβολής να συμφωνούν με το DEM

Συνοχή φάσης (coherence)



- **Συνάρτηση του θορύβου και της συστηματικής χωρικής και της χρονικής αποσυσχέτισης, μεταξύ των δύο απεικονίσεων SAR.**
- **Παίρνει τιμές από 0 (πλήρης αποσυσχέτιση) και 1 (πλήρης συσχέτιση)**
- **Φιλτράρισμα για μείωση του θορύβου (adaptive filtering)**

Αποκατάσταση της φάσης (Phase unwrapping) 1/2

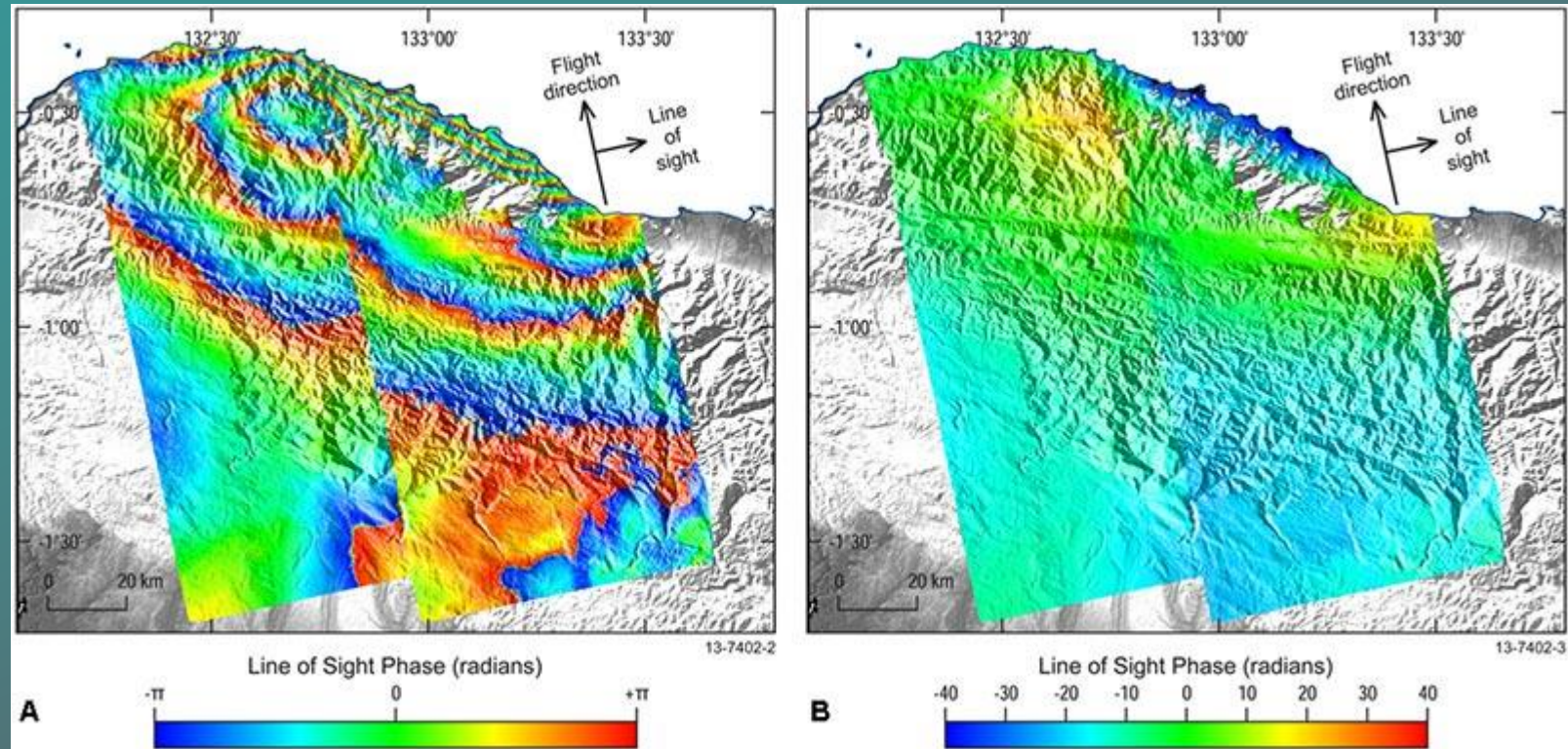


$$\Psi = \phi + n2\pi$$

Πηγή: http://epsilon.nought.de/tutorials/insar_tmr/img27.htm

Η συμβολομετρική φάση εκφράζεται ως $\phi = \tan(\text{Imaginary}(\text{Int}) / \text{Real}(\text{Int}))$, πολ/σιο 2 π.

Αποκατάσταση της φάσης (Phase unwrapping) 2/2

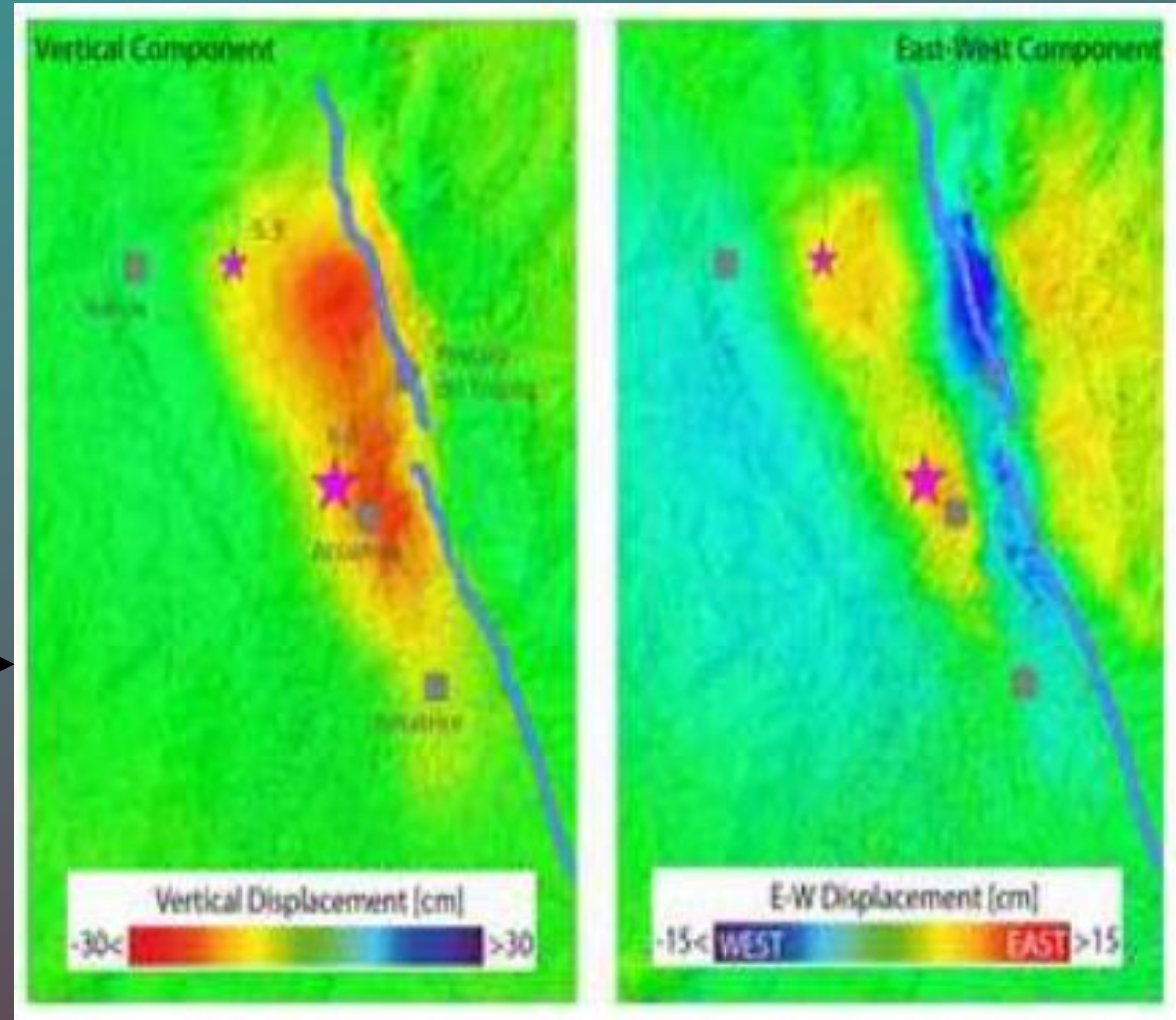
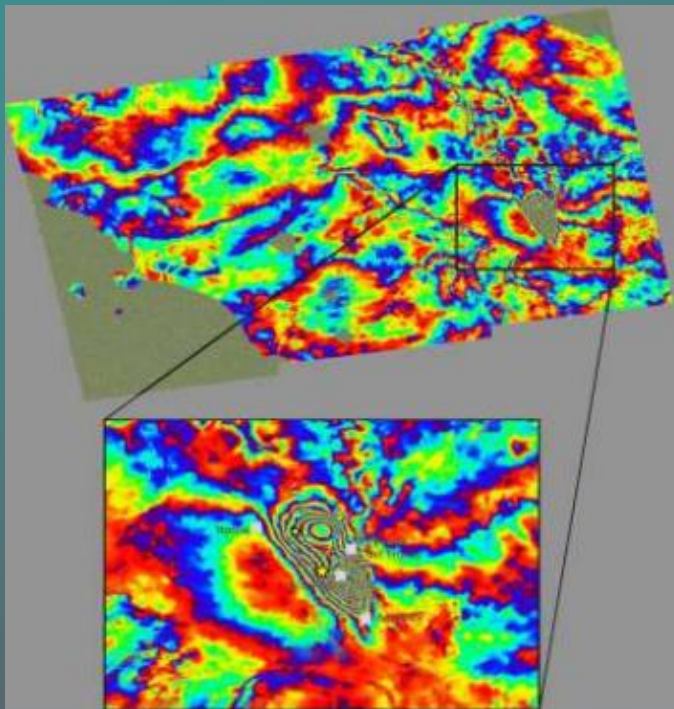


Πηγή: <http://www.ga.gov.au>

A wrapped (A) and unwrapped (B) interferogram of an earthquake doublet that occurred in West Papua, Indonesia created using data from the Japanese ALOS satellite.

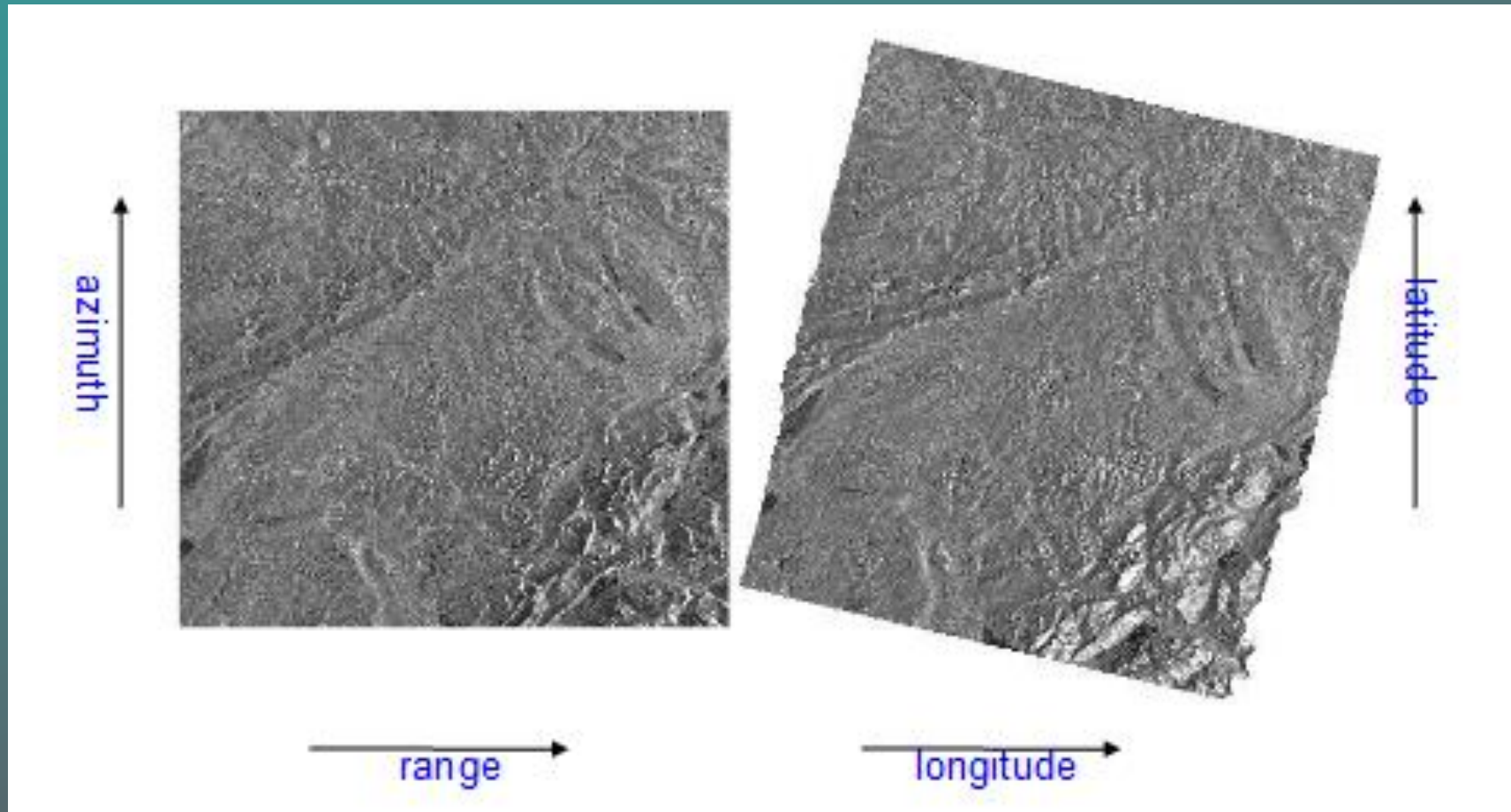
Μετατροπή της φάσης σε υψόμετρο (Phase to displacement)

$$\Delta\varphi = \frac{4\pi \Delta h * B_{\perp}}{\lambda R \sin\theta}$$



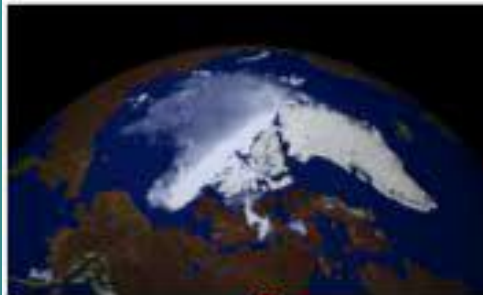
Πηγή: Copernicus Sentinel data (2016)/ESA/CNR-IREA,
Αριστερά: Συμβολόγραμμα από το σεισμό της Λ' Ακουίλα
Δεξιά: Χάρτης μετατοπίσεων

Γεωκωδικοποίηση

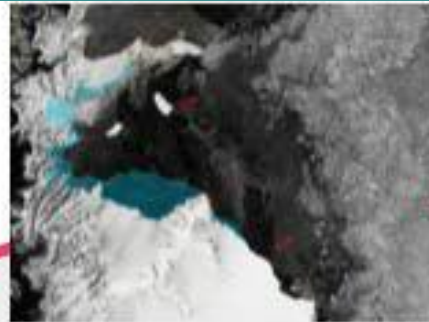


Πηγή: http://earth.esa.int/applications/data_util/SARDOCS/_icons/c2_SAR_geo2.jpg

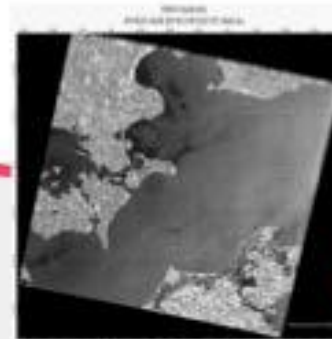
Εφαρμογές SAR



Arctic ice extent
August 2009
(Credit: MyOcean)



Larsen ice shelf loss between
2002 and 2009
(Credit: Polar View)



Oil spill detection
and Surveillance
(Credit: EMSA)



Ship detection
(Credit: ESA)



Acceleration of
Greenland glaciers flow
(Credit: Rignot et Al)

***C-band SAR observations to
support a wide range of
applications***

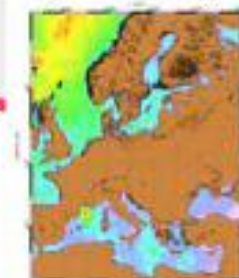


Land use
(Credit: ESA)

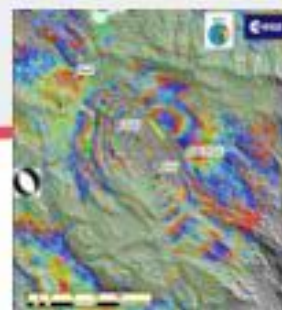


Emergency
management: flooding
(Credit: SAFER, DLR)

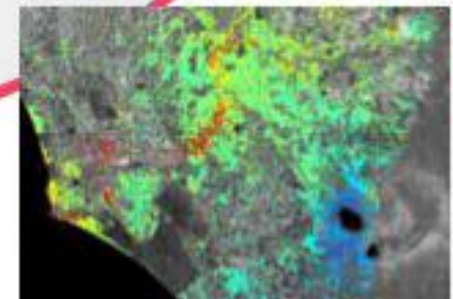
Mean wind speed
from 2005 to
2009
(Credit: CLS)



Earthquake
analysis
(Credit: INGV)



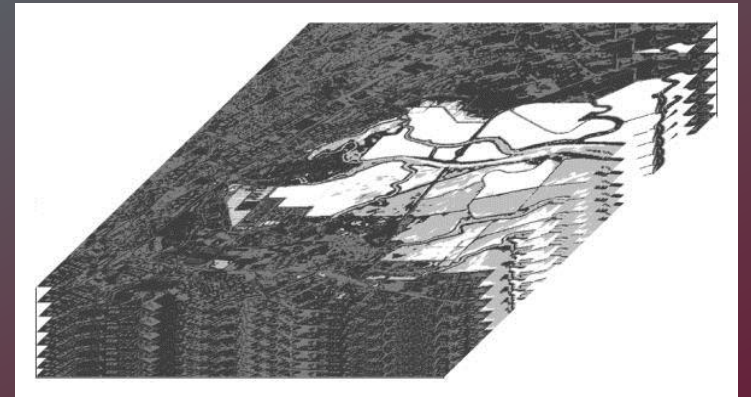
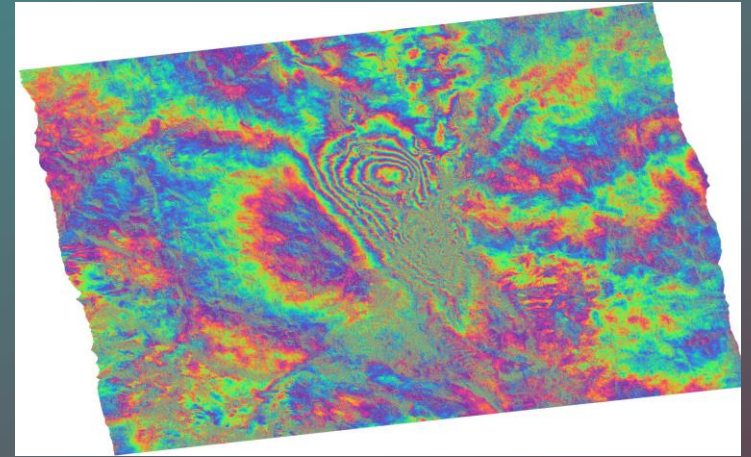
Subsidence map
1992-2006
(Credit: Terrafirma)



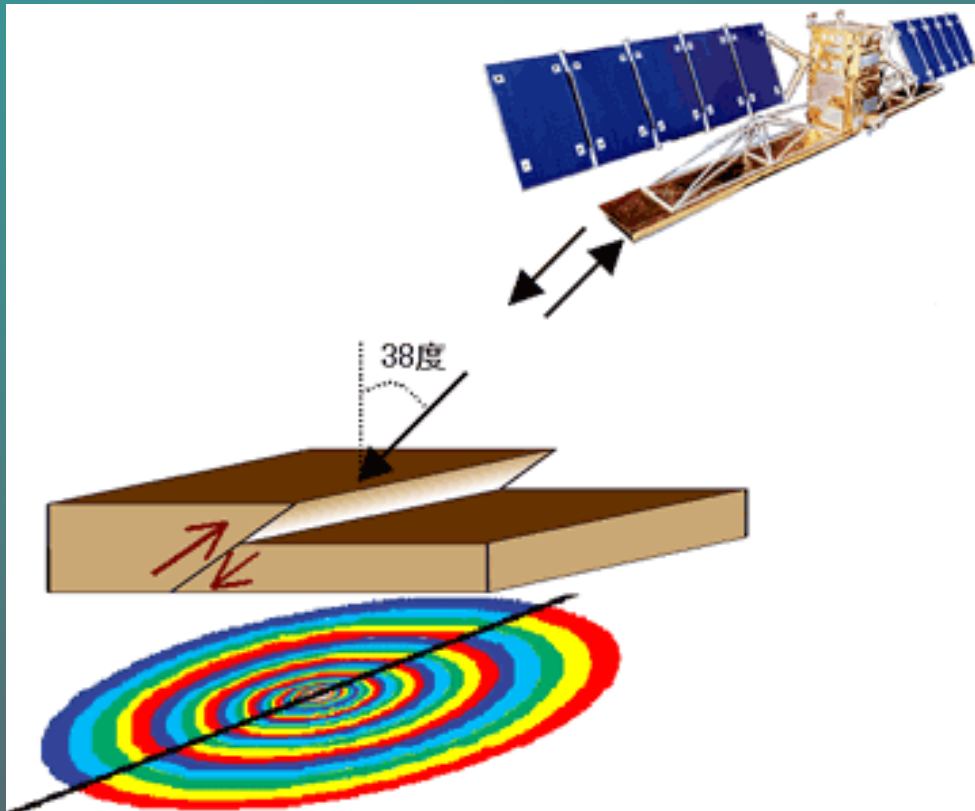
- **Εκτίμηση του εδάφους για την πιθανότητα ή την εύρεση φυσικών πόρων, π.χ. πετρέλαιο.**
- **Μέτρηση κίνησης της επιφάνειας τη Γης για καλύτερη κατανόηση σεισμών και ηφαιστείων.**
- **Εντοπισμός κινούμενων πάγων.**
- **Εκτίμηση υγιούς βλάστησης.**
- **Χωροταξικός και πολεοδομικός σχεδιασμός.**
- **Παρακολούθηση αλλαγών χρήσεων γης.**
- **Τοπογραφία εδάφους (εξαγωγή οριζοντιογραφικών χαρακτηριστικών, παραγωγή Ψ.Μ.Ε.).**
- **Καταστροφές από σεισμό.**
- **Μελέτη μικρομετακινήσεων πάγων-κλιματική αλλαγή**

Διαχρονική συμβολομετρία ραντάρ Χρονοσειρές

- Μελέτη των παραμορφώσεων μιας περιοχής για μεγάλο χρονικό διάστημα με χρήση πολλών συμολογραμμάτων.
- Ανεξάρτητοι στόχοι(σκεδαστές) από χωρική και χρονική αποσυσχέτιση
- Μέθοδος σταθερών σκεδαστών (Persistent Scatterer's technique)
- Μέθοδος υποσυνόλων μικρών βάσεων (Small Baseline Subset)



Μελέτη σεισμών 1/2

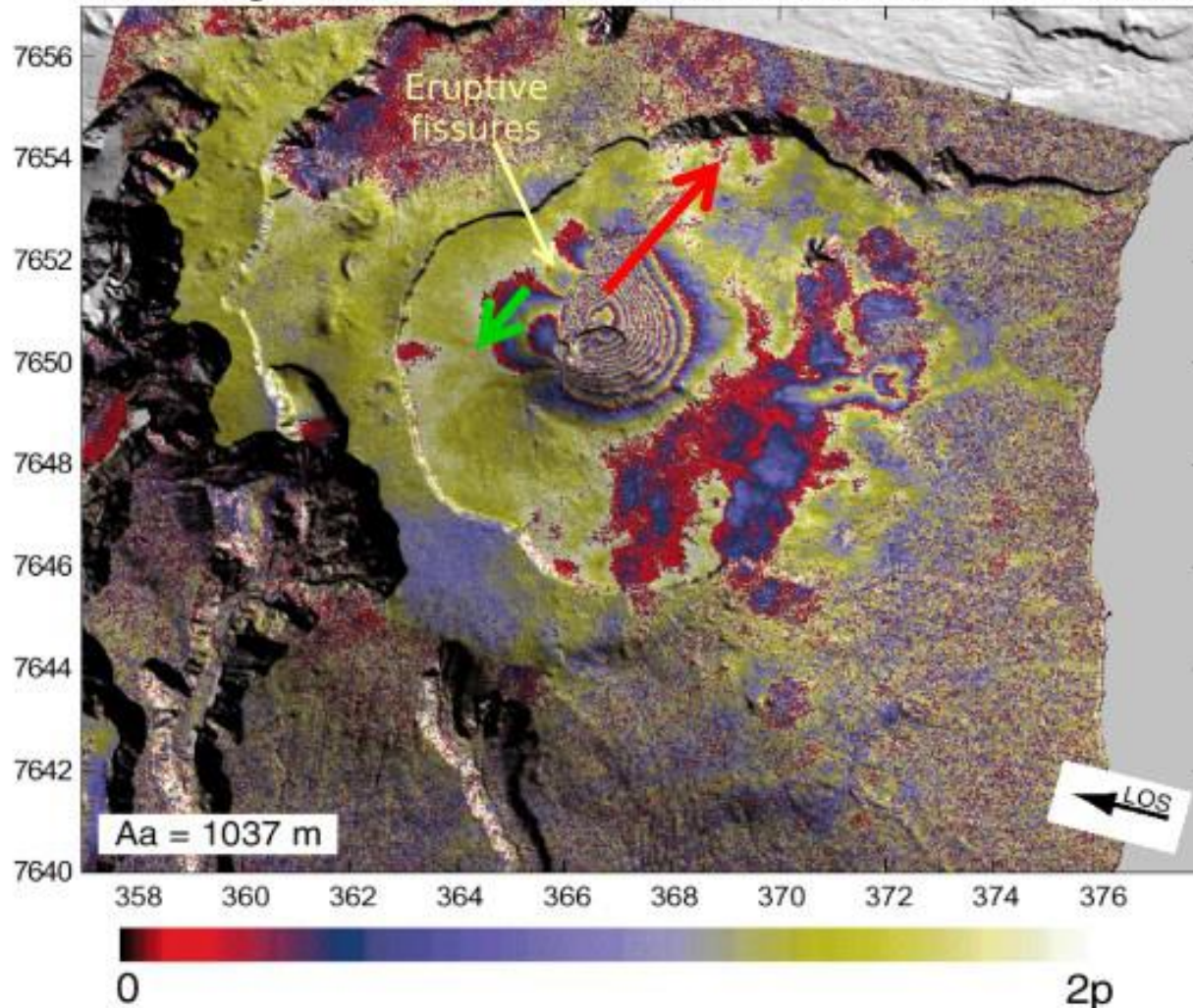


Κίτρινο-κόκκινο-μπλε: μακριά από το δορυφόρο

Κόκκινο-κίτρινο-μπλε: προς τον δορυφόρο

Μελέτη σεισμών 2/2

Descending, Swath 6, Track 277, Frame 4046, 27/07/2003 - 31/08/2003



“Piton de la Fournaise” volcano (Reunion island) – August 2003 eruption

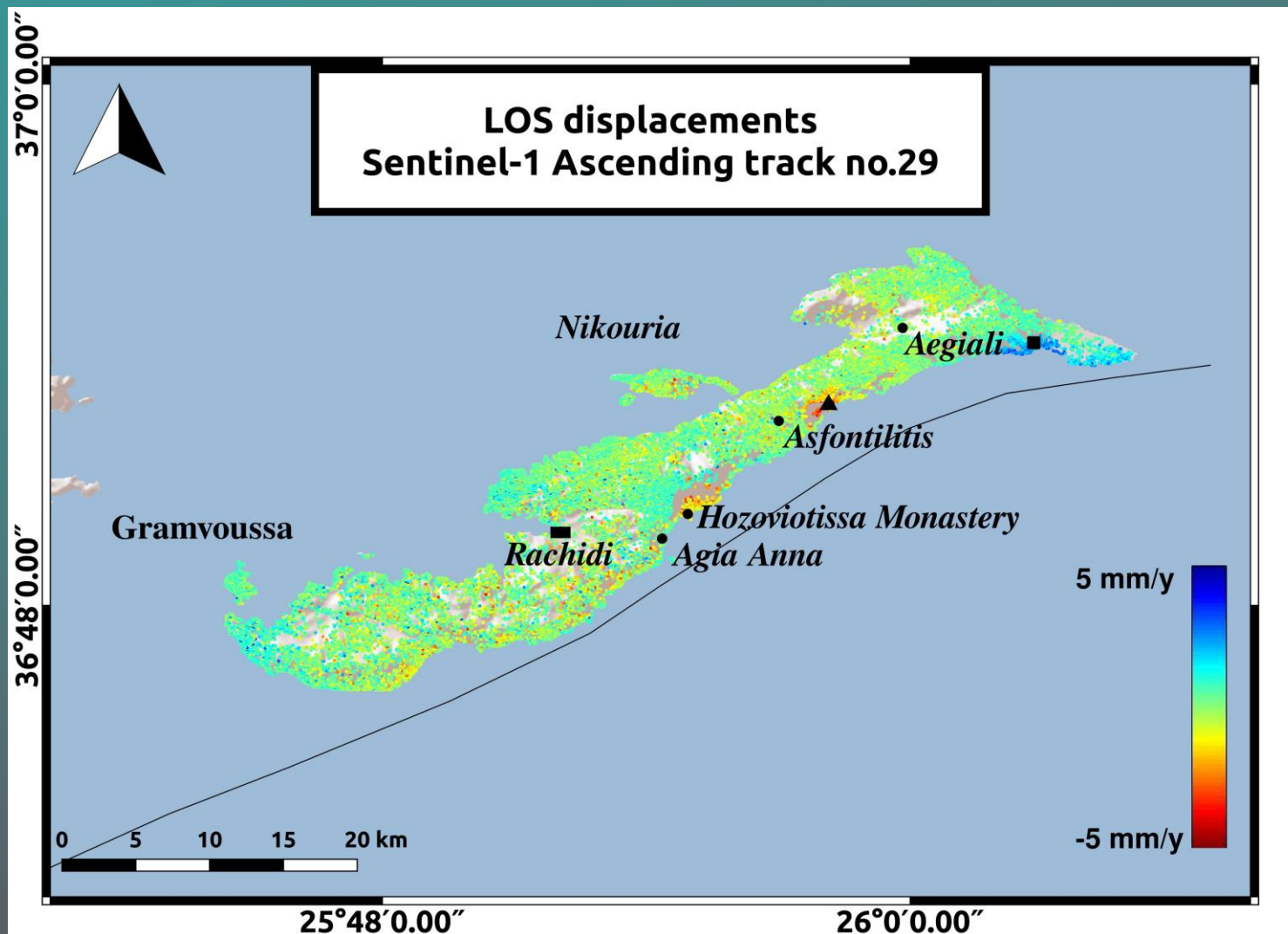
30 cm displacement toward satellite

7 cm displacement away from satellite

Courtesy:

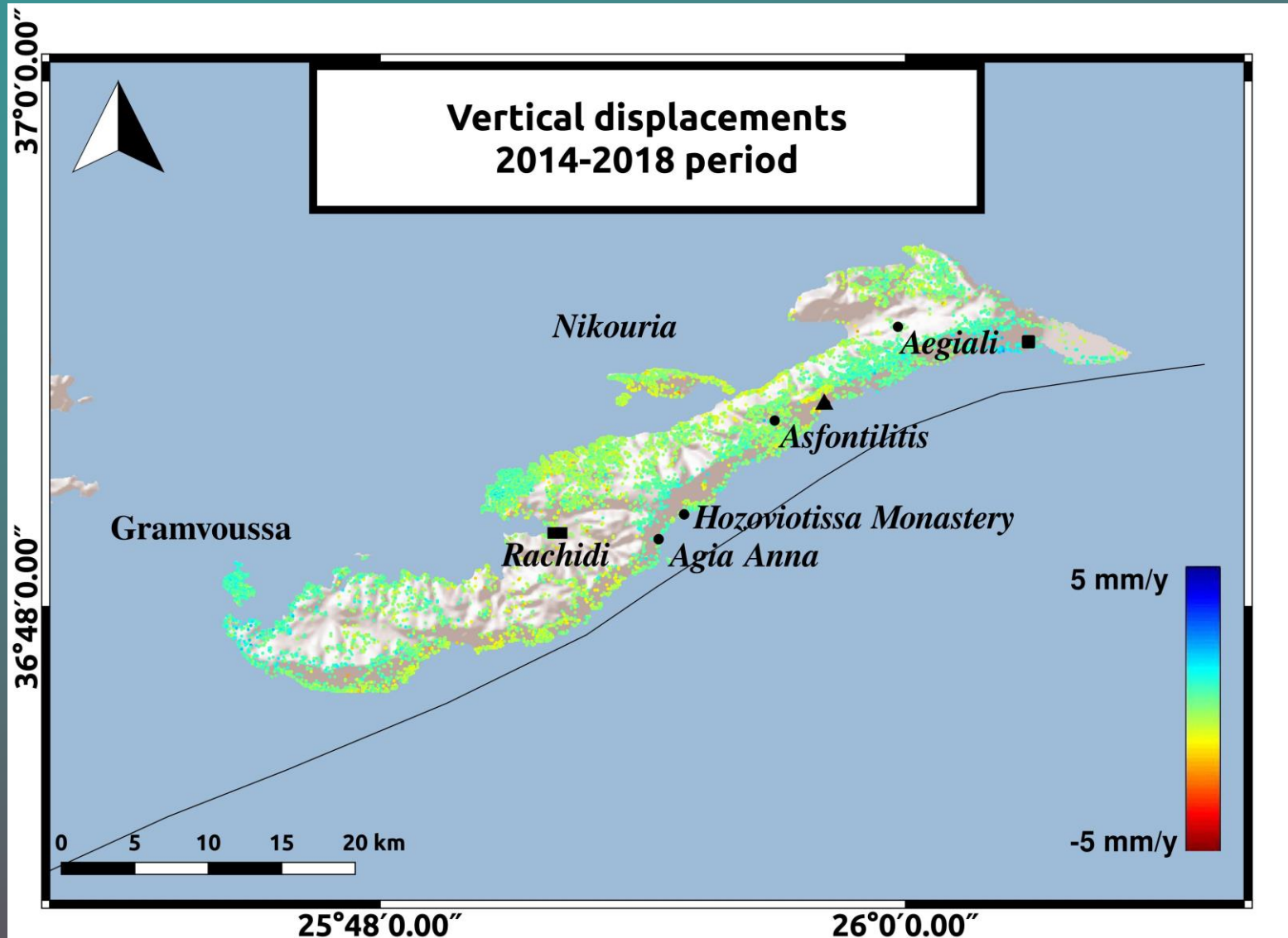
- Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Clermont-Ferrand, France
- Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France
- Institut de Physique du Globe de Paris, Paris, France
- Université de la Réunion, Saint-Denis, France

Μελέτη παραμορφώσεων του εδάφους 1/3

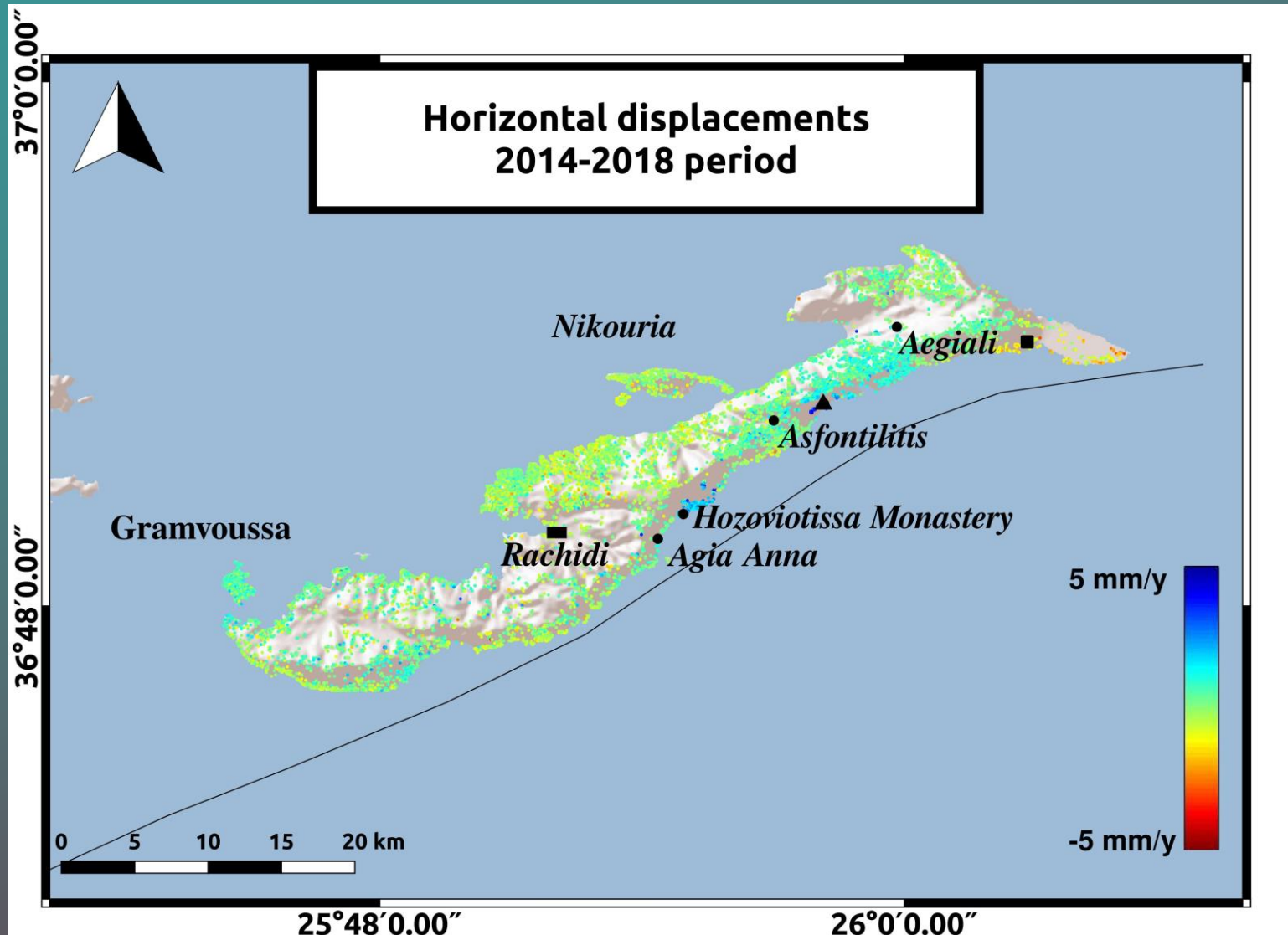


Alatza, S.; Papoutsis, I.; Paradissis, D.; Kontoes, C.; Papadopoulos, G.A. Multi-Temporal InSAR Analysis for Monitoring Ground Deformation in Amorgos Island, Greece. *Sensors* 2020, 20, 338.

Μελέτη παραμορφώσεων του εδάφους 2/3



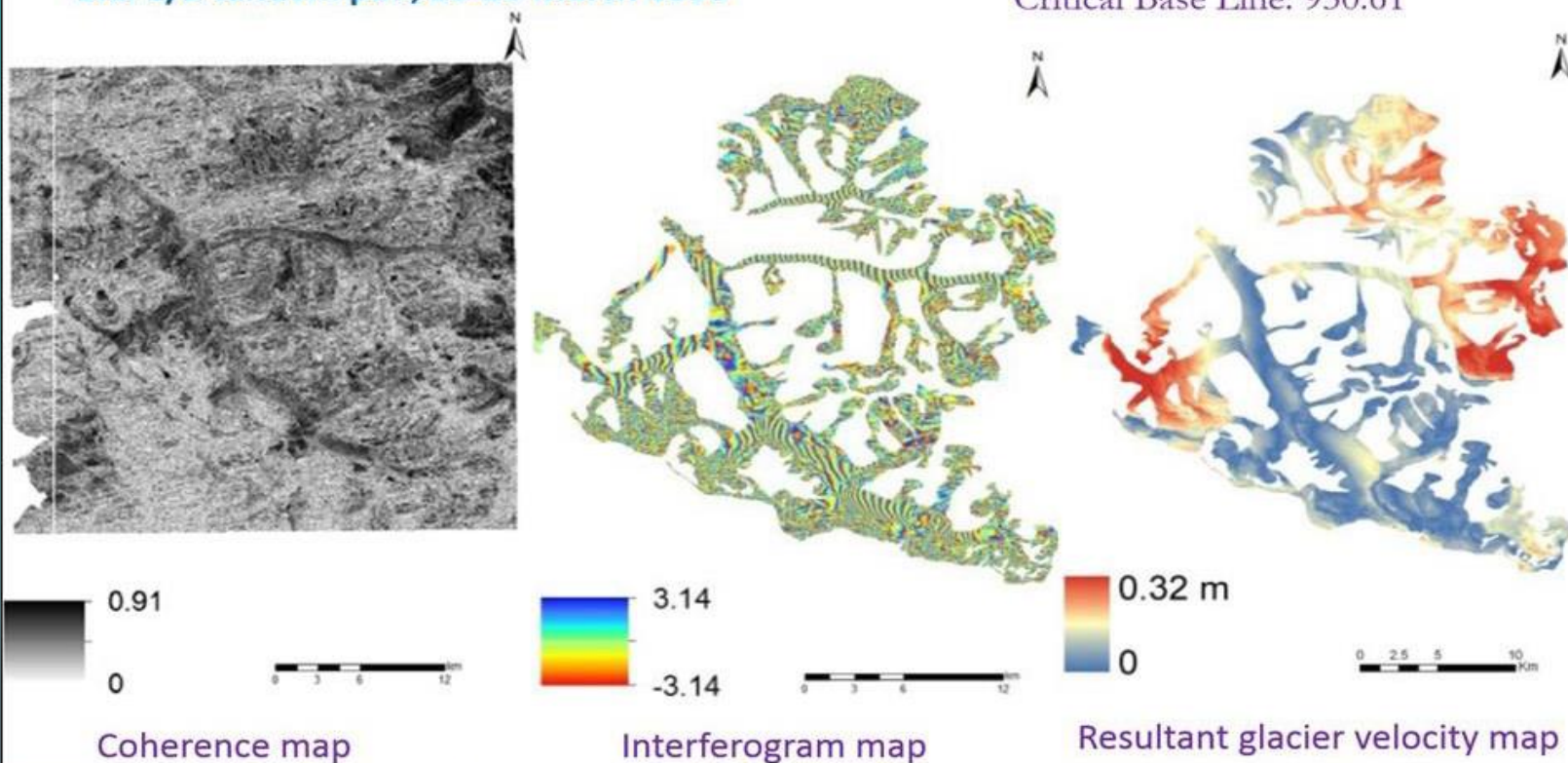
Μελέτη παραμορφώσεων του εδάφους 3/3



Μικρομετακινήσεις πάγων

C-band inSAR based glacier velocity estimation
ERS 1/2 tandem pair, 25-26 March 1996

Normal Base Line: 75.34m
Critical Base Line: 930.61



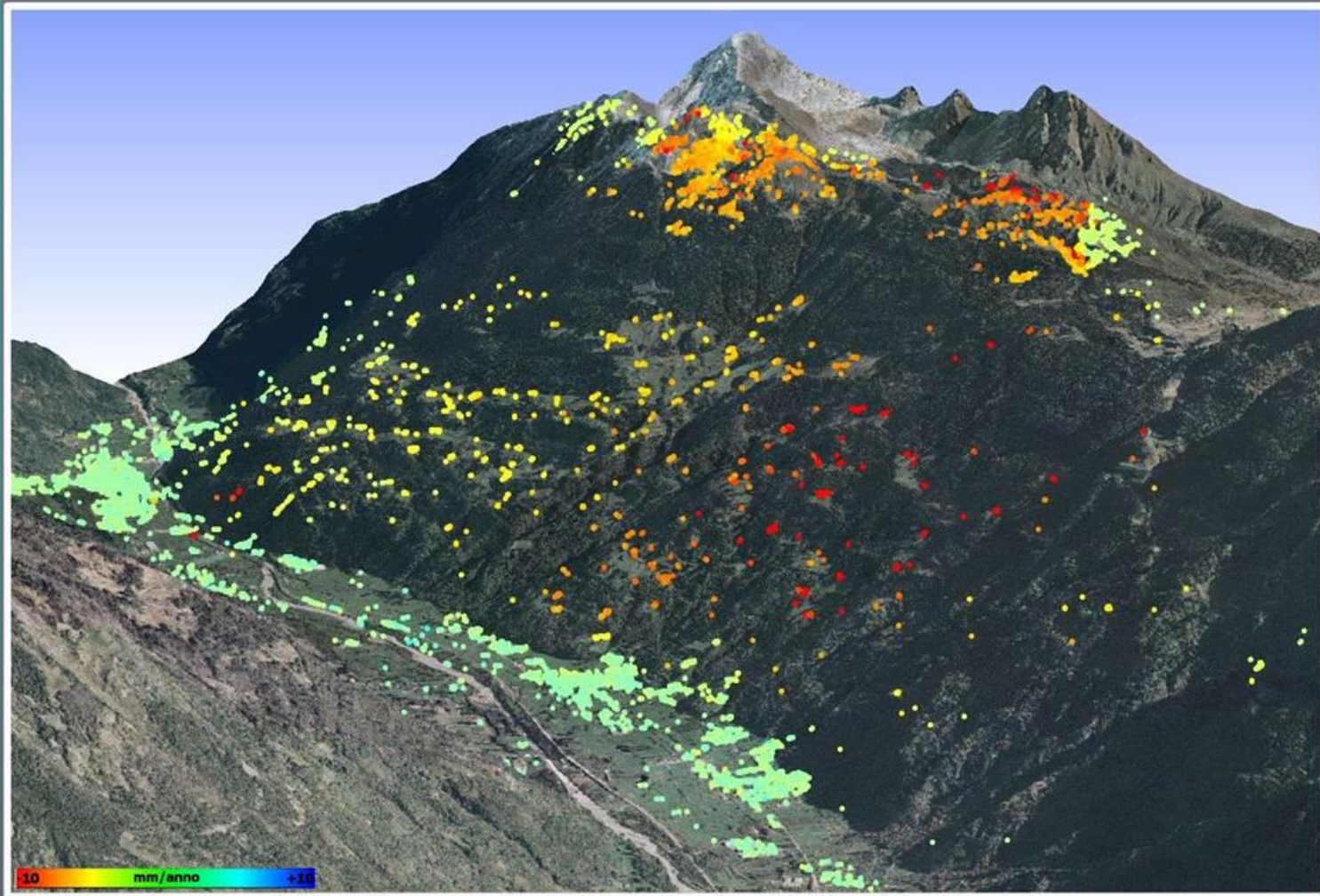
Coherence map

Interferogram map

Resultant glacier velocity map

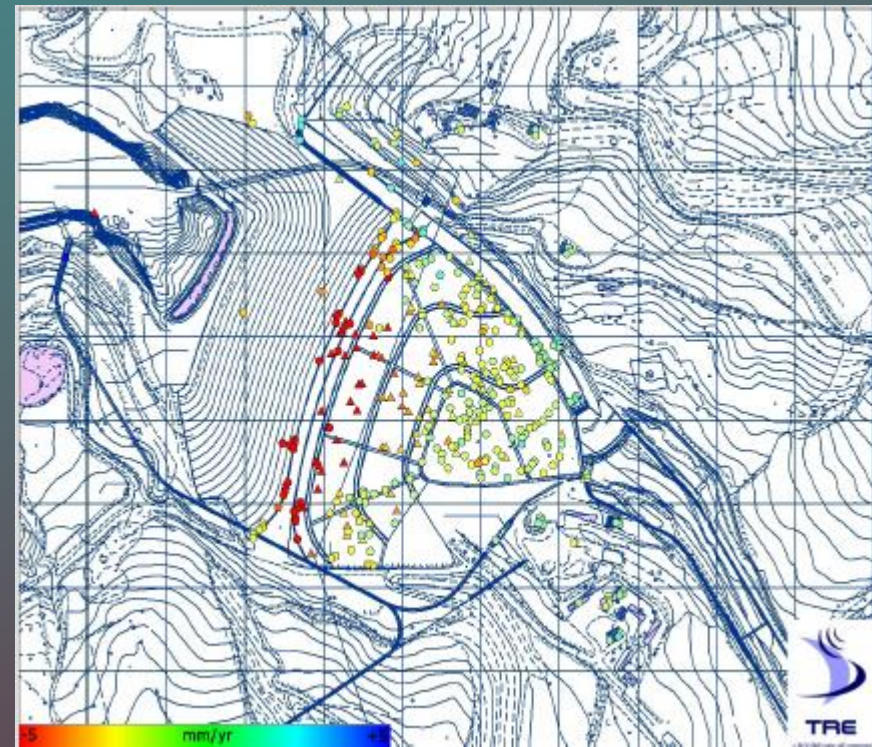
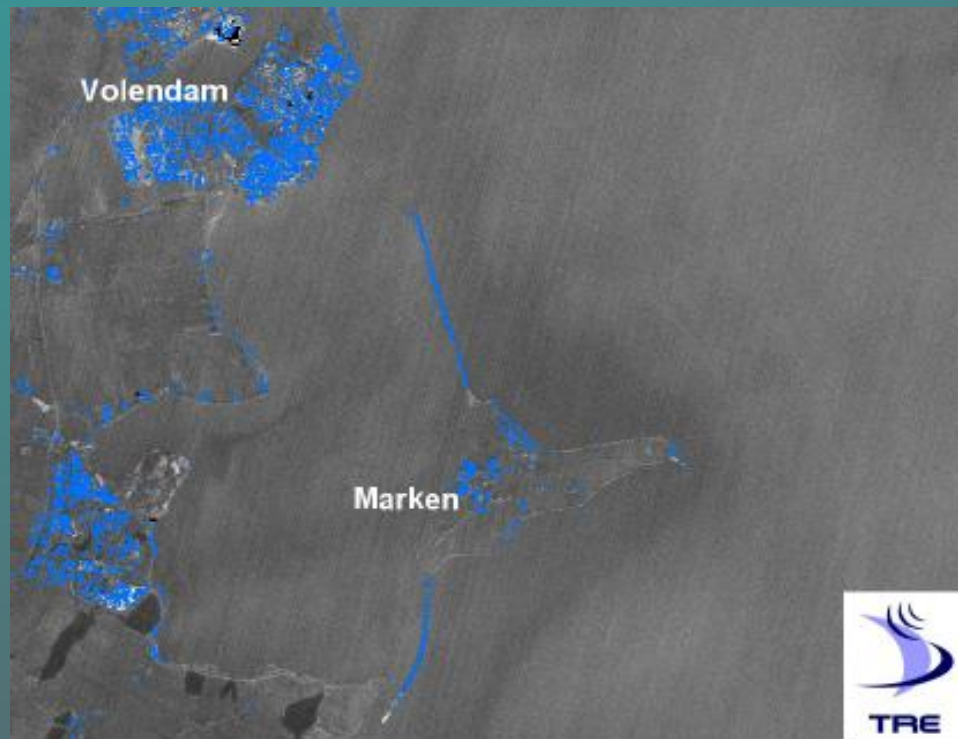
Thakur, P.K., Dixit, A., Chouksey, A., Aggarwal, S.P. and Kumar, A.S. (2016). Ice sheet features identification, glacier velocity estimation and glacier zones classification using high resolution optical and SAR data, paper published in SPIE Asia-Pacific Remote Sensing conference during April 4-7, 2016 at New Delhi, India, Proc. of SPIE Vol. 9877, 987719-1-16, DOI: 10.1117/12.2224027.

Κατολισθήσεις



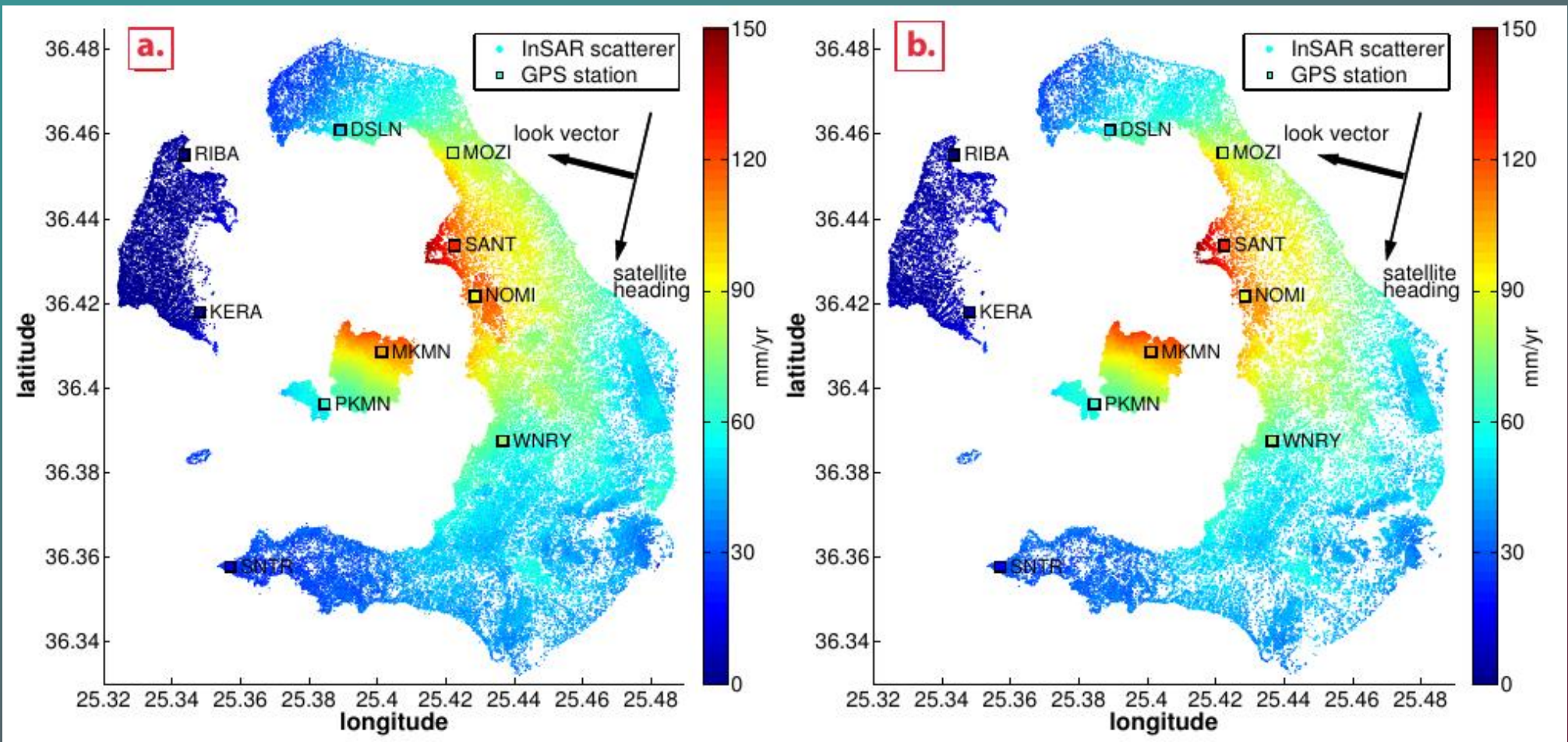
Science, 25-Jun-2004, Vol. 304:
G. Hilley, R. Burgmann, A. Ferretti, F. Novali, F. Rocca
"Dynamics of Slow Moving Landslides from PS analysis"

Φράγματα



Συνδυασμός παρατηρήσεων 1/3

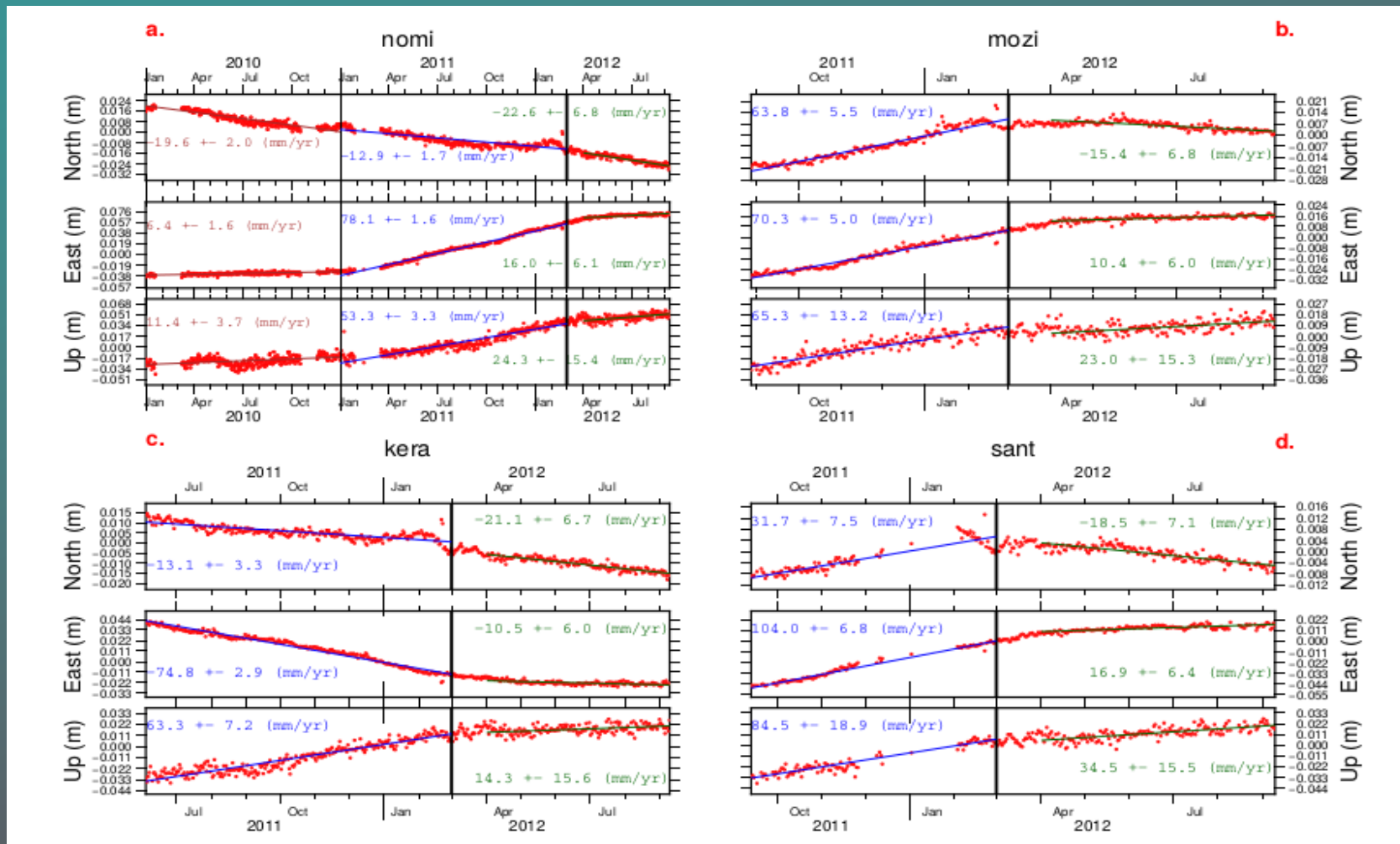
SAR-GPS



Πηγή: Διδακτορική διατριβή Ι. Παπουσή, *Radar Interferometry for Monitoring Crustal Deformation - Geodetic Applications in Greece*

Συνδυασμός παρατηρήσεων 2/3

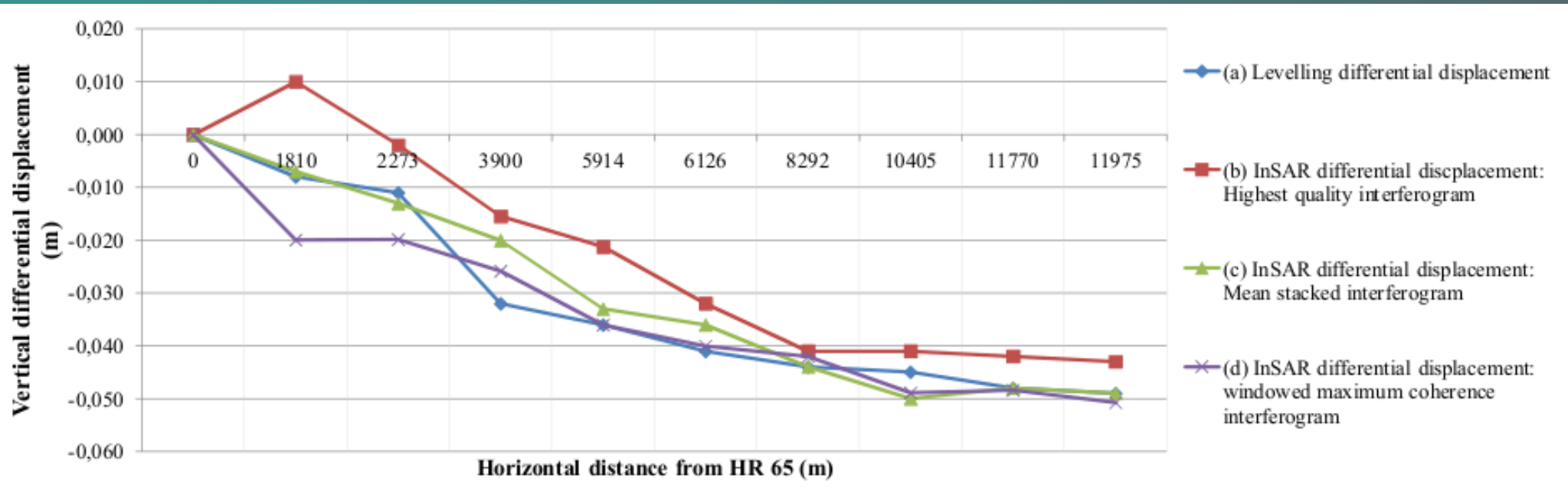
SAR-GPS



Πηγή: Διδακτορική διατριβή Ι. Παπουτσή, *Radar Interferometry for Monitoring Crustal Deformation - Geodetic Applications in Greece*

Συνδυασμός παρατηρήσεων 3/3

Χωροσταθμικά δεδομένα



Πηγή: Διδακτορική διατριβή Ι. Παπουτσά, *Radar Interferometry for Monitoring Crustal Deformation - Geodetic Applications in Greece*

Πλεονεκτήματα και περιορισμοί

- **Κάλυψη ευρείας περιοχής μελέτης**
- **Περιορισμένο κόστος**
- **Λήψεις ανεξάρτητες καιρικών συνθηκών**
- **Ακρίβεια mm**
- **Αναδρομική ανάλυση από το 1992 (μεγάλος όγκος δεδομένων)**
- **Δυσκολία στην εύρεση σταθερών σκεδαστών (πυκνή βλάστηση-έντονο ανάγλυφο)**
- **Οι δορυφόροι δεν καλύπτουν όλες τις περιοχές της Γης.**

**Satellite photos
are the
Earth's selfies.**



DAN METH / BUZZFEED