

# L'utilizzo delle tecniche di *Remote Sensing* nell'ambito del monitoraggio ambientale

Ing. Diego Di Martire<sup>1</sup>, Ing. Massimo Ramondini<sup>2</sup>, Prof. geol. Domenico Calcaterra<sup>1</sup>

Università degli Studi di Napoli "Federico II"



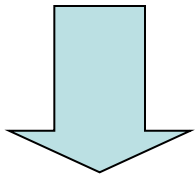
<sup>1</sup>Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse



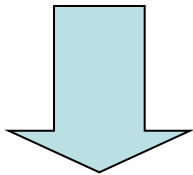
<sup>2</sup> Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale

# TELERILEVAMENTO (*REMOTE SENSING*)

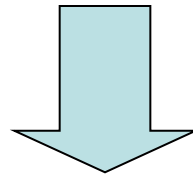
Per telerilevamento (*Remote sensing*) si intende l'insieme di tecniche, strumenti e metodi interpretativi che permettono di estendere la capacità percettiva dell'occhio umano, fornendo informazioni qualitative e quantitative di oggetti posti a distanza dal luogo di osservazione.



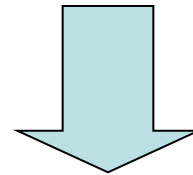
GPS/GNSS



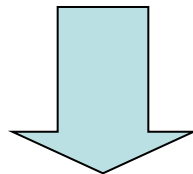
Fotogrammetria



Laser  
Scanner

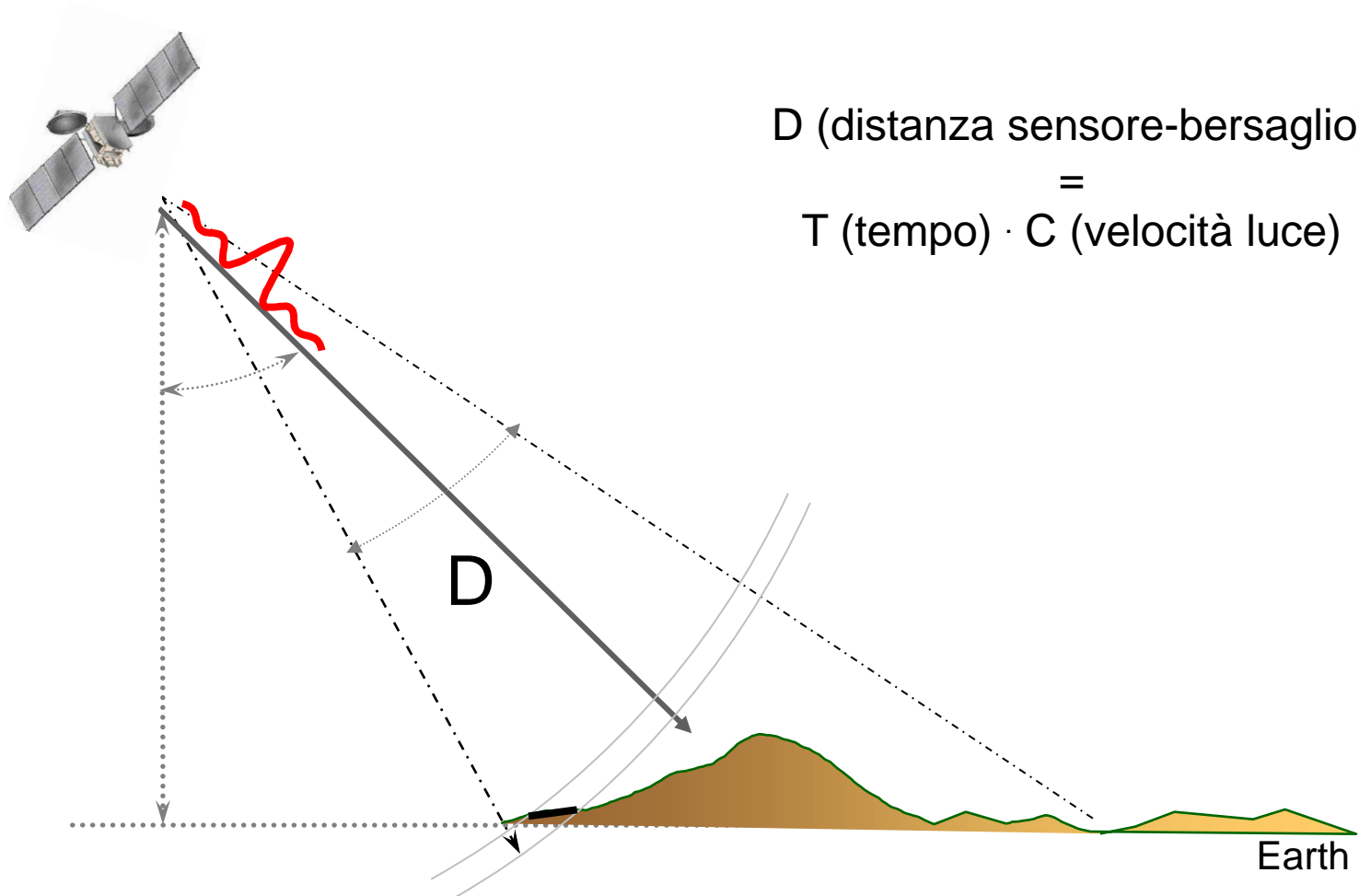


Sensori radar

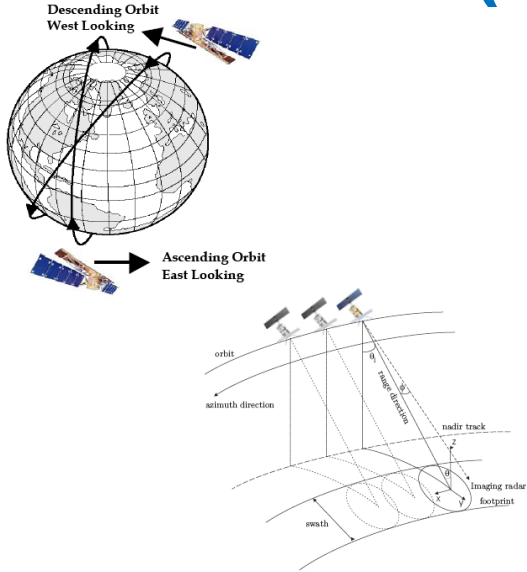


Controllo dei fenomeni di deformazione della superficie terrestre

# IL MONITORAGGIO DA SATELLITE

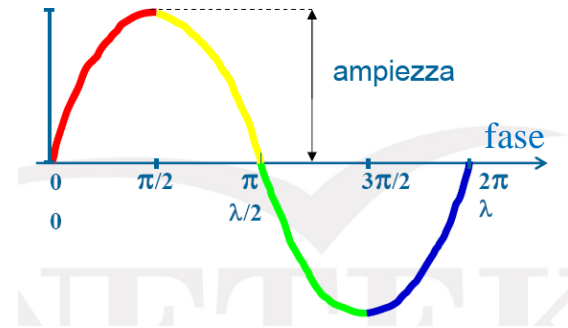


# SAR (Synthetic Aperture Radar)



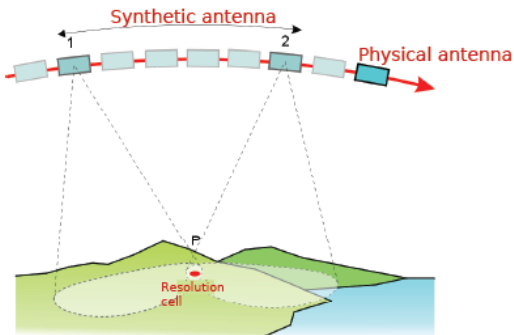
Il SAR è un sensore attivo posto su una piattaforma in movimento, costituito da un'antenna trasmittente/ricevente che invia sulla superficie terrestre impulsi elettromagnetici nel campo delle microonde e ne registra i ritorni.

- L'**ampiezza** indica l'energia dell'onda
- La **fase** fornisce informazioni circa il percorso compiuto dall'onda (compreso nell'intervallo  $0, 2\pi$ )



Il sensore illumina il target dall'istante in cui esso entra nel fascio radar al momento in cui ne esce. Gli N impulsi incidenti, e gli N retrodiffusi al ricevitore sono tra loro sfasati a causa del moto del sensore.

Il sistema sfrutta il moto della piattaforma su cui è posto per simulare un'antenna sintetica molto più grande di quella reale per migliorare le potenzialità del sensore (risoluzione).



$$x_a = R\theta_a = R \frac{\lambda}{L}$$

2 km

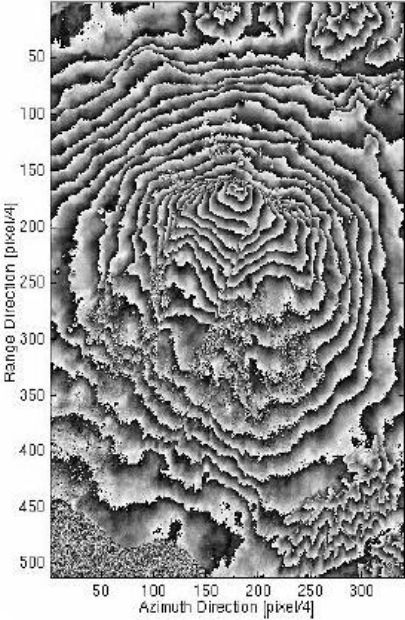


$$r_{az} = \frac{\lambda}{2L_s} \cdot R_0 = \frac{L}{2}$$

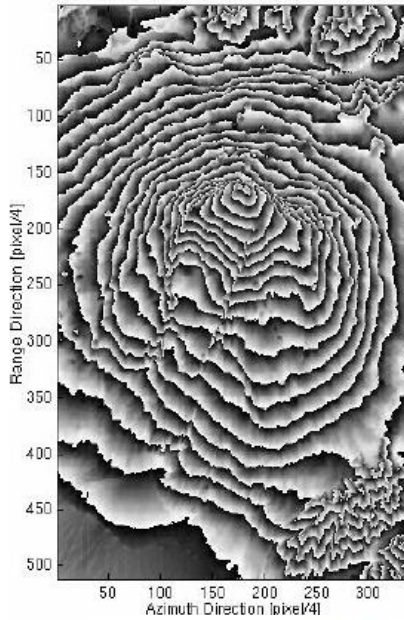
5 m

# Interferometria differenziale (DInSAR)

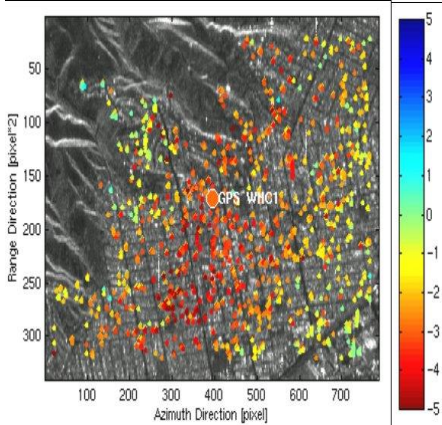
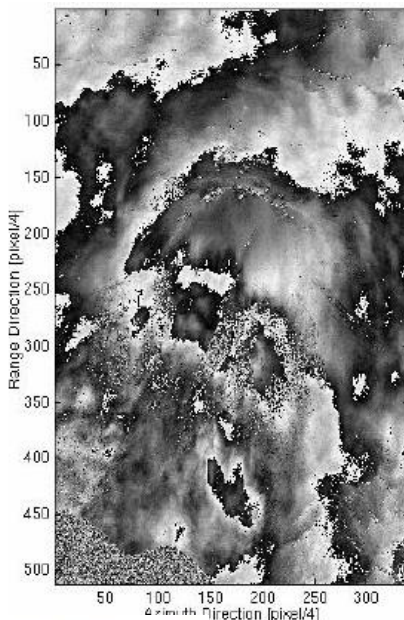
Interferogramma



Interferogramma sintetico

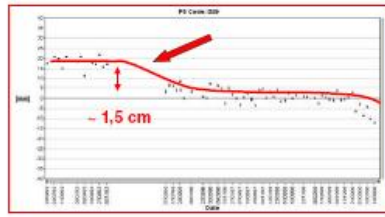


Interferogramma differenziale



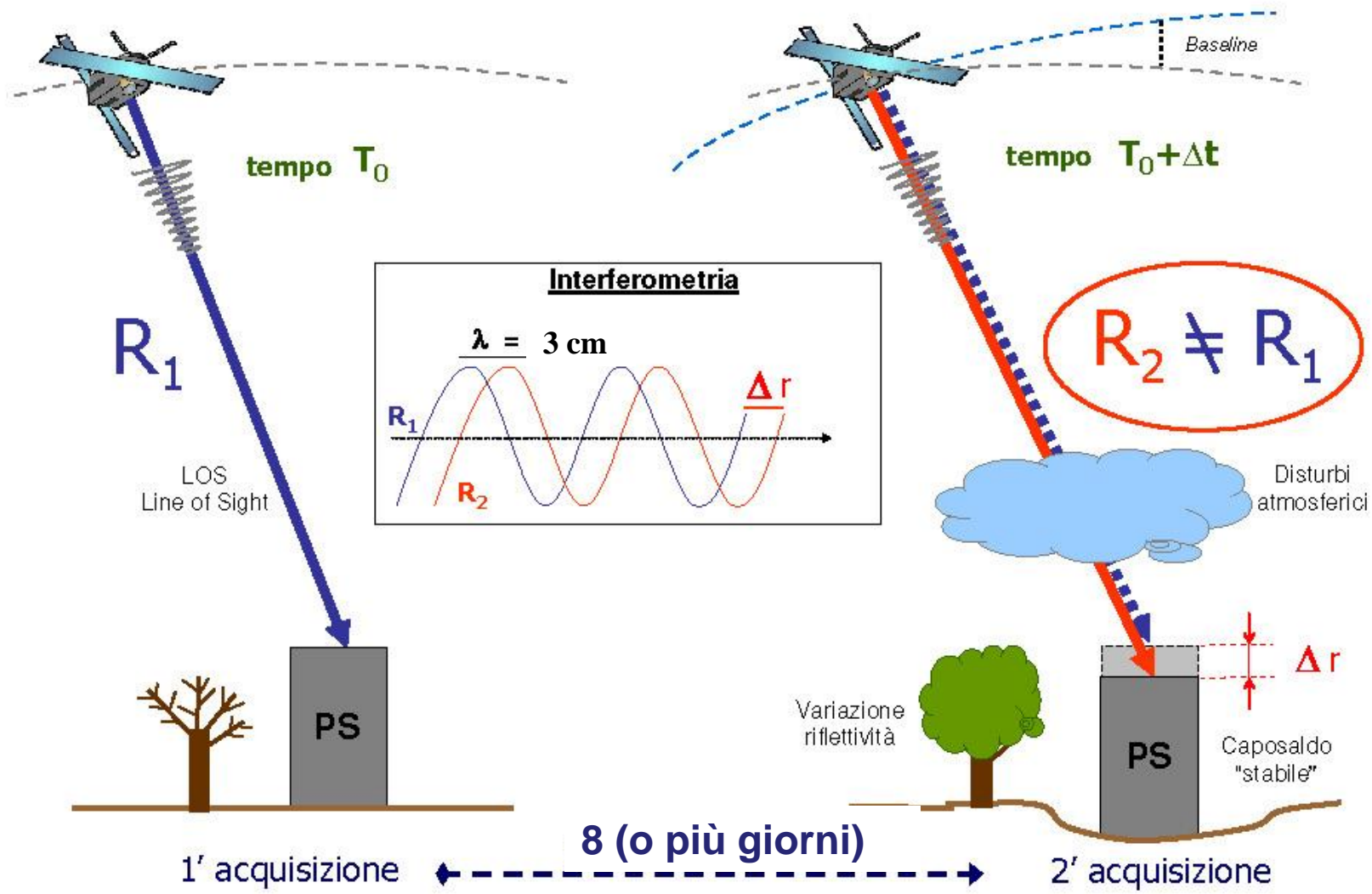
1995: scavi per la costruzione di un parcheggio sotterraneo  
 Chiesa della Rotonda e altri monumenti danneggiati

Analisi PS  
 Serie storica delle deformazioni

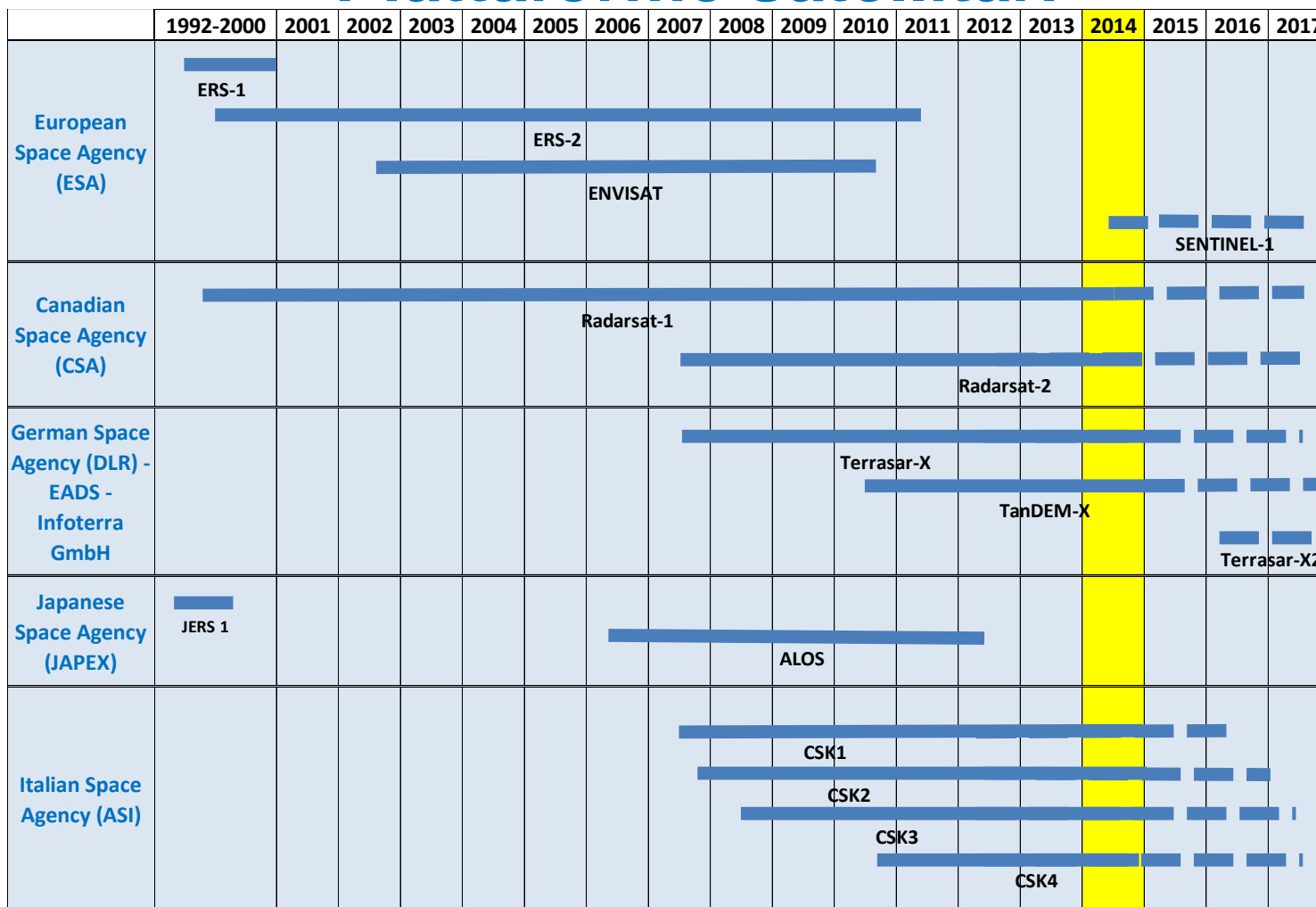




# Misure di spostamenti lungo la LOS



# Piattaforme satellitari



Risoluzione: 20 x 4 m  
 Incident angle: 23°  
 Time revisiting: 35 gg  
 Velocità rilevabile: 15 cm/anno

Risoluzione: 3 x 3 m  
 Incident angle: 20° - 60°  
 Time revisiting: 8 gg  
 Velocità rilevabile: 50 cm/anno

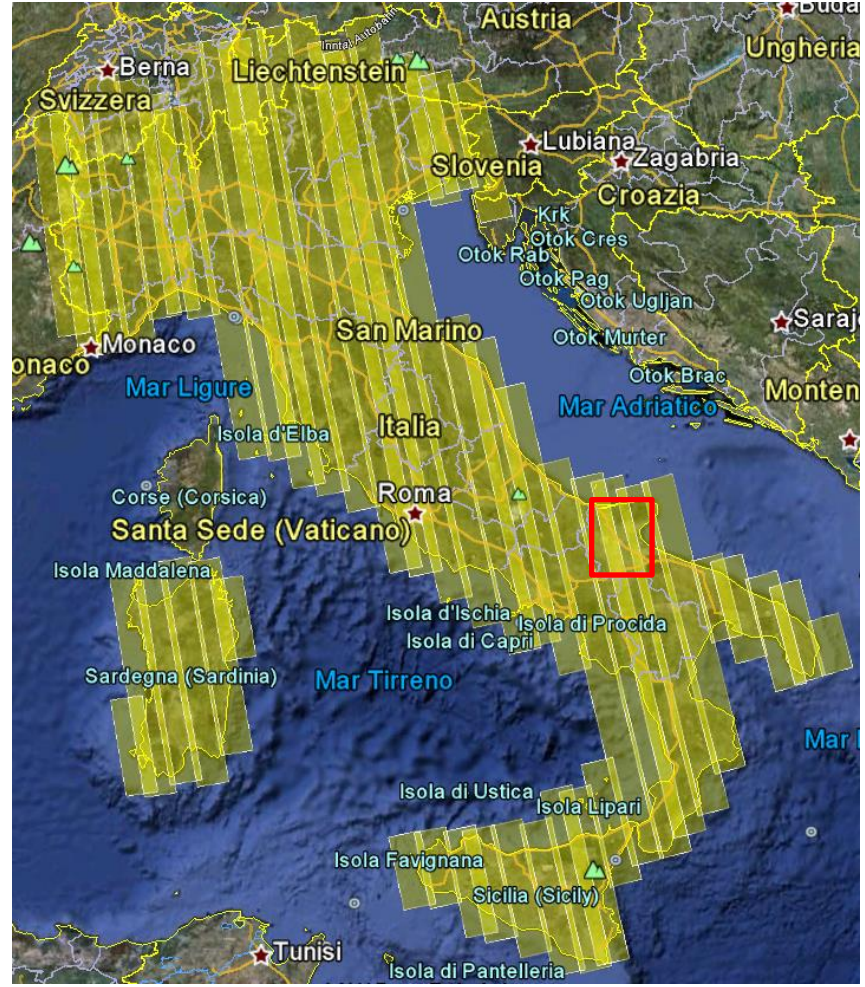
# DLR - Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt

## Terrasar-X



# ASI - Agenzia Spaziale Italiana

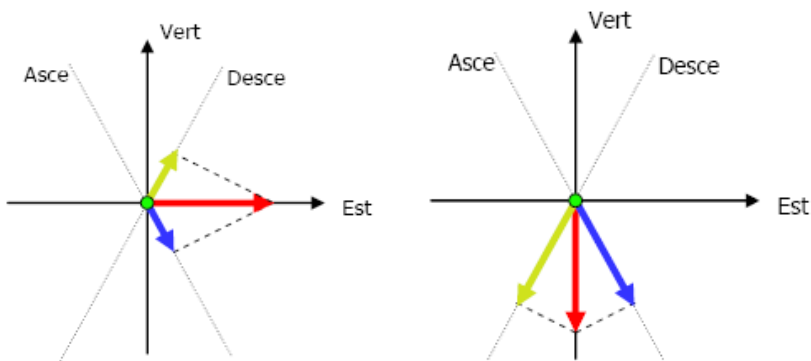
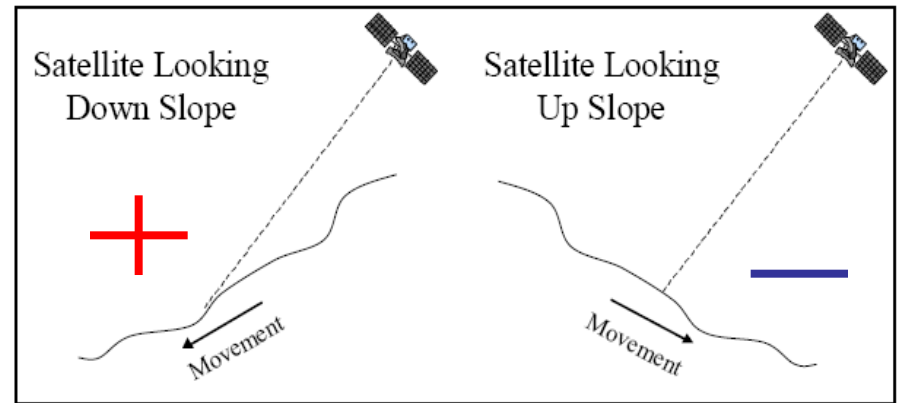
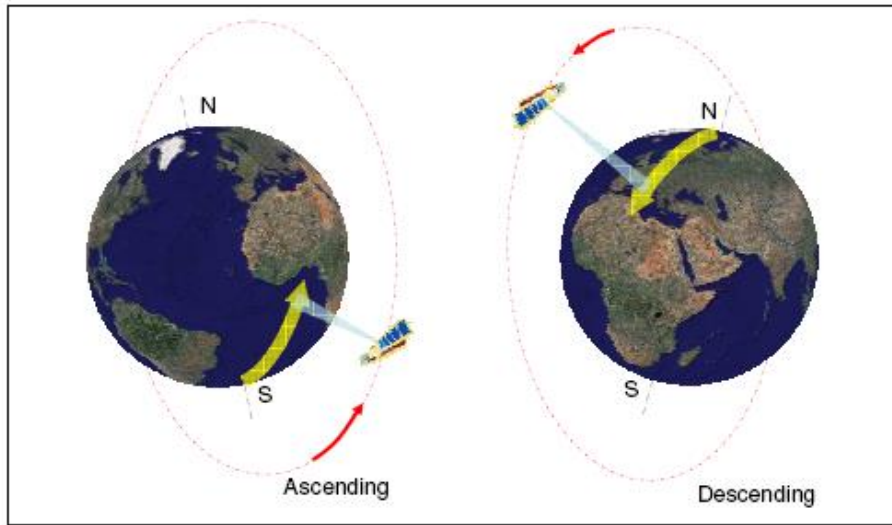
## Cosmo-SkyMed





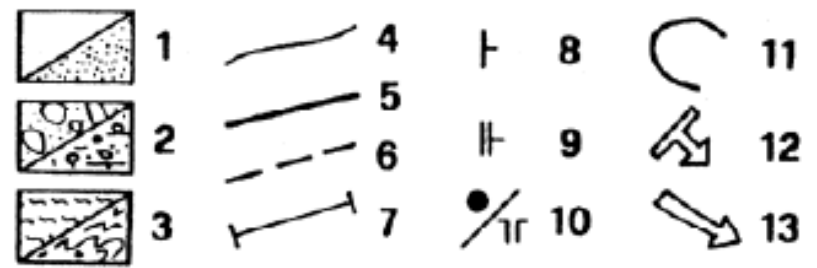
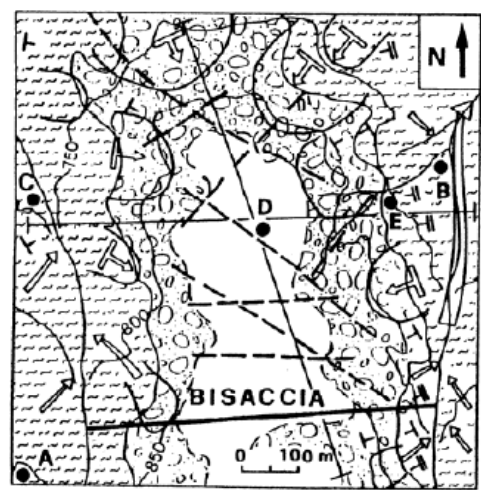
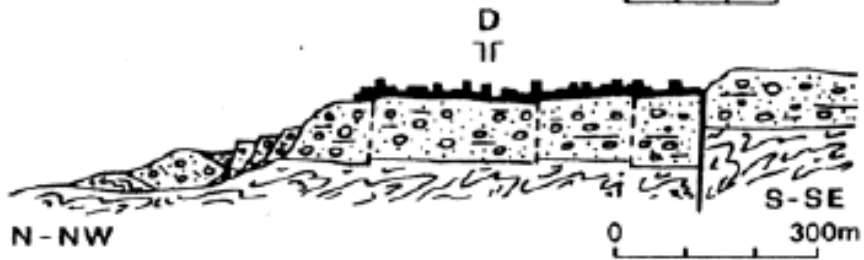
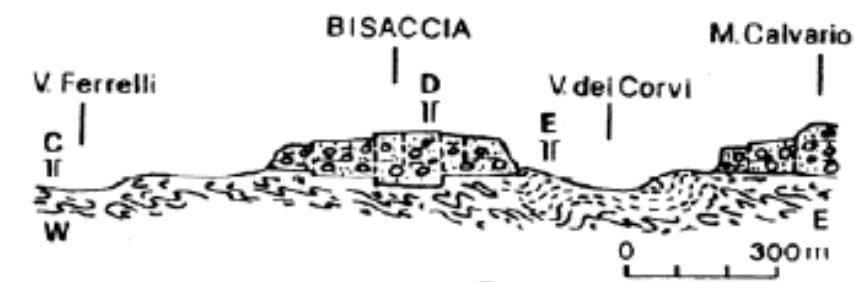
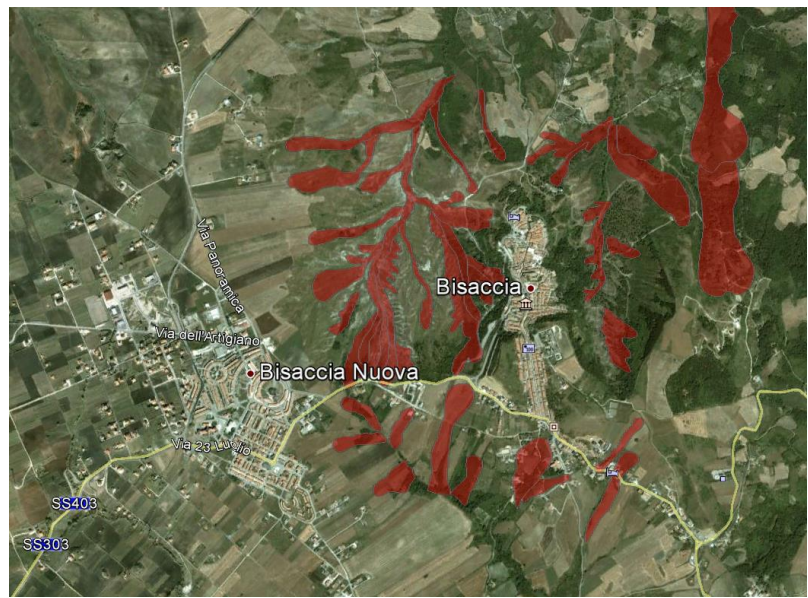
# Interpretazione

L'interpretazione diretta dei dati interferometrici acquisiti in orbita ascendente e discendente spesso non è immediata ed è causa di ambiguità nella definizione del movimento reale. Questo è uno dei principali limiti nell'utilizzo di tale tecnica per il monitoraggio di spostamenti superficiali.



$$\begin{cases} V_a = Vh \cdot s_{xasce} + Vv \cdot s_{zasce} \\ V_d = Vh \cdot s_{xdesce} + Vv \cdot s_{zdesce} \end{cases}$$

# Bisaccia (AV)

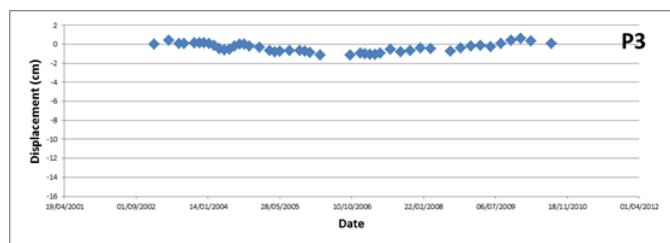
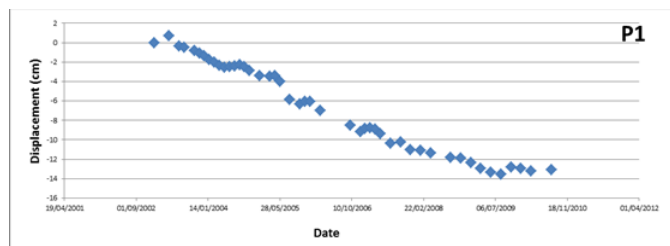
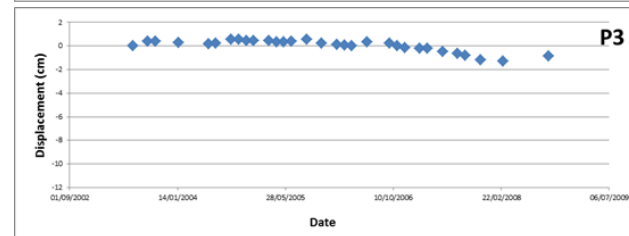
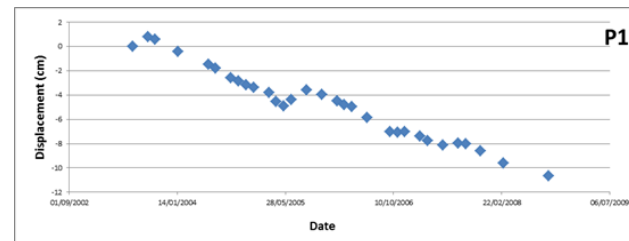
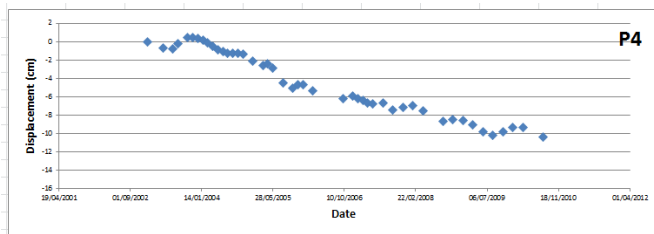


Picarelli et al., 2002

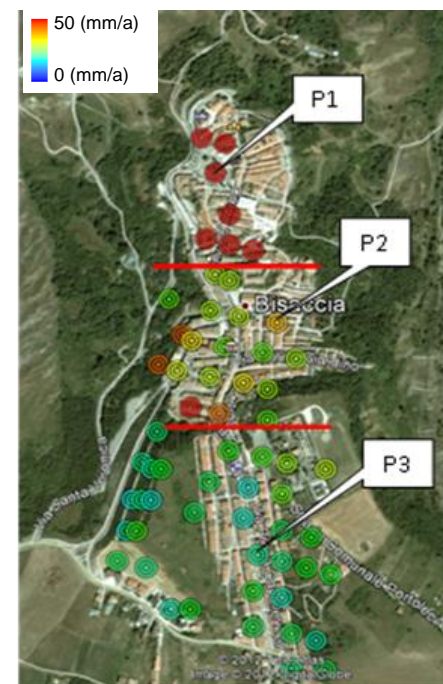
# ENVISAT 2002-2010



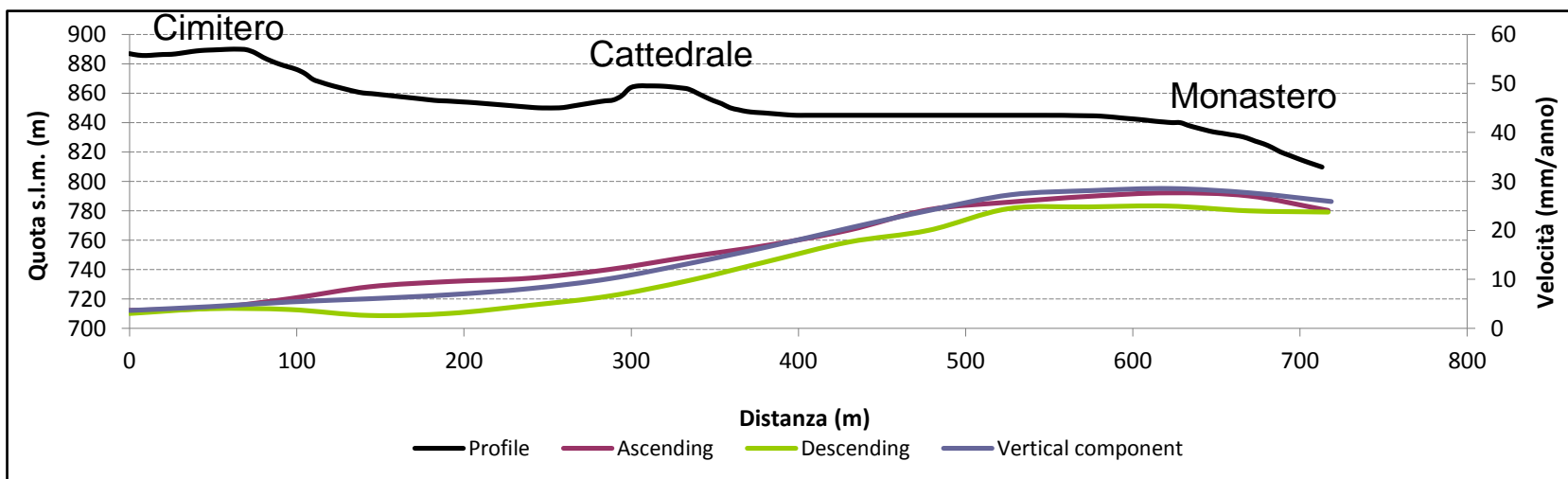
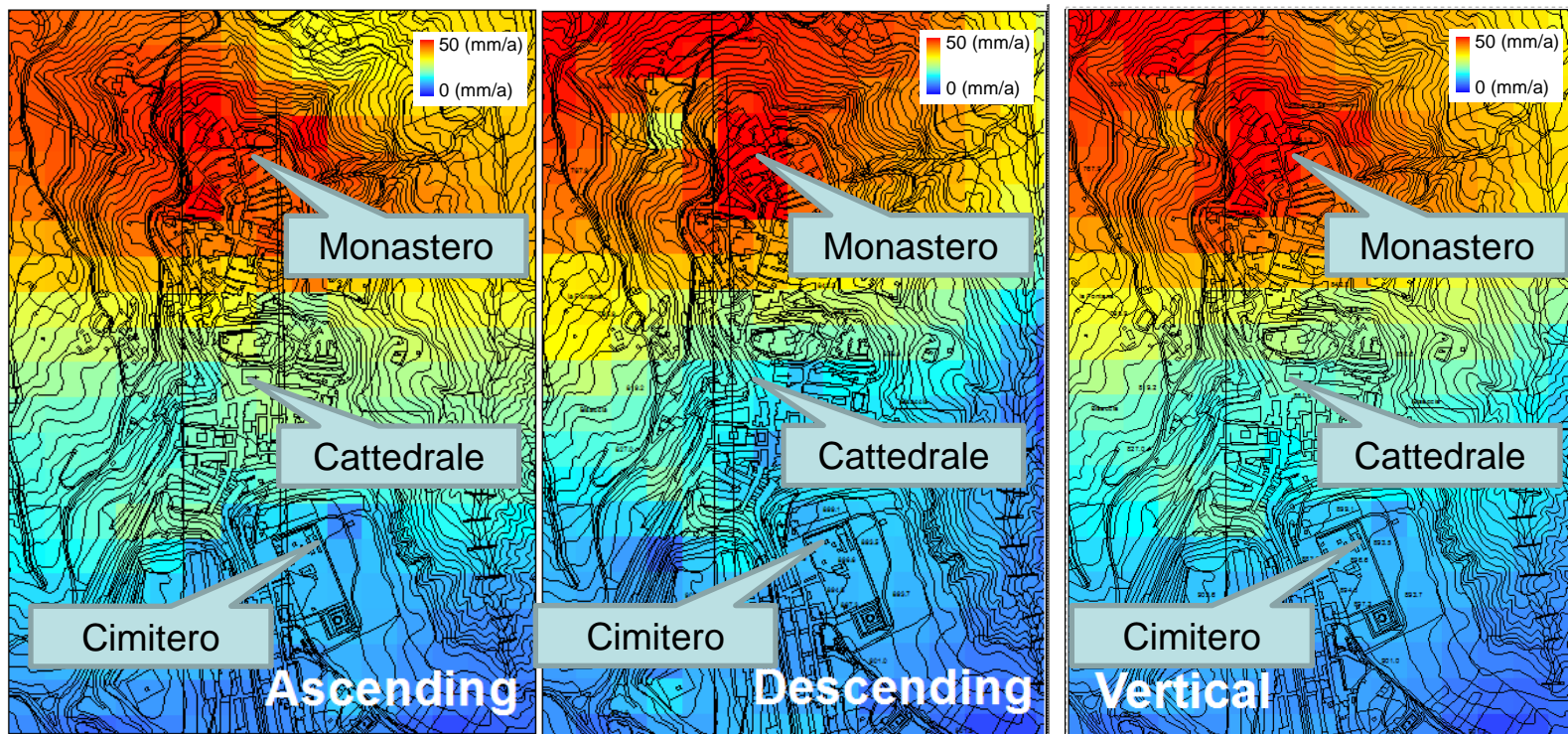
Ascending	Velocità (mm/year)
P1	25.0
P2	5.90
P3	0.90
P4	18.6



Descending	Velocità (mm/year)
P1	30.0
P2	6.50
P3	2.50

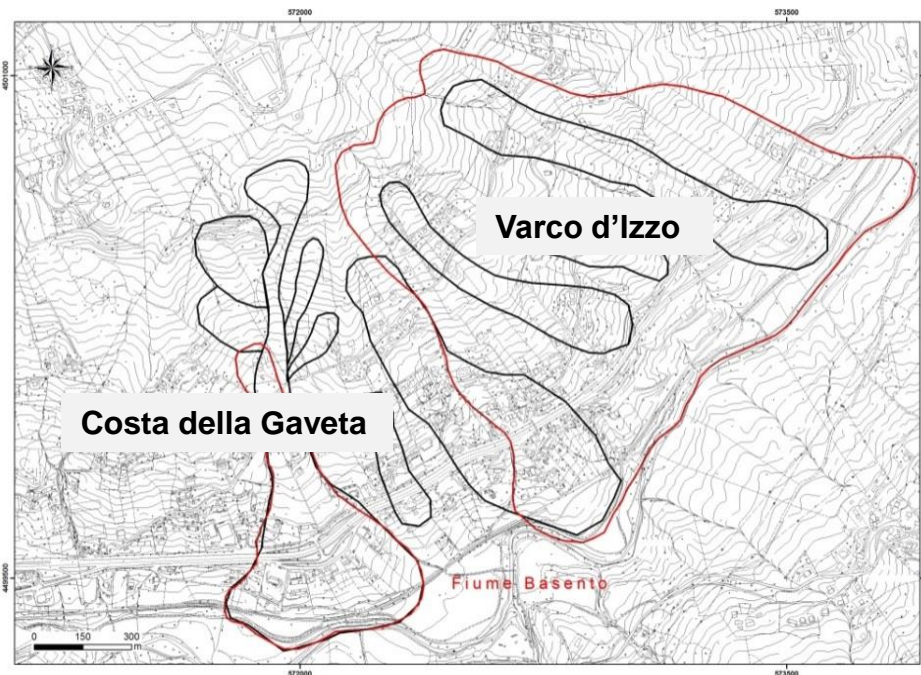








# Costa della Gaveta (PZ)

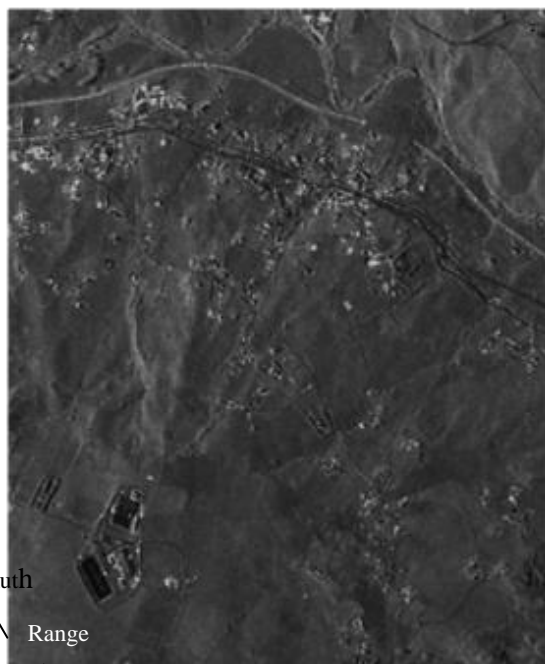


I fenomeni censiti possono essere distinti in due sistemi franosi, il primo in località “Costa della Gaveta” in s.s. abbastanza ben delineato, mentre il secondo, più complesso, in località “Varco d’Izzo”, poco più ad est, di dimensioni più ampie e caratterizzato da movimenti disuniformi (Di Maio et al., 2010). Entrambi sono classificabili come fenomeni complessi (scorrimenti evoluti in colate) che interessano l’unità delle Argille Varicolori.

Da un punto di vista geotecnico il sottosuolo è eterogeneo ed è classificabile come argilla inorganica di plasticità da media ad alta.

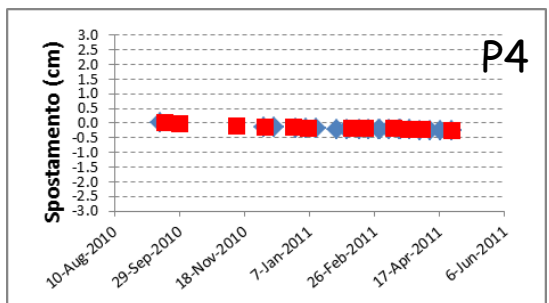
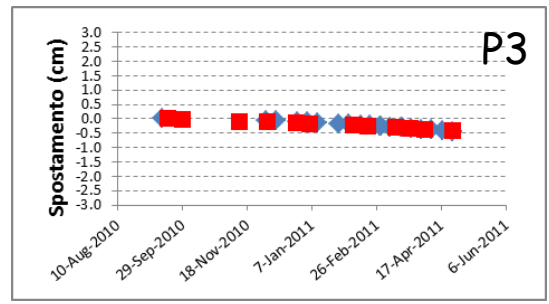
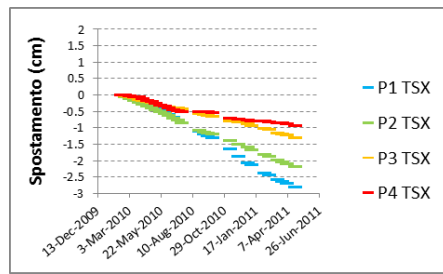
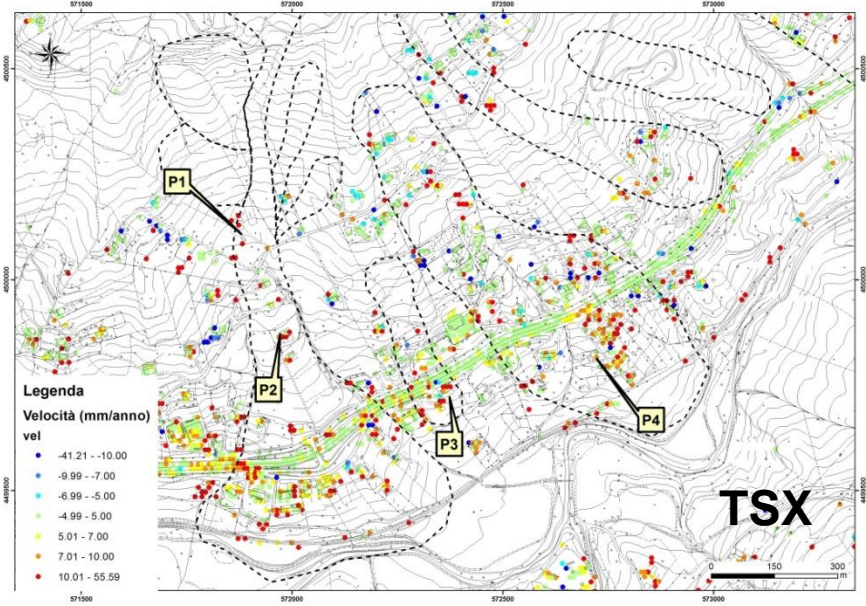
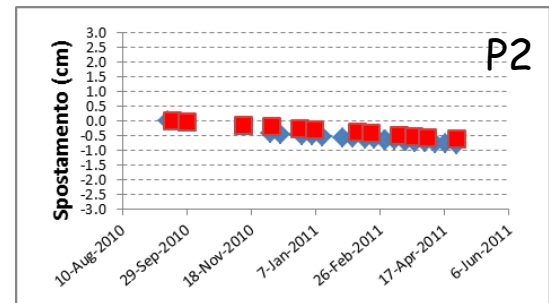
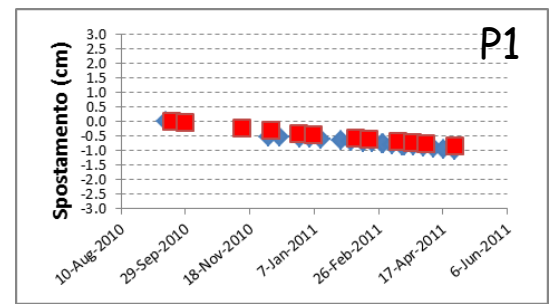
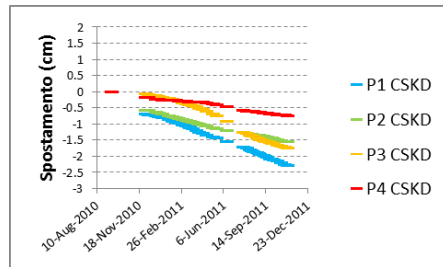
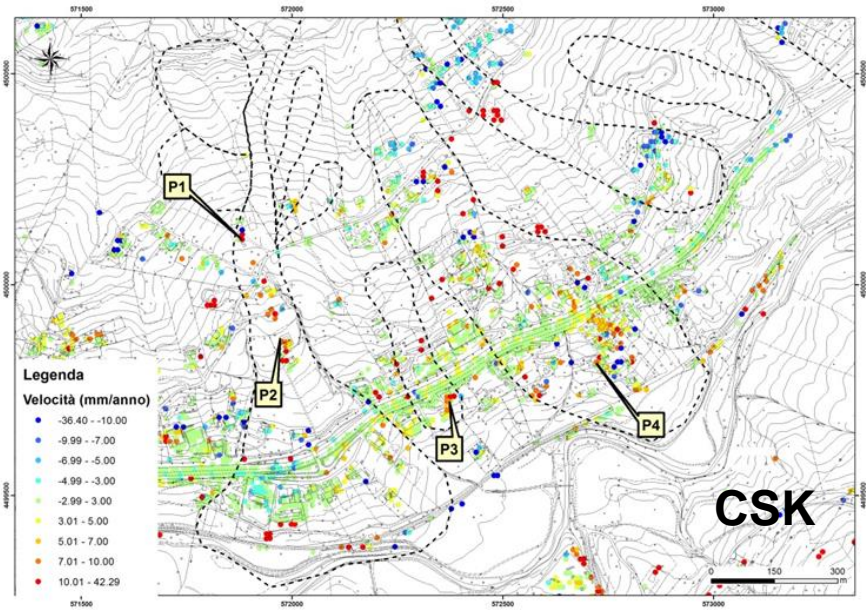
# Costa della Gaveta (PZ)

Costa della Gaveta (40,65 - 15,85)			
Satellite	Geometria di acquisizione	Numero di immagini	Periodo
TSX	Right Ascending	29	Febbraio 2010 – Aprile 2011
CSK	Right Ascending	43	Settembre 2010 – Novembre 2011



Azimuth  
 Range





# Proiezione lungo la LOS

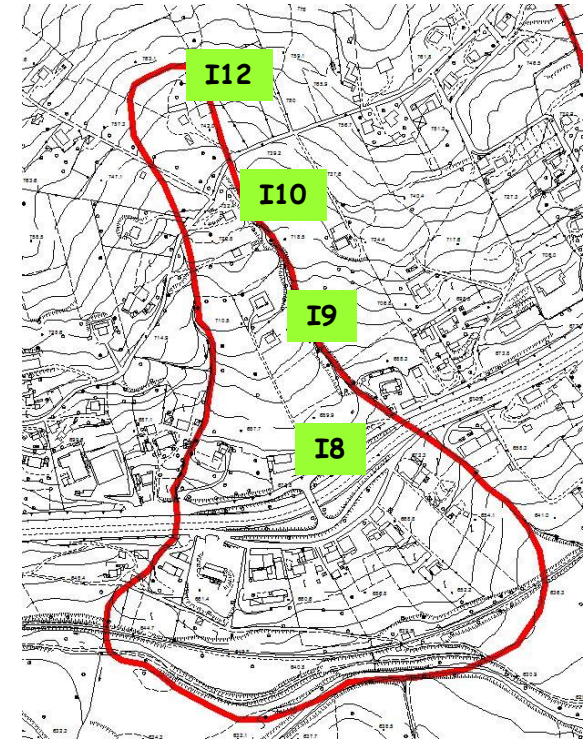
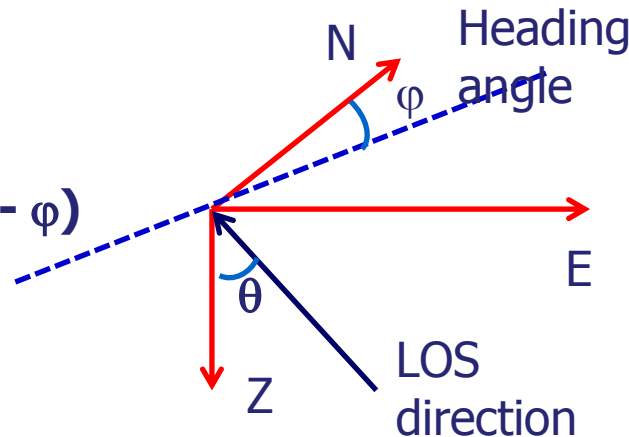
	Spostamento LOS CSK (cm)	Spostamento inclinometro (cm)	Proiezione (cm)	Spostamento LOS TSX (cm)	Spostamento inclinometro (cm)	Proiezione (cm)
I8	0.52	1.10	0.82	1.16	1.36	0.82
I9	1.16	1.68	1.26	2.09	2.72	1.63
I10	1.05	2.00	1.51	1.52	2.00	1.20
I12	2.29	2.95	2.18	2.61	2.95	1.75

Dati inclinometrici da Di Maio et al., 2011

$$\begin{aligned}
 S_N &= S \cos \alpha & V_N &= \sin \theta \cos \varphi \\
 S_E &= S \sin \alpha & V_E &= \sin \theta \sin \varphi \\
 S_Z &= 0 & V_Z &= \cos \theta
 \end{aligned}$$

con S valore dello spostamento misurato dall'inclinometro,  $\theta$  angolo d'incidenza,  $\varphi$  azimuth della LOS ed  $\alpha$  azimuth dell'inclinometro.

$$S_{LOS} = -S \sin \theta \cos (\alpha - \varphi)$$



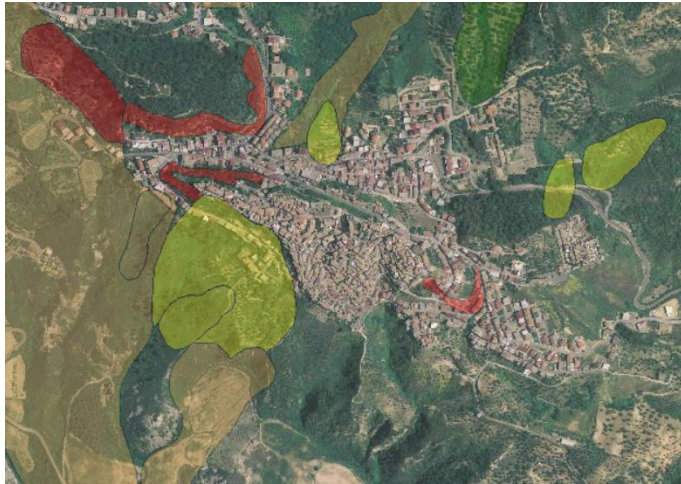
Ubicazione inclinometri per la frana di Costa della Gaveta











# Cirò Superiore (KR)

## Carta-Inventario dei fenomeni franosi

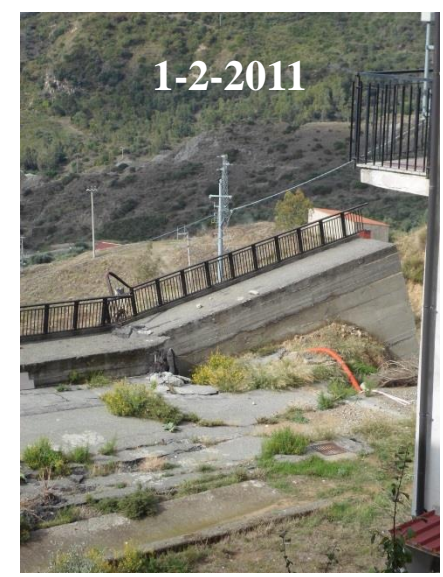
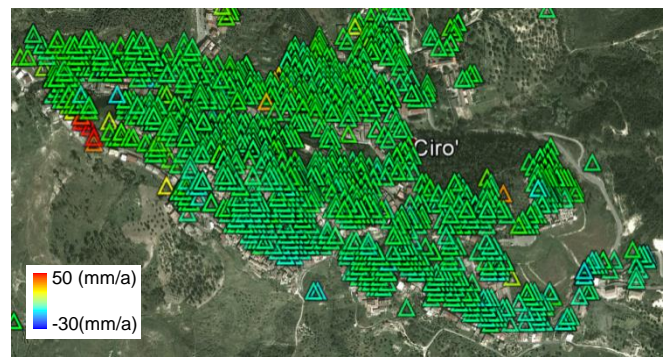
(PCN - MATTM)



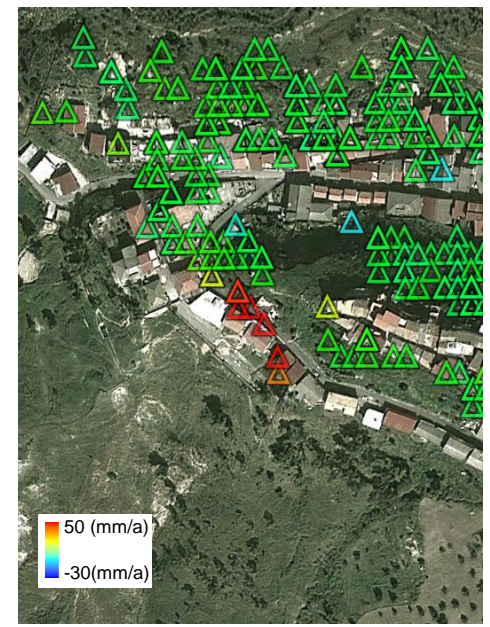
-  Crollo/ribaltamento
-  Scivolamento rotazionale/traslattivo
-  Espansione
-  Colamento lento
-  Colamento rapido
-  Sprofondamento
-  Complesso
-  n.d.



# Cirò Superiore (KR)



**Settembre 2008 - Giugno 2010**





# La diga di Conza della Campania (AV)



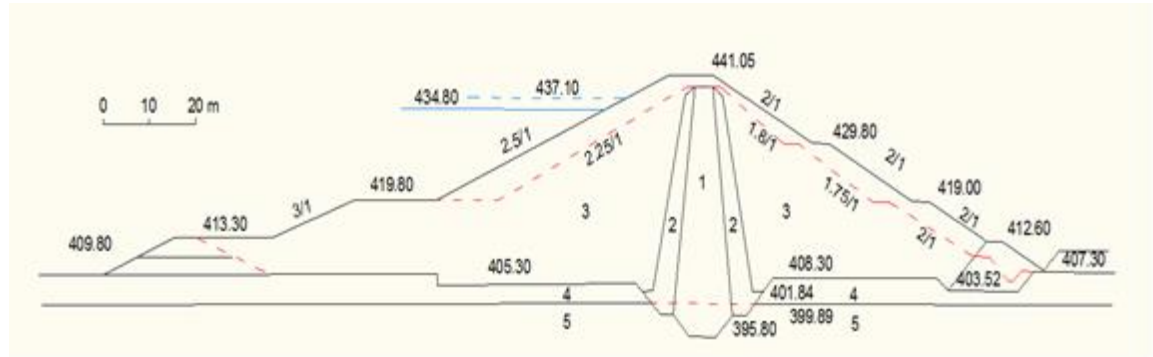
La diga è in terra, zonata, con nucleo centrale impermeabile e controfianchi laterali.

La diga è stata costruita tra il maggio 1979 e il luglio 1988.

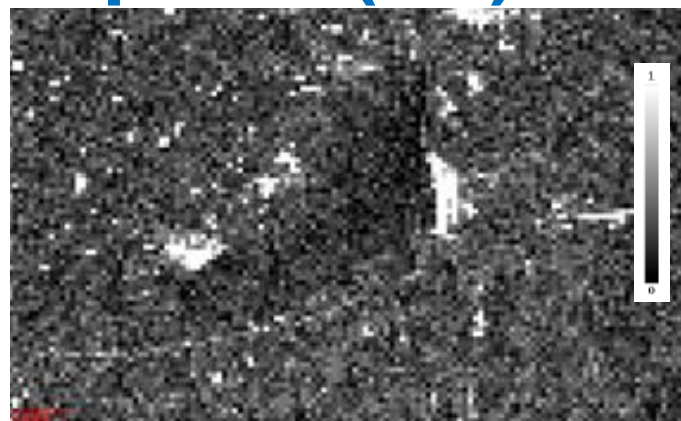
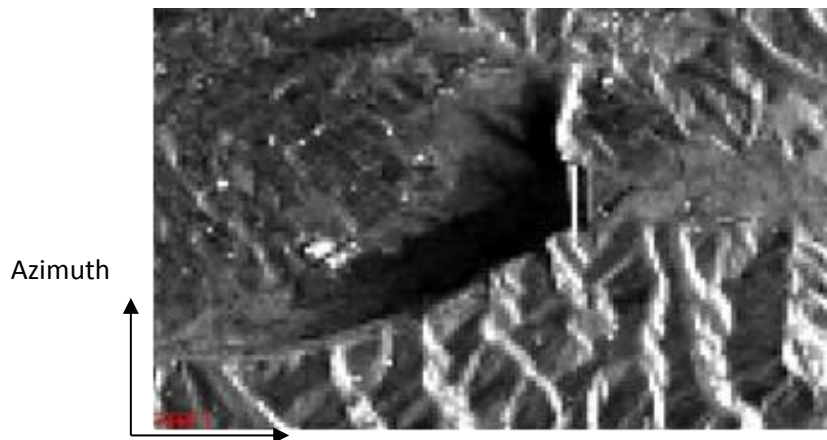
La costruzione è stata interrotta per quasi cinque anni a seguito del terremoto dell'Irpinia del 1980.

altezza massima : 46 m.  
del paramento

capacità massima : 77 milioni  
di invaso di mc.



# Conza della Campania (AV)

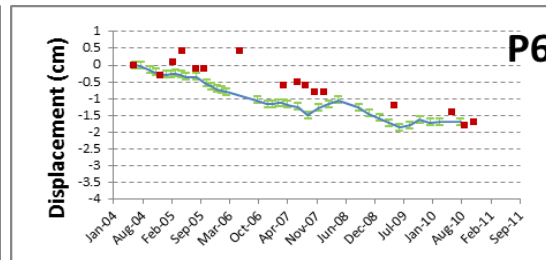
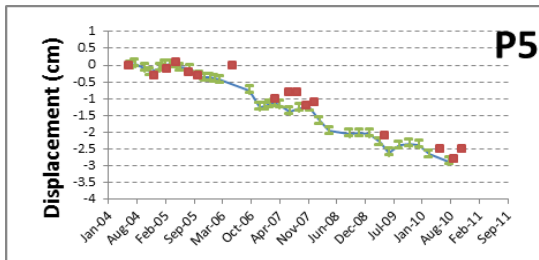
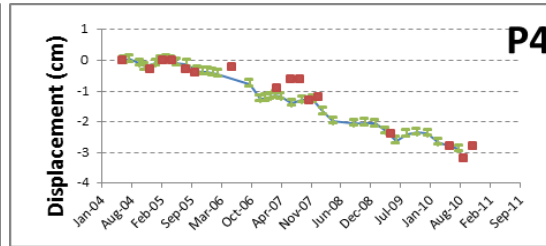
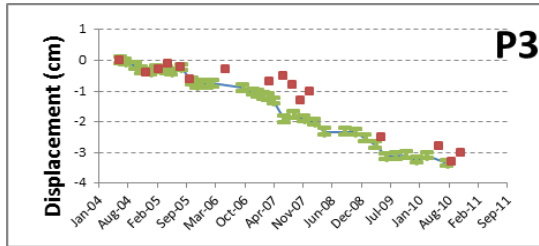
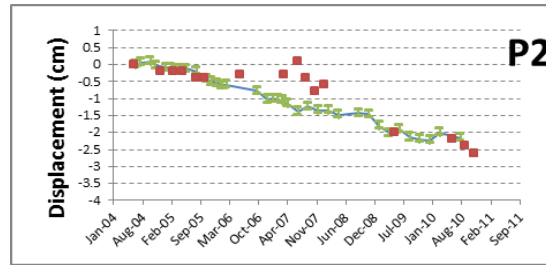
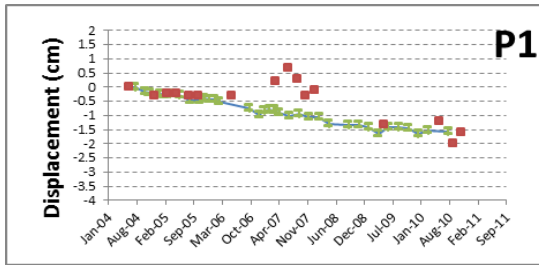


Range



Di Martire et  
al., 2014





Di Martire et al., 2014

	Coerenza	Velocità media [cm/anno]	Deviazione standard di fase [°]	Deviazione standard velocità [cm]
P1	0.49	-0.05	14	0.11
P2	0.50	0.04	13	0.10
P3	0.56	0.18	11	0.09
P4	0.48	0.36	14	0.11
P5	0.54	0.15	12	0.09
P6	0.57	0.35	11	0.09

## Conclusioni

**Confortati da tali risultati, nel futuro bisognerà sempre più sfruttare tale tecnologia facendo tesoro anche di progetti già sviluppati, che hanno dato luogo ad ottimi risultati quali MORFEO (Monitoraggio del rischio da frana con tecniche di Earth Observation), ed il PST-A (Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale) proposto dal Ministero dell'Ambiente.**

**Il primo è stato un progetto pilota per lo sviluppo di servizi pre-operativi di Protezione Civile dalle frane con tecnologie di Earth Observation ed è consistito in un Sistema distribuito in grado di fornire prodotti e servizi di supporto alla previsione ed al monitoraggio per la gestione delle diverse fasi di una emergenza di Protezione Civile. Tra i prodotti infatti erano previsti analisi interferometriche per il monitoraggio di deformazioni superficiali.**

**Il secondo ha avuto come obiettivo quello di realizzare, il più rapidamente possibile, una base dati per il supporto ai processi decisionali in tutte le aree soggette al rischio del dissesto idrogeologico ed a favorire la condivisione di "data set" delle metodologie e dei risultati. Assume quindi valore strategico per il PST-A il proposito di realizzare e rendere fruibile il più vasto "set di dati" riferiti al territorio. Un "set di dati " da acquisire sia tramite un piano mirato di telerilevamento evoluto, sia integrandolo il "set di dati" già realizzati o in corso di realizzazione da parte delle Pubbliche Amministrazioni Centrali o Locali.**

# InSAR software

- **GMTSAR**: An InSAR processing system based on Generic Mapping Tools – open source GNU General Public License: <http://topex.ucsd.edu/gmtsar>
- **IMAGINE SAR Interferometry** – commercial processing package embedded in [ERDAS IMAGINE](#) remote sensing software suite, code is C++ based.
- **ROI PAC** – produced by [NASA's Jet Propulsion Laboratory](#) and [Caltech](#). UNIX based, non-commercial user licenses are available for no charge from [The Open Channel Foundation](#) where the software can be downloaded. Wiki at <http://roipac.org>
- **DORIS** – processing suite from [Delft University of Technology](#), code is C++ based, making it multi-platform portable. Distributed as open source with [conditions](#) from the [DORIS](#) homepage.
- **Gamma Software (IPTA)** – Commercial software suite consisting of different modules covering SAR data processing, SAR Interferometry, differential SAR Interferometry, and Interferometric Point Target Analysis, runs on Solaris, Linux, Mac OS X, Windows, large discount for Research Institutes.
- **SARscape** – Commercial software suite (SARMAP) consisting of different modules covering SAR data processing, running as an extension of ENVI under Windows and Linux.
- **SPINUA** - algorithm implemented by Politecnico di Bari
- **Pulsar** – Commercial software suite, UNIX based.
- **DIAPASON** – Originally developed by the French Space Agency [CNES](#), and maintained by Altamira Information, Commercial software suite, UNIX and Windows based.



# InSAR software

- **RAT** (Radar Tools) – SAR polarimetry (PoISAR), interferometry (InSAR), polarimetric interferometry (PolInSAR) and more, free software suite
- **Orfeo Toolbox** (OTB) – UNIX and Windows based, free software suite
- **Next ESA SAR ToolBox** (NEST) – Windows, Linux, Mac, GNU GPL open source software suite
- **SARPROZ** - InSAR and PSI software package developed by D. Perissin in Matlab
- **StaMPS/MTI** - original version was developed at Stanford University but subsequent development has taken place at Delft University of Technology and the University of Leeds. It is made available for non-commercial applications only and can be downloaded from <http://homepages.see.leeds.ac.uk/>
- **GIAnt** - implemented at California Institute of Technology, distributed through <http://earthdef.caltech.edu>
- **SPN** - InSAR and PSI software package developed by Altamira Information.
- **SUBSOFT** processor – software implemented at UPC of Barcelona – Remote Sensing Laboratory. Linux based in IDL.
- **ISBAS** – algorithm implemented by Andy Sowter at University of Nottingham
- **SUGAR** - algorithm implemented at University of Naples (Department of Electric Engineering). Linux and Windows based in ENVI-IDL