

Interferometria radar (InSAR).

Comparatie cu tehnicile seismice clasice

Valentin Poncos^{1,2,3}, Delia Teleaga,¹

¹Advanced Studies and Research Center, Bucuresti

²Kepler Space Inc, Ottawa

³University of Calgary



Interferometria radar (InSAR).

Comparatie cu tehnicile seismice clasice

Valentin Poncos, Signal Processing Engineer

- GPS Design, Signature Technologies, Vancouver**
- Seismic Signal Processing - Geo-X Systems, Calgary**
- Infrared Signal Processing - Thales Naval Systems - SIRIUS countermeasures**
- Aircrafts Modernization CP140 Aurora - Command and Control Software - Military**
- Synthetic Aperture Radar design and Interferometric applications development - MacDonalD Dettwiler, Canadian Center for Remote Sensing, Kepler Space Inc.**



- **Introducere despre tehnologia SAR (Radarul cu Apertura Sintetica)**
- **Monitorizarea deformatiilor solului la scara redusa. Studii de caz: Alunecari de teren si deformarea locala a solului – Barajul Siriu, Ocnele Mari**
- **Monitorizarea deformatiilor solului la scara mare. Studii de caz –Bucuresti, Delta Dunarii**

Introducere despre tehnologia SAR (Radarul cu Apertura Sintetica)

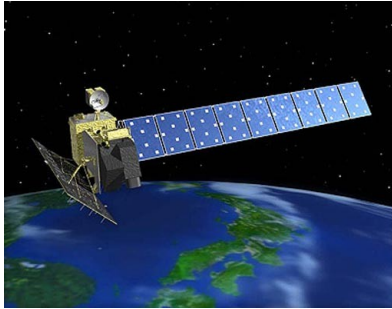
Comparatie SAR - tehnicile seismice clasice

- Romania are o traditie indelungata in domeniul explorarii petroliere prin intermediul tehnicilor de prospectare seismica. Prin urmare, prelucrarea semnalului seismic este un domeniu bine conturat.
- Interferometria radar (InSAR) este o tehnologie recenta, fiind utilizata pentru a dezvolta aplicatii civile doar in ultimii 15 ani.
- Propagarea undelor acustice si a celor electromagnetice este tratata intr-un mod similar.
- Exista importante si numeroase asemanari intre procesarea semnalului obtinut prin tehnica seismica si cea radar. De ex., migrarea undelor seismice, este echivalenta in SAR cu focalizarea undelor electromagnetice si cu detectia imaginii radar.
- Mai mult, tehnicile de procesare a semnalului radar, utilizate pentru a extrage informatii, sunt tehnici cu utilizare larga importate din domeniul telecomunicatiilor.

Comparatie SAR - tehnicile seismice clasice - diferente

- Tehnicile seismice pot masura structura geologica cu o precizie de cativa metri.
 - Semnalul seismic nu este coerent – desi faza semnalului este utilizata in anumite tehnici de migratie, aceasta nu poate fi bine controlata si mentinuta (datorita tipului generatoarelor de semnal), iar rezolutia este realizata, in principal, prin tehnici de corelare.
- Prin tehnologia InSAR se poate obtine o precizie de masurare milimetrica din spatiu, deoarece modul de achizitie a semnalului radar poate simula o antena de dimensiuni suficient de mari, si cel mai important, masuratorile sunt coerente (faza undei electromagnetice fiind mentinuta)
 - Cu un nivel acceptat al zgomotului de 10% din lungimea de unda (de ex. 5.6 cm pentru Envisat ASAR), precizia masuratorilor cu tehnologia SAR este milimetrica (la 2.8 milimetri pentru ASAR).

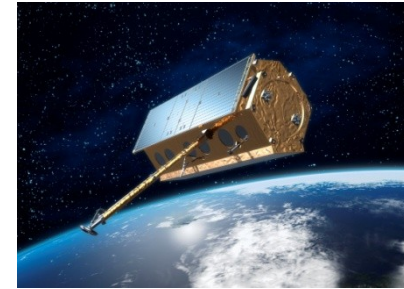
Observand Pamantul din Spatiu



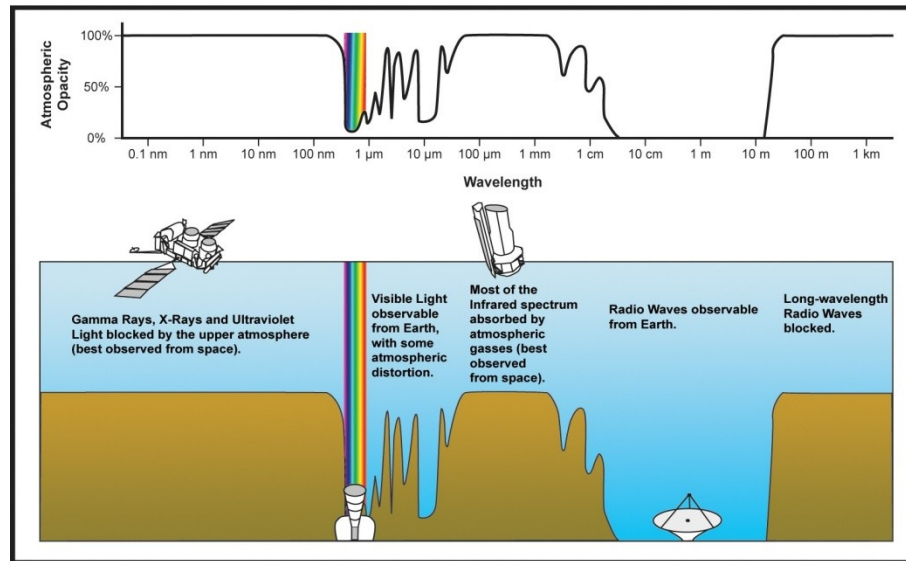
ALOS PaISAR, $\lambda=23.6$ cm



Envisat ASAR, $\lambda=5.6$ cm

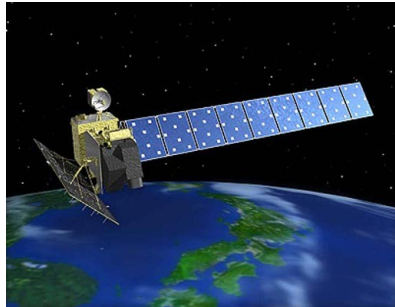


Terra-SAR X, $\lambda=3.1$ cm



Spectrul absorbtiei electromagnetice naturale

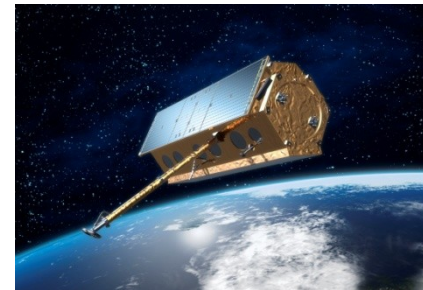
Observand Pamantul din Spatiu



ALOS Palsar, L band



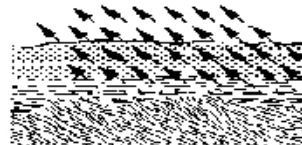
Envisat ASAR, C band



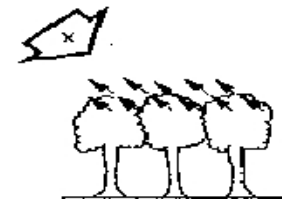
Terra-SAR, X band



L BAND
23 cm



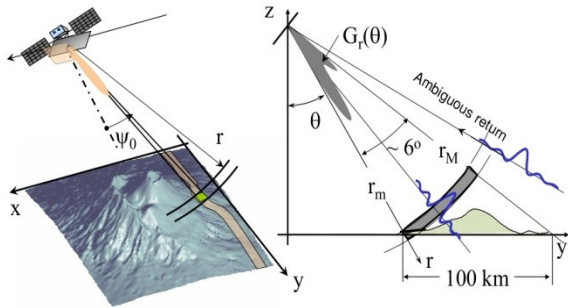
C BAND
6 cm



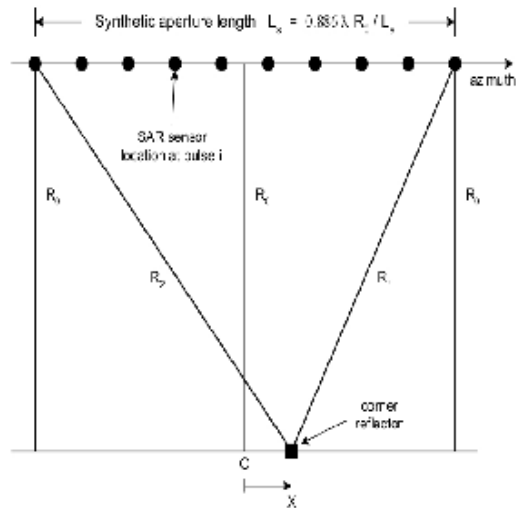
X BAND
3 cm

Relatia dintre lungimea de unda si capacitatea de penetrare a unei radar

Observand Pamantul din Spatiu



Geometria de achizitie pentru SAR



Locatiile de emisie-receptie ale instrumentului radar, ilustrand astfel conceptul de apertura sintetica (geometrie corespunzand cu CMP in seismica)



Generator vibroseis



Linie seismica

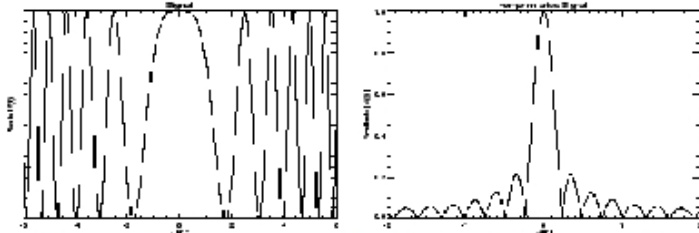


Receptor acustic - geofon

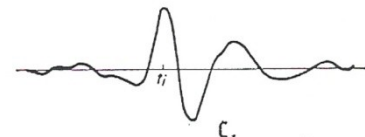


Linii seismice multiple

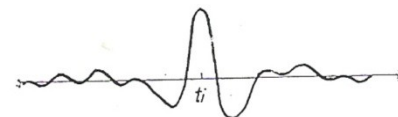
Observand Pamantul din Spatiu



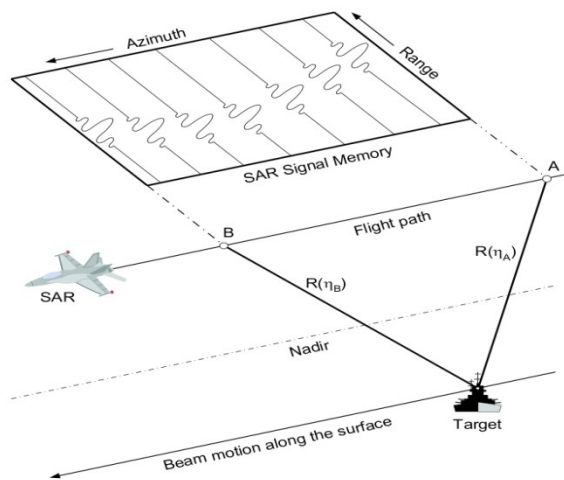
Deconvolutia semnalului: partea reala a raspunsului complex a unui punct tinta teoretic (stanga) si amplitudinea semnalului deconvoluat (dreapta)



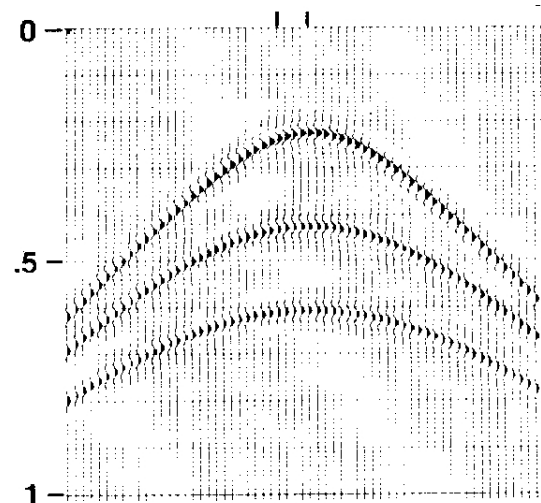
Semnal vibrozeis



Semnal vibrozeis, deconvoluat

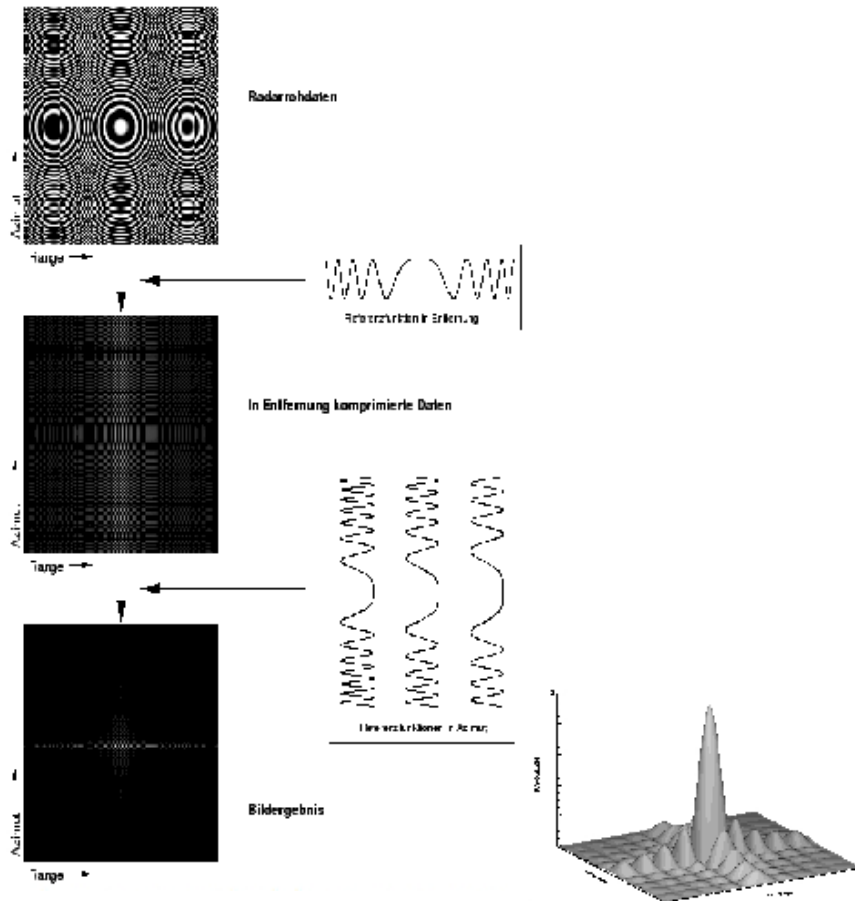


Formatul datelor 2D inregistrate in memoria calculatorului

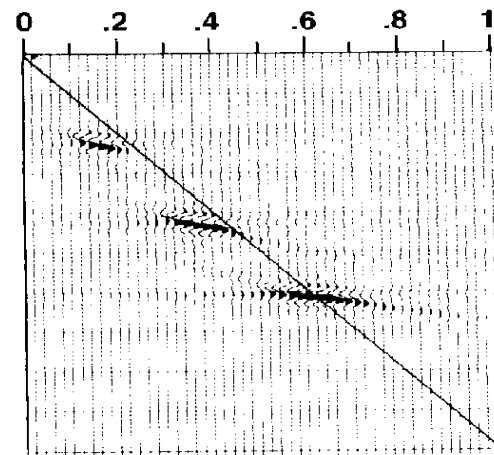
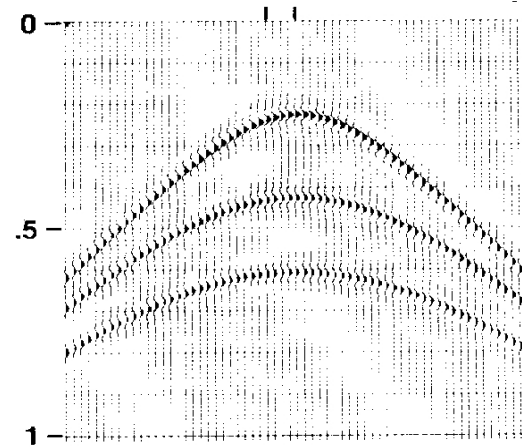


Hiperbolele inregistrate pentru 3 puncte de reflexie

Observand Pamantul din Spatiu

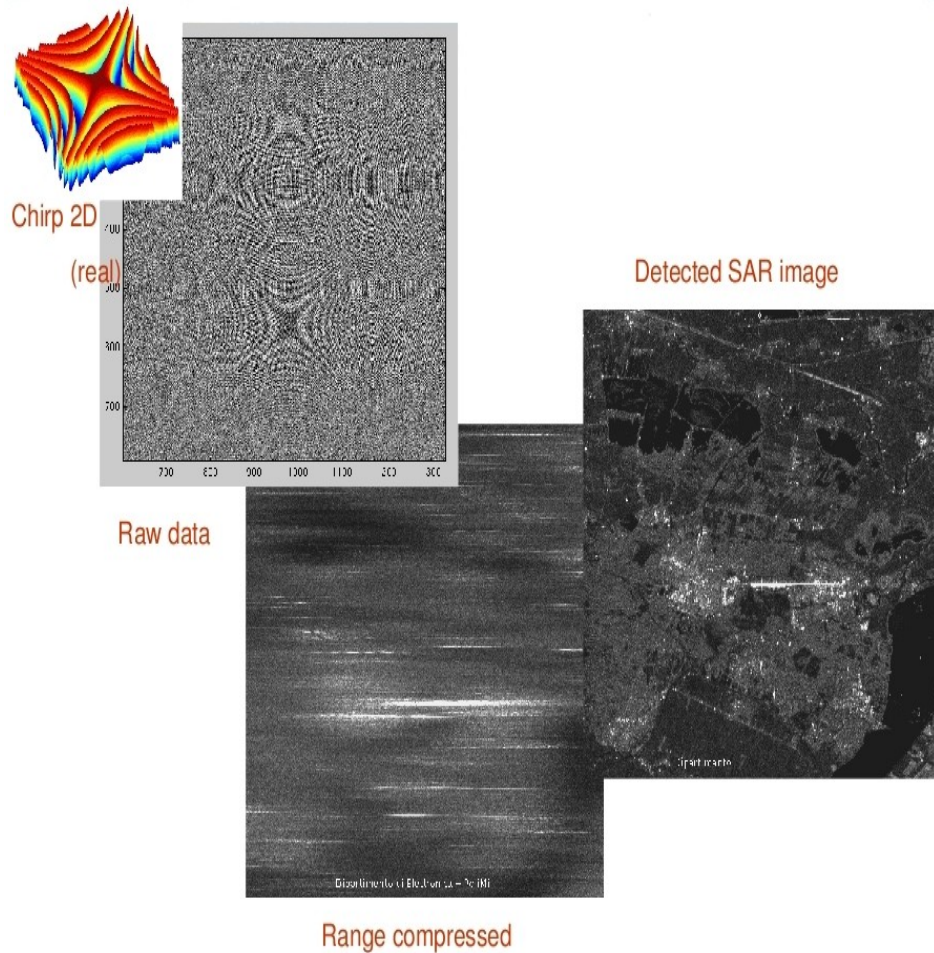


Procesarea unei tinte radar

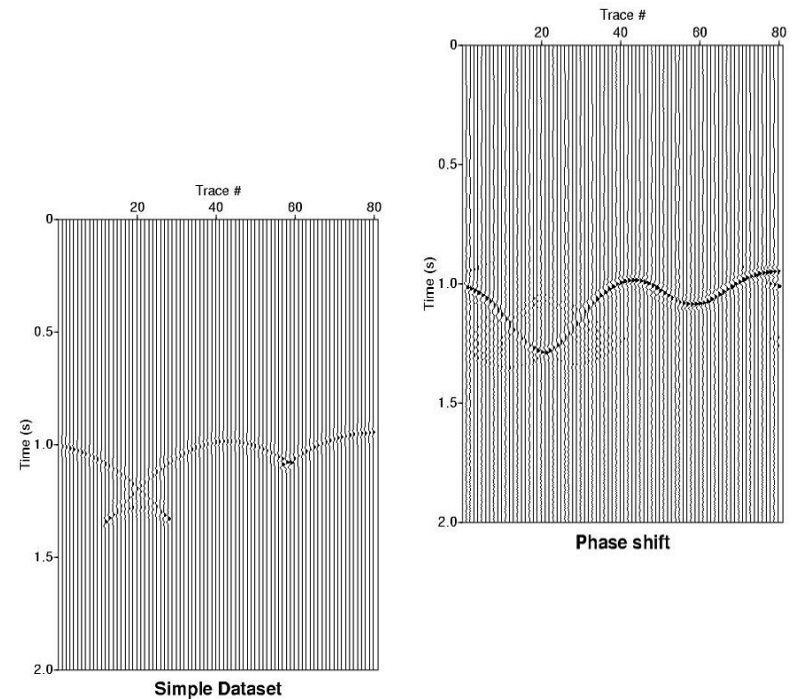


Hiperbole de reflexie (sus) si rezultatul migrarii (jos)

Observand Pamantul din Spatiu

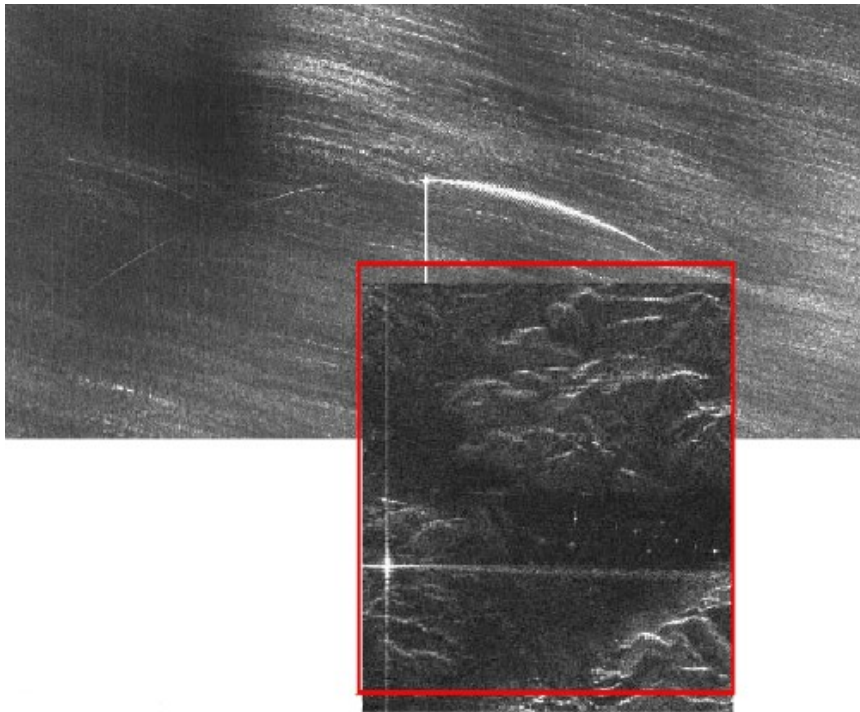


Exemplu de focalizare si detectie de imagine cu date reale

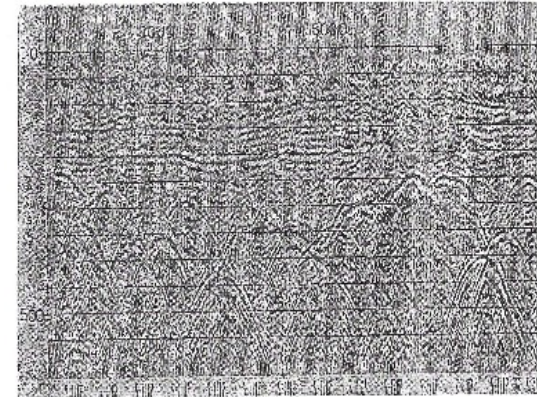


Exemplu de migrare pentru o structura geologica

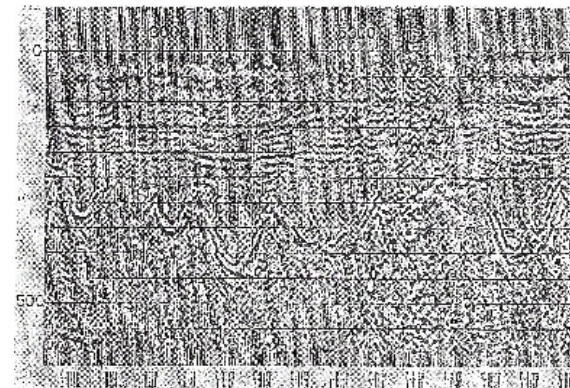
Observand Pamantul din Spatiu



Exemplu de detectie a unei tinte cu amplitudine ridicata

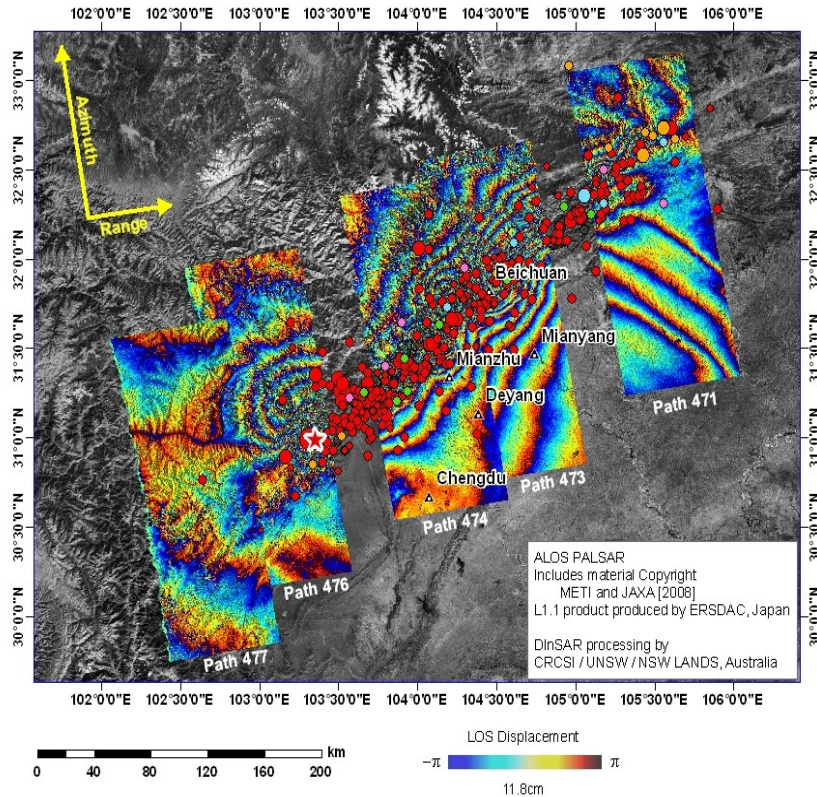


Sectiune seismica inainte de migrare



Sectiunea seismica dupa migrare

Observand Pamantul din Spatiu



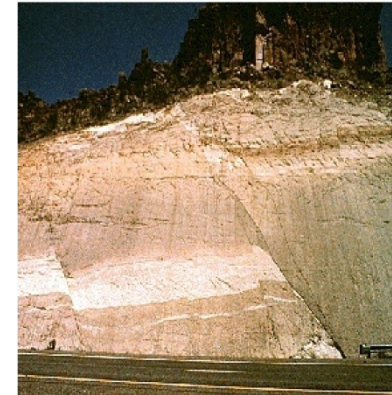
★ Sichuan earthquake, M8.0
12 May 2008

Aftershocks

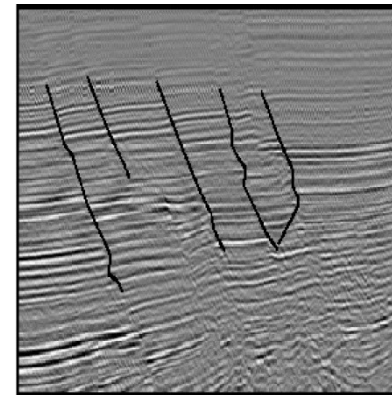
- 3.4 - 4 6 - 10 Jun 2008
- 4 - 5 1 - 5 Jun 2008
- 5 - 6 25 - 31 May 2008
- 6 - 7 20 - 24 May 2008
- 7 - 8 12 - 19 May 2008

- Path 471: 29 Feb 2008 - 31 May 2008 (right)
Bperp = 120 m, Btemp = 92 days
- Path 473: 17 Feb 2008 - 19 May 2008
Bperp = 252 m, Btemp = 92 days
- Path 474: 6 Mar 2008 - 5 Jun 2008
Bperp = 285 m, Btemp = 92 days
- Path 476: 8 Apr 2008 - 24 May 2008
Bperp = -190 m, Btemp = 46 days
- Path 477: 25 Apr 2008 - 10 Jun 2008 (left)
Bperp = -77 m, Btemp = 46 days

Result generated at:
AEST 6:52pm (UTC 8:52am)
11 Jun 2008



Zona test cu falii geologice

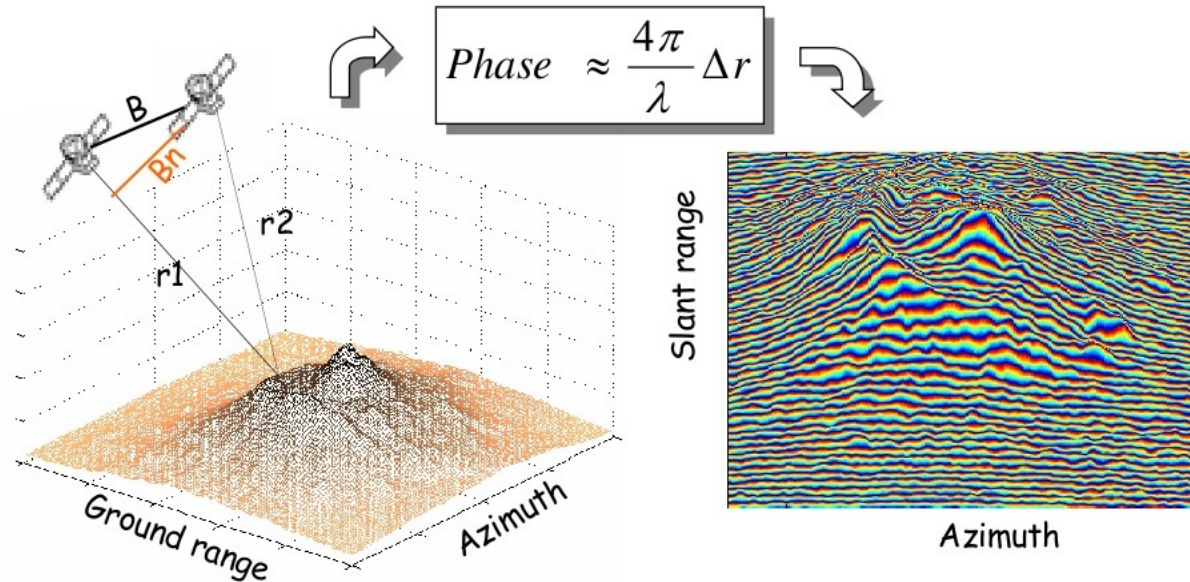


Falii geologice detectate prin tomografie seismica. Deformarea nu poate fi masurata prin aceasta tehnica.

Detectia unei falii active si masurarea precisa a deformarii scoartei terestre prin interferometrie (folosind mai multe imagini SAR)

Observand Pamantul din Spatiu

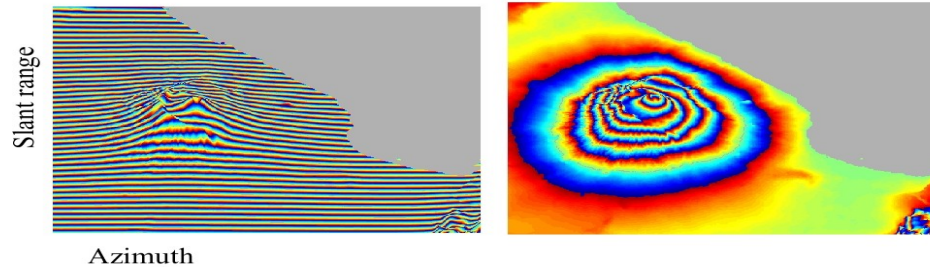
SAR interferometric phase: geometric contribution



Formarea unei interferograme radar (InSAR): geometria de achizitie (stanga); structura predominanta a interferogramei este data de avansul fazei de-a lungul suprafetei terestre (flat Earth phase) (dreapta). O franja interferometrica (un ciclu complet de culoare) reprezinta 360 grade diferenta de faza.

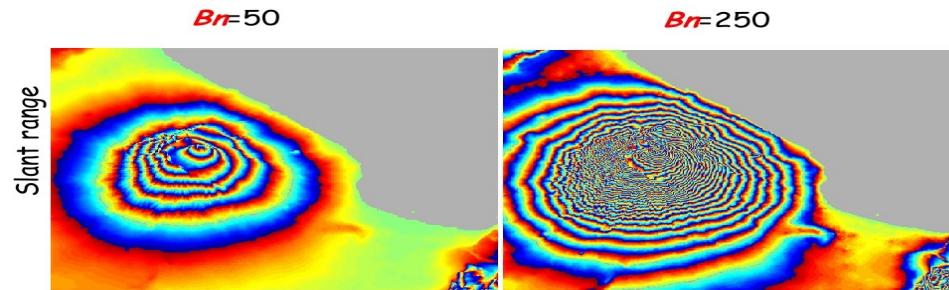
Observand Pamantul din Spatiu

Interferogram flattening



Mt. Vesuvius, baseline 50 m.

Rezultatul eliminarii fazei provenite din avansul semnalului de-a lungul scoartei terestre (dreapta) reprezinta o combinatie de faza indusa de topographie, deformare si eventuale perturbatii atmosferice



Exemplu de 2 interferograme diferite pe aceeași zonă, achiziționate cu distanțe diferite între senzori. Cu cât mai mare distanța între senzori, cu atât mai multe franje. Cu cât mai multe franje, cu atât mai precis este măsurată topografia. Precizia măsurării deformării nu depinde de geometria de achiziție.

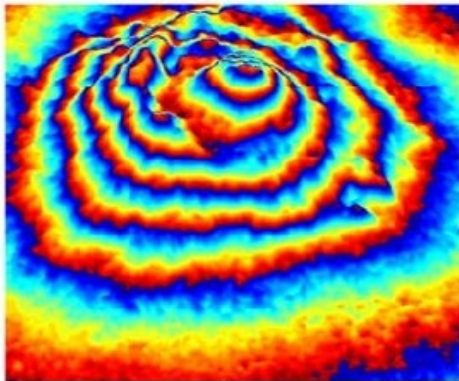
Observand Pamantul din Spatiu

The Interferometric phase has 2π periodicity

Altitude of ambiguity: height difference generating a 2π phase change

$B_n = 50$ m

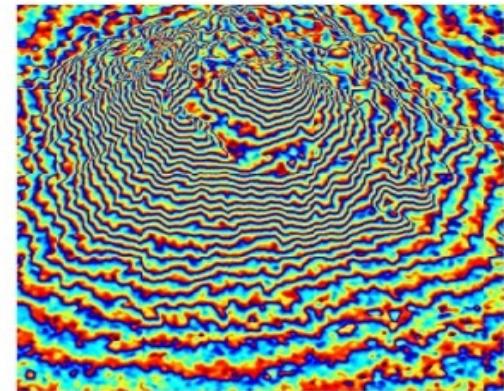
$$\Delta q_a \approx 188 \text{ m}$$



$B_n = 250$ m

$$\Delta q_a \approx 37 \text{ m}$$

$$\Delta q_a = \frac{\lambda}{2B_n} \sin \theta R$$
$$\Delta q_a \times B_n = \frac{\lambda}{2} \sin \theta R$$



The greater the baseline, the greater the height accuracy

Inaltimea ambigua reprezinta diferenta in inaltime care genereaza o schimbare in faza de 360 grade.
Inaltimea ambigua e invers proportionala cu distanta dintre senzori.

Monitorizarea deformatiilor solului la scara redusa. Studiu de caz: Alunecari de teren si deformarea locala a solului – Barajul Siriu

- Zona Siriu a fost aleasa ca zona de test datorita binecunoscutelor alunecari de teren.
- Initial, monitorizarea s-a concentrat la zona “Groapa Vantului”. Dupa analiza rezultatelor au fost identificate si alte zone cu deplasari semnificative, fara o cunoastere prealabila a lor.
- Astfel, in continuare vor fi descrise un numar de 4 zone dovedite a fi dinamice.



Fig.1 Zona Siriu, judetul Buzau, Romania

Zona 1: Alunecarea de la Groapa Vantului

- Alunecarea s-a declanșat în primăvara anului 2006 iar faza de deplasare rapidă a depozitelor a durat circa săptămână, interval în care a fost barată chiuveta lacului.

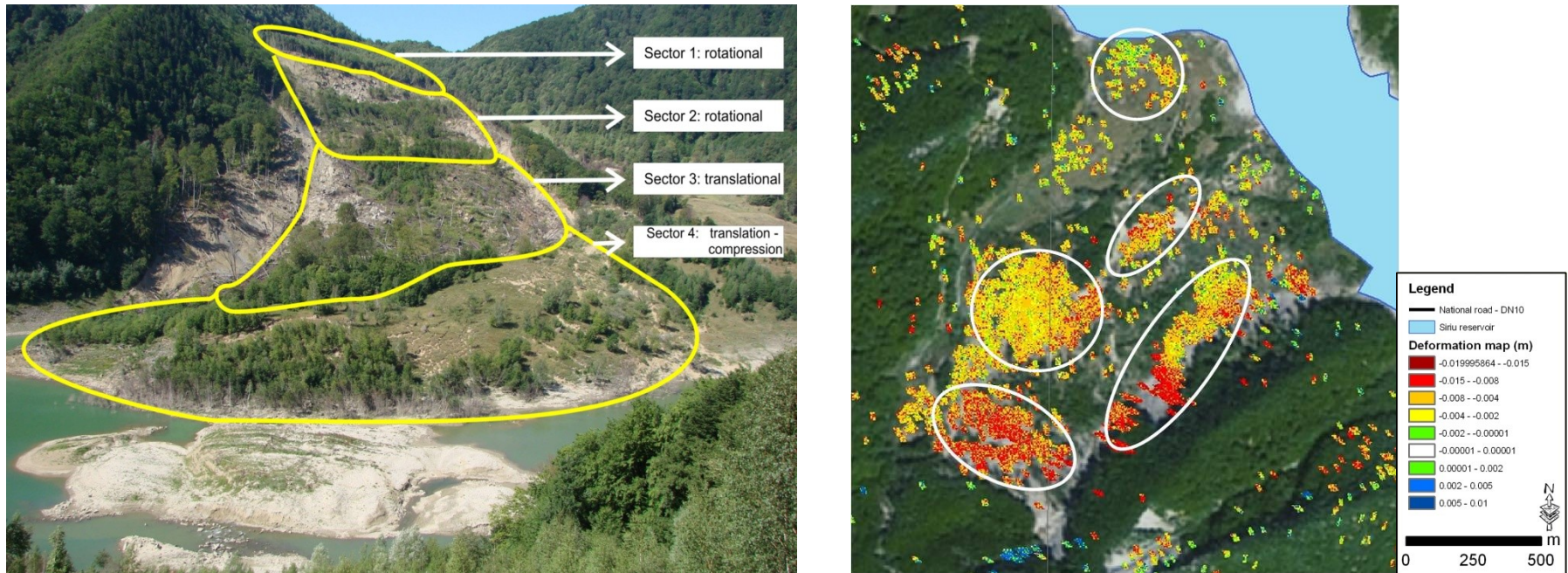


Fig.2 Zona "Groapa Vantului" (stanga – fotografie*, dreapta – harta de deformare)

*fotografie si explicatii puse la dispozitie de acad. Dan Balteanu, dr. Mihai Micu, Institutul de Geografie Bucuresti

Zona 2: Sectorul drumului national DN10

- De-a lungul drumului national DN10 a fost detectata o alunecare de teren extinsa cu valori de deplasare variate, de la foarte mici pana la extreme (2 cm/11 zile). De asemenea, alunecari de teren proaspete care au avut loc intre cele doua date de achizitie ale imaginilor radar au fost detectate prin scaderea nivelului de coerenta in zonele alunecarilor.

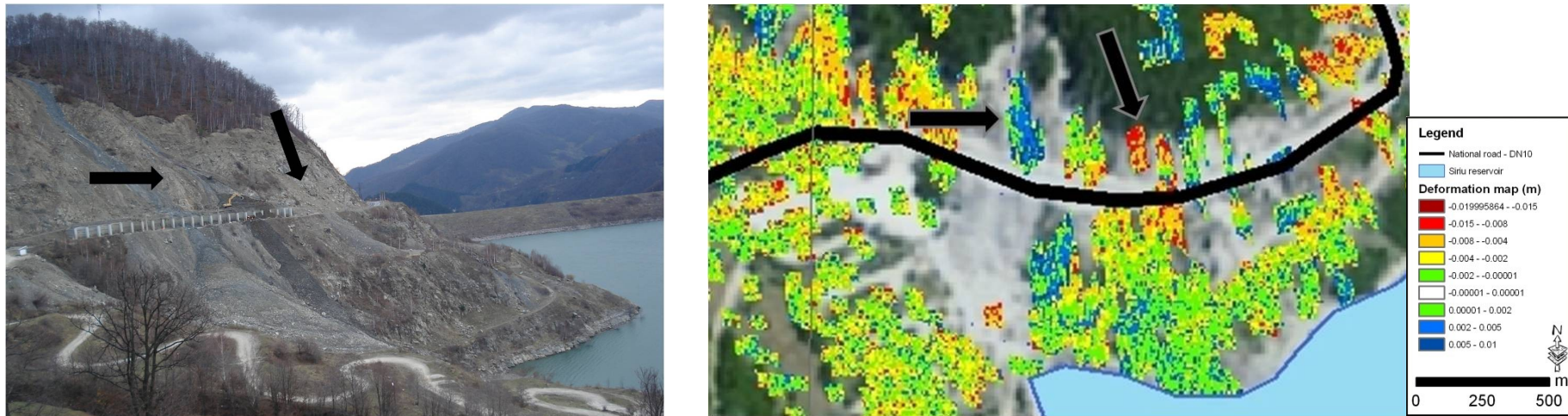


Fig.3 Alunecare de teren afectand DN10 (stanga- fotografie, dreapta- harta de deformare)

Zona 3: Sectorul canalului deversor

- Un caz interesant este reprezentat de canalul deversor, care este prins între două areale cu deplasări convergente ce pot fi considerate un risc pentru stabilitatea și funcționalitatea sa în timp.
- Pe harta deformărilor, acest lucru este scos în evidență de arealele colorate diferit (galben-portocaliu/albastru) care reflectă deplasări cu sens contrar cu viteze de 5-8 mm/11 zile în partea vestică și 3-5 mm/11 zile în partea estică). Partea estică este de asemenea conectată la un versant format din straturi de gresie acoperite de depuneri argiloase instabile a căror mișcare de alunecare măsurată prin interferometrie indică valori relativ ridicate (până la 10 mm/11 zile, verde/albastru).

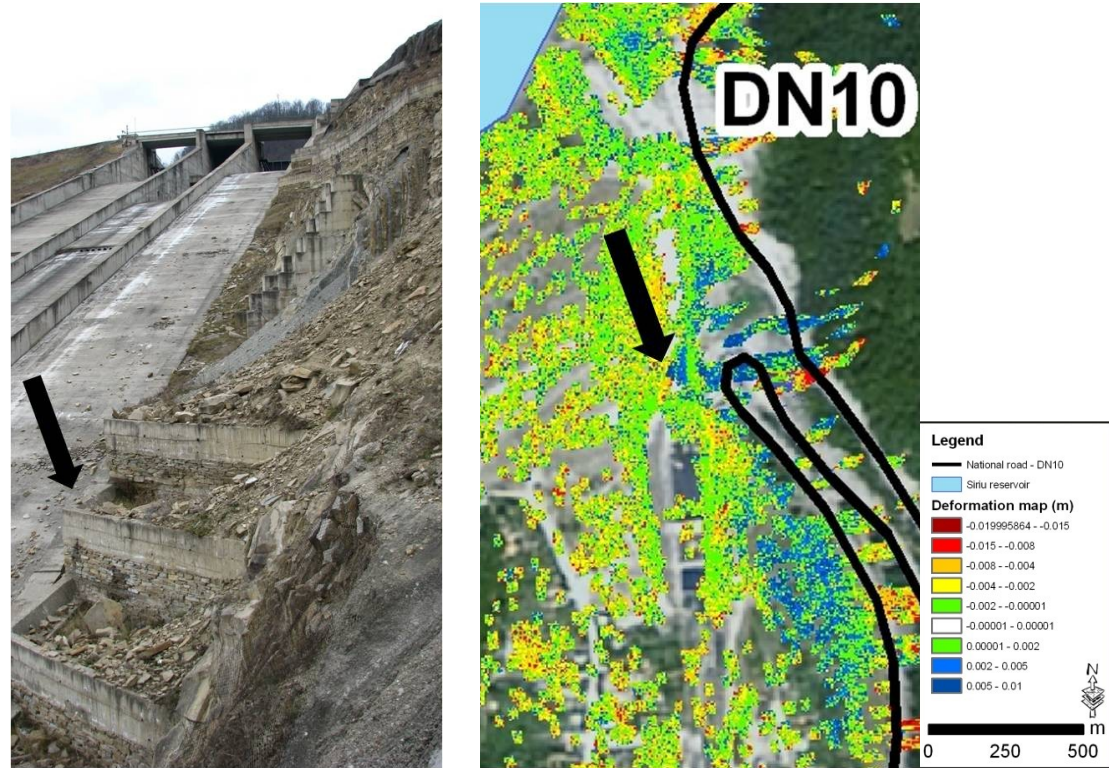
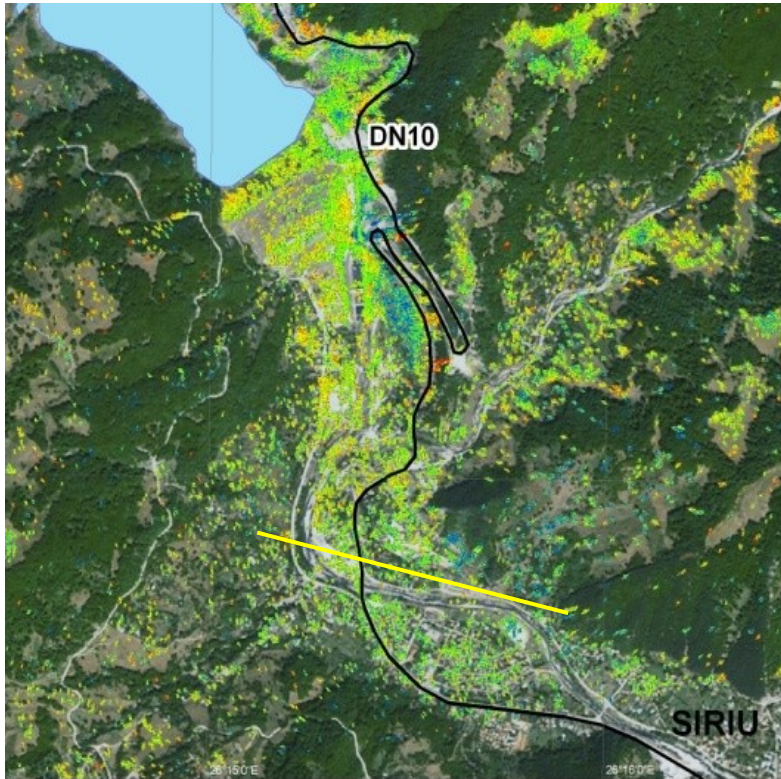


Fig.4 Canalul deversor (stanga) și harta de deformare (dreapta)

Zona 4: Sectorul baraj-colonie



- Din măsurătorile interferometrice se observă o mișcare ușoară de subsidență a barajului și a întregii zone în aval de baraj aproximativ până la confluența cu paraul Casoca, cu viteze de deformare de 2-5 milimetri/11 zile. La sud de paraul Casoca, satul Siriu apare ca zonă stabilă, de aceea a și fost luat ca zonă de referință pentru calculul hărții de deformare.

Fig.5 Harta de deformare în zona barajului și satului Siriu

Directia de vedere
a satelitelui

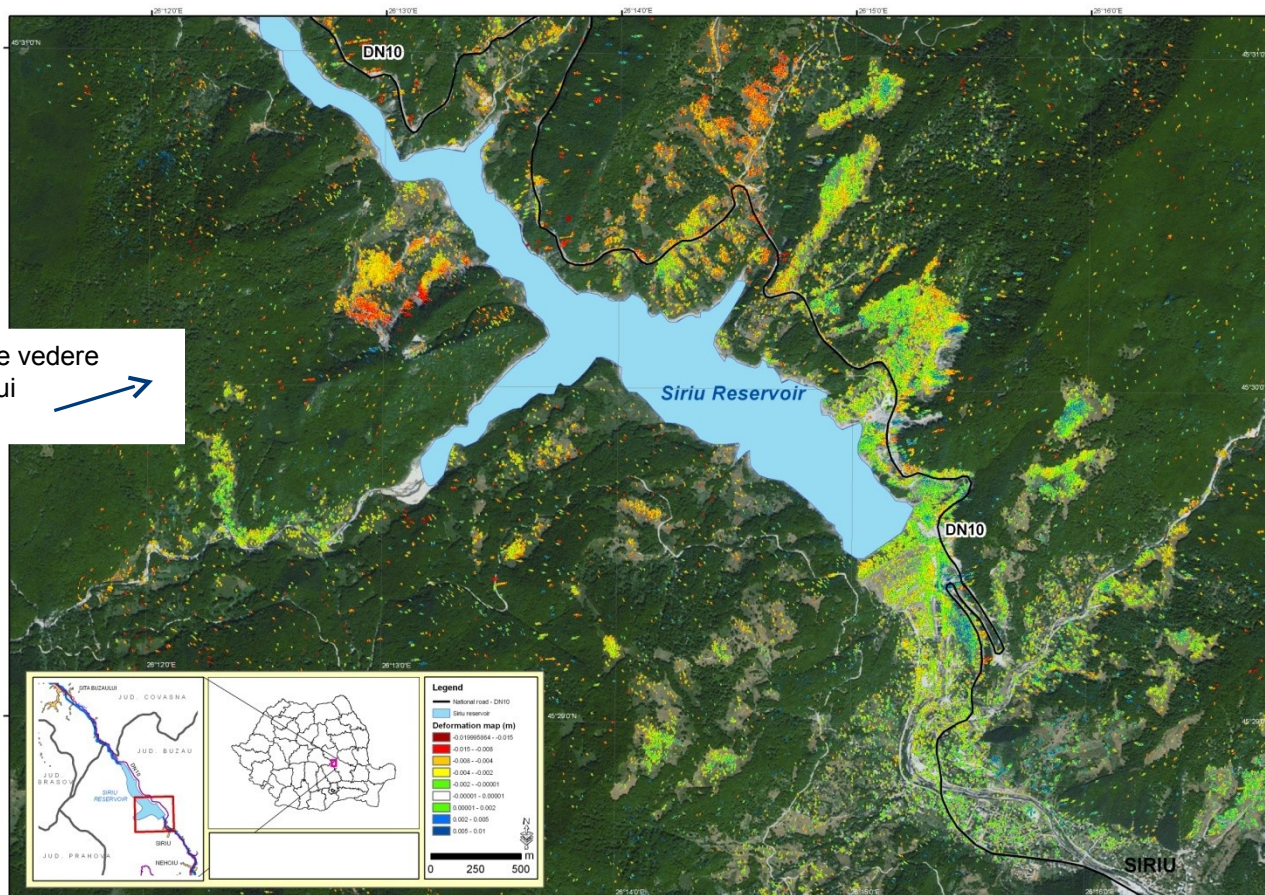
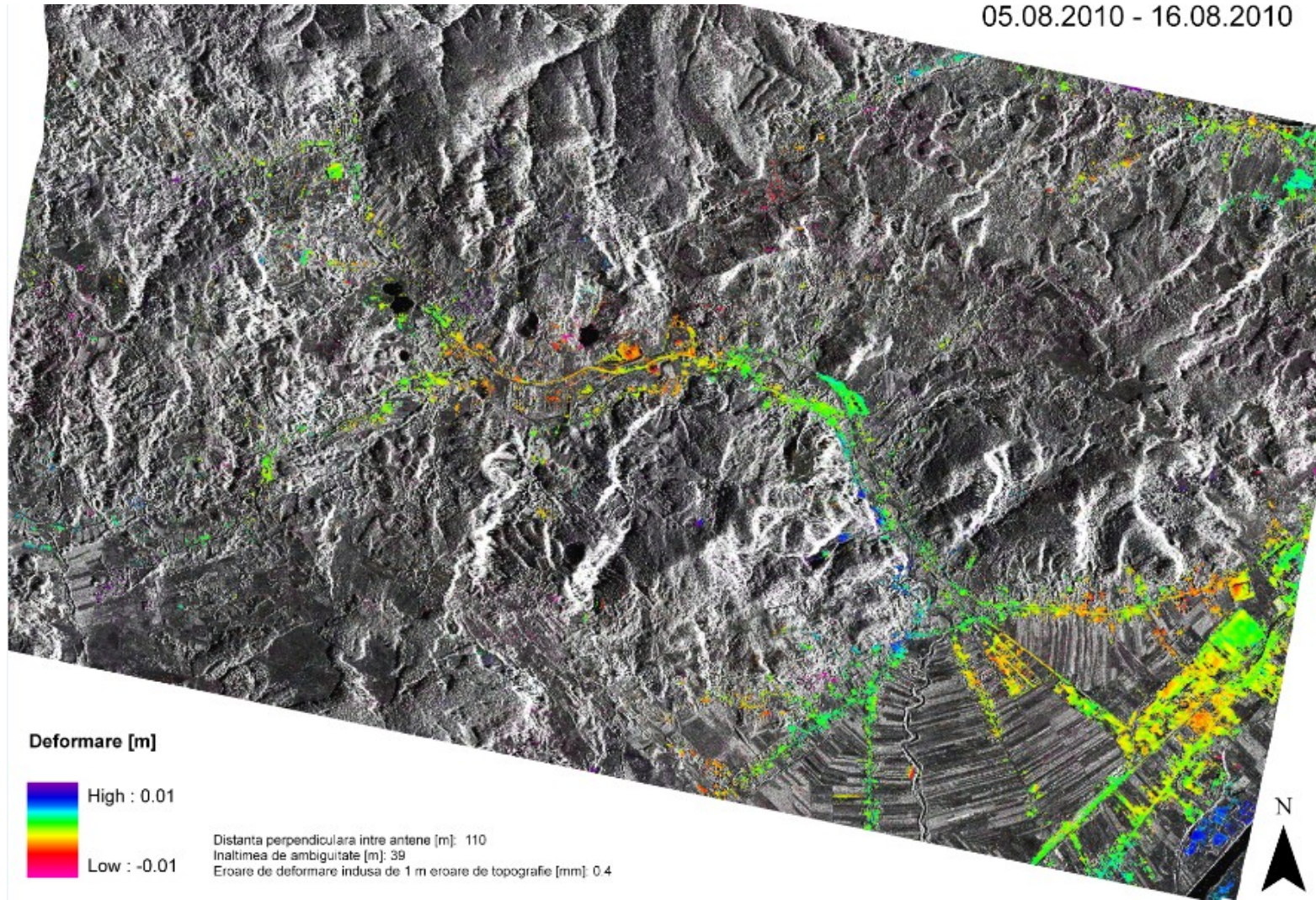
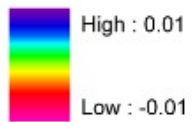


Fig.6 Harta de deformare incluzand toata zona Siriu

05.08.2010 - 16.08.2010



Deformare [m]



Distanta perpendiculara intre antene [m]: 110
Inaltimea de ambiguitate [m]: 39
Eroare de deformare indusa de 1 m eroare de topografie [mm]: 0.4

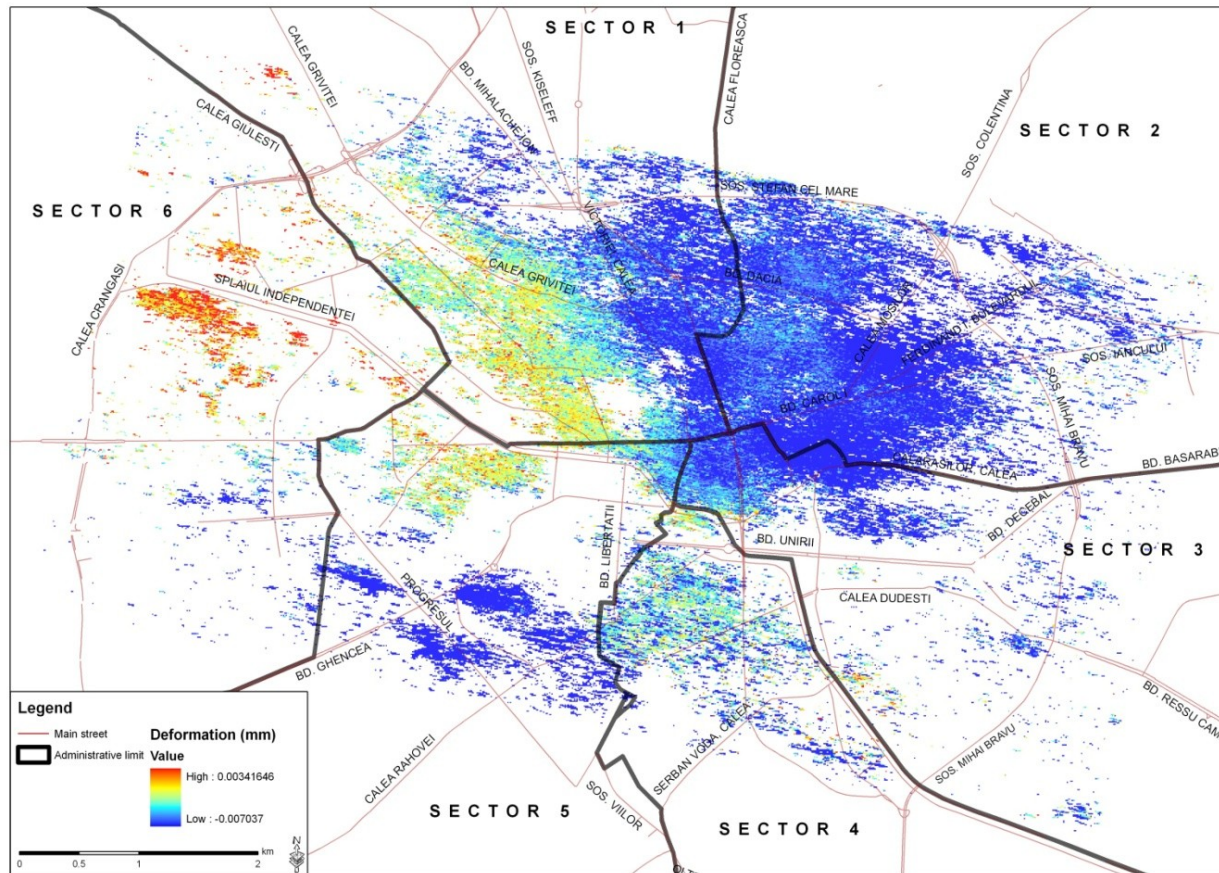


Monitorizarea deformatiilor solului la scara mare. Studiu de caz: Bucuresti



*Fig. 7 Imagine ERS-1 a Bucurestiului.
Zonele deschise la culoare au semnal radar puternic.*

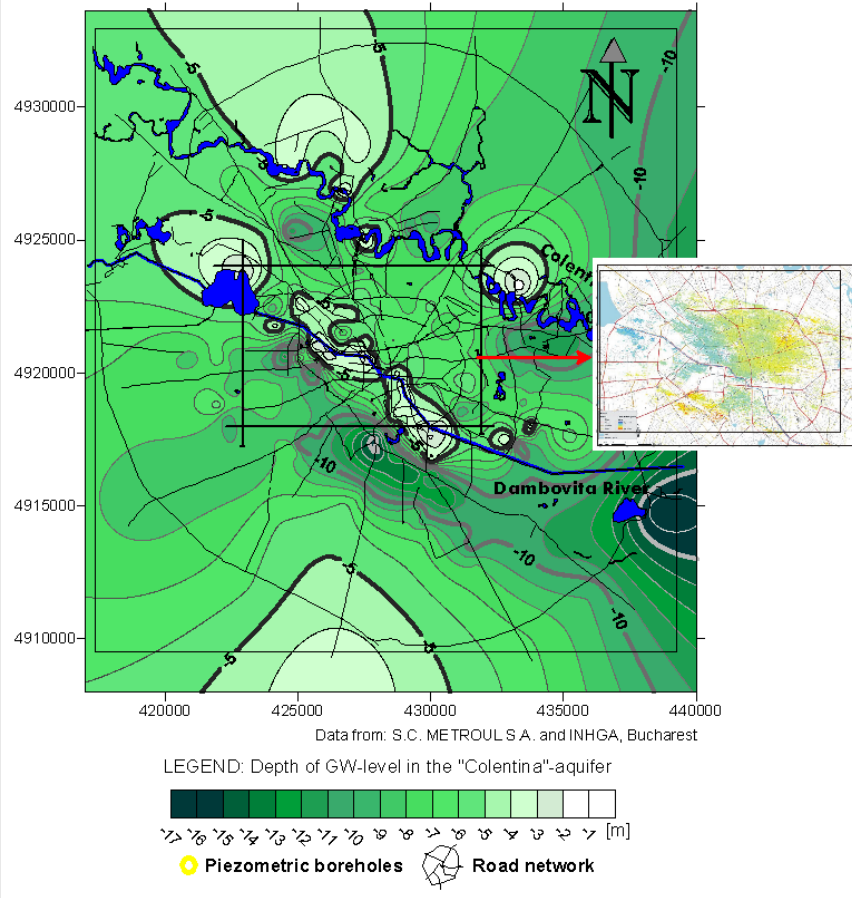
Harta de deformare (Bucuresti)



*Fig. 8 Harta de deformare a Bucurestiului;
se pot identifica zone care sufera un proces de tasare/subsidenta*

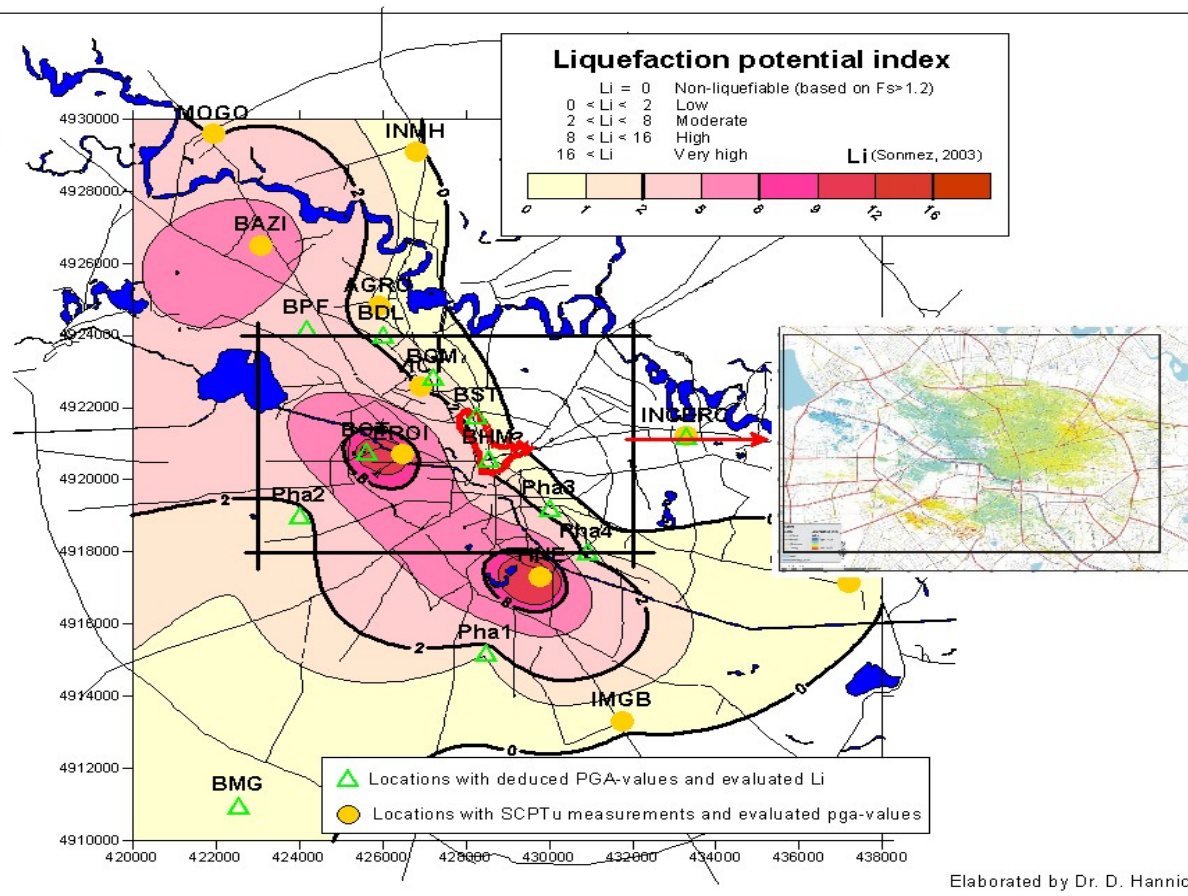
Depth of groundwater level in the "Colentina"-aquifer January 2004

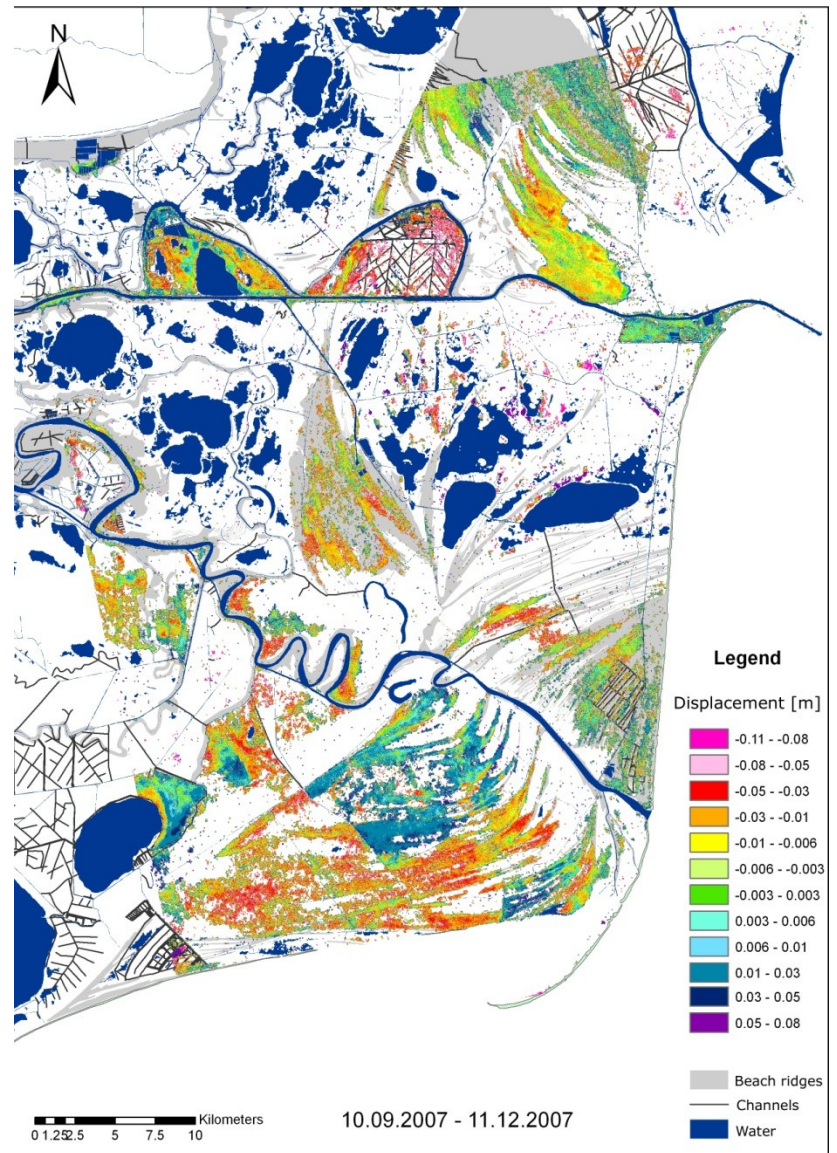
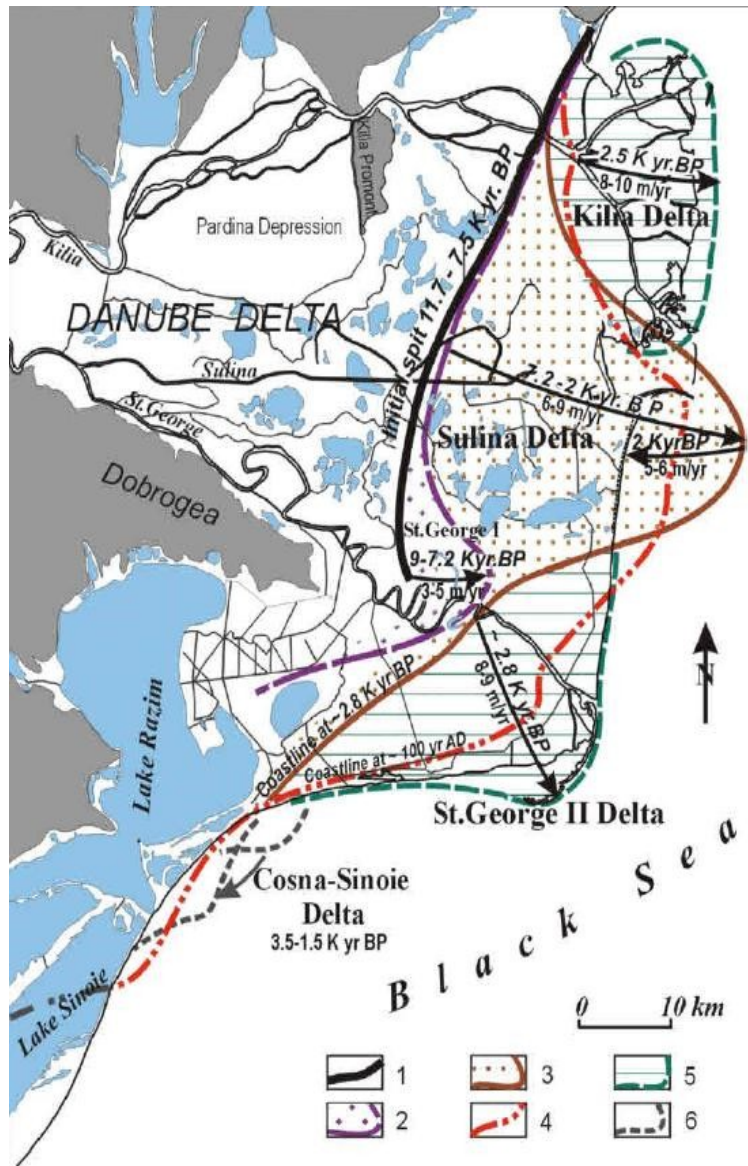
Elaborated at the University of Karlsruhe, Dept. of Applied Geology, Dr. D. Hannich





Karlsruhe Institute of Technology
UNIVERSITY (TH) OF KARLSRUHE
Institute for Applied Geosciences
Dept. of Hydrogeology





Monitorizare zonei Bucurestiului la rezolutie inalta folosind date de la senzorul TerraSAR-X

- Din date TerraSAR-X a fost creat un model de elevatie (DEM) pe Bucuresti.
- Rezultatele au fost comparate pentru un caz particular (Casa Poporului) cu un model 3D disponibil in Google Earth.



Fig. 9 Imagine TerraSAR-X a Bucurestiului

Monitorizare zonei Bucurestiului la rezolutie inalta folosind date de la senzorul TerraSAR-X

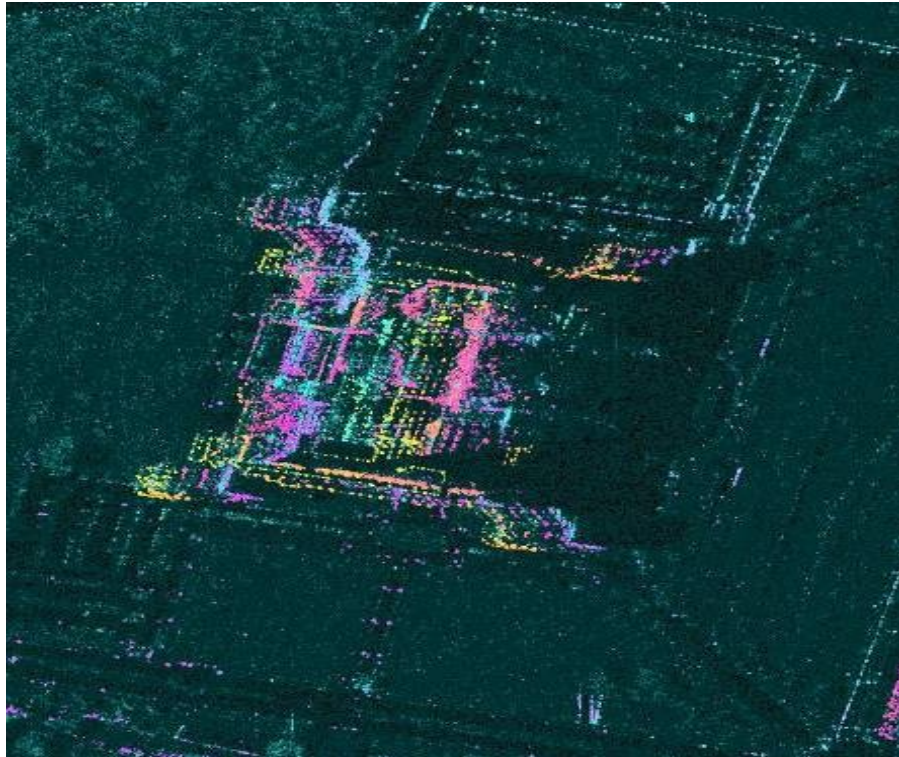


Fig. 10 Model de elevatie al Casei Poporului



Fig. 11 Model 3D al Casei Poporului (Google Earth)

Monitorizare zonei Bucurestiului la rezolutie inalta folosind date de la senzorul TerraSAR-X

Analiza de erori

- La rezolutia de sub un metru se pot observa direct punctele de reflexie radar; este posibila identificarea si masurarea directa a unui numar de puncte pentru a testa calitatea datelor.
- Erorile teoretice de faza pot fi estimate din raportul semnal/zgomot, modelul statistic al tintelor radar (punct sau distribuite) si din caracteristicile de filtrare spatiaa aplicata pentru reducerea zgomotului. Calitatea fazei poate fi calculata si tradusa in eroare topografica.
- Deviatia standard teoretica in inaltime, corespunzand cu 5 db SNR pentru geometria curenta de achizitie este de 14 m.
- Ca test de calitate a fost extrasa informatia topografica relativa intre doua zone de pe Casa Poporului.
- Au fost selectate 15 esantioane de faza din fiecare din cele doua zone de test de pe Casa Poporului; inaltimea relativa a fost calculata si analizata statistic.
- $\lambda=3.1 \text{ cm}$, $R=514 \text{ km}$, $\theta=41^\circ$, $B_{\text{perp}}=45 \text{ m} \Rightarrow h_{\text{amb}}=154 \text{ m}$

Monitorizare zonei Bucurestiului la rezolutie inalta folosind date de la senzorul TerraSAR-X

Analiza de erori

- Deviatia standard masurata pe date reale, $\Delta h = 3 - 4 m$, este mult mai buna decat cei 14 m deviatie standard teoretica (echivalent cu 15 SNR)

=> Eroarea de faza $\Delta\Phi = 2\pi \frac{\Delta h}{h_{amb}} = 7 - 9^\circ$

- => Eroarea de deformare echivalenta

$$\Delta h_{diff} = \frac{\lambda}{4\pi} \Delta\Phi = 0.3 - 0.4 mm$$

- Comparatie intre diferenta de inaltime masurata din datele radar si cea extrasa din modelul 3D al Casei Poporului:

Average measured height difference	121.32 - 90.61 = 30.71 m
Height difference from the model	207.00 - 174.00 = 33.00 m

Sample	Area 1 [m]	Area 2 [m]
1	92.87	130.44
2	83.00	117.56
3	93.66	116.23
4	94.80	118.40
5	92.98	122.09
6	87.39	127.69
7	90.00	121.00
8	92.37	115.00
9	89.69	118.00
10	90.68	118.00
11	91.67	123.00
12	91.60	121.50
13	85.35	121.89
14	92.33	123.53
15	90.82	125.45
Average [m]	90.61	121.32
Min / Max	83.00 / 94.50	115.00 / 130.50
StDev [m]	3.20	4.31
Model [m]	174.00	207.00