



Advanced Studies and Research Center
Str. Ion Luca Caragiale nr. 19, Bucharest
Phone: +40-21-3133314, Fax: +40-21-3133315
info@asrc.ro
www.asrc.ro

Interferometria radar (InSAR) si monitorizarea deformarii terenului

Valentin Poncos, Delia Teleaga

Advanced Studies and Research Center

Bucuresti, 12 februarie 2010

Cu referinte de la:

- **Prof. Fabio Rocca, Politecnico di Milano**
- **Dr. Virgil Bardan, Honorary member of the EAEG (European Association of Exploration Geophysicists)**
- **Dr. Andreas Reigber, German Aerospace Center**
- **Poncos V., InSAR Processing: Processing methodology, analysis procedures and results. The Persistent Scatterers techniques applied to corner reflectors, InSAR Monitoring of Active Geohazards Sites in Canada GRIP Annual Report, Canadian Centre for Remote Sensing, pp. 19-37, 2008.**

- **Introducere despre tehnologia SAR (Radarul cu Apertura Sintetica)**
- **Monitorizarea deformatiilor terenului la scara redusa. Studiu de caz: Alunecari de teren si deformarea locala a terenului – Barajul Siriu**
- **Monitorizarea deformatiilor terenului la scara mare. Studiu de caz: Bucuresti**
- **Advanced Studies and Research Center (ASRC)**

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.
- Exista importante si numeroase asemanari intre procesarea semnalului obtinut prin tehnica seismica si cea radar.
- Propagarea undelor acustice si a celor electromagnetice este tratata intr-un mod similar.
- 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

- In Romania, data fiind o cunoastere detaliata a tehnicii de procesare a semnalului seismic si o informare aproape inexistentă despre tehnica prelucrării semnalului radar cu apertura sintetica (SAR), cea mai potrivita metoda pentru a introduce SAR este prin intermediul comparării ei directe cu explorarea seismica.
- Una dintre componentele principale ale procesării semnalului seismic consta in migrarea undelor acustice, care in SAR este echivalenta cu focalizarea undelor electromagnetice si detectia imaginii radar.
- Dupa aceasta etapa, procesarea semnalului SAR continua prin combinarea mai multor imagini sub forma de interferograme, pentru a masura dinamica scoartei terestre. Aceasta etapa, in cadrul procesării semnalului seismic, este echivalenta cu explorarea repetata a aceleiasi zone.

Comparatie SAR - tehnicile seismice clasice

- 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 (5.6 cm pentru Envisat ASAR), precizia masuratorilor cu tehnologia SAR poate ajunge la 2.8 milimetri.

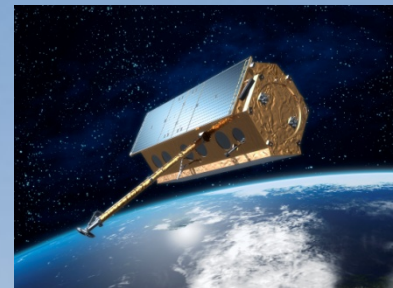
Observand Pamantul din Spatiu



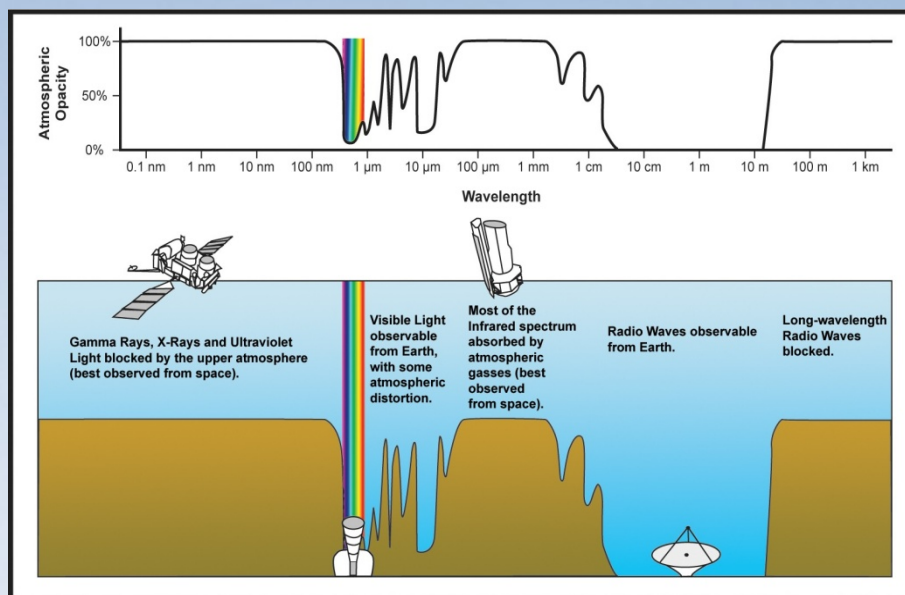
ALOS PaISAR, $\lambda=23.6$ cm



Envisat ASAR, $\lambda=5.6$ cm



TerraSAR-X, $\lambda=3.1$ cm



Spectrul absorbtiei electromagnetice naturale

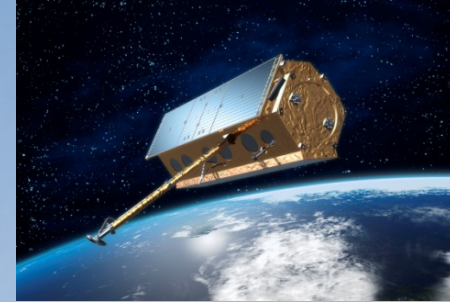
Observand Pamantul din Spatiu



ALOS Palsar, L band



Envisat ASAR, C



TerraSAR, X band



L BAND
23 cm



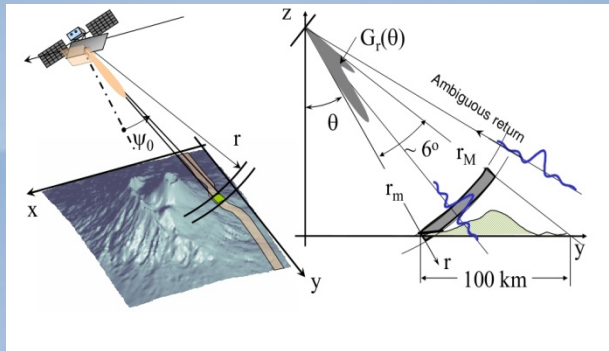
C BAND
6 cm



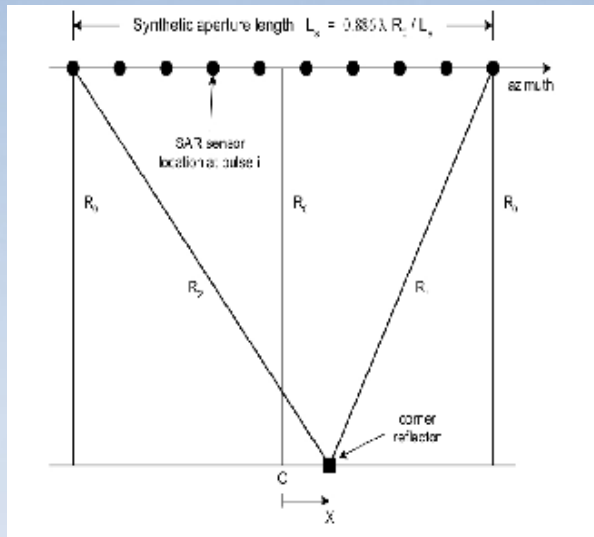
X BAND
3 cm

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

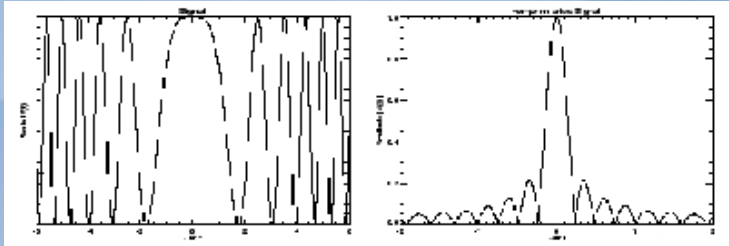


Receptor acustic - geofon

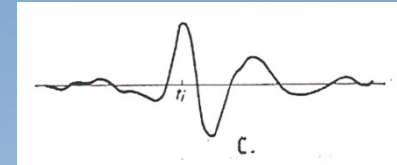


Linii seismice multiple

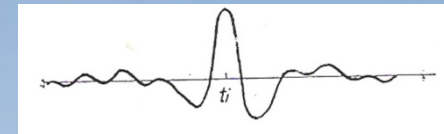
Observand Pamantul din Spatiu



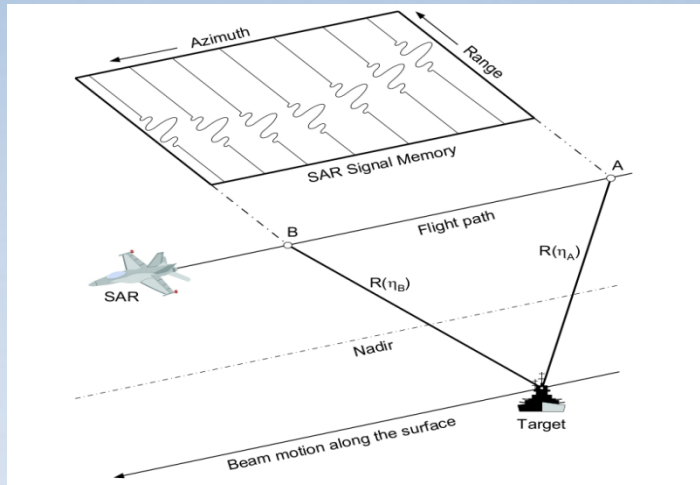
Deconvolutia semnalului: partea reala a raspunsului complex a unui punct tinta teoretic (stanga) si amplitudinea semnalului deconvoluat (dreapta)



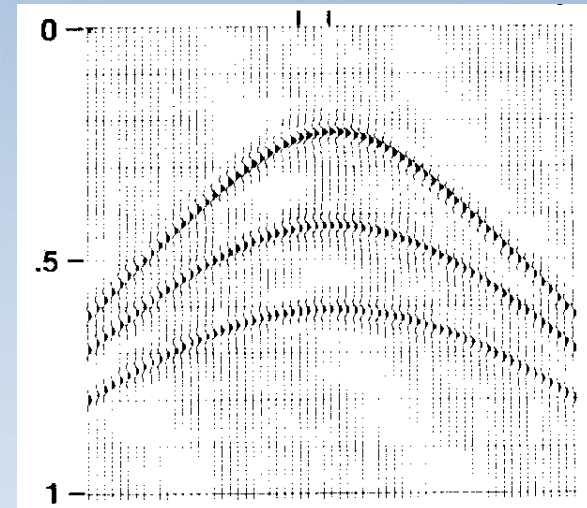
Semnal vibroseis



Semnal vibroseis, deconvoluat

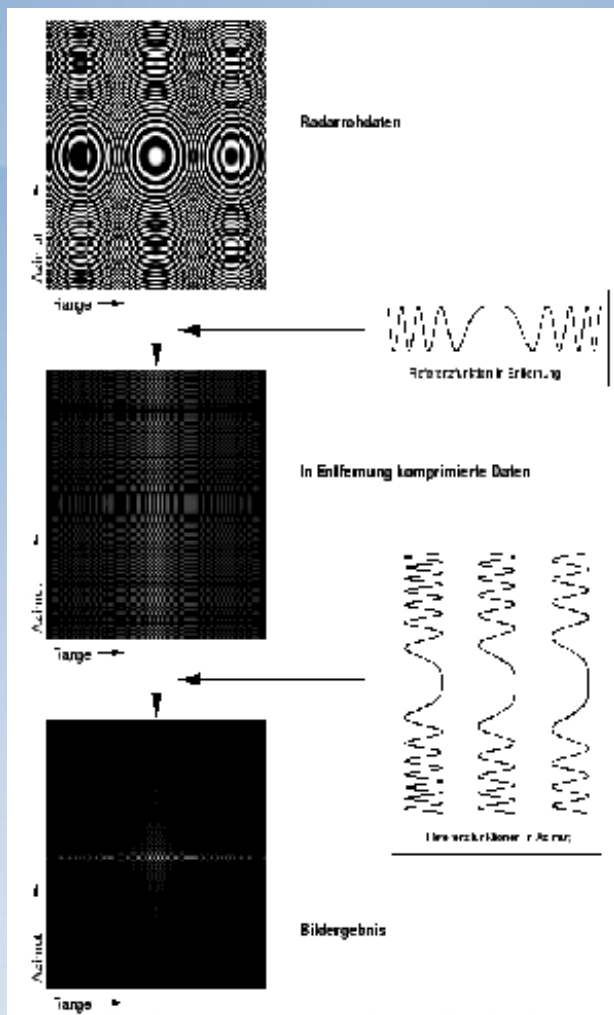


Formatul datelor 2D inregistrate in memoria calculatorului

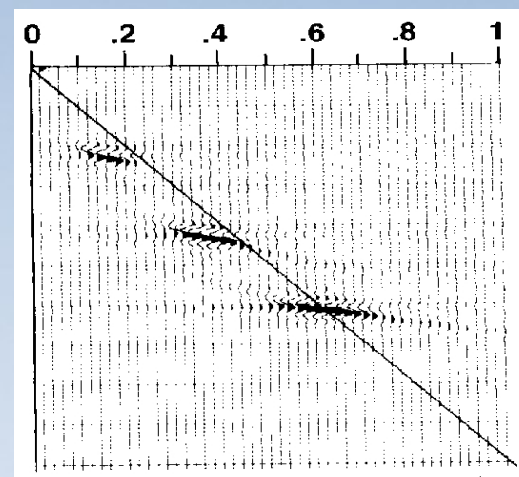
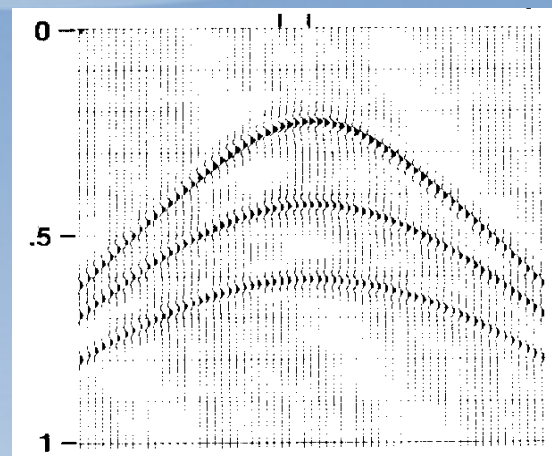


Hiperbolele inregistrate pentru 3 puncte de reflexie

Observand Pamantul din Spatiu

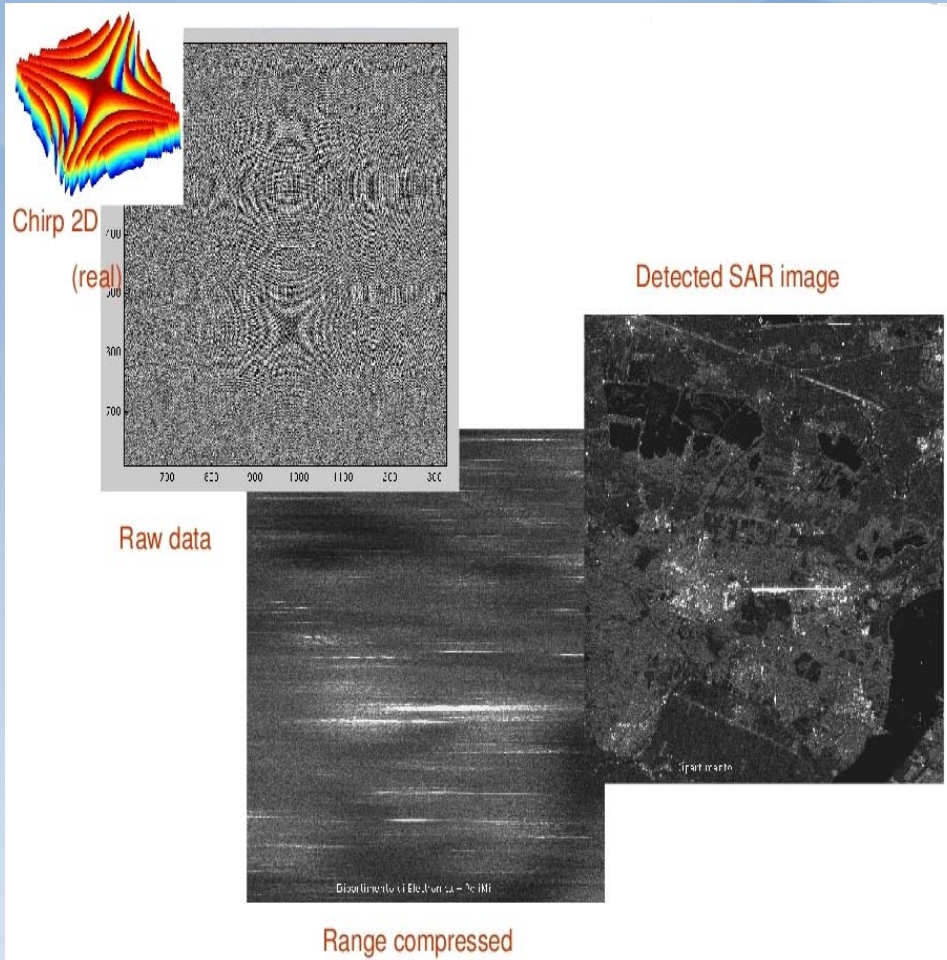


Procesarea unei tinte radar

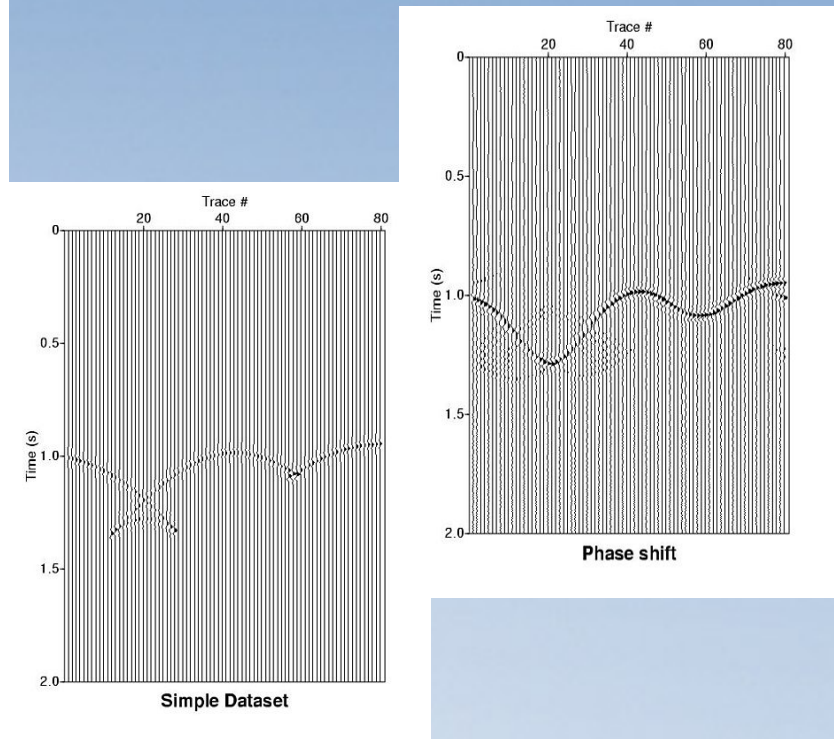


Hiperbole de reflexie (sus) si
rezultatul migrarii (jos)

Observand Pamantul din Spatiu

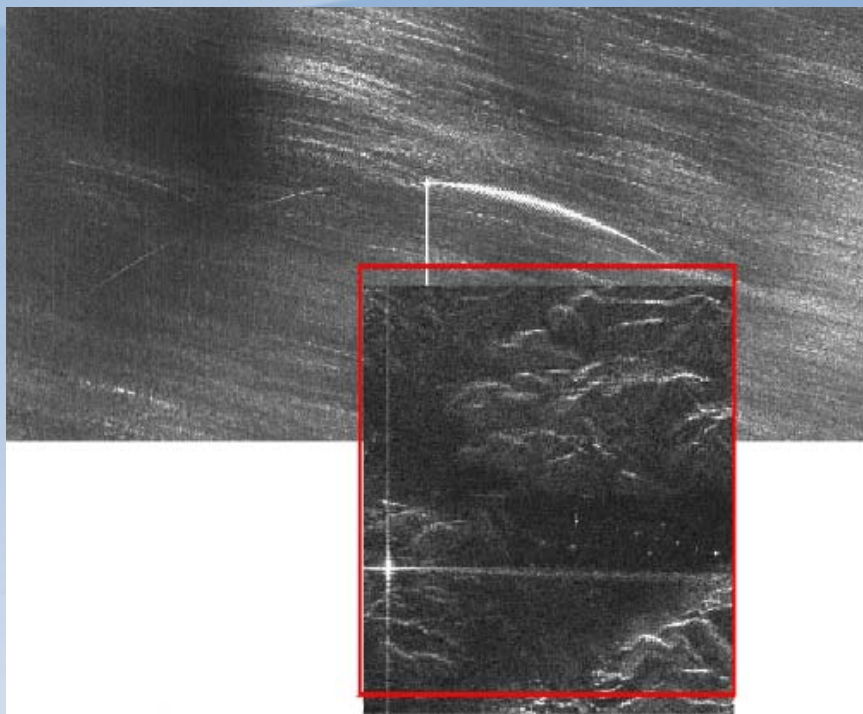


Exemplu de focalizare si detectie de imagine cu date reale

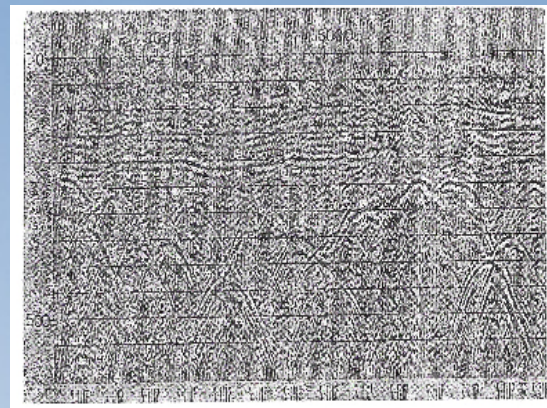


Exemplu de migrare pentru o structura geologica

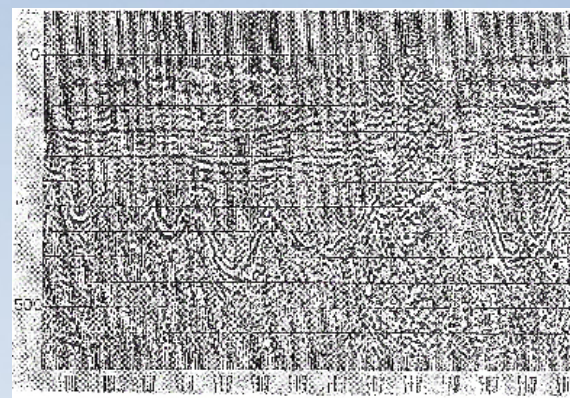
Observand Pamantul din Spatiu



Exemplu de detectie a unei tinte cu amplitudine ridicata

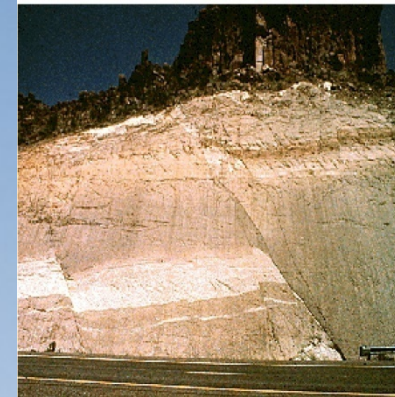
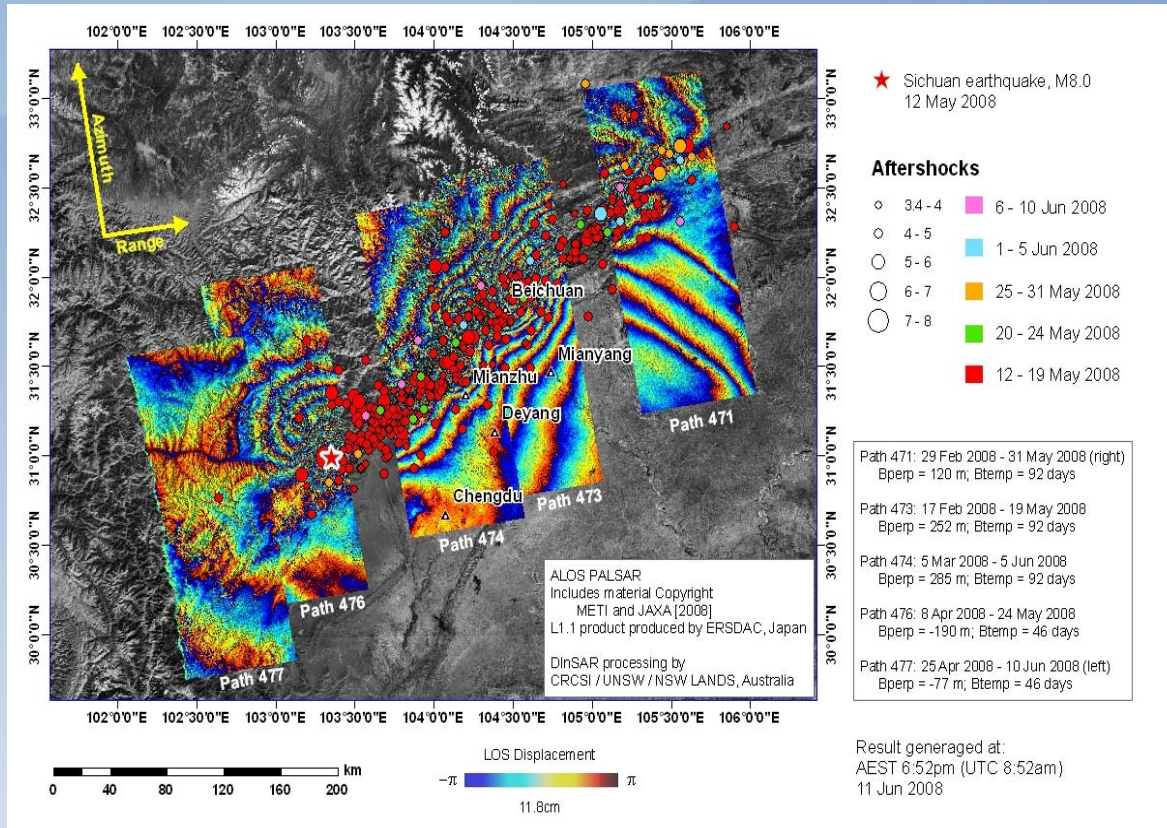


Sectiune seismica inainte de migrare

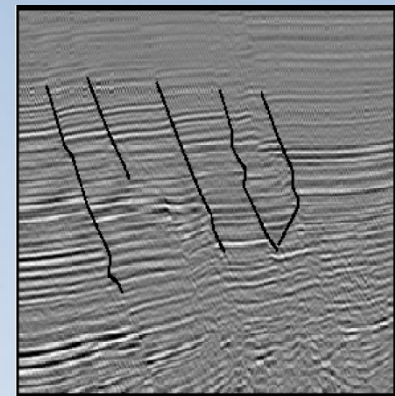


Sectiunea seismica dupa migrare

Observand Pamantul din Spatiu



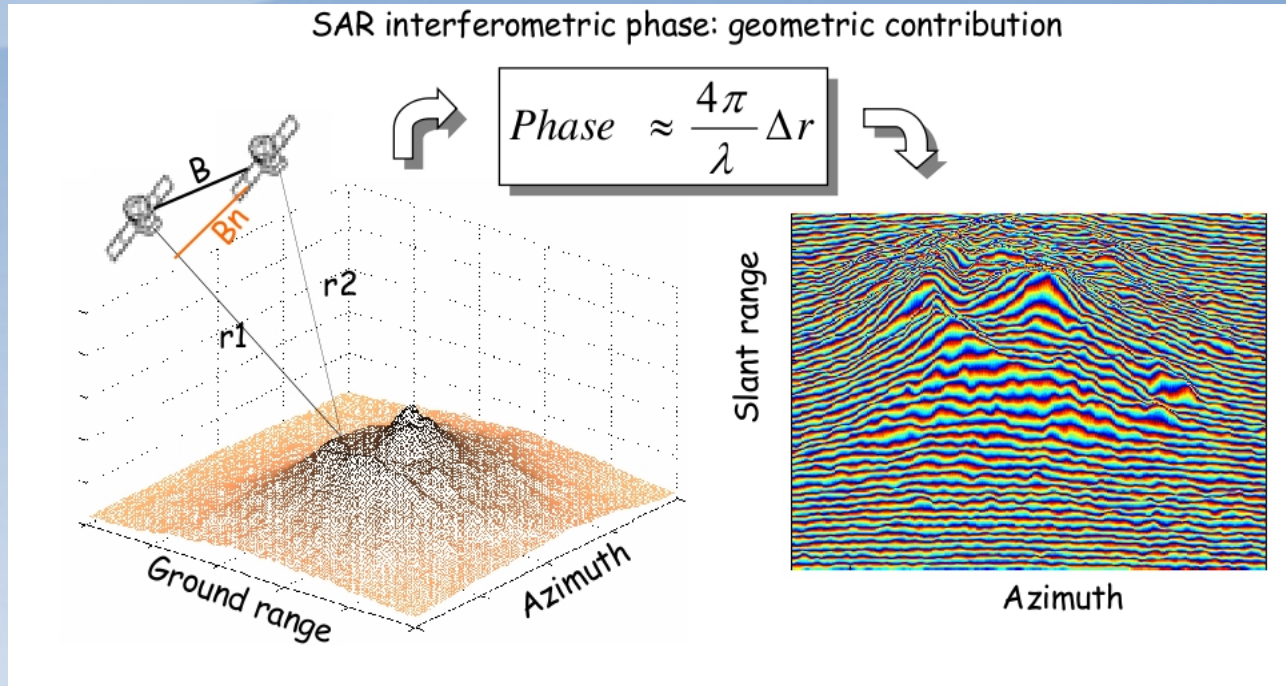
Zona test cu falii geologice



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)

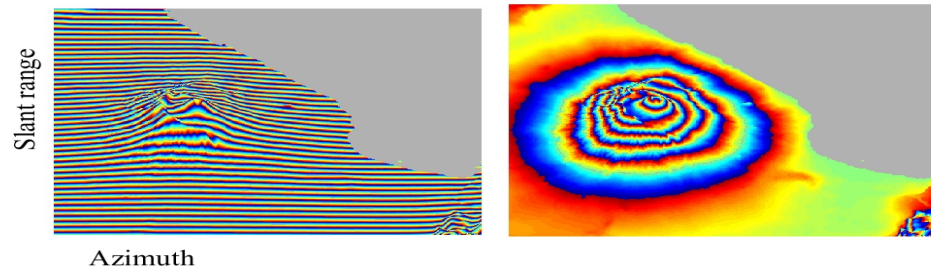
Observand Pamantul din Spatiu



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.

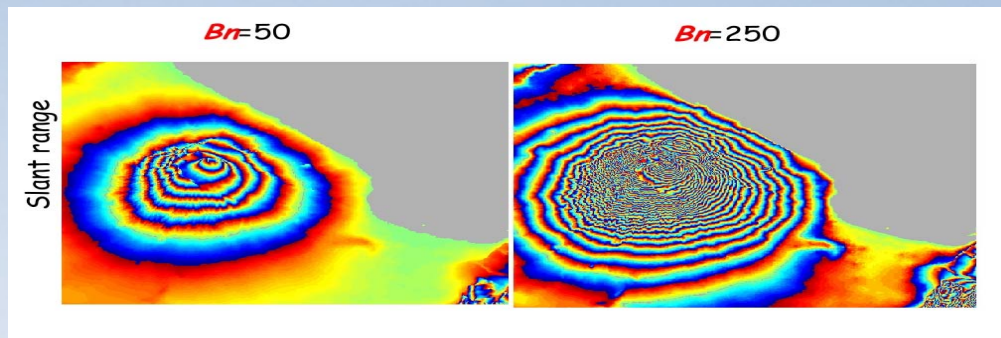
Observand Pamantul din Spatiu

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 aceeasi zona, achizionate cu distante diferite intre senzori. Cu cat mai mare distanta intre senzori, cu atat mai multe franje. Cu cat mai multe franje, cu atat mai precis este masurata topografia. Precizia masurarii deformarii nu depinde de geometria de achizitie.

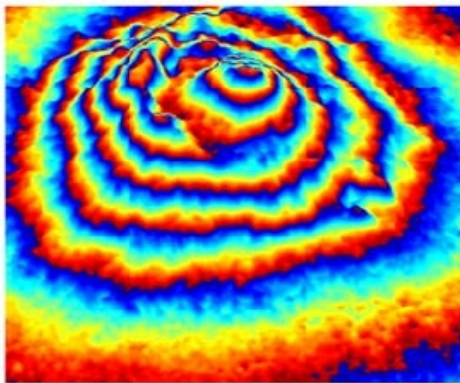
Observand Pamantul din Spatiu

The Interferometric phase has 2π periodicity

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

$$B_n = 50 \text{ m}$$

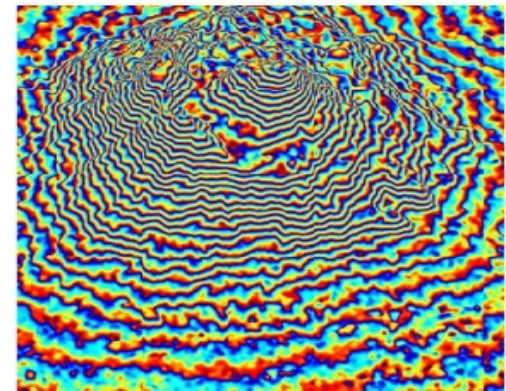
$$\Delta q_a \approx 188 \text{ m}$$



$$B_n = 250 \text{ m}$$

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

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



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 terenului la scara redusa. Studiu de caz: Alunecari de teren si deformarea locala a terenului – 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 o săptămână, interval în care a fost barată chiuveta lacului.

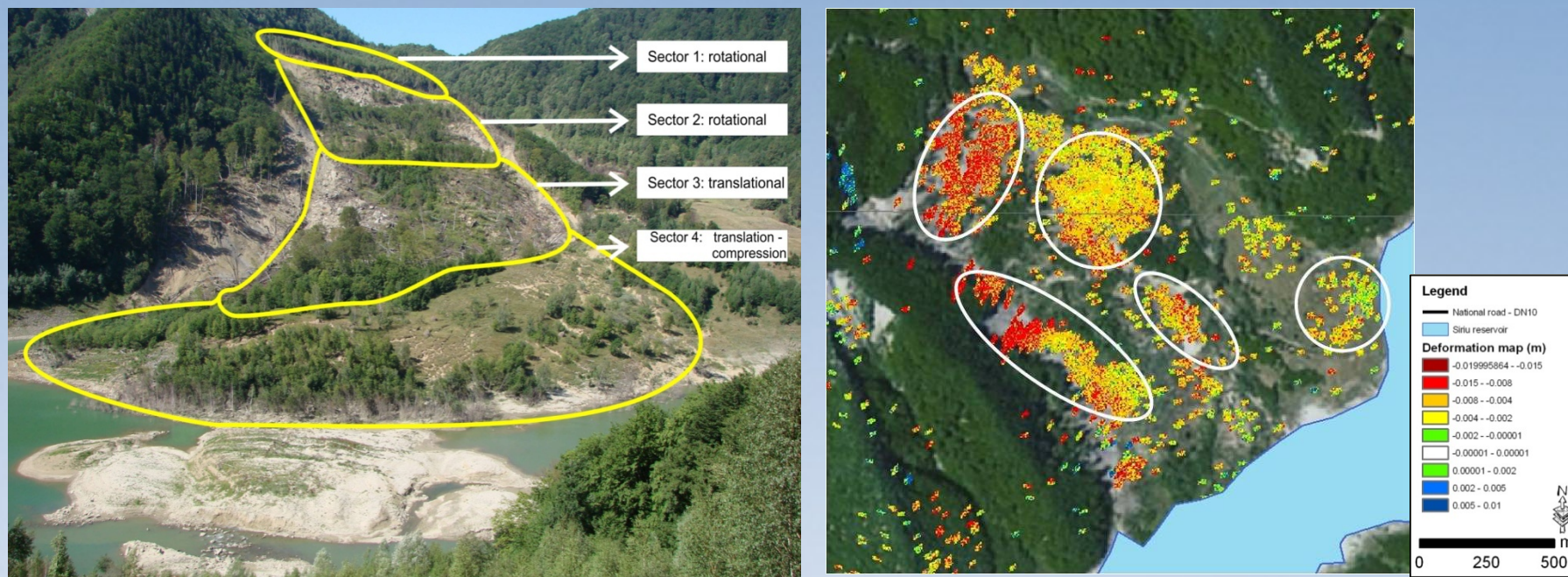


Fig.2 Zona "Groapa Vantului" (stanga – fotografie*, dreapta – harta de deformare)

***Fotografie si interpretare puse la dispozitie de acad. Dan Balteanu si dr. Mihai Micu, Institutul de Geografie al Academiei Române**

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.

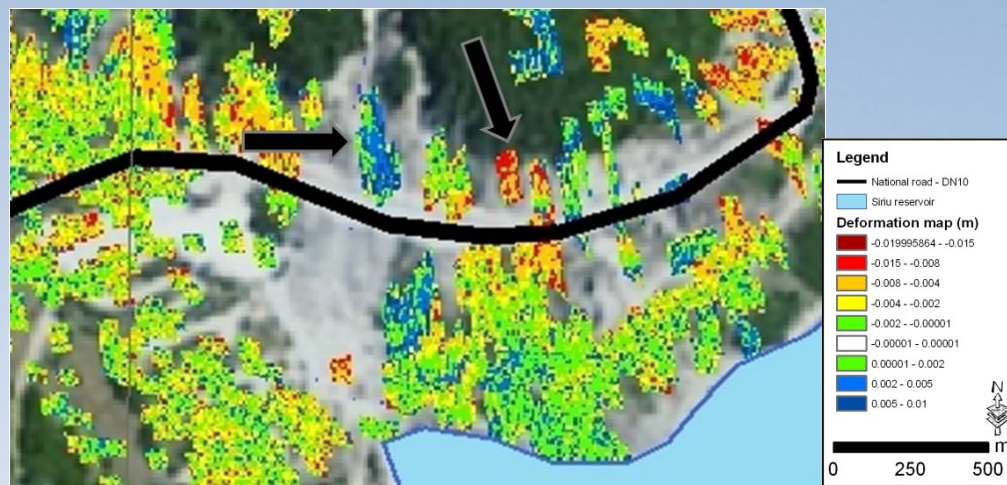


Fig.3 Alunecare de teren afectand DN10 (stanga - fotografie, dreapta - harta de deformare)

Zona 3: Sectorul canalului deversor

- Un caz interesant este reprezentat de canalul deversor, care este prins între două arii 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 ariile 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).

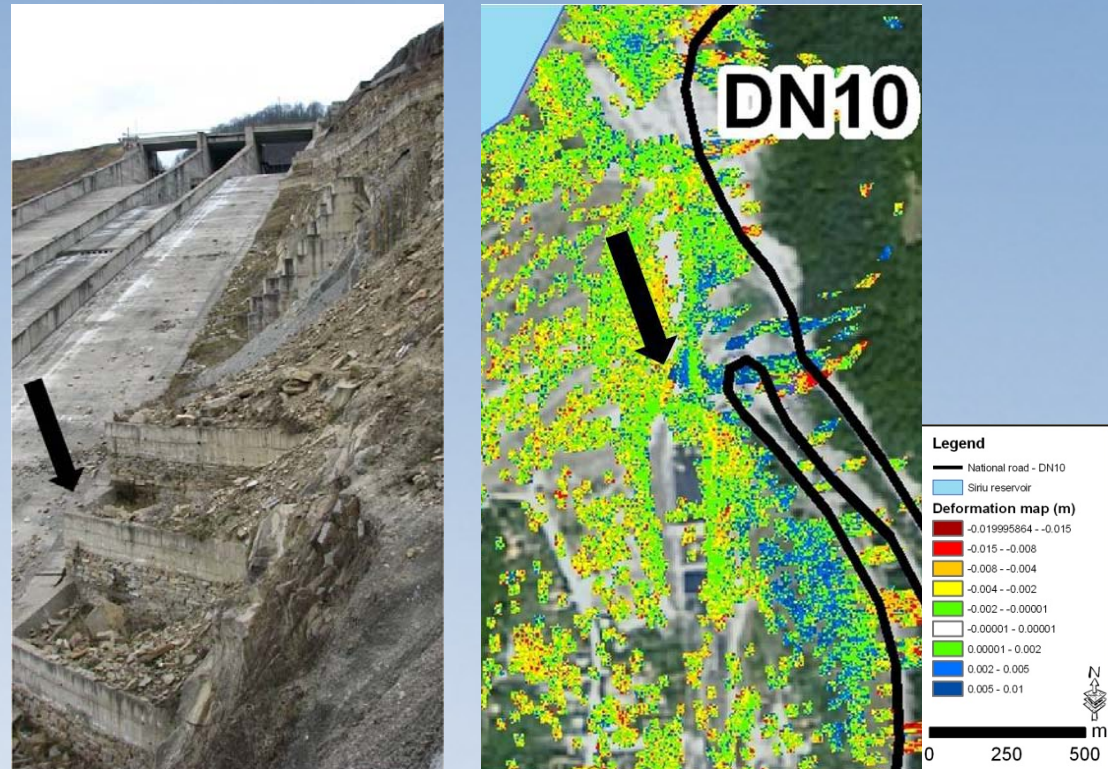


Fig.4 Canalul deversor (stanga) si harta de deformare (dreapta)

Zona 4: Sectorul baraj-colonie

- Din masuratorile interferometrice se observa o miscare usoara de subsidenta a barajului si a intregii zone in aval de baraj aproximativ pana la confluenta cu paraul Casoca, cu viteze de deformare de 2-5 milimetri/11 zile. La sud de paraul Casoca, satul Siriu apare ca zona stabila, de aceea a si fost luat ca zona de referinta pentru calculul hartii de deformare.

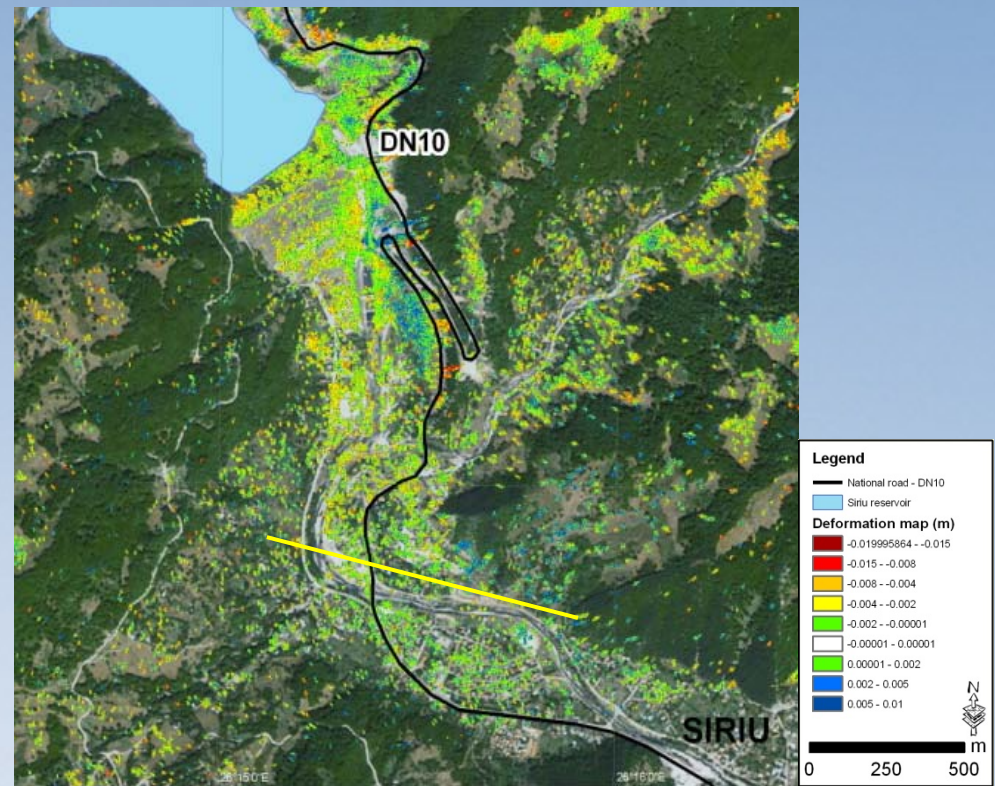


Fig.5 Harta de deformare in zona barajului si satului Siriu

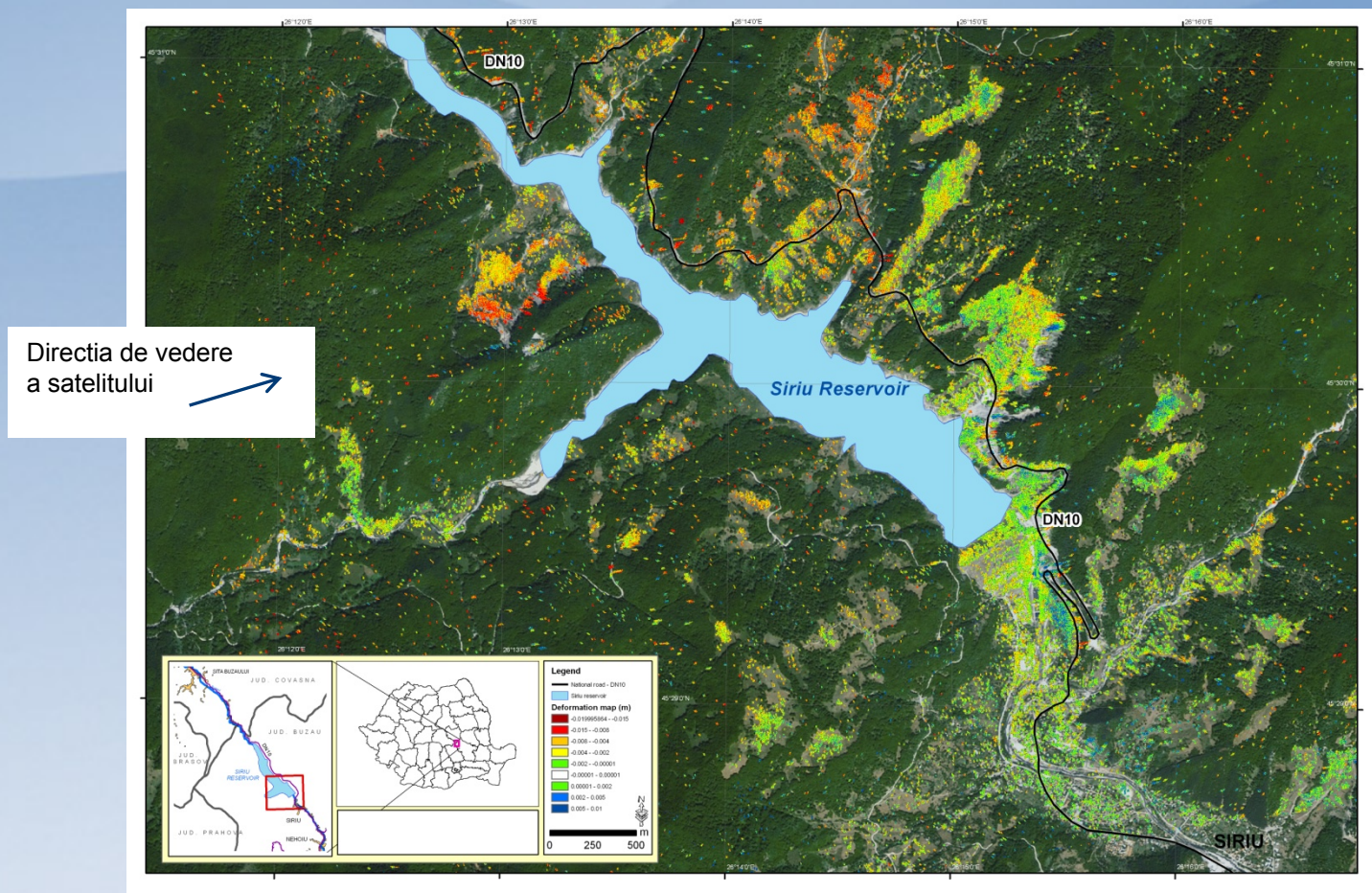


Fig.6 Harta de deformare incluzand toata zona Siriu

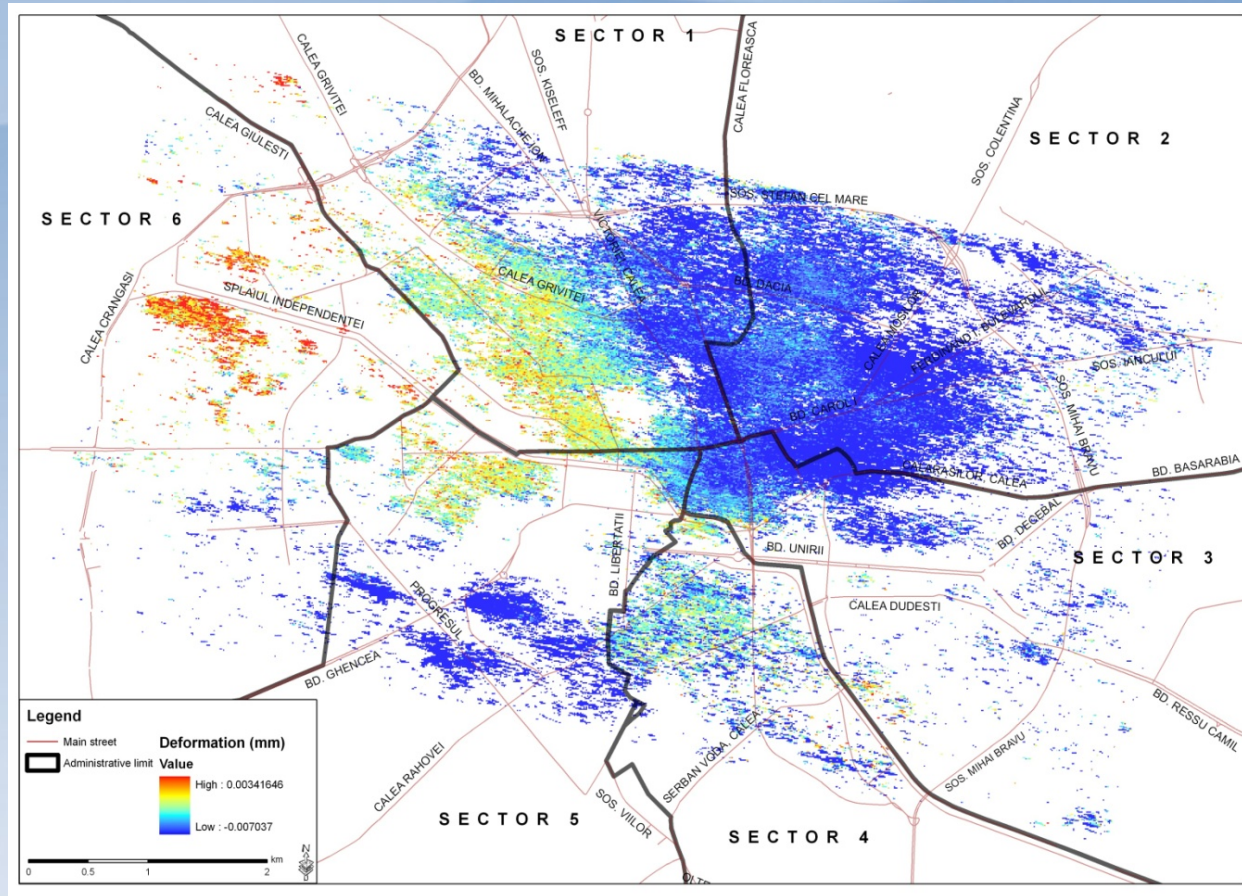
Monitorizarea deformatiilor terenului la scara mare

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*

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

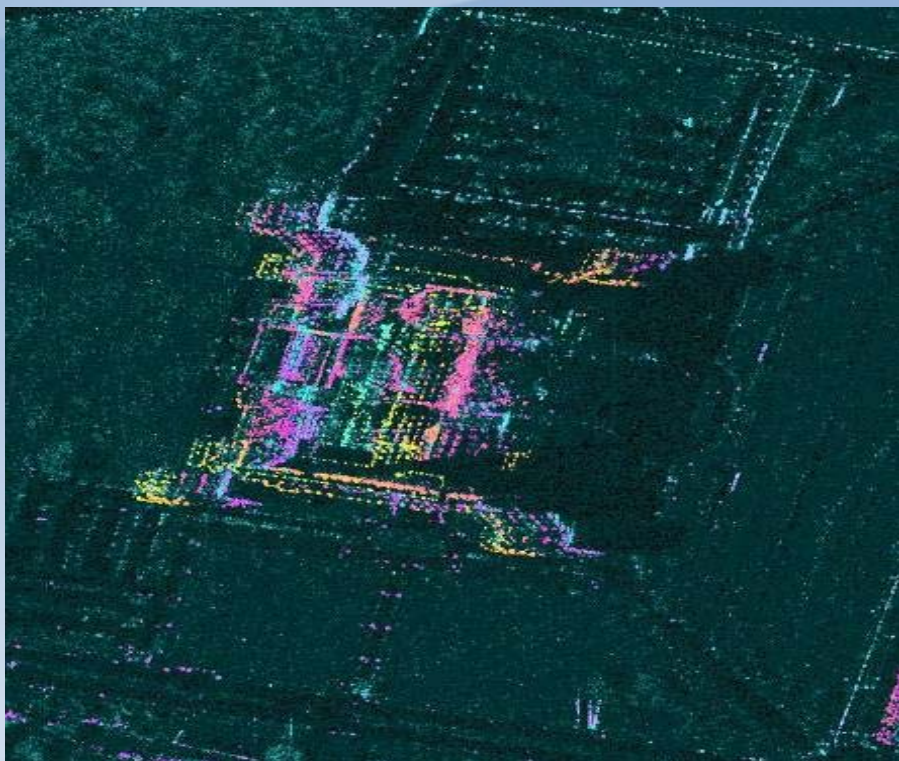


Fig. 10 Model de elevatie al Casei Poporului



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 spatiala 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, $\Delta h = 3 - 4 \text{ m}$, 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

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

- 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

Advanced Studies and Research Center (ASRC)

- ASRC este o societate comerciala romaneasca, infiintata in anul 2007.
- Obiect de activitate: Cercetare, Dezvoltare si Inovare
- Scop: Oferă clienților, din sectorul public sau privat, soluții personalizate, care răspund nevoilor acestora.
- Domeniu de expertiza: Geoinformatica, Bioinformatica si Dezvoltare de Tehnologii
- Geoinformatica: Servicii de monitorizare prin intermediul tehnicii InSAR
- Mai multe informatii: <http://www.asrc.ro>