

# Proiect Geomorfologie dinamică

## Tema 1 – Geomorfologia tectonică – mișcarea faliilor

### 1.1 Studiu de caz: Cutremurul de magnitudine 7 din 2016, Kumamoto, Japonia

a determinat ruptura a peste 40 km din cadrul Faliei Futagawa-Hinagu din Insula Kyushu. Mecanismul de ruptură a fost oblic de glisare și decalare (oblique strike-slip) cu sărituri pe verticală de peste 2 m a suprafeței topografice. **A se vedea Scot și al., 2018<sup>1</sup>, secțiunile 1 și 2**

**A se utiliza sursa de mai sus pentru a descrie situația geomorfologică și geologică a zonei.**

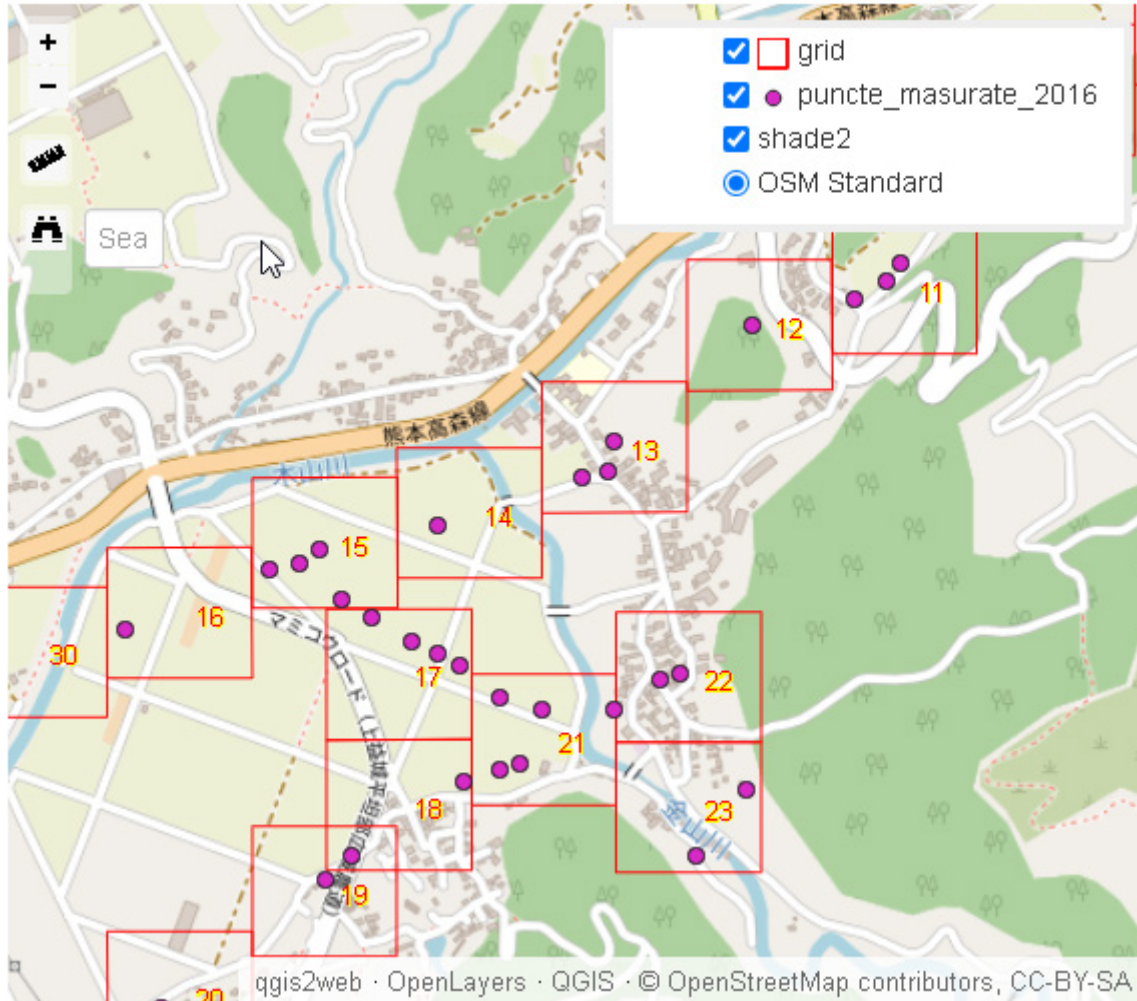
### 1.2 Date topografice

Pe 15 aprilie și pe 23 aprilie 2016 au fost achiziționate date LiDAR dintr-un avion Cessna 208 de la 2000-2100 m altitudine relativă față de teren, cu o rată a pulsului de 110 000 fascicule pe secundă și unghi de scanare  $\pm 22^\circ$ . **A se vedea Scot și al., 2018<sup>1</sup>, secțiunea 3.1: a se face o descriere a lor**

**Descrierea densității și a caracteristicilor (a se face captura cu harta web de pe <http://www.geomorphologyonline.com/node/157>)**

---

<sup>1</sup> Scott, C. P., Arrowsmith, J. R., Nissen, E., Lajoie, L., Maruyama, T., & Chiba, T. (2018). The M7 2016 Kumamoto, Japan, earthquake: 3-D deformation along the fault and within the damage zone constrained from differential lidar topography. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123. <https://doi.org/10.1029/2018JB015581>



Aria de studiu are 62 304 m<sup>2</sup> suprafață.

Nor pre-cutremur: 180 308 puncte = aprox. 3 puncte/m<sup>2</sup>

Nor post-cutremur: 283 395 puncte = aprox. 4,5 puncte/m<sup>2</sup>

Pe baza densității punctelor se poate stabili rezoluția la care se vor interpola modele numerice ale terenului utilizate în analiza schimbărilor geomorfologice. În cazul de față, densitatea indică o rezoluție cuprinsă între 0,25 și 0,5 m.

Întrebare: există diferențe topografice/altitudinale între cele două zboruri? Dacă da, explicați magnitudinea lor (x m pe verticală și x m pe orizontală) și dacă se atribuie unor erori de georeferențiere a datelor LiDAR sau unei evoluții a proceselor geomorfologice între perioadele de achiziție.

Detalii despre situația din teren (inclusiv poze cu zonele de falie și acoperirea cu vegetație) pot fi regăsite în lucrarea Shirahama și al., 2016<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Shirahama, Y., Yoshimi, M., Awata, Y. și al. (2016) Characteristics of the surface ruptures associated with the 2016 Kumamoto earthquake sequence, central Kyushu, Japan. Earth Planets Space 68, 191. <https://doi.org/10.1186/s40623-016-0559-1>

Dacă există erori de georeferențiere ele trebuie pre-procesate cu ajutorul Cloud Compare (<https://www.danielgm.net/cc/>). Aceste două tutoriale explică modul de lucru<sup>3</sup> și filozofia<sup>4</sup>:

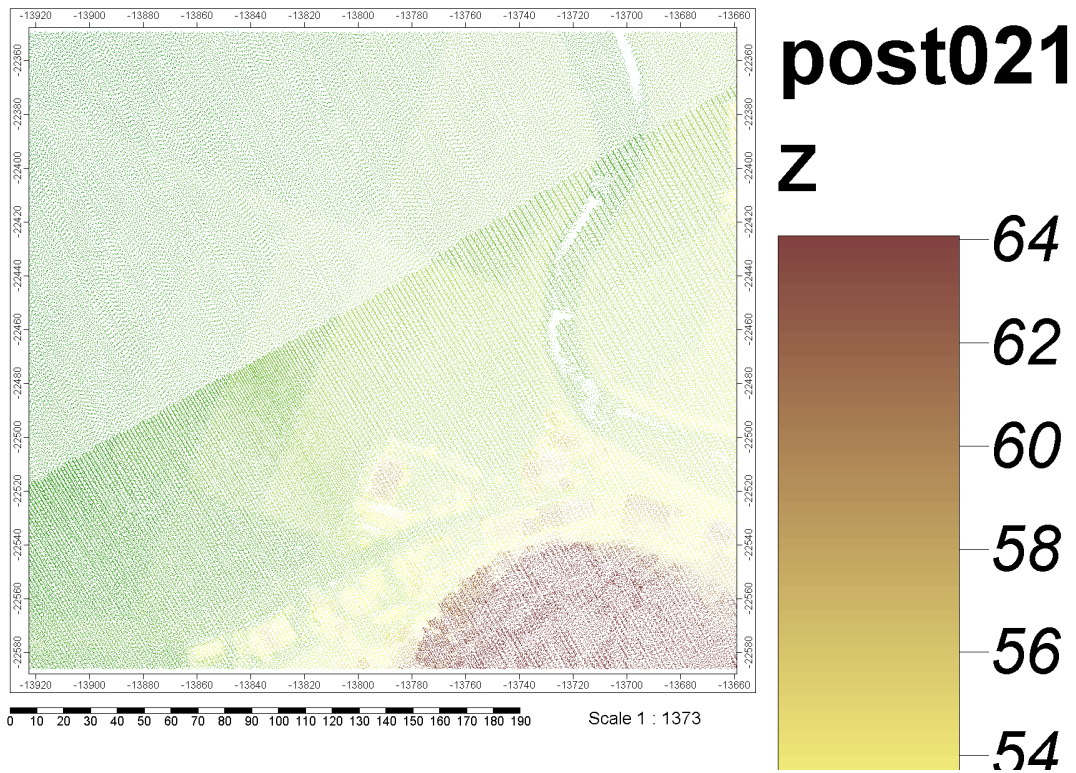


Figura 1 Harta 2D cu norul de puncte LiDAR pre-cutremur

<sup>3</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=QWDM4cFdKrE>

<sup>4</sup> [https://www.youtube.com/watch?v=Bh\\_uVRf8Lqo&list=PLBNUxsUA00UAT63O0d95pByrCjtqIXN4\\_&index=42](https://www.youtube.com/watch?v=Bh_uVRf8Lqo&list=PLBNUxsUA00UAT63O0d95pByrCjtqIXN4_&index=42)

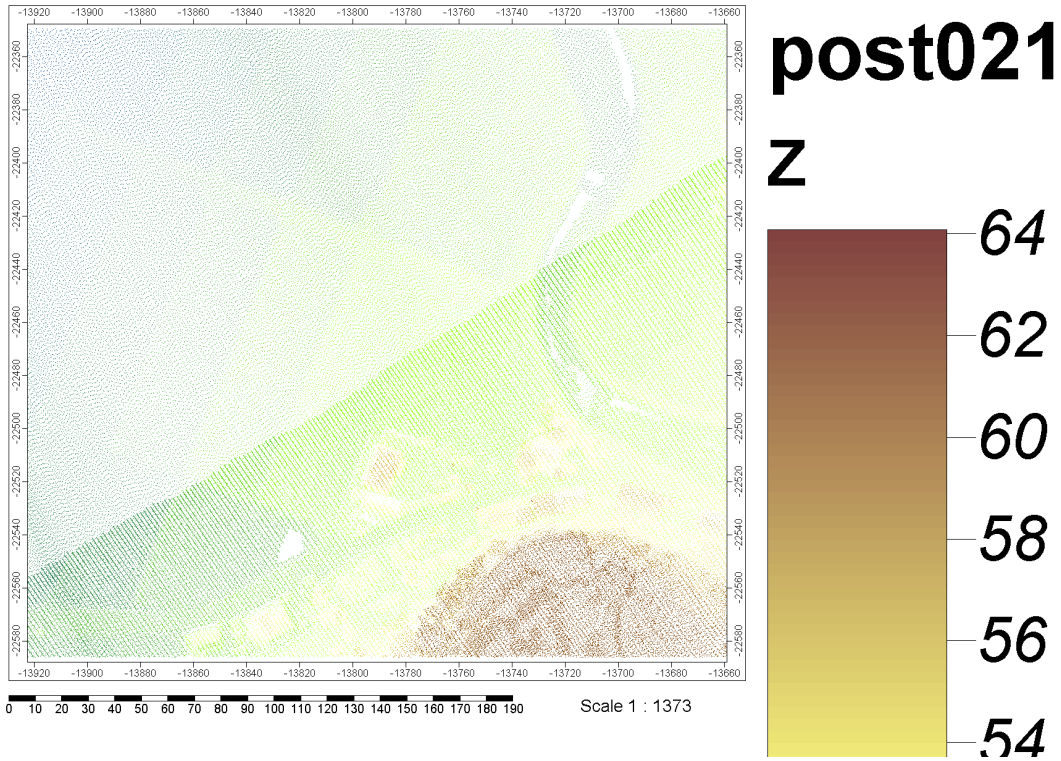


Figura 2 Harta 2D cu norul de puncte LiDAR post-cutremur

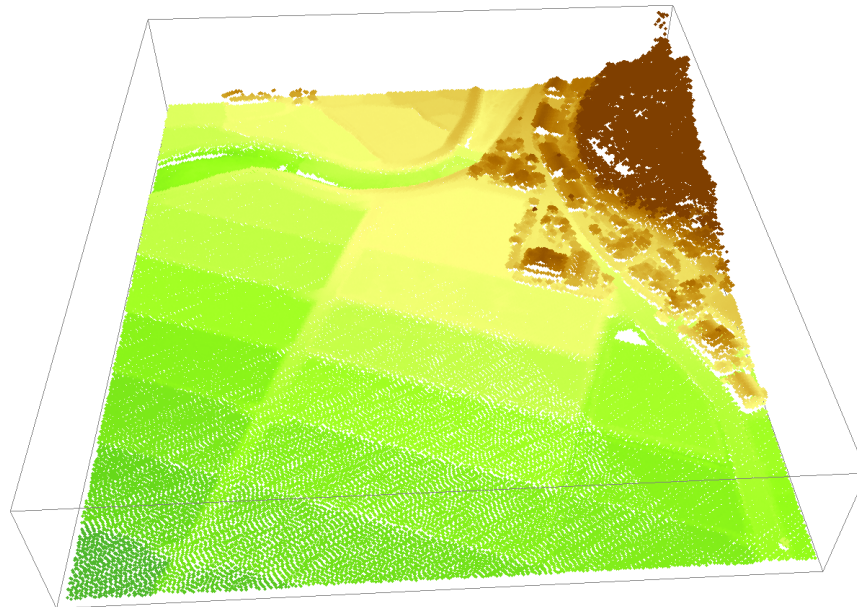
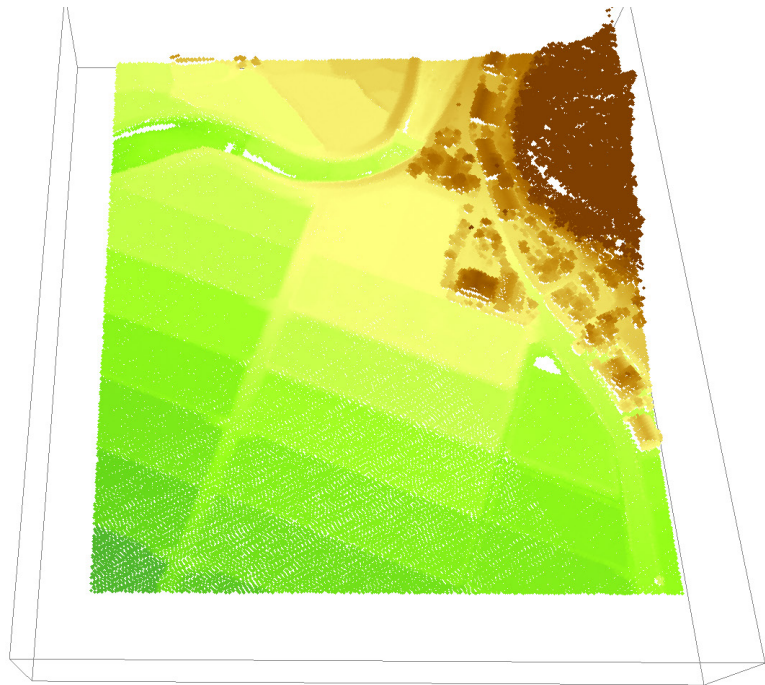


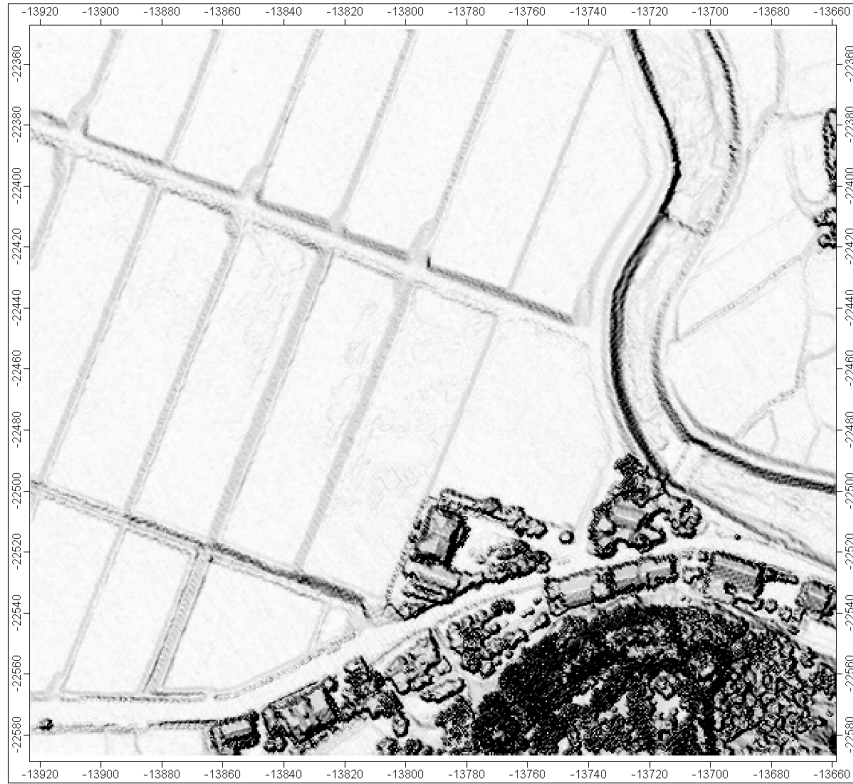
Figura 3 Vizualizare 3D cu norul de puncte LiDAR pre-cutremur



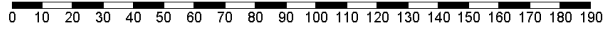
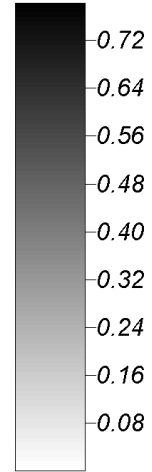
*Figura 4 Vizualizare 3D cu norul de puncte LiDAR post-cutremur*

Interpolare MBS (multilevel b-spline)

Harta umbriri pre-cutremur

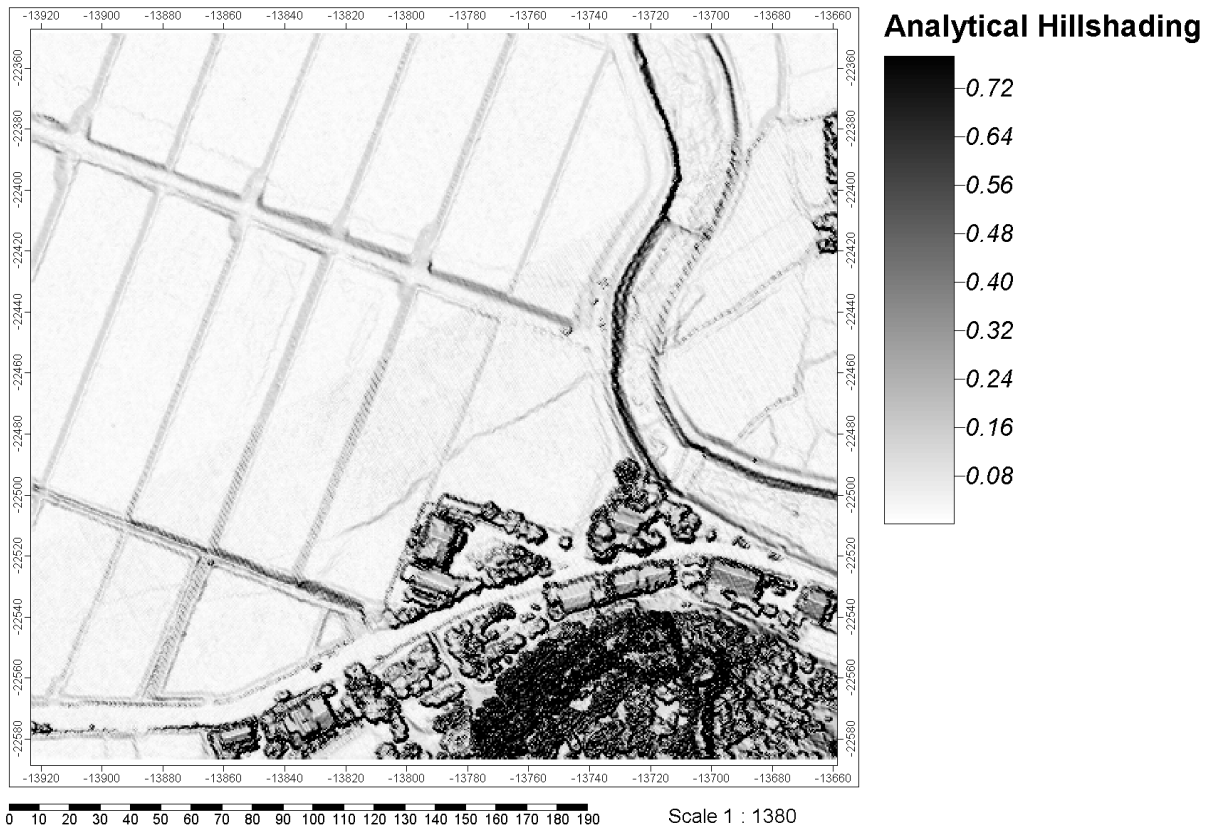


### Analytical Hillshading



Scale 1 : 1380

Harta umbririi post-cutremur



### 1.3 Metoda detecției schimbărilor topografice geomorfologice

Diferența brută se calculează cu ajutorul algebrei rasterelor, utilizând operațiunea de scădere:  $A - B = C$ . Aplicarea algebrei rasterelor s-a realizat cu funcția Grid / Calculus / Grid Difference. Rasterul A reprezintă topografia pre-cutremur, iar rasterul B topografia post-cutremur.

#### Interpretarea valorilor diferenței brute:

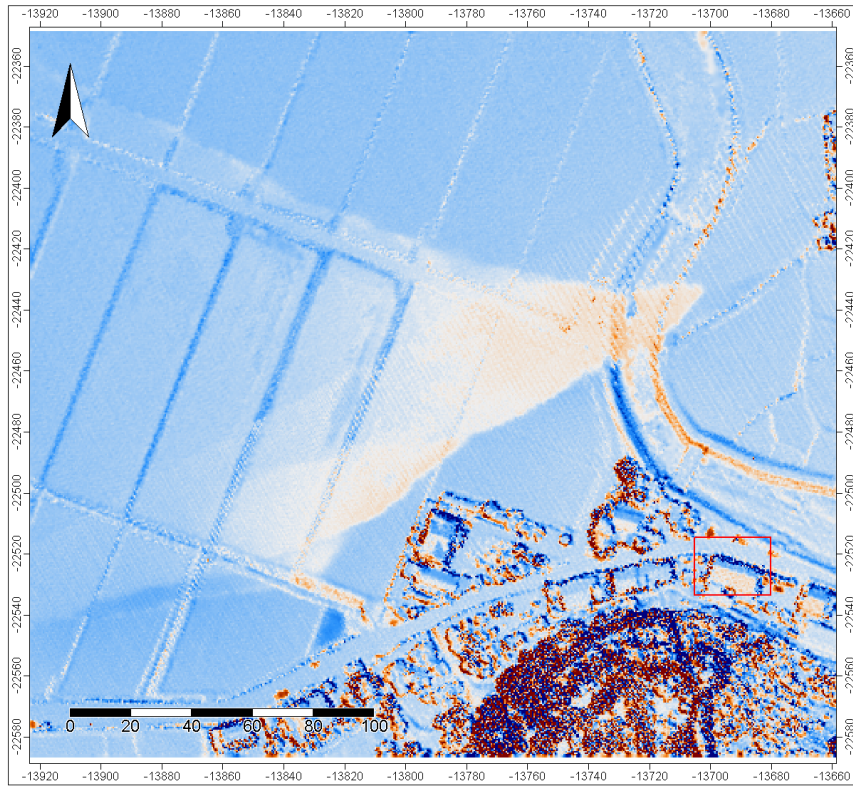
Topografie pre-cutremur – topografie post-cutremur

Valorile pozitive arată că topografia pre-cutremur este mai înaltă decât cea post-cutremur (număr mare – minus număr mic = valori pozitive) deci coborâre, scufundare.

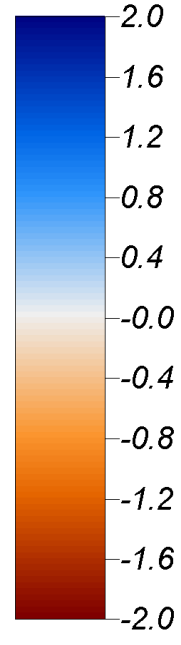
Valorile negative arată că topografia pre-cutremur este mai joasă decât cea post-cutremur (număr mic – minus număr mare = valori negative) deci ridicare, înălțare.

În cazul de față vorbind despre falii, valorile pozitive arată compartimente coborâte (grabene), iar valorile negative arată compartimente ridicate (horsturi).

cu ajutorul funcției Tools / Registration / Fine registration (IPC). După preprocesare diferența pe verticală este de aprox. 10 cm, iar cea pe orizontală sub 5 cm.

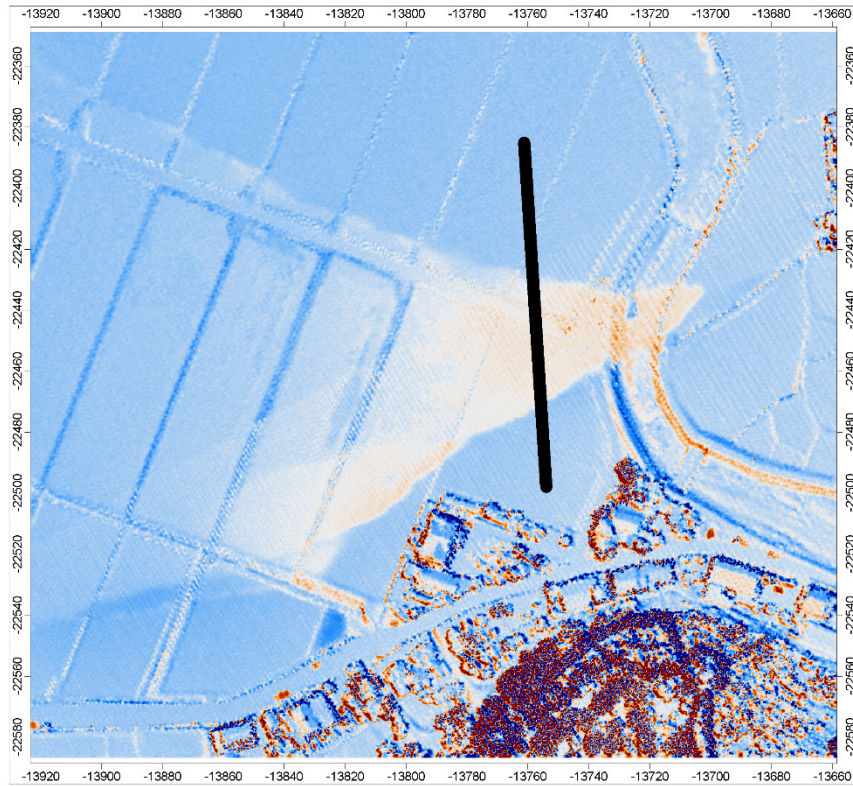


**Difference (A - B)**



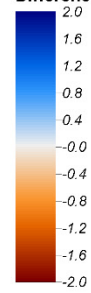
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 Scale 1 : 1380



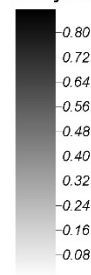


Profile [pre021.Z [Multilevel B-Spline]]

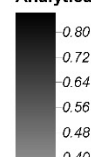
Difference (A - B)



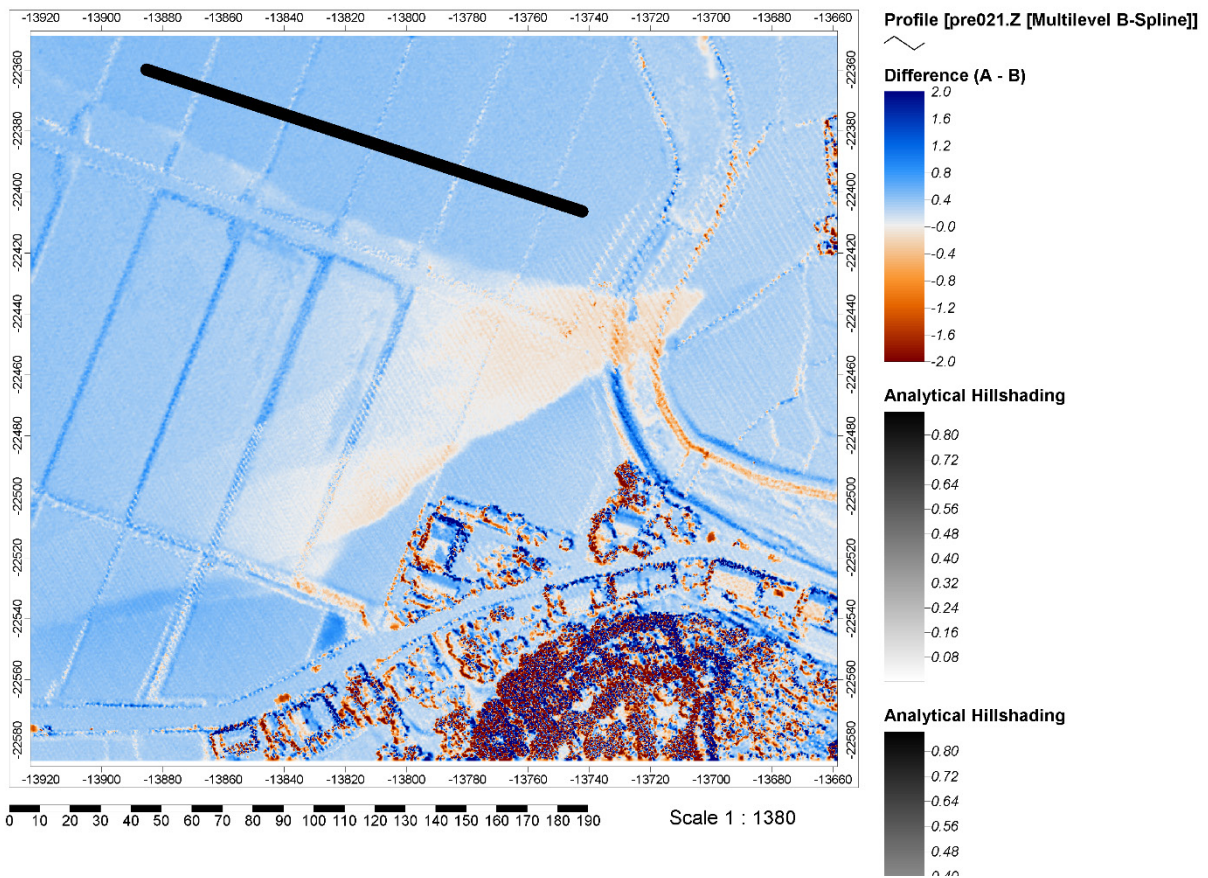
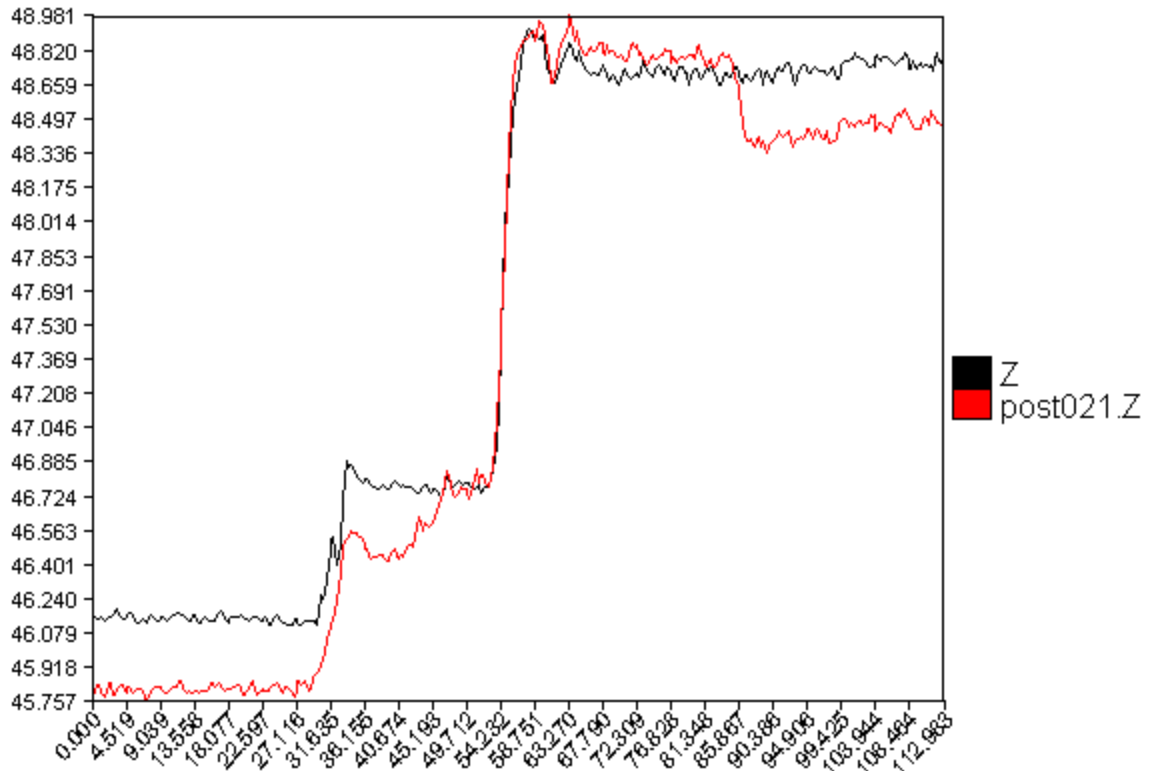
Analytical Hillshading

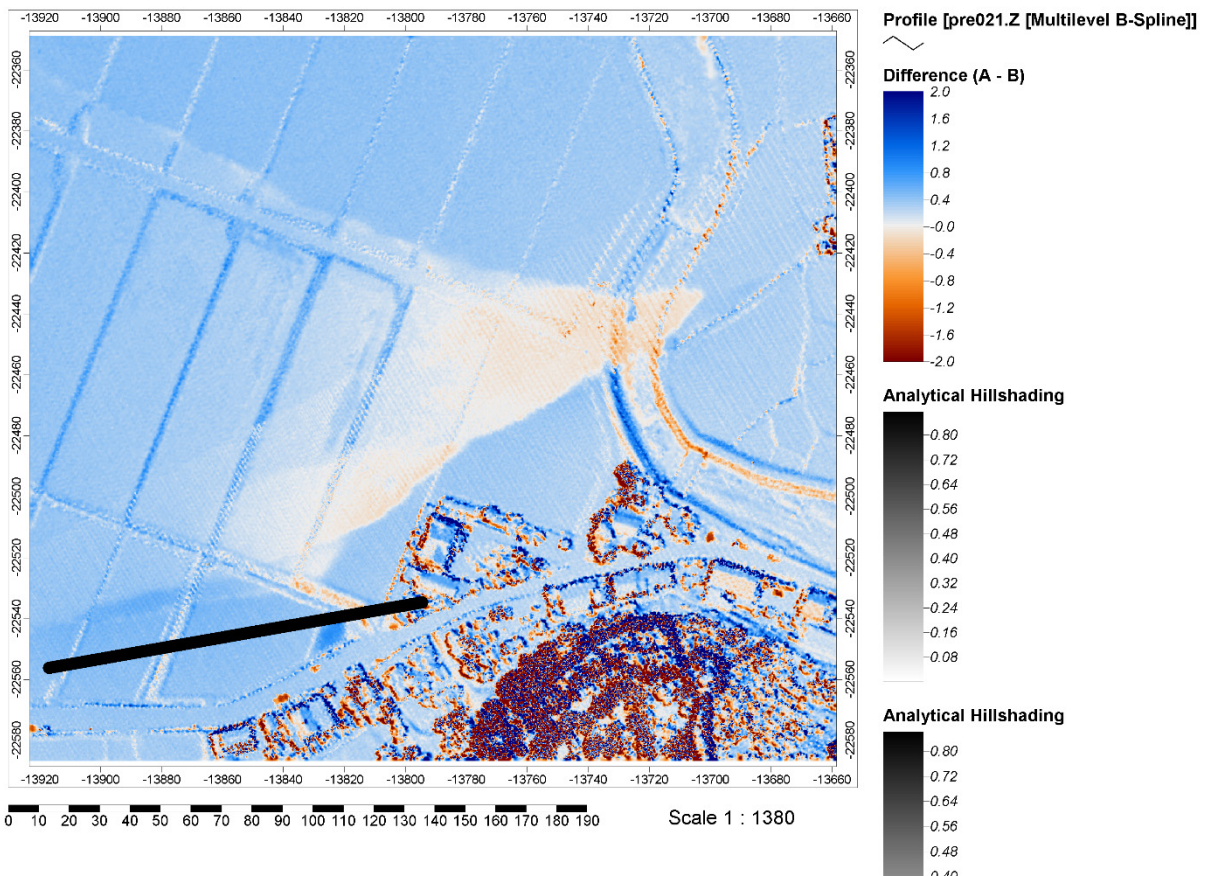
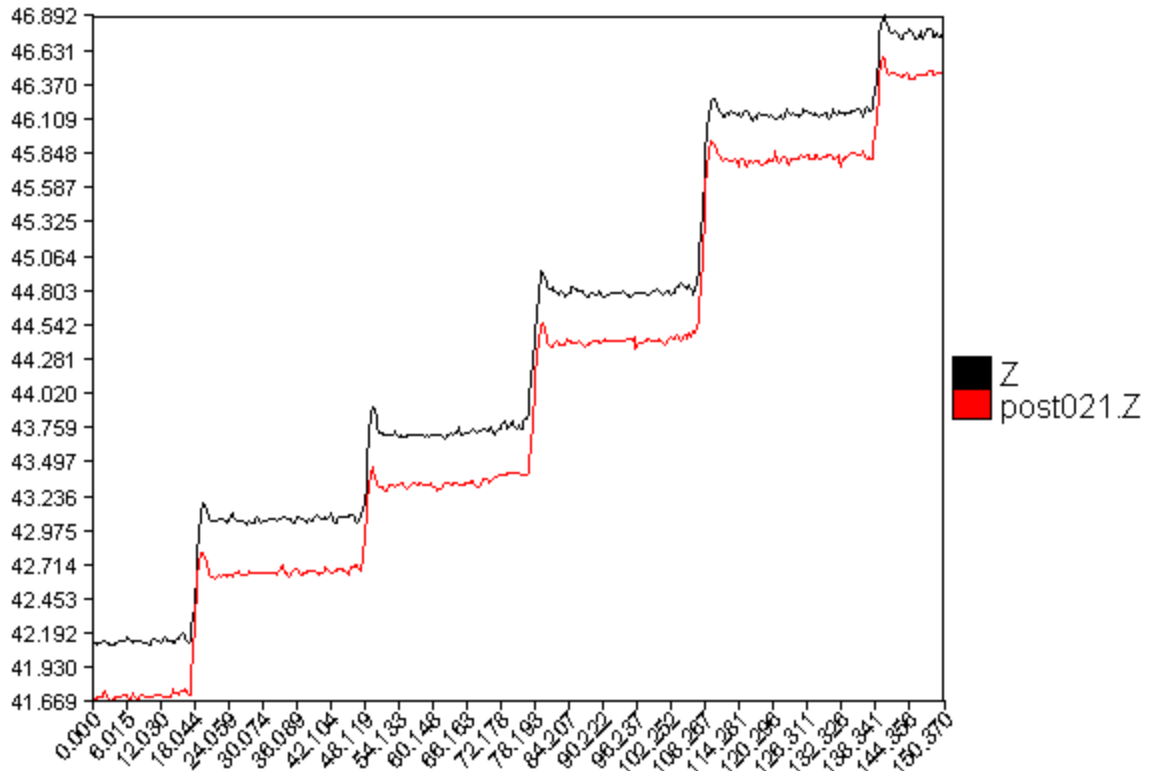


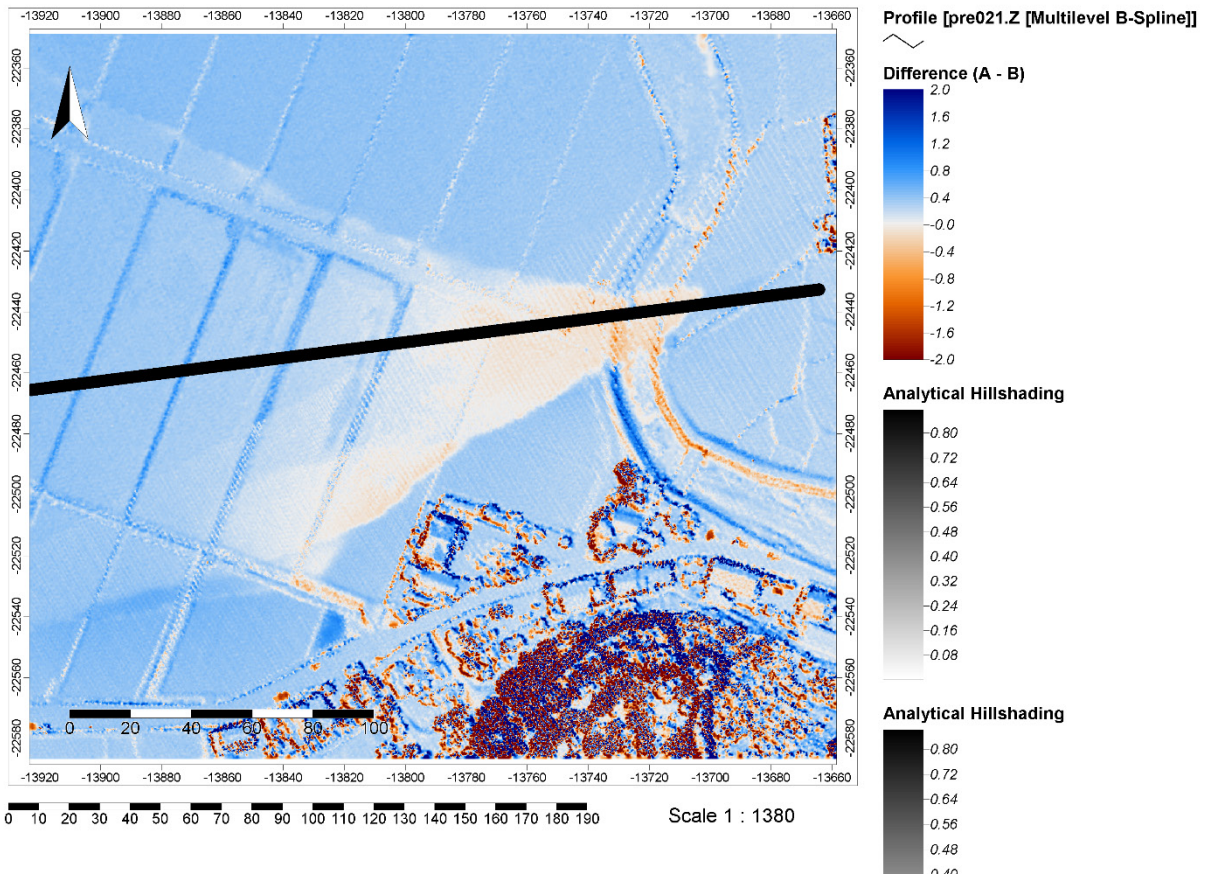
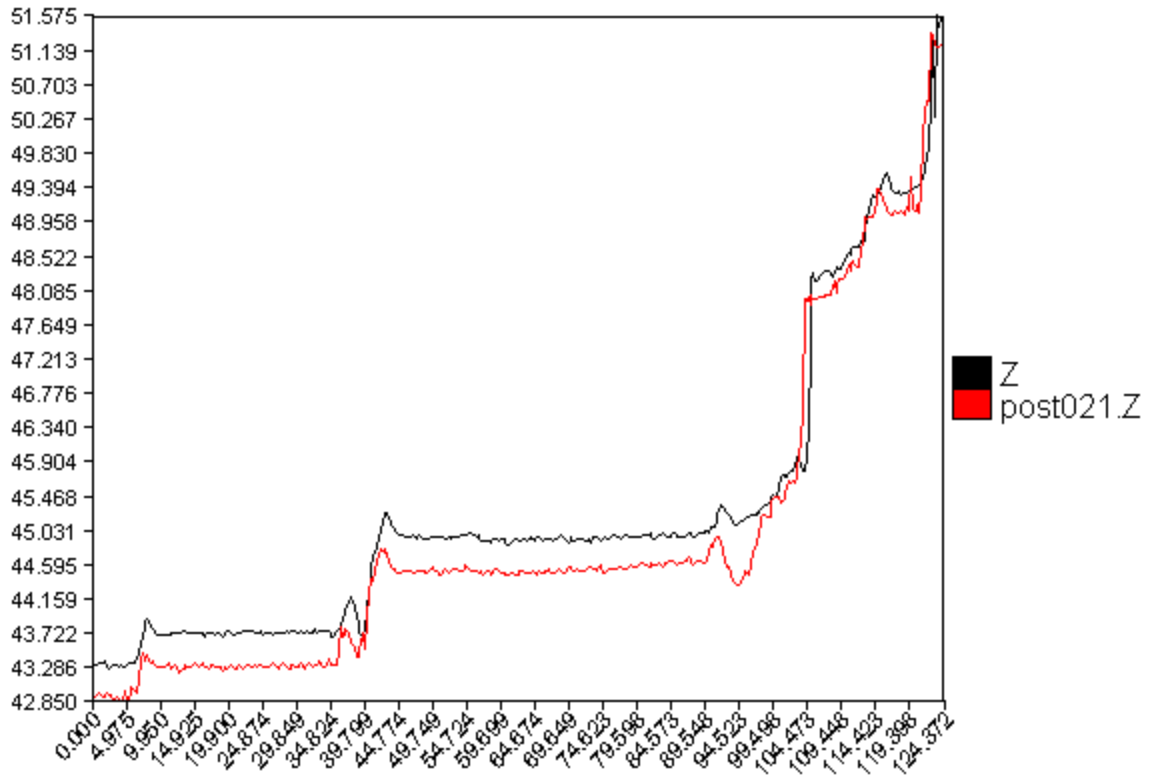
Analytical Hillshading

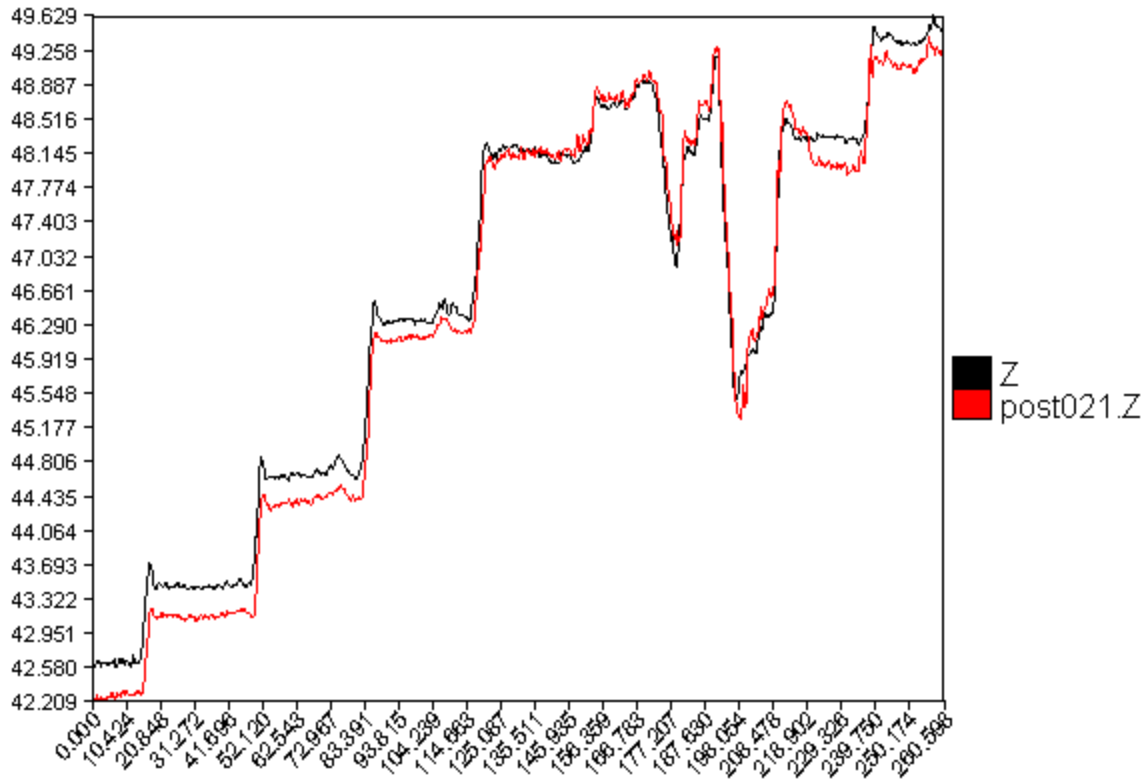


0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170 180 190 Scale 1 : 1380









Analiza valorilor brute ne relevă nevoia de a face preprocesări: norul de puncte post-cutremur trebuie ridicat 50 cm și deplasat spre est cu 30 cm. Această preprocesare s-a realizat în aplicația Cloud Compare



Final RMS: 0.768356 (computed on 50000 points)

-----  
Transformation matrix

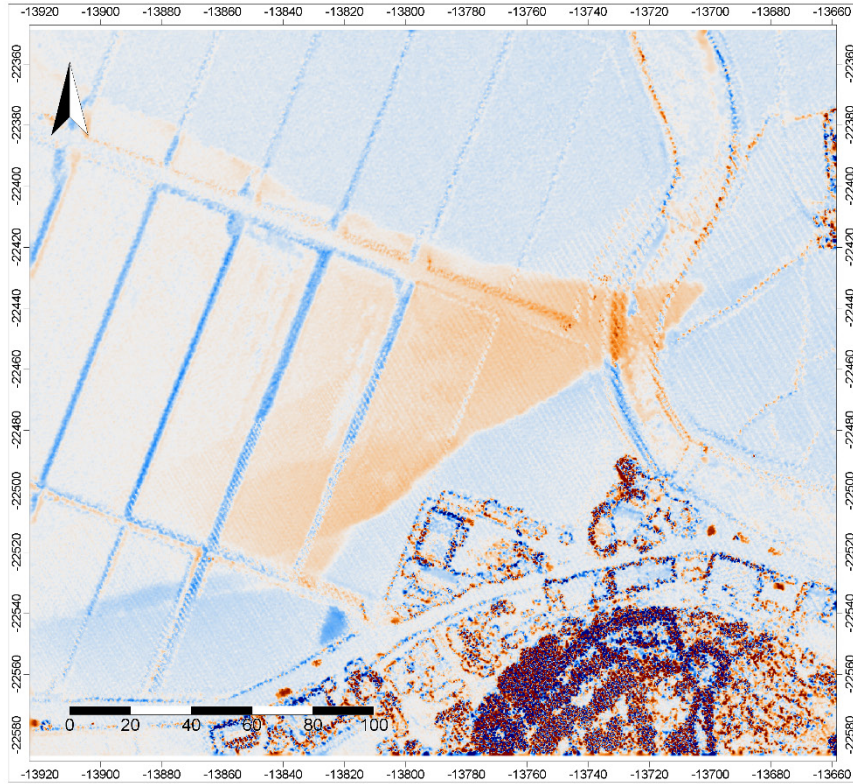
0.999	-0.002	0.001	0.747
0.002	0.999	-0.000	0.067
-0.001	0.000	0.999	0.378
0.000	0.000	0.000	1.000

-----  
Scale: 0.998857 (already integrated in above matrix!)

-----  
Theoretical overlap: 100%

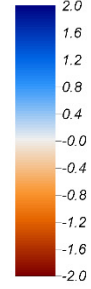
-----  
This report has been output to Console (F8)

OK

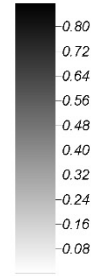


Profile [pre021.Z [Multilevel B-Spline]]

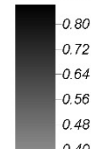
Difference (A - B)



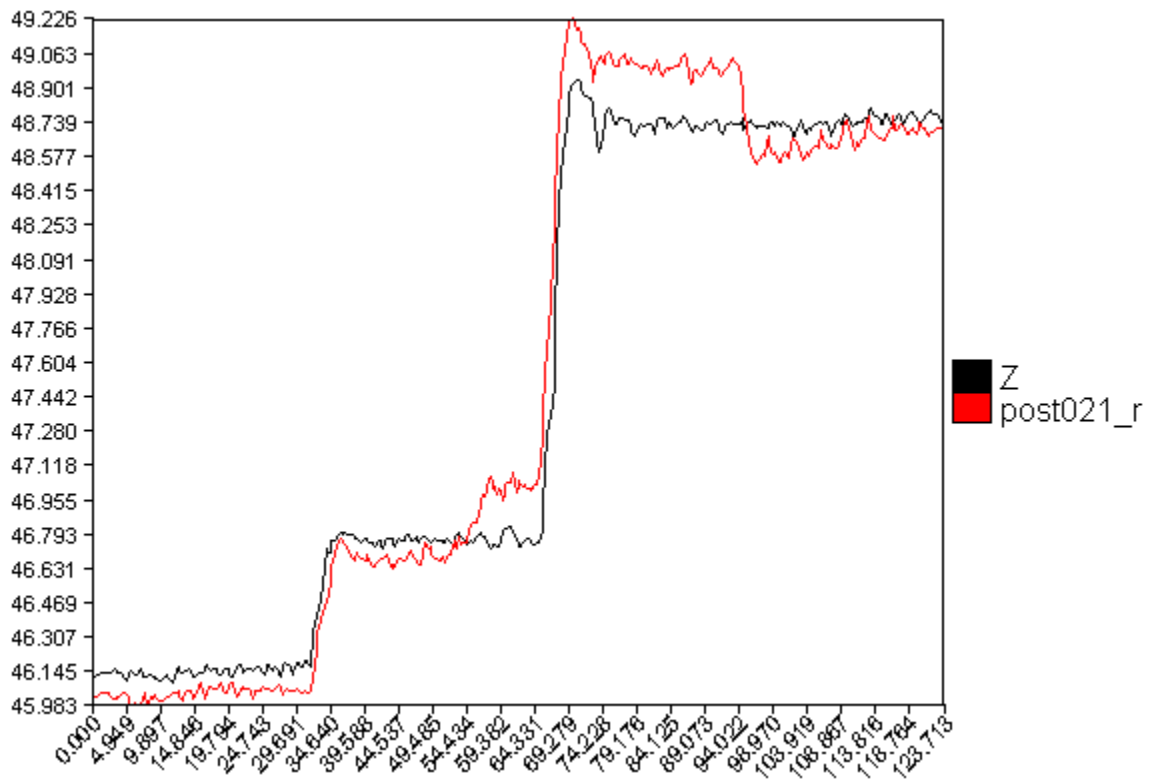
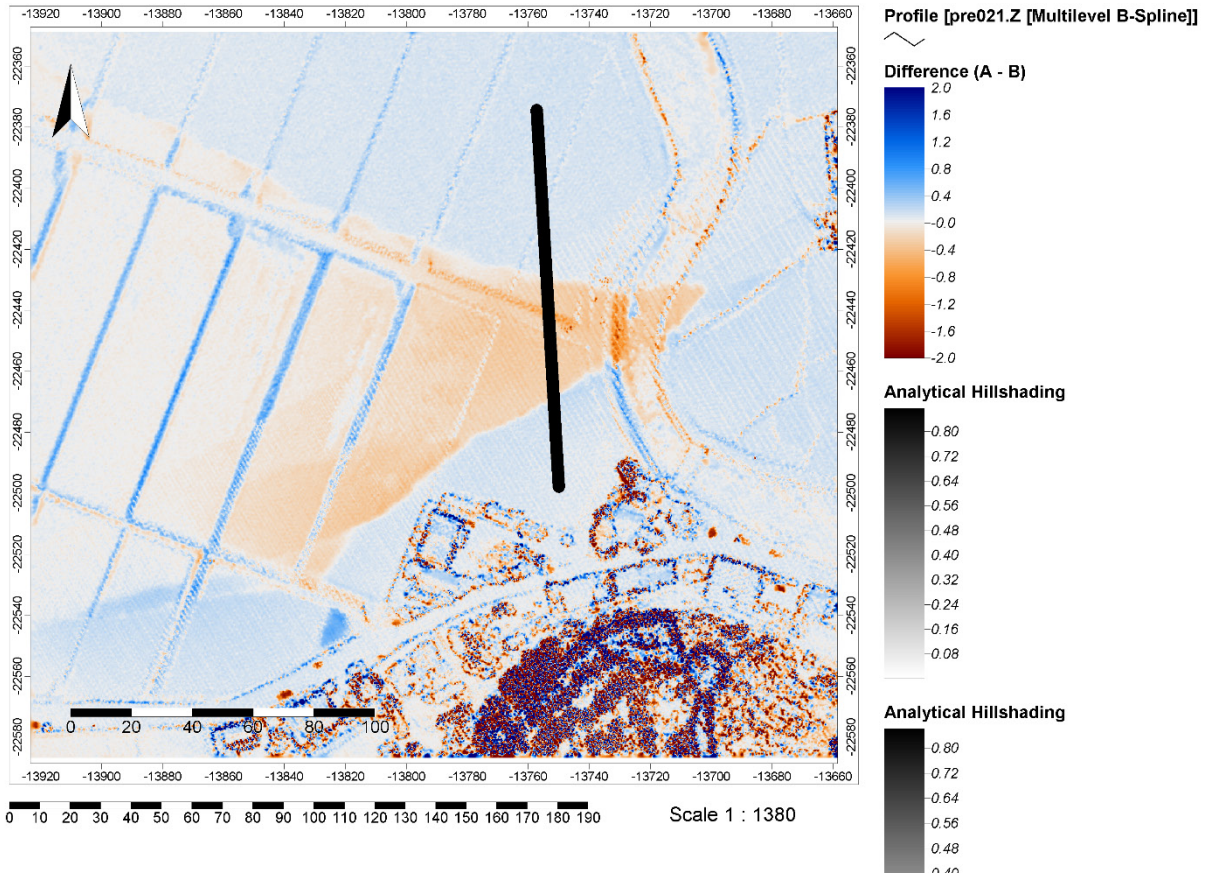
Analytical Hillshading

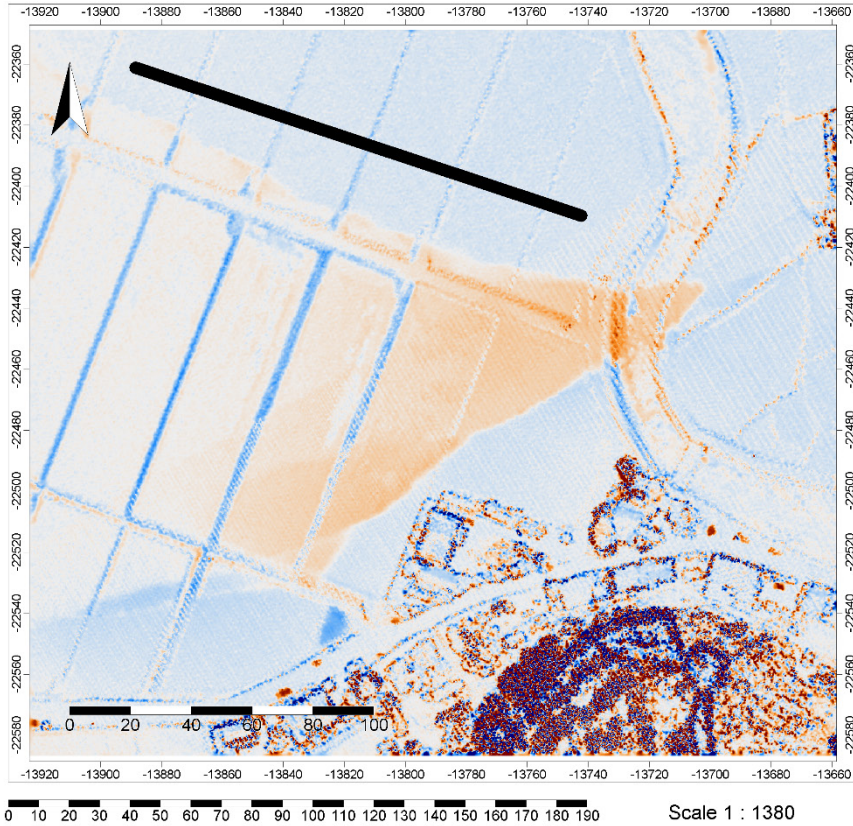


Analytical Hillshading



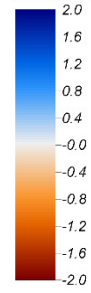
Scale 1 : 1380



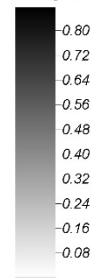


Profile [pre021.Z [Multilevel B-Spline]]

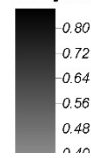
Difference (A - B)



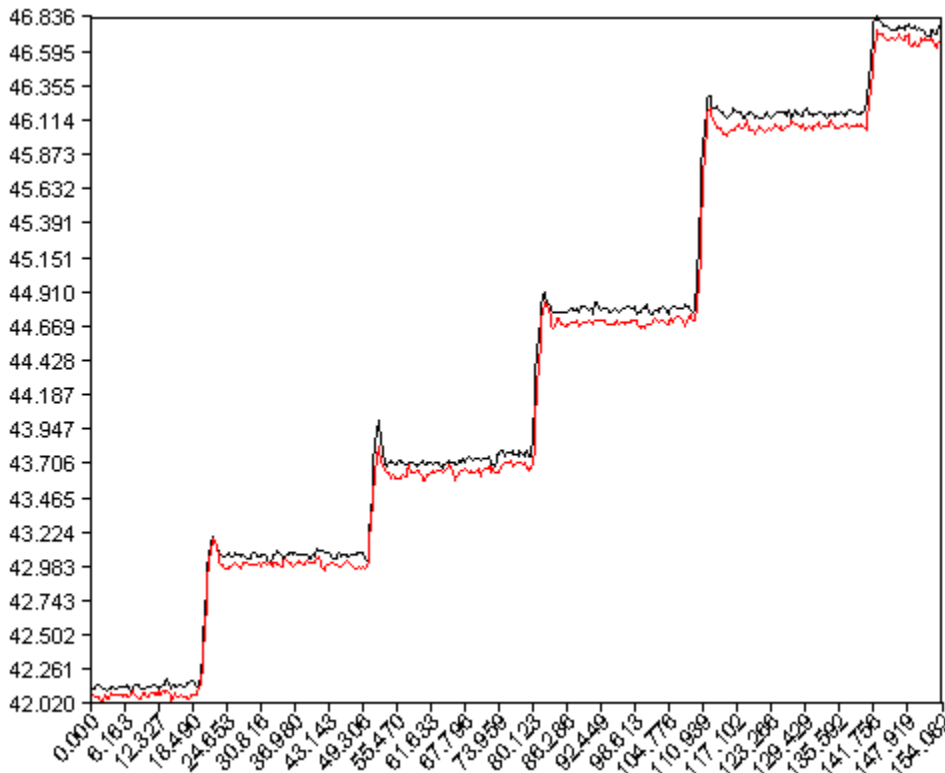
Analytical Hillshading



Analytical Hillshading

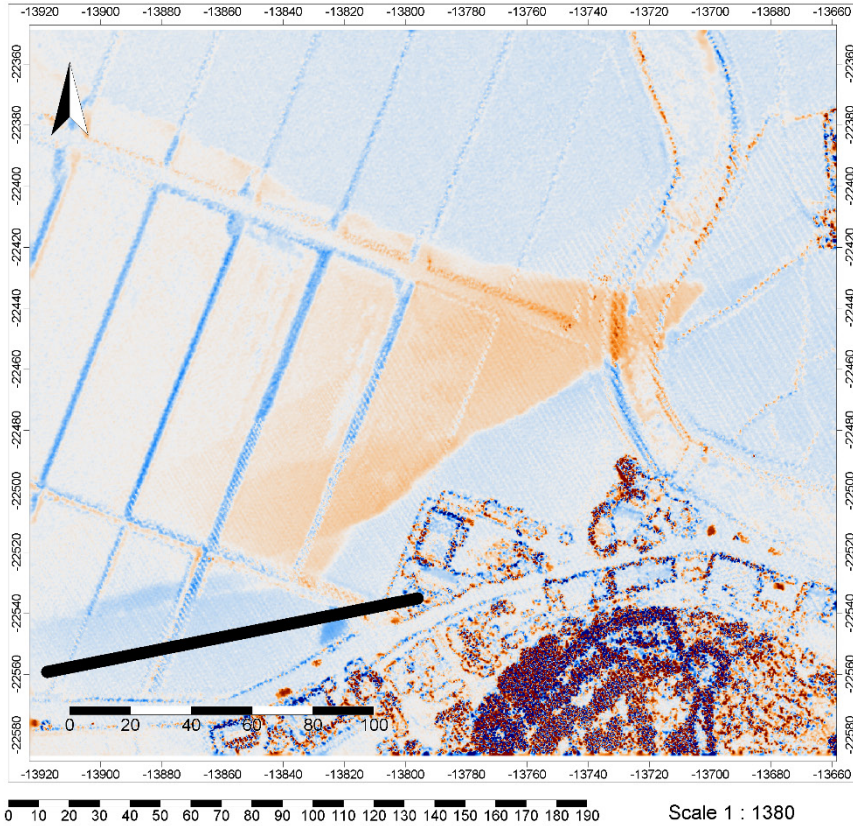


Scale 1 : 1380



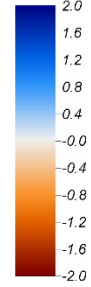
Z  
post021\_r



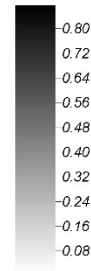


Profile [pre021.Z [Multilevel B-Spline]]

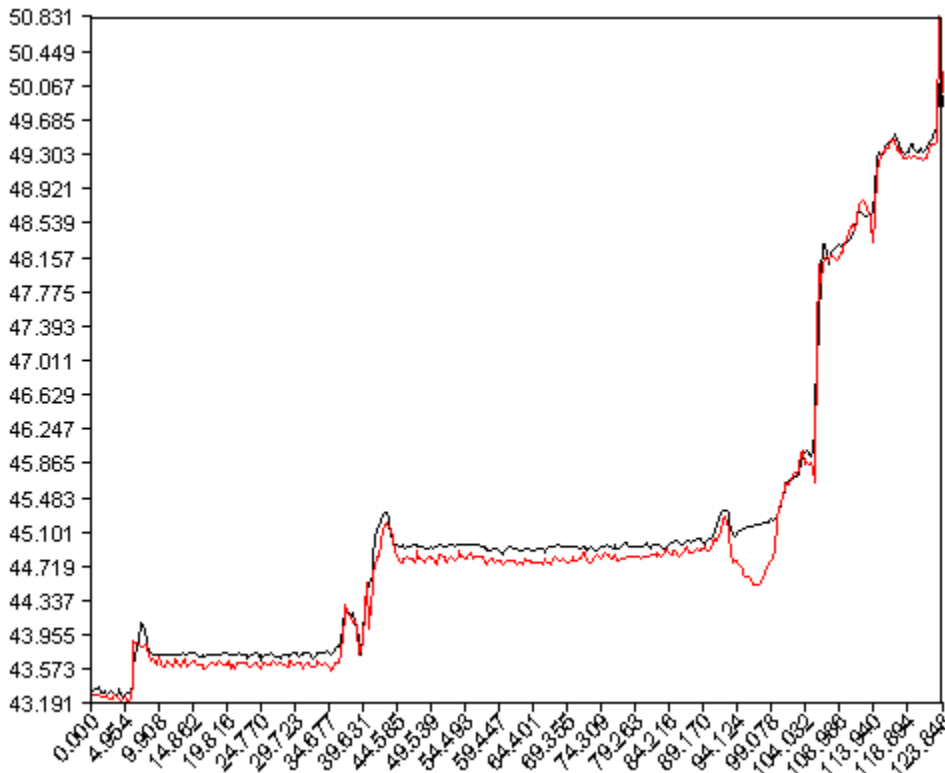
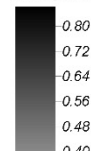
Difference (A - B)



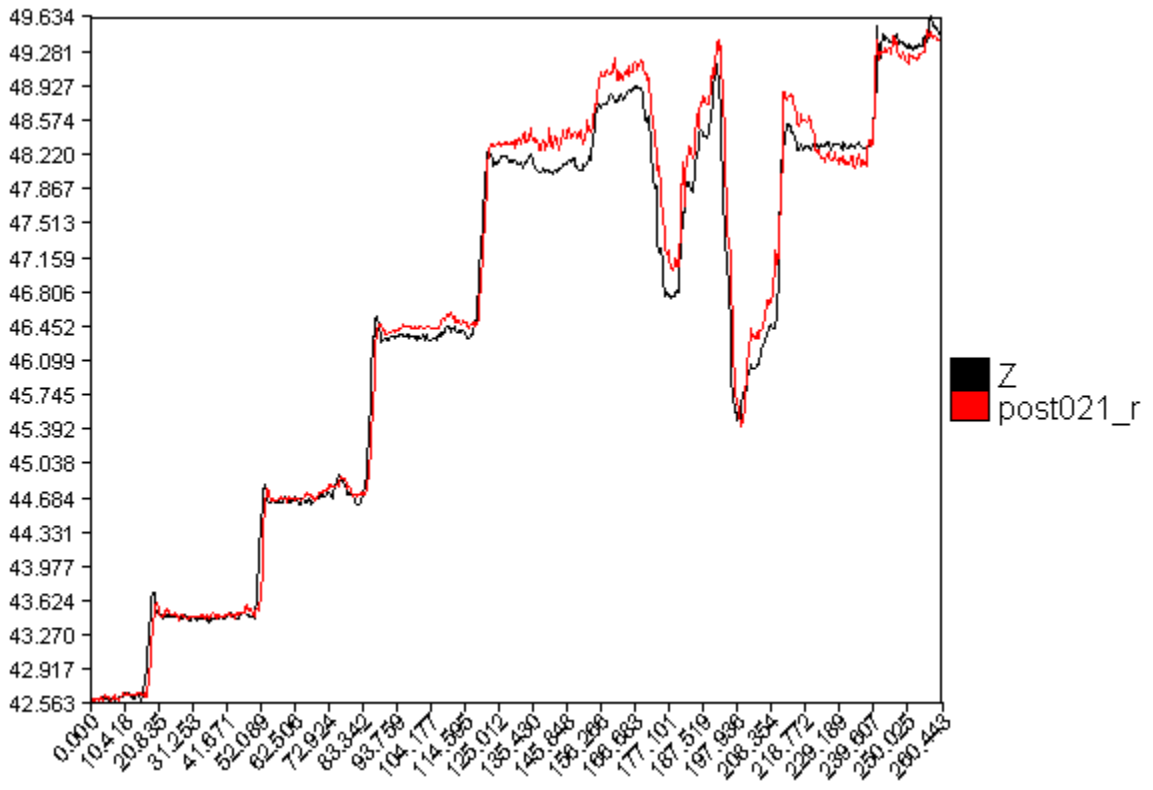
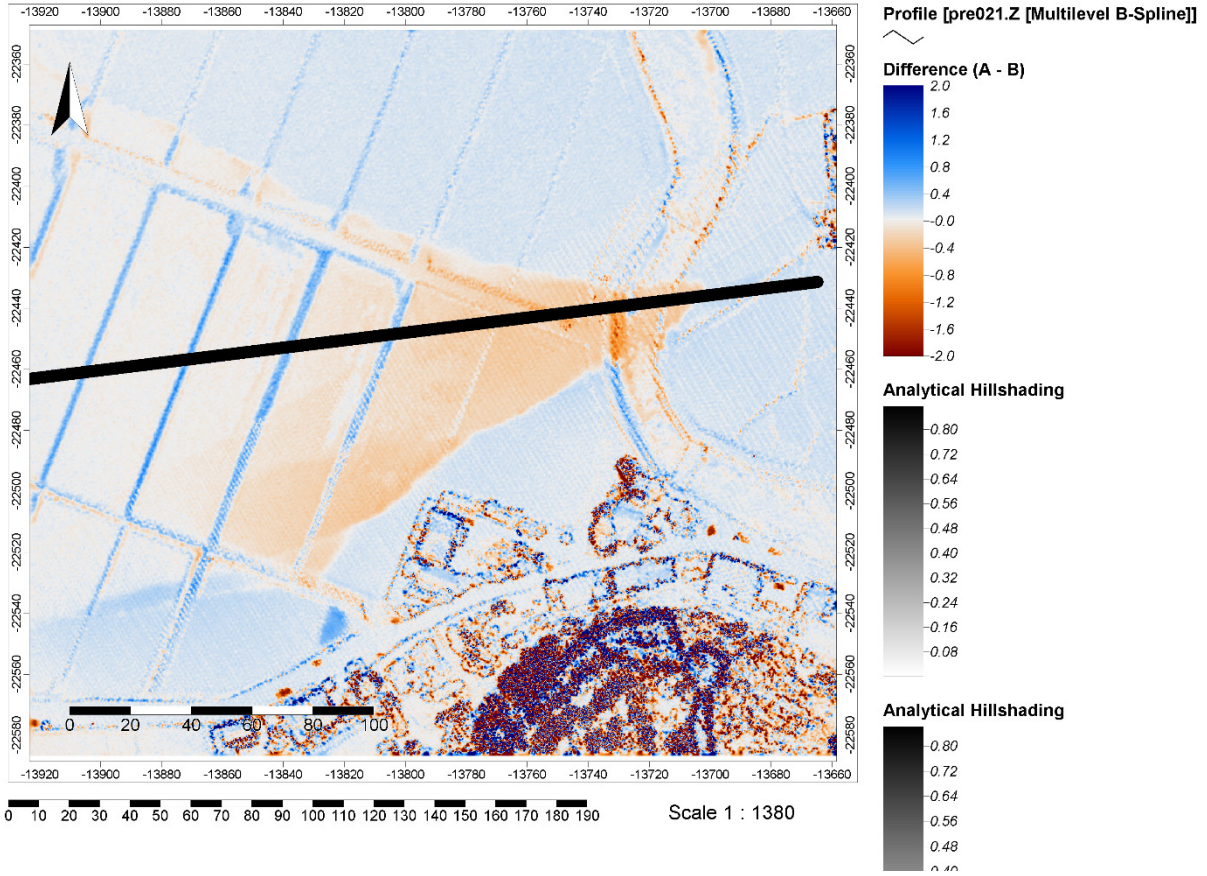
Analytical Hillshading



Analytical Hillshading

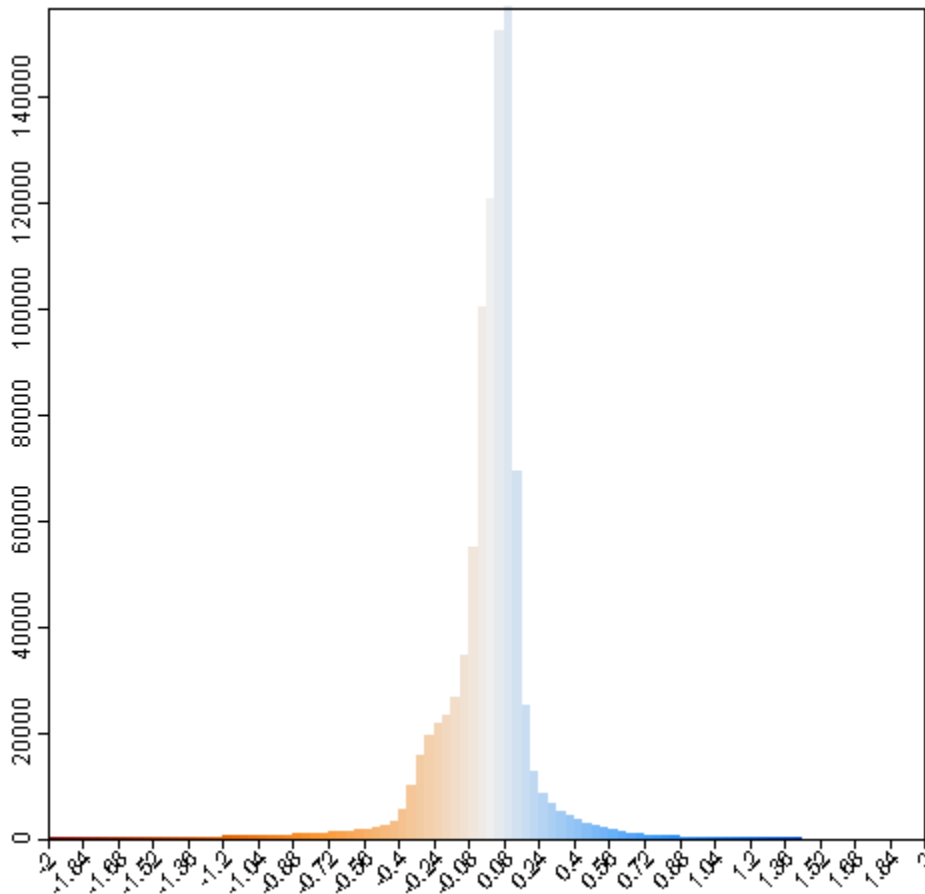


Z  
post021\_r



Ținând cont că erorile induse de georeferențierea norilor LiDAR au fost eliminate, erorile care ne pot influența detecția schimbărilor geomorfologice pot fi date de metoda de achiziție a datelor și de existența unor aspecte topografice. Aspectele topografice (clădiri și vegetație) pot fi eliminate prin restrângerea zonei de studiu. Erorile date de metoda de achiziție vor fi eliminate prin utilizarea unui nivel minim de detecție ( $\text{min}_{\text{LOD}}$ ).

Analiza histogrammei diferențelor brute este un prim pas în identificarea surselor de erori. Ideal este ca forma histogrammei să fie simetrică și centrată pe 0.



Dacă este centrată pe 0, atunci se poate spune că erorile sunt distribuite normal și că asocierea unui nivel minim de detecție va permite identificarea ratelor de proces.

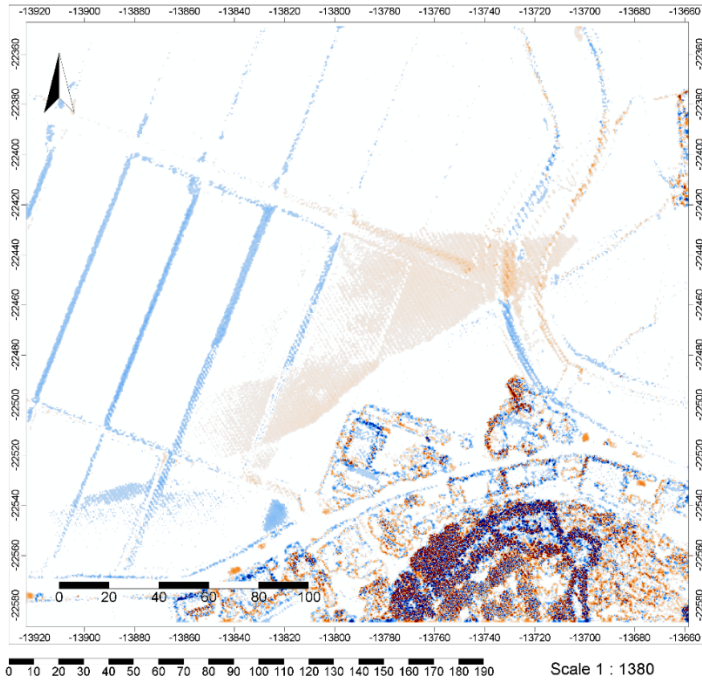
Dacă asimetria este prezentă și nu există centrare la 0, atunci avem un semnal că erori sistematice încă există: deplasare verticală sau laterală, clădiri, vegetație.

În cazul metodei de achiziție a datelor LiDAR, eroare metodei este de maxim  $\pm 20$  cm (0,2 m). Dacă aplicăm acest nivel minim, teoretic erorile vor fi eliminate.

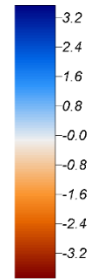
Grid / Tools / Reclassify Grid Values

Este nivelul minim de detecție 0,2 m valid în cazul d-voastră? Dar cel de 0,1 m?

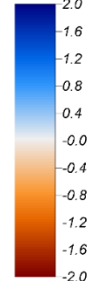
Explicați contextul geomorfologic și rezultatele aplicării nivelului minim de detecție.



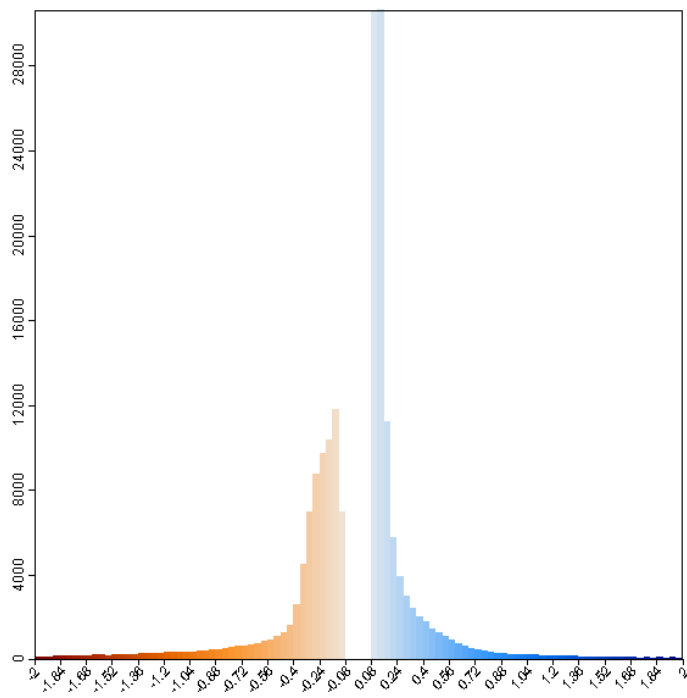
Difference (A - B) (Reclassified)

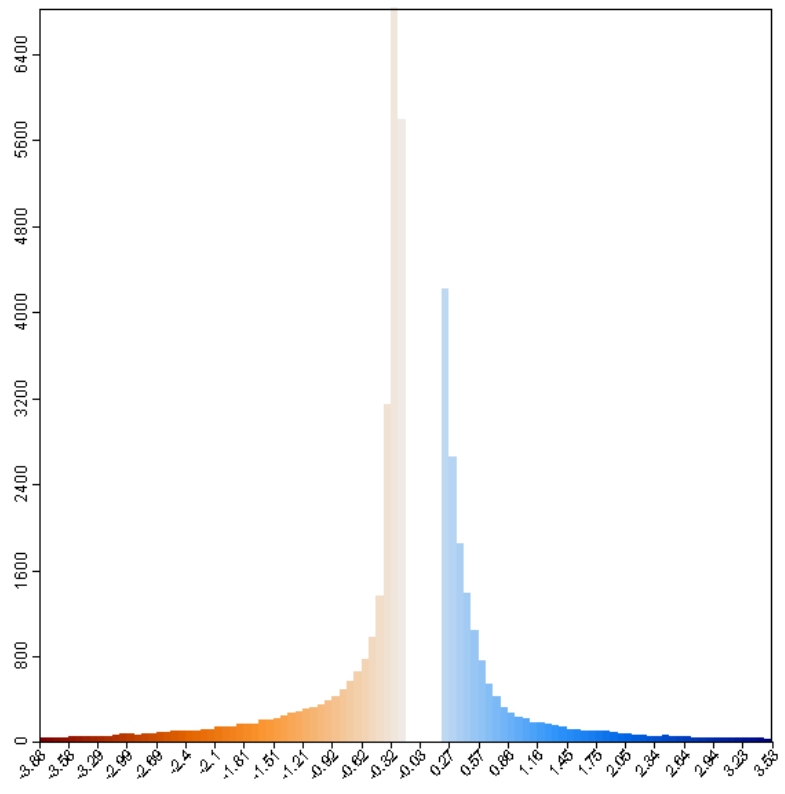
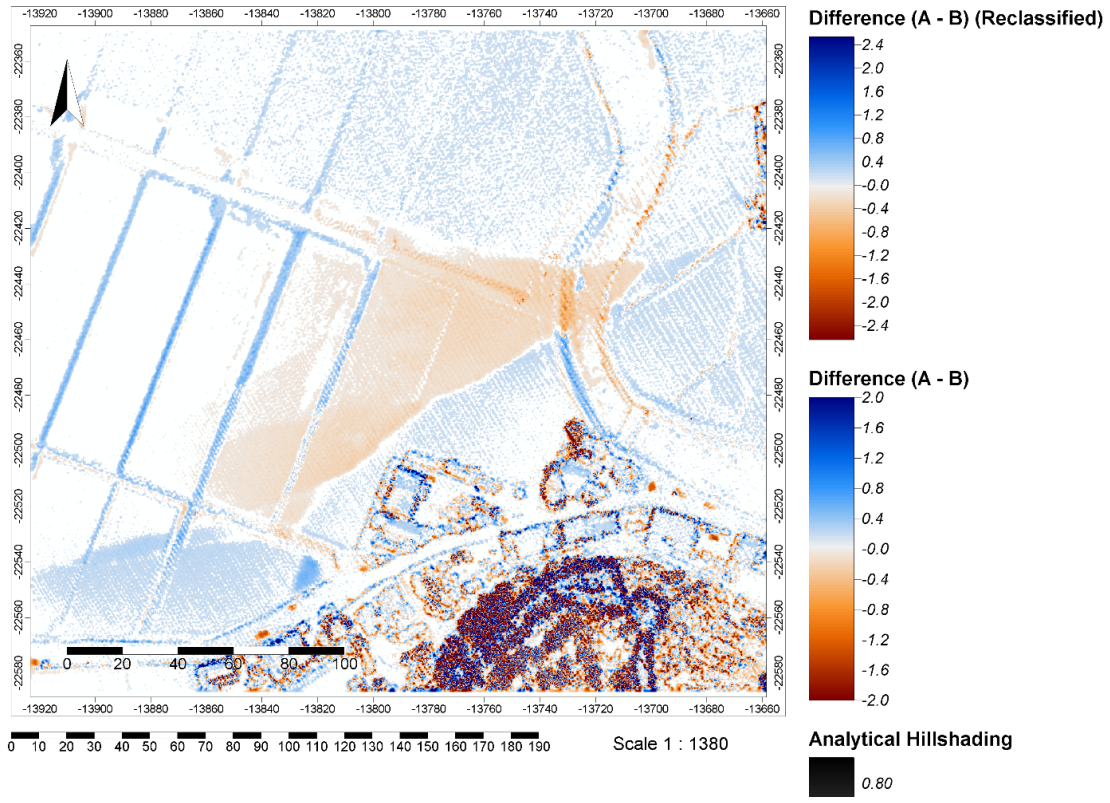


Difference (A - B)



Analytical Hillshading





În contextul geomorfologic dat, nivelul minim de detecție chiar de 0,1 m elimină zone cu schimbări geomorfologice. În acest context ar fi utilă o variabilitate spațială a erorii minime de detecție.

Aceasta se poate realiza cu ajutorul modelării probabilistice a erorii astfel: se calculează valoarea testului student  $t$

$$T = (Z_{\text{pre}} - Z_{\text{post}}) / 0,25$$

Vor fi ulterior filtrate valorile  $t$  cuprinse între  $-1,93$  și  $1,96$ , valoare prag care indică o probabilitate de 95%, ca schimbarea de topografie să fie geomorfologic indusă.

Calculul volumelor

Calculul volumelor de materiale deplasate se face prin înmulțirea valorii diferențelor de altitudine (înălțimea paralelipipedului -  $m$ ) cu suprafața ( $m^2$ ) unui pixel (baza paralelipipedului –  $0,0625 m^2$ ). Rezultatul se exprimă în  $m^3$ .

## 1.4 Interpretarea geomorfologică

O falie este o fractură sau o zonă de fracturi între două blocuri de roci. Falia permite blocurilor să se deplaseze în raport cu celălalt. Această mișcare poate apărea rapid, sub forma unui cutremur - sau poate apărea lent, sub formă de creep. Faliile pot varia în lungime de la câțiva milimetri la mii de kilometri. Cele mai multe falii produc deplasări repetate de-a lungul timpului geologic. În timpul unui cutremur, compartimentul de rocă de pe o parte a faliei alunecă brusc în raport cu celălalt. Suprafața faliei poate fi orizontală sau verticală sau să aibă un unghi arbitrar între ele.

Oamenii de știință care studiază Pământul folosesc unghiul de falie în ceea ce privește suprafața (cunoscut sub numele de înclinarea scufundării) și direcția de alunecare de-a lungul faliei pentru a le clasifica.

Faliile care se deplasează de-a lungul direcției planului de scufundare sunt falii de scufundare-alunecare și sunt descrise fie ca normale, fie inverse (de împingere), în funcție de mișcarea lor. Faliile care se deplasează orizontal sunt cunoscute sub denumirea de falii de decroșare și sunt clasificate fie ca laterale la dreapta, fie ca laterale stânga. Faliile care arată atât scufundare-alunecare cât și decroșare sunt cunoscute sub numele de falii oblice de alunecare.

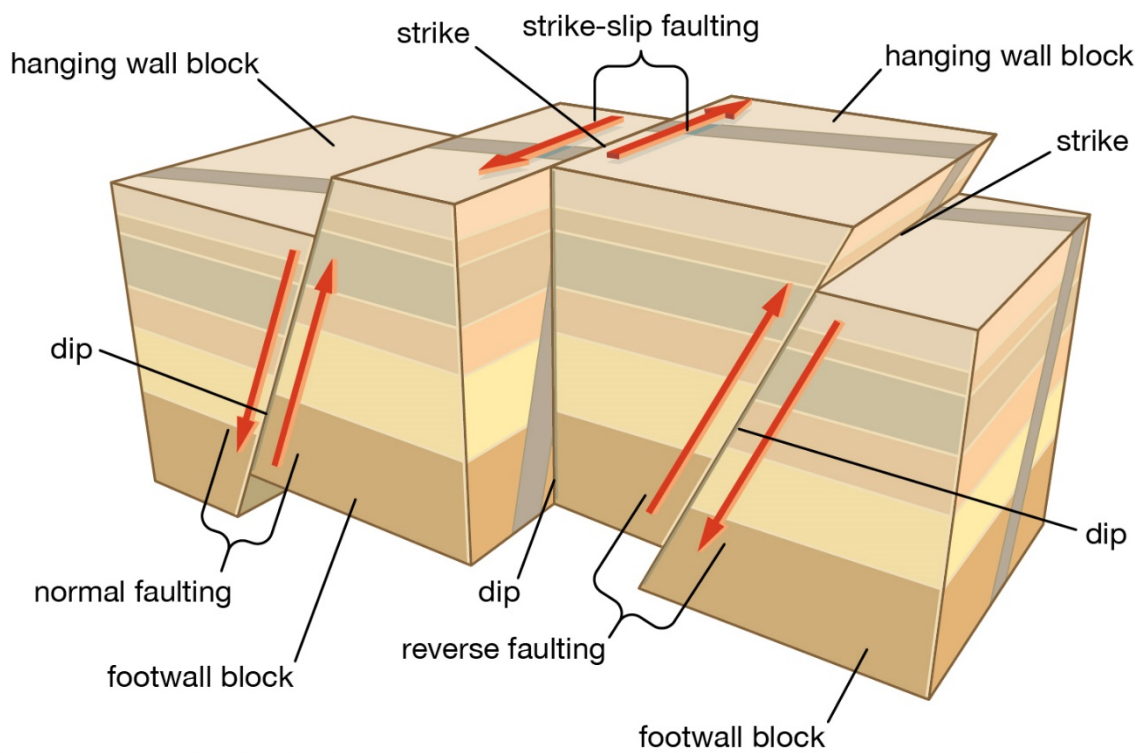
**FALIA NORMALĂ** - o falie de scufundare-alunecare în care blocul de deasupra liniei de falie (intersecția planului de falie cu suprafața) s-a deplasat în jos în raport cu blocul de mai jos. Acest tip de falie apare ca răspuns la extindere.

**FALIE INVERSĂ** - o falie de scufundare-alunecare în care blocul superior, deasupra liniei de falie (intersecția planului de falie cu suprafața), se deplasează în sus și peste blocul inferior. Acest tip de falie este comun în zonele de compresie. Când unghiul de înclinare a scufundării este redus, o falie de revers este descrisă ca falie inversă.

**FALIA DE DECROȘARE** – este o falie pe care cele două blocuri alunecă unul față de celălalt. Falia San Andreas este un exemplu de falie de decroșare laterală de dreapta.

O falie de decroșare laterală de stânga este una pe care deplasarea blocului îndepărtat este la stânga atunci când este privită din oricare parte.

O falie de decroșare laterală de dreapta este una pe care deplasarea blocului îndepărtat este la dreapta atunci când este privită din oricare parte.



© 2015 Encyclopædia Britannica, Inc.

<https://cdn.britannica.com/45/345-050-226C3D01/Types-earthquakes-faulting-rock-masses-each-other.jpg>

Ce fel de falii apar pe zona de studiu? Arătați orientarea lor și în funcție de aceasta încadrați falia în una din tipologiile de mai sus.

## Tema 2 – Geomorfologia tectonică – erupțiile vulcanice

### 2.1 Studiu de caz: Erupția vulcanului Mount Saint Helens

Din perspectivă geomorfologică erupția vulcanului Mt. St. Helens a declanșat o alunecare de roci continuată printr-o avalanșă de debris<sup>5</sup>. Erupția propriu-zisă, din 18 mai 1980, de tip plinian<sup>6</sup> a devastat o arie de 550 km<sup>2</sup>, fiind urmată de o alunecare a flancului vulcanului și în continuarea ei o avalanșă de debris cu viteză maximă de 70 m/s, medie de 35 m/s, care a ținut 10 minute, timp în care materialul s-a deplasat 25 km. Pe 65 km<sup>2</sup> s-au depus 2,8 km<sup>3</sup> de debris, gros de până la 45 m, cu o topografie ondulată dominată de blocuri de material.

### 2.2 Date topografice și detecția schimbărilor geomorfologice

Datele sunt constituite din seturi de date raster, interpolate din diverse surse:

- Datele la o rezoluție de 30 m, sunt obținute prin fotogrammetrie și sunt reprezentate de DEM-uri din 1980 (pre-erupție) și din 1981 (post-erupție)
- Datele la rezoluție de 10 m, obținute prin fotogrammetrie și ulterior prin metoda LiDAR, arată evoluția post-eruptivă;
- Datele topografice la rezoluție de 2 m, arată morfologia craterului pentru perioada post 2004, fiind obținute prin tehnica LiDAR.

Datele topografice pentru analiza detecției schimbărilor datorită erupției și alunecărilor ulterioare sunt două modele numerice ale terenului cu rezoluție spațială de 30 m<sup>7</sup>, obținute prin interpolarea curbelor de nivel ale hărților topografice 1:24 000.

---

<sup>5</sup> <https://pubs.er.usgs.gov/publication/ofr96677>

<sup>6</sup> <https://pubs.er.usgs.gov/publication/pp1250>

<sup>7</sup> <http://gis.ess.washington.edu/data/raster/thirtymeter/mtsthelens/index.html>



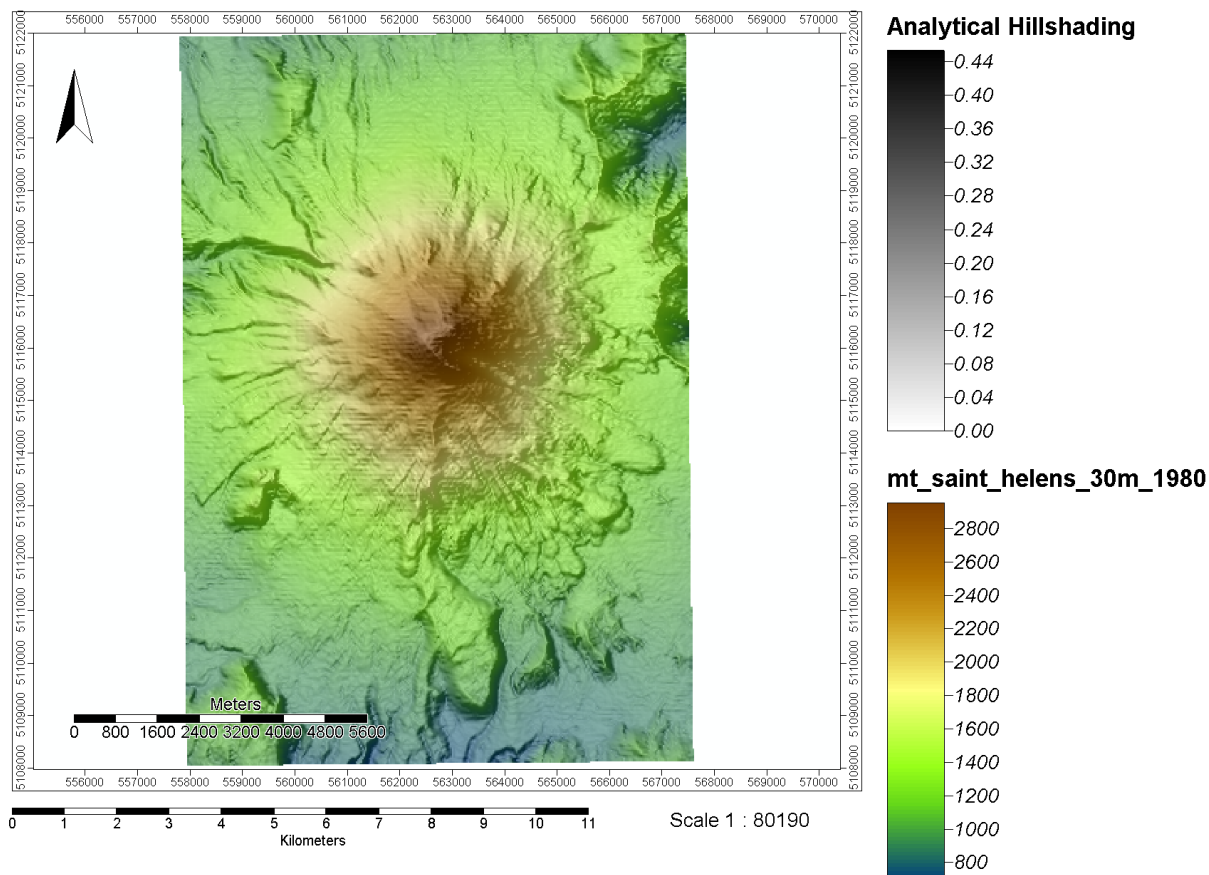


Figura 5 MNT-ul corespunzător situației pre-erupție (1980)

Deoarece seturile de date nu corespund din punct de vedere al extensiei spațiale (cazul datelor cu rezoluție de 10 m), ele vor trebui tăiate. În primă instanță trebuie să selectăm rasterul care are extensia dorită. Apoi se utilizează funcția Shapes / Shapes-Grid Tools / Grid System Extent. Ulterior trebuie tăiat rasterul cu dimensiune spațială mai extinsă cu poligonul obținut. Acasta se realizează cu ajutorul funcției Shapes / Shapes-Grid Tools / Clip Grid with Polygon.

Dacă pixelii rasterelor analizate nu corespsudn spțial, trebuie realizată reșaparea lor. Aceasta se face cu funcția Grid / Tools / Resampling.

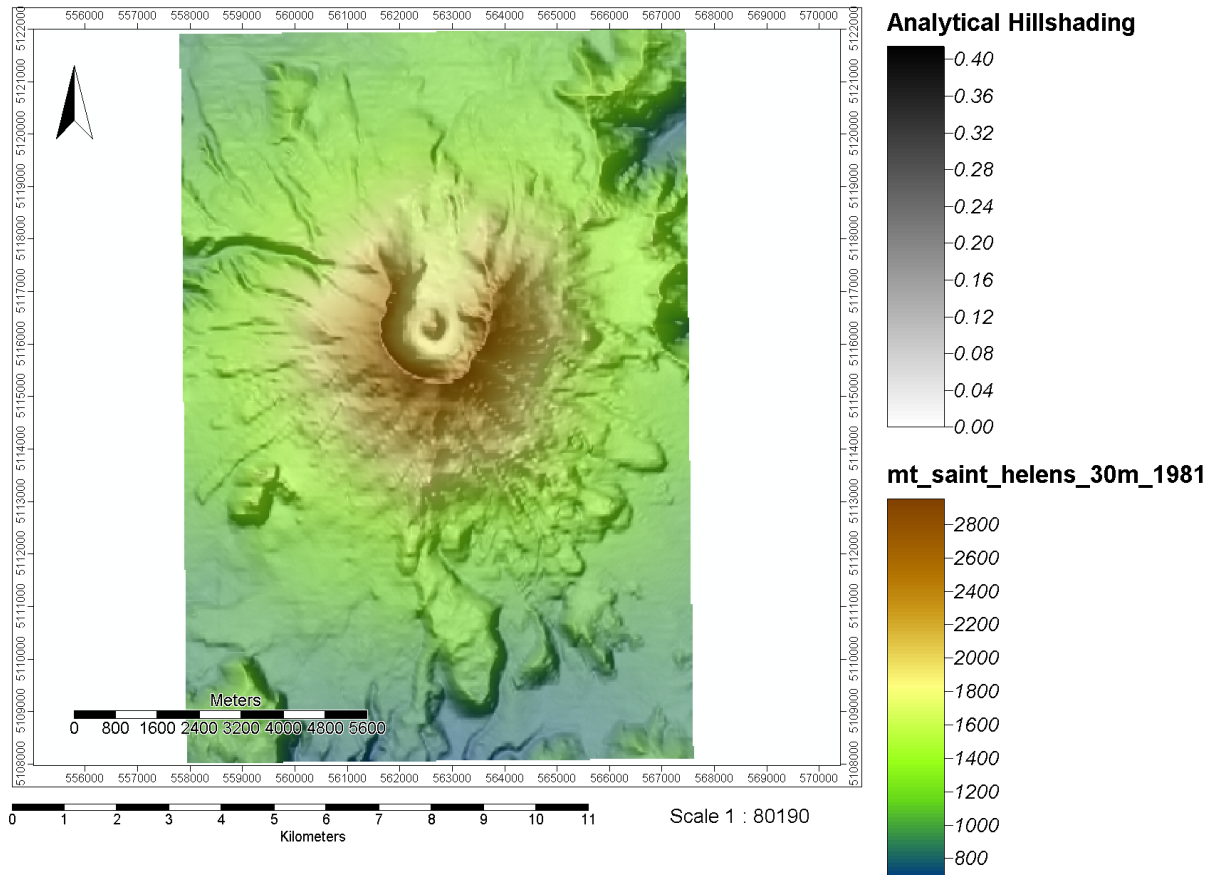
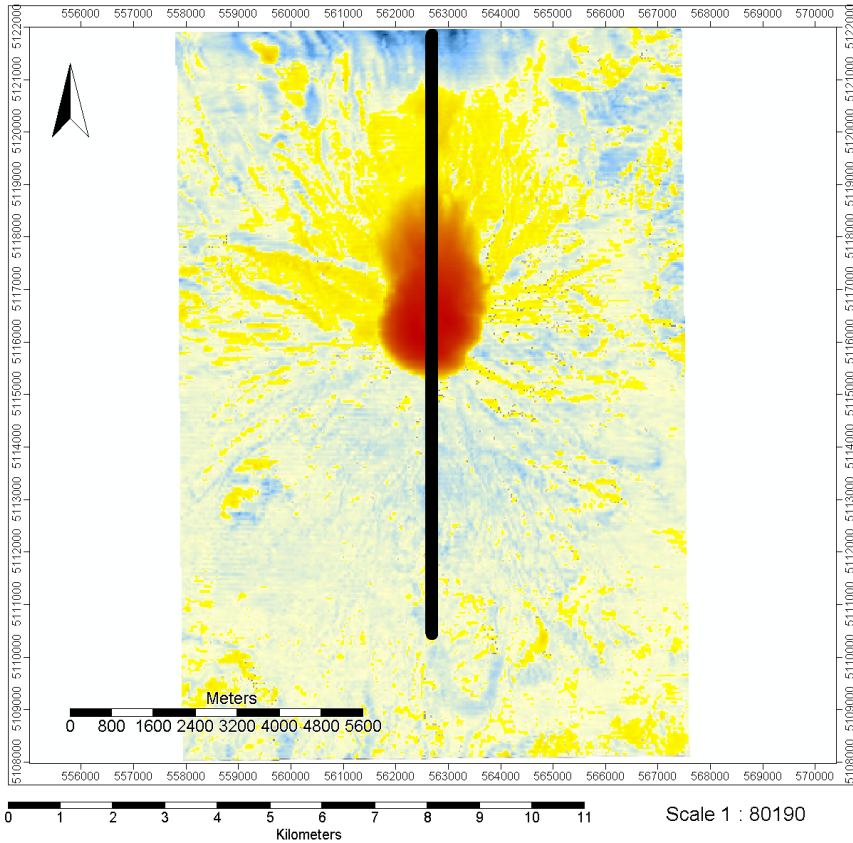


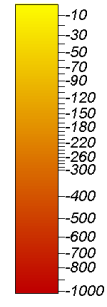
Figura 6 MNT-ul corespunzător situației post-erupție (1981)



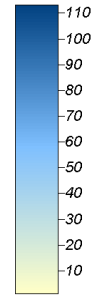
**Profile [mt\_saint\_helens\_30m\_1980]**



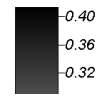
**Difference (A - B) (Reclassified)**

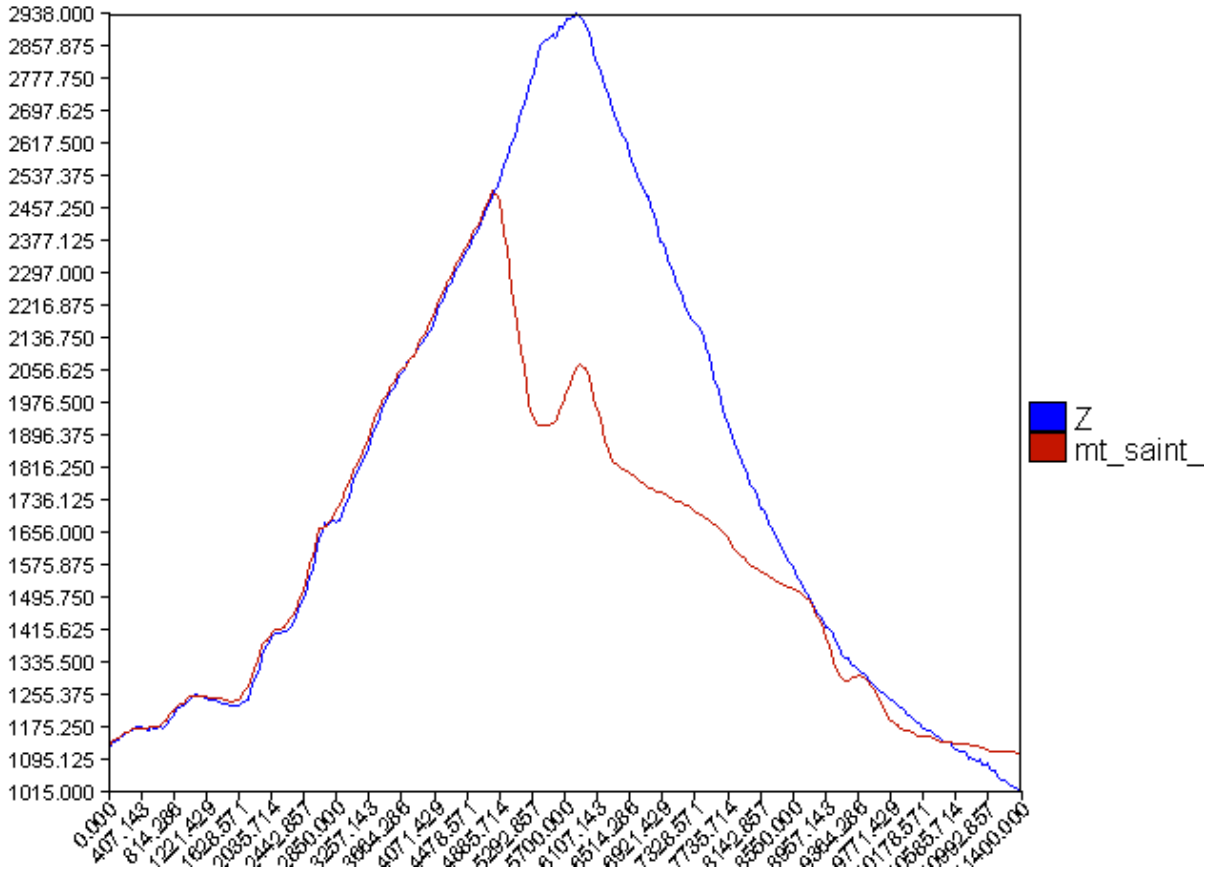


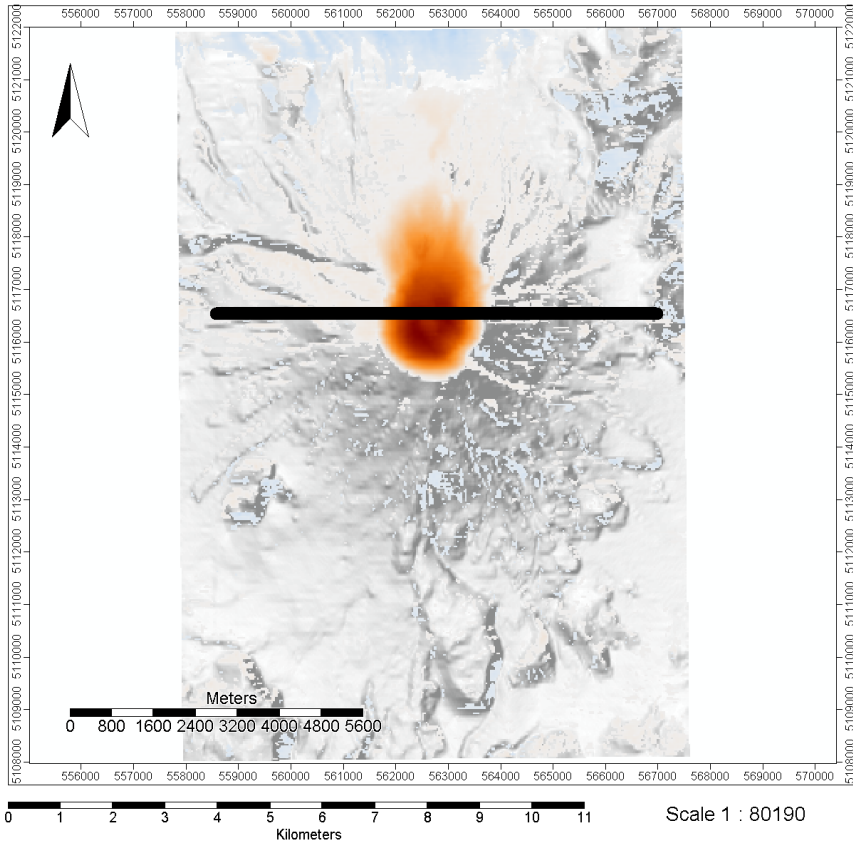
**Difference (A - B) (Reclassified)**



**Analytical Hillshading**

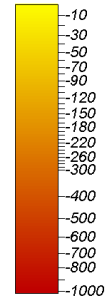




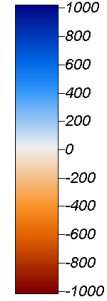


Profile [mt\_saint\_helens\_30m\_1980]

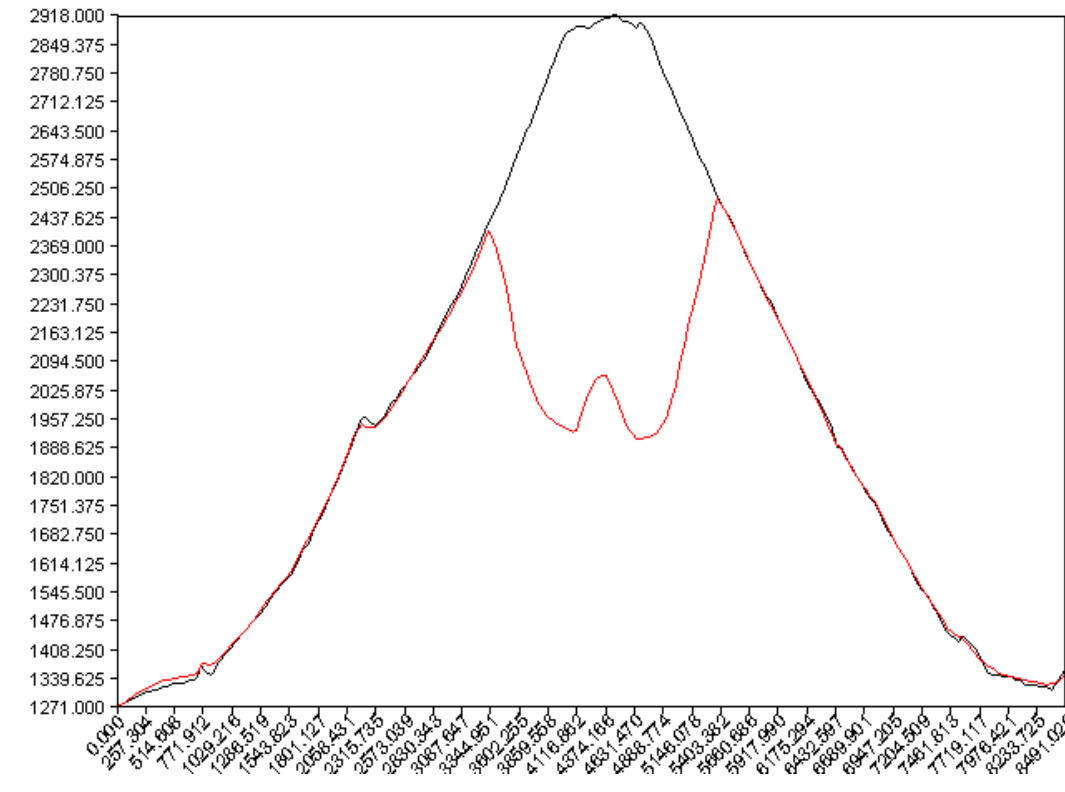
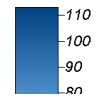
Difference (A - B) (Reclassified)



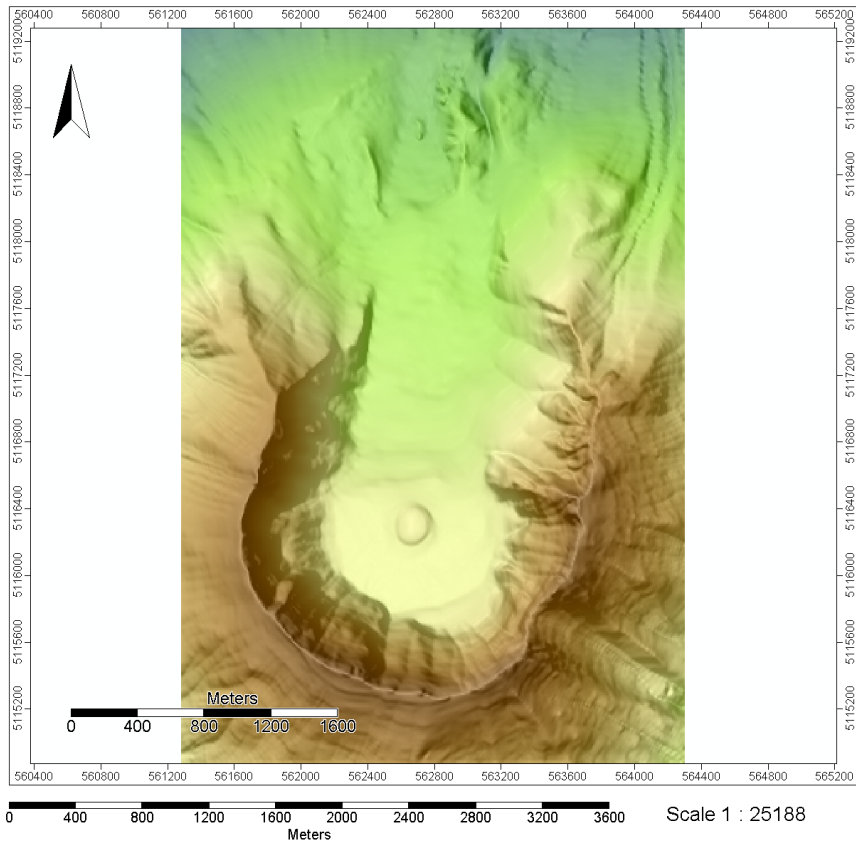
Difference (A - B) (Reclassified)



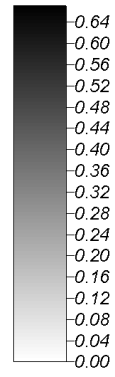
Difference (A - B) (Reclassified)



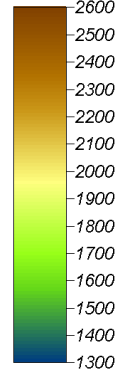
Z  
DEM 198'

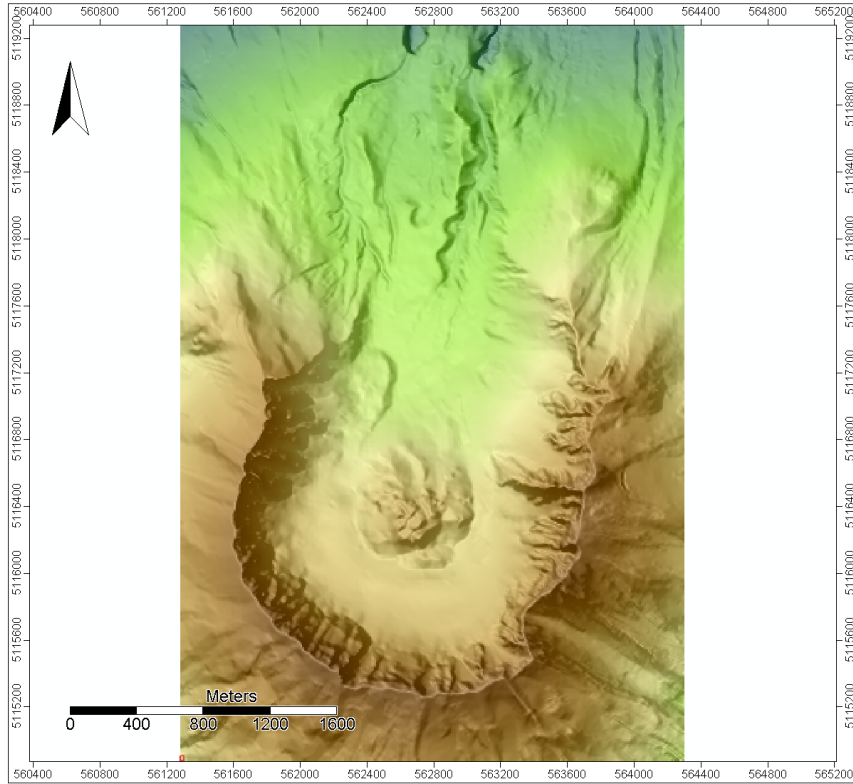


**Analytical Hillshading**

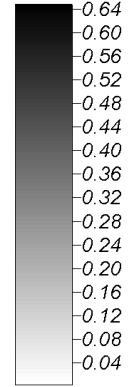


**mt\_saint\_helens\_10m\_1981m**

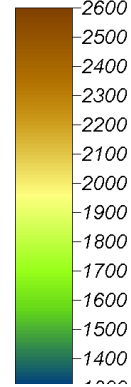




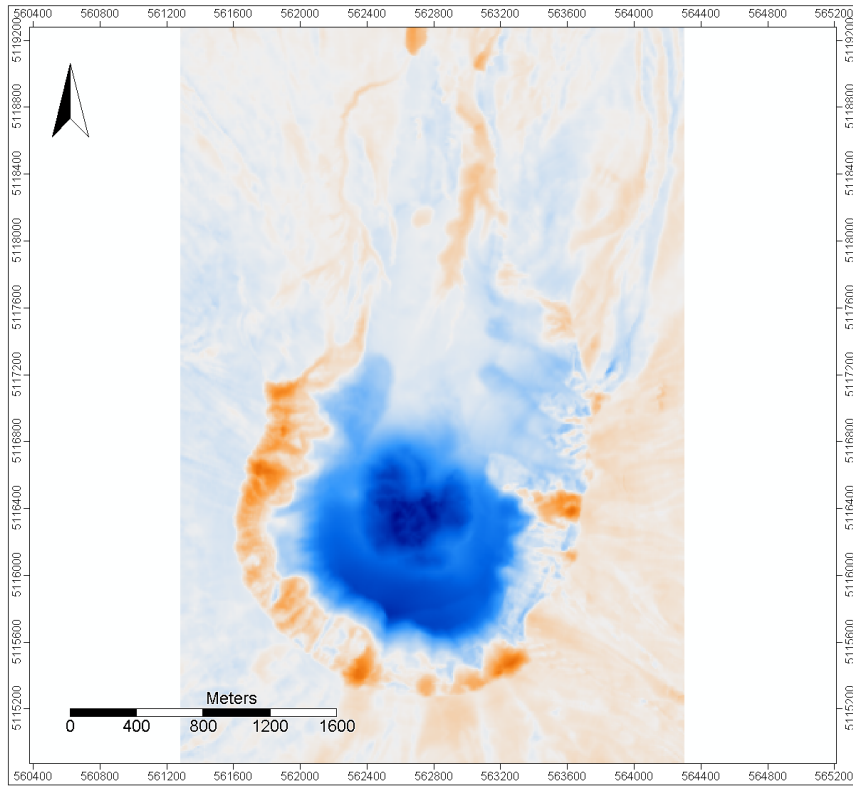
**Analytical Hillshading**



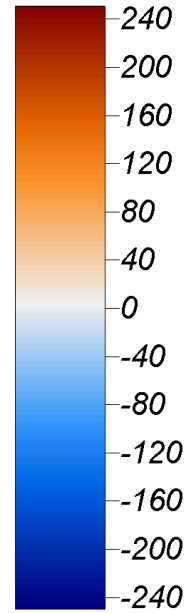
**mt\_saint\_helens\_10m\_2000**



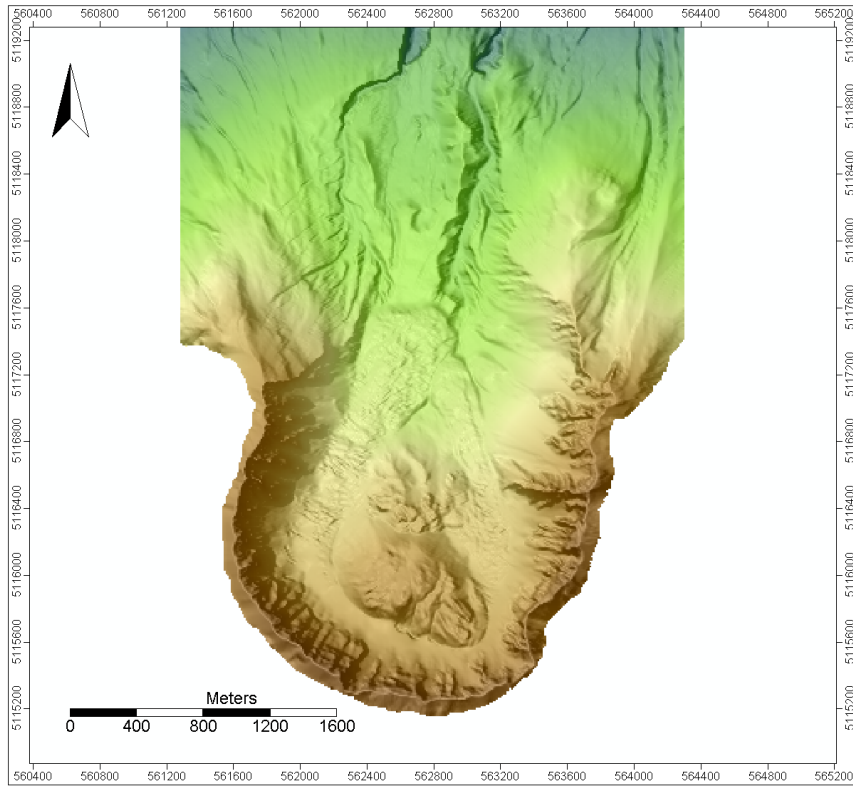
0 400 800 1200 1600 2000 2400 2800 3200 3600 Meters Scale 1 : 25188



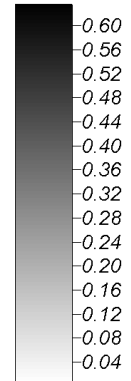
### Difference (A - B)



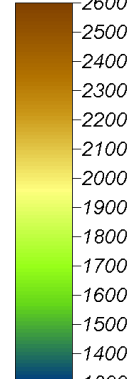




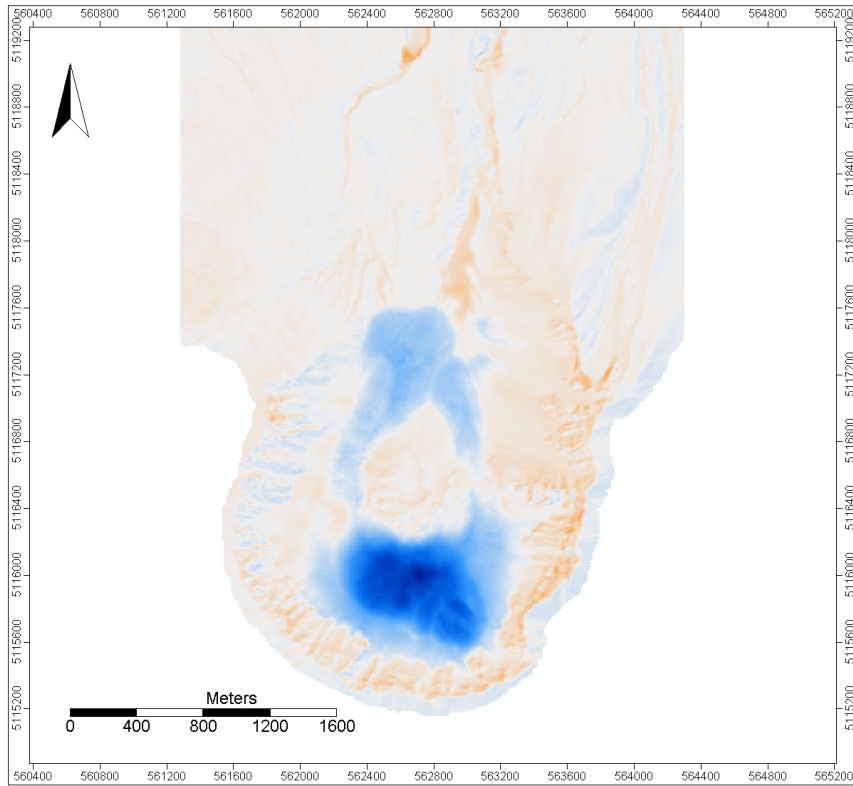
**Analytical Hillshading**



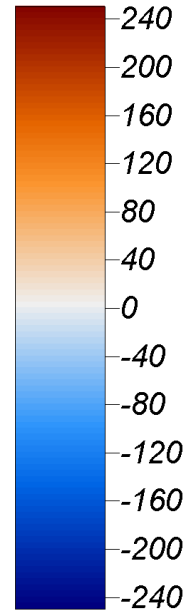
**mt\_saint\_helens\_10m\_2009**



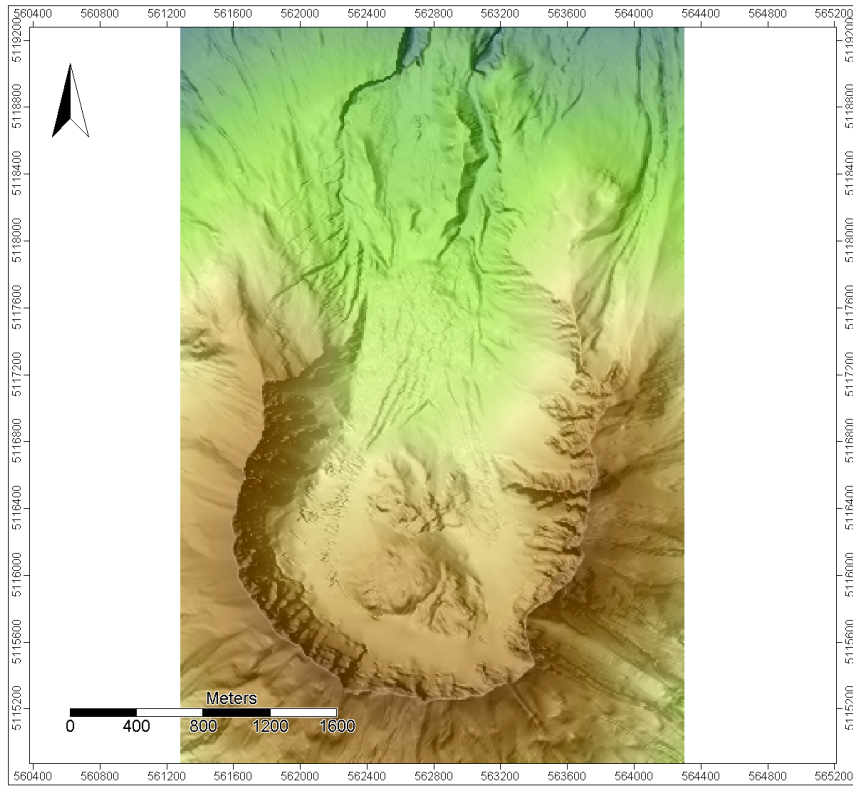
0 400 800 1200 1600 2000 2400 2800 3200 3600 Meters Scale 1 : 25188



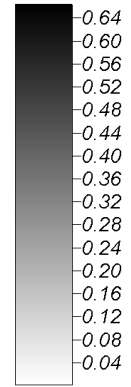
**Difference (A - B)**



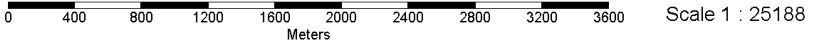
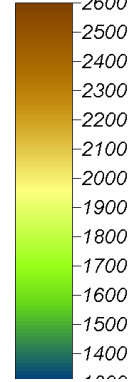
0 400 800 1200 1600 2000 2400 2800 3200 3600 Meters Scale 1 : 25188

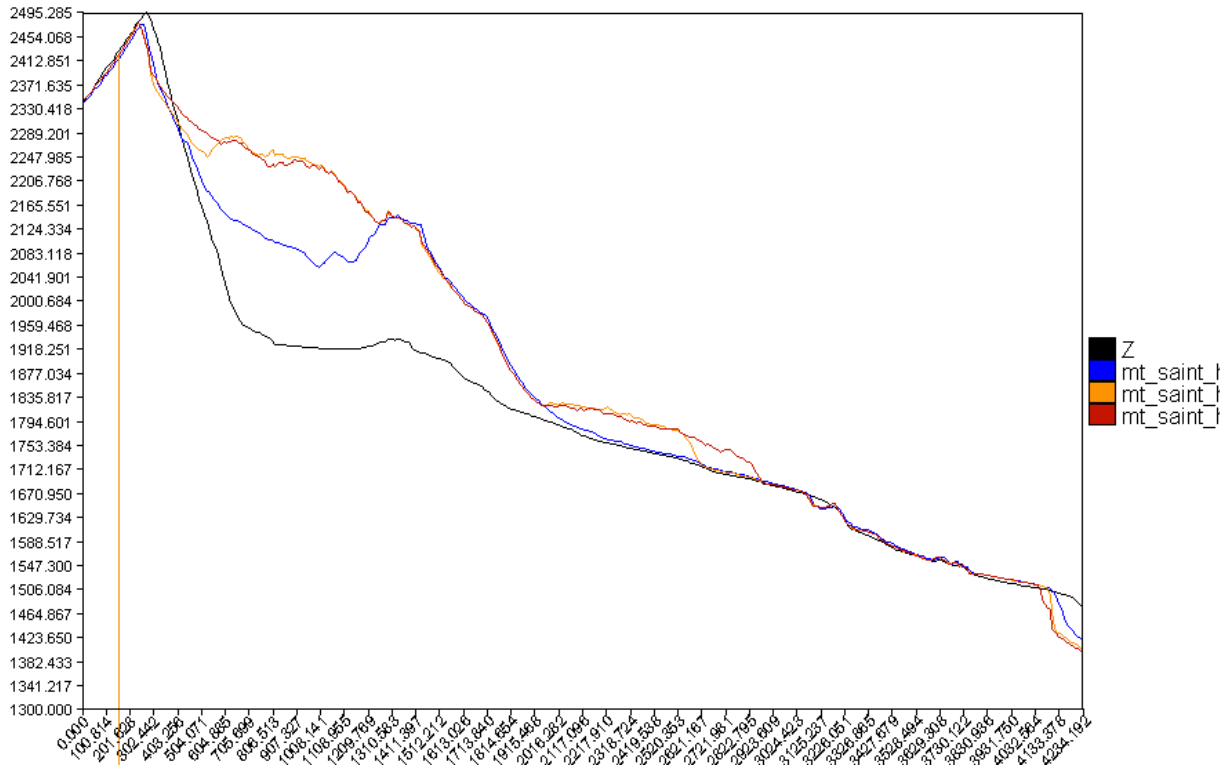
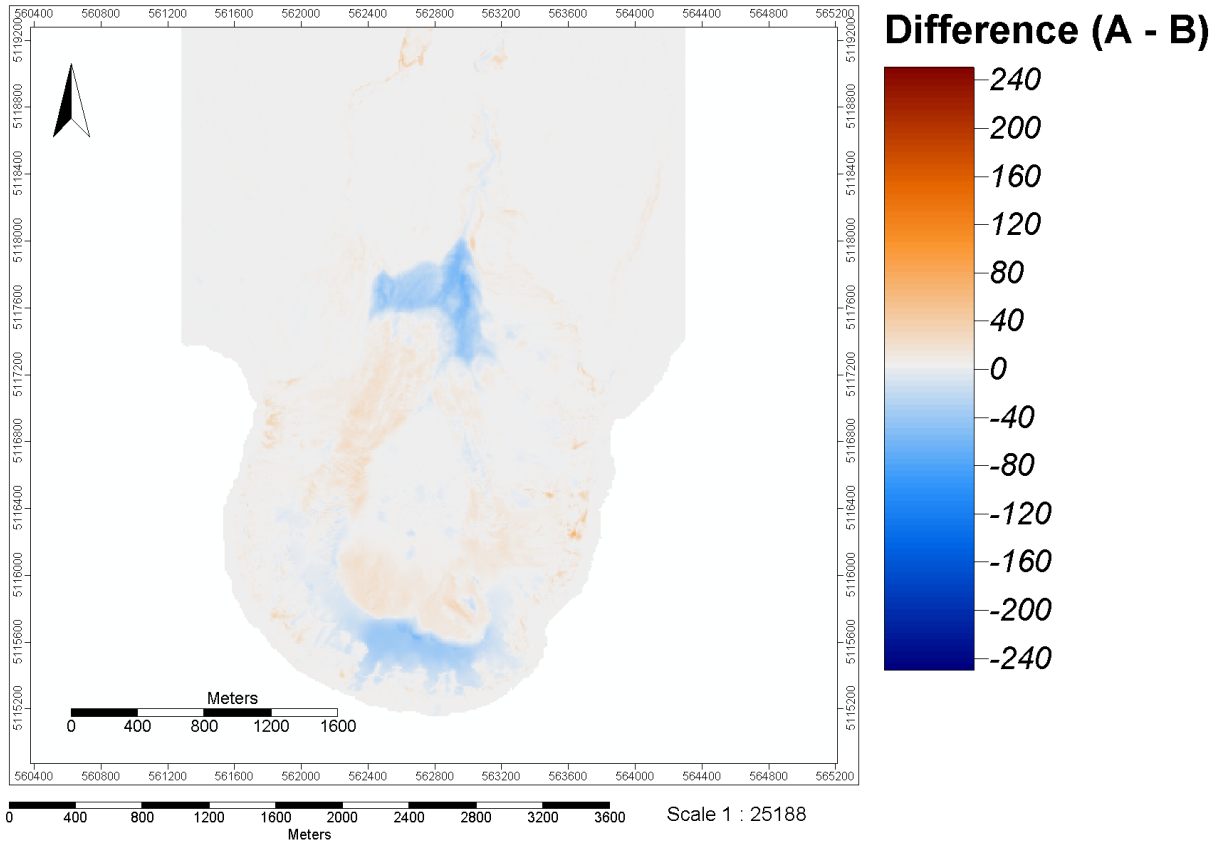


**Analytical Hillshading**

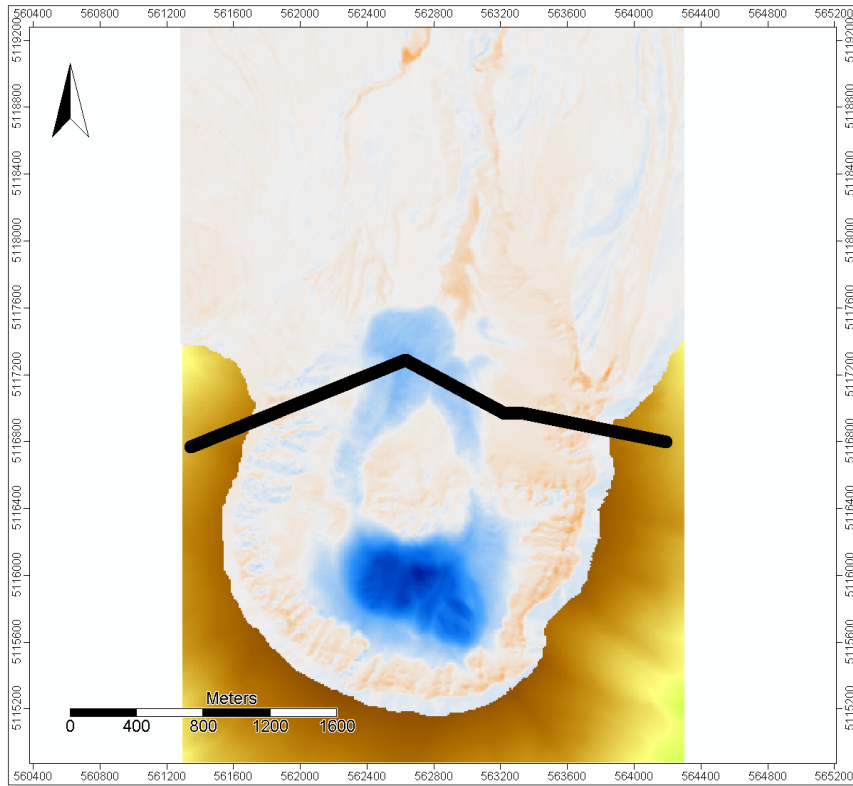


**mt\_saint\_helens\_10m\_2017**



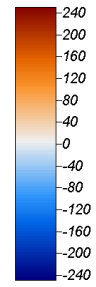


Intervalul -1 pana la +25 m diferență brută poate fi considerat eroare

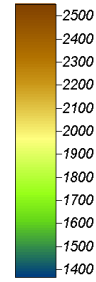


Profile [mt\_saint\_helens\_10m\_1981m]

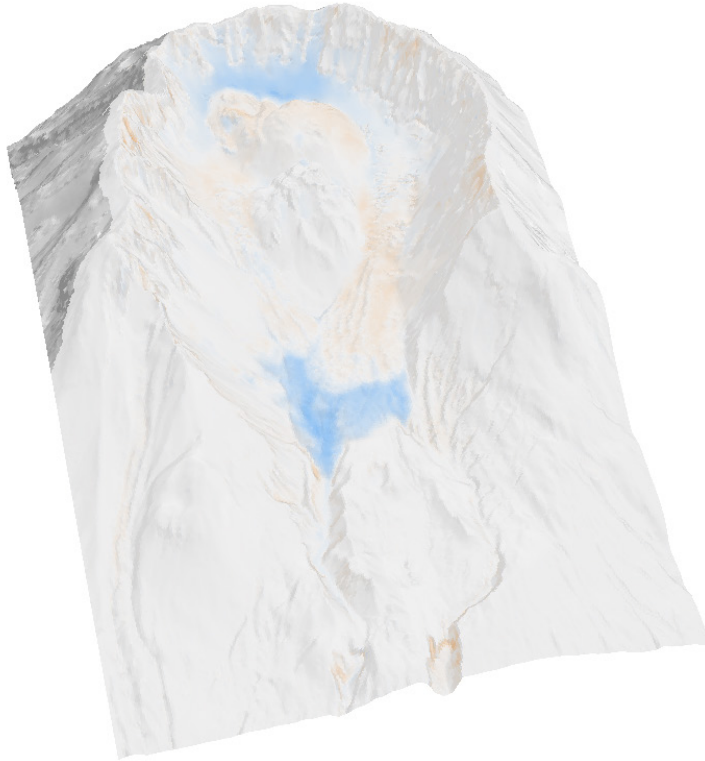
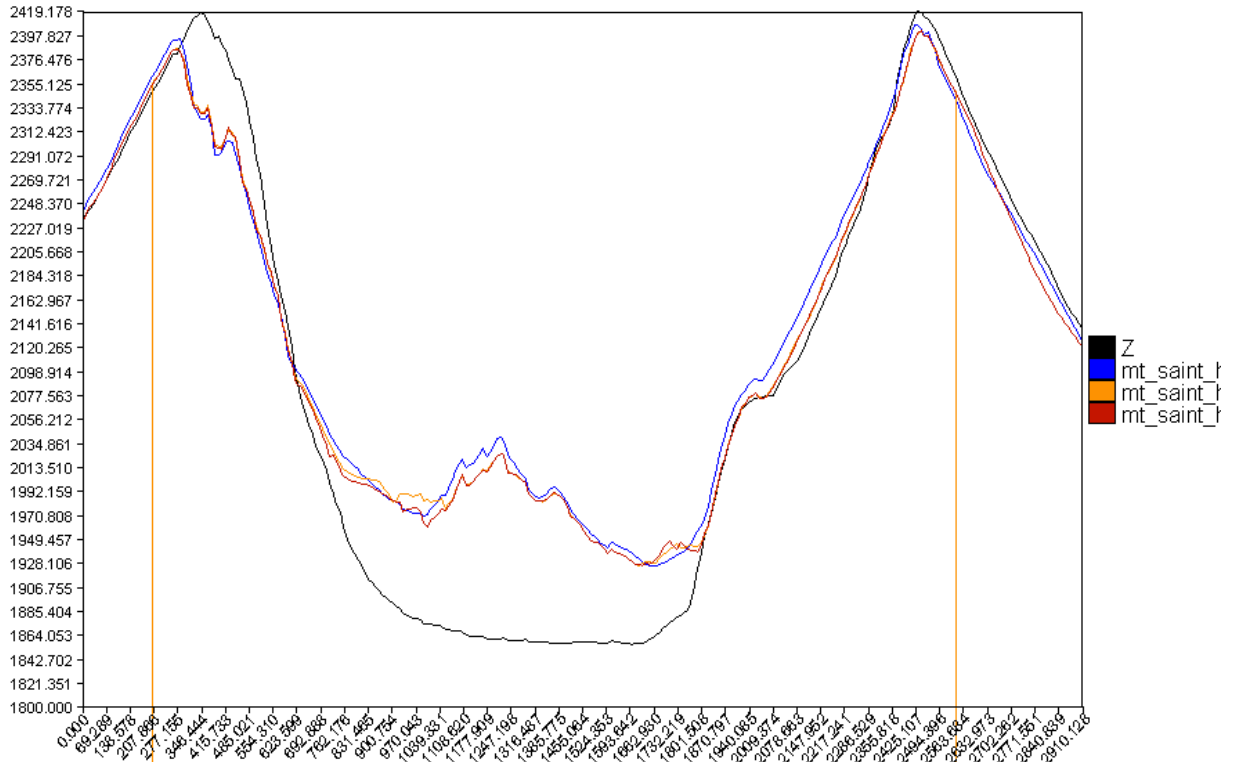
Difference (A - B)



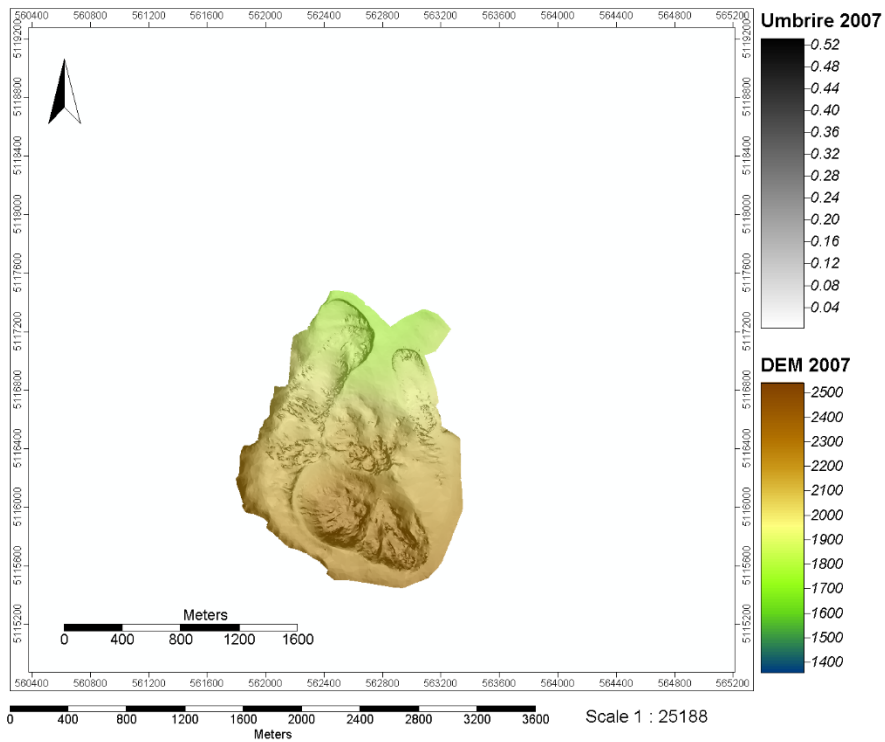
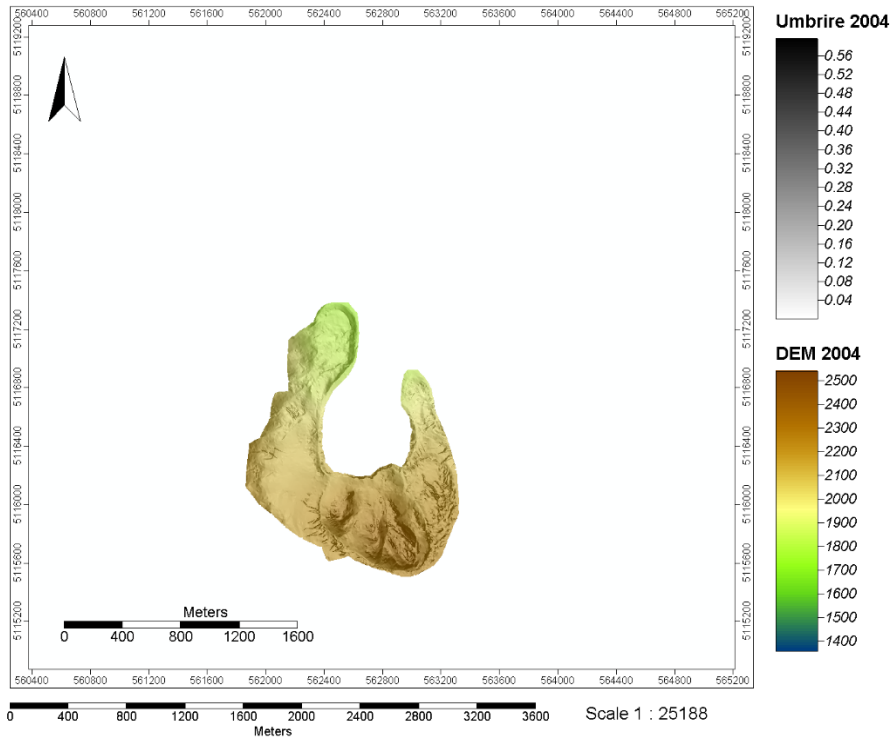
mt\_saint\_helens\_10m\_1981m

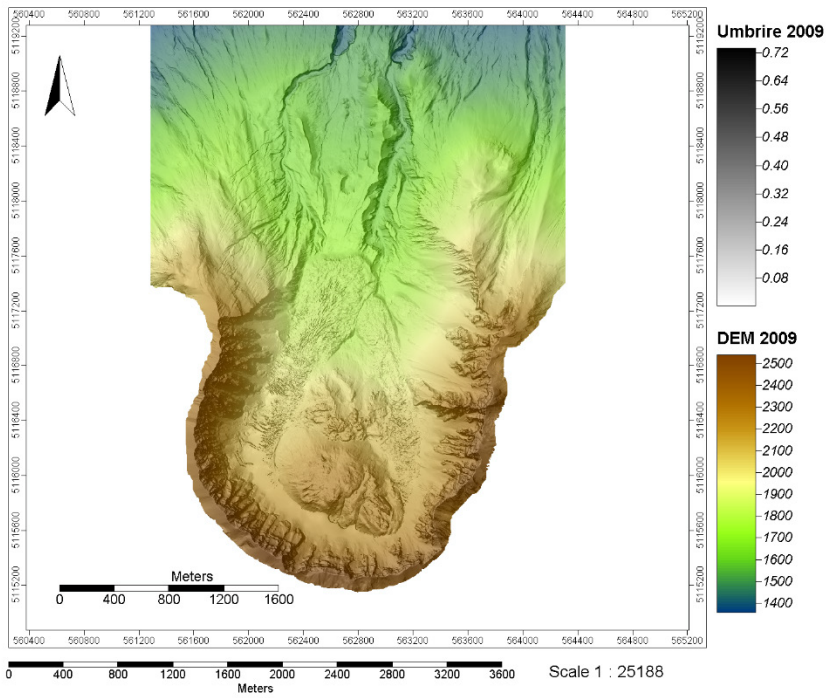
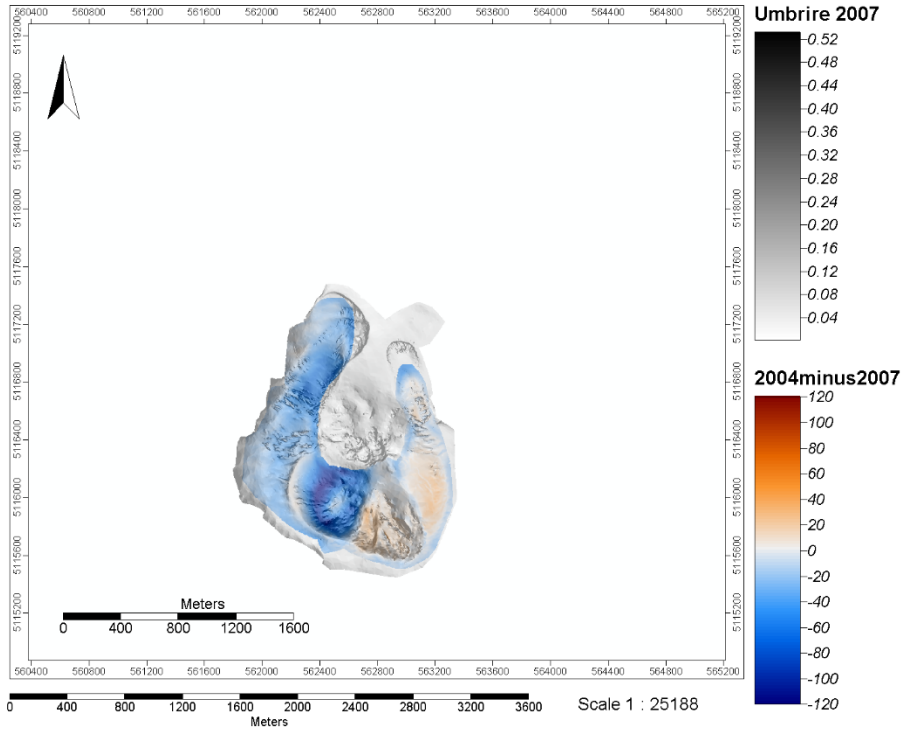


0 400 800 1200 1600 2000 2400 2800 3200 3600 Meters Scale 1 : 25188

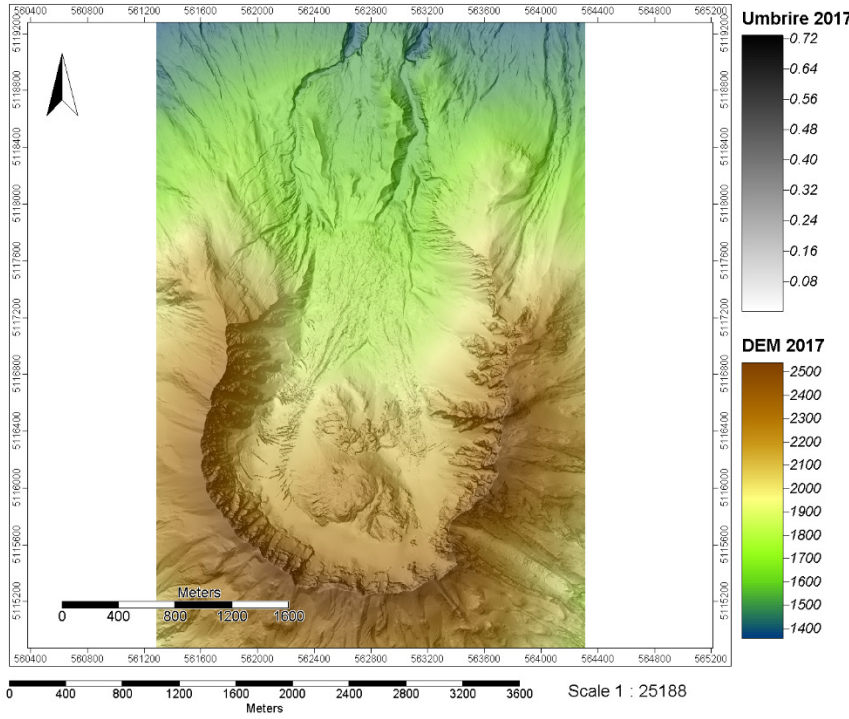
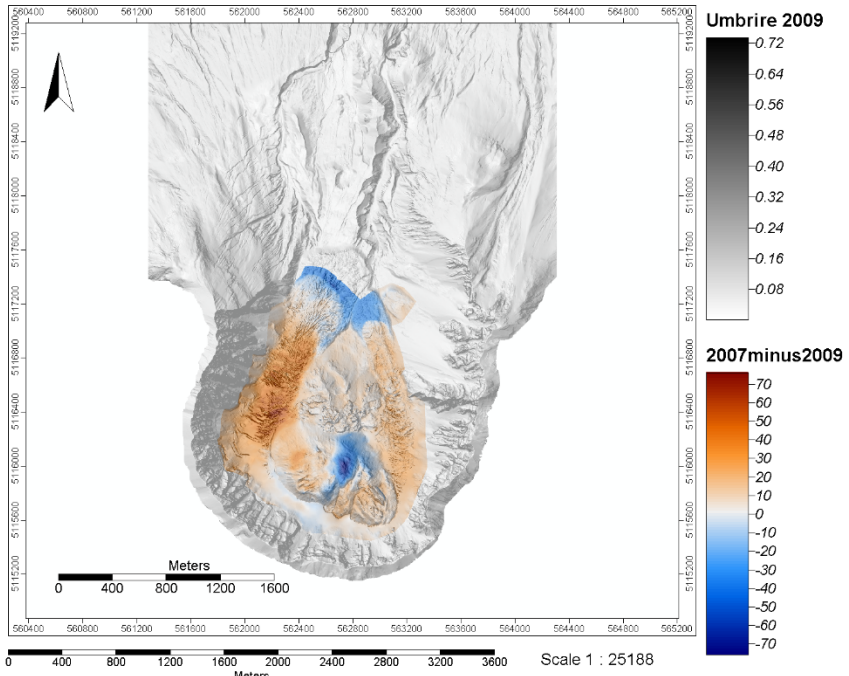


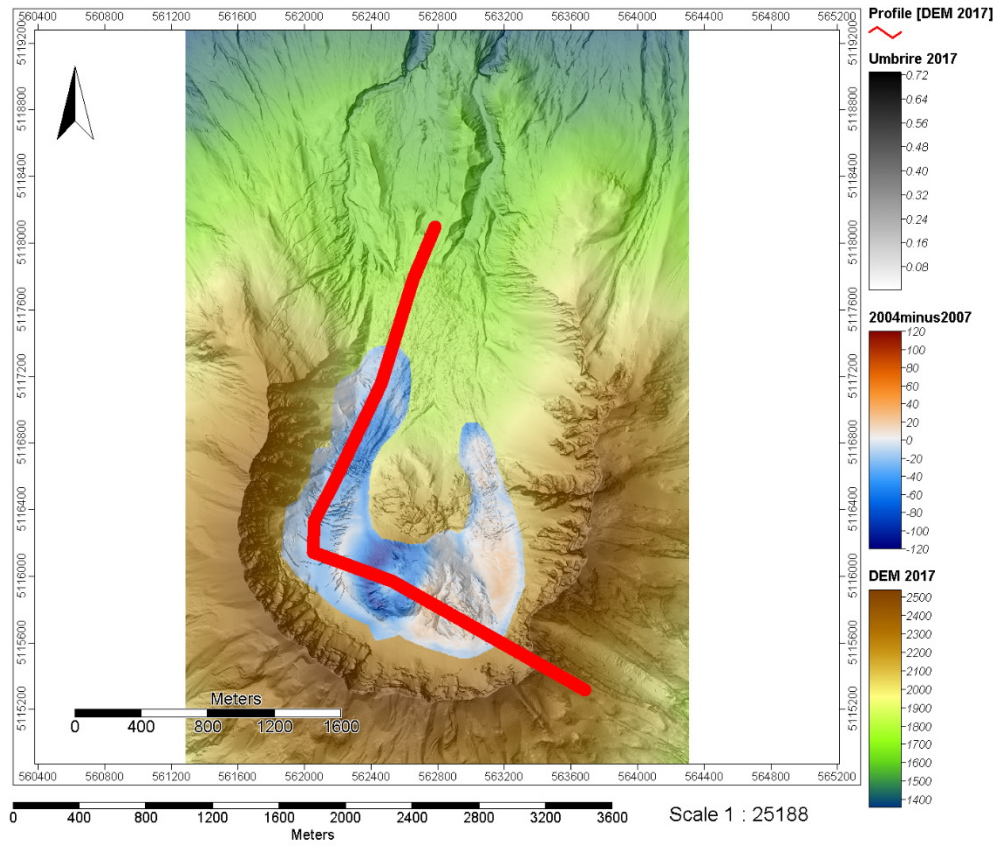
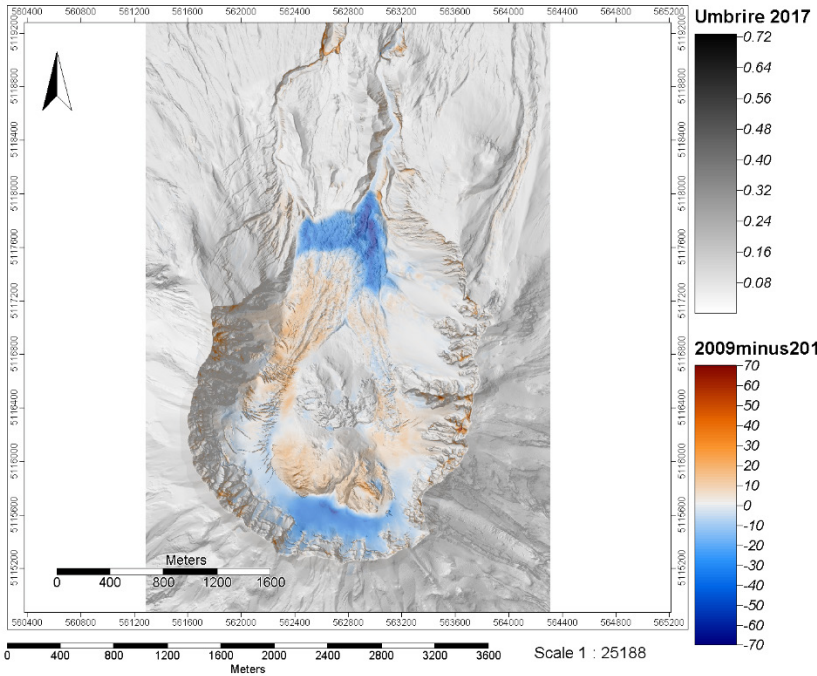
2 m

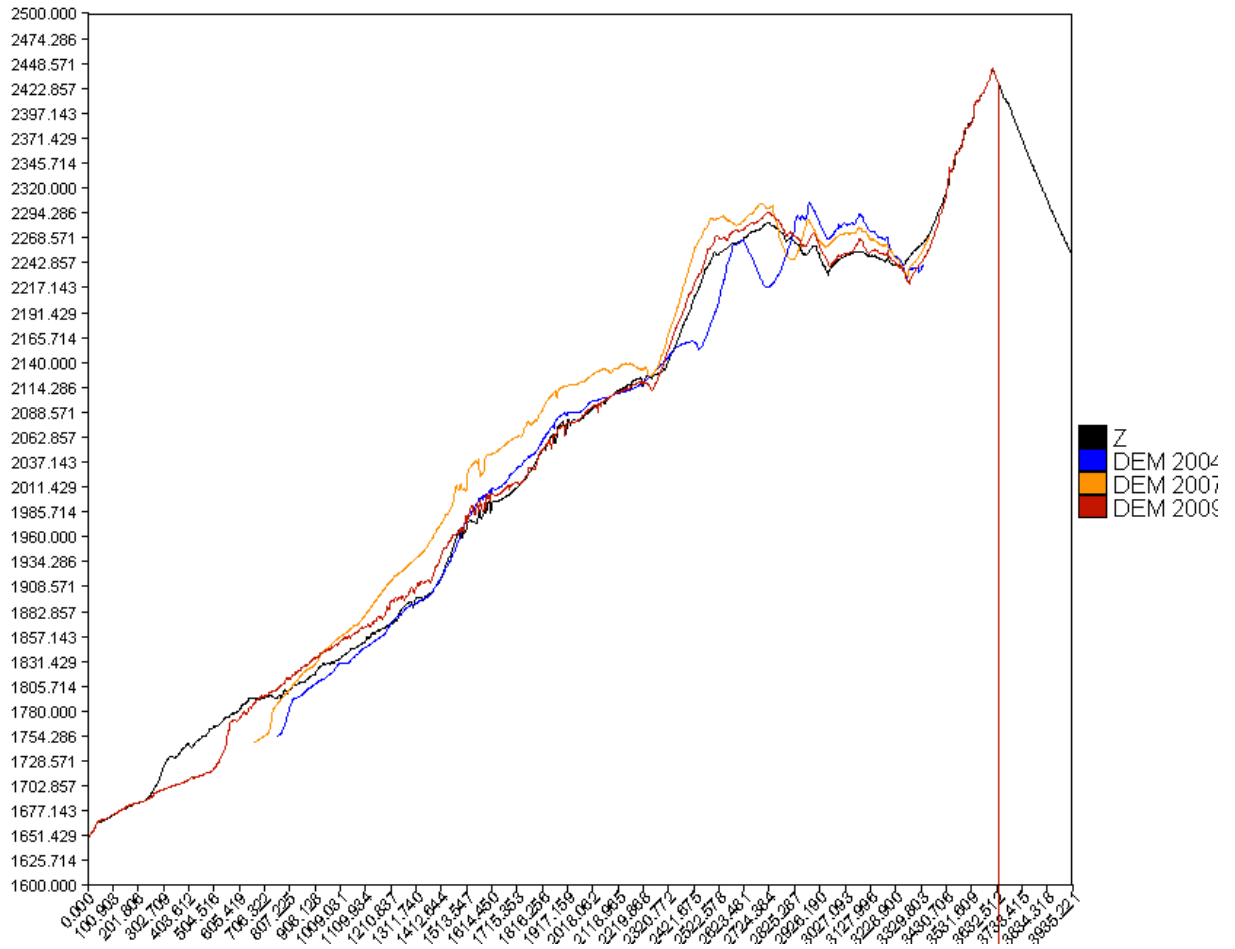


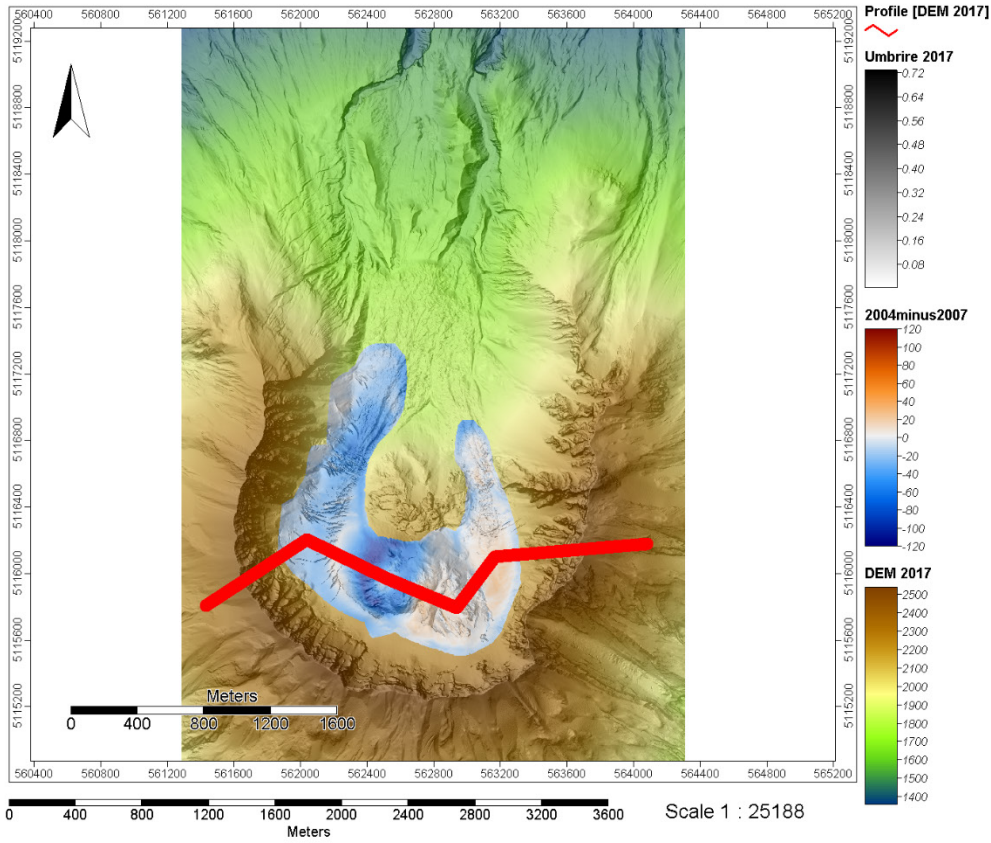












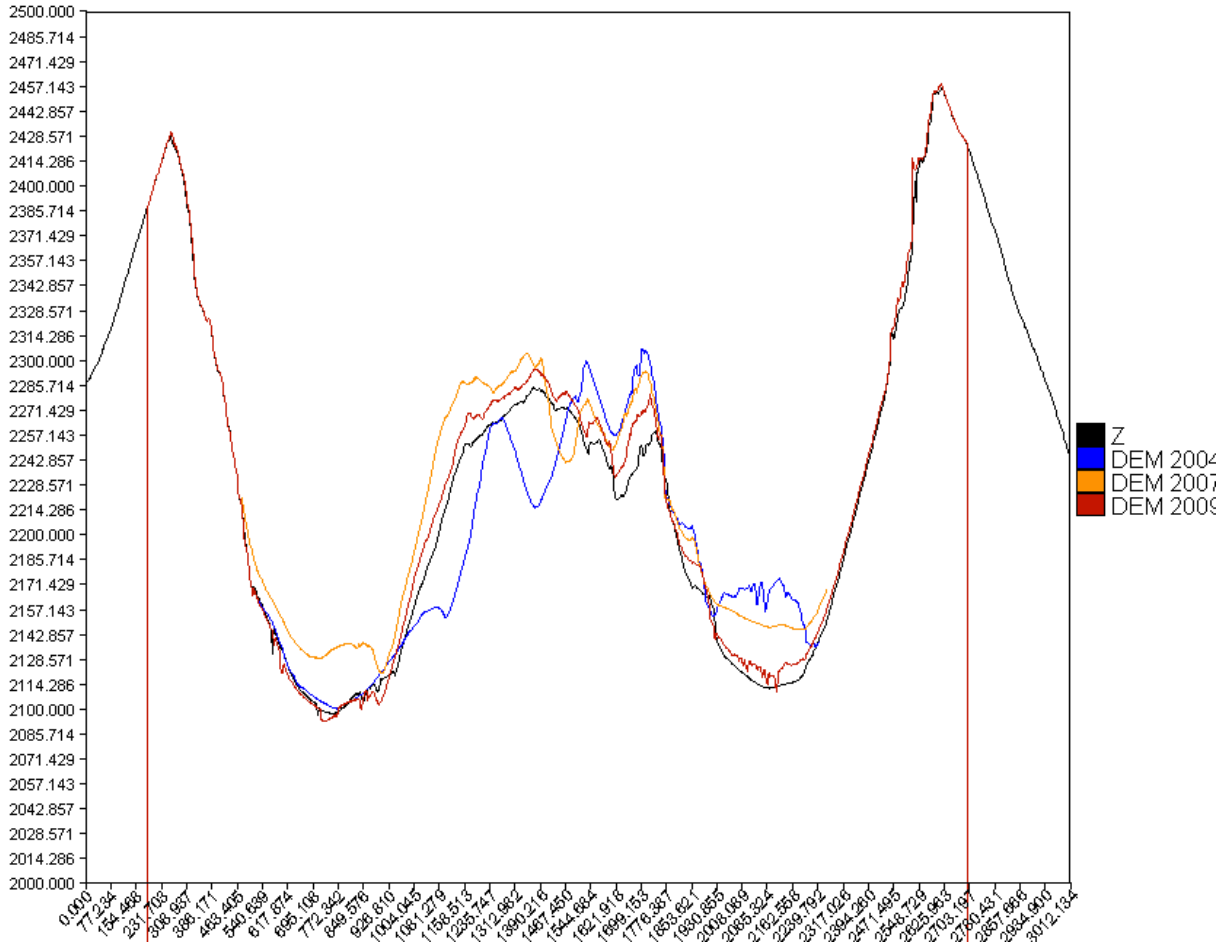


Figura 7 Profil topografic prin craterul vulcanului Mount Saint Helens

## 2.3 Interpretarea geomorfologică

<https://www.usgs.gov/volcanoes/mount-st-helens/geology-and-history-summary-mount-st-helens>

**În interpretarea geomorfologică vă puteți inspira din materialul prezentat în linkul de mai sus**

[Etapa pre 1980 \(a se vedea linkul de mai sus\)](#)

[Etapa de erupție 1980-1981 \(pe baza DEMurilor la 30 m\)](#)

[Etapa de evoluție 1981-2017 se analizează pe baza DEMurilor la 10 m](#)

[Zona craterului, cu evoluția domului și a ghețarului se interpretează după datele la 2 m](#)

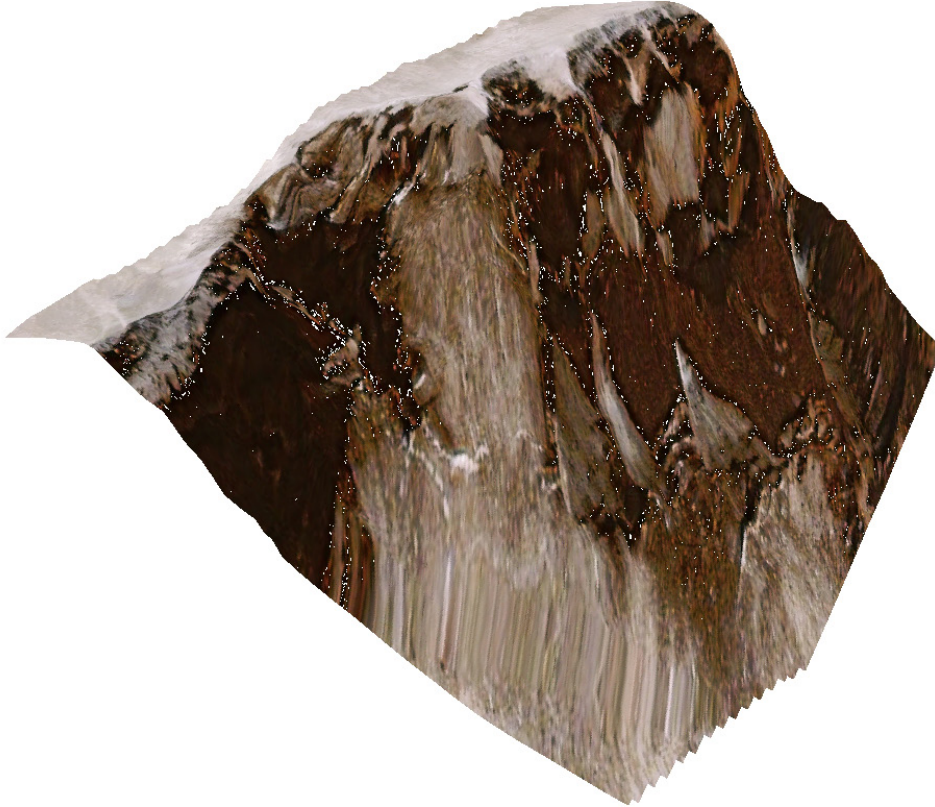
## Tema 3 – Căderile de roci

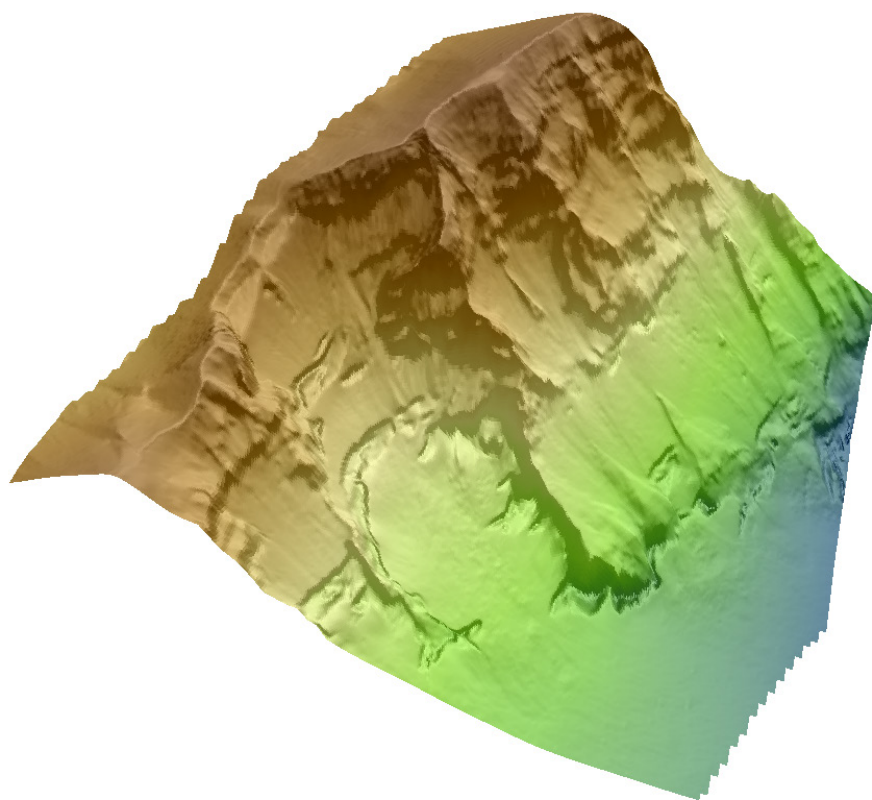
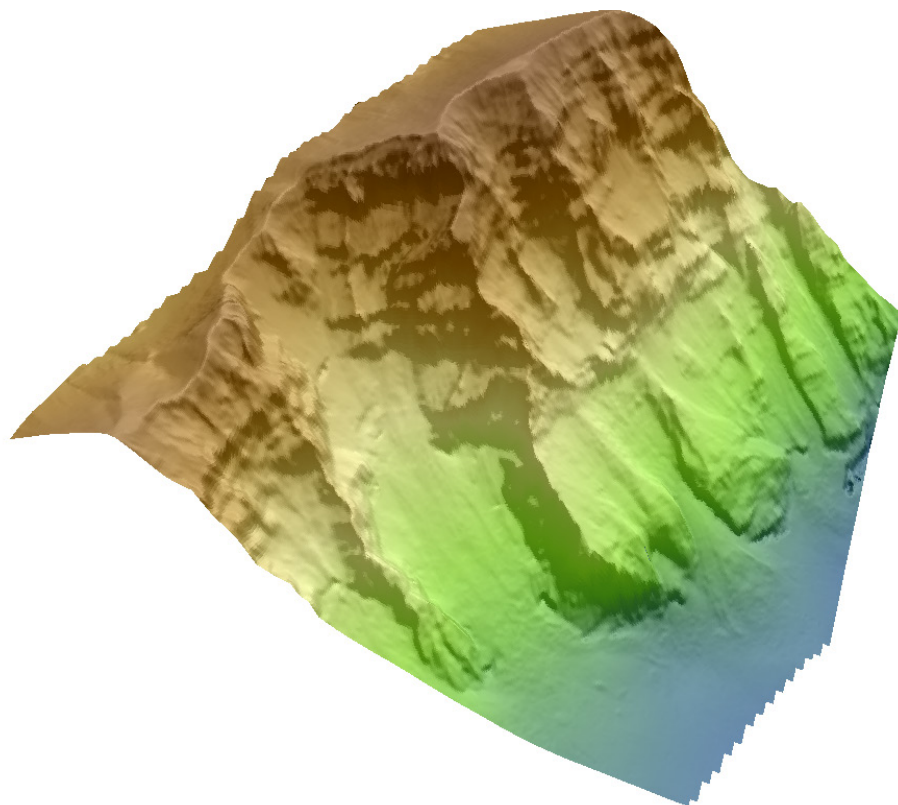
### 3.1 Studiu de caz

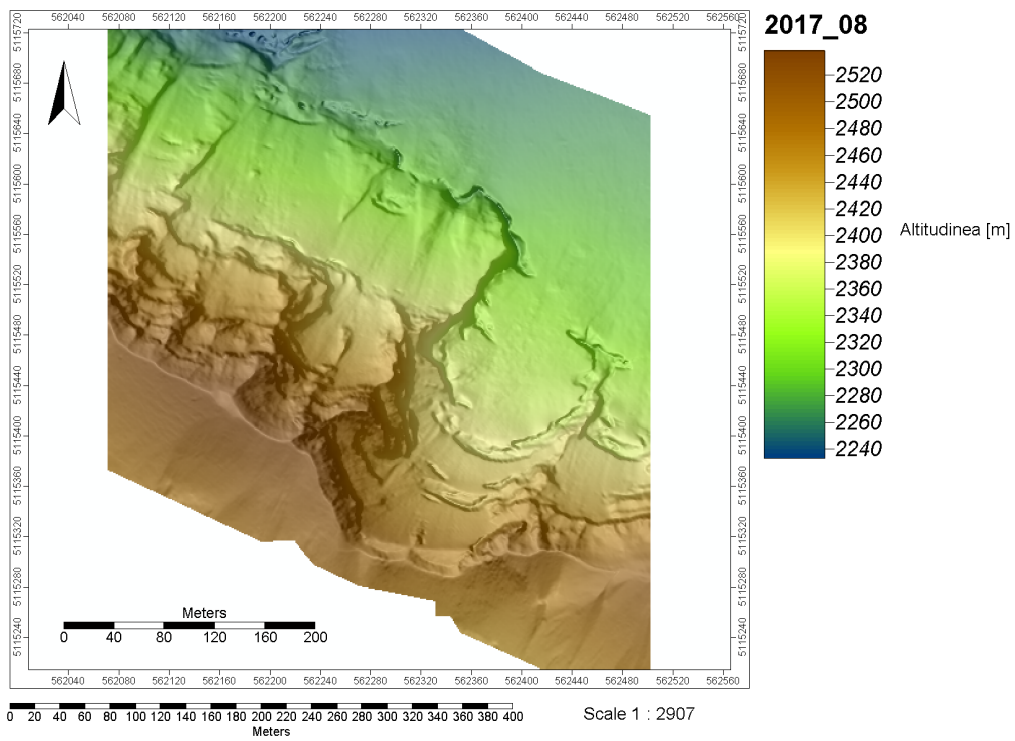
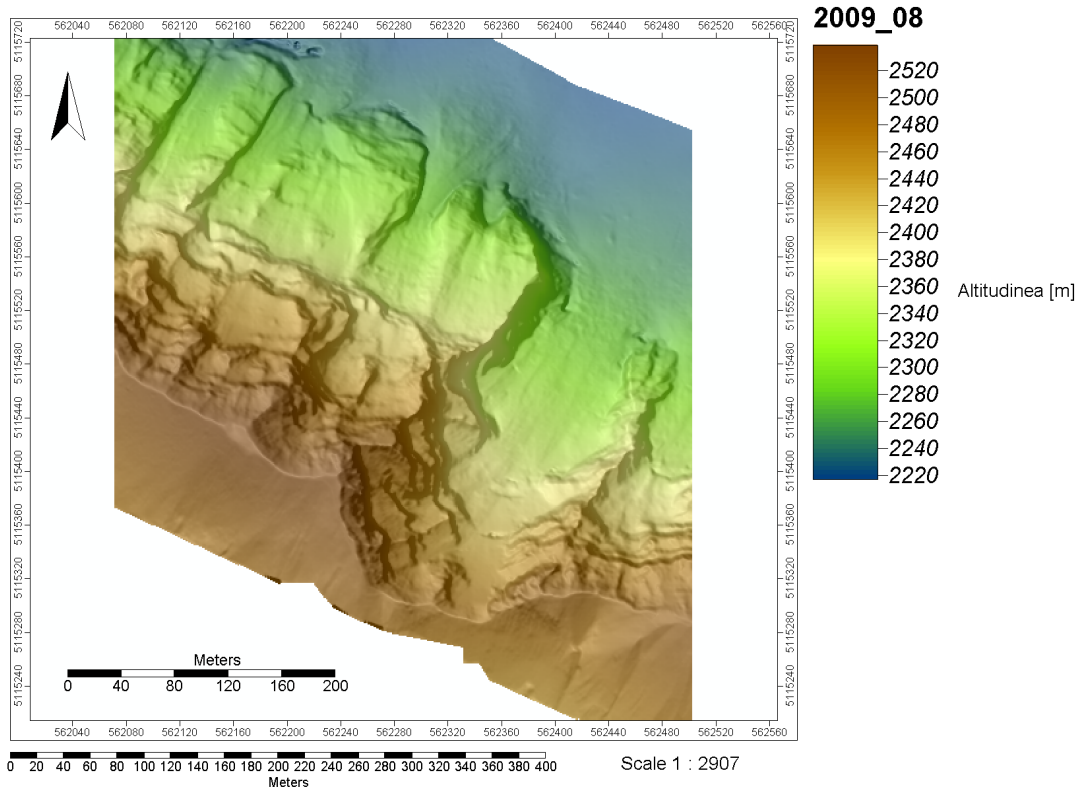
Zona studiată se află pe versantul craterului Mt. Saint Helens, unde sunt expuse roci magmatice și vulcanice în general dure. Panta este mare, cu frecvente valori de peste 50 grade.

### 3.2 Date topografice și detecția schimbărilor

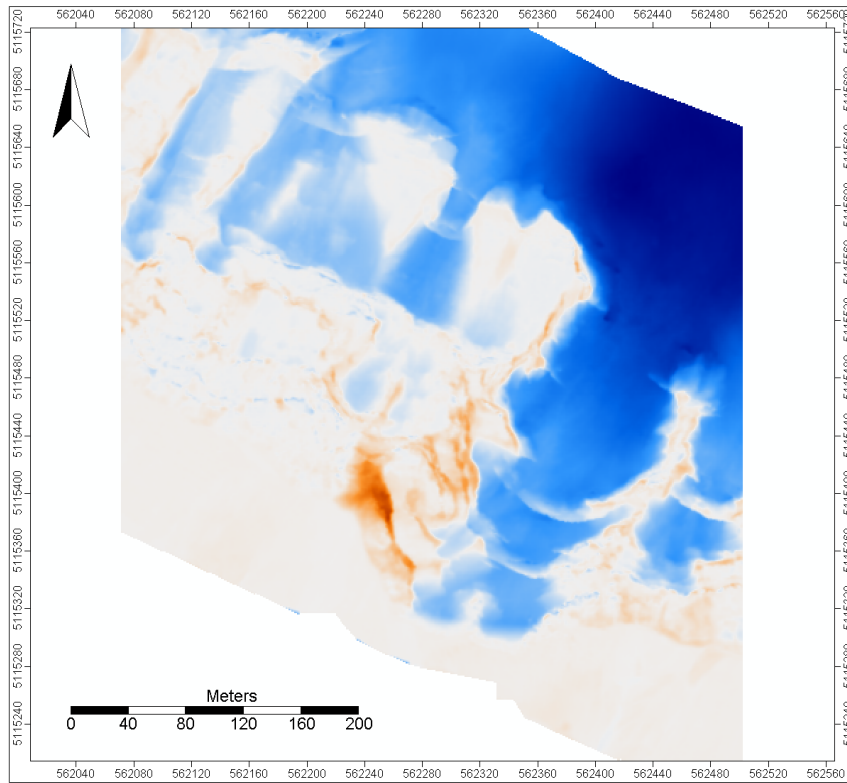
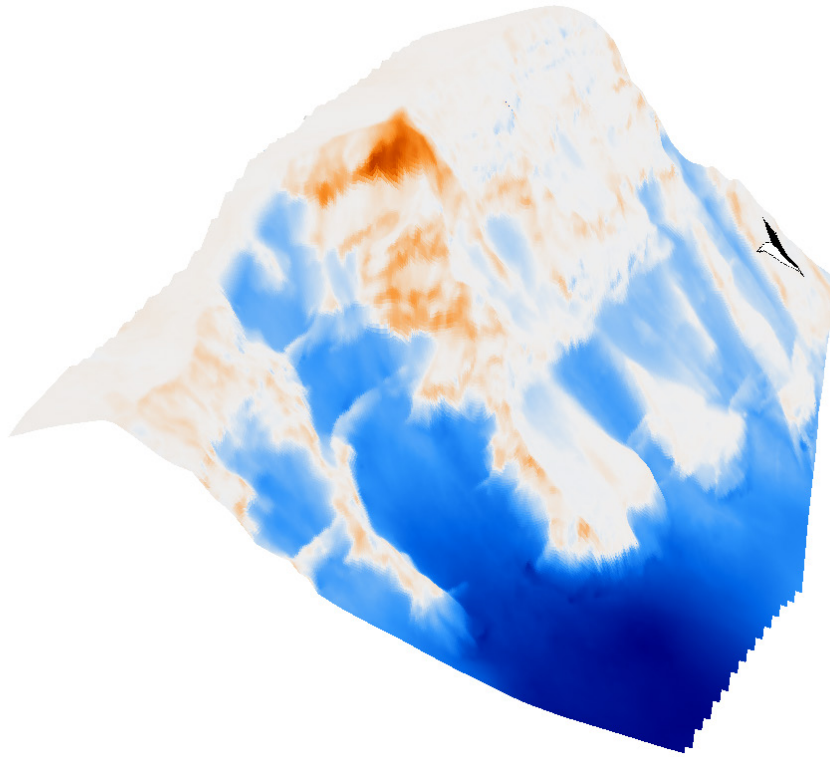
Modele numerice ale terenului utilizate în analiză au rezoluție de 1 m și datează din 2009 și 2017. Sursa de achiziție este LiDAR. Diferența de nivel generată de erorile de achiziție și de georeferențiere este redusă fiind estimată la  $\pm 0.5$  m.



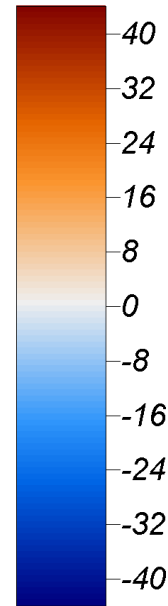




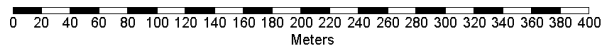




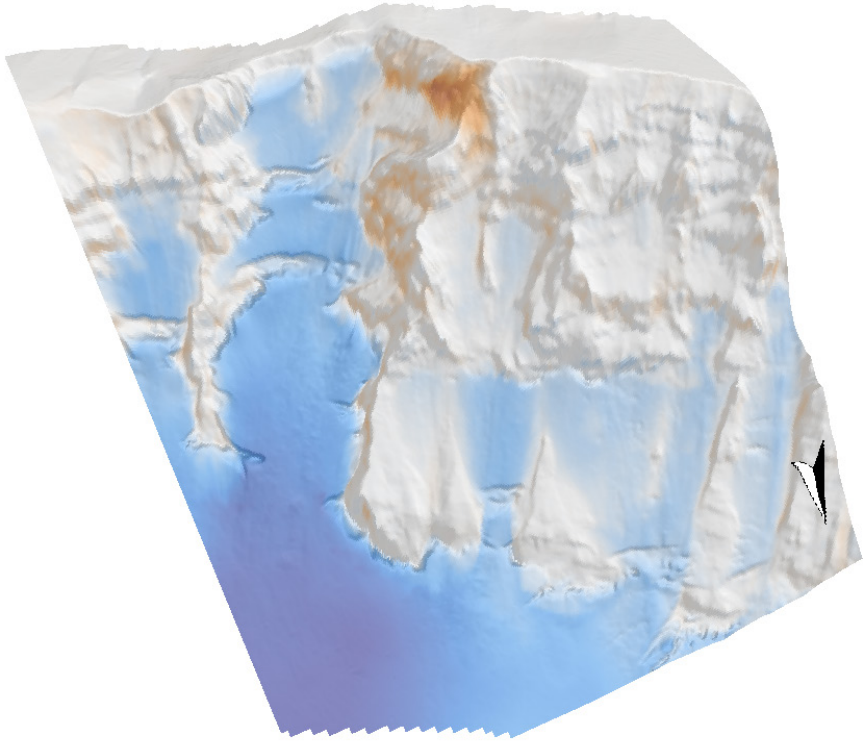
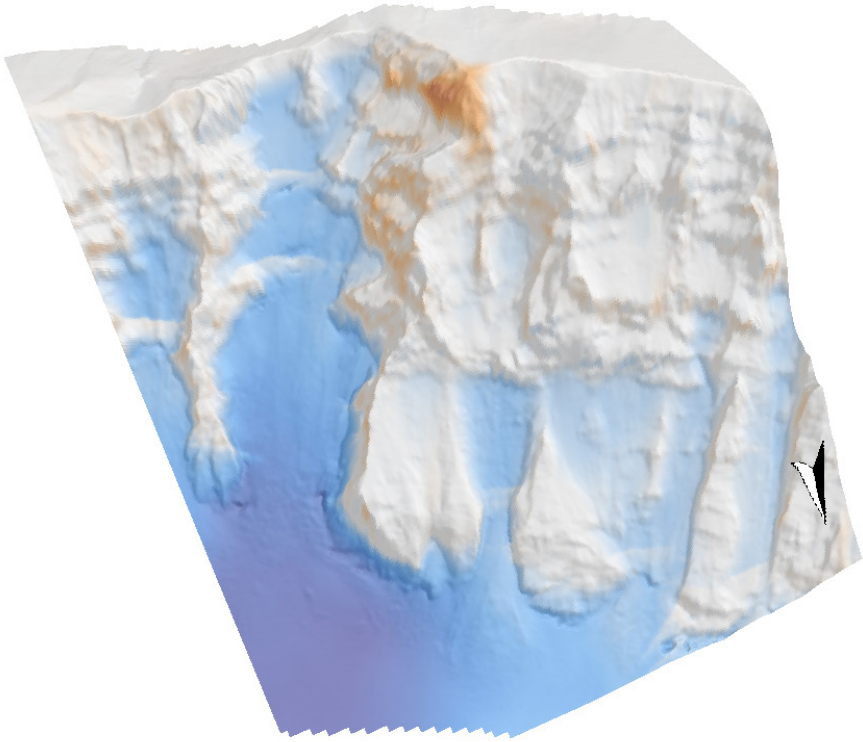
**Difference (A - B)**

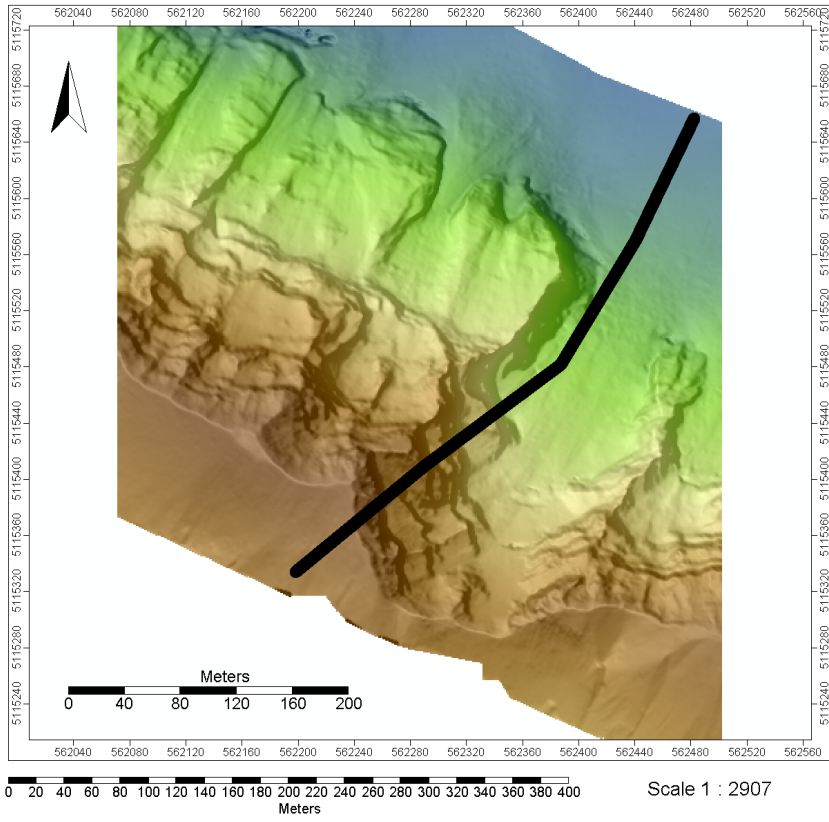


Diferența [m]



Scale 1 : 2907

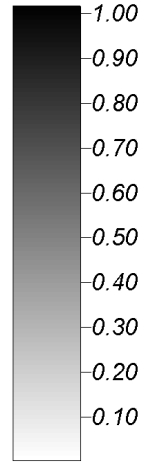




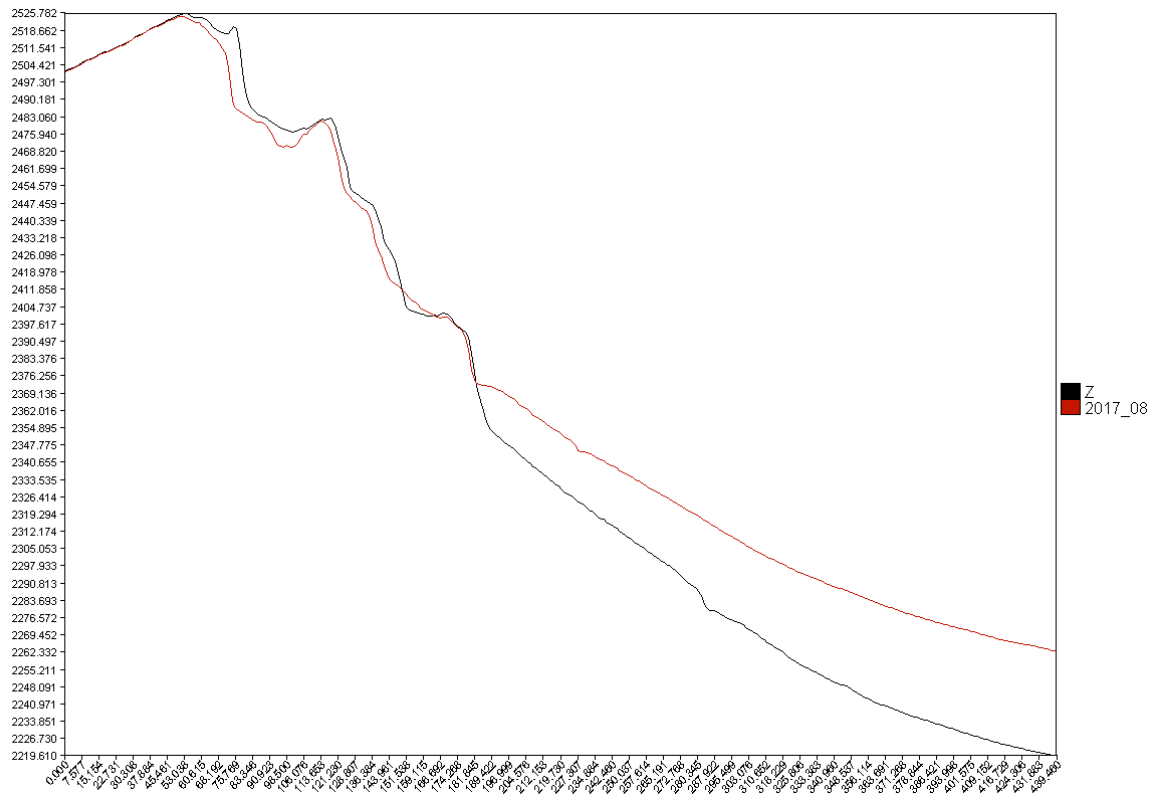
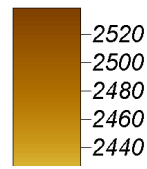
**Profile [2009\_08]**



**Analytical Hillshading**



**2009\_08**



### 3.3 Interpretarea geomorfologică