

Contractor:

Cod fiscal : (anexa la procesul verbal de avizare interna nr.)

De acord,
DIRECTOR GENERAL
Dr. Ing. Constantin Ionescu

Avizat,
DIRECTOR DE PROGRAM
Prof. Dr. Ing. Gheorghe Marmureanu

RAPORT DE ACTIVITATE AL FAZEI

Contractul nr.: PN 16 35 03 05

Proiectul: Estimarea in timp cvasi-real a solutiilor planelor de falie prin implementarea de noi metodologii conforme cu cercetarile actuale

Faza 2: Configurarea si implementarea algoritmului de determinare a solutiilor planelor de falie in programele de analiza in timp real.

Termen: 16.08.2017

1. Obiectivul proiectului:

Obiectivul acestui proiect este dezvoltarea unei metodologii noi in cadrul Institutului National de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizica Pamantului (INCDFP) pentru estimarea in timp cvasi- real a solutiilor planelor de falie, profitand de densitatea spatiaa a Retelei Seismice in zonele active seismic si de gama completa de instrumente folosite.

2. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului:

Rezultatul prioritar al acestui proiect este estimarea in timp cvasi- real a solutiilor planelor de falie, folosind programe dedicate, la cateva minute dupa producerea evenimentului seismic. Mecanismul focal va fi determinat dupa generarea localizarii evenimentelor cu magnitudinea $M_I \geq 4$ pentru evenimentele seismice produse la adancimi intermediare ($H \geq 60$ km) si $M_I \geq 3.5$, pentru evenimentele seismice produse la adancimi crustale ($H < 60$ km).

3. Obiectivul fazei:

Configurarea si implementarea metodologiei privind parametrizarea algoritmilor pentru determinarea automata a solutiilor planelor de falie ale cutremurelor semnificative, inregistrate pe teritoriul Romaniei.

4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei:

Implementarea si testarea algoritmului de estimare a solutiilor planelor de falie pentru cutremure semnificative produse in cadrul secventei seismice, in anul 2014, in zona Vrancea, utilizand statiile retelei seismice nationale a INCDFP.

5. Rezumatul fazei:

In data de 22 noiembrie 2014, in regiunea Vrancea s-a produs cel mai mare eveniment crustal inregistrat instrumentaldin zona de curbura a Carpatilor Orientali, cu o magnitudine locala 5.7, la adancimea de 41 km.

Socul principal a fost urmat de numeroase aftersocuri, 271 de cutremure cu magnitudinea $M_L \geq 0.1$ fiind inregistrate pana la data de 1 februarie, 6 dintre ele avand magnitudinea $M_L \geq 3$.

Setul de cutremure este complet pentru magnitudini $M_L \geq 1$, asa cum este indicat in distribuția de frecvență-magnitudine (Figura 1).

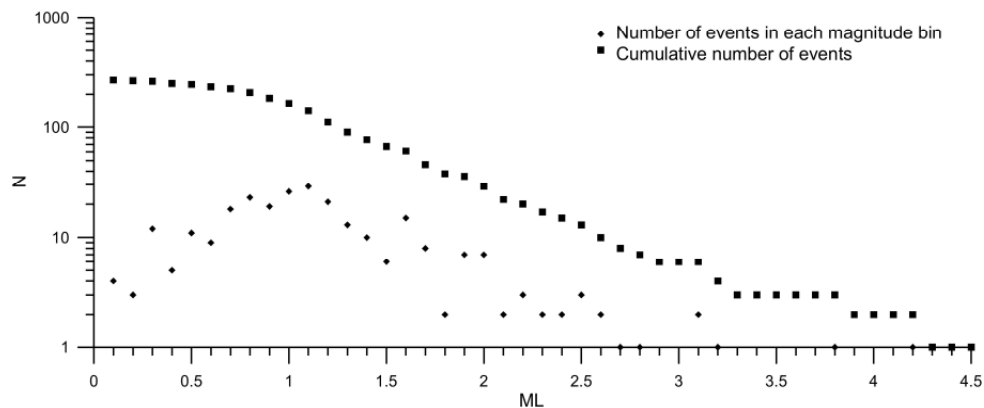


Figura 1. Distribuția frecvență – magnitudine (M_L) a evenimentelor inregistrate in timpul secventei seismice

Din distributia temporală a secventei seismice se distinge ca numarul evenimentelor seismice s-a diminuat considerabil dupa 3 zile de la producerea socului principal, cea mai puternică replică, cu magnitudinea locală 4.5, inregistrandu-se 15 zile mai tarziu, pe data de 7 decembrie 2014. O nouă intensificare a activității a fost observată la data de 12 decembrie 2014, când au fost înregistrate două evenimente mai puternice (magnitudinea locală 3.1, respectiv 2.6). Scăderea semnificativă a ratei de producere a cutremurelor, observată după 3 ianuarie 2015, a fost urmată de un alt aftershock cu o magnitudine moderată (magnitudinea locală 4.2) care a avut loc la 12

ianuarie 2015 și de o nouă creștere a activității seismice, ce a încetat în jurul datei de 1 februarie 2015. Distribuția temporală a cutremurelor în timpul secvenței este prezentată în figura 2.

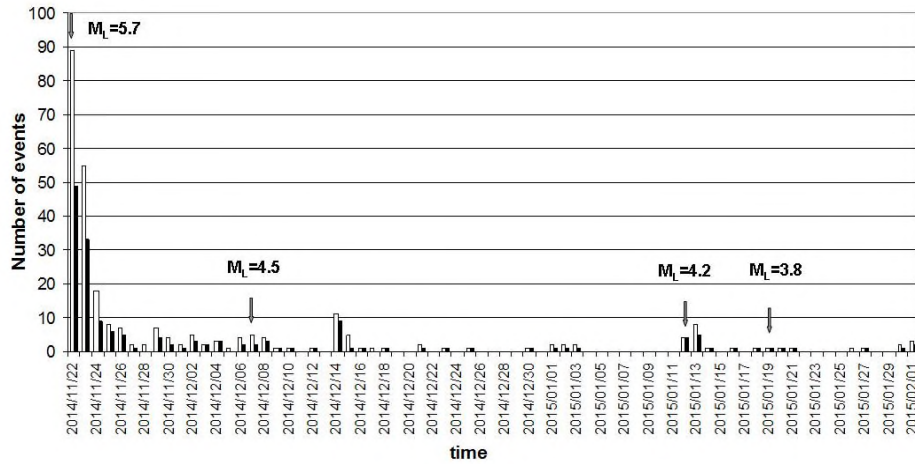


Figura 2. Distribuția temporală a evenimentelor seismice înregistrate în timpul secvenței seismice (22 noiembrie 2014 – 1 februarie 2015). Liniile verticale albe reprezintă numărul de evenimente seismice detectate în zona epicentrală, liniile verticale negre reprezintă numărul de evenimente înregistrate cu $M_L > 1$.

Eliberarea energiei seismice în timpul secvenței seismice este dominată de cele 3 replici cu magnitudinea locală $\geq 3,8$ (figura 3).

Energia seismică a fost estimată folosind relația [1]:

$$\log E = 11.8 + 1.5 * M_s \quad [1]$$

unde E este energia exprimată în ergs și M_s este magnitudinea din unde de suprafață, care a fost calculată din magnitudinea locală cu relația:

$$M_s = -2.14 + 1.43 * M_L - 0.018 * M_L^2 \quad [2]$$

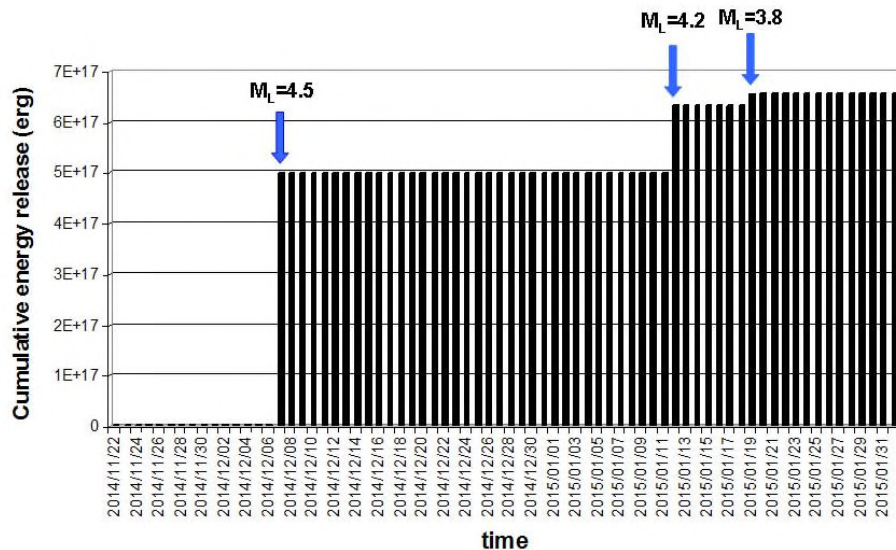


Figura 3. Energia seismică eliberată după producerea socului principal

Secventa seismică s-a produs la contactul a trei unități tectonice importante: Platforma Scitică, Platforma Moesică și Promontoriul Nord Dobrogean (prelungirea Blocului Nord Dobrogean spre vest, ce traversează fluviul Dunărea) (Figura 4). Falia Trotusului este orientată VNV-ESE, și reprezintă limita sudică a Platformei Scitice, care o separă de Platforma Moesică și de Promontoriul Nord Dobrogean. Falia Trotusului se intersectează cu falia Peceneaga Camena în partea de nord. Falia Peceneaga Camena este activă din punct de vedere seismic, este o falie transcrustală orientată NV-SE, marcând contactul dintre Blocul Nord Dobrogean și Platforma Moesică.

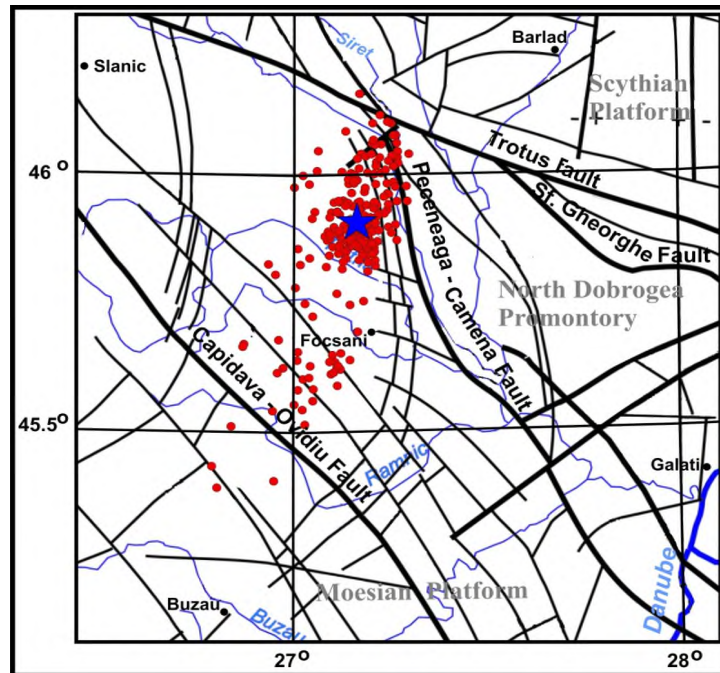


Figura 4. Harta tectonică (după [3]) împreună cu epicentrele cutremurelor înregistrate în această secvență seismică; liniile negre îngroșate reprezintă faliiile principale, liniile subțiri reprezintă faliiile secundare, steluta albastră reprezintă socul principal, iar punctele roșii sunt replicile

Epicentrele acestei secvențe seismice sunt distribuite pe o direcție NNE-SSV, paralele cu Arcul Carpatic (Figura 4). Acestea sunt concentrate spre NE, la intersecția celor 3 mari blocuri tectonice, unde s-a produs socul principal. Epicentrele sunt mai împrăștiate în zona de SV, unde s-au produs totuși câteva evenimente mai puternice, incluzând aici și cea mai puternică replică ($M_L=4.2$). Socul principal, la fel ca de fapt toată secvența seismică, s-a produs în crusta inferioară; puține evenimente fiind localizate în crusta superioară, în principal evenimente produse în zona de SV (Figura 5).

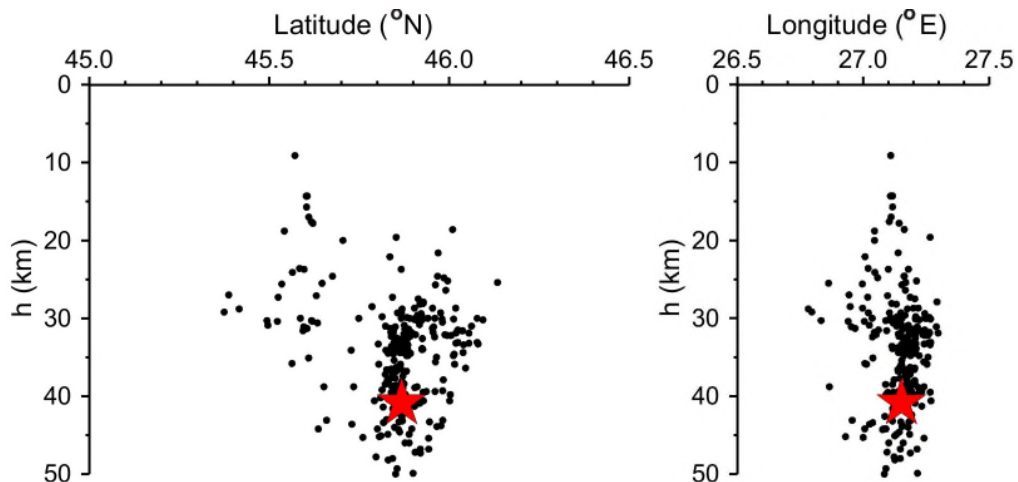


Figure 5. Distributia evenimentelor seismice dupa adancime -directie N-S (dreapta) si directie E-V (stanga).

Metoda clasica si cea mai utilizata pentru determinarea mecanismelor focale ale cutremurelor este cea din polaritatile undelor P (minim 10 polaritati) pentru a identifica traiectoriile undelor dinspre sursa seismica, definind astfel cele doua plane nodale, delimitate pe o proiectie stereografica.

Pentru obtinerea mecanismelor focale folosind polaritatile undelor P, este necesar unghiul azimutal si unghiul de emergenta (unghiul sub care raza seismica iese din focar) pentru fiecare faza seismica provenita de la sursa. Aceste date sunt in general oferite impreuna cu localizarile evenimentelor seismice, de catre un program de localizare (dbloc2e/ANTELOPE).

Pentru determinarea solutiilor planelor de falie s-a implementat codul FPL (cod ce genereaza parametrii solutiilor planelor de falie: strike, dip, rake, etc.) in programul ANTELOPE, ambele dezvoltate de BRTT (<http://www.brtt.com/software.html>). Acest cod (FPL) foloseste criteriile amintite mai sus si testeaza sistematic toate variantele posibile ale solutiilor de plan de falie, astfel va valida doar acele solutii care au indeplinit criteriile cerute. In concluzie, prin folosirea detectoarelor pentru undele P, putem citi polaritatile (inclusiv amplitudinile) undelor P, iar mecanismul focal va fi generat automat. Codul Psmeca –este un cod dezvoltat in GMT, care citeste valori de date din fisiere si genereaza un cod PostScript care va plota mecanismul focal pe o harta. Aceste programe au fost implementate in programul de analiza rutiniera ANTELOPE.

Inregistrările de buna calitate ne –au permis sa obtinem solutiile de planelor de falie si pentru cutremure cu magnitudine 2.5 – socul principal si alte 9 replici – si pentru un eveniment de magnitudine 2.5 (vezi Tabelul 1). Pragul minim de polaritati pe care l-am selectat a fost de minimum 14 polaritati.

Toate mecanismele focale obtinute sunt foarte bine constranse beneficiind si de date cu o calitate foarte buna. Acestea sunt ilustrate in figura 6.

Mecanismul focal al socului principal, prezinta o falie normala cu o componenta dominanta dip slip, ambele plane nodale fiind orientate NV-SE. Solutii similar ale planelor de falie au fost obtinute si pentru cele doua replici cu magnitudinea peste 4.

Mecanismele focale ale cutremurelor mai mici prezinta o varietate mai mare. Doua evenimente prezinta falie inversa: o replica cu magnitudinea 3.8 (ambele plane nodale sunt orientate NV-SE), si o replica cu magnitudinea 3.1 produsa in zona de SV a zonei epicentrale. Un mecanism focal cu o falie predominanta strike-slip este observant pentru cel mai mic cutremur analizat ($M_L = 2.5$), in timp ce doua evenimente – cu magnitudine de 2.6 respectiv 3.2 prezinta o componenta importanta strike-slip, de asemenea.

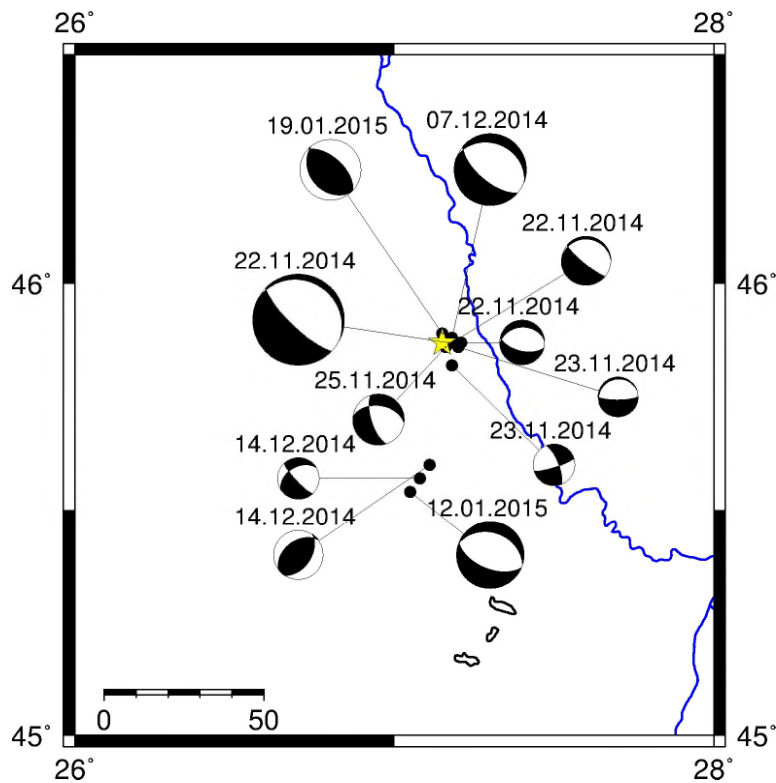


Figura 6. Reprezentarea mecanismelor focale ale secventei seismice pentru cutremurele cu $M_L \geq 2.5$; dimensiunea cercurilor este direct proportionala cu magnitudinea

Tabel 1. Parametrii mecanismelor focale pentru principalele evenimente înregistrate în timpul secvenței seismice din noiembrie 2014-februarie 2015.

No.	Date	Origin time hh:mm:ss	Lat. (°N)	Lon. (°E)	h (km)	ML	Plane 1			Plane 2			T-axis		P-axis		No. of polarities / No. of inconsistent polarities
							Strike	Dip	Rake	Strike	Dip	Rake	Azimuth	Plunge	Azimuth	Plunge	
1	2014/11/22	19:14:17	45.87	27.17	42	5.7	350	7	-56	136	84	-94	230	39	41	51	54/2
2	2014/11/22	20:30:56	45.87	27.18	41	3.1	130	82	-80	257	13	-142	211	36	51	52	26/2
3	2014/11/22	20:24:47	45.87	27.21	35.5	2.8	78	128	-76	257	18	-140	206	32	56	54	28/0
4	2014/11/23	04:01:58	45.82	27.18	31	2.6	354	50	20	251	75	138	204	40	308	16	24/0
5	2014/11/23	10:16:14	45.86	27.20	29.8	2.5	132	86	-64	229	26	-172	199	36	67	43	19/0
6	2014/11/25	01:52:25	45.86	27.16	38.8	3.2	162	68	-51	277	44	-147	225	14	117	51	38/3
7	2014/12/07	21:04:05	45.88	27.18	40.6	4.5	126	51	-77	286	41	-105	207	5	91	79	50/0
8	2014/12/14	17:24:47	45.60	27.11	14.3	3.1	186	54	49	62	52	132	35	58	303	1	30/1
9	2014/12/14	18:24:34	45.57	27.08	15.7	2.6	138	79	-45	239	46	-164	196	20	88	39	21/0
10	2015/01/12	06:08:31	45.54	27.05	39.5	4.2	116	52	-85	288	38	-96	202	7	52	82	39/2
11	2015/01/19	23:53:07	45.89	27.14	39.8	3.8	127	28	82	317	62	95	237	73	43	17	41/2

Bibliografie:

- [1] Richter C.F., Elementary Seismology, Freeman, San Francisco, 1958.
- [2] B ath M., Introduction in Seismology, Birkhauser Verlag, Stuttgart, 1983.
- [3] Visarion M., Sandulescu M., Stanica, D., Veliciu, S., Contributions   la connaissance de la structure profonde de la Plateforme Moesienne en Roumanie: Studii Tehnice si Economice, Seria Geofizica, Romania, vol. 15, pp. 211-223, 1988.
- [4] Antonescu E., Baltres A., Palinostratigraphie de la Formation de Nalbant (Trias-Jurassique) de la Dobrogea du Nord et des formations jurassiques du sous-sol du Delta du Danube (Plateforme Scythienne), Geo-Eco-Marina, 3, 159-187, 1998
<http://www.brtt.com/software.html>).

6. Rezultate, stadiul realizării obiectivului fazei, concluzii și propuneri pentru continuarea proiectului

Rezultate

- Implementarea algoritmului de determinarea a soluțiilor planelor de falie pentru un set de cutremure semnificative in programul de analiza rutiniera ANTELOPE;
- testarea algoritmului de determinarea a mecanismelor focale pe un numar de 11 evenimente seismice inregistrate in zona Vrancea la adancimi crustale (analiza secventei seimice inregistrata in zona Vrancea in noiembrie 2014-ianuarie 2015);
- prezentarea rezultatelor cercetării la manifestări științifice naționale / internaționale:

Participari la conferinte nationale si internationale

1. **A. Craiu**, M. Craiu, M. Mihai, M. Diaconescu, C. Ghita, Catalog of focal mechanisms for Vrancea (Romania) intermediate depth earthquakes (2005-2017), 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, June 27- July 06, 2017, Albena, Bulgaria, SGEM 2017 Conference Proceedings,
2. **A. Craiu**, A. Danet, M. Mihai, M. Craiu, A. Marmureanu, Near real time focal mechanisms determination for Vrancea intermediate depth events, 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, June 27- July 06, 2017, Albena, Bulgaria, SGEM 2017 Conference Proceedings,
3. Craiu M., Gallo A., Costa G., Danet A., **Craiu A**, Real time performance of the Mw estimation for Vrancea intermediate depth earthquakes recorded by the accelerometers of the National Seismic Network in 2016, 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, June 27- July 06, 2017, Albena, Bulgaria, SGEM 2017 Conference Proceedings.

4. M. Diaconescu, G.M. Craiu, E. Oros, **A. Craiu**, E. G. Constantinescu, SEISMICITY OF STREI-HATEG BASIN, 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, June 27- July 06, 2017, Albena, Bulgaria, SGEM 2017 Conference Proceedings.
5. C. Ghita, **A. Craiu**, M. Craiu, M. Diaconescu , A. Marmureanu, ANALYSIS OF THE FAULT PLAN SOLUTIONS USING P WAVES POLARITIES AND AMPLITUDE RATIOS FOR THE SEISMIC SEQUENCE OF NOVEMBER 22, 2014 RECORDED IN VRANCEA AREA, 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, June 27- July 06, 2017, Albena, Bulgaria, SGEM 2017 Conference Proceedings.
6. M. Diaconescu, **A. Craiu**, I. A. Moldovan, E. G. Constantinescu, MAIN TRANSVERSAL AND OBLIQUE ACTIVE FAULTS FROM ONSHORE AND OFFSHORE OF THE BLACK SEA COAST, 17th International Balkan Workshop on Applied Physics and Materials Science, 11-14 iulie, Constanta, 2017.
7. **A. Craiu**, L. Ardeleanu, M. Craiu, M. Diaconescu, The seismic sequence of the magnitude 5.7 crustal earthquake of 2014 of Focsani Basin (Romania) – relevant data regarding the stress field in front of the Southeastern Carpathians bend, IAG-IASPEI, July 30- August 4, 2017, Kobe, Japan.
8. L. Ardeleanu, C. Neagoe, B. Grecu, B. Zaharia, **A. Craiu**, Ground motion patterns generated by the undercrustal seismic source of the Vrancea region, Romania, IAG-IASPEI, July 30- August 4, 2017, Kobe, Japan.
9. Mihai Marius, **Craiu Andreea**, Danet Anton, Craiu Marius, Marmureanu Alexandru, Near real time focal mechanisms determination for Vrancea intermediate depth events, Sesiunea Anuala de Fizica, iunie, 2017.
10. **A. Craiu**, M. Mihai, M. Craiu, A. Marmureanu, G. Cristian, COMPUTING A LARGE REFINED CATALOG OF FOCAL MECHANISMS FOR VRANCEA (ROMANIA) ZONE- 2005-2017, World Multidisciplinary Earth Science Symposium- WMESS, 11-15 September, 2017.
11. M. Craiu, A. Gallo, G. Costa, A. Marmureanu, **A. Craiu**, C. Ghita, MOMENT MAGNITUDE ESTIMATION FOR VRANCEA INTERMEDIATE DEPTH EARTHQUAKES- A COMPARISON WITH EEWS, World Multidisciplinary Earth Science Symposium- WMESS, 11-15 September, 2017.
12. C. Ghita, A. Craiu, M. Diaconescu, M. Craiu, A. Marmureanu, Determination of the fault plane solution using P wave polarities and amplitude ratios for the sequence of November 22, 2014 recorded in Petresti area, 17th International Balkan Workshop on Applied Physics and Materials Science, 11-14 iulie, Constanta, 2017.

Lucrari publicate în reviste nationale si internaționale:

1. **A. Craiu**, M. Craiu, M. Mihai, M. Diaconescu, C. Ghita, Catalog of focal mechanisms for Vrancea (Romania) intermediate depth earthquakes (2005-2017), 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, June 29- July 05, 2017, Albena, Bulgaria, SGEM 2017 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7408-00-3 / ISSN 1314-2704, DOI: 10.5593/sgem 2017/14, Vol. 17, pp 49-56, 2017.
2. **A. Craiu**, A. Danet, M. Mihai, M. Craiu, A. Marmureanu, Near real time focal mechanisms determination for Vrancea intermediate depth events, 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, June 29- July 05, 2017, Albena, Bulgaria, SGEM 2017 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7408-00-3 / ISSN 1314-2704, DOI: 10.5593/sgem 2017/14, Vol. 17, pp 277-284, 2017.
3. Craiu M., Gallo A., Costa G., Danet A., **Craiu A**, Real time performance of the Mw estimation for Vrancea intermediate depth earthquakes recorded by the accelerometers of the National Seismic Network in 2016, 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, June 29- July 05, 2017, Albena, Bulgaria, SGEM 2017 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7408-00-3 / ISSN 1314-2704, DOI: 10.5593/sgem 2017/14, Vol. 17, pp 335-342, 2017.
4. M. Diaconescu, G.M. Craiu, E. Oros, **A. Craiu**, E. G. Constantinescu, SEISMICITY OF STREI-HATEG BASIN, 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, June 29- July 05, 2017, Albena, Bulgaria, SGEM 2017 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7408-00-3 / ISSN 1314-2704, DOI: 10.5593/sgem 2017/14, Vol. 17, pp 371-380, 2017.
5. C. Ghita, **A. Craiu**, M. Craiu, M. Diaconescu, A. Marmureanu, ANALYSIS OF THE FAULT PLAN SOLUTIONS USING P WAVES POLARITIES AND AMPLITUDE RATIOS FOR THE SEISMIC SEQUENCE OF NOVEMBER 22, 2014 RECORDED IN VRANCEA AREA, 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, June 29- July 05, 2017, Albena, Bulgaria, SGEM 2017 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7408-00-3 / ISSN 1314-2704, DOI: 10.5593/sgem 2017/14, Vol. 17, pp 19-26, 2017.
6. M. Diaconescu, **A. Craiu**, D. Toma-Danila, M. Craiu, 2017, MAIN ACTIVE FAULTS FROM THE EASTERN PART OF ROMANIA (DOBROGEA AND BLACK SEA). PART I: LONGITUDINAL FAULTS SYSTEM, Romanian Reports in Physics

Stadiul realizării obiectivului fazei

Obiectivul a fost realizat integral

Concluzii

In aceasta etapa au fost realizate studii asupra parametrilor sursei seismice pentru secventa seismica inregistrata in zona Vrancea, anul 2014, utilizand programul de analiza rutiniera ANTELOPE, implementat in prima faza a proiectului.

Evenimentul seismic de magnitudine 5.7 inregistrat in 22 noiembrie 2014 este cel mai mare eveniment seismic crustal inregistrat digital pe teritoriul Romaniei. Socul principal este localizat in Bazinul Focsani, in apropierea contactului dintre cele trei mari unitati tectonice Platforma Scitica, Platforma Moesica si Promontoriul Nord Dobrogean. Secventa seismica s-a intins pe durata a 70 de zile, in aceasta perioada inregistrandu-se 271 de evenimente seismice cu magnitudini $M_L \geq 0.1$, acestea fiind localizate in aceasta perioada beneficiind de date cu o calitate foarte buna provenite de la statiile seismice ale Retelei Seismice Nationale.

Secventa seismica s-a produs in marea ei majoritate in crusta inferioara, iar epicentrele sunt orientate NNE-SSV. Mecanismul focal al socului principal prezinta o faliere normal cu o componenta dip-slip; ambele plane nodale sunt orientate SE-NW. Cele mai puternice replici aftershocks ($M_L = 4.5$ si $M_L = 4.2$), prezinta aceasi tip de mecanism focal. Solutiile planelor de falie determinate pentru cutremurele mai mici prezinta o anumita variabilitate, oricum, falierea normal domina printre tipurile de mecanisme focale obtinute pentru cutremurele inregistrate in aceasta secventa seismica.

Responsabil proiect
Craiu Andreea