

**Contractor: Institutul National de Cercetare-Dezvoltare
pentru Fizica Pamantului**

Cod fiscal : **5495458**

(anexa la procesul verbal de avizare interna nr.)

**De acord,
DIRECTOR GENERAL
Dr. Ing. Constantin Ionescu
Avizat,
DIRECTOR DE PROGRAM
Prof. Dr. Mircea Radulian**

RAPORT DE ACTIVITATE AL FAZEI

Contractul nr.: 31N/2019

Proiectul: PN 19080102: Cercetari avansate privind factorii care contribuie la riscul seismic pe teritoriul Romaniei in contextul interactiunii multiple litosfera, hidrosfera, atmosfera, ionosfera.

Faza 3: Modelarea stohastica si parametrizarea evenimentelor seismice grupate in crusta Carpaților de curbura si a platformelor adiacente

Termen: 03.07.2019

1. Obiectivul proiectului:

Proiectul „Cercetări avansate privind evaluarea hazardului și riscului seismic în vederea creșterii rezilienței la cutremure. Provocari în înțelegerea dinamicii Pamantului” propune o investigație multidisciplinară, complexă și intercorelată a fenomenelor care au loc în sistemul cuplat Litosfera-Hidrosfera-Atmosfera-Ionosfera, pentru modelarea fenomenelor tectonice și a proceselor seismice și identificarea relației spatio-temporale dintre structura geologică, tensiunile crustale, potențialul seismogen, în scopul descifrării conexiunilor complexe dintre fenomenele tectonice și efectele lor asupra câmpurilor geofizice măsurabile la suprafața Pamantului. Proiectul urmărește totodată și modelele de propagare ale undelor seismice și estimarea efectelor acestora la suprafața Pamantului, prin calcularea/măsurarea deformațiilor și deplasărilor crustei și a interacțiunii sol-structuri construite în scopul evaluării hazardului și reducerii riscului la cutremur, dar și a altor fenomene secundare asociate acestuia (tsunami). Acest proiect va aborda fenomenul seismic în interconexiune cu fenomenele generate de sistemele litosfera, hidrosfera, atmosfera și ionosfera în scopul diminuării riscului, ținând cont de noile metode și procedee aplicabile la aceste sisteme cuplate, încercând să răspundă provocărilor complexe de natură științifică și practică pe care dinamica Pamantului le ridică, în vederea creșterii rezilienței la cutremure.

Proiectul este structurat pe două direcții mari: „D1. Cercetari avansate privind factorii care contribuie la riscul seismic pe teritoriul Romaniei” și „D2. Cercetari complexe ale interactiunii litosfera, hidrosfera, atmosfera, ionosfera”, ce fac parte integrantă din obiectivul major „Cercetări avansate privind evaluarea hazardului și riscului seismic în vederea creșterii rezilienței la cutremure. Provocari în înțelegerea dinamicii Pamantului”, al Strategiei de dezvoltare a Institutului National de CD pentru Fizica Pamantului (INCDFP).

2. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului: dezvoltarea cercetărilor avansate privind evaluarea cu metode specific seismologice, geotehnice, fizice și matematice a factorilor care contribuie la riscul seismic pe teritoriul Romaniei pentru a asigura creșterea rezilienței societății umane la cutremure. Se vor dezvolta modele de propagare ale undelor seismice și estima efectele acestora la suprafața Pamantului prin calcularea/măsurarea deformațiilor și deplasărilor crustei și a interacțiunii sol-structuri construite, în scopul evaluării hazardului și reducerii riscului la cutremur, dar și a altor fenomene secundare asociate acestuia (tsunami). Din analiza înregistrărilor de

mișcări puternice ale cutremurelor vrâncene de magnitudine moderată și mare se va investiga variabilitatea observată în distribuțiile spațiale ale mișcării seismice a terenului. Se va implementa o nouă metodologie prin abordări noi de evaluare a hazardului seismic folosind factorii neliniari de amplificare spectrală, în funcție de magnitudinea cutremurului și de condițiile locale ale amplasamentului seismic. Se vor realiza hărți de expunere și vulnerabilitate seismică, precum și cu estimări de pagube pentru scenarii seismice reprezentative. Îmbunătățirea capabilităților de estimare a pagubelor directe și indirecte generate de cutremure în România se va realiza în timp aproape real și pentru scenarii reprezentative. Calculul parametrilor sursei tip falie, estimarea activității seismice se vor realiza prin parametrizări stohastice a evenimentelor seismice cu implementarea de tehnici TMS (timp, magnitudine, spațiu). Identificarea și ierarhizarea parametrilor de interes ingineresc se va face în funcție de gradul influenței seismului asupra integrității clădirii. Se vor propune norme metodologice coerente de monitorizare a stării de sănătate și integritate a construcțiilor. De asemenea se are în vedere dezvoltarea cercetărilor complexe privind interacțiunile multiple din sistemul complex litosferă, hidrosferă, atmosferă, ionosferă în scopul identificării corelațiilor între fenomenele ce au loc în focarul cutremurelor de Pamant și semnăturile acestor fenomene la suprafața Pamantului, în Atmosferă și în stratele inferioare ale ionosferei. Se vor realiza analize multiparametrice și multi-stație a campurilor geofizice cu potențial precursor seismic avându-se în vedere standardizarea datelor în vederea asigurării calității. Printre rezultatele cercetărilor se vor regăsi și hărți geologice și hărți geotectonice pentru zonele studiate, hărți macroseismice pentru cutremurele recente cu $M > 5.0$ și microzonarea în intensități a unor orase din zona extracarpatică.

3. Obiectivul fazei:

Obiectivul acestei faze este acela de a realiza un catalog ETAS (Epidemic Type Aftershock Sequence) cu parametri optimi de detecție a unei secvențe seismice analizate studiul de caz secvența seismică înregistrată la Marasesti (magnitudine locală $M_L = 5,7$ din 22.11.2014), fiind considerat cel mai mare cutremur crustal din țară înregistrat cu ajutorul stațiilor digitale din Rețeaua Seismică Națională.

4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei:

Realizarea unei bazei de date cu conținut ce reprezintă analiza statistică a elementelor grupate folosind tehnici stohastice de calcul ETAS în vederea modelării unui algoritm pentru detecția cutremurelor de adâncime crustală din zona Vrancea.

- realizarea unui catalog ETAS;
- tehnica TMS (timp, magnitudine, spațiu) pentru implementarea unui algoritm de calcul;
- tehnica TM (timp, magnitudine) pentru implementarea unui algoritm de calcul;
- valorile optime ale parametrilor modelului TM, pentru care este obținută valoarea maximă a funcției log-likelihood, limite interval încredere 95%;
- harta magnitudine de completitudine pe zona studiată;
- distribuția parametrului TM cu seismicitatea de fond (catalog Romplus), valori țintă 100 similari.

Rezumatul fazei (maxim 5 pagini):

Vrancea cutremure crustale

Seismicitatea crustală din fața Arcului Carpat se distribuie către est, într-o bandă delimitată de falia Peceneaga-Camena, către nord și est, iar spre sud se pierde către falia Intramoasică. Seismicitatea crustală nu depășește magnitudinea de 5.6 (M_w) și se pare că nu are nicio legătură cu activitatea seismică din litosfera subdusă. Activitatea seismică este caracterizată prin grupări în spațiu și în timp, în subzonele Râmnicu Sărat prin intermediul secvențelor seismice și a roiurilor seismice în zona Vrâncioaia, prin șocurile principale ale secvențelor care sunt însoțite de presocuri, replici, (Oncescu și Apolozan, 1984; Oncescu și Trifu, 1987, Popescu E., 2001, 2007, 2010)

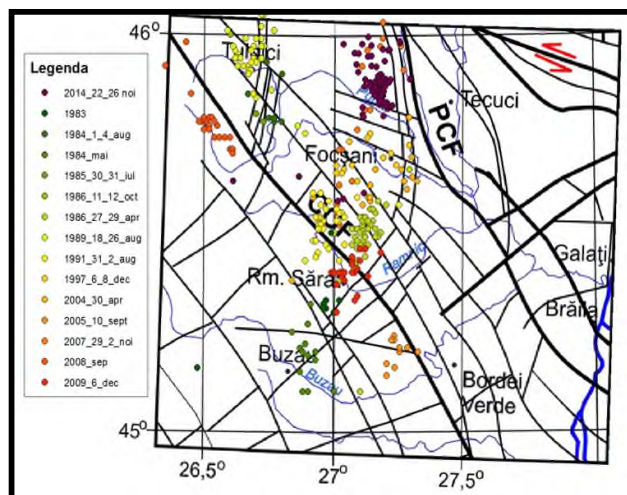


Fig.1. Secvențe seismice în zona Râmnicu Sărat și Vrâncioaia. Tectonica după Visarion et al., 1998, Săndulescu, 1984.

Secvențele seismice înregistrate în zona Râmnicu Sărat (Fig.1), se caracterizează prin orientarea sistematică a direcției de rupere paralelă cu orientarea lanțului Carpatic (Popescu, 2010, 2011; Popescu et al., 2001). Orientarea preferențială a propagării ruperii tinde să se extindă pe direcția NE-SV, deci perpendicular pe direcția faliei Peceneaga-Camena, care traversează la nord această zonă seismic activă. Trebuie remarcat că în toate cazurile, epicentrul șocului principal este situat înspre capătul sud-vestic al distribuției replicilor cu excepția roiului din 2005, sugerând un mecanism în focar cu rupere unilaterală spre NE.

În zona Vrâncioaia activitatea seismică crustală este caracterizată de prezența roiurilor de cutremure. În general, tipul evenimentului seismic este în strânsă corelație cu structura crustei terestre și cu distribuția spațială a câmpului tensiunilor tectonice, roiurile de cutremure fiind astfel manifestări particulare ale seismicității unei regiuni care apar pe o structură puternic neomogenă și ca urmare a unei concentrări mari de tensiune (Mogi, 1962).

În cadrul analizei secvenței seismice ETAS TM TMS au fost selectate din catalogul Romplus evenimentele din perioada 22 Noiembrie 2014 – 01 Februarie 2015 în regiunea de latitudine 45.7 N – 46.2 N și longitudine 26.8 E – 27.4 E, cu magnitudinea locală $0.1 < M_L < 5.7$, respectiv domeniul de adâncimea hipocentrală h (0-52) Km, au rezultat un număr de 222 evenimente pe o perioadă de 70 zile (Craiu et al., 2019)

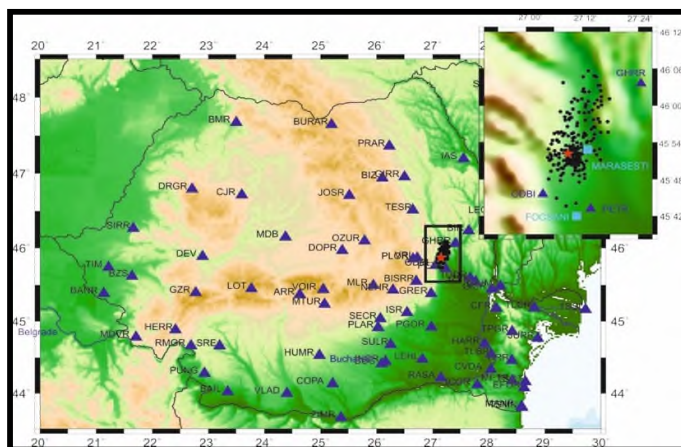


Fig.2. Distribuția spațială a evenimentelor din secvența analizată, după (Craiu et al., 2019)

Socul major al secvenței produs în 22 Noiembrie 2014 (M_L 5,7 , $h = 41$ km, ora 19 14) este cel mai mare eveniment înregistrat în zona, atât în perioada istorică cât și cea instrumentală. (Craiu et al., 2019)

Cele mai mari replici au fost înregistrate în 22 Noiembrie 2014 (M_L 3.1) , 7 Decembrie 2014 (M_L 4,5) și 19 Ianuarie 2015 ($M_L=3,8$)

În Fig. 3 este prezentată evoluția în timp a numărului cumulativ de evenimente din secvența analizată. Se remarcă creșterea bruscă a numărului de evenimente într-un interval scurt de timp de la începutul secvenței studiate. Astfel, în primele 4 zile au fost înregistrate 150 de evenimente din totalul de 222 de evenimente pe întreaga secvență.

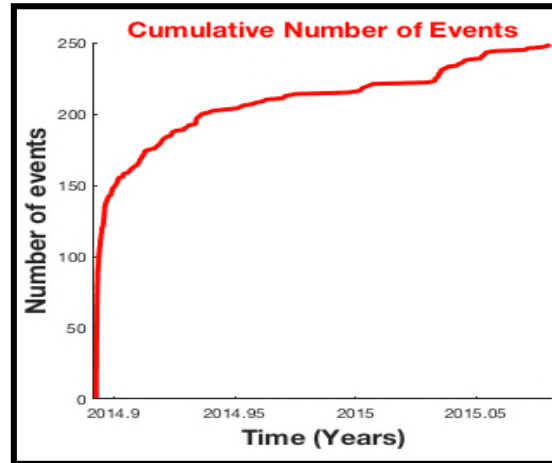


Fig.3. Variația în timp a numărului cumulativ de evenimente din secvența analizată

Estimarea parametrului b în cazul secvenței de la Marasesti din noiembrie 2014- ianuarie 2015 și a zonelor adiacente

Pe baza datelor selectate, se calculează funcția densitate de probabilitate a evenimentelor de magnitudine $\geq M$ din secvența studiată. Funcția este calculată conform legii după (Gutenberg-Richter 1944) :

$$f(m) = \beta \cdot e^{-\beta \cdot (m - M_c)}$$

Unde M_c reprezintă magnitudinea de completitudine (completeness magnitude) a bazei de date, iar β este calculat prin intermediul parametrului b, cu formula:

$$\beta = b \cdot \ln 10$$

Parametrul b reprezintă un indicator al distribuției relative a evenimentelor seismice. Astfel, formula funcției densitate de probabilitate devine:

$$f(m) = b \cdot \ln 10 \cdot 10^{-b \cdot (m - M_c)}$$

Parametrul magnitudine de completitudine M_c Fig. 4 este esențial în studiile de seismologie și reprezintă acea valoare minimă a magnitudinii pentru care sunt detectate în mod corect toate evenimentele dintr-o anumită regiune.

In Figura 4 este prezentata o harta de magnitudine de completitudine acoperind evenimentele seismice din perioada 01 ianuarie 1990 – 01 Februarie 2018 și regiunea de latitudine 44.5 N – 46.5 N și longitudine 26. E – 27.5 E.

S-a folosit codul scris in Matlab (Wiemer, 2001) pentru realizarea metodele GFT (Goodness- of – fit test) (Wiemer and Wyss 2000) si MBS (M_c by b – stability) (Cao and Gao, 2002)

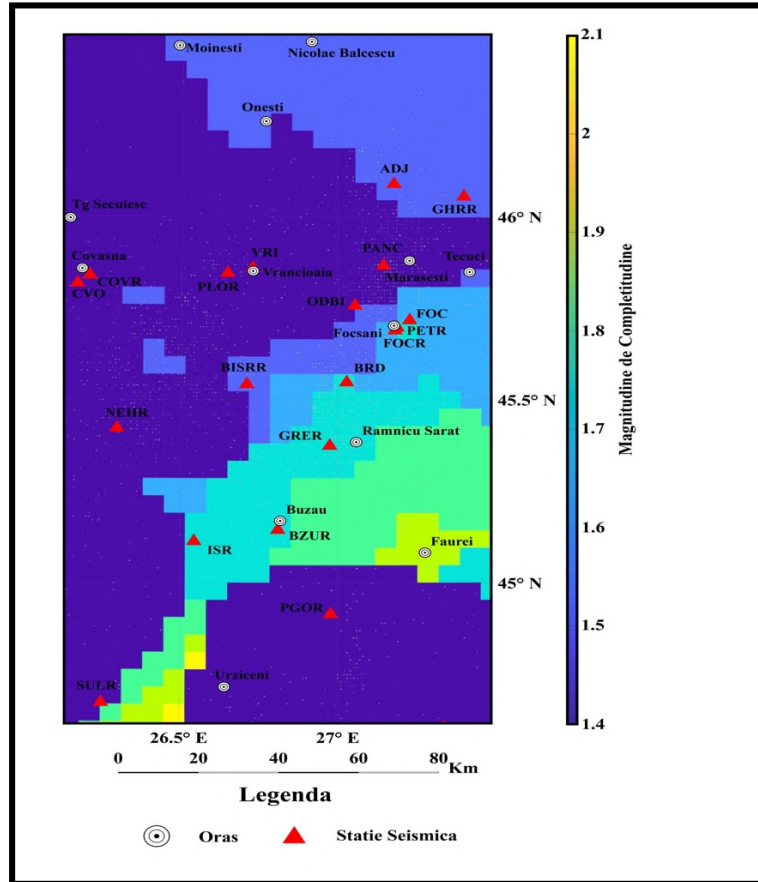


Fig.4. Harta Magnitudine completitudine 1991 - 2018

Parametrul b se calculează în funcție de magnitudinea de completitudine M_c și valoarea medie \bar{M} a magnitudinilor evenimentelor de peste valoarea prag M_c :

$$b = \frac{\log_{10} e}{\bar{M} - M_c}$$

sau cu formula completată

$$b = \frac{\log_{10} e}{\bar{M} - \left(M_c - \frac{\Delta M_{bin}}{2} \right)}$$

unde ΔM_{bin} reprezintă lățimea intervalului de grupare a evenimentelor din secvență/catalogul seismic, iar celelalte mărimi își păstrează semnificația.

Algoritmul iterativ al metodei stabilității propus de Cao și Gao calculează pe b pornind de la o valoare M_c inițială (de ex., $M_c=2.5$), mărită la fiecare iterație cu pasul de 0.05, până când diferența Δb dintre două valori consecutive ale lui b este inferioară unei limite impuse (de ex., $\Delta b < 0.03$).

Woessner și Wiemer (2005) definesc M_c ca acea valoare a magnitudinii pentru care abaterea Δb este inferioară incertitudinii δb de determinare a valorii b , indicată de Shi și Bolt (1982):

$$\delta b = 2.3 b^2 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})}{N(N-1)}}$$

Expresia finală a condiției de definiție a lui M_c este:

$$\Delta b = |b_{ave} - b| \leq \delta b$$

Metoda testului concordanței Goodness of Fit (GFT), Fig 5, propusă de Wiemer și Wyss (2005) constă în determinarea M_c în baza evaluării concordanței între distribuția frecvență – magnitudine a setului de date analizat și o distribuție sintetică (teoretică) definită printr-o lege exponențială dată de legea (Gutenberg-Richter 1954)

Algoritmul propus de (Wiemer și Wyss 2005) în determinarea magnitudinii de completitudine M_c prin metoda GFT constă în următoarele etape:

- Se calculează parametrii **a** și **b** în funcție de valoarea minimă a magnitudinii M_i , luând în considerare evenimentele de magnitudine $m \geq M_i$. Pentru determinarea valorilor parametrilor **a** și **b** se folosește un estimator de verosimilitate maximă. Metoda verosimilității maxime (MLE Maximum Likelihood Estimation) (Aki 1965) constă în determinarea maximului funcției de probabilitate (verosimilitate) relativ la variabila considerată și furnizarea unui estimator al variabilei respective pentru care se obține valoarea maximă a funcției de probabilitate.

Tabel Nr. 1

Metoda de estimare secvență Mărășești 22 noiembrie 2014	MBS	GFT (90%)
Magnitudine de completitudine M_c	1.5000	1.6000
Estimator valoarea b	1.2647	1.3842
Eroarea standard in estimarea valorii b	0.974E-01	0.134E+00

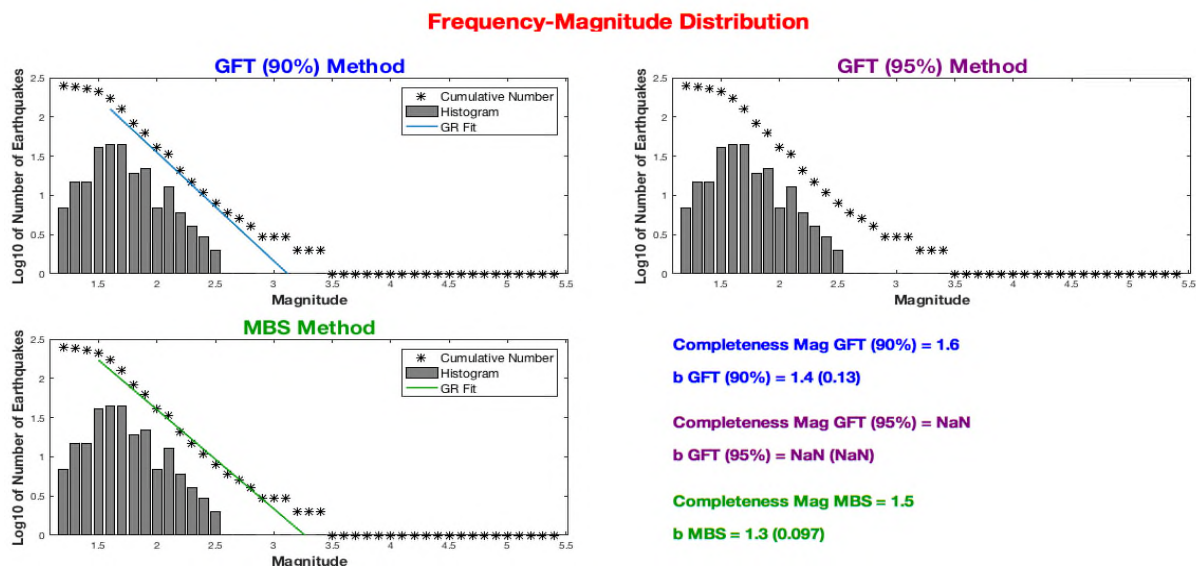


Fig. 5. Frecvența magnitudinilor evenimentelor, calculată prin metodele MBS și respectiv GFT

In Fig.5.sunt ilustrate graficele Gutenberg-Richter privind distribuția frecvenței magnitudinilor evenimentelor din secvența, pe baza parametrilor Mc și b determinați prin cele două metode.

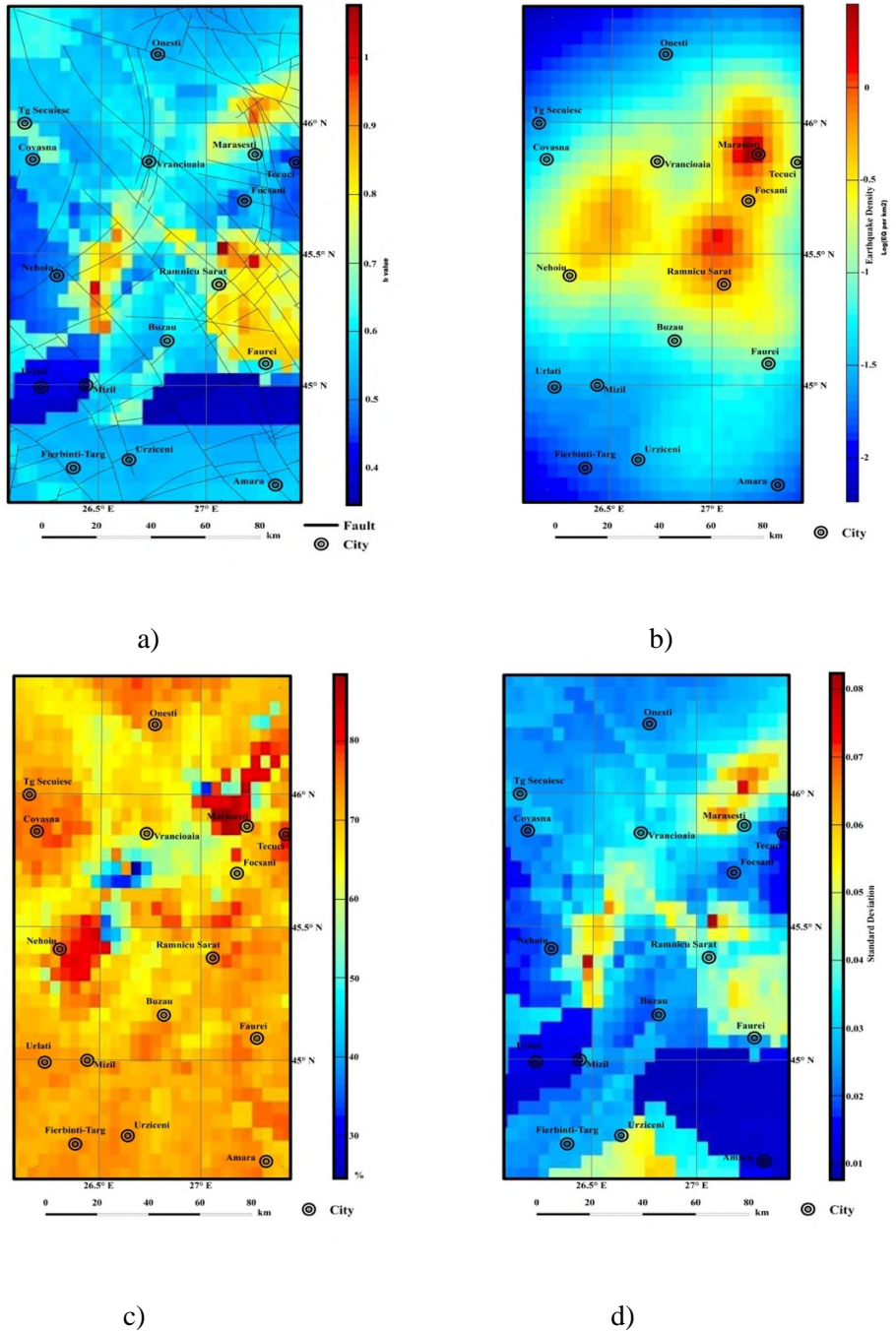


Fig. 6. a) harta b value zona Vrancea subcrustala; b) harta densitate acoperire evenimente seismice zona; c) harta GFT; d) harta abatere standard algoritm estimare b value.

Distribuția spațială a valorii b, Fig. 18 a), depinde de regimul de stres, caracterul tectonic al regiunii, eterogenitățile și temperatura (Scholtz et all 2015).

Valorile mici ale parametrului b au fost corelate cu zonele de asperitate, unde poate apărea fenomenul de nucleatie (Schorlemmer et al., 2004).

Eterogenitățile mari corespund valorilor b mai mari (Mogi, 1962).

Secvențele arată deseori o valoare de $b \sim 1$ (Craiu et al., 2019), Focsani, Rm Sarat (Popescu, 2000, 2011), harta b value Fig. 18 a)

Rezultatele privind estimarea parametrilor M_c și b prin metodele MBS și GFT (cu două valori prag – de 90%, respectiv de 95%) sunt indicate în Tabelul 1.

În Fig. 16, sunt ilustrate graficele Gutenberg-Richter privind distribuția frecvenței magnitudinilor evenimentelor din secvența, pe baza parametrilor M_c și b determinați prin cele două metode.

Metoda GFT Tabel nr 1 - valoarea de prag 95% nu a putut fi atinsă în vederea calculării lui b datorată *numărului mic de stații folosite în localizare în perioada 1990 -2010*, valorile de prag 90 % acoperă gradul de încredere al rezultatelor obținute (Fig.5 GFT 95% și Fig.6 c).

Modelul ETAS (Epidemic Type Aftershock Sequence) de analiza a datelor seismice

Modelul ETAS realizează calculul probabilității de producere a unui cutremur, pe baza istoricului activității seismice. Modelul pornește de la formula Omori modificată, care descrie activitatea seismică la momentul t a replicilor unui cutremur principal produs la momentul $t=0$ prin funcția intensitate a unui proces Poisson nestăționar de variabilă $\theta=(K,c,p)$:

$$\lambda(t) = \frac{K}{(t+c)^p}$$

Parametrii formulei pot fi estimați cu acuratețe destul de mare, presupunând că activitatea seismică urmează un proces Poisson nestăționar și aplicând metoda verosimilității maxime (MLE). Însă o parte din replicile ulterioare unui eveniment seismic principal pot constitui surse secundare de replici și modelul în acest caz se complică. Pe de altă parte, în aceste modele nu intră în calcul magnitudinea evenimentelor seismice.

Modelul ETAS propus de Ogata descrie un proces local în care fiecare eveniment seismic, produs la momentul T_i , poate genera evenimente ulterioare (replici) cu o rată descrescătoare după formula Omori modificată, pentru $t > T_i$:

$$v_i(t) = \frac{K_i}{(t-T_i+c)^p}$$

Unde K_i este proporțional cu numărul așteptat de replici generate de un cutremur cu magnitudinea M_i , replici a căror magnitudine depășește magnitudinea de completitudine (cut off) M_{co} . Termenul K_i este de forma:

$$K_i = k e^{\alpha(M_i - M_{co})}$$

În plus, modelul mai conține un parametru μ care modelează seismicitatea de fundal (background seismicity) ca un proces Poisson staționar. În final, modelul ETAS definește funcție intensitate condițională prin superpoziția background seismicity și istoricul seismic, ca sumă a ratelor tuturor evenimentelor seismice caracterizate prin momentul de producere T_i și magnitudine M_i .

$$\lambda(t) = \mu + \sum_{T_i < t} \frac{k e^{\alpha(M_i - M_{co})}}{(t - T_i + c)^p}$$

- modelul Timp Magnitudine (TM), in care se calculeaza probabilitatea de producere a unui soc, strict pe baza evolutiei temporale a magnitudinii evenimentelor seismice;

- modelul Timp Magnitudine Spațiu (TMS), analizeaza si distributia spatiala a activitatii seismice.

Ambele modele pornesc de la calculul functiei intensitate conditionala $\lambda(t)$ asociata unui proces temporal N. Aceasta, in forma cea mai simpla, reprezinta probabilitatea la care este de asteptat sa se produca un eveniment in apropierea momentului t (in intervalul $(t, t + \Delta t)$), daca este cunoscut istoricul procesului Ht, anterior momentului t:

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{E\{N(t, t + \Delta t) | H_t\}}{\Delta t}$$

Analiza reziduurilor activității seismice (Ogata, 1989)

In estimarea modelului ETAS – TM si a reziduurilor seismice, se alege ca perioada de învățare a algoritmului asupra evenimentelor seismice localizate cu coordonate Lat (45,705, 46, 180) si Long (26.800 , 27,300).

Sunt folosite evenimente seismice înregistrate din catalogul Romplus in perioada 01 Ianuarie 2010 (00:00:00) – 17 Noiembrie 2017 (00:00:00), cu magnitudine cuprinsa in intervalul 1.2 <M_w> 5.4 si adâncime h (0.6...70) km.

Analiza reziduurilor activității seismice, propusă de Ogata în 1989, pornește de la modelul epidemic, care presupune că fiecare șoc/eveniment seismic are propriile sale replici generate cu o frecvență stohastică proporțională cu magnitudinea sa. Modelul activității seismice generale presupune că datele seismice de la momentul inițial sunt produse cu rata $\lambda(t)$. Se calculează integrala ratei de producere a evenimentelor la momentele de timp t_i :

$$\tau_i = \int_0^{t_i} \lambda(s) ds = \mu t_i + \int_0^{t_i} \sum_{t_j \leq t_i} \frac{k \cdot e^{-\beta \cdot (M_j - M_c)}}{(s - t_j + c)^p} ds$$

Scala de timp este modificată prin integrarea ratei de producere a evenimentelor, realizând transformarea biunivocă a momentelor de timp $\{t_i\}$ în secvența $\{\tau_i\}$, având o distribuție conform unui proces Poisson staționar standard.

Dacă apar diferențe între activitatea seismică și modelul asociat, estimat printr-un proces Poisson staționar standard, sunt detectate astfel caracteristici specifice setului de date care nu sunt incluse în modelul inițial. Prin această metodă Ogata a detectat perioade de neconcordanță cu modelul Poisson, caracterizate prin rate de producere a evenimentelor inferioare ratei așteptate, denumite perioade de calm seismic, detectate imediat înainte de producerea unor șocuri majore sau a unor replici puternice ale unui șoc principal.

În cadrul testării modelului prin analiza reziduurilor, s-a folosit programul SEDAv.1 (A. Lombardi 2012) folosește metoda (Ogata, 1989) și verifică ipoteza unei distribuții Poisson a reziduurilor prin două teste:

- testul RUNS verifică dacă există o tendință temporală în perioadele dintre evenimente detectată în variabilele asociate momentelor de timp transformate $\{\tau_i\}$;

- testul Kolmogorov-Smirnov aplicat unui eșantion, care determină dacă variabilele de timp transformate $\{\tau_i\}$ în perioadele dintre evenimente urmează o distribuție exponențială.

Valoarea exponentului p rezultată în urma testului RUNS este p= 0.0225, iar cea dată de testul Kolmogorov-Smirnov este p= 0.056.

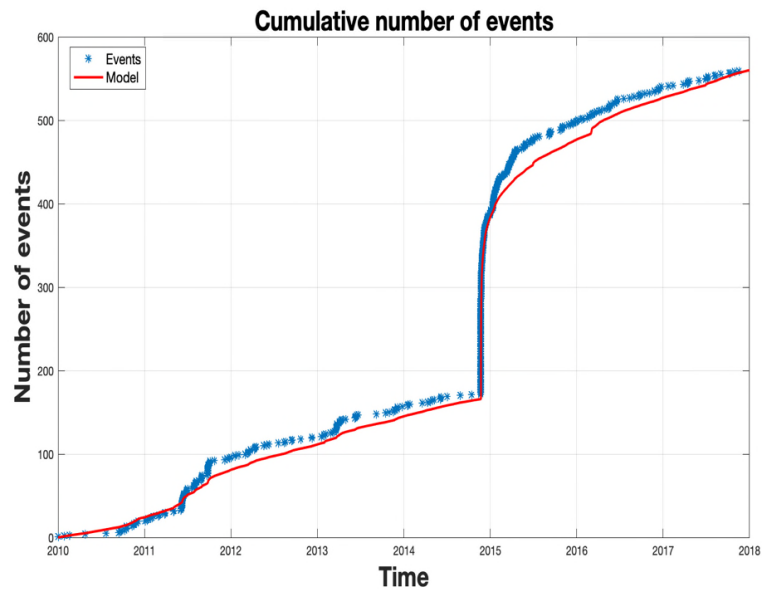
Rezultatele comparative între datele furnizate de model (estimate) și cele observate sunt date în Tabelul 3. Se observă valori apropiate între numărul total de evenimente așteptate și cele estimate, atât pentru evenimentele aparținând activității seismice de fundal, cât și pentru cele declanșate. Analizând variația în timp a numărului cumulativ de evenimente – ilustrată în Fig. , nu se disting inconsistențe majore în privința activității de fundal raportat la modelul statistic, datele sunt înregistrate în perioada 2010 -2018 pentru numărul total de evenimente 569 de evenimente .

Tabel 2. Parametrii ETAS-tehnica TM-TMS secvență seismică Mărășești 22.11.2014

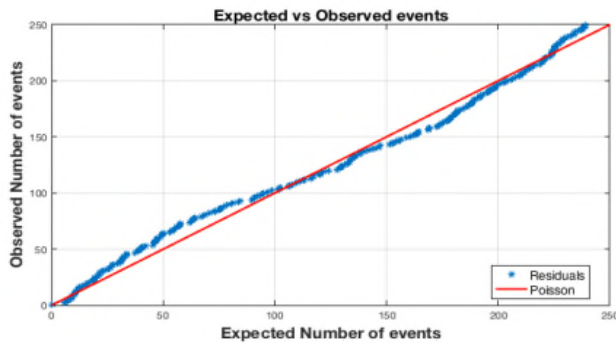
Parametru	Valoare optima	Valoarea mediana a rularilor	Limitele intervalului de incredere 95%
μ	3,61 e-02	3,52e-02	(2.93e-02, 3.85e-02)
k	6,29 e-03	6,88 e-03	(5.94-03, 7.3-02)
p	1,07	1.07+00	(1.06e+00, 1.08e+00)
c	2,42 e-02	2.49e-02	(5.82 e-03, 2.91e-02)
α	1.96 e+00	1.94 e+00	(1.54e-04, 1.98e+00)
LOG LIK	-3.32404 e+02	-3.32597 e+02	(-4.0957e+02, -3.32409+02)
EXP NEV	560	562	562
OBS NEV	559	559	559

Tabel 3.

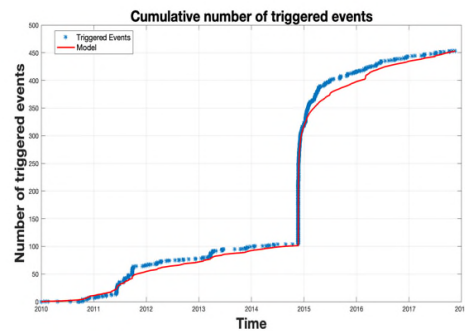
	Valori așteptate	Valori observate
Număr total evenimente	559.95	559
Număr evenimente activitate seismică de fundal	105.6	105
Număr evenimente declanșate	248.6111	247.7894



(a)



(b)



(c)

Fig. 7. Variația în timp a numărului cumulativ de evenimente seismice: (a) număr total de evenimente; (b) evenimente din activitatea de fundal; (c) evenimente declanșate

Identificarea unei secvențe seismice

Identificarea secvenței seismice reprezintă unul din obiectivele acestei faze a proiectului.

Pentru identificarea secvenței seismice de la Marasesti din data de 22.11.2014 s-au folosit parametrii de test din catalog -ETAS prezentați în Tabel Nr 2.

Parametrii statistici au fost calculați pentru coordonatele Lat (45,705, 46, 180) și Long (26.800 , 27,300) .

A fost folosit un model stohastic după (Zhuang et al 2004) implementat în SEDAv1.0 și modelat pentru zona Vrancea crustale și teste statistice tip NRUNS după (A. Lombardi 2012) asociate unei distribuții de probabilitate P în detectarea apariției unei secvențe la rularea evenimentelor seismice din catalogul Romplus.

Testul a fost înregistrat cu succes având o probabilitate de 0,95 %, Fig. 8.

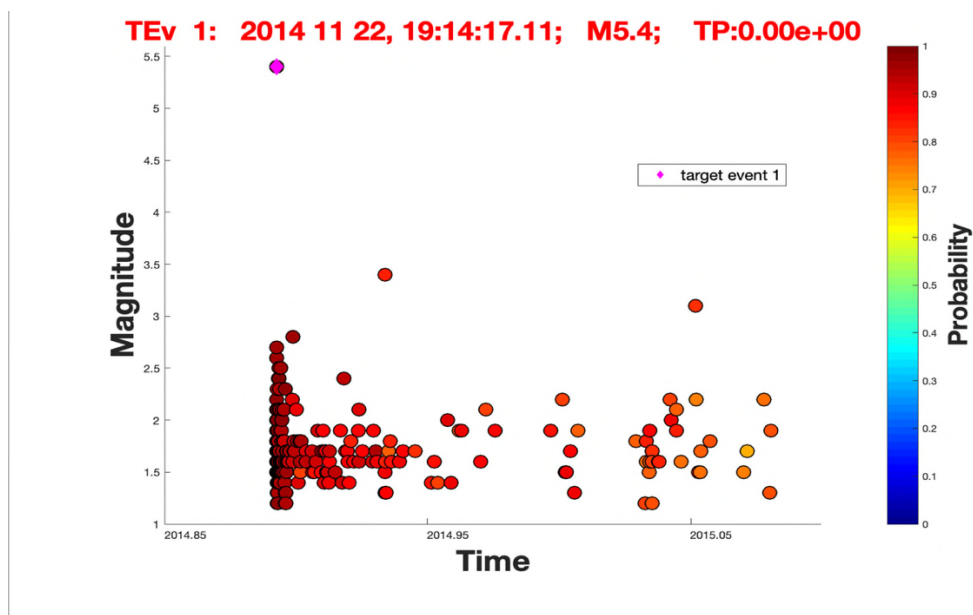


Fig.8. Identificarea secvenței Marasesti 22.12.2014

Rezultate

În scopul identificării unei secvențe seismice vranceane sau aplicat metode stohastice pe un set de 559 de evenimente de evenimente crustale, testele au fost validate cu o limită de încredere de 95% Tabelul nr 2 .

Obiectivul principal al acestui proiect s-a materializat prin realizarea unui catalog ETAS cu parametrii de calcul specifici suprafeței de localizare a evenimentelor seismice aferente secvenței Mărășești 22 noiembrie 2014 (Fig.8)

Se observă valori apropiate între numărul total de evenimente așteptate și cele estimate, atât pentru evenimentele aparținând activității seismice de fundal, cât și pentru cele declanșate.

Un rezultat semnificativ al acestui studiu este faptul că au fost analizate statistic prin metodele GFT MBS (Wiemer și Wyss, 2005) - valorile de prag **90 % acoperă gradul de încredere al rezultatelor obținute.**

Valoarea de prag 95% nu a putut fi atinsă în vederea calculării valorii lui b datorată numărului mic de stații folosite în localizare în perioada 1990 -2010.

Aplicarea acestor tehnici moderne de calcul prin metode stohastice au o importanță majoră în vederea estimării hazardului seismic regional și local.

Stadiul realizării obiectivului fazei

Prin rezultatele prezentate referitoare la modelarea unor algoritmi statistici folosind date din catalogul Romplus, zona crustală Vrancea, prin testarea algoritmilor de calcul în vederea identificării unei secvențe seismice considerăm că **obiectivele fazei au fost îndeplinite în totalitate** și că **angajamentele asumate au fost atinse**, iar proiectul a atins gradul de implementare scontat pentru această fază.

Propuneri pentru continuarea proiectului:

În această etapă, **obiectivul a fost îndeplinit integral** iar **rezultatele obținute sunt în concordanță cu tinte propuse** venind în sprijinul implementării proiectului. În viitor, modelarea și testarea

algoritmilor stohastici de calcul a evenimentelor seismice grupate trebuie sa continue, aplicand metode de calcul noi si tot mai performante

Concluzii si propunerii pentru continuarea proiectului

In general un catalog de cutremure real poate fi considerat ca o realizare a unor procese stohastice care stau la baza producerii cutremurului.

Un proces stohastic poate fi reprezentat ca o funcție aleatorie.

În aplicațiile practice, domeniul de definiție al unui asemenea proces este un interval de timp - purtând numele de serie de timp - sau un loc al spațiului - purtând în acest caz numele de câmp aleatoriu.

Exemple comune ale seriilor de timp includ:

- fluctuațiile ratelor de schimb și ale cotațiilor acțiunilor din burselor de mărfuri;
- semnalele audio și video;
- datele medicale, cum ar fi EKG, tensiunea arterială sau temperatura corpului;
- mișcările aleatorii: mișcarea Browniană.

Exemplele de câmpuri aleatorii includ imaginile, sau reprezentarea variațiilor de compoziție ale materialelor eterogene.

Unul din obiectivele acestei faze a proiectului este acela de a realiza un catalog ETAS (*Epidemic Type Aftershock Sequence*) cu parametrii optimi de detecție a unei secvențe seismice analizate, studiu de caz secvența seismică înregistrată la Mărășești (*magnitudine locală $M_l=5,7$ din 22.11.2014*), fiind considerat cel mai mare cutremur crustal din țară înregistrat cu ajutorul stațiilor digitale din Rețeaua Seismică Națională.

Validarea acestui catalog s-a realizat prin identificarea stohastica ETAS a secvenței de la Marasesti din 22 noiembrie 2014.

Realizarea acestui obiectiv încurajează continuarea cercetărilor în mărirea bazei de date ETAS asupra secvențelor din Romania cu modelarea unor algoritmi statistici folosind seismicitatea de fond în estimarea socului principal a unei secvențe seismice corelate cu precursori în general.

Astfel într-o prognoză dependentă de timp, probabilitățile $P(t)$ depinde de informația $I(t)$ disponibilă la momentul t când se face prognoza.

Cele mai utile informații pentru prognozarea operațională provin din cataloagele seismice și istoria geologică a rupturilor de suprafață .

Exemple legate de ferestrele de prognoză diferite includ previziunile ETAS acestea sunt bazate pe statistici de declanșare a cutremurului pe termen scurt (Ogata 2006), (Helmstetter 2002) , (Marzocchi 2011) si (Zhuang 2011).

Numeroase studii cum ar fi (Helmstetter si Sornette 2002), (Marzocchi si Zhuang 2011) aplica prognoze de reînnoire a stresului seismic pe termen lung bazate pe baza teoriei revenirii elastice.

ETAS a fost aplicat pentru sistemul de falii din San Andreas din California, (Field et al. 2008, 2009). Pentru Italia, (Marzocchi si Lombardi 2009) au realizat astfel de modele statistice.

Analizand aspectele mentionate, concluzionam ca folosirea acestor algoritmi de detectie si parametrii statistici estimati pentru cutremurele din zona Vrancea crustala sunt de mare utilitate in evaluarea caracteristicilor miscarii solului (hazard seismic) si a riscului seismic asociat.

Indicatori: Rezultatele obtinute in acesta faza au fost si vor fi publicate si prezentate la conferinte stiintifice nationale si internationale.

Articole publicate -4

1. Craiu A , Ghita C, Craiu M, Diaconescu M, Mihai M , Ardeleanu L The source mechanism of the seismic event during the sequence of the moderate size crustal earthquake of november 2, 2014 Vrancea Region Romania, *Annals of Geophysics* .Vol 61 (2018) DOI 10.4401/ag-7617
2. M. Diaconescu, A. Craiu, D. Toma-Danila, G.M. Craiu, C Ghita Main active faults from the Eastern part of Romania (Dobrogea and Black Sea). Part I: longitudinal faults system. *Rom. Rep. Phys.* 71, 702 (2019).
3. R. Partheniu, C. Ghita, T. Victorin, E. Nastase, A. Muntean, E. Murat, I.A. Moldovan, C. Ionescu, Monitoring the Black Sea natural hazards using new technology and equipment *Rom. Rep. Phys.* 71, 704 (2019)
4. Main active faults from eastern part of Romania (Dobrogea and Black Sea). Part II: Transversal and oblique system. M. Diaconescu, A. Craiu, I.A.Moldovan, E. G. Constantinescu, C. Ghita *Rom.Rep.Phys.*, Vol. 71, Issue 2, 708 (FI= 1.582, AIS=0.255)

Prezentari la conferinte:

SGEM Conference on Earth & Geo Sciences , Albena , Bulgaria, 28 Iunie -7 Iulie

1. Cristian Ghita, Mihail Diaconescu, Andreea Craiu, Using the ETAS model for Earthquake catalog declustering of Vrancea seismogenic crustal area
2. Diaconescu Mihail, Cristian Ghita, Eugen Oros, Seismo tectonic analysis of the main faults from Apuseni mountains
3. Alexandru Tiganescu, Stefan Florin Balan, Dragos Toma-Danila, Bogdan Felix Apostol Preliminary analysis of data recorded on instrumented buildings from Bucharest area during 28 th October 2018 Vrancea earthquake
4. Stefan Florin Balan, Dr. Bogdan Felix Apostol, Alexandru Tiganescu A short survey on the buildings behaviour under strong seismic movements, case study for Bucharest city area
5. Andrei Bălă, Dragos Toma-Danila, Mircea Radulian Horizontal stress field in the earth crust of Romania using multiple focal mechanism solutions
6. Narvic Doru Mateiciuc, Andrei Bălă Applications of space geodesy methods in Romania
7. E. Oros, E. Constantinescu, D. Paulescu, M.Popa , A. O. Placinta Using early instrumental data to determine the source parameters of the strongest historical earthquakes occurred in west Romania (1900-1980).
8. Iren-Adelina Moldovan, Angela Petruta Constantin, Elena Florinela Manea, Raluca Partheniu, Eduard_Gabriel Constantinescu_Macroseismic Intensity Attenuation laws for large Vrancea (Romania) Intermediate Earthquakes

WMESS 2019 World Multidisciplinary Earth Science Symposium Praga 09-13 Septembrie

1. Placinta A.O, Popescu E, Borleanu F, Radulian M Clustering properties of the Vrancea intermediate depth source

2019 SSA Seattle SUA, 22-24 Aprilie 2019

1. E.F.Manea, C.O. Cioflan, L. Danciu Single-Station Sigma Analysis for Romanian Seismic Network.

CTBT Science and Technology 2019, Viena 23-29 Iunie 2019

1. Daniela Ghica, Bogdan Grecu, Mihaela Popa, Seismo-acoustic observation of the ocean swell sources at BURAR site
2. Csenge Czanik, Daniela Ghica, Tereza Sindelarova, Ulrike Mitterbauer, Improving the infrasound monitoring capability in Europe incorporating CEEIN

27th IUGG General Assembly, July 8-18, 2019, Montreal, Canada

1. Ardeleanu L., Seismic Wave Attenuation in the Southeastern Carpathian Bend Region, 27th IUGG General Assembly, July 8-18, 2019, Montreal, Canada
2. Ardeleanu L., Ionescu C., Neagoe C., Empirical Relationships between Macroseismic Intensity and Engineering Ground-Motion Parameters for the Strong Undercrustal Earthquakes of Vrancea (Romania), 27th IUGG General Assembly, July 8-18, 2019, Montreal, Canada

Responsabil Faza,

Dr. Cristian Ghita

Responsabil proiect,

Dr. Iren Adelina Moldovan