

**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 8f: Parametrizarea stohastica a evenimentelor sesimice generate de faliile active. Surse seismice individuale din zona de vest și nord-vest a Romaniei. Campuri de stress

Termen: 15.10. 2020

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 semnaturile acestor fenomene la suprafața Pamantului, în Atmosferă și în stratele inferioare ale ionosferei. Se vor realiza analize multiparametrice și multi-stație a câmpurilor 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 geo-tectonice pentru zonele studiate, hărți macroseismice pentru cutremurele recente cu $M > 5.0$ și microzonarea în intensități a unor orașe din zona extracarpatică.

3. Obiectivul fazei:

Descrierea faliilor active în maniera SHARE/DISS. Analiza secvențelor seismice prin intermediul analizei statistice a parametrilor principali ai relației Gutenberg-Richter prin determinări de tip MLE (Maximum likelihood estimation). Estimarea câmpurilor de stress. Realizarea hărților geotectonice și a hărților seismicității zonei precum și analiza cutremurelor cu mecanism focal.

4. Rezultate preconizate pentru atingerea obiectivului fazei:

Evaluarea faliilor active și descrierea lor în maniera Share/DISS. Evaluarea parametrilor modelului de sursă „areal”, tip zona seismică, (area source model). Sursele de acest tip sunt poligoane care descriu o regiune, în care se asumă o activitate seismică omogenă pentru fiecare poligon constituent. Pentru fiecare zonă vom estima rata activității seismice (adică valoarea anuală a lui a și valoarea lui b din relația Gutenberg Richter), distribuția hipocentrală, magnitudinea maximă observată, și distribuția stilului de falie

5. Rezumatul fazei (maxim 5 pagini):

Surse seismice tip arie și tip surse seismice individuale. Surse seismogene compozite.

5.1. Cadrul geologic (Fig.1).

Zona de studiu este localizată în vestul și nord-vestul României. Aceasta parte a României este alcătuită din regiunile Maramureșului și a munților Apuseni

Geomorfologic regiunea studiată înglobează: la nord, unități aparținând Carpaților Orientali, la sud, regiunea de contact dintre Carpații Meridionali și muntii Apuseni, la vest, urmărind granița Româno-Ungară, sectorul estic al depresiunii Panonice și la est, unități ale depresiunii Transilvane.

Apusenii.

Constituita geotectonica actuala a regiunii de vest și nord-vest a României este datorată proceselor tectonice de scindare și ulterior, de sutura al unităților Tisza și Dacia (aparitia zonei ofiolitice de subducție și/sau obducție) și al apariției unei zone de rift pre-Neojurasică (scindarea blocului transilvano-panonic) (Mutihac V. et al., 2007, Sandulescu M., 1984, Schmid S.M. et al., 2008).

Separarea microplacii transilvane de cea panonică deasemenea contribuie, la formarea muntelui Apusenilor (Mutihac V. et al., 2007)]. Structogenetic, muntii Apuseni sunt distinct divizați în două blocuri, cel de nord și cel de sud (Mutihac V. et al., 2007, Sandulescu M., 1984).

Structura muntelui Apuseni de Nord este rezultatul proceselor de expansiune, fragmentare și încălecare suferite de marginea pasivă a blocului Panonic. Caracteristice pentru structura Apusenilor de Nord sunt formațiunile cristalino-mezozoice și prealpine (Mutihac V. et al., 2007).

Blocul sudic al Apusenilor este caracterizat de prezența ofiolitelor (Sandulescu M., 1984, Schmid S.M. et al., 2008) și a formațiunilor de flis (Mutihac V. et al., 2007, Sandulescu M., 1984, Schmid S.M. et al., 2008), fiind interpretat tectonic, în sens larg, ca sutura a fostei zone de expansiune intraplaca, generată prin procesul de riftare a Neotethys-ului (Schmid S.M. et al., 2008).

Geneza tectonică a depresiunilor Transilvania și Panonică este strâns legată, cele două evoluând ca urmare a scindării microplacii Transilvano-Panonice (Mutihac V. et al., 2007, Schmid S.M. et al., 2008), rezultată, prin deschiderea și ulterior, închiderea zonei de rift intra-continentală (care conduce la formarea oceanului Transilvan) (Krezsek C., et al., 2006, Csontos, L. et al., 2004).

Fundamentul sectorului Romanesc al depresiunii Panonice (cel pretertiar) este asemănător din punct de vedere al constitutiei cu cel întâlnit în depresiunea Transilvania (Krezsek C., et al., 2006). Fundamentul celor două depresiunii (Panonică și Transilvania) este alcătuit din unități paleozoice cristaline (micașisturi cu granați, paragneise, amfibolite și ofiolite) (Mutihac V. et al., 2007, Krezsek C., et al., 2006).

Munții Apuseni reprezintă un masiv izolat în interiorul arcului carpatic, format din pliuri complexe formate în perioada cretacică, ca urmare a interacțiunilor dintre microplaci multiple separate de ramurile oceanului Tethys. Munții Apuseni au două grupe de unități tectonice: Transilvanide și Apusenide (în esență Dacide interne), formate în timpul coliziunilor Cretacice și terminate în Tertiær.

Crișana și Maramureș.

Arealul studiat acoperă județele Crișana și Maramureș. Județul Crișana se limitează la depresiunea panonică. Depresiunea panonică este prezentă în România în vestul țării și, în general, este limitată la nord, est și sud-est de Carpați, la sud de Alpii dinarici și la vest de sud și est Alpi. Depresiunea Panonică a fost generată după mai multe cicluri orogene proterozoice și paleozoice și mai târziu prin orogeneza alpină obținând un caracter eterogen care va fi afectat de mișcări disjunctive ale neogenei care, în final, au dus la formarea depresiei în sine. În timpul Miocenului, zona intracarpatană se caracterizează printr-o istorie complexă a subsidenței strâns legată de evoluția tectonică a lanțului Alpino-Carpatic și Alpiilor dinarici. Fundamentul bazinului, constă în extinderea spre vest a elementelor structurale ale Carpaților, acoperite de diferite formațiuni sedimentare ce aparțin diferitelor cicluri.

Județul Maramureș, situat în interiorul Carpaților Orientali, în apropierea tranziției spre Carpații Occidentali, include în terminologia tectonică a zonei carpat-panonice, partea de nord-est a blocului Tisza (unitatea Bihor) și partea de nord a Blocului Dacia (Panzele Bucovinice). Prima deformare alpină, în această zonă, a început la sfârșitul Cretacului timpurii (faza Austriacă) și a continuat până la sfârșitul Cretacului superior (faza Laramică). Toate acestea și contactul dintre blocurile Tisza și Dacia și rămășițele zonei de sutură ofiolitică între aceste două zone, au fost acoperite de sedimentele Cretacic-Paleocen superioare.

Structura cea mai evidentă a zonei, din punct de vedere tectonic, este reprezentată de sistemul de falii Bogdan-Dragoș Vodă. Aceste falii au o orientare de la vest la est. În partea vestică falia Bogdan Vodă a decroșat atât acoperirea sedimentară a blocului Tisza - Dacia, cât și a Pienidelor cu sedimentele vulcanice din timpul Miocenului. Falia Dragoș Vodă, la est, formează limita nordică a corpului cristalin cu formă de horst (horstul Rodna), constând din Panze Bucovinice.

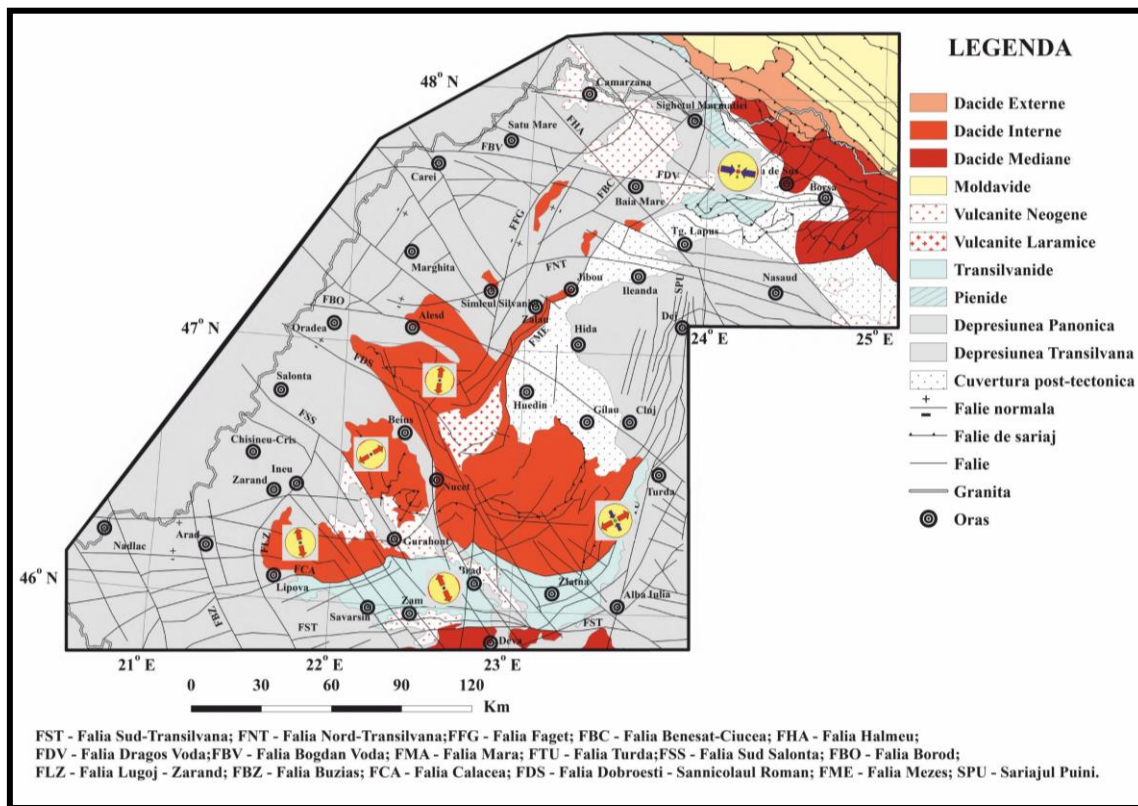


Fig.1. Harta geo-tectonica a zonei de studiu

5.2. Seismicitatea (Fig.2)

Apuseni. Pentru studierea seismicității au fost selectate din catalogul ROMPLUS, 3986 de evenimente seismice. Activitatea seismică este doar de natură crustală, adâncimile focarelor nedepășind 50 de km. Din numărul total de cutremure selectionat, 94% au hipocentrul localizat în primii 15 km ai crustei. 5% din cutremurele selectionate au hipocentrele localizate la adâncimi cuprinse între 15 și 30 de km. Restul de 1% fiind localizate la adâncimi cuprinse între 30 de km și 50 de km.

Pentru a elimina posibilele explozii din baza de date finală am investigat locațiile legate de surse de explozii cunoscute (cariere, mine) și am mapat raportul evenimentelor seismice înregistrate în timpul zilei și în timpul nopții aplicând algoritmul Rasenberg.

Seismicitatea istorică prezintă un model cu câteva evenimente cu $M_w > 4,0$ împrăștiate în regiune, în principal la contactul dintre zona Munților Apuseni și depresiunile panonice și transilvănene (Deva / Carpathian Fault System: 23.11.1867, $M_w = 4,5$, 05.10.1890, $M_w = 4,1$, 05.12.1890, $M_w = 4,1$, Nord-Vest de regiune: Beius, 17.01.1911, $M_w = 4,2$, Oradea, 12.02.1614, $M_w = 4,6$; 12.04.1886, $M_w = 4,6$, Nord: Huedin, 24.10.1890, $M_w = 4,3$). Cele mai puternice evenimente au fost înregistrate în Depresiunile Transilvaniei și Panoniei, în apropierea structurilor orogene din regiunea studiată (de

exemplu Cluj, 05.05.1603, $M_w = 5.5$, GalosPetreu, 01.07.1829, $M_w = 5.9$, 15.10.1834, $M_w = 6.4$). Seismicitatea recentă (2010-2016) prezintă un model spațial caracterizat prin grupuri mici situate aproape de epicentrele istorice

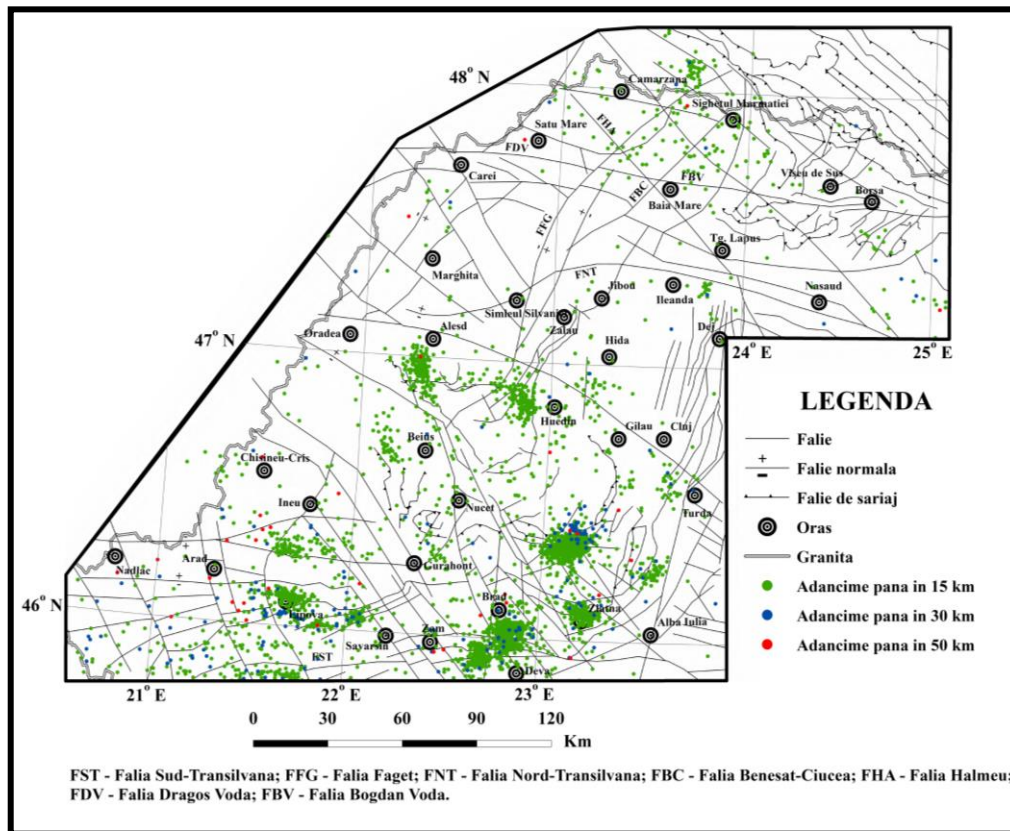


Fig.2. Harta seismicității zonei

Seismicitatea recentă (2010-2019).

Cutremurele din perioada 2010-2019 au avut epicentrele situate in aceleași arii epicentrale ca cele istorice si avuit magnitudini mici ($M_{wmax} = 3.4$, 06.03.1996, granița de est a regiunii)

Date istorice sugerează pentru zona Maramureș-Crișana, cutremure de magnitudine potențială > 6 . De la secolul al XIX-lea până în prezent a existat doar un eveniment cu o magnitudine de $M_w = 5,6$, la 15 octombrie 1834, la sud de Carei (zona Pișcolt-Petrești) (aproximativ 15 km sud de Carei). Un alt cutremur major a avut loc la 5 ianuarie 1823, cu magnitudinea 5 (M_w), situat la est de Sighet Marmației. Zona activă seismic din localitățile Oradea și Carei se află la intersecția fracturilor orientate NE și WE, fiind caracterizate de focare normale, cum ar fi cutremurul datat la 12 aprilie 1886 magnitudinea 4.1 (M_w) la sud de Oradea, cutremur de magnitudine 4.7) din data de 11 martie 1893 în zona Carei.

Seismicitate regiunii Crișanei și Maramureșului este moderată, magnitudinea maximă înregistrată, în zona Crișanei fiind de 5.6 pentru evenimentul seismic din 15 octombrie 1834 de la sud de Carei, iar, pentru zona Maramureșului, magnitudine maximă estimată este de aproximativ 6.2(M_w) pentru un eveniment seismic din anul 1829 (Bala A. et al., 2015). 50% (1991 de cutremure) din numarul total de evenimente seismice au valori de magnitudine M_w mai mici de 2. 48% (1933 de cutremure) din totalul cutremurelor au valori de magnitudine M_w între 2 si 3. Valori ale magnitudinii $M_w > 3$ au fost înregistrate doar pentru 63 de cutremure (2% din totalul cutremurelor).

Domeniul de magnitudine este cuprins între 0,1-6,2 (M_w) și este concentrat în intervalul între 1,5 (M_w) și 2,5 (M_w). Acest interval de magnitudine este localizat în primele 20 km de crustă. Intervalul de

toată magnitudinea este atins de-a lungul primelor 10 km de crustă, cu o adâncime foarte mică. Cutremurul cu magnitudine maximă, 6,2 (Mw) la 1 iulie 1829, este situat la nivel de subcrustal, adâncime de 37 km. În zona studiată Moho este situată la adâncimea de 27,5 km. La nivelul subcrustal se situează și adâncimea cutremurului de 6 (Mw) la 4 august 1444.

Aproape toate cutremurele urmaresc faliile majore din zonă și sunt concentrate în sudul și vestul Munților Apuseni și la nord de Baia Mare (falia Bogdan-Dragos Vodă).

5.3. SOLUȚII MECANISME FOCAL

Pentru a investiga campul de stres actual, am calculat 117 mecanisme focale pentru cutremurele situate în regiunea de studiu și / sau aproape de granițele sale, în funcție de afinitățile structurale și de seismicitate. Soluțiile mecanismelor focale au fost calculate folosind o procedură care urmează mai multe etape: i) estimarea soluției mecanismelor focale folosind doar polaritățile și pachetul de software free Seisan. Pentru a investiga stabilitatea soluțiilor au fost aplicate patru programe diferite incluse în software-ul gratuit Seisan: FocMec, FPFIT, HASH și PINV; ii) amplitudinea și rapoartele de amplitudine S / P au fost utilizate pentru a constrânge mai bine și pentru a îmbunătăți soluțiile bazate pe polarități; iii) inversiune completă a formei de undă atunci când au fost disponibile puține polarități sau mai multe soluții și incertitudini mari au fost obținute anterior. Soluțiile finale sunt cele cu indicii de calitate A, B, C și D (de ex. Incertitudinile planului focal, criteriile F-fit, rata de distribuție a stației sau diferența) și în funcție de clasificarea WSM de calitate.

Maramures-Crisana În ceea ce privește soluția planului de falie, avem 12 cutremure cu soluții tip falie inversa, aparținând unui caracter compresiv, și două cutremure care reflectă un caracter extensiv, tip falie normala, situate la contactul dintre munți și depresiunile din jur, panoniana , respectiv transilvăneană. S-au selectat cutremurele înregistrate la cel puțin 7 stații seismologice pentru a asigura o bună calitate a datelor.

Seismicitatea zonei este mai mică decât a Carpaților Meridionali, dar semnificativ mai mare decât seismicitatea Carpaților Orientali, ceea ce ar putea indica un contact activ între Munții Apuseni și depresiunea panonică și depresiunea transilvăneană, iar la nord de cu sistemul de falii Dragos-Bogdan Vodă.

5.4. Distribuția după mărime a evenimentelor seismice -metodologie

Variațiile spațiale și temporale ale valorii (b) a relației Gutenberg-Richter (G-R) au fost studiate pe scară largă pentru diferite regimuri tectonice. Acest parametru depinde de regimul de stres, caracterul tectonic al regiunii, eterogenitățile în general.

În acest studiu ne propunem să facem o analiză statistică a parametrilor principali G-R aplicată într-un studiu pe catalog, înainte și după cutremur / secvență, prin folosirea statisticii matematice.

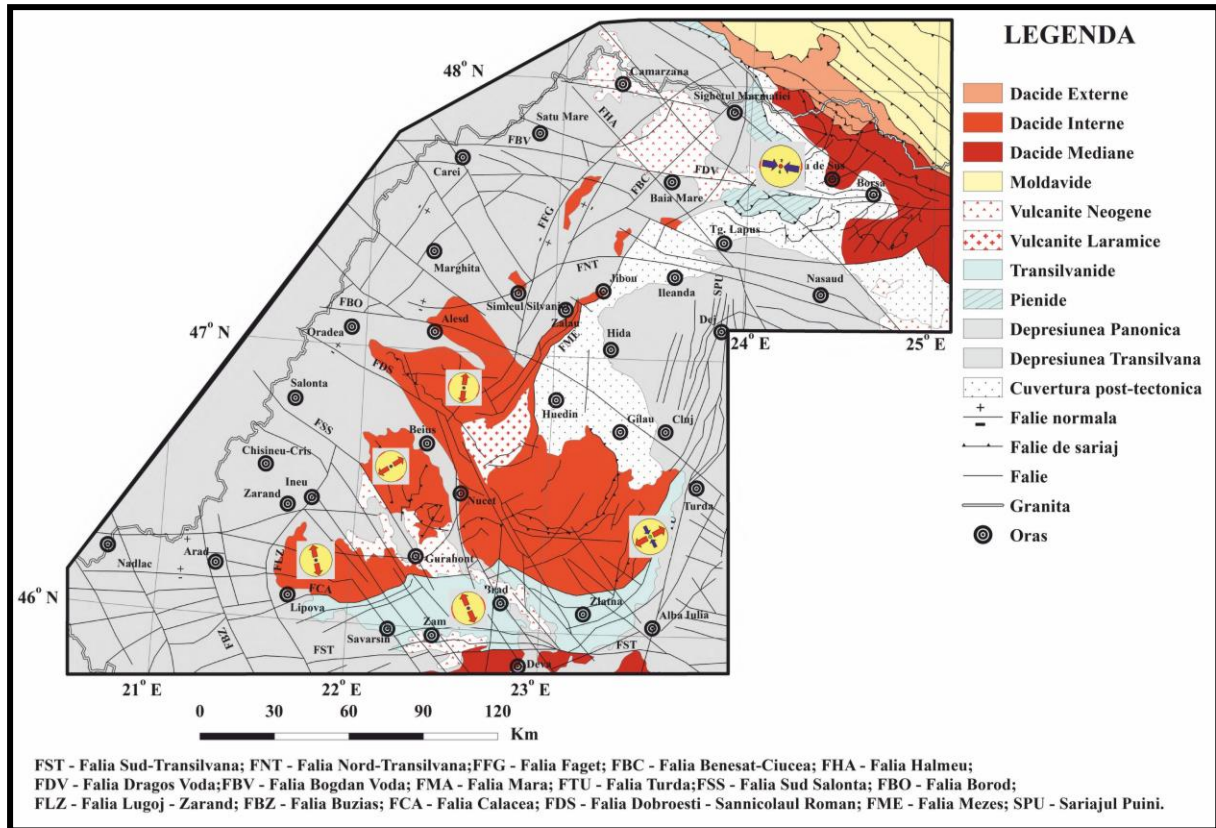


Fig.3. Harta distributiei campurilor de stress

Distribuția spațială a valorii lui b este utilă pentru cartografierea stării de stres. Valorile lui b variază semnificativ dacă schimbările de stres sunt mari și există anumite condiții structurale (de exemplu, eterogenități geometrice) care pot afecta potențialului seismogen al zonei.

Există mai multe explicații plauzibile pentru variațiile observate în valorile b , cum ar fi

- 1) Valori mari ale lui b sunt prezente în cazul eterogenităților (Mogi 1962)
- 2) Secvente seismice – de regula sunt valori ale lui $b \sim 1$ (Seminar of the be value Ota Kulhanek 2005),
- 3) remarcam existența unei secvente seismice dezvoltata la nord de Maramures, la granita Romaniei cu Ucraina în anul 2015. Secventa a fost de tip preșoc - șoc principal- replici, cu șocul principala de 3.1 (M_w) precedat de 2 preșocuri și urmat de 7 replici. Domeniul de adâncime este situat între 3 si 12 km, iar domeniul magnitudinilor este situate între 2.4 si 3.1 (M_w).
- 4) Valorile lui b de maxim 2,5 se găsesc în cazul roiturilor seismice, acestea sunt asociate cu activitatea vulcanica și prezența apei.

Astfel valoarea lui b cât și variațiile sale pot constrânge limitele ariilor în care există corelații între seismicitate, tectonică și analiza câmpului de stres.

Hărțile cu distributia valorilor b pe zona studiata impreuna cu analiza unor parametrii statistici privind calitatea datelor modelate, au fost construite după codul Wosner și Wiemer implementat în matlab folosind o rețeta de 400 evenimente $N_{min} 50$ -grid $0,07 dx 0,07 dy$ înregistrate în perioada 2010-2018

Valorile lui b se încadrează în intervalul $(0,60 < b < 1,2)$ sunt în general corelate cu structurile geotectonice din regiunea de studiu. Distribuția lui b evidențiază o concentrare mare de stress în zona $b > 0.8$ (Zlatna, Brad Sighetul Marmatiei) unde se observa mai multe zone de clustere

5.5. CAMPUL DE STRESS

Inversiunea formală a axelor tensorului momentului (P, T și B) a fost utilizată pentru a estima valoarea a patru parametri ai tensorului de tensiune redus care modelează cel mai bine regimul de tensiune în regiune: orientarea ortogonală a axelor principale de tensiune, σ_1 , σ_2 și σ_3 ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$) și raportul de tensiune $R = \sigma_2 - \sigma_3 / \sigma_1 - \sigma_3$. Am folosit un program Tensor care aplică diferite metode de inversare, metodele P-T-P, Right Dieder și Optimizarea rotativă care minimizează deviația de alunecare (misfit unghiular) între direcțiile teoretice și cele observate pe planul de falieri. Câmpul de stres este mai bine caracterizat prin i) stresul maxim orizontal SHmax pentru un regim de compresie și Shmin pentru cel extins și ii) indicele regimului tectonic, R' (parametrul Anderson) derivat din valorile R; R' = 0-1 pentru falieri normale, R' = 1-2 pentru falieri de alunecare și R' = 2-3 pentru falieri inverse. Inversiunea a fost aplicată pentru cinci seturi diferite de date alese pe seismicitate și motive tectonic: gruparea epicentrelor și trăsăturile tectonice similare. În practică, există două opțiuni când se utilizează datele mecanismelor focale eterogene: i) dacă se aplică procedura de separare a datelor (mecanismele focale care au un unghi de misfit între direcția de alunecare observată și calculată mai mare de 30-40° vor fi eliminate din setul de date, să rezulte un tensor de bună calitate cu un unghi redus mediu scăzut, dar un număr semnificativ de date vor fi excluse și baza de date va fi modificată; ii) toate datele vor fi utilizate pentru determinarea tensorului nu numai cele care se potrivesc perfect tensorului. În cea de-a doua opțiune va rezulta un tensor mai puțin bine definit, cu un unghi mai scăzut și adesea o calitate mai scăzută a soluției. În acest caz, eterogenitatea datelor (cel mai mare unghi de misfit) măsoară eterogenitatea câmpului de tensiune și poate fi folosită ca parametru important în analiza câmpului de stres. Am adoptat a doua metoda. De asemenea, am calculat tensorul de stres pentru un set de date obținut pentru zona Maramuresului pentru a analiza posibilele variații locale, în funcție de particularitățile structurale

5.6. NEOTECTONICA ȘI MODELUL REGIONAL DE STRES DE ZI CU ZI

Ansamblul neotectonic (post-miocen) este reprezentat prin structuri de tip graben extensiv, alungite în direcția WNW-ESE care sunt conectate la bazinele și sub-bazinele din zona panonică. Vulcanismul neogen a fost legat și de procesele de extensie. De la Pliocen până la ultima dată când a început bazinul de inversiune cu procese compresive, munții au fost erodați, rezultând o creștere izostatică accelerată.

În prezent există un gradient orizontal ridicat al mișcărilor verticale pozitive și negative ale munților și ale structurilor sedimentare occidentale.

Câmpul de stres netezit de ordinul întâi pare a fi guvernat de forțele de graniță și intraplate și se propagă la NE din Adria în Bazinul Panonic. În munți, stresul orizontal se modifică spre E și apoi spre SE-NW.

5.6. ANALIZA DATELOR

A fost aplicată inversarea formatului a 117 de mecanisme focale pentru estimarea celor patru parametri ai tensorului de tensiune redus: axele principale orientate ortogonale, σ_1 , σ_2 și σ_3 ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$) și raportul de tensiune $R = (\sigma_2 - \sigma_3) / \sigma_1 - \sigma_3$.

Am folosit programul Tensor dezvoltat (Delvaux & Sperner, 2003), care aplică tehnica de inversiune Right Rotation and Rotational Optimization, care reduce la minimum eroarea unghiulară dintre direcțiile teoretice și cele observate pe planul de falieri.

Pentru o mai bună caracterizare a câmpului de tensiune am calculat (1) componentele de tensiune orizontală: i) stresul maxim orizontal SHmax pentru regimul compresional și ii) stresul minim orizontal Shmin pentru un regim extensional și (2) indexul regimului tectonic, R' (parametrul lui Anderson).

Am grupat mecanismul focal pe motive seismice și tectonice: 5 seturi de date în cadrul orogenului și 1 set de date în Maramures pentru a analiza variațiile locale ca o funcție a particularităților structurale.

6. **REZULTATE, STADIUL REALIZĂRII OBIECTIVULUI FAZEI, CONCLUZII ȘI PROPUNERI PENTRU CONTINUAREA PROIECTULUI** (se vor preciza stadiul de implementare a proiectului, gradul de îndeplinire a obiectivului cu referire la tinte stabilite și indicatorii asociați pentru monitorizare și evaluare).

6.1. REZULTATE

6.1.1. REZULTATE

1. S-a realizat decotanminarea exploziilor de cariera prin intermediul algoritmului Reasenberg
2. S-a întocmit harta distribuției parametrului coeficientului b din relația Gutenberg-Richter
3. S-a calculat și realizat harta distribuției magnitudinii de completitudine
4. S-a întocmit harta distribuției abaterii standard.
5. S-au realizat histograme privind orientarea și înclinarea planelor de falie pentru fiecare zonă
6. S-au realizat histograme privind azimutul și înclinarea axelor de stress P și T pentru fiecare zonă
7. S-au realizat histograme privind azimutul Sh_{max} și Sh_{min} pentru cele 6 surse seismice composite
8. S-a realizat beach-ball-ul orientării câmpurilor de stress pentru fiecare zone seismogenetică (6 zone)
9. S-a realizat harta orientării câmpurilor de stress
10. S-au realizat parametrizarile fiecărei surse seismice composite.
- 11.

6.1.2. DISCUTII

Distribuția 2D a parametrilor câmpului de stres a fost afișată pe harta seismotectonică. Rezultatele inversării descriu un model particular al câmpului de stres activ care parțial intră în contradicție cu studiile anterioare. Astfel, SH_{max} este paralel cu SH_{max} orientat NE-SW orientat regional doar în regiunile sudice și sud-estice ale regiunii, la contactul dintre Depresiunea Panonică și Carpați (Carpații de Sud și Apuseni) unde se dezvoltă structuri neotectonice majore având aceeași orientare de ex., Lugoj-Zarand Fault, segmentul occidental al sistemului de falii din Transilvania de Sud. SH_{max} își modifică orientarea spre NW-SE până la aproximativ N-S în zonele de nord și de est ale regiunii de studiu, paralel cu sistemele majore de falii (de exemplu, Borod Graben, Puini Thrust). De-a lungul sistemului de falii sud-transilvănene SH_{max} are direcția E-W, paralel cu stresul regional, accentuând caracterul activ al acestei structuri majore. Regimul de stres este pur și simplu tip strike slip în vest și se schimbă într-o zonă foarte extinsă în nord-vestul Munților Apuseni. Interesant este faptul că regimul de stres și regimul tectonic rămân aproape constante pe întreaga regiune (extinse), cu excepția zonei de sud unde există un regim extensiv de alunecare. SH_{max} este oblic până la perpendicular pe direcția SH_{max} regional la contactul dintre structurile nordice ale Depresiunilor Panonice și Transilvane cu unitățile tectonice Apusene. Corelarea tensorului de stres și a vectorilor de viteză GPS arată i) paralelismul (la contactul cu bazinele sudice din D. Panonian și D. Transilvaniei), ii) ortogonalitatea (în zona Sudului Transilvaniei) și iii) variația grade de oblicitate (în partea de nord a regiunii). Această corelație reflectă posibilele condiții diferite de stres-stres în adâncime care trebuie investigate în detaliu. Schimbările din direcțiile SH_{max} par a fi bine corelate cu caracteristici geologice și tectonice, cum ar fi intruziunile magmatice (banatite) unele sisteme de falii (de exemplu, sistemul de falii din sudul Transilvaniei, Puini Thrust, Lugoj-Zarand Fault, Borod Graben, Bazinul Bekes). Epicentrele principalelor evenimente ($M_w > 4,0$) par a fi distribuite la intersecția dintre faliile majore și structurile neotectonice (de exemplu, depresiuni intra-montane, grabenuri) situate în regiunea unei flexiuni litosferice cunoscute (contactul dintre unitățile orogene și depresiunile din jur) asociate cu o schimbare drastică în direcțiile vectorilor GPS (contactul dintre Munții Apuseni și Depresiunea Panonică).

Maramures. Zona studiată este caracterizată de un regim dominant de stres compresiv. În majoritatea cazurilor, mecanismele focale aparțin unei componente inverse a falieri (falieri inversă pură și falieri inversă cu componentă de alunecare). Axa compresională (P) este orientată pe direcția NW-SE și direcția SW spre NE și cvasi-orizontală, ceea ce înseamnă o acțiune superficială (adâncime superficială) a forțelor tectonice, una care aparține acțiunii microplacii adriatice asupra blocurilor din fundamentul panonic și înaintarea acestor blocuri asupra Munților Apuseni, iar pe de altă parte rezistența Carpaților Meridionali și a bazinului Transilvanean la aceste forțe. Axa de tensiune (Taxi) are o orientare similară pentru direcția NW-SE și mai accentuată decât axa P, iar cealaltă direcție este NE la SW. În ceea ce privește orientarea azimutului planului de falieri este orientat majoritar NNW-SSE, dar și spre E. Unghiul de înclinare este între 46° și 87° . Practic, azimutul planului de falieri respectă cât orientarea faliiilor la suprafață.

Acestea sunt primele rezultate privind mecanismul focal al cutremurelor din partea nord-vestică a României și reglează rolul său compresiv, specific structurilor de împingere.

SHmax local calculat în cele 6 zone distincte (surse compozite) este parțial în contradicție cu modelul regional netezit: 1) ele sunt aproape paralele pe frontiera sudică, vestică și nordică a orogenului și, de asemenea, în bazinele panonice după orientarea principală a sistemelor de falii Transilvanean; 2) SHmax a devenit ortogonal față de tendința regională de stres la frontiera de est a orogenului, dar paralelă cu sistemele majore de falii (Puini & Meses Thrusts). Regimul de stres este extrem de extins pe întreaga regiune, cu Shmin, în general, perpendicular pe sistemele de falii care leagă neostucturile substratului sau la contactul tectonic cu unghiuri scăzute, între suprapunerile de fundament; acestea ar putea fi condiții favorabile pentru reactivarea acestora prin falieri normale.

Numai de-a lungul sistemului Faliei Sud Transilvane și în zona bazinelor Panonice există un regim de stres compresiv, transtensiv în primul caz și pur compresiv în cel de-al doilea. Aceste sisteme sunt, prin urmare, vulnerabile la falii de tip strike slip.

Corelația SHmax – GPS vectorii de viteză orizontală arată: i) paralelismul în bazinele sudice ale Depresiunii Panonice și la granița de est a orogenului de-a lungul sistemelor de falii orientate NNE-SSW, ii) ortogonalitatea pe sistemelor de falii sudice și iii) variația gradelor de oblicitate, în partea de nord a regiunii. Aceste relații ar putea reflecta posibilele stări diferite ale condițiilor de stres-strain în adâncime (tipuri de forfecare, detașamente).

Epicentrele evenimentelor $M_w > 4,0$ se corelează cu intersecțiile faliiilor și în cadrul neostucturilor (de exemplu, depresiuni intra-montane, grabene) situate la contactul dintre unitățile orogene și depresiunile din jur și care ar putea fi asociate cu o schimbare drastică în direcțiile vectorilor GPS (contactul dintre Apuseni și Depresiunea Panonică).

6.2. Stadiul realizării obiectivului fazei

Prin rezultatele prezentate referitoare la parametrizarea zonelor sesimogenice și încadrarea lor în categoria surselor compozite, studiul și caracterizarea campurilor de stress, evaluarea stressului zonei atât în totalitate cât și secvențial pe surse sesimogenice și parametrizarea stohastică a evenimentelor sesimice generate de faliiile active, considerăm ca **obiectivele fazei au fost indeplinite în totalitate** și ca **angajamentele asumate au fost atinse**, iar proiectul a atins gradul de implementare scontat pentru această fază.

6.3. PROPUNERI PENTRU CONTINUAREA PROIECTULUI:

În această etapă, **obiectivul a fost indeplinit integral** iar **rezultatele obținute sunt în concordanță cu tintele propuse** venind în sprijinul implementării proiectului.

În viitor, parametrizarea faliiilor și analiza activității seismice precum și orientarea campurilor de stress în zona de Nord –Est a României este pasul firesc care trebuie făcut pentru atingerea obiectivului general al proiectului.

6.4. CONCLUZII

O bază de date de înaltă calitate și rezoluție, cu 117 de soluții mecanice focale, a fost obținută utilizând date primare de înaltă calitate și rezoluție (forme digitale de undă) și o procedură avansată care asigură stabilitatea și precizia soluțiilor. Lucrarea prezintă prima investigație a câmpului de stres activ în România utilizând parametrii obiectivi și reali determinați de tensori de stres, obținuți prin inversarea formală a multor soluții de mecanisme focale distribuite în seturi de date bine definite (seismicitate și tectonică). Am prezentat prima hartă seismotectonică în regiune care corelează particularitățile seismice și tectonice cu câmpul de stres și deformările recente ale crustei, aducând informații noi și valoroase despre procesele seismogene din crustă. O heterogenitate ridicată a câmpului de stres a fost documentată în regiune care oferă oportunitatea și necesitatea extinderii analizei la noi seturi de date distribuite în zone mai bine definite. Relația dintre tensorul de stres, stresul și regimurile tectonice cu tectonică și seismicitate pune accentul pe zonele seismogene bine poziționate pe intersecțiile de defecte, aproape de unele anomalii crustale și litosferice și respectiv flexuri. Analiza stresului-tulpină a evidențiat o posibilă variație 4D a proceselor seismotectonice cu diferite condiții de defectare, în funcție de regimurile tectonice și adâncimi.

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

Articole publicate -3

1. The 1991 seismic crisis in the west of Romania and its impact on seismic risk and hazard assessment. Eugen Oros, Anica Otilia Placinta, Mihaela Popa, Mihail Diaconescu. *Environmental Engineering and Management Journal* **19** (2020), 4, 609-623
2. Spatial and temporal variation of seismic *b*-value beneath Danubian and Hateg-Strei seismogenic areas. C. Ghita, M. Diaconescu, I. A. Moldovan, E. Oros, E.G. Constantinescu. *Romanian Reports in Physics* **72**, 704 (2020)
3. The probability of tsunamis occurrence generated by the Istanbul seismic area. Raluca Partheniu, Andreea Craiu, Mihail Diaconescu, Dumitru Ioane, Iren-Adelina Moldovan, Rev. Roum.GÉOPHYSIQUE, 61–62, p. 31–43, 2017–2018, București

Articole trimise la publicat

1. Main active faults from Romania. Part III: Faults systems from Dacia tectonic unit, M. Diaconescu, C. Ghita, I.A. Moldovan, E. Oros, E. G. Constantinescu, M. Marius, *Romanian Reports in Physics*
2. The analysis of the seismic sequence started on November 22, 2014 based on ETAS model, C. Ghita, M. Diaconescu, R. Raicu, I. A. Moldovan, G. Rosu, *Romanian Reports in Physics*.
3. Seismicity and tsunamogenetic potential of the Black Sea and surrounding areas. M. Diaconescu, A. Craiu, D. Toma-Dănila, E.G. Constantinescu, *Extended Proceedings of Geoscience 2020*

Referinte:

- Csontos, L., Voro S, A., 2004. Mesozoic plate reconstructions of the Carpathian region. *Paleogeogr. Paleoclim. Paleoecol.* 210, 1–56, <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2004.02.033>
- Gardner J K, Knopoff L (1974) “Is the sequence of earthquakes in southern California, with aftershocks removed, Poissonian?” *Bull. Seism. Soc. Amer* 64:5, 1363-1367.
- Gulia, L., 2010. Detection of quarry and mine blast contamination in European regional catalogues. *Natural hazards*, 53(2), pp.229-249.
- Krezsek C., Bally A. W., “The Transylvanian Basin (Romania) and its Relation to the Carpathian Fold and Thrust Belt: Insights in Gravitational Salt Tectonics”, *Marine and Petroleum Geology*, Vol. 23, Issue 4, May 2006, Pg. 405-442, Elsevier, <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2006.03.003>
- Mogi, K., 1962. Magnitude-frequency relationship for elastic shocks accompanying fractures of various materials and some related problems in earthquakes. *Bull. Earthquake Res. Inst. Univ. Tokyo*, **40**: 831-883.
- Mutihac V., Stratulat N.I., Fechet R.M., *Geologia Romaniei*, Editura Didactica si pedagogica, R.A., pp 249, Bucuresti,1990
- Ota Kulhanek 2005 Seminar on b- value Dept. of Geophysics, Carles University, Prague
- Ottmoller, V., Havskov J., (2014). *SEISAN earthquake analysis software for windows, solaris, linux and macosx*, 2014.
- Reiser M.K., Schuster R., Spikings R., Tropper P., Fugenschuh B., “From nappe stacking to exhumation: Cretaceous tectonics in the Apuseni Mountains (Romania)”, *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)* (2017) 106:659–685, DOI 10.1007/s00531-016-1335-y.
- Sandulescu M., *Geotectonica Romaniei*, Editura Tehnica, Bucuresti, 1984.
- Sandulescu M., Visarion M., Stanica D., Stanica M., Anastasiu L., “Deep Structure of the Inner Carpathians in the Maramures-Tisa Zone (East Carpathians)” *Rom. J. Geophysics*, 1993, 16, p. 67-76.
- Schmid S.M., Bernoulli D., Fugenschuh B., Matenco L., Schefer S., Schuster R., Tischler M., Ustaszewski K., “The Alpine-Carpathian-Dinaridic orogenic system: correlation and evolution of tectonic units”, *Swiss J. Geosci.* 101 (2008) 139–183, DOI 10.1007/s00015-008-1247-3, Basel, Switzerland, 2008.
- Shi, Bolt, 1982 The standard error of the magnitude-frequency b value *Bulletin of the Seismological Society of America* (1982) 72 (5): 1677-1687.
- Tischler M., Groger H. R., Fugenschun B., Schmid S. M., “Miocene tectonics of the Maramures area (Northern Romania) implications for the Mid-Hungarian fault zone” , *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)* (2007) 96:473–496 DOI 10.1007/s00531-006-0110-x.-
- Wells, D. L., Coppersmith, K. J. (1994), *New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement.* *Bull. Seism. Soc. Am.*, 84, 974-1002.
- Wiemer, S. and Baer, M., 2000. Mapping and removing quarry blast events from seismicity catalogs. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 90(2), pp.525-530
- Wiemer S (2001) “A software package to analyze seismicity: ZMAP”, *Seism. Res. Lett.*, 72, 373-382. *Soc. Am.* 90, 859869, 2000.
- Woessner J, Wiemer S., (2005) Assessing the quality of earthquake catalogues: Estimating the magnitude of completeness and its uncertainty *Bulletin of the Seismological Society of America* 95 (2), 684-698, 2005.

Responsabil Faza,

Dr. Ing. Mihail Diaconescu

Responsabil proiect,

Dr. Iren Adelina Moldovan