## **RAPORTARE ȘTIINȚIFICĂ**

## PROIECT

Virtual Platform for the collEctioN and interactive analysis Of MultidiscipliNary geophysicAL data – PhENOMeNAL

Platforma virtuala de colectare si analiza interactiva a datelor geofizice multidisciplinare

Cod Proiect PN-III-P2-2.1-PED-2019-1693 Contract PED 480/23.10.2020

#### RST RAPORT ȘTIINȚIFIC ȘI TEHNIC ÎN EXTENSO

pentru

### Etapa a III-a. Faza de testare si implementare (Testing and Implementation Phase) 1.01.2022-22.10.2022

Nume Etapa si durata	No	Nume activitate	D	Nume rezultat	Tip rezultat
Etapa 3. Faza de testare si implementare (Testing and Implementation Phase) 1.01.2022-22.10.2022	A3.1/A2	Aplicarea tehnicilor AI pe seismicitate (inclusiv pe tiparele vp si vs) si camp	D3.1	Tehnici de corelatie, detectia tiparelor de seismicitate cu aplicatie pe zona subcrustala, detectia anomaliilor de propagare si camp geomagnetic si corelarea lor cu evenimentele vrancene moderate	Raport, scripturi
	A3.2/A3	Agregarea datelor folosind informații geofizice externe și interne	D3.2	Metadate pentru platforma	Baze de date
	A3.3/A3	Testarea funcționalității platformei utilizând un grup de feedback pentru utilizatori	D3.3	Platforma imbunatatita cu ajutorul utilizatorilor	Model testat
	A3.4/A2	Implementarea platformei	D3.4	Platforma geofizica publica, functionala pentru vizualizarea datelor si detectia anomaliilor	Model public fiunctional implementat in INCDFP
	A3.5/D1	Diseminarea rezultatelor	D3.5	2 articole ISI, 4 conferinte, pagina web adusa la zi, Portal vizibil - Flyere	Publicatii

#### PLAN DE REALIZARE

unde categoriile de activitati sunt: A2 - Cercetare industrial, A3 - Dezvoltare experimentală D1 - Activități suport - Diseminarea pe scară largă prin comunicarea și publicarea națională sau internațională a rezultatelor, D2 - Activități suport - Diseminare și participare la manifestări tehnico-științifice, D3 - Activități suport - Vizite de lucru

#### CUPRINS

#### Rezumatul Etapei a IIIa Descrierea științifică și tehnică

Activitatea A3.1 Aplicarea tehnicilor AI pe seismicitate (inclusiv pe tiparele vp si vs) si camp geomagnetic A3.1.1 Aplicarea tehnicilor AI pe seismicitate

A3.1.2 Tehnici de corelatie si detectia tiparelor de comportament ale vitezelor de propagare ale undelor seismice: determinarea modificărilor vitezelor seismice in crustă in perioada de pregatire a unui cutremur A3.1.3 Aplicarea tehnicilor AI pe campul geomagnetic

Atentie! Raportul integral se afla pe platforma evoc la Anexele 5, 6 si 7 – A3.1.1, A3.1.2 si A3.1.3.

Activitatea A3.2 Agregarea datelor folosind informații geofizice externe și interne

Activitatea A3.3 Testarea funcționalității platformei utilizând un grup de feedback pentru utilizatori

Activitatea A3.4 Implementarea platformei

Activitatea A3.5 Diseminarea rezultatelor

Atentie! Rapoartele integrale ale celor 4 activitati se afla pe platforma evoc la Anexele 1-4, A3.2, A3.2, A3.4.

Rezultatele etapei

Modul de diseminare a rezultatelor

Gradul de realizare a obiectivelor

#### Rezumat Etapa a III a/2022

Proiectul **PhENOMeNAL** a fost conceput ca răspuns la întrebările și cerințele utilizatorilor, iar nevoile lor ne-au determinat să punem bazele proiectului. Rezultatul final al proiectului care este si rezultatul principal al Etapei a IIIA, consta intr-o platformă geofizică integrată funcțională, care ofera acces publicului larg la informații referitoare la:

-date seismice si corelația temporală între seismicitatea globală, regională și națională, hărți interactive si posibilitatea de descarcare a cataloagelor seismice avand ca sursa de date "dataportal" si "romplus";

-date și hărți macroseismice ale cutremurelor românești moderate produse dupa anul 2012;

-câmpul geomagnetic înregistrat în ultimii zece ani la stațiile INCDFP din interiorul zonei seismogene Vrancea, reprezentate ca diagrame temporale și corelate cu seismicitatea și furtunile magnetice.

In plus, Platforma colecteaza prin intermediul a doua formulare (unul google si altul integrat in platforma), informații ale utilizatorilor cu privire la comportamentul anormal al sistemelor vii, a atmosferei sau hidrosferei observabile cu ochiul liber (temperatura aerului sau a apei din lacuri, rauri, fantani, a fenomenelor electrice inexplicabile, sau emisiile de gaz) ca potentiali precursori seismici. Când numărul răspunsurilor depășeste media normală zilnică o alertă automată este emisă in cadrul platformei si trimisa responsabilului, pentru prelucrarea manuală.

Platforma grupeaza o serie de date proprii institutului (dataportal, romplus, date geomagnetice - GEOBS) și de date colectate de la agenții externe (indici magnetici). Arhitectura platformei este una modulară, bazată pe micro servicii responsabile pentru sincronizarea datelor și generarea produselor solicitate de utilizatori, din care aceștia isi pot putea crea selecții bazate pe parametrii datelor disponibile.

În spatele fiecărui serviciu au existat cercetări pentru crearea instrumentelor necesare pentru recunoașterea activității seismice și magnetice normale și pentru identificarea modelelor predictive de recunoaștere a anomaliilor realizate pe intreg parcursul proiectului.

Platforma virtuala ofera un serviciu de constientizare a cetățenilor, autorităților locale, factorilor de decizie și departamentelor pentru situații de urgență privind situația reală a activității seismice sau geomagnetice.

În ultima etapă a proiectului, etapa a III-a, etapa care a durat zece luni si 22 de zile, in afara cercetarilor aplicative (A1) de detectie a tiparelor de seismicitate, vp/vs si camp geomagnetic folosind inteligenta artificiala si invatarea automata pe seturi de date prestabilite avand caracteristici specifice si tehnicile de corelatie in scopul identificarii unor potentiale anomalii precursoare cutremurelor vrancene moderate (vezi Activitatea A3.1), s-au realizat si activitati de dezvoltare experimentala (A3), de realizare, testare si implementare platforma informatica PHENOMENAL (Activitatile A3.2-A3.4) si diseminarea rezultatelor A3.5. Fiecare activitate a avut rezultate specifice, care au fost realizate integral, fiind in concordanta cu planul de realizare si conform cu indicatorii planificati:

Activitatea A3.1 Aplicarea tehnicilor AI pe seismicitate (inclusiv pe tiparele vp si vs) si camp geomagnetic

**Rezultatele** acestei activități sunt: Tehnici de corelatie, detectia tiparelor de seismicitate cu aplicatie pe zona subcrustala, detectia anomaliilor de propagare si camp geomagnetic si corelarea lor cu evenimentele vrancene moderate; Tip rezultat Raport, scripturi

Aceasta activitate a fost impartita in 3 activitati distincte, in functie de parametrul studiat:

A3.1.1 Aplicarea tehnicilor AI pe seismicitate

A3.1.2 Tehnici de corelatie si detectia tiparelor de comportament ale vitezelor de propagare ale undelor seismice: determinarea modificărilor vitezelor seismice in crustă in perioada de pregatire a unui cutremur A3.1.3 Aplicarea tehnicilor AI pe campul geomagnetic

Activitatea A3.2 Agregarea datelor folosind informații geofizice externe și interne Rezultatele acestei activități sunt: Metadate pentru platforma; Tip rezultat Baze de date Activitatea A3.3 Testarea funcționalității platformei utilizând un grup de feedback pentru utilizatori Rezultatele acestei activități sunt: Platforma imbunatatita cu ajutorul utilizatorilor; Tip Model testat Activitatea A3.4 Implementarea platformei

**Rezultatele** acestei activități sunt: Platforma geofizica publica, functionala pentru vizualizarea datelor si detectia anomaliilor; tip rezultat Model public fiunctional implementat in INCDFP **Activitatea A3.5** Diseminarea rezultatelor

Rezultatele acestei activități sunt: articole ISI, conferinte, pagina web adusa la zi, Portal vizibil, Flyere

#### Descrierea științifică și tehnică

# Activitatea A3.1 Aplicarea tehnicilor AI pe seismicitate (inclusiv pe tiparele vp si vs) si camp geomagnetic

#### A3.1.1 Aplicarea tehnicilor AI pe seismicitate (varianta completa in Anexa 5 din platforma EVOC)

1. Aplicarea tehnicilor de inteligență artificială (în particular a algoritmilor de învățare automată) pentru analiza, interpretarea, gruparea (clusterizarea) și clasificarea datelor seismice, fundamentează suportul stiintific pentru generarea de modele predictive pentru zona seismogenă de interes, în acest caz Vrancea. La baza proiectării si dezvoltării modelelor respective se află informatiile calitative si cantitative obtinute prin analiza teoretică a patternurilor de seismicitate deja identificate în cazul zonei de interes. Respectivele patternuri de seismicitate au fost observate pentru cutremurele vrâncene moderate si puternice produse în ultimii 100 de ani (fundamentate pe date obtinute din înregistrări instrumentale), dar ele pot fi extrapolate si pentru perioade anterioare anului 1900. Provocarea este determinată de completitudinea datelor disponibile în cataloagele de seisme din România și pentru teleseismele produse în zonele de interes pentru stabilirea corelațiilor cu seismicitatea globală și regională. În general, pentru perioade anterioare anului 1900 completitudinea este asigurată în cazul evenimentelor puternice înregistrate în ultimii 500 de ani, în funcție de acoperirea informatională documentară (inclusiv cronici, însemnări bisericesti, alte surse documentare). În cazul cutremurelor din Vrancea, se asigură completitudine pentru cutremure moderate si puternice produse după anul 1600, iar pentru perioada 1400-1600 completitudinea este asigurată pentru cutremure puternice. Completitudinea datelor seismice pentru pragurile de magnitudine fixate (Mw 5,0 sau ML 5,5 pentru cutremure moderate, Mw 6,75 sau M<sub>GR</sub> 6,5 pentru cutremure puternice în cazul evenimentelor de adâncime intermediară din Vrancea) este o conditie importantă pentru viabilitatea patternurilor de seismicitate observate si pentru care se realizează aplicarea tehnicilor analitice de AI și Data Science, deci și pentru viabilitatea rezultatelor obținute (acuratețea modelelor predictive, cel puțin pe termen lung și pe termen mediu, corelația cu seismicitatea globală și regională).

**2.** Un **pattern de seismicitate** se definește ca reprezentând *una sau mai multe proprietăți sau caracteristici ale activității seismice care se manifesta în mod regulat și sistematic în anumite perioade de timp în care se produc evenimente cu magnitudini egale sau superioare pragului fixat pentru analiză, interpretare și corelare. In Tabelele 1 si 2 sunt prezentate modele de seismicitate pentru zona Vrancea.* 

Tabel 1: Patternuri de seismicitate	locală pentru zona seis	mogenă Vrancea (seismicitatea din România)
Tip de pattern de seismicitate locală	Interval semnificație	Observații
(PL)	predictivă (interval de	
	relevanță)	
PL1: Clusterizarea spațială a	lung (fereastră de timp de	modul de distribuire a epicentrelor cutremurelor de
epicentrelor/hipocentrelor pe direcția	1-5 ani), mediu (fereastră	adâncime intermediară în lungul direcției tangente la
NE-SV (grupări de epicentre/hipocentre	de timp de o lună-un an),	arcul carpatic (de la Nord-Est spre Sud-Vest)
aliniate în direcția INE-SV)	scurt (rereastra de timp	
PL 2: Chustarizarea temporală a	lung mediu	cerventieres în timp a evenimentalor de adâncime
evenimentelor seismice de adâncime	iung, meaiu	intermediară, corelată cu dinamica proceselor fizice
intermediară		Relevanta pe termen lung este validă pentru seisme
		puternice (succesiunile de cutremure puternice din
		1977, 1986, 1990; 1940, 1945; 1908, 1912, s.a.)
PL3: Clusterizarea pe etaje de adâncime	lung, mediu, scurt, foarte	identificarea unor adâncimi tipice pentru focarele
a hipocentrelor (70-110 km, 120-140 km,	scurt (fereastră de timp	seismelor subcrustale (80-100 km, 125-135 km, 145-
140-160 km)	de până la o săptămână)	150 km, plus/minus 5 km). Validitatea pe termen scurt
		rezultă și pentru praguri mai mici de magnitudine.
PL4: Scheme de migrație/progresie	lung, mediu, scurt	Relevanța pe termen lung/mediu este validă pentru
nipocentrala		praguri de magnitudine mai mari ale evenimentelor
		Relevanta ne termen scurt este validă și pentru praguri
		de magnitudine mai mici (MI, minim 45 sau minim
		5,0)
PL5: Scheme de variație epicentrală	mediu, scurt	alternanțe/succesiuni de evenimente generate în
intra-/inter-cluster		diferite clustere spațiale sau în interiorul unor sub-
		clustere. Criteriu valabil în special pe termen scurt și
		foarte scurt.
PL6: Variații în seismicitatea crustală (de	lung, mediu, scurt, foarte	Secvențe seismice sau/și evenimente singulare cu
mică adăncime) din Vrancea și zone	scurt	magnitudini ML mai mari de 3,5-4,0 pe o rază de cca.
adiacente		200 km m jurui zonei seismogene viancea, m Pousui Bârladului Câmpia Siratului Infarior Mărărasti
		Panciu Focsani Râmnicu Sarat Carnatii de curbură
		(rojurile seismice de la Vrâncioaia). Dobrogea de
		Nord, Câmpia Română, Subcarpații Munteniei,
		Făgăraș-Câmpulung. Seisme cu magnitudini mai mari
		(ML peste 4,5 sau Mw peste 3,5) s-au produs și la
		distanțe mai mari de 200 km de aria epicentrală
		vrânceană. Intervalul de timp acoperitor este de până la
		6-12 luni in raport cu un soc principal de adancime
		parte 6.0
PL7: Alternanta cutremurelor puternice	lung	
generate la etaje diferite de adâncime	<u> </u>	
PL8: Cutremure multiple-perechi,	mediu, scurt	Corelare cu celelalte patternuri (în special cu
dubleti/tripleti		clusterizarea temporală)
PL9: Scheme de calm seismic cu durate	lung, mediu	
depășind semnificativ intervalele de		
variație normală a seismicității de fond,		
DI 10: Distributia enatial_temporală a	media ecurt	
replicilor socurilor principale precum si	meand, scutt	
magnitudinile maxime ale replicilor		
(diferență tipică de 2 grade față de șocul		
principal)		
PL11: Caracterul cvasi-sezonier în cazul	lung, mediu	
cutremurelor moderate si puternice		

Tabel 2: <u>Patternuri</u> de seismici influențe pe termen lung și mediu asiatic-indiană, potrivit în Tip de pattern de seismicitate regională/globală PR/G	tate regională și globală pentru asupra zonei <u>seismogene</u> Vra acadrării tectonicii României î Interval semnificație predictivă (interval de relevanță)	a zone <u>seismotectonice</u> cu ncea (centura <u>mediteranean</u> - n tectonica globală) Observații
PR/G1: Cutremur violent în Oceanul Indian inclusiv zona Sumatrei și pe structuri tectonice din Sudul și Vestul Oceanului Indian (magnitudine <u>Mw</u> mai mare de 7,5)	lung, eventual mediu	Efecte ale mişcării plăcii majore Indo-Australiene pe diferite structuri tectonice, de la Sud spre Nord.
PR/G2: Succesiune de cutremure puternice (magnitudini <u>Mw</u> mai mari de 6,5) in Asia centrală – in lungul lanţului de munți tineri ( <u>Hindu Kush</u> -Himalaya), până în China, Myanmar, Mongolia	lung, eventual mediu	Perioade de timp cu intensificarea semnificativă a activității seismice în Asia, ca rezultat la dinamicii plăcii tectonice majore Indo- Australiene
PR/G3: Cutremure moderate și puternice în regiunea Caucaz-Marea Caspică	lung, eventual mediu	Caz relevant: 1988 (Armenia)/1990 (Vrancea)
PR/G4: Cutremure puternice ( <u>My</u> mai mare de 6.0) in Turcia, Iran, Orientul Mijlociu. Caz particular: cutrenure puternice cu mecnisme de focar de tip gathize-slip in Estul și centrul Turciei (faliile majore NAF, EAF) și Nordul Iramului	lung, mediu	Cutremurele puternice cu mecanisme grifice-tip din Estul și centrul Turciei și Nordul Iranului au valoare predicivit 3 potențială ridicată pentru Vrancea. Exemple: cazaralie J395 (Estul Turciei) 1946 (Vrancea). 1976 (Estul Turciei) 1977 (Vrancea). 1983- (Vrancea). 2003 (Estul Turciei) 1984 (Vrancea)
PR/G5: Cutremure puternice în Estul si centrul Mării Mediterane, în regiunea Mării Adriatice și în Italia, Peninsula Balcanică	mediu, scurt	Efecte ale mişcării unor <u>microplăci</u> /sub-plăci tectonice la nivel regional. Cazuri relevante pentru cutremure vrâncene moderate (2009, 2016, 2018)

În general, aceste patternuri de seismicitate globală și regională au relevanță mai ridicată pe termen lung și, eventual, mediu, dar ele permit definirea unor ferestre de timp caracterizate prin potențial seismic mai ridicat (ținând cont de încadrarea geologică a teritoriului României). Patternurile de seismicitate regională și globală sunt analizate împreună pentru a exploata informațional interdependențele dintre efectele mișcărilor plăcilor tectonice la nivel global și regional. **3.** Aplicarea tehnicilor AI și de Data Science pentru analiza, interpretarea, corelarea datelor seismice și, în final, generarea de modele predictive viabile pentru zona de interes (Vrancea în acest caz), implică mai multe operații, modelarea efectivă (prin tehnici de Machine Learning) fiind doar una dintre acestea (Figura 1).

Figura 1: Etape în analiza/interpretarea și modelarea datelor seismice pe bază de patternuri de seismicitate locală (România), regională și globală

In Anexa 5 din EVOC se gasesc integral urmatoarele capitole care descriu modalitatea de aplicare a tehnicilor AI si ML pe date seismice

3.1 Selecția seturilor de date și specificarea componentelor acestora (parametri ai evenimentelor seismice)

**3.2 Determinarea variabilelor discriminante pentru modelare pe baza patternurilor de seismicitate locală corelate cu seismicitatea globală** 

3.3 Data Cleaning pentru eliminarea înregistărilor redundante și tratarea cazurilor de date lipsă - preprocesarea și pregătirea seturilor de date

3.4 Agregarea datelor din cataloage seismice diferite

3.5 Tehnici de inginerie a caracteristicilor și codarea variabilelor categorice

Următoarea etapă în aplicarea tehnicilor de inteligență artificială și Data Science pentru analiza, interpretarea și clasificarea datelor de seismicitate și pentru generarea de modele predictive, constă în selecția și aplicarea unor tehnici de **inginerie a caracteristicilor** (**Feature Engineering**), asociate cu **tehnici de codare a eventualelor variabile categorice.** 



În Tabelul 4 sunt listate variabilele definite pe baza patternurilor de seismicitate locală regională/ şi globală, împreună cu tipurile (numeric sau categoric, după Variabilele caz). boolene definite pentru anumite patternuri de seismicitate sunt variabile categorice de tip binar, cu valori posibile de tip 1 (caz pozitiv sau "Da"), respectiv 0 (caz negativ sau "Nu").

#### 3.6 Modelare: procesul de învățare automată (proiectarea și evaluarea modelului)

Aplicarea unui **model de învățare automată** pentru *analiza, interpretarea și clasificarea datelor de* seismicitate pentru Vrancea (extrase și grupate împreună cu datele de seismicitate regională/globală) are în vedere **un proces supervizat** (învățare din exemple cu etichetă de clasă cunoscută, cu fază de antrenare și fază de testare). În primă instanță, se urmărește **modelarea perioadelor de intensificare seismică** regională/globală în care se manifestă și intensificări ale seismicității de adâncime intermediară din Vrancea (folosind variabilele cu potential predictiv marcate cu albastru in Tabelul 4). Pentru antrenare, se utilizează datele de seismicitate pe perioade mai lungi, de ordinul a 5-10 ani, și care includ cutremure majore în Oceanul



Indian urmate de seisme majore în Asia și de seisme moderate și/sau puternice în Vrancea (datele sintetizate în tabelul 3). Pentru *testare*, se utilizează ferestre de timp cu lungime mai mică, de maxim 1-3 ani.

*Faza de testare* se aplică pe date noi, obținute în perioada de timp de interes pentru analiză/monitorizare, date care îndeplinesc condiția ca datele sa nu mai fi fost utilizate în faza de proiectare a modelului (antrenare și validare), deci date care nu au mai fost introduse la procesare pentru învățarea supervizată;

Modelarea se realizează pe intervale, folosind datele din trecut care acoperă perioada instrumentală a seismologiei (pentru a include date înregistrate pentru evenimente majore din zone slab sau deloc populate din Oceanul Indian). În acest stadiu, se utilizează doar datele de seismicitate.

#### 4. Rezultate

Modelul Kernel SVM definit in Capitolul 3 (*vezi anexa 5 EVOC*) a fost antrenat și testat pentru date extrase din setul agregat și acoperind perioadele în care au avut loc cutremure de Vrancea puternice, cu magnitudini Mw mai mari de **6,8** sau magnitudini  $M_{GR}$  mai mari de **6,5** (1940, 1977, 1986 și 1990), după cum urmează:

- pentru fereastra de timp  $\Delta T_{1940}$  care a inclus cutremurul major din 1940: perioada de antrenare  $\Delta T_{1940, antrenare} = 1928-1937$ , perioada de testare  $\Delta T_{1940, testare} = 1938-1940$ ;
- pentru fereastra de timp  $\Delta T_{1977}$  care a inclus cutremurul major din 1977: *perioada de antrenare*  $\Delta T_{1977, antrenare} = 1970-1976$ , *perioada de testare*  $\Delta T_{1977, testare} = 1977-1978$ ;
- pentru fereastra de timp  $\Delta T_{1986}$  care a inclus cutremurul major din 1986: perioada de antrenare  $\Delta T_{1986, antrenare} = 1981-1985$ , perioada de testare  $\Delta T_{1986, testare} = 1986-1988$ ;
- pentru fereastra de timp  $\Delta T_{1990}$  care a inclus cutremurul puternic din 1990: *perioada de antrenare*  $\Delta T_{1990, antrenare} = 1985 1989$ , *perioada de testare*  $\Delta T_{1990, testare} = 1990 1992$ .

Din variabilele cu potențial predictor bazate pe patternuri de seismicitate regională/globală (Tabelul 4) au fost alese doar PR/G1, PR/G2 si PR/G4. *Antrenarea* modelului s-a realizat pentru date acoperind perioade de 5-10 ani (pentru a include seismele cu magnitudini Mw peste 7,5 din Oceanul Indian (Zona A), seriile de cutremure puternice din centura mediteranean-asiatică precum (Zonele B, C, D si E) și cel puțin două cutremure de Vrancea cu magnitudini ML de cel puțin 5,5 sau magnitudini Mw mai mari sau egale cu 5,0).

# 4.1. Identificarea seriilor de cutremure GLOBALE cu potential caracter precursor seismelor din Vrancea

Cataloagele folosite pentru identificare au fost <u>usgs si romplus</u>, care au fost formatate (e.g., formatarea datei, indexarea catalogului care a oferita informatii despre cutremur si uniformizarea numelor coloanelor), si apoi au fost agregate intr-un singur fisier.

**Pentru cazul cutremurelor din Romania** care apar si in catalogul USGS si in Romplus, s-a ales varianta din Romplus. Pentru studiu s-au folosit cutremurele produse intr-o zona extensa, care contine zona Vrancea, Romania. In total pentru zona de interes s-au gasit 91 de cutremure, 86 de cutremure din Romania (luate din Romplus) si 5 din afara Romaniei (selectate din USGS): Romania: 86; Bulgaria: 2; Serbia: 2; Kosovo: 1. Magnitudinea acestor cutremure a fost convertita in Mw, intrucat cele mai multe (87 de venimente erau deja in Mw). Criteriul pentru selectarea acestor cutremure a fost Mwmin >=5.0. Acestea au fost indexate cu denumirea de **Vrancea**: [[43.145, 48.411], [19.761, 31.494]]

Zona seismogena Vrancea, [[45.4, 46], [25.8, 27.2]] au fost in perioada 1950-2022, 75 de cutremure care indeplinesc conditiile cerute, adica Mw>5.0. Din acestea, doar 6 au avut Mw>6.0.

Cutremurele din zonele considerate ca facand parte din seria pregatitoare cutremurelor din Vrancea: Zona A – Mw>7.5 in Oceanul Indian si Zonele B-E din Centura mediteranean-asiatica:

- 'A': [[-65.072, -23.763], [36.211, 195.703]] (sudul Oceanului Indian),
- 'B': [[-6, 6], [95, 106.5]] (Sumatra),
- 'C': [[22.381, 44.088], [91.72, 123.018]] (Myanmar China Tibet),
- 'D': [[5.037, 35.488], [63.252, 91.71999]] (Hindu Kush Himalaya),
- 'E': [[20.993, 43.144999], [26.514, 63.251999]] (Caucaz-Iran-Turcia),

S-au considerat toate cutremurele din catalogul USGS (selectate automat) cu Mw> 5.5, si pentru Zona B s-a restrictionat selectia doar la cutremure cu Mw>7.0.

#### Explicatii privind modul de selectare automata si identificare a seriilor (lanturilor) de cutremure

Seria incepe cu selectarea **evenimentului ZERO** si anume un cutremur CU Mw>=7 in zona A, Sudul Oceanului Indian. Acest cutremur este conditia pentru stabilirea momentului de inceput a seriei. Apoi se selecteaza cutremurele ce se produc in urmatorii doi ani in Zona B, Sumatra, cu Mw>=7.0. Apoi, in intervalul de doi ani de la evenimentul din zona B se selecteaza toate cutremurele din zonele C-E, care indeplinesc conditia Mw>=5.5. Acestea nu trebuie sa fie succesive de la C la E, ci se pot produce oricand in acel interval de timp. In doi ani, dupa ultimul cutremur din zonele C-E, se cauta cauta cutremurele cu Mw>5.0 din Vrancea extinsa. Lantul se intrerupe automat, daca in perioadele definite anterior dupa producerea cutremurelor din A si din B nu apare un cutremur in C. Se constata ca lantul nu se intrerupe niciodata, pana la zona Vrancea. Acest

lucru nu este surprinzator daca privin activitatea seismica medie cu Mw>=5.0 pe doi ani a zonelor studiate: A: 32.540541 evenimente/2 ani; B: 16.297297 evenimente/2 ani; C: 20.432432 evenimente/2 ani; D: 7.972973 evenimente/2 ani; E: 13.945946 evenimente/2 ani; Vrancea: 3.171429 evenimente/2 ani

Gasirea seriilor de evenimente neintrerupte de la A la E, care indeplinesc conditiile nu a fost o provocare, pentru fiecare din cele 31 de cutremure cu Mw>7.0 produse in A, existand o succesiune in zonele B si apoi C-E, care sa indeplineasca cerintele. Am impus urmatoarele conditii: intai am considerat evenimentul imediat urmator care sa indeplineasca cererile de mai sus si apoi am considerat ca fiind mai reprezentativ sa alegem cel mai mare eveniment ce s-a produs in zonele studiate, in perioadele de timp stabilite si avand magnitudinea impusa pe zona. In cazul aparitiei a doua cutremure cu aceeasi magnitudine maxima pe zona, s-a ales primul din ele.

#### Vizualizarea seriilor (lanturilor) de cutremure

Pentru vizualizare s-au generat harti de tipul celei din Figura 5



Figura 5. Harta zonelor studiate si a cutremurelor care indeplinesc conditiile de zona, magnitudine sit timp. Dreptunghiurile marcheaza zonele si punctele marcheaza cele mai mari cutremure produse in zonele studiate. **Analiza lanturilor** 

Numarul total de lanturi a fost impus de numarul cutremurelor din zona A, cu Mw>7.0, adica 34. Numarul lanturilor a fost 31, din care 28 au fost complete, adica s-au inchis cu un cutremur in Vrancea. Trei lanturi nu au fost complete, lipsind cutremurul vrancean. Este vorba despre lanturile care au inceput in zona A, in datele: 10/08/1993; 05/02/1995; 04/03/2021.

Pentru toate celelalte 28 de lanturi complete, s-a ales data de start din zona a si data de final din Vrancea, pentru a testa posibilitatea prognozei timpului viitorului cutremur vrancean si nu doar prognoza aparitiei unui lant complet. Dezideratul a fost estimarea timpului urmatorului cutremur vrancean cu Mw>5. Ideal ar fi fost si prognoza magnitudinii acestui cutremur, dar numarul mic de lanturi favorabile, face destul de grea implementarea unui algoritm de invatarea automata. Cu toate acestea, folosirea tehnicilor prezentate in prima parte a raportului nu trebuie eliminate total, intrucat pot oferi un prim pas in directia dorita, folosind intervalele de timp intre primul si ultimul cutremur.

Din Figura 6 din Raportul complet din Anexa 5 la EVOC se observa clar existenta a doua populatii distincte: una a carei perioada este sub 1000 de zile si a doua populatia seriilor cu perioada mai mare de 2000 de zile. Prima familie contine 21 de lanturi si a doua 10. Mediile sunt (plus/minus  $1.96\sigma$ ):  $553 \pm 215$  zile si  $2539 \pm 356$  zile. In Anexa 1 a raportului complet sunt prezentate hartile cu cele 28 de lanturi complete. Din hartile din Anexa 1 se observa ca toate cutremurele Vrancene cu Mw>5.9, se regasesc incadrate in "lanturile" precursoare. **Prognoza ultimului lant complet** 

Daca presupunem ca ultimul lant (Figura 7), incomplete aflat inca in derulare, apartine de prima familie, atunci un cutremur vrancean cu Mw>5.0 ar trebui sa se produca intre 2022-02-05 (care este deja in trecut) si 2023-04-11. Daca presupunem ca apartine de a doua familie, atunci ar trebui sa se produca intre 2027-07-14 si 2028-09-16, o prognoza foarte putin probabila pentru un cutremur intre Mw 5 si 5.5, dar posibila pentru Mw>5.5.

**Testarea** modelului se realizează cu date acoperind intervale de maxim 1-5 ani (deci cu durate apropiate de intervalul mediu de recurență pentru evenimentele moderate de adâncime intermediară de Vrancea- tipic 2-4 ani). Performanțele modelului antrenat și testat (evaluat) în toate cele 4 cazuri sunt comparabile, deși în cazul corespunzător cutremurului din 1990 punctul optim de operare (caracterizat prin valorile optimale ale indicatorilor de performanță considerați, True Positive Rate și, respectiv, False Positive Rate) este sub nivelul celor mai bune puncte de operare ale modelului din cazurile anterioare. Pentru modelare s-au utilizat variabile asociate patternurilor de seismicitate regională/globală și locală (cu excepția celor asociate cu seismicitatea

crustală din zone adiacente Vrancei, în condițiile indisponibilității datelor relevante pentru aceste tipuri de cutremure din perioada de antrenare/testare corespunzătoare seismului major din 1940).



Figura 7. Ultimul lant seismic, aflat in desfasurare

#### 5. Concluzii

Aplicarea modelelor analitice de învățare pe seturi de variabile discriminative relevante derivate din informațiile înregistrate în tabelele 1 și 2 a condus la următoarele concluzii privind **influențele seismice** globale și regionale asupra perioadelor de intensificare seismica semnificativă din Vrancea (cutremure moderate și/sau puternice):

• existența și marcarea temporală clară a unor perioade de intensificare a activității seismice în zone active din Asia centrală din lungul lanțului de munți tineri Himalaya-Hindu Kush (de menționat în acest caz în mod special cutremurele de adâncime intermediară din Hindu-Kush, cu sursele localizate în Afganistan, **Tadjikistan, Pakistan**). De interes sunt și cutremurele produse în regiuni adiacente, în India, Mongolia, Myanmar și China, în general zone epicentrale situate la convergența dintre placa Indiană și cea Euro-Asiatică, (cu magnitudini Mw mai mari de **6,5**) care apar în lungul aliniamentului seismotectonic menționat, într-o fereastră de timp de până la 2 ani. S-a urmărit identificarea pe baza științifice (ca rezultat al aplicării unor modelări folosind tehnici specifice de AI și Data Science) a acestor perioade de intensificare seismică în Asia centrală și corelarea acestora cu schimbări pe termen lung și mediu în activitatea seismică vrânceană;

• Stabilirea unor interdependențe temporale între perioadele de intensificare a activității seismice în Asia și perioadele în care frecvența seismelor vrâncene moderate crește, eventual conducând și la producerea unor evenimente de magnitudini mai mari. Aplicarea unor tehnici specifice AI și Data Science pe informațiile înregistrate în setul de date unificat SD a arătat ca trebuie luate în considerare ferestre de timp cu lungimi de maxim 1-3 ani.

Zonele seismogene active între care se manifestă *interdependențe și corelații spațiale* (în ceea ce privește succesiunea evenimentelor seismice majore cu diferite epicentre pe aliniamentul mediteranean-asiatic-indian) și *temporale* (în ceea ce privește încadrarea într-o fereastră de timp bine delimitată) sunt următoarele:

• zone epicentrale active localizate pe structuri geotectonice limitrofe Oceanului Indian: partea vestică a Indoneziei (Sumatra, Java, Dorsala Ninety Ridge), Dorsala Indiană (din partea vestică a Oceanului Indian) Aceste zone corespund marginilor plăcii tectonice Indo-Australiene si ale plăcilor sau sub-plăcilor adiacente;

• zone epicentrale active localizate în Asia (Myanmar, China și podișul tibetan, lanțul muntos Himalaya-Hindu Kush);

• zone epicentrale din Iran-Turcia: cu deosebire epicentrele localizate pe faliile majore de tip strike-slip din Estul și Nordul Turciei, Nord-Vestul Iranului;

Influențele seismice externe se manifestă mai degrabă **pe termen lung** sau/și, eventual, **mediu**, dar permit *identificarea unor perioade de risc seismic potențial mai ridicat în zona Vrancea*, perioade în care *investigarea suplimentară și detaliată a unor anomalii de seismicitate locală dar și a unor anomalii de câmp geomagnetic* poate furniza rezultate promițătoare în predicția pe termen scurt a evenimentelor moderate și puternice de adâncime intermediară (importanță aplicativă practică), dar prezintă și importanță științifică majoră în domeniul de cercetare vizat.

A3.1.2 Tehnici de corelatie si detectia tiparelor de comportament ale vitezelor de propagare ale undelor seismice: determinarea modificărilor vitezelor seismice in crustă in perioada de pregatire a unui cutremur (*pentru varianta completa a Activitatii A3.1.2 vezi Anexa 6 din platforma EVOC*)

#### 1. Introducere

Scopul acestui studiu este de a determina variațiile temporale ale vitezelor undelor seismice pe baza analizei corelațiilor încrucișate ale înregistrărilor de zgomot ambiental înregistrate de stațiile seismice de bandă largă din Bazinul Focșani și zonele învecinate. În același timp dorim să identificăm posibile tipare specifice ale acestora care ar putea fi asociate cu declanșarea cutremurului din 22 noiembrie 2014.

#### 2. Date și metode

Dupa ce in etapa trecuta am folosit metoda Wadati, 1933, aplicata pe timpii de propagare a undelor p si s luate din buletinele seismice ale cutremurelor vrancene inregistrate de Reteaua seismica nationala a INCDFP, in cadrul acestui studiu am aplicat metoda analizei spectrale încrucișate cu fereastră mobilă (MWCS), inclusă în pachetul de programe MSNoise (Lecocq et al., 2014). Pentru determinarea variațiilor temporale ale vitezelor seismice, a fost utilizat zgomotul seismic ambiental înregistrat continuu de componentele verticale ale unui set de patru stații permanente (Vrâncioaia-VRI, Ploștina-PLOR, Petrești-PETR și Gohor-GHRR) de bandă largă, aparținând Rețelei Seismice Naționale (Marmureanu et al., 2021). Stațiile selectate sunt instalate în jurul regiunii epicentrale (Fig. 1), iar perioada analizată a fost aleasă între 22 aprilie 2014 până la 22 mai 2015.



**Figura 1** Distribuția stațiilor seismice, localizarea cutremurului din 22.11.2014,19:11 (GMT) și principalele unități tectonice din regiunea epicentrală și zonele adiacente. Cu simboluri albastre sunt reprezentate stațiile de bandă largă și cu simboluri maro cele de scurtă perioadă. Pe hartă sunt marcate doar codurile stațiilor utilizate în studiu. În medalion este arătată localizarea regiunii de studiu pe harta României.

#### 2.1 Utilizarea metodei MWCS pentru monitorizarea variațiilor vitezelor seismice în crustă

O descriere detaliată a metodei MWCS este prezentată de Clarke et al. (2011). Prin această tehnică viteza undelor seismice (primare sau transversale caracterizate de viteza vp si secundare sau longitudinale caracterizate de viteza vs) poate fi determinată și monitorizată permițând detectarea oricăror modificări. Acestea pot fi atribuite modificărilor proprietăților crustei dintre stații și/sau sursa zgomotului nostru seismic ambiental, fie că este vorba despre ocean sau evenimente antropice semnificative precum evenimente sportive.

#### 2.2 Preprocesarea datelor

Datele inițiale înregistrate de fiecare stație au fost organizate în segmente de 24 de ore, aduse la linia de zero, și reeșantionate de la 100 la 20 Hz. Seismogramele au fost filtrate inițial cu un filtru de tip trece bandă între 0,01 și 8,0 Hz. Fiecare formă de undă cu înregistrare continuă de 24 ore a fost împărțită apoi în secțiuni de 30 de minute (1800 s), care ulterior au fost normalizate prin tăierea la valoarea RMS înmulțită cu 3 și albite între frecvențele de colț ale benzilor de frecvență selectate pentru filtrare (0,2-1,0Hz, 0,2-2,0Hz și 0,4-1,5Hz) fiind astfel calculată o funcție de corelare pentru fiecare pereche de stații, producând 48 de CCF-uri pe zi pentru fiecare pereche de stații. Acestea, au fost ulterior însumate pentru fiecare pereche de stații pentru a obține funcția de corelare încrucișata de referință, rezultând în final un număr total de șase funcții de corelare de la șase perechi de stații. Pentru filtrarea optimă a formelor de undă (coda) au fost testate diferite intervale de frecvență, însă din cauza distanței mici dintre stații (Figura 1) banda minimă de frecvențe a fost de 0,2 Hz, iar benzile selectate mai sus au avut ca scop obținerea valorilor maxime ale raportului semnal zgomot (SNR) pentru estimarea finală a modificărilor vitezei seismice în crustă. Odată ce funcția de corelare încrucișata de referință ate valorilor maxime ale raportului semnal zgomot (SNR)

durată de 1, 5, 10, și 20 de zile. Pe măsură ce această durată crește rezoluția datelor și a variațiilor mici se pierde, iar variațiile sezoniere devin mai evidente.

#### 3. Rezultate

Figura 2 prezintă modificările temporale ale funcțiilor de corelare (CCF) determinate din corelările componentelor verticale ale înregistrărilor de zgomot pentru perechea de stații PETR-PLOR, în intervalul de frecvență 0,2-1,0 Hz. Rezultatele au fost însumate utilizând ferestre de timp de 5 zile pentru a îmbunătăți SNR.



**Figura 2** Modificări temporale ale funcțiilor CCF în timp utilizând pentru determinare o fereastră mobilă de 5 zile și înregistrările zgomotului seismic pe componentele verticale la perechea de stații PETR-PLOR în domeniul de frecvente 0,2 - 1,0 Hz. Interferograma afișată sub formă de oscilații (sus) și culori (unde roșu și albastru reprezintă amplitudini pozitive și negative) în diagrama de jos.

Pentru a măsura diferențele de viteze este necesar ca undele coda (multiplu împrăștiate) să fie conținute în corelograme pentru a aplica tehnicile de interferometrie specifice (Sens-Schönfelder & Wegler, 2006). Coerența acestora poate fi observată în corelogramele din Figura 2, ceea ce demonstrează că banda de frecvențe utilizată este potrivită pentru obținerea CCF-urilor stabile, pentru aplicarea metodei MWCS. O coerență mai puternică se observă pentru partea acauzală (intervalul de timp negativ) comparativ cu partea cauzală (intervalul de timp pozitiv) în cazul perechii de stații PETR-PLOR. Micile deplasări ale acestor semnale coerente de-a lungul timpului reprezintă modificări ale vitezei seismice în crustă, determinate pentru ferestre de timp ale undelor coda, selectate în intervalul 24-60s, proporțional cu distanța dintre stații. Formele de undă nu sunt simetrice, amplitudinile undelor sunt mai mari pentru segmentul acauzal (timpii negativi) decât pentru segmentul cauzal, ceea ce indică propagarea unei cantități mai mari de energie care sosește de la PLOR la PETR decât din direcția opusă, indicând practic propagarea unei cantități mai mare de energie de la NV către SE (Figura 1) ceea ce relevă că sursa de zgomot ambiental este mai puternică la NV decât la SE.

Figura 3 prezintă funcțiile CCF de referință filtrate in prima bandă de frecvențe selectată (0,2-1,0Hz), determinate pentru toate perechile de stații selectate. Acestea vor fi utilizate în continuare pentru determinarea variațiilor de viteză. Considerând că au fost selectate doar componentele verticale ale seismogramelor înseamnă că formele de undă constau în mare parte din unde Rayleigh. Figura 3 permite de asemenea alegerea

valorilor de referință a vitezelor de propagare ce vor fi aplicate ulterior pentru calcularea variației relative a vitezei (dv/v) în banda de frecvențe definită. Astfel, prin alegerea unei viteze de 1,0 km/s, undele directe pot fi evitate, permițând astfel selecția exclusiva a undelor coda pentru intervalul de frecvență 0,2-1,0 Hz utilizat pentru determinarea schimbării relative a vitezei.



**Figura 3.** Funcțiile CCF de referință determinate pentru fiecare pereche de stații în intervalul de frecvențe 0,2-1,0 Hz, reprezentate în funcție de timpul de întârziere. Liniile albastre, verzi și roșii indică diferitele viteze de propagare ale undelor.

Pentru o determinare cat mai precisă a variațiilor de viteză ar trebui să se determine care perechi de stații au diagramele dt/t fiabile, cu gradienți credibili, care sunt similari cu M0, apoi să fie utilizate doar acele stații când sunt interpretate datele. O altă opțiune ar fi de a determina o pereche de stații exemplară, una care are funcția Green clară, care să ofere măsurători precise pentru diagramele dt/t. În Figurile 4 sunt prezentate diagramele dt/t pentru o fereastră mobilă de 20 de zile pentru perechea de stații GHRR-VRI, și ziua de 21 noiembrie 2014 (o zi înaintea producerii șocului principal), calculate pentru cele trei benzi de filtrare selectate inițial (f1-0,2-1,0Hz, f2-0,2-2,0Hz și f3-0,4-1,5Hz).



**Figura 4.** Diferențele de timp și regresiile liniare obținute pentru perechea de stații GHRR-VRI o fereastră mobilă de 20 de zile respectiv o zi (21.11.2014), utilizând un filtru de tip trece bandă între: 0,2-1,0 Hz (stânga sus); 0,2-2,0 Hz (dreapta sus); 0,4-1,5Hz (jos).

Secțiunile albastre reprezintă ferestrele care conțin punctele pentru care se potrivește cel mai bine regresia liniară. Se observă că M și M0 se suprapun bine ceea ce indică acuratețea rezultatelor pentru ferestrele de timp considerate la perechea de stații utilizată. O variabilitatea mare a acestor măsurători ar putea indica, fie determinări eronate fie că benzile de frecvență selectate nu sunt potrivite pentru estimările variațiilor vitezelor seismice în cazul perechii de stații selectate. Din Figurile 4 se observă o tendință ca timpul de întârziere să crească pe măsură ce timpul ferestrei de corelare crește, astfel încât selectarea ferestrei este importantă pentru a ne asigura ca fitul liniar este obținut utilizând punctele adecvate. Din analiza acestor diagrame, pot fi estimate cele mai bune ferestre de timp, care ar trebui să a cuprindă secțiunea liniară. Măsurarea diferențelor timpilor de parcurs pentru sosirile undelor coda între funcțiile de corelare însumate pentru o fereastră mobilă de 5 zile și funcția de referință folosind analiza MWCS pentru perechea de stații PETR-PLOR este prezentată în Fig 5.

Variația în timp a dv/v determinată în regiunea de studiu utilizând funcțiile de corelare a celor 6 perechi de stații și ferestre mobile însumate pentru diferite perioade de timp (1,5,10 respectiv 20 de zile) în intervalul de frecvență 0,2-1,0 Hz este prezentată în Figura 6, împreună cu numărul cumulat de cutremure generate în regiunea de studiu între 01.05.2014 și 01.05.2015. Ferestre mobile însumate pentru durate mai scurte de timp, par să aibă fluctuații mai aleatorii, în timp ce cea obținută pentru 20 de zile permite observarea unui trend mai

netezit. O scădere semnificativă (>0,4%) pusă în evidență în special de ferestre mobile însumate pe durate mai scurte (1,5 și 10 zile) este evidențiată în perioada sărbătorilor de iarnă (24 decembrie 2014-3 ianuarie 2015). Variațiile medii ale vitezei evidențiate de fereastra mobilă însumată pentru durata mai lungă (20 de zile) sunt scăzute (<1%) și par să arate mai degrabă un caracter sezonier, cu creșteri în timpul verii (iulie 2014) sau sfârșitul iernii (februarie 2015).

1.0



# **Figura 5.** Exemplul rezultat MWCS pentru perechea de stații PETR-PLOR. Diferența timpilor de parcurs ale undelor coda determinată în funcție de timpii de latență (stânga sus), respectiv coerența (stânga jos). Media și abaterea standard în funcție de timpii de latență (dreapta). Decalajele selectate pentru calculul dt/t sunt prezentate cu linii orizontale verzi, iar coerența minimă sau dt maximă este arătat în roșu

**Figura 6 a)** Variația în timp a dv/v determinată în intervalul de frecvență 0,2-1,0 Hz, utilizând CCF-urile de referință ale celor 6 perechi de stații și ferestre mobile însumate pentru perioade de timp de câte 1,5,10 respectiv 20 de zile; **b)** Numărul cumulat de cutremure produs în regiunea de studiu în perioada 01.05.2014-01.05.2015

#### 4. Concluzii

Folosind tehnica de corelatie MWCS se observa ca inaintea cutremurului cutremurului din 22 noiembrie 2014 sunt identificate scăderi ale vitezei puse în evidență în special de ferestrele mobile pentru 5, 10 respectiv 20 de zile, însă totuși rezultatele arătată o revenire rapidă, în dezacord cu studiile precedente realizate în alte regiunii ale globului care pun in evidență reveniri lente ale vitezelor seismice (Ikeda, and Tsuji, 2018, Kortink, 2020). Acest studiu va fi dezvoltat in viitor utilizând mai multe benzi de frecvență și diferite ferestre mobile pentru a crea un algoritm de monitorizare a vitezelor seismice în regiunea Vrancea, predispusă producerii evenimentelor seismice semnificative. Totodată metoda ar putea fi utilizată pentru a monitoriza modificarea nivelului fluidelor subterane, ca urmare a precipitațiilor sau activității magmatice, în regiuni cheie cum ar fi Galați sau zona vulcanică Ciomadul.

#### **Bibliografie selectiva** (*Bibliografia integrala este in Anexa 6 din platforma EVOC*)

Clarke, D., Zaccarelli, L., Shapiro, N. M., Brenguier, F. (2011). Assessment of resolution and accuracy of the Moving Window Cross Spectral technique for monitoring crustal temporal variations using ambient seismic noise, Geophysical Journal International, Volume 186, Issue 2, August 2011, Pages 867–882, https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2011.05074.x

#### A3.1.3 Aplicarea tehnicilor AI pe campul geomagnetic (vezi Anexa 7 din platforma EVOC)

#### 1. Introducere

Câmpul geomagnetic este generat de miscarea circulară a metalelor lichide din nucleul exterior, ca răspuns la rotatia Pământului. Acesta este un camp vectorial si poate fi descris de componentele Bx, By, Bz care reprezinta intensitatea magnetica pe directiile N-S, E-V, respectiv verticala, intensitatea totala F, inclinatia I (unghiul intre campul vectorial si planul orizontal) si declinatia D (unghiul intre polul Nord magnetic si campul vectorial). Unitatea de masura in Sistemul International este Tesa. Amplitudinea intensitatii totale masurate la suprafata Pamantului poate varia intre 22000 nT si 67000 nT. Campul geomagnetic prezinta variatii temporale in diverse benzi de frecventa. Acestea includ o tendinta seculara de migrare a declinarii cate vest, pulsatii nepredictibile ale ratei de modificare a declinarii intre 9 si 50 de ani, variatii diurne are inclinatiei (pana la o zecime de grad) si a intensitatii totale de  $\sim 0.1\%$ , cauzate de curentii electrici din ionosfera, cat si alte disturbante cauzate de furtunile solare care interactioneaza cu magnetosfera Pamantului. Ultimele tipuri de variatii pot avea perioade de 11 ani, conform intensitatii ciclului solar, sau de 27 de zile, datorita rotatiei Soarelui (e.g. Campbell, 2003). Chiar si structura geologica crustala poate cauza efecte anomale de lunga durata asupra campului gemagnetic (Gubbins si Herrero-Berverr, 2007). Cele mai proeminente variații pe termen scurt sunt cauzate de curentii ionosferici si furtunile solare (Campbell, 2003), dar unele semnale anormale au fost recunoscute ca precursoare ale cutremurelor. Acestea includ variații de polarizare magnetică (Stanica and Stanica, 2021 and Moldovan et al, 2012), modificări ale ratelor de oscilatie diurnă ale componentelor verticale (Xu, G et al, 2013) și anomalii de intensitate de frecvență ultra-joasă (Hayakawa et al, 2012). O variatie controversata dar deosebit de importanta a campului magnetic este aceea legata de emisiile electromagnetice precusoare cutremurelor de Pamant. Astfel de variatii au fost corelate cu prezenta cutremurelor, in benzi de frecventa care variaza intre 0.01 Hz (e.g. Fraser-Smith et al., 1990; Hattori, 2004; Hayakawa et al., 2007), 0.09 Hz (e.g. Li et al., 2011), 0.001-0.0083 Hz (numit si ULF, sau ultra-low frequency, Hayakawa et al., 2011, Nagao et al., 2014), perioade de cateva zile (e.g. Stanica si Stanica, 2021), saptamani sau/si luni (Andrei et al., 2019).

In prima partea a acestui studiu am prezentat mai multe metode posibile pentru identificarea semnalelor precursoare seismogene, incluzand algoritmi clasici de prognoza prin cross-corelare si autoregresie (modelul ARIMA), cat si metode de invatare artificiala nesupravegheata (Analiza Componentelor Principale) si supravegheata (Retele Neuronale Convolutive). Am prezentat si aplicabilitatea acestor metode pe datele geomagnetice, modul de implementare posibil, si succesul potential ale fiecarei metode, cat si combinatia de date magnetice si cutremure reprezentative potrivite pentru cautarea unor astfel de semnale (*vezi Anexa 7 din platforma EVOC – Capitolul 2 - Metode propuse pentru investigarea campului magnetic*).

In urmatorul capitol am prezentat cateva teorii existente privind detectabilitatea emisiilor electromagnetice asociate surselor seismogene si am evidentiat aria geografica afectata de fenomenele asociate pregatirii unui cutremur (*vezi Anexa 7 din platforma EVOC – Capitolul 3* - Detectabilitatea emisiilor electromagnetice asociate surselor seismogene).

Luand in considerare conditia propusa de Molchanov et al. (1995) -  $R = 10^{0.5M-0.27}$  privind configuraratia de obsevatoare geomagnetice si distante epicentrale, s-au calculat toate combinatiile posibile cutremure produse in perioada 2000-2021 si locatia tuturor observatoarelor geomagnetice globale INTERMAGNET si locale INCDFP si am realizat baza de date seismice si geomagnetice ce vor fi folosite in studii (*vezi Anexa 7 din platforma EVOC – Capitolul 4* - Datele seismice si geomagnetice folosite). Am folosit cataloagele seismice locale (ROMPLUS in Vrancea, Oncescu et al., 1999, actualizate continuu de NIEP), si Buletinul Seismic ISC (Storchak et al., 2020) pentru extragerea evenimentelor care au avut loc pe o raza de 200 km de la fiecare observator, cu o adancime hipocentrala maxima de 30 km (pentru DUR si IZN) si o magnitudine Mw>4, în general urmând raza de detectabilitate (Molchanov et al, 1995). În Vrancea, permitem o adâncime maximă de 100 km și o distanță epicentrală maximă de 100 km. Aceste configurații pot fi imbunatatite în viitor, pe măsură ce se adaugă mai multe date pentru a antrena modelul. Seriile de timp etichetate au fost apoi împărțite în subseturi de instruire și validare care cuprind 80% și, respectiv, 20% din setul de date total.

Pentru acest studiu am propus o metodă prospectivă de învățare automată care citește înregistrările continue ale componentelor câmpului geomagnetic și convertește datele brute într-un sistem binar de predicție a cutremurelor. Mai exact, am adaptat o rețea neuronală convoluțională (CNN), o formă populară de algoritm de învățare automată supravegheată utilizat în principal pentru probleme de clasificare (Krizhevsky et al, 2012). CNN scanează ferestrele în mișcare ale măsurătorilor câmpului geomagnetic nefiltrat cu trei componente și învață din cataloagele locale de cutremur ca etichete de instruire. Deși disponibilitatea datelor este limitată de perioada relativ scurta in care am avut inregistrari magnetice continue si de faptul ca in perioada de functionare a magnetometrelor INCDFP nu s-au produs cutremure intermediare cu magnitudini

mai mari de 5.8 Mw, in capitolele urmatoare prezentăm o aplicare a conceptului pentru seturi de date geomagnetice reale și cataloage locale de cutremure. Pentru a extinde setul de date existent in posesia INCDFP, pe langa datele din zona seismogena Vrancea au mai fost adaugate inca doua zone tectonice cheie din Italia si Turcia. Metoda propusa de noi, nu a fost testată înainte și oferă posibilitatea de a căuta precursori într-un mod imparțial și sistematic în viitoarele seturi de date mari înregistrate în configurații optime sursă-receptor.

#### 5. Metoda de analiza aplicata pe datele inregistrate – prezentarea conceptului

CNN-urile necesită seturi de date mari pentru a putea invata, asimila si recunoaște relațiile dintre variabile. Astfel, ne așteptăm ca modelul nostru să se auto actualizeze și să devină din ce în ce mai bine antrenat cu timpul, pe măsură ce mai multe date devin disponibile și mai multe observatoare magnetice sunt plasate în regiuni seismice sau in apropierea acestora. În studiu nu am luat în considerare înregistrările care au perioade de înregistrare lipsă mai mari de câteva minute. Pentru intervale de date mai mici de 3 minute, am completat înregistrările cu valoarea medie a fiecărei componente pentru perioada considerată. Am construit un set de date adnotat prin etichetarea perioadelor de amplitudini ale câmpului geomagnetic cu trei componente cu un set binar de etichete (1 pentru cutremur și 0 pentru fără cutremur). Am construit câteva seturi de antrenament cu date geomagnetice reale înainte de cutremure din apropiere ca intrare. Am efectuat teste cu intrări de diferite dimensiuni pentru a captura posibili precursori cu o gamă largă de frecvențe. Testele noastre includ date de intrare geomagnetice de o lună (25 de zile), o săptămână, o zi și o oră (Figura 7), cu și fără filtrare trece-bandă a variației diurne înainte de scalare (Figura 8). Pentru perioada de înregistrare, observatoarele au urmatorul numar de cutremure: 40 (MLR), 119 (DUR) și 132 (IZN).



**Figura 7.** Înregistrări de câmp geomagnetic de o săptămână la observatorul Duronia (DUR) din Italia. Cele trei componente arată amplitudinea câmpului geomagnetic pe direcția verticală (Bz) și direcțiile orizontale (Bx pentru N-S și E-W pentru By). Pătratul verde arată o fereastră de o jumatate de zi. Regiunea roz umbrită prezintă o fereastră de o zi

Apoi, am construit un set de date fără cutremur selectând perioade de măsurători ale câmpului geomagnetic care nu sunt asociate cu aceste cutremure și nu sunt contaminate cu semnale specifice furtunilor solare (Matzka et al., 2021).



**Figura 8.** Amplitudinile câmpului geomagnetic vertical pentru o săptămână la observatorul Duronia (DUR) din Italia, filtrate cu un filtru digital trece-sus și trece-jos cu o frecvență de colț de 0.02 Hz, respectiv, aplicate de două ori (înainte și înapoi) pentru a păstra informațiile de fază

Pentru a evita posibile erori datorate unui set de date etichetate disproportional și a supradeterminarii modelului, adaugam si etichete "non-cutremur" înregistrărilor de câmp geomagnetic în timpul repausului seismic, similare ca mărime cu seturile afectate ipotetic de emisiile electromagnetice ale unui cutremurului apropiat. Cele trei axe ale măsurătorilor câmpului geomagnetic (Bx, By, Bz) sunt normalizate de amplitudinea



maxima a lui Bz si sunt citite ca imagini alb negru de reteaua CNN (Fig 9).

**Figura 9.** Implementarea rețelei de învățare profundă propusă pentru clasificarea datelor de câmp magnetic cu trei componente etichetate și ferestre ca fiind premergătoare cutremurelor sau nu. Acest exemplu este pentru datele geomagnetice de intrare nefiltrate, cu lungimea de o săptămână.

#### 6. Rezultate preliminare și planuri de viitor

Antrenarea modelului se efectuează atât pentru seturile de date observate individuale, filtrate, nefiltrate, cât și pentru toate seturilor de date combinate. A fost comparata acuratețea pentru o serie de ferestre de timp: o oră, o zi, o săptămână și o lună. În timp ce funcția de pierdere a entropiei încrucișate a scăzut cu fiecare iterație (de la 0,7 la 0,5), atât acuratețea datelor de antrenament, cât și de validare, au rămas egale cu numărul de date etichetate cu cutremur față de numărul de date etichetate fără cutremur (0,5874 și 0,6641, respectiv). Figura 10 prezintă evoluția preciziei și minimizarea costului testelor de antrenament și validare. În timp ce acuratețea predicției crește în primele 10 epoci atât pentru seturile de date de instruire, cât și pentru validare, valoarea medie devine constantă, deși funcția de cost ale datelor de antrenament continuă să scadă lent. Funcția cost pentru datele de validare este mai mare decât funcția cost a datelor de antrenament, sugerând o supradeterminare a inversei probabil din cauza dimensiunii insuficiente a datelor de antrenament.



**Figura 10.** Rezultatele modelului CNN propus, pentru 50 de epoci pentru serii de timp geomagnetice de o săptămână. Stânga: acuratețea estimată pe baza antrenamentului și, respectiv, a setului de date de validare. Dreapta: Evoluția costului de entropie încrucișată (cross-entropy loss) pentru seturile de date de antrenament și validare.

Pentru a testa sensibilitatea rezultatelor noastre la diverși parametri ai rețelei neuronale, au fost efectuat o serie de teste. Alegerea celei mai optime combinații de straturi ascunse, număr de neuroni, conectivitate, număr de straturi dense, dimensiunea straturilor de pooling, dimensiunea filtrului convoluțional și pasul, regularizarea abandonului, numărul de epoci, algoritmul de optimizare și rezultatele ratei de învățare sunt operații de calcul extrem de costisitoare. Au fost propuse diferite metode pentru a simplifica procesul, inclusiv căutarea în rețea încrucișată și tehnici de optimizare bayesiană (Yu et al., 2020). Testarea sensibilității s-a limitat la o serie de optimizatori populari, rate de învățare și număr de straturi convoluționale. Optimizatorul Adam a cauzat cea mai bună evoluție a funcției de cost în comparație cu alte opțiuni populare, cum ar fi Adagrad, Adamax, SGD și RMSProp (Figura 11). Modificările ratei de învățare au generat un comportament oscilator în evoluția preciziei cu fiecare iterație. Creșterea numărului de straturi convoluționale consecutive nu a produs un efect vizibil nici asupra funcției de cost, nici asupra funcțiilor de precizie.

Încercările cu lungimi variabile ale seriilor temporale geomagnetice, variind de la o oră, o zi la o săptămână, arată diferențe ușoare în ceea ce privește precizia și costul estimate a setului de testare (Figura 12). Cea mai mare acuratețe a fost obținută pentru datele de intrare de o săptămână (0,664), urmate de durata de o oră (0,586) și de o zi (0,414), în timp ce pierderea a scăzut în funcție de lungimea datelor de intrare.



**Figura 11.** Evolutia functiei de cost de incurcisare a entropiei (cross entropy loss function) pentru diversi optimizatori, utilizand ca date de intrare de test inregistrari magnetice cu durata de o saptamana.

Aceste observații ar putea sugera că seturile de date geomagnetice de o săptămână ar putea conține mai multe informații corelate cu apariția cutremurelor, deși dimensiunea datelor utilizate în acest exemplu este încă insuficientă pentru a oferi o comparație sigură.



**Figura 12.** Acuratețea validării și estimările costului pentru diferite lungimi ale seriilor de date geomagnetice (1 săptămână, 1 zi, 1 oră).

Prezicerea dimensiunii setului de date necesar pentru o performanță bună de clasificare reprezintă o provocare în majoritatea algoritmilor de învățare automată și depinde de complexitatea modelului, numărul de parametri antrenabili, dimensiunea caracteristicilor, calitatea și repetabilitate a datelor de antrenament și alți factori (Cho, J et al., 2015). Nu există reguli generale care să lege în mod direct numărul de parametri antrenabili într-un CNN cu dimensiunea necesară a setului de date de antrenament. Exemplele de CNN anterioare includ modelul original AlexNet (Krizhevsky et al., 2012) care are 60 de milioane de parametri, atingând cea mai bună rată de eroare din top-5 pentru setul ImageNet (Russakovsky et al., 2015), cu 1,3 milioane de imagini. Astfel, AlexNet a atins o performanta buna cu un raport de 60 de ori mai puține imagini de antrenament decât parametri antrenabili. Modelul original VGG16 care cuprinde 138 de milioane de 8625 mai puține imagini de antrenament decât parametri antrenabili. Aceste exemple arata că majoritatea criteriilor publicate pentru cel mai bun rezultat iau în considerare fie acuratețea țintei, încrederea clasificatorului, estimarea incertitudinii sau eroarea minimă așteptată, fără o predicție definită obiectiv a mărimii eșantionului.

O metodă propusă pentru prezicerea empirica a mărimii eșantionului pe baza unui set mic de antrenament etichetat aplica potrivirea unei legi de putere inversă la punctele unei curbe de învățare (Figueroa et al., 2012). O curbă de învățare descrie modul în care performanța unui clasificator (în cazul nostru un CNN) variază în funcție de dimensiunea eșantionului de antrenament. Curbele de învățare sunt de obicei împărțite în trei secțiuni: o curbă abruptă care arată o creștere rapidă a performanței de clasificare, un punct de cotitură în care panta performanței este atenuată și o secțiune finală care nu arată nicio îmbunătățire a performanței, ceea ce implică faptul că modelul și-a atins pragul de eficiență.

Figura 13 arată evoluția acurateței și a costului cu creșterea numărului de probe etichetate. Am eliminat aleatoriu porțiuni de date și am reluat antrenarea CNN folosind fiecare subset de date pentru a construi curbele de învățare. În general, funcțiile de pierdere pentru seturile de date de instruire și validare ar trebui să conveargă către o valoare mică atunci când modelul a fost suficient antrenat. Separarea pierderilor și acuratețea constantă sugerează, într-o primă faza, că dimensiunea datelor trebuie mărită. Predicția creșterii necesare prin ajustarea unei legi de putere inversă la curba de învățare estimată este, totuși, dificilă în acest caz, din cauza variației mari a funcției cost ale datelor de validare. Viitoarele generații de date vor oferi un punct de plecare mai bun pentru acest tip de predicție empirică.

Având în vedere setul limitat de date disponibile, aceste observații pot indica fie că: 1. Variațiile câmpului geomagnetic nu sunt corelate cu apariția cutremurelor cu magnitudine mică la distanțele prezise; 2. Există o eroare observațională, care implică faptul că alte semnale geomagnetice ascund semnalele precursoare și că trebuie impuse condiții mai stricte asupra valorilor pragului de detectabilitate; 3. Datele disponibile în prezent sunt insuficiente pentru a antrena modelul de rețea neuronală convoluțională propus.

Acoperirea insuficienta cu senzori geomagnetici și măsurătorile pe perioadă relativ scurtă ale câmpului geomagnetic în zonele epicentrale împiedică observațiile consistente ale precursorilor seismici în prezent. Cresterea numarului datelor este necesară pentru o instruire eficienta a modelului. Datele de antrenament trebuie să includă semnificativ mai multe înregistrări de câmp geomagnetic, pe măsură ce devin disponibile mai multe date și se produc mai multe cutremure în raza de detectare.



Figura 13. Curbe de învățare pentru antrenarea si validare costului si acurateței, cu dimensiuni variabile ale setului de eșantionare etichetate, pentru serii de timp geomagnetice de intrare de o săptămână.

Deoarece perioadele de înregistrare sunt limitate, înregistrând câteva cutremure de dimensiuni medii care se potrivesc criteriilor dorite, recomandăm prudență în adăugarea mai multor seturi de date etichetate fără cutremur pentru a evita clasificările dezechilibrate. Acest lucru implică existența unei cantități similare de etichete de clasă "cutremur" față de "non-cutremur" și verificarea posibilelor suprapuneri ale seriile de timp geomagnetice etichetate ca "non-cutremur" peste perioade seismice active în raza de detectare. Recomandam de asemenea dezvoltarea de algoritmi care pot simula răspunsul câmpului magnetic la curenții electrici cauzați de acumularea stresului tectonic în diferite tipuri de roci, cu opțiunea de a regla distanțe și parametri fizici legați de sursele seismice. Datele de antrenament sintetice vor ajuta la antrenarea rețelei neuronale propuse, similare antrenamentului de recunoaștere a imaginilor care utilizează combinații de imagini create artificial (Jaipuria et al., 2020).

#### 7. Concluzii

In acest studiu am propus o procedură sistematică și imparțială pentru a detecta precursorii seismici pe datele câmpului geomagnetic, utilizând tehnici de învățare profundă și am ilustrat aplicarea acesteia pe seturi de date de generație viitoare provenite din configuratii optime sursă-receptor. Propunerea consta intr-o rețea neuronală convoluțională complexă, cu mai multe straturi, similară cu modelele care au avut succes la recunoașterea imaginilor, precum și o serie de aplicații pentru științele pământului. Segmente ale datelor geomagnetice sunt tratate ca imagini alb-negru etichetate ca precursoare seismice sau non-cutremure, folosind cataloage seismice locale. Se iau in considerare criterii stricte pentru detectabilitatea emisiilor electromagnetice: observatoarele sunt amplasate la o distanță de maxim 100 km fata de zonele epicentrale cu rate ridicate de seismicitate, cuprinzand cutremure cu magnitudinea minimă 4. Deoarece acuratețea rețelelor neuronale este puternic dependentă de seturile de date mari, ne așteptăm ca modelul sa se autoactualizeze si sa devina din ce în ce mai performant in detectarea și asimilarea relațiilor în timp, pe măsură ce creste volumul de date disponibile. Modelul nostru este prima implementare de invatare profunda a recunoașterii precursorilor seismici pe câmpul

#### 8. Bibliografie selectiva (Bibliografia integrala este in Anexa 7 din platforma EVOC)

Figueroa, R.L.; Zeng-Treitler, Q.; Kandula, S.; Ngo, L.H. Predicting sample size required for classification performance. BMC medical informatics and decision making **2012**, 12 (1), 8.

*Goodfellow, I.; Bengio, Y.; Courville, A. Deep learning (adaptive computation and machine learning series). Cambridge Massachusetts Journal* **2017,** 321-359.

Molchanov, O.A.; Hayakawa, M.; Rafalsky, V.A. Penetration characteristics of electromagnetic emissions from an underground seismic source into the atmosphere, ionosphere, and magnetosphere. Journal of Geophysical Research: Space Physics **1995**, 100(A2), 1691-1712.

#### Activitatea A3.2 Agregarea datelor folosind informații geofizice externe și interne (vezi Anexa 4 EVOC)

Pentru realizarea platformei s-au folosit date seismice din doua surse de date ale INCDFP: DataPortal (date sesismice din 2012 pana la zi) si Romplus (catalogul INCDFP corectat continand date seismice din anul 900 pana in data la care este reactualizat – martie 2022 in prezent), date geomagnetice de la observatoarele INCDFP (pentru care s-a obtinut <u>DOI-ul</u> intrucat platforma va oferi acces nu doar la reprezentarea grafica a campului

magnetic ci si la datele inregistrate), situate in zona sesimogena Vrancea si indicii magnetici Kp descarcati de la <u>NOAA</u> si <u>GFZ</u>. S-au realizat metadatele pentru platforma si toate informatiile geofizice necesare au fost integrate intr-o baza de date, pentru care s-a obtinut <u>DOI-ul</u>. Metadatele, in format *xml* si bazele de date, in format *accdb* au fost arhivate si *incarcate in platforma EVOC la Anexa 4*.

In paralel cu realizarea platformei <u>Phenomenal</u> au fost dezvoltate cateva platforme complementare: (i)

1. <u>DataPortal</u>, in care au fost incarcate si apoi agregate toate datele necesare realizarii platformei si in care se se pot accesa anumite facilitati, doar de catre utilizatorii din INCDFP, prin intermediul unui user si parola: date macroseismice corespunzatoare tuturor raspunsurilor colectate online, nu doar medii pe UAT, asa cum sunt oferite publicului prin Platforma Phenomenal; harti continand toate aceste valor de intensitati; acces la statistici privind datele; prelucrari primare ale seismicitatii; acces la buletinele seismice care stau la baza calculului vitezelor de propagare ale undelor seismice p si s; datele geomagnetice inregistrare de INCDFP, dar si datele geomagnetice inregistrate de observatorul national Surlari ca parte a INTERMAGNET; raspunsurile la formularele de raportare a anomaliilor precursoare.

2. <u>GEOBS</u>, in care se afla toate datele geofizice inregistrate de INCDFP, nu doar datele geomagnetice care apar in platforma Phenomenal.

3. In perioada pre-contractare proiect (cand credeam ca Proiectul nu va fi finantat) s-a dezvoltat aplicatia <u>ROMPLUS</u>, o aplicatie de reprezentare si descarcare a datelor oferite de <u>aplicatie</u> pe care am lasat-o de sine statatoare, dezvoltand apoi platforma multidisciplinara Phenomenal.

4. In propunerea de proiect s-a planificat si aducerea la zi a miniportalului <u>DARING</u>, prin implementarea informatiilor privind clasele de risc ale tuturor barajelor din Romania si nu doar ale celor din jumatatea de est a Romaniei.

# Activitatea A3.3 Testarea funcționalității platformei utilizând un grup de feedback pentru utilizatori (vezi Anexa 3 din platforma EVOC)

Testarea platformei Phenomenal a fost realizata intr-o prima etapa la nivel intern: management proiect - IT, dupa implemetarea fiecarui element component al celor trei servicii: seismic, macroseismic si geomagnetic. Erorile care apareau au fost semnalate si remediate. Urmatorul pas a fost testarea in cadrul echipei proiectului si discutarea elementelor existente, adaugarea unora noi si remedierea unor erori care nu fusesera evidentiata in prima faza de testare. In ultima faza de testare, modelul experimental al Platformei a fost testat, prin intermediul unui formular google, de un grup de utilizatori externi selectați din diferite medii științifice, sociale și economice, iar feedbackul acestora a fost folosit pentru inbunatatirea si realizarea modelului functional al platformei. Modelul experimental al platformei a fost testat specialiști, cercetatori, ingineri, specialisti IT, studenți, agenți economici, reprezentanți ai autorităților locale și, de asemenea, de simpli cetățeni interesați să afle mai multe despre producerea cutremurelor în România.

70% din raspunsuri au fost oferite de oameni de stiinta, in domeniul fizica, geofizica, electronica, chimie. Restul de 30% au venit din medii variate, studenti, functionari, profesori, ingineri, autoritati locale, arhitecti. 50% au cunostinte de baza privind abilitatile IT. 90% din respondenti au reusit sa dea raspunsurile corecte la exercitiile propuse. Raspunsurile au fost date in urma folosirii platformei. Sugestiile respondentilor au fost folosite la imbunatatirea platformei si la remedierea unor erori care nu fusesera observate la faza de testare interna. O parte din ideile respondentilor vor fi dezvoltate in viitor intr-un proiect PCE, aflat in derulare. Directorul de proiect al acelui proiect si-a dorit sa preia outputul platformei Phenomenal si in anul 2023 sa implementeze in ea o parte dedicata oamenilor de stiinta incluzand prelucrari statistice pe seismicitate, variatia vitezelor de propagare. In acest fel este asigurata functionarea dar si continua dezvoltare a platformei Phenomenal.

Așadar, platforma nu este doar un serviciu unidirecțional, ci este un drum cu două căi: una oferită de INCDFP oamenilor, iar cealaltă oferita de utilizatori, cercetătorilor INCDFP, prin feedbackul trimis in urma testarii platformei, dar si prin folosirea constanta si sustinuta a platformei.

#### Activitatea A3.4 Implementarea platformei (vezi Anexa 2 din platforma EVOC)

Dupa trecerea prin cei trei pasi ai testarilor platforma a fost implementata si in prezent este functionala, pe toate cele 3 servicii planificate: seismic, macroseismic si geomagnetic si are implemetata si functia de colectare raportari potentiale anomalii precursoare.

Faptul ca aproximativ 66% din respondentii din etapa de testare au folosit notitele oferite in ajutor (doua treimi), ne-a determinat sa realizam materiale informative privind folosirea platformei, de tip



fisier pdf dar si un <u>filmulet tip tutorial</u>. Aceste fisiere sunt incarcate pe <u>pagina web a proiectului</u> si pe portal separat la fiecare <u>serviciu in parte</u>. Un fisier care reuneste toate tutoriale este incarcat in Anexa 2 din platforma EVOC.

#### Activitatea A3.5 Diseminarea rezultatelor (vezi Anexa 1 din platforma EVOC)

In Etapa a III-a a proiectului s-au publicat doua articole ISI, au fost acceptate 3 articole ISI si inca patru articole sunt in revizie in reviste ISI, din care unul este acceptat de referenti si asteapta decizia editorului. In plus, s-au publicat 7 capitole in cartea Proceedings of the Third European Conference on Earthquake Engineering and Seismology – 3ECEES - ISBN 978-973-100-533-1. Doua articole BDI trimise in 2021, au fost publicate dupa raportarea Etapei a II-a. Datele geomagnetice si baza de date geofizice au fost indexate in Mendeley si s-a obtinut DOI-ul (Digital Object Identifier). Membrii proiectului au participat la 4 conferinte internationale, la care au fost sustinute 20 de prezentari in format online si fizic, oral si poster. La una din conferinte (3ECEES) a fost organizata o sesiune a Proiectului Phenomenal. Flyerele tiparite au fost impartite celor interesati la 3ECEES si Geoscience si la Noaptea Cercetatorilor Reconnect din Bucuresti, Magurele si Timisoara.

#### Rezultatele Etapei a III a/ 2022

Rezultatele etapei a III-a sunt conforme cu rezultatele planificate. In cele ce urmeaza le vom prezenta pentru fiecare activitate in parte, punand in evidenta tipul rezultatului, cat si elementele de noutate.

Activitatea A3.1 Aplicarea tehnicilor AI pe seismicitate (inclusiv pe tiparele vp si vs) si camp geomagnetic, este compusa din 3 activitati care au in comun identificarea unor patternuri de comportament in seturi de date complementare: seismicitate – cataloage globale de cutremure, propagarea undelor sesimice si camp geomagnetic, in corelatie cu producerea unor evenimente seismice moderate sau mari. In cele ce urmeaza, vom prezenta rezultatele pentru fiecare sub-activitate in parte.

**Rezultatele activității A3.1.1:** Tehnici de corelatie si detectia tiparelor (lanturilor) de seismicitate la nivel global si regional cu aplicatie pe zona subcrustala;

Tipul rezultatului: Raport, scripturi, un articol acceptat;

**Elementele de noutate** sunt date in special de *încadrarea cutremurelor vrâncene în context seismic regional și global*, prin raportare la fenomene generate de mișcările plăcilor tectonice majore (Indo-Australiană, Euro-Asiatică) dar și la dinamica unor sub-plăci și microplăci (Anatoliană, Adriatică, Egee, Arabă). O astfel de încadrare este viabilă în contextul în care, din punct de vedere geotectonic, România face parte din a doua centură seismică majoră a Pământului, cea Mediteranean-Euro-Asiatică, care include seismele din regiunea Mării Mediterane-Sudul Europei (Italia, Grecia), cutremurele din Turcia, Iran, seismele din regiunea munților Caucaz și din Asia centrală (în lungul munților Hindu Kush, Himalaya, seismele din Tibet și China), dar și megaseismele din Oceanul Indian. Folosind metode numerice si AI si ML au fost identificate "lanturi" sau insiruiri de cutremure: cu punct de start M>7.0 in sudul oceanului Indian, urmat de M>7.0 in Sumatra plus Myanmar si continuat de evenimente cu M>5.5 intr-una din zonele China si Tibet, Hymalaia, Iran si Turcia, avand capatul de sfarsit in zona Vrancea.

Rezultatele activității A3.1.2 : Tehnici de corelatie si detectia anomaliilor de propagare;

Tipul rezultatului: Raport, scripturi, 3 articole acceptate si un articol in evaluare

**Elementele de noutate** sunt date de aplicarea pentru prima data a metodei (MWCS) pentru determinarea variațiilor temporale ale vitezelor undelor seismice si identificarea unor posibile tipare specifice ale acestora, pe baza analizei corelațiilor încrucișate ale înregistrărilor de zgomot ambiental înregistrate de stațiile seismice de bandă largă din Bazinul Focșani și zonele învecinate. Folosind tehnica de corelatie MWCS am observat ca inaintea cutremurului din 22 noiembrie 2014 sunt identificate scăderi ale vitezei puse în evidență în special de ferestrele mobile pentru 5, 10 respectiv 20 de zile, cu o revenire ulterioara rapidă.

**Rezultatele activității A3.1.3** sunt: Tehnici de corelatie, detectia anomaliilor de camp geomagnetic si corelarea lor cu evenimentele vrancene moderate.

**Tipul rezultatului**: Raport, softuri – coduri si scripturi functionale; coduri de calcul si scripturi pentru invatare si identificare patternuri de comportament; seturi de date corectate; baze de date; articole publicate – 2 articole ISI, capitole in carti – 1 capitol intr-o carte in editura recunoscuta CNCSIS, 3 prezentari la conferinte, DOI pe datele magnetice, cooperare cu mediul stiintific si economic din tara si strainatate,

**Elementele de noutate:** Studiul a propus o procedură sistematică de tip retea neuronala convolutionala complexa cu mai multe straturi (similară cu modelele utilizate la recunoașterea imaginilor), precum și o serie de aplicații pentru științele pământului, pentru detectarea precursorilor seismici pe datele câmpului geomagnetic, utilizând tehnici de învățare profundă și a ilustrat aplicarea acesteia pe seturi de date de generație

viitoare provenite din configuratii optime sursă-receptor. Modelul propus este prima implementare de invatare profunda a recunoașterii precursorilor seismici pe câmpul geomagnetic și oferă o bază pentru dezvoltări teoretice ulterioare în acest domeniu.

#### Activitatea A3.2 Agregarea datelor folosind informații geofizice externe și interne

Rezultatele acestei activități sunt: Metadate pentru platforma; Tip rezultat Baze de date

Elementele de noutate: realizarea bazei de date geofizice si inscrierea in DOI (digital object identifier)

Activitatea A3.3 Testarea funcționalității platformei utilizând un grup de feedback pentru utilizatori Rezultatele acestei activități sunt: Platforma imbunatatita cu ajutorul utilizatorilor; Tip rezultat Model testat

#### Activitatea A3.4 Implementarea platformei

**Rezultatele** acestei activități sunt: Platforma geofizica publica, functionala pentru vizualizarea datelor si detectia anomaliilor; **Tip rezultat** Model public functional implementat pe serverele INCDFP.

**Elementele de noutate:** Platforma geofizica interactiva functionala este o noutate prin integrarea mai multor servicii, intr-o singura aplicatie virtuala publica ce permite vizualizarea si descarcarea datelor de interes.

Activitatea A3.5 Diseminarea rezultatelor

**Rezultatele** acestei activități sunt: articole ISI si BDI, capitole in carti, prezentari la conferinte si workshopuri, prezentari la targuri, expozitii si scoli de vara, flyere, pagina WEB.

#### Modul de diseminare a rezultatelor

Rezultatele obtinute in cadrul Etapei a treia au fost diseminate pe pagina de internet a proiectului (<u>http://phenomenal.infp.ro/rezultate.php</u>) si pe pagina de facebook a INCDFP, la targuri si la expozitii, si au fost prezentate la Conferinte Internationale si au fost publicate in articole stiintifice. Vezi Activitatea A3.5 si Anexa 1 din Platforma EVOC si lista indicatorilor extrasa din platforma EVOC.

Tipul indicatorilor	Denumirea indicatorilor	UM/an	Valoare
Indicatori de rezultat	Articole <i>publicate</i> in reviste indexate ISI		2
	Articole acceptate in reviste indexate ISI		3
	Articole in evaluare in reviste indexate ISI		3
	Articole <i>publicate</i> in reviste indexate in baze de date internationale		2
	Participari conferinte		20
	Capitole de carte	Nr.	7
	Produse Informatice	Nr.	1
	Servicii	Nr.	1
	Servicii Informatice		2
	Studii	Nr.	3
	Alte Rezultate	Nr.	2

#### Gradul de realizare a obiectivelor

Obiectivele **Etapei a IIIa, Faza de testare si implementare** (01.01.2022-21.10.2022) au fost realizate integral, atat prin realizarea celor cinci activitati propuse, cat si prin atingerea tuturor rezultatelor preconizate.

21 octombrie 2022

Director Proiect, Moldovan Iren Adelina

Au