

INTRODUCERE ÎN CERCETAREA ȘI PREDICȚIA EVENIMENTELOR SEISMICE EXTREME (EXEMPLIFICARE – MARELE CUTREMUR DIN ESTUL JAPONIEI)

Mirela-Adriana ANGHELACHE¹
mirelaadrianaa@yahoo.com

ABSTRACT: This article contains preliminary information regarding the extreme seismic events (ExSeiEv) – complex natural phenomena which could impact with disastrous consequences the society. Focusing on prediction, the article highlights the efforts and the problems which are faced by the scientific community in order to understand the occurrence of the extreme seismic events. Predictions of the extreme seismic events rely on different algorithms developed through statistical and numerical analysis of empirical data. An important task of scientific community is to refine systematically the appropriate models of earthquake occurrences. The basic algorithms of prediction which are usually used by the scientists are presented briefly in article. As well, the extreme seismic events are illustrated by the 2011 East Japan great earthquake which was one of the most destructive events for the mankind. There were approached the problems which occurred in forecasting it. Enhancing the earthquake modeling and forecasting abilities and the accuracy of the information about any possible extreme seismic event, the bottom line is to reduce the costs of the human and material damages. The information provided by the scientists to the authorities have to allow the latter ones a detailed perspective of the measures which have to be taken in the earthquake preparedness strategies and disaster management.

¹ Cercetător științific la Institutul de Geodinamică „Sabba S. Ștefănescu” al Academiei Române, membru al Diviziei de Istoria Științei a Comitetului Român de Istoria și Filosofia Științei și Tehnicii al Academiei Române.

KEYWORDS: extreme seismic events, earthquake, prediction, algorithm, disaster management, earthquake modeling, seismic hazard, pattern recognition, TIP

Considerate manifestări cheie ale dinamicii litosferei, evenimentele seismice extreme (EvSeiEx) se produc în urma destabilizării unui sistem sistem neliniar ierarhizat de blocuri tectonice care interacționează între ele. Trecerea acestui sistem, în spațiu și timp, de la stabilitate la o catastrofă, are loc în urma eliberării stresului acumulat din cauza deformărilor induse de către mișcările tectonice ale blocurilor. Pe scurt, un eveniment seismic extrem *se referă la apariția unui cutremur care comparativ cu alte cutremure este notabil, rar, unic, profund sau cu alte cuvinte semnificativ în termeni de impact, efecte sau rezultate*².

Cercetătorii au identificat două tipuri de EvSeiEx³:

(I) un cutremur cu o magnitudine a cărei valoare este peste o valoare prag a unei magnitudini predefinite și care se apropie de limita superioară a intervalului de magnitudini observate;

(II) un cutremur care duce la impacturi extreme (dezastre).

EvSeiEx, cum ar fi cutremurele din 1755 Lisabona, 1906 San Francisco, 1960 Chile, 2004 Aceh-Sumatra, 2008 Sichuan, 2011 din estul Japoniei aparțin ambelor tipuri de evenimente seismice extreme (în același timp sunt evenimente de magnitudine ridicată și au dus la pierderi considerabile de vieți omenești). Cutremurul din 2010, Chile, cu magnitudinea pe scara Richter, $M = 8,8$, aparține tipului I de evenimente extreme. Cutremurul din 2003, Bam, $M = 6,6$, sau cutremurul din 2010, Haiti, $M = 7$, pot fi caracterizate ca tipul II de ExSeiEvs.

În ceea ce privește cercetarea asupra EvSeiEx, aceasta acoperă:

- înțelegerea fenomenelor și dinamicii evenimentelor extreme;
- înțelegerea fizică a acestor evenimente extreme și modelarea lor;
- evaluarea hazardului seismic și predicția acestui tip de evenimente;
- furnizarea de informații semnificative autorităților implicate în managementul dezastrelor pentru ca acestea să poată lua măsuri de prevenție și micșorare a efectelor cutremurelor.

2 Definiție adaptată după definiția generală a evenimentelor extreme lansată la *Extreme Events Workshop*, Boulder, CO, 2000.

3 Zadeh, 2011.

Predicția evenimentelor seismice extreme, EvSeiEx, este un factor important în îmbunătățirea strategiilor pentru prevenirea impacturilor dezastrului, parte integrantă din eforturile pentru protecția populației, economiei și mediului. A face predicția unui EvSeiEx înseamnă a-i indica principalele caracteristici (timp, spațiu și magnitudinea așteptată) și de obicei se pornește de la observarea unui semnal precursor (eventual a mai multor semnale precursore). De asemenea, pentru elaborarea unui instrument de predicție este esențial să se facă analiza retrospectivă a cutremurelor din trecut (cutremure istorice) și, respectiv, să fie folosite sau compilate (unde este necesar) cataloagele seismice.

Comitetul Național de Cercetare al Statelor Unite, în urma *Dezbaterii asupra predicției cutremurelor de către Comitetul de Seismologie*, a sugerat pentru predicție următoarea definiție (1976, pg.7): *O predicție a unui cutremur trebuie să specifice intervalul de magnitudine așteptat, aria geografică în care acesta se va produce și intervalul de timp în care acesta va avea loc, cu o precizie suficientă pentru ca ultimul succes sau eșec al predicției să poată fi deja analizat. Doar printr-o înregistrare atentă și analiză a eșecurilor poate fi evaluat eventualul succes al întregului efort și trasate direcții viitoare de cercetare. În plus, oamenii de știință trebuie să atribuie un nivel de încredere fiecărei predicții.*

Metodologia predicției integrează modelarea numerică, analizele datelor exploratorii, experiența teoretică și practică, chiar dacă predicția este intuitivă. Aceasta poate fi dezvoltată în trei pași⁴:

- 1: se distribuie instrumentele de detectare a precursorilor în zona cutremurelor viitoare,
- 2: se detectează și recunosc precursorii,
- 3: mai întâi trebuie ca societatea științifică să fie convinsă să accepte predicția și după aceea se face predicția publică prin canalele de comunicare adecvate.

În predicția cutremurelor se pot face estimări pe 4 intervale de timp: 1.) pe termen lung (se folosește o scară a deceniilor), 2.) pe termen mediu (de la un an la câțiva ani), 3.) pe termen scurt (de la zi la săptămâni sau luni) și 4.) imediate (de la secunde la ore).

Acest lucru este sistematizat și în tabelul de mai jos, în funcție de intervalul de timp pentru care se face predicția și mărimea sursei cutremurului:

4 Scholz, C.H., 1997.

Tabel: Tip de predicție a cutremurelor în funcție de intervalul de timp acoperit și mărimea liniară⁵ a sursei (după Zadeh, 2011)

Timp (ani)		Sursă, mărimea sursei, L	
Termen lung	10	Interval lung	Până la 100 L
Termen mediu	1	Interval mijlociu	5–10 L
Termen scurt	0,01–0,1	Interval îngust	2–3 L
Imediat	0,001	Exact	1 L

Predicția este formulată ca o secvență discretă de alarme. Fiecare alarmă indică timpul și spațiul unde evenimentul extrem este prevăzut să se producă. Calitatea predicției este reprezentată de:

- rata alarmelor false;
- rata de eșecuri a predicției;
- durata totală a alarmelor (Molchan, 2003, 2008).

În zilele noastre, cele mai promițătoare abordări sunt cele reprezentate de predicția cutremurelor pe termen mediu bazată pe detectarea unor variații certe în seismicitatea de fond care precede cutremurele majore⁶. Precizia predicției cutremurelor este totuși destul de scăzută, comparativ de ex. cu previziunile meteo, și este condiționată de o serie de limitări.

Oamenii de știință nu știu destul de bine: i) cum funcționează cutremurele, în special evenimentele seismice puternice, ii) când începe și se sfârșește un cutremur și ce magnitudine este de așteptat, iii) cum se formează un *cluster* de cutremure în funcție de transferul de stres, iv) care sunt condițiile inițiale de stres înainte de un eveniment seismic puternic (Zadeh, 2010). În descrierea mecanismelor fizice de producere a unui cutremur, cum ar fi dinamica neliniară a sistemului de falii sau „fluxul” de cutremure, tot Zadeh remarcă că nu există ecuații de tipul ecuațiilor Navier-Stokes din meteorologie, care descriu fluxul de aer și care permit previziuni meteo destul de precise pe o perioadă de timp ce se poate extinde de la o zi la mai multe.

⁵ Notă: precizia spațială a predicției depinde de mărimea sursei L a cutremurelor urmărite.

⁶ Cutremure cu $M \geq 7$.

Algoritmi pentru predicția pe termen mediu – prezentare generală

Predicțiile cutremurelor în intervalul de timp mediu se fac în general cu ajutorul algoritmilor CN⁷ (Keilis-Borok și Rotwain, 1990) sau M8⁸ (Keilis-Borok și Kossobokov, 1990). Acești algoritmi aparțin unei familii de metode definite formal pentru predicții ale cutremurelor pe termen mediu și care se bazează pe variațiile observate ale seismicității de fond (care precede cutremurele majore) rezultate în urma aplicării relației frecvență-magnitudine, Gutenberg-Richter. Algoritmii se bazează pe un set multiplu de patternuri premonitorii care a fost conceput urmărind conceptele generale ale recunoașterii pattern (a evenimentului extrem) și care implică definiții stricte și reproductibile ale rezultatelor predicțiilor.

Tehnica recunoașterii pattern este folosită pentru identificarea, independent de informația seismică, a zonelor unde pot apărea cutremure puternice. Ea se bazează pe ipoteza că evenimentele seismice puternice se produc la *noduri*, care sunt structuri specifice ce se formează în jurul intersectării zonelor de falii. Definirea nodurilor se face pe baza datelor geologice, tectonice și topografice (metoda zonării morfostructurale). Această abordare a fost aplicată în multe regiuni, iar în ultimele 3 decenii predicțiile făcute au fost urmate de multe evenimente (aproximativ 85% din total) care s-au produs în unele dintre nodurile identificate anterior a fi zone potențiale pentru apariția evenimentelor seismice puternice⁹.

Patternurile premonitorii sunt deviații ale activității seismice de fond a unui sistem de la media pe termen lung, acestea apar mult mai frecvent atunci când se apropie un eveniment extrem. Patternurile premonitorii pot fi *preparatorii* (contribuie la formarea unui eveniment) sau *martori*¹⁰. Un model premonitoriu poate prezice nu eveniment extrem în sine, ci destabilizarea unui sistem pe care îl pregătește pentru acel eveniment.

Patternurile premonitorii permit diagnoza perioadelor de timp de probabilitate ridicată, TIP, pentru apariția unui cutremur major cu o

7 Prescurtarea vine de la *California-Nevada* și metoda de predicție folosește informația dată de cutremurele mici și moderate, care respectă relația G-R (deci o bună statistică) pentru a prezice cutremurele cele mai puternice care sunt evenimente anormale (prin urmare nu respectă relația G-R) într-o anumită zonă.

8 Această metodă de predicție a cutremurelor pe termen mediu a fost destinată analizei retroactive a dinamicii activității seismice care precede cutremurele cele mai mari din întreaga lume, cu $M \geq 8$ – de aici venindu-i și numele

9 Panza, 2011.

10 Un martor proverbial sunt paiele care se rotesc în aer înainte de producerea unui uragan.

magnitudine mai mare decât o magnitudine prag stabilită, M_0 , într-o regiune și fereastră de timp date.

Cuantificarea modelelor de seismicitate se face printr-un set de funcții de timp empirice, evaluate în secvența șocurilor principale care au apărut în regiunea analizată, fiecare șoc reprezentând un precursor reproductibil.

Algoritmii normalizați în totalitate și testați global pentru predicție sunt:

- Algoritmul CNN (Gabrielov *et al.*, 1986; Rotwain și Novikova, 1999)
- Algoritmul M8 (Keilis-Borok și Kossobokov, 1987; Kossobokov *et al.*, 1999)

Este necesar să se facă normalizarea (funcțiile sunt normalizate cu o magnitudine minimă de tăiere, M_{\min} , definită de una sau mai multe condiții) pentru a se asigura o aplicare uniformă a aceluiași set de parametri ajustabili din regiunile cu activitate seismică.

Acești algoritmi permit să se indentifice TIP-urile pentru apariția unui cutremur major într-o regiune definită. Așa cum s-a menționat mai sus, la baza algoritmilor stă un set de funcții empirice care permit o analiză cantitativă a patternurilor premonitorii ce pot fi detectate în fluxul de cutremure, și anume:

- variații în activitatea seismică;
- calmul seismic;
- apariția în spațiu-timp a unor *clusteri* de evenimente seismice.

Rezultatele testării experimentale globale în timp real a algoritmilor M8 și CN (Kossobokov *et al.*, 1999; Rotwain și Novikova, 1999) indică posibilitatea unei metode practice de predicție a cutremurelor, deși cu o acuratețe limitată (de ex., cu un interval de timp-alarmă caracteristic cuprins într-un interval de timp de la câteva luni la câțiva ani și într-o incertitudine spațială de sute de km). Incertitudinea spațială poate fi redusă prin folosirea combinată a informațiilor seismologice, geologice și morfostructurale.

Predicția unui eveniment seismic extrem poate fi inclusă în scenariile deterministe și probabiliste de hazard seismic pentru zonele expuse evenimentelor seismice extreme, dar și în tehnicile mai noi, bazate pe scenariile neo-deterministe multi-scală de hazard seismic.

EvSeiEx – Marele cutremur din estul Japoniei¹¹

Cutremurul din 11 martie 2011, care s-a produs pe coasta Pacificului, la Tohoku, și cunoscut drept cutremurul Tohoku din 2011 sau Marele cutremur din estul Japoniei a avut magnitudinea din moment $M_w = 9$ (magnitudine care descrie energia seismică total eliberată).

Acesta a fost un cutremur submarin, cu epicentrul la 70 km est de peninsula Oshika a regiunii Tohoku și hipocentrul la 32 km adâncime, fiind un cutremur cu mecanismul din focar tip falie inversă, de mega-încălzire. Modelarea rupturii acestui cutremur a indicat că falia s-a deplasat în sus la 30–40 m înălțime și a alunecat pe o arie de aproximativ 300 km lungime (pe direcție) și 150 km lățime (pe înclinare).

Localizarea, adâncimea și mecanismul din focar ale cutremurului din 11.03.2011 sunt consistente cu cele ale unui eveniment care se produce la o margine de placă unde are loc fenomenul de subducție. Placa Pacific se mișcă aproximativ spre vest în funcție de placa Americii de Nord, cu o viteză de 83 mm/an și descinde sub Japonia în dreptul fosei japoneze. Unii autori consideră că mai multe microplăci definesc mișcările relative dintre plăcile Pacific, America de Nord și Eurasia; acestea includ microplăcile Okhotsk și Amur, care sunt parte din plăcile America de Nord și Eurasia.

Cutremurul din 11 martie a fost precedat cu 2 zile înainte de o serie de precursori de magnitudine ridicată, începând cu evenimentul seismic cu $M = 7,2$, din 9 martie, care s-a produs la aproximativ 40 km de epicentrul cutremurului din 11 martie, și a continuat cu alte trei cutremure cu $M = 6$ în aceeași zi.

Marele cutremur a fost cel mai puternic cutremur care a lovit Japonia până acum și se numără printre primele cele mai puternice cinci cutremure care au fost înregistrate vreodată pe glob, o dată cu dezvoltarea (începând din anul 1900) a înregistrărilor instrumentale moderne.

Cutremurul a fost atât de puternic încât insula Honshu a fost mutată cu 2,4 m mai spre est. De asemenea, au fost observate alunecări de teren – lichefiere și fenomene de tasare.

Tsunamiul provocat de cutremur a fost extrem de distructiv, valurile ajungând până la 40,5 m în provinciile Miyako, Iwate, Tohoku. În unele locuri valurile au înaintat până la 10 km pe uscat. În plus față de pierderile de vieți omenești și distrugerilor cauzate clădirilor și infrastructurii,

¹¹ O serie din informații sunt luate de pe site-ul USGS (U.S.Geological Survey) (<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/>).

tsunamiul a provocat un număr de accidente nucleare, de nivel 7, în care trei reactoare s-au topit la centrala nucleară Fukushima I. În atmosferă s-au răspândit cantități impresionabile de particule radioactive. Operațiunile de evacuare a zonelor de lângă centrală au afectat sute de mii de rezidenți.

Pierderi materiale și de vieți omenești

Pierderile materiale și de vieți omenești au fost imense: conform datelor USGS, mai mult de 20000 de persoane au fost ucise și 314 au fost rănite. 130927 de persoane au rămas fără case și cel puțin 332395 clădiri, 2126 drumuri, 56 poduri și 26 căi ferate au fost distruse sau avariate de cutremur și tsunami de-a lungul întregii coaste de est a Honshu, de la Chiba la Aomori. Majoritatea victimelor și pagubelor a fost în Iwate, Miyagi și Fukushima, din cauza tsunamiului format în Pacific. Pierdere economică totală în Japonia a fost estimat la 309 miliarde de dolari americani.

Istoric al cutremurelor majore din zona de subducție de la fosa Japoniei

Zona de subducție de la fosa Japoniei a găzduit 9 evenimente seismice de magnitudine $M \geq 7$, începând din 1973. Cel mai mare dintre acestea a fost un cutremur cu $M = 7,8$ care s-a produs în decembrie 1994, la aproximativ 260 km nord față de epicentrul cutremurului din 11 martie și care a provocat moartea a 3 persoane și rănirea a circa 700. În iunie 1978, un cutremur de $M = 7,7$, produs la 35 km sud-vest de epicentrul cutremurului actual, a provocat moartea a 22 de persoane și rănirea a peste 400. În aceeași zonă de subducție, în anii 1611, 1896 și 1933 s-au produs în larg cutremure puternice și fiecare au iscat câte un tsunami devastator pe coasta Sanriku, din nord-estul Japoniei. Această linie de coastă este în special vulnerabilă la tsunamiuri deoarece are multe golfuri adânci care amplifică valurile și din această cauză au loc inundații mari.

Cutremurul de $M = 7,6$, din zona de subducție, care a avut loc în 1896, a iscat valuri mai înalte de 38 m, înregistrându-se un număr de 27000 de victime.

Cutremurul de magnitudine $M = 8,6$, din 2 martie 1933, a iscat valuri de 29 m înălțime care au lovit coasta Sanriku și a dus la moartea a 3000 de persoane. Spre deosebire de cutremurul de magnitudine 9, cutremurul din 1933 nu s-a produs în urma rupturii tip falie inversă de la interfața plăcilor zonei de subducție, ci mai degrabă s-a produs în placa Pacific.

Cutremurul din 11 martie 2011 a depășit ca magnitudine toate cutremurele de la marginea de placă cu regim de falie inversă din sudul fosei

Japoniei care s-au produs după 1900 – nici unul dintre acestea nu a depășit $M = 8$. Un predecesor ar putea fi cutremurul din 13 iulie 869, atunci când regiunea Sendai a fost măturată de un tsumani uriaș pe care oamenii de știință japonezi l-au identificat din însemnările istorice și din stratigrafie.

Probleme de predicție

Japonia are cea mai densă rețea din seismometre din lume, cele mai înalte diguri împotriva tsunamiurilor și cele mai extinse sisteme de avertizare a cutremurelor. Populația este instruită mult mai riguros decât oricine pentru a ști ce să facă în caz de cutremure și tsunamiuri. Totuși, cutremurul de magnitudine 9 a întrecut toate previziunile, iar tsunamiul, subestimat ca înălțime, a distrus cel mai înalt dig ridicat împotriva tsunamiurilor și a luat oamenii prin surprindere. De asemenea, sistemul de avertizare a dat greș. Fără îndoială că una dintre cele mai importante probleme a fost cea legată de predicția cutremurului.

Testarea globală a algoritmului de predicție M8-MSc¹² pentru predicția unui eveniment seismic extrem, cu $M \geq 8$ a lansat TIP-ul începând din iulie 2010 până în iulie 2011. Din păcate, în Japonia TIP-ul a fost anulat în ianuarie 2011.

Harta de hazard seismic a Japoniei – versiunea cea mai recentă a fost lansată în martie 2009 – împarte zona coastei din nordul Japoniei în cinci zone seismice și presupune 7 scenarii diferite. Fiecăreia dintre ele îi este destinat o probabilitate de ruptură a faliiilor dedusă din înregistrările istorice ale cutremurelor. Astfel, regiunii sudice de coastă, Sanriku, care a inclus și epicentrul acestui cutremur, i-a fost dată o șansă de ruptură de 30–40% în următorii 10 ani și o șansă de ruptură de 60–70% în următorii de 20 de ani. Aceste procente sunt destul de mari, lucru care însemna că acest cutremur putea avea loc în orice zi. Afirmatia îi aparține cercetătorului japonez Yoshinori Suzuki de la „Divizia pentru cercetare în scopul reducerii dezastrelor rezultate în urma producerii cutremurelor” din cadrul Departamentului de Științe, cel care a coordonat realizarea hărții de hazard. Dar comunitatea științifică s-a așteptat ca falia să producă un cutremur cu o magnitudine de 7,7 – aproximativ la fel ca oricare alt cutremur istoric din zonă (v. *Nature* 471, 274; 2011).

12 Variantă a M8, MSc sau „scenariul Mendocino” a fost inițial destinat unei analize retroactive a catalogului seismic regional realizat înainte de cutremurul Eureka (1980, $M = 7,2$) care a avut loc lângă Cape Mendocino.

Concluzie

Nimic nu este în plus pentru predicția unui eveniment seismic puternic și în consecință pentru punerea la punct a unor strategii adecvate de pregătire în caz de cutremur și prevenire a impacturilor unui eventual dezastru. În acest sens, unul dintre scopurile oamenilor de știință este și acela de a crește precizia unor predicții pe termen mediu folosind cu încredere toate instrumentele puse la dispoziție de matematică, fizică, statistică și modelare computerizată coroborate cu datele obținute din studiile seismologice, geodezice și geologice. Surprinși de cazul Japoniei, ne punem întrebarea dacă uneori nu este de preferat o supraestimare a unui hazard seismic unei subestimări? Lucrul acesta presupune costuri pe măsură, dar cu certitudine acolo unde o predicție a unui eveniment seismic puternic a fost o dată validată, chiar cu o precizie redusă, trebuie avute în vedere soluții de eficientizare cât mai rapidă a unor investiții cu siguranță necesare în reducerea posibilelor daune provocate de un un posibil dezastru.

Bibliografie:

- [1] Gabriellov, A. M., Keilis-Borok, V. I., Levshina, T. A., Shaposhnikov, V. A., 1986, *Block model of dynamics of the lithosphere*, in Keilis-Borok, V.I. and Levshin, A.L., (eds), *Mathematical Methods in Seismology and Geodynamics*, Moscow, Nauka, pp. 168–178 (*Comput. Seismol.*; Iss. 19, in Russian), English translation: *Computational Seismology*, Vol. 19, Allerton Press Inc., 1986, pp. 168–177.
- [2] Ismail-Zadeh, A., 2010, *Computational geodynamics as a component of comprehensive hazard analysis*, chapter in Beer, T., 2010. *Geophysical Hazards: Minimizing Risk, Maximizing Awareness*, Springer, Heidelberg, p. 161–177.
- [3] Ismail-Zadeh, A., 2011, *Understanding extreme seismic hazards, from modeling to prediction to preventive disaster management*, power point presentation at Advanced School on Understanding and Prediction of Earthquakes and the Extreme Events in Complex Systems, 26 sept.–8 oct, 2011.
- [4] Keilis-Borok, V. I. & V. G. Kossobokov, 1987, *Periods of high probability of occurrence of the world's strongest earthquakes*, *Computational Seismology* 19, Allerton Press Inc., 45–53.
- [5] Keilis-Borok, V. I., and I. M. Rotwain, 1990, *Diagnosis of time of increased probability of strong earthquakes in different regions of the world: algorithm CN*, *Phys. Earth Planet. Int.*, 61, 57.
- [6] Keilis-Borok, V. I. & Kossobokov, V. G., 1990, *Premonitory activation of seismic flow: Algorithm M8*, *Phys. Earth and Planet. Inter.* 61, 73–83.

- [7] Kossobokov, V. G., V. I. Keilis-Borok, L. L. Romashkova, and J. H. Healy, 1999, *Testing earthquake prediction algorithms: Statistically significant real-time prediction of the largest earthquakes in the Circum-Pacific, 1992–1997*, *Phys. Earth Planet. Int.*, 111, (3–4), 187.
- [8] Molchan, G. M., 2003, *Earthquake prediction strategies: A theoretical analysis*, in: *Nonlinear Dynamics of the Lithosphere and Earthquake Prediction*, edited by Keilis-Borok, V. I. and Soloviev, A. A., p. 209–237, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg.
- [9] Molchan, G. M., Keilis-Borok, V., 2008, *Earthquake prediction: Probabilistic aspect*, *Geophys J Int* 173(3): 1012–1017.
- [10] Panza, G.F., and the Sand group, 2011, *Earthquake prediction and prevention for a disaster resilient society*, power point presentation at Advanced School on Understanding and Prediction of Earthquakes and the Extreme Events in Complex Systems, 26 sept.–8 oct, 2011.
- [11] Rotwain, I.M., Novikova, O., 1999, *Performance of the earthquake prediction algorithm CN in 22 regions of the world*, *Phys Earth Planet Inter* 111, 207–213.
- [12] Scholz, C.H., 1997, *Whatever happened to earthquake prediction*, *Geotimes*, 42(3), 16–19.