

# MĂSURAREA CUTREMURELOR

## DEFORMAREA SEISMICĂ. UNDELE SEISMICE

Atunci când o falie se rupe, aceasta provoacă două tipuri de deformări: statice și dinamice.

Deformarea statică reprezintă deplasarea permanentă a solului ca urmare a producerii evenimentului seismic. Ciclul producerii unui cutremur (ipotetic vorbind) poate fi descris considerând inițial o falie care nu este supusă niciunui tip de tensiune (stress); urmează etapa acumulării tensiunii pe falie, eliberarea de energie (când tensiunea depășește o anumită valoare de prag) în timpul producerii cutremurului și revenirea la starea inițială a faliei.

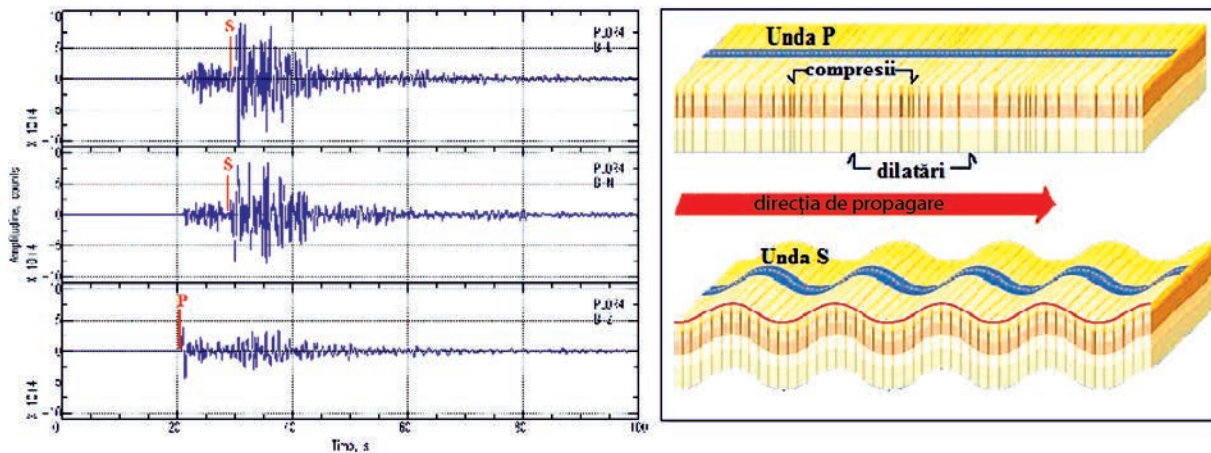
Al doilea tip de deformare, *deformarea dinamică*, este reprezentat de undele formate în timpul producerii unui cutremur. Cea mai mare parte a energiei tectonice care provoacă ruperea faliei este asociată deformării statice. Restul de energie se poate disipa sub forma undelor seismice sau poate rămâne la nivelul faliei.

În funcție de tipul de propagare a undelor seismice, acestea sunt împărțite în *unde de volum* (care se propagă atât la suprafața, cât și în interiorul Pământului) și *unde de suprafață* (care se propagă pe suprafața Pământului și în stratele de grosime variabilă din imediata vecinătate a suprafeței terestre).

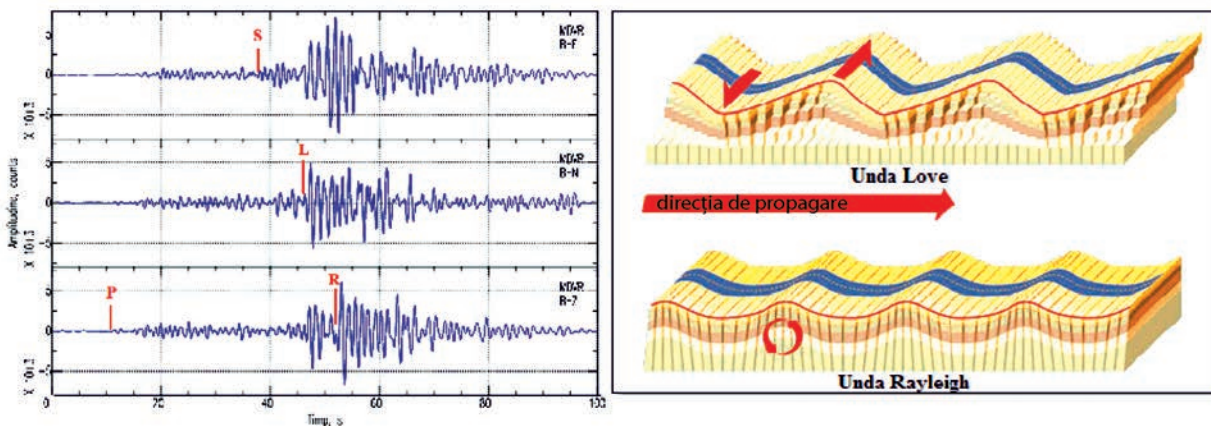
În funcție de direcția de propagare, undele de volum sunt împărțite în unde compresionale, cunoscute și sub numele de unde P (primare), și unde de forfecare, numite și unde S (secundare). Undele P (fig. III.1, dreapta, sus) se propagă longitudinal (deci mișcarea solului produsă de aceste unde va fi pe direcția longitudinală, efectele fiind mai mici) și au cea mai mare viteză de propagare (între 1,5 și 8 km/s în crustă). Undele S (fig. III.1, dreapta, jos) se propagă pe direcția transversală (deci mișcarea solului se va produce perpendicular pe direcția de propagare, efectele fiind mai puternice), cu o viteză de 1,74 din viteza de propagare a undelor P.

Undele de suprafață (fig. III.2, dreapta) apar foarte clar, mai ales pe înregistrările provenite de la cutremurele crustale, și sosesc, în general, sub forma unui pachet bine individualizat pe seismogramă printr-o amplitudine mare. Undele de suprafață prezintă frecvent fenomenul de dispersie (dependența vitezei de propagare de perioadă/lungimea de undă).

Există două tipuri principale de unde de suprafață: undele Love (L) și undele Rayleigh (R). Undele Love sunt unde de forfecare în plan orizontal, iar la undele Rayleigh mișcarea particulei asociate este o elipsă (situată în planul vertical) parcursă în sens retrograd: componenta orizontală a mișcării particulelor este orientată invers față de direcția de propagare a undei (fig. III.2).

Sosirile undelor P și S înregistrate la stația Ploștina (PLOR) (stânga) și reprezentarea modului lor de propagare (sursa: <http://www.sms-tsunami-warning.com/pages/seismic-waves>)

Sosirile undelor P,S,L,R înregistrate la stația Moldovița (MDVR) (stânga) și reprezentarea modului de propagare a undelor de suprafață (L,R) (dreapta) (sursa: <http://www.sms-tsunami-warning.com/pages/seismic-waves>)

Undele seismice dinamice, tranzitorii, generate de orice cutremur major se vor propaga peste tot în jurul Pământului și în întregime prin interiorul Pământului. Ținând cont de sensibilitatea seismografului, este posibil să se înregistreze undele seismice generate de evenimente de magnitudine mică, produse oriunde în lume.

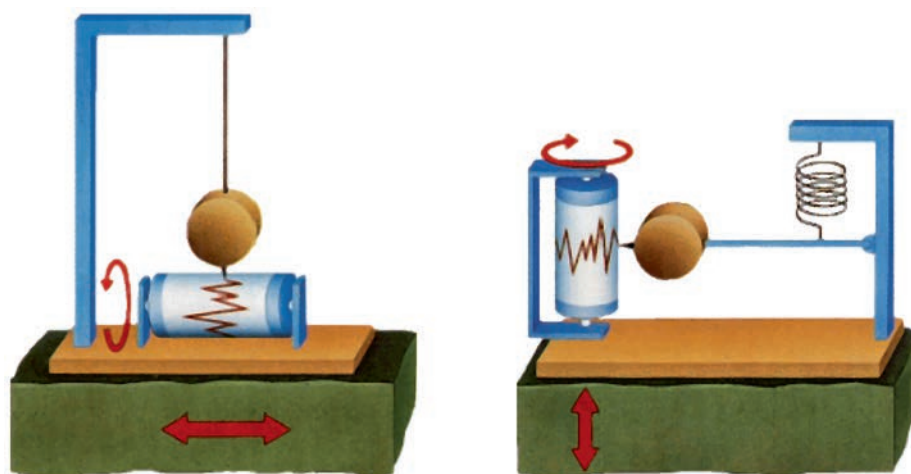
## LOCALIZAREA CUTREMURELOR

**Seismograful** (fig. III.3) reprezintă principalul instrument cu ajutorul căruia sunt detectate și înregistrate cutremurele. Mii de seismografe sunt în funcțiune în întreaga lume. Un seismograf este, de fapt, un pendul simplu. Atunci când se produce cutremurul, pilastrul



se mișcă odată cu solul, dar, datorită inerției, masa pendulului rămâne pe loc. Astfel, se creează o mișcare relativă la mișcarea solului, care va fi înregistrată de deplasările pendulului. Acestea se modifică în timp, rezultând astfel o înregistrare numită **seismogramă**. Seismogramele pot fi înregistrate analog (pe hârtie) sau digital (urmând a fi vizualizate pe monitoarele calculatoarelor). Un seismograf poate conține trei brațe orientate diferit pentru a înregistra mișcarea solului pe trei direcții distincte, precum: nord-sud, est-vest și verticală, permițând astfel oamenilor de știință să estimeze distanța epicentrală, direcția față de epicentru și magnitudinea cutremurului.

fig.  
III.3

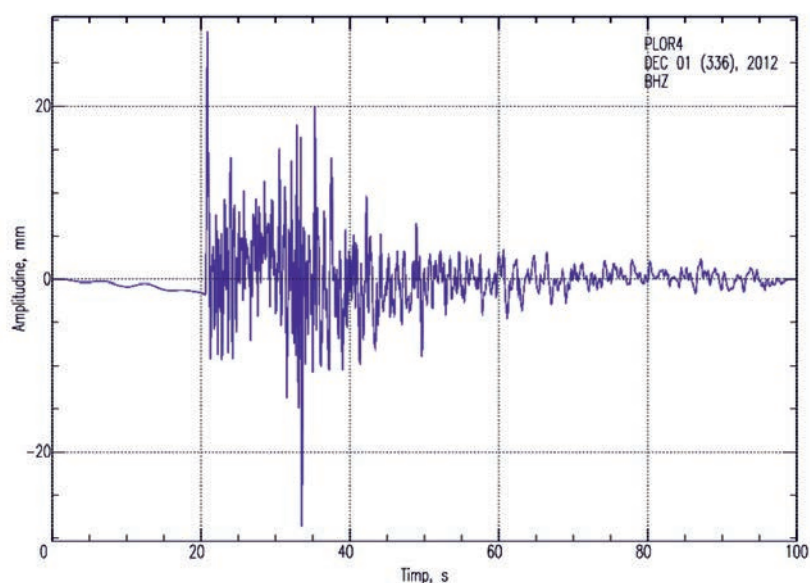


Reprezentarea seismografului și a seismogramelor înregistrate pe componentele orizontală (stânga), respectiv verticală (dreapta)

În funcție de elementele pe care le înregistrează, instrumentele seismice sunt de mai multe feluri:

- seismometrul, care înregistrează vectorul deplasare, iar rezultatul înregistrării este seismograma (fig. III.4);

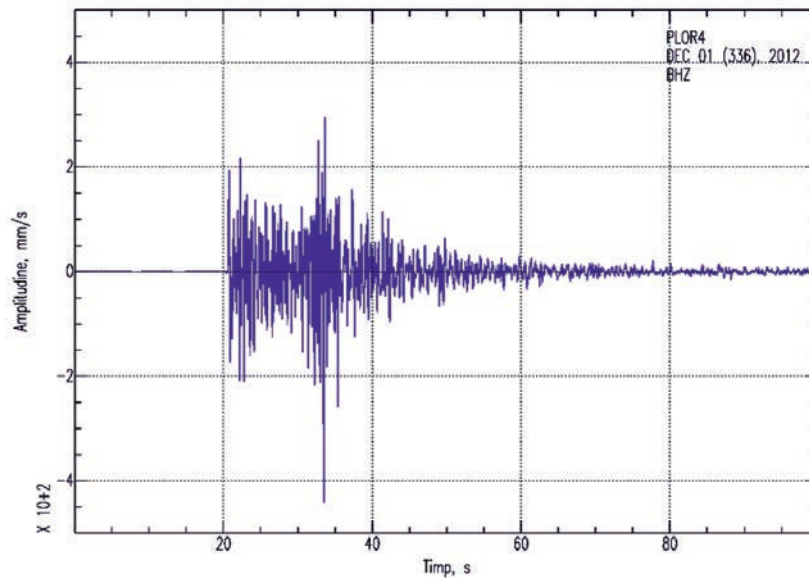
fig.  
III.4



Seismogramă înregistrată la stația PLOR, componenta verticală

- vitezometrul (vitezograf), care înregistrează vectorul viteză, rezultatul înregistrării fiind vitezograma (fig. III.5);

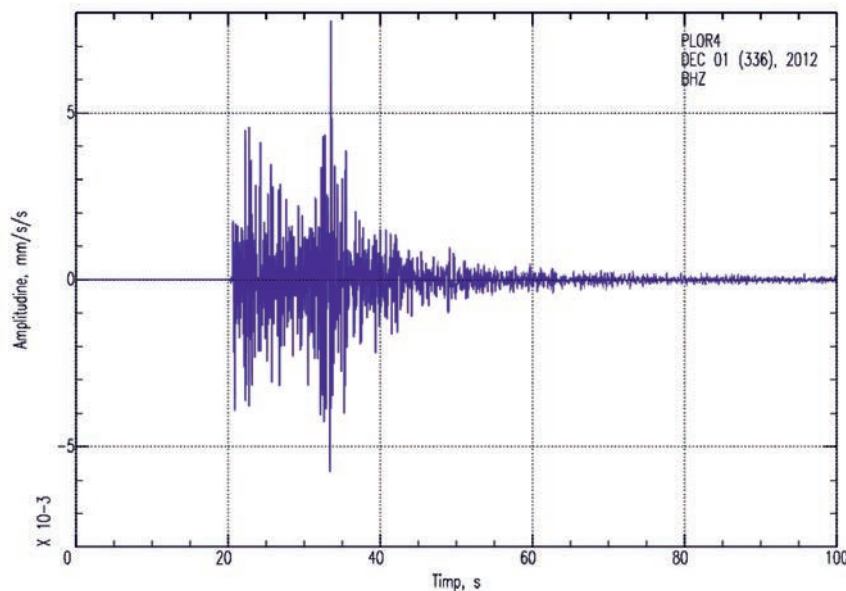
fig.  
III.5



Seismograma (vitezograma) înregistrată la stația PLOR, componenta verticală

- accelerometrul (accelerograf), care înregistrează vectorul accelerație, rezultatul înregistrării fiind accelerograma (fig. III.6).

fig.  
III.6



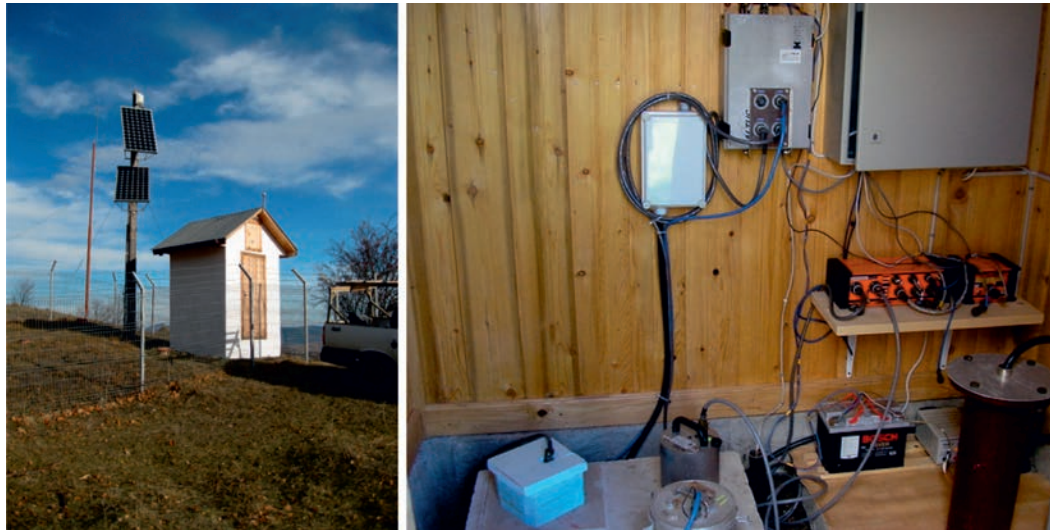
Seismograma (accelerograma) înregistrată la stația PLOR, componenta verticală

O stație seismică modernă (fig. III.7) este compusă dintr-un seismograf care înregistrează semnalul seismic, după care acesta este transmis unui digitizor care are rolul de a converti aceste înregistrări în date digitale (seismograme digitale). La digitizor este conectat un receptor GPS care ajută la determinarea coordonatelor geografice ale stației și un hard disk pentru colectarea datelor sau o legătură de internet pentru accesarea datelor înregistrate. Stația este conectată la o sursă de energie electrică (rețeaua de tensiune sau panouri solare).



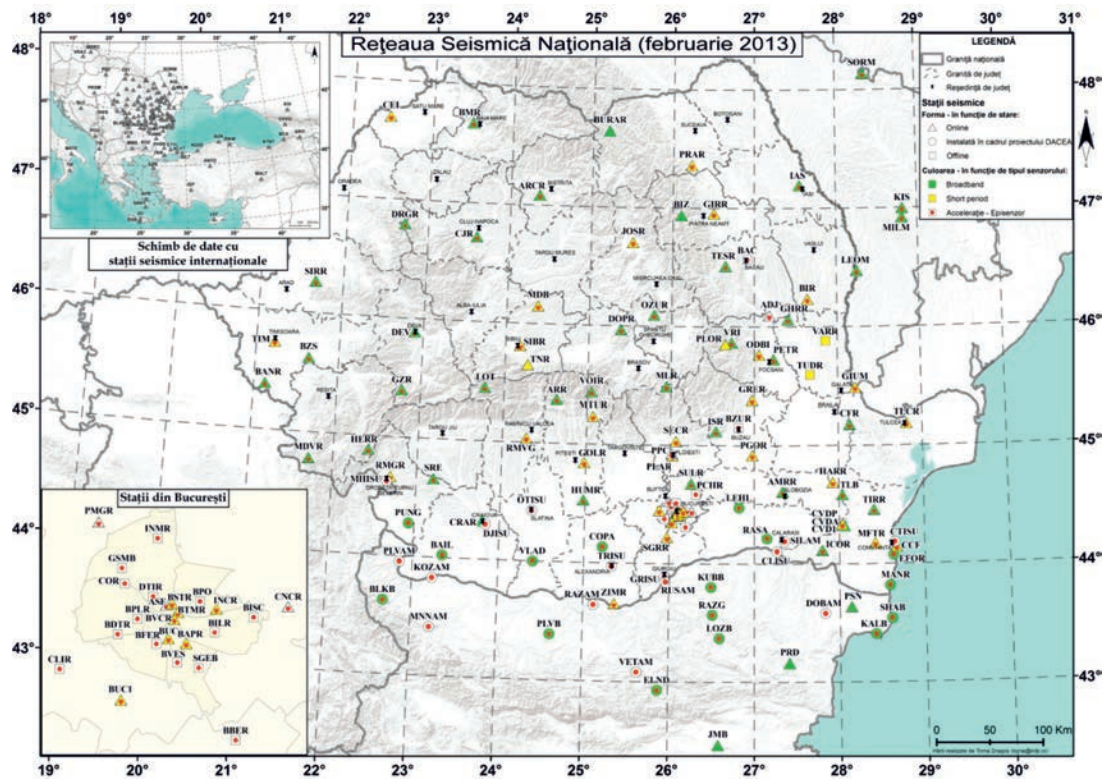
Mai multe stații seismice formează o *rețea seismică*. Există atât rețele seismice aparținând diferitelor țări (Rețele Seismice Naționale – fig. III.8), cât și Rețele Seismice Globale (aparținând diverselor organizații care se ocupă cu monitorizarea cutremurelor sau/și a exploziilor – fig. III.9).

fig. III.7

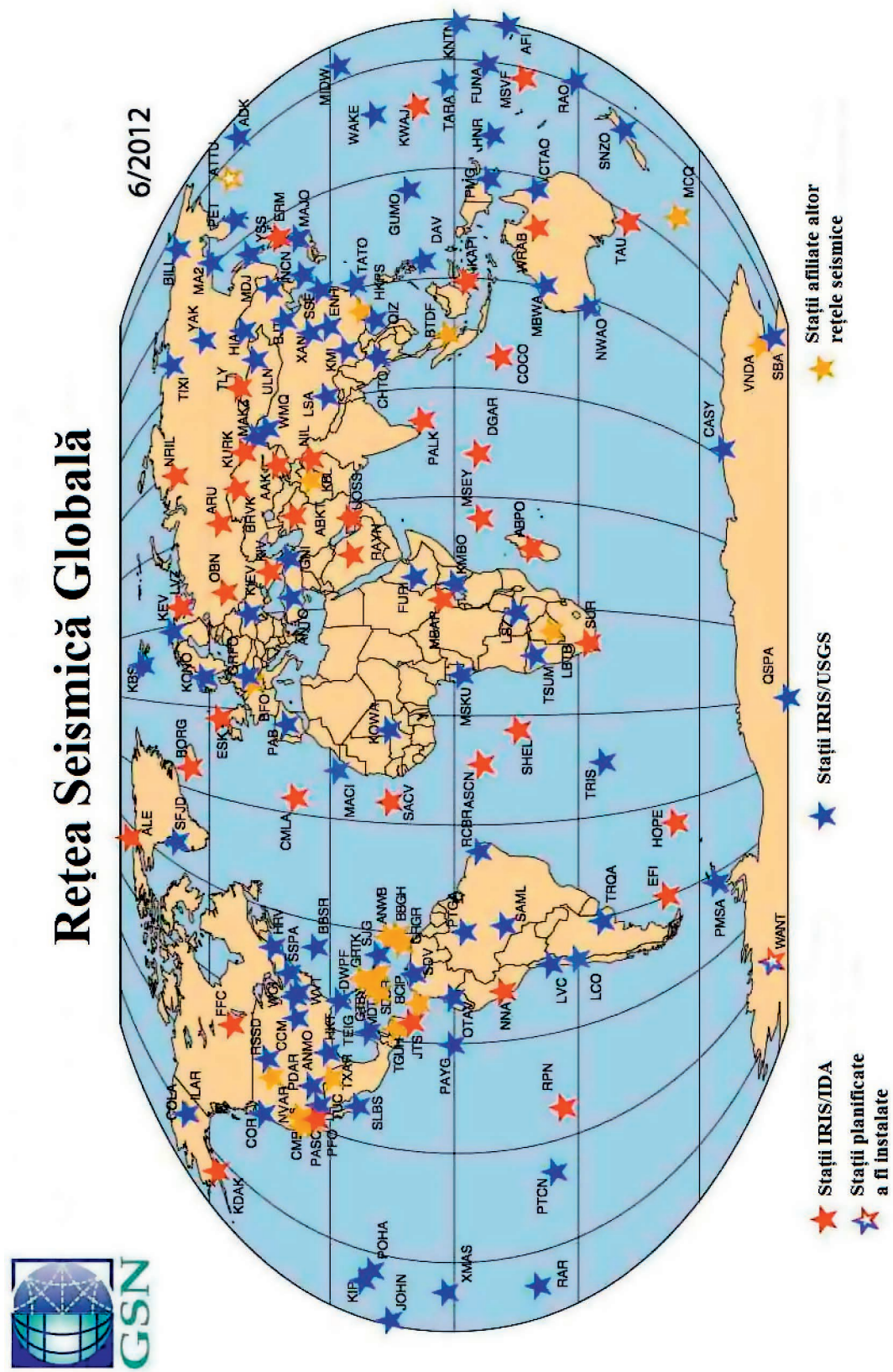


Imaginea unei stații seismice în exterior (stânga) și în interior (dreapta)

fig. III.8



Harta stațiilor Rețelei Seismice Naționale



# Retea Seismică Globală

6/2012



- Stații IRIS/IDA
- Stații IRIS/USGS
- Stații afiliate altor rețele seismice
- Stații planificate a fi instalate

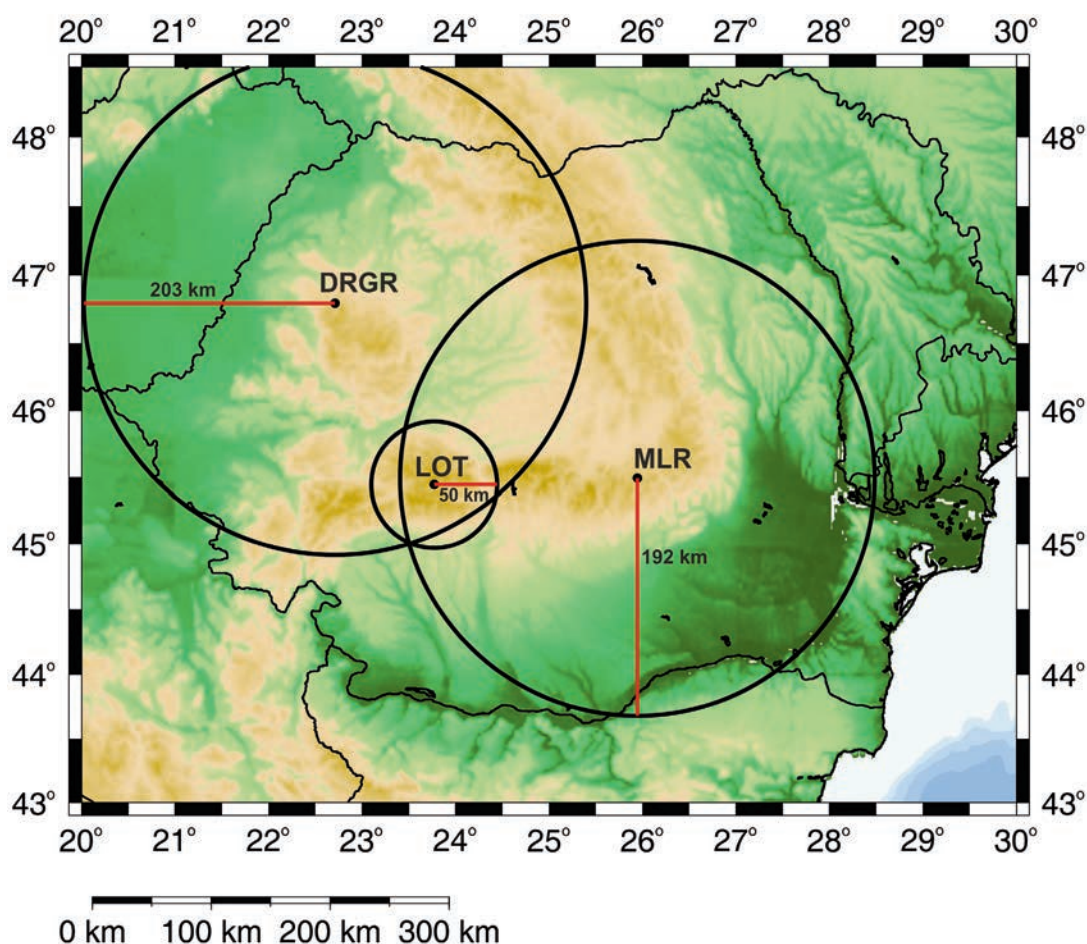
Harta stațiilor seismice aparținând diferitelor centre seismologice internaționale (după <http://www.iris.edu/hq/programs/gsn>)



Seismologii folosesc rețelele de stații seismice pentru a localiza cutremurele și pentru a estima cu mai mare precizie ceilalți parametri ai acestora. Localizarea sursei oricărui cutremur este importantă în evaluarea daunelor pe care evenimentul le-ar putea produce, precum și la determinarea cât mai exactă a proprietăților geologice/tectonice ale regiunii.

Presupunând că avem la dispoziție înregistrarea seismogramei unei singure stații seismice, vom putea măsura diferența timpilor de propagare (S-P). Înmulțind diferența timpilor de propagare (exprimată în secunde) cu viteza medie de propagare a undelor primare (8 km/s), se determină distanța dintre stație și eveniment (distanța epicentrală exprimată în km). Prin desenarea unui cerc pe o hartă în jurul stației, cu raza egală cu distanța epicentrală, vom găsi toate locațiile posibile pentru eveniment. Repetând același procedeu pentru o nouă stație, vom reduce posibilele localizări ale evenimentului la două puncte. Adăugând o nouă stație și repetând procedeu descris anterior, al treilea cerc va intersecta unul dintre cele două puncte determinate anterior, stabilind astfel epicentrul real al evenimentului (fig. III.10). Figura III.10 reprezintă un exemplu de identificare a epicentrului unui cutremur produs în regiunea Vrancea, utilizând stațiile DRGR (Drăgan), LOT (Lotru) și MLR (Muntele Roșu). Folosind distanțele epicentrale indicate (ca raze ale cercurilor), toate cele trei cercuri se intersectează într-un singur punct.

**fig.**  
**III.10**



Reprezentarea metodei triangulației

## CUM MĂSURĂM CUTREMURELE?

### Scara de magnitudine

Mărimea cutremurelor variază extrem de mult. Amplitudinile mișcărilor solului variază cu un factor de până la ordinul miilor, în funcție de puterea cutremurului. Pentru a exprima mărimea unui cutremur, se folosește o scară logaritmică, elaborată, în 1935, de *Charles Richter* și *Beno Gutenberg*, cunoscută ulterior ca *scara de magnitudine Richter*. Prin urmare, magnitudinea unui cutremur este „logaritmul în baza 10 al amplitudinii maxime a undei seismice (măsurate în miimi de milimetru), înregistrate pe un seismograf standardizat (*Wood Anderson*) la o distanță de 100 km de epicentrul cutremurului” [1]. De-a lungul timpului, au fost elaborate mai multe scări de magnitudine (de ex., magnitudinea din unde de suprafață –  $M_s$ , magnitudinile din unde de volum –  $M_b, m_b, m_b$ ), dar cea mai utilizată rămâne scara de magnitudine Richter, gradată de la 1 la 9. Fiind o scară logaritmică, modificarea cu un grad a magnitudinii înseamnă o modificare de 10 ori a amplitudinii undelor seismice.

### Energia seismică

Charles Richter a corelat amplitudinea undelor seismice cu energia eliberată în timpul producerii cutremurului, concepând o formulă care asociază cele două mărimi:

$$\text{Log } E = 11,8 + 1,5 M_L \quad (1)$$

unde  $E$  este energia eliberată (măsurată în ergi) și  $M_L$  este magnitudinea Richter a cutremurului corespunzătoare. Din relația (1) se demonstrează prin calcul că, pentru fiecare creștere a magnitudinii cu 1 grad, energia eliberată va fi de 31 de ori mai mare.

Scara de magnitudine Richter ( $M_L$ ) a fost extinsă ulterior pentru măsurarea cutremurelor produse până la distanțe epicentrale de 700 km. Deoarece cutremurele generează atât unde de volum, care se propagă prin Pământ, cât și unde de suprafață, au fost dezvoltate alte două scări de magnitudine, și anume: scara  $m_b$ , respectiv scara  $M_s$ .

Ecuția standard a magnitudinii determinate din unde de volum este de forma:

$$m_b = \log_{10} (A / T) + Q(d, h) \quad (2)$$

unde  $A$  este amplitudinea mișcării solului (în microni),  $T$  este perioada corespunzătoare (în secunde) și  $Q(d, h)$  este un factor de corecție, care depinde de distanța epicentrală,  $D$  (exprimată în grade), și de adâncimea focală a cutremurului,  $h$  (în km).

Ecuția standard a magnitudinii determinate din unde de suprafață este de forma:

$$M_s = \log_{10} (A / T) + 1,66 \log_{10} (D) + 3,30 \quad (3)$$

unde  $A$  este amplitudinea mișcării solului (în microni),  $T$  este perioada corespunzătoare (în secunde) și  $D$ , distanța epicentrală (grade).

Există mai multe variante ale acestor formule care iau în considerare efectele specifice anumitor regiuni geografice, astfel încât magnitudinea finală calculată să fie în conformitate cu definiția inițială a magnitudinii lui Richter ( $M_L$ ). Ținând cont că magnitudinea este o scară logaritmică sunt, de asemenea, permise inclusiv valori negative ale magnitudinii cutremurelor.

În afara scărilor de magnitudine prezentate mai sus, mai există și alte tipuri de magnitudini, precum: magnitudinea energiei radiate ( $M_e$ ), magnitudinea calculată din durată etc.





### Momentul seismic

Pentru a descrie momentul seismic, trebuie să ne amintim conceptul de cuplu de forțe. Un cuplu reprezintă o forță care modifică momentul cinetic al unui sistem. Acesta este definit ca forța ori distanța de la centrul de rotație. Cutremurele sunt cauzate de cupluri interne, produse datorită interacțiunilor dintre diferite blocuri de rocă.

Ecuția momentului seismic poate fi scrisă sub forma:

$$M_0 = \mu \times S \times d \text{ (dyne cm)} = (\text{dyne/cm}^2) \times \text{cm}^2 \times \text{cm} \quad (4)$$

unde:  $\mu$  – rezistența la forfecare a faliei dislocate;

$S$  – aria faliei dislocate;

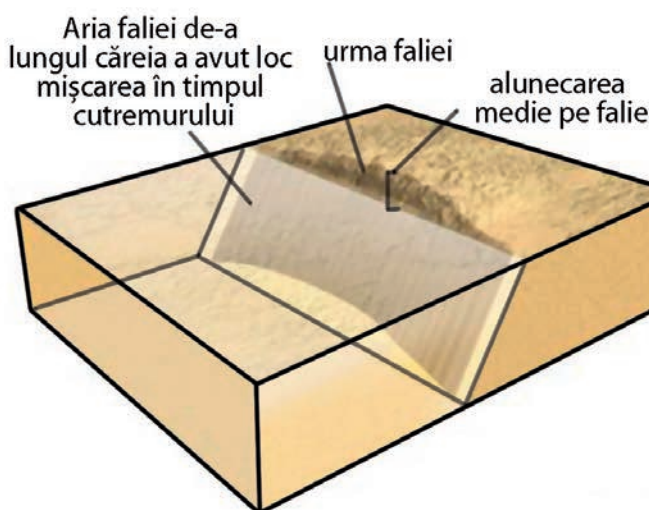
$d$  – alunecarea medie pe suprafața faliei dislocate (fig. III.11).

A fost demonstrat că valoarea momentului seismic permite o estimare mai bună a mărimii cutremurelor decât magnitudinea Richter. Astfel, cercetătorii *T. Hanks* și *H. Kanamori* au introdus, în 1979, **scara de magnitudine moment** ( $M_w$ ).

Ecuția, magnitudinii moment,  $M_w$ , este:

$$M_w = 2/3 \log_{10}(M_0) - 10,7 \quad (5)$$

Cunoașterea momentului seismic al unui cutremur are o mare importanță pentru înțelegerea efectelor producerii unui cutremur în funcție de dimensiunea faliei.



Reprezentarea mărimilor care intervin în calculul momentului seismic

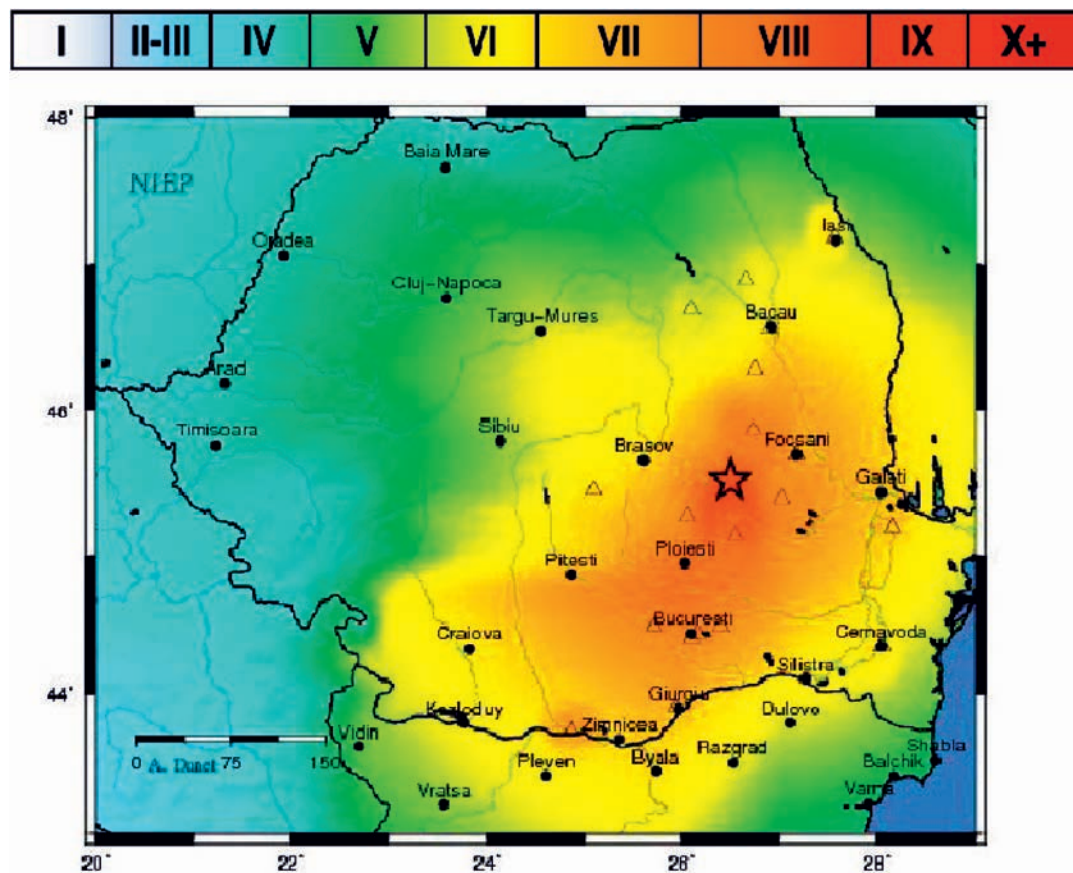
### Scara de intensitate Mercalli

Intensitatea cutremurului este o observație subiectivă și calitativă a efectelor și distrugerilor provocate de un cutremur. Magnitudinea nu este potrivită pentru o astfel de analiză întrucât aceeași cantitate de energie a unei unde seismice generate la producerea unui cutremur poate avea efecte distincte în locuri diferite, în funcție de diverși factori. De exemplu, cutremure având aceeași magnitudine ar putea produce diferite niveluri de distrugere pentru un oraș, în funcție de caracteristicile geologice ale substratului pe care este situat orașul, de numărul populației etc. Stabilirea intensității unui cutremur nu se bazează pe calcule matematice, ci doar pe evaluări subiective și pe numărul victimelor produse de un cutremur.

Evaluarea intensității unui cutremur se face pe baza scării *Mercalli*, concepută de geologul italian Mercalli, în 1902. Pentru exprimarea gradelor de intensitate, se folosesc simboluri numerice romane între „I” (minim) și „XII” (maxim) (tabelul III.1). Liniile care unesc intensitățile cu valori egale produse în timpul unui cutremur se numesc **izoseiste**.

Ocazional, cutremurele majore provoacă ruperi ale suprafeței terestre și produc regiuni complexe de deformări intense. Această zonă de „rupere a suprafeței” se manifestă mai mult pe lungime decât pe lățime, fiind o consecință directă a faptului că evenimentele mari sunt rezultatul alunecării de-a lungul porțiunilor semnificative ale unei falii. Alungirea izoseistei este vizibilă în hărțile de intensități ale cutremurelor (fig. III.12).

fig.  
III.12



Harta cu distribuția intensităților pentru cutremurul vrancean produs la 30 august 1986 ( $M_w = 17,1$ ,  $h = 131$  km)

Primele studii care indică procesul de falierare la cutremure au fost dezvoltate la sfârșitul anilor 1800, de către geologi, prin analiza fracturilor de la suprafața terestră generate în timpul cutremurelor. Acestea sunt legate de procesul de deformare a suprafeței pe termen lung (de exemplu: formarea munților).



Tabelul III.1. Scara de intensități Mercalli modificată

Intensitatea	Mod de percepție	Pagube	Descriere
I	Imperceptibil	<i>Niciuna</i>	<i>Nu este simțit</i>
II	Greu perceptibil	<i>Niciuna</i>	<i>Cutremurul este simțit de puțini oameni, în special de cei aflați în clădiri înalte. Obiectele suspendate se pot mișca ușor.</i>
III	Slab	<i>Niciuna</i>	<i>Cutremurul este simțit de persoane aflate în interiorul clădirilor, în special de cei aflați la etajele superioare. Mașinile staționate se pot mișca ușor.</i>
IV	Moderat	<i>Niciuna</i>	<i>Cutremurul este simțit de cei aflați în interiorul clădirilor și de unii dintre cei aflați în afara clădirilor. Pe timp de noapte, unii oameni se pot trezi. Ferestrele vibrează ușor. Mașinile parcate se balansează.</i>
V	Suficient de puternic	<i>Foarte slabe</i>	<i>Cutremurul este simțit de aproape toată lumea. Geamurile se pot sparge, iar unele obiecte agățate pe pereți cad. Obiectele din casă se pot răsturna.</i>
VI	Puternic	<i>Slabe</i>	<i>Cutremurul este simțit de toți, mulți fiind îngroziți. Mobila grea se poate muta ușor. Mici pagube.</i>
VII	Foarte puternic	<i>Moderate</i>	<i>Pagube neglijabile în construcțiile trainice; efecte moderate asupra construcțiilor obișnuite, dar pagube importante asupra construcțiilor proiectate prost.</i>
VIII	Distrugetor	<i>Însemnate</i>	<i>Pagube mici ale clădirilor bine proiectate. Clădirile obișnuite sunt distruse, în parte. Monumente, coșuri de casă, mobilă grea se prăbușesc.</i>
IX	Devastator	<i>Puternice</i>	<i>Pagube importante chiar și în clădirile proiectate special pentru a rezista la cutremure.</i>
X	Nimicitor	<i>Puternice</i>	<i>Pagube majore ale clădirilor solide. Unele clădiri sunt dislocate din fundații. Structuri din lemn și piatră se prăbușesc. Liniile de cale ferată se îndoaie.</i>
XI	Catastrofal	<i>Foarte puternice</i>	<i>Puține structuri rămân în picioare. Podurile sunt distruse. Liniile de cale ferată se îndoaie puternic.</i>
XII	Extrem	<i>Extreme</i>	<i>Distrugete totală.</i>