



Technical University of  
Civil Engineering Bucharest

# Comportarea la cutremur a clădirilor cu structuri prefabricate de beton armat

Prof. Radu Văcăreanu

*Universitatea Tehnică de Construcții București, UTCB*

# Cuprins

- Introducere
- Hazardul seismic în România
- Expunerea clădirilor și funcții de fragilitate
- Riscul seismic în România
- Răspunsul seismic al clădirilor cu structuri prefabricate de beton armat
  - Mulțumiri

# Introduction

- Dezvoltarea clădirilor cu structuri prefabricate de beton armat în Europa și Asia Centrală după cel de al doilea Război Mondial a oferit o soluție rapidă pentru refacerea fondului de clădiri și a permis îmbunătățirea controlului de calitate
- Cunoștințele și experiența privind comportarea la cutremur a clădirilor prefabricate de beton – extrem de scăzute la acel moment

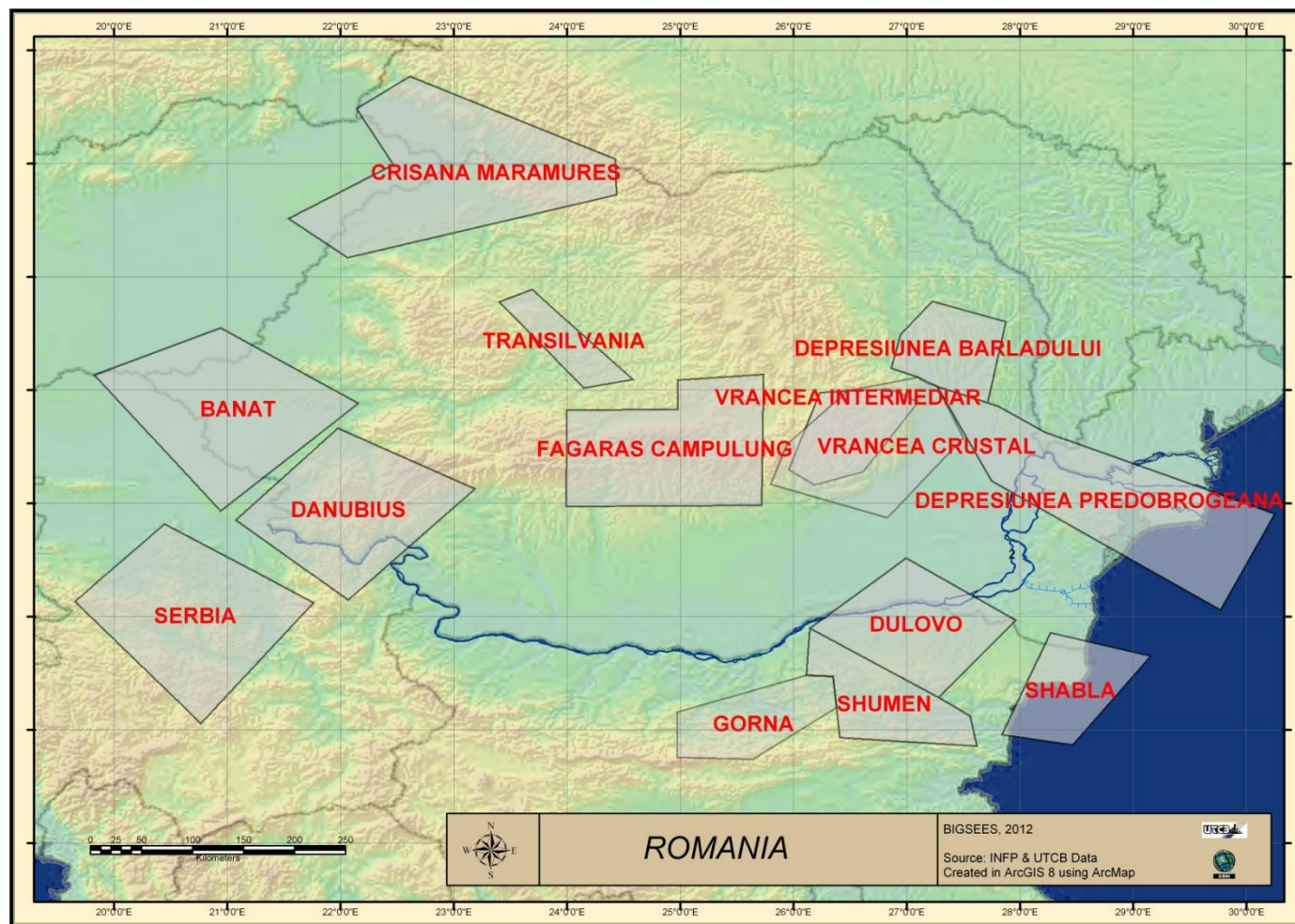
# Introduction

- Explozia de gaz din 1968 de la Ronan Point a produs colapsul parțial al clădirii prefabricate de 22 de nivele din Londra
- Accidentul a reliefat necesitatea înzestrării acestor clădiri cu redundanță structurală și importanța rezistenței la acțiuni laterale a îmbinărilor elementelor prefabricate

# Introduction

- Cutremurele puternice din ultimii 50 de ani au oferit informații esențiale privind răspunsul seismic al structurilor prefabricate de beton
- Experiență importantă a fost acumulată în urma cutremurelor din România (Vrancea, 1977), Armenia (Spitak, 1988) și Italia (Emilia Romagna, 2012)

# Hazardul seismic în România



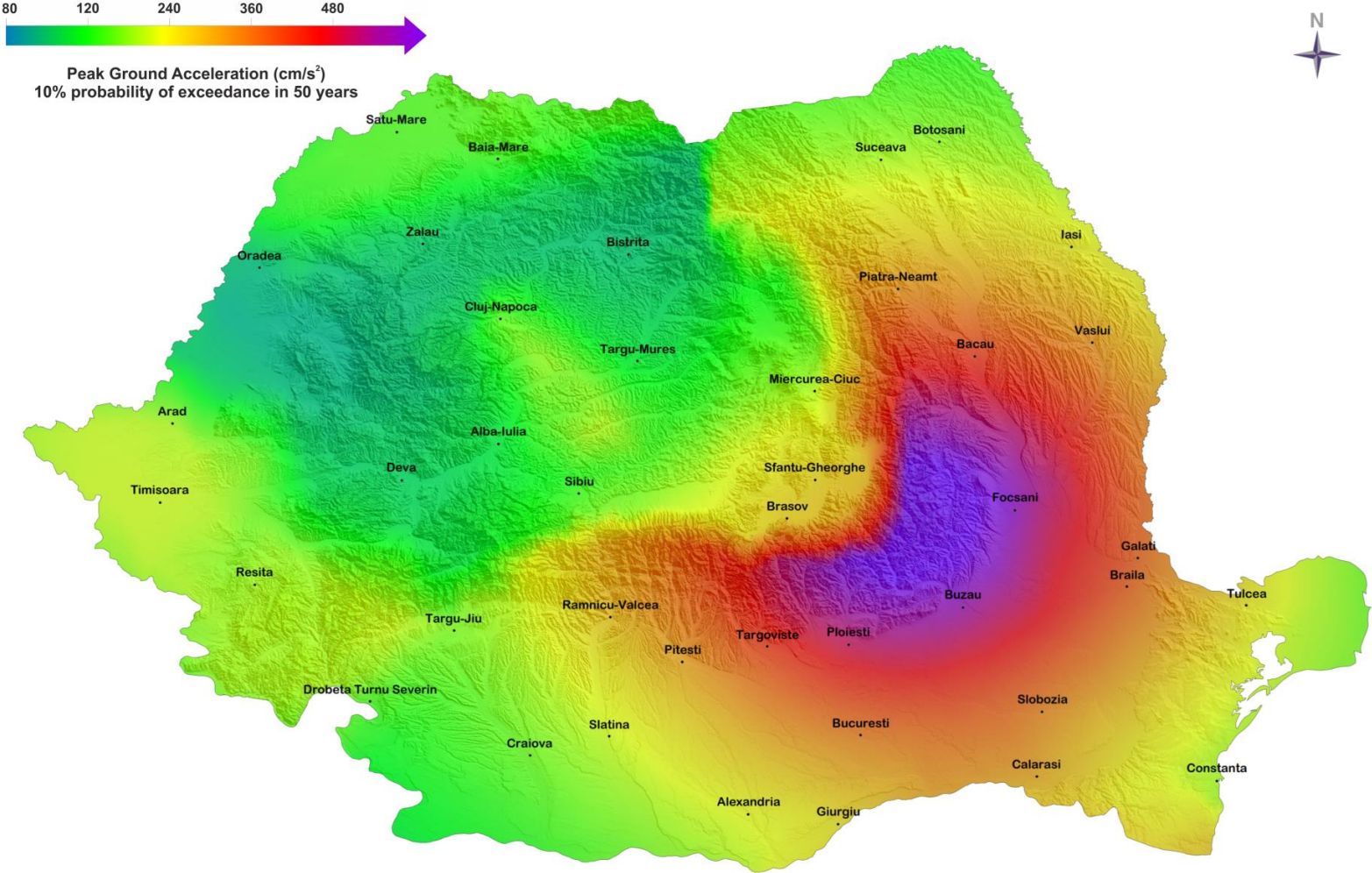
Surse seismice ce afectează teritoriul României

# Hazardul seismic în România

Sursa seismică	$M_W$ maximă credibilă
Banat	6.4
Depresiunea Bârladului	5.8
Crișana	6.6
Danubius	6.0
Făgăraș - Câmpulung	6.8
Depresiunea Pre-Dobrogeană	5.7
Serbia	6.6
Transilvania	6.2
Vrancea crustal	6.2
<b>Vrancea intermediar</b>	<b>8.1</b>
Dulovo	7.1
Shabla	7.8
Gorna	7.4
Shumen	6.7



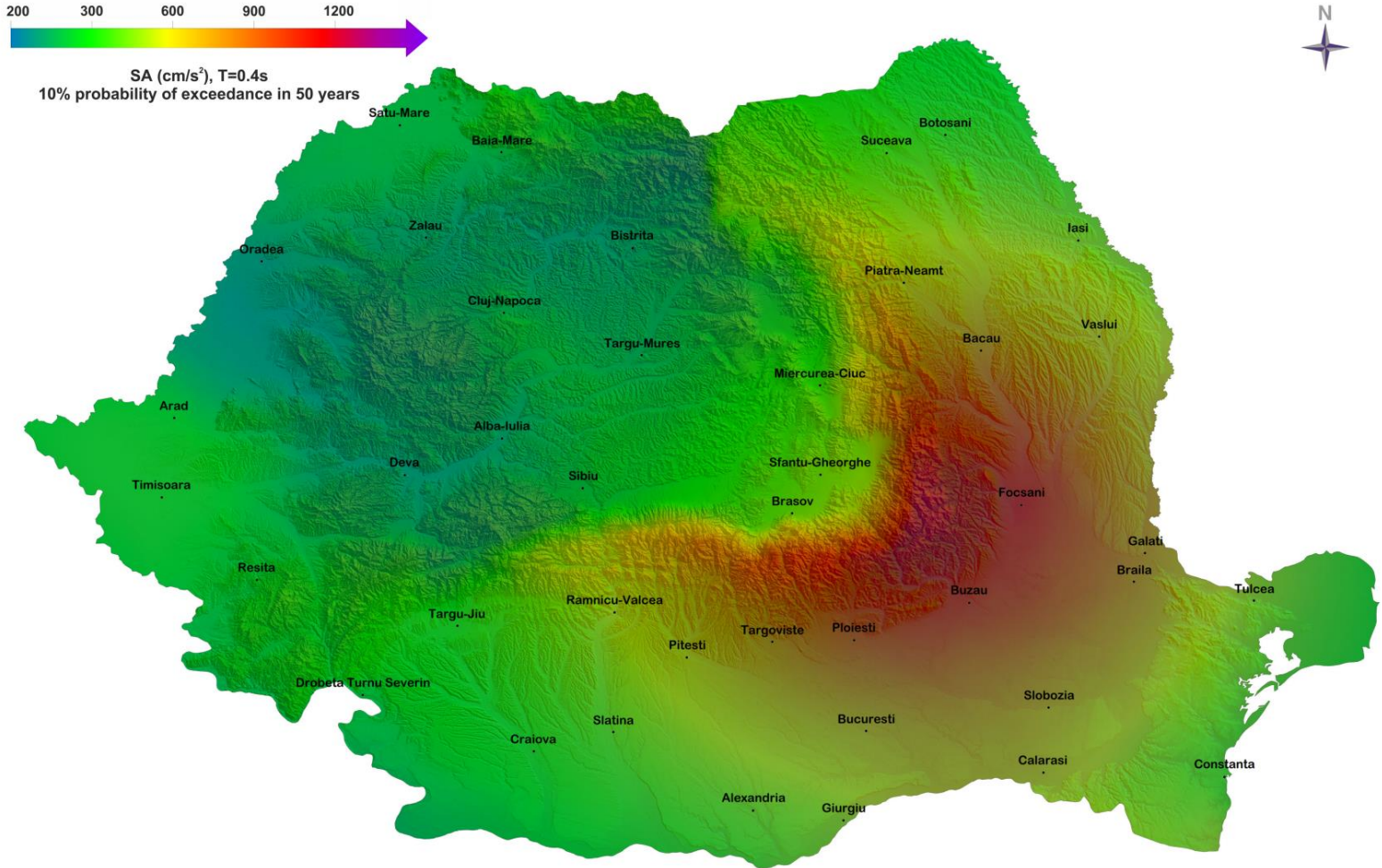
# Hazardul seismic în România



UTCb, BIGSEES 2014

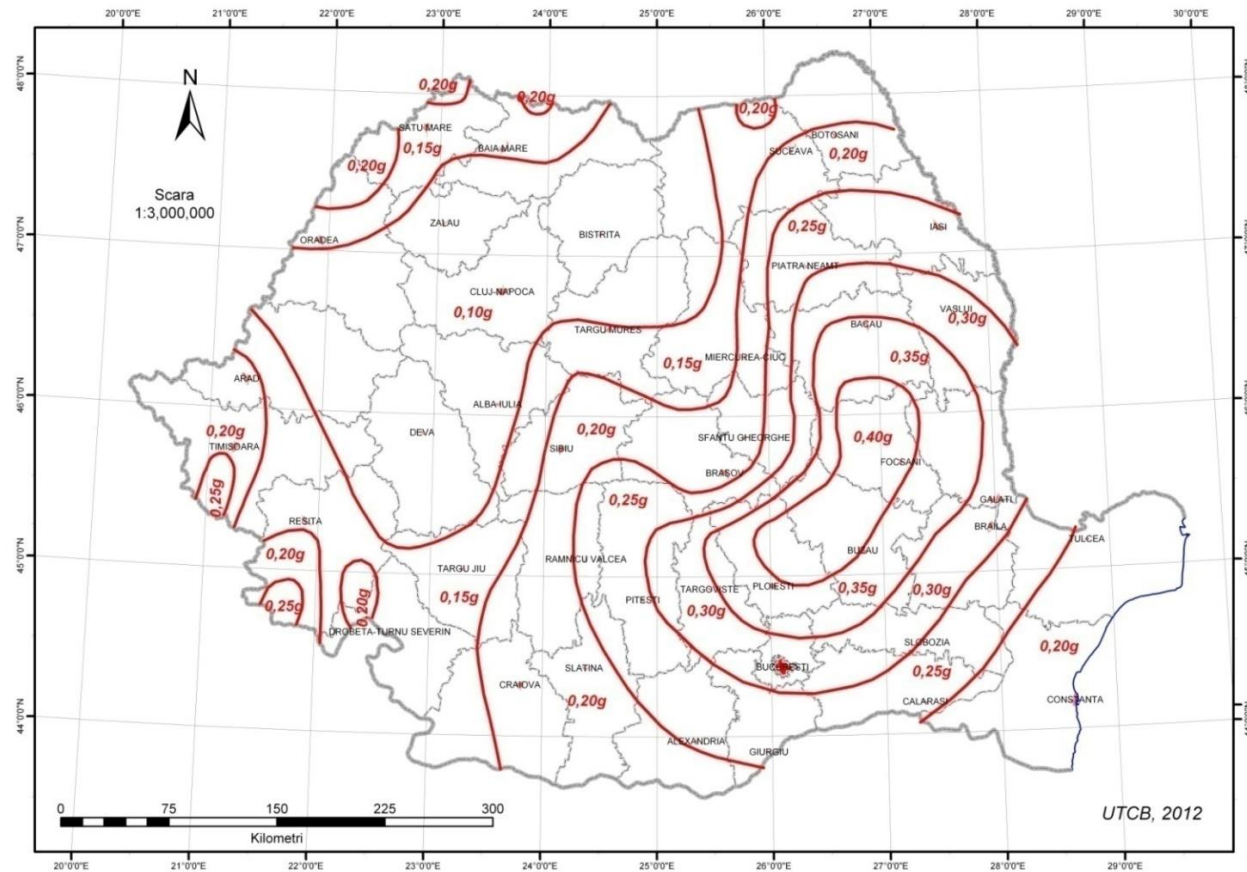


# Hazardul seismic în România



UTCb, BIGSEES 2014

# Hazardul seismic în România

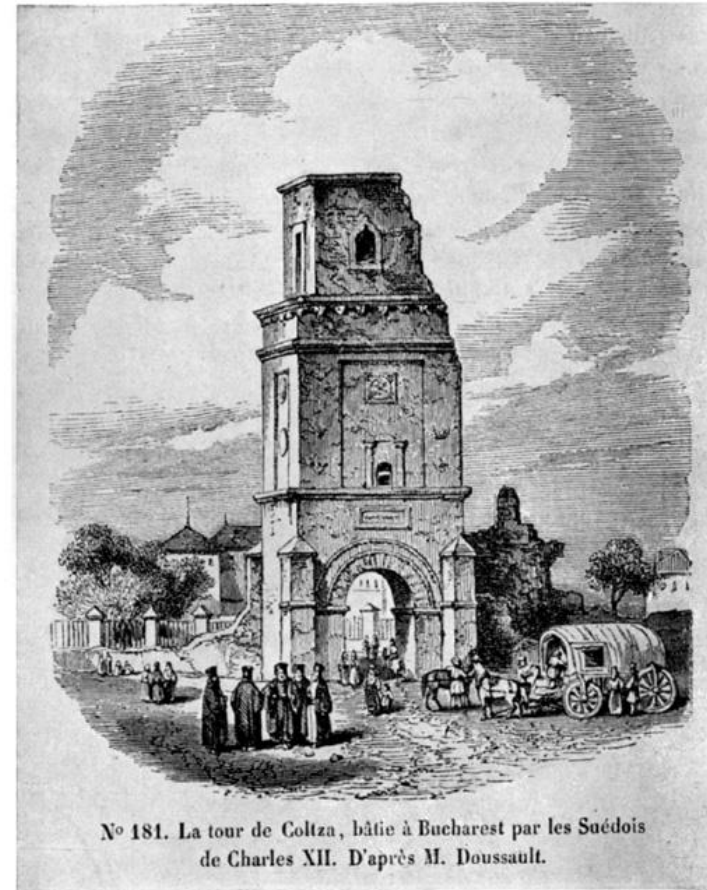
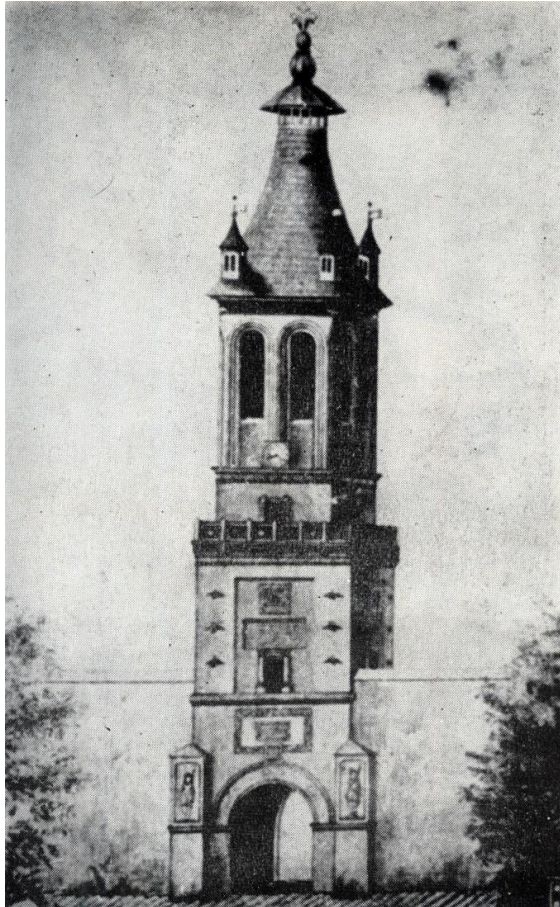


Harta de zonare seismică a României (valori PGA 20%/50)  
P100-1/2013



# Hazardul seismic în România

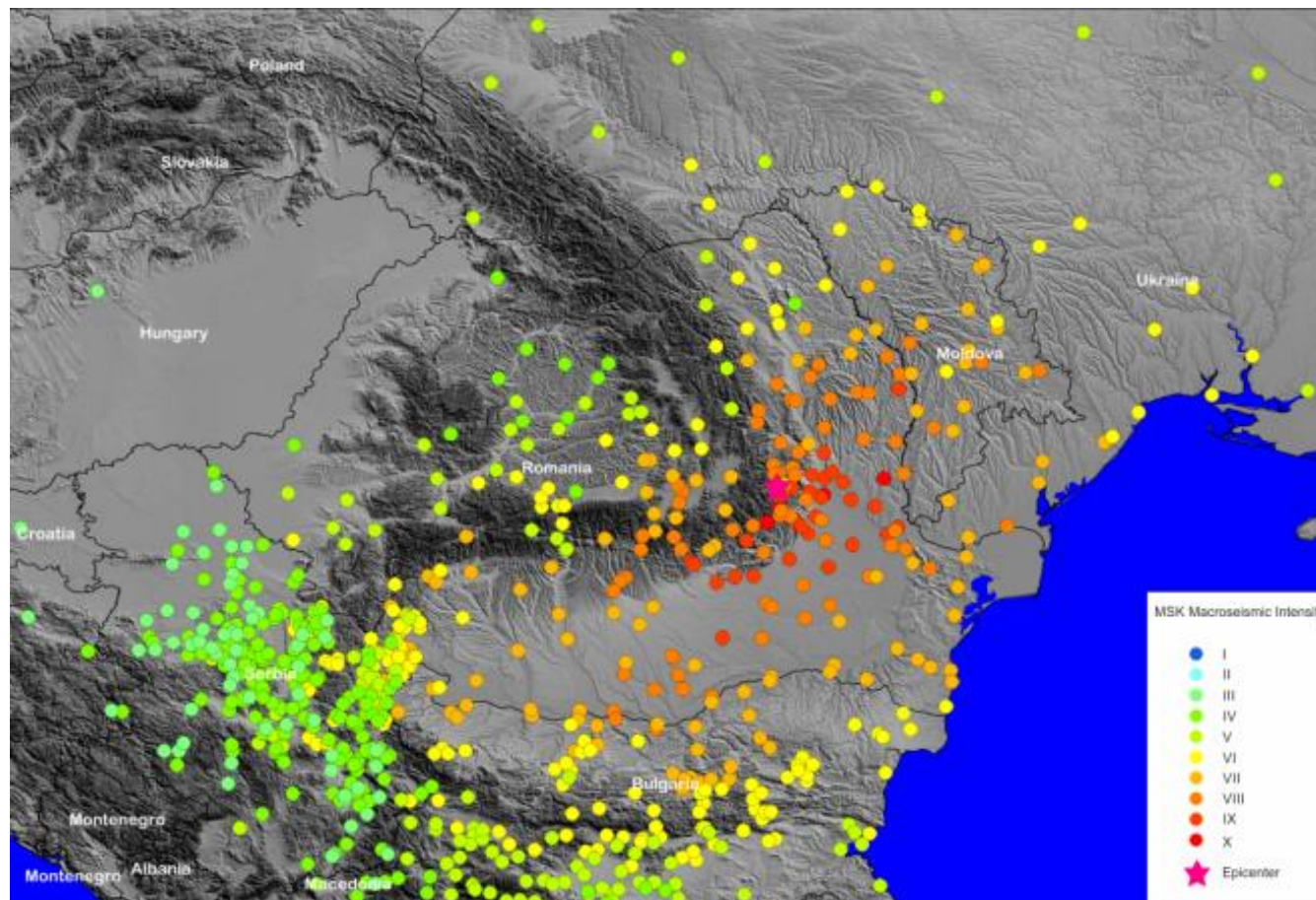
October 26, 1802 – Mw=7.9



[http://en.wikipedia.org/wiki/1802\\_Vrancea\\_earthquake](http://en.wikipedia.org/wiki/1802_Vrancea_earthquake)

# Hazardul seismic în România

November 10, 1940, Mw=7.7, h=150 km

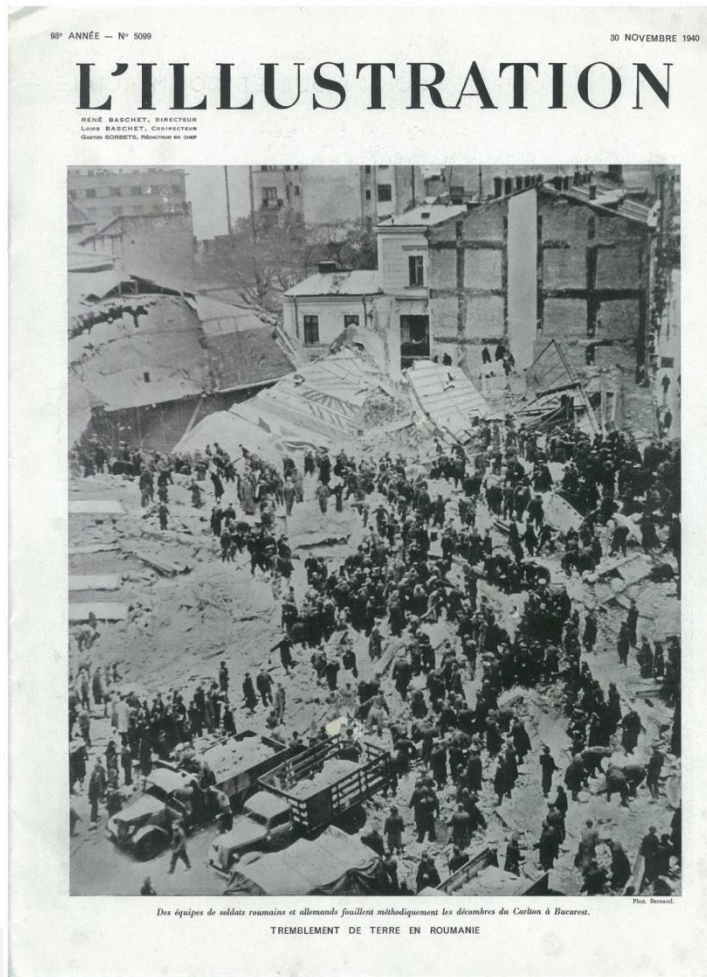


Intensități macroseismice MSK



# Seismic hazard of Romania

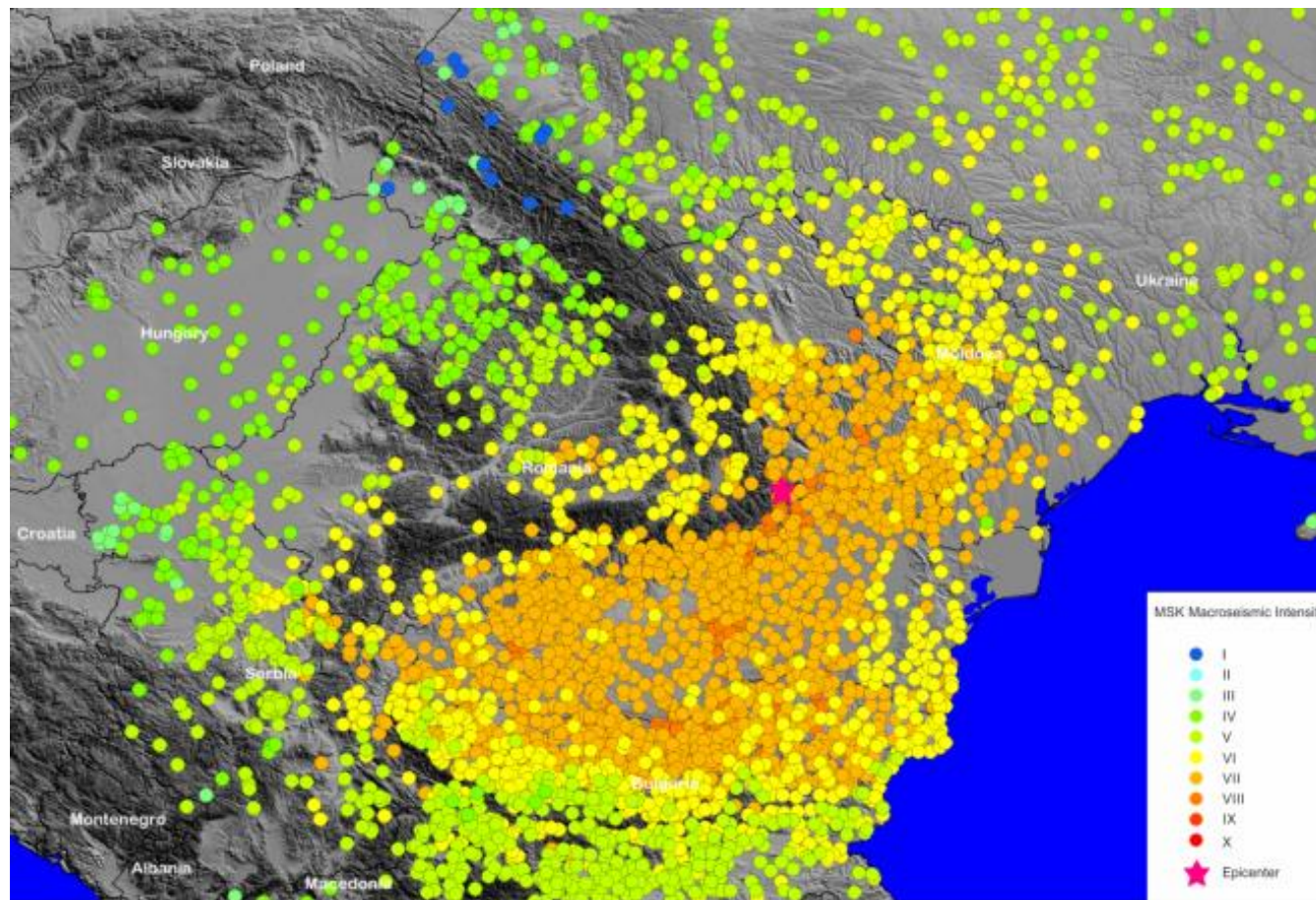
November 10, 1940, Mw=7.7, h=150 km



Blocul Carlton (l'illustration, 1940)

# Hazardul seismic în România

March 4, 1977, Mw=7.4, h=94 km



Intensități macroseismice MSK



# Hazardul seismic în România

March 4, 1977, Mw=7.4, h=94 km

- 1578 morți (1424 în București)
- 11221 răniți (7598 în București)
- 32 clădiri prăbușite în București
- 33000 apartamente avariate sever
- Pierderi totale:  $2.05 \times 10^9$  USD (peste 6% din PIB)



# Hazardul seismic în România

March 4, 1977, Mw=7.4, h=94 km



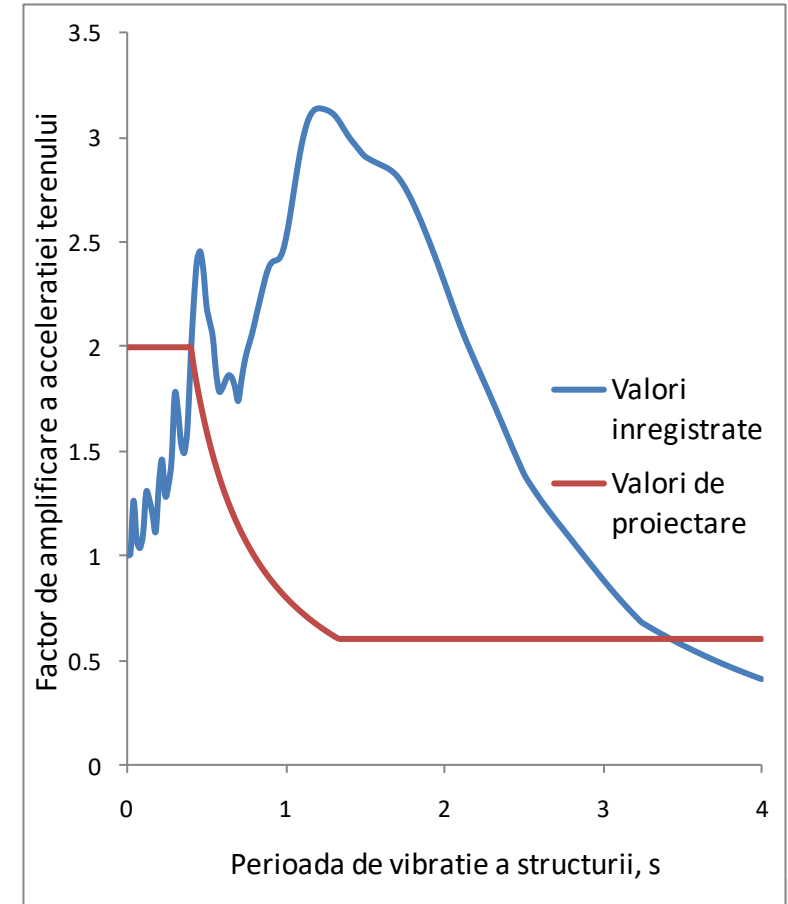
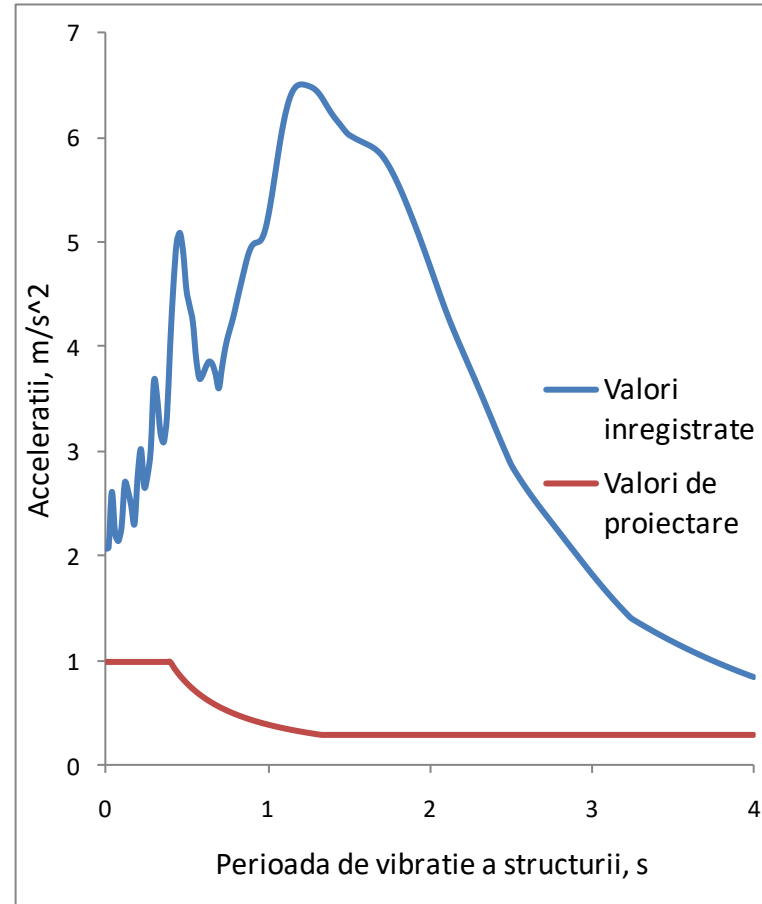
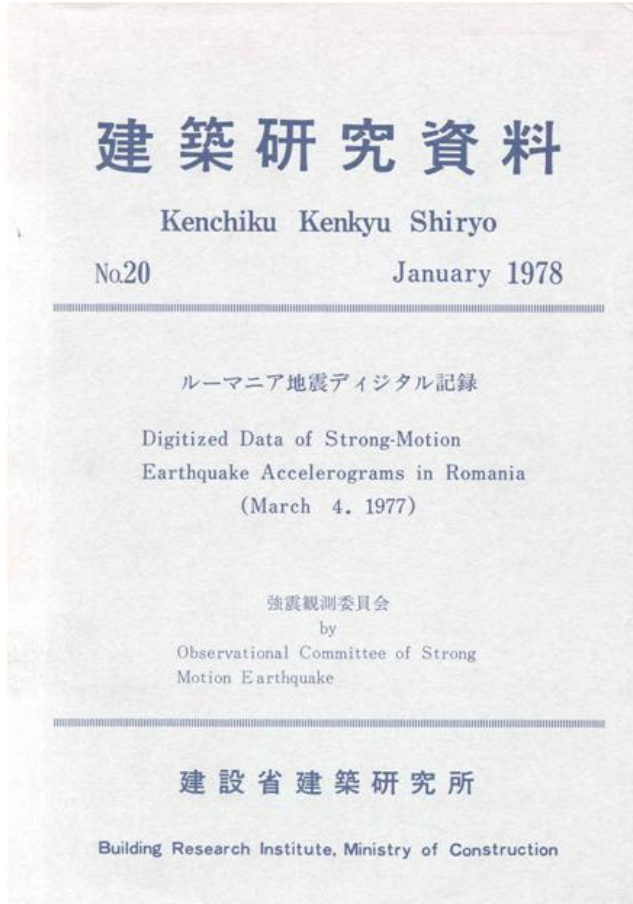
# Hazardul seismic în România

March 4, 1977, Mw=7.4, h=94 km



# Hazardul seismic în România

March 4, 1977, Mw=7.4, h=94 km



# Hazardul seismic în România

Date privind expunerea conform recensământ 2011

	1992 Census	2002 Census	2011 Census
Population	23.286.794	22.628.665	20.121.641
No. of buildings	4.482.119	4.837.215	5.341.908
Housing units	7.666.181	8.111.391	8.723.699
GDP (current US\$ Billions)	25,12	46,18	185,36



# Expunerea clădirilor și funcții de fragilitate

Tipologii structurale (Lungu et al., RISK-UE, WP1)

- Clădiri de beton armat:
  - Regim mic de înălțime (L) – 1 – 3 nivele
  - Regim mediu de înălțime (M) – 4 – 7 nivele
  - Regim mare de înălțime (H) -  $\geq 8$  nivele
- Clădiri de zidărie și lemn:
  - Regim mic de înălțime (L) – 1 – 2 nivele
  - Regim mediu de înălțime (M) – 3 – 5 nivele

# Expunerea clădirilor și funcții de fragilitate

## Clasificarea codurilor de proiectare la cutremur (1940-2018)

Period		Code for earthquake resistance of structures
PC, Pre-code, before 1963	Prior to the 1940 earthquake and Prior to the 1963 code	P.I. - 1941 I – 1945 (not enforced)
LC, Low-code, 1963-1977	Inspired by the Russian seismic practice	P 13 - 63 P 13 - 70
MC, Moderate-code, 1977–1990	After the great 1977 earthquake	P 100 - 78 P 100 - 81
HC, High-code, after 1990	After the 1986 and the 1990 earthquakes	P 100 - 90 P 100 – 92 P 100-1/2006 P 100-1/2013

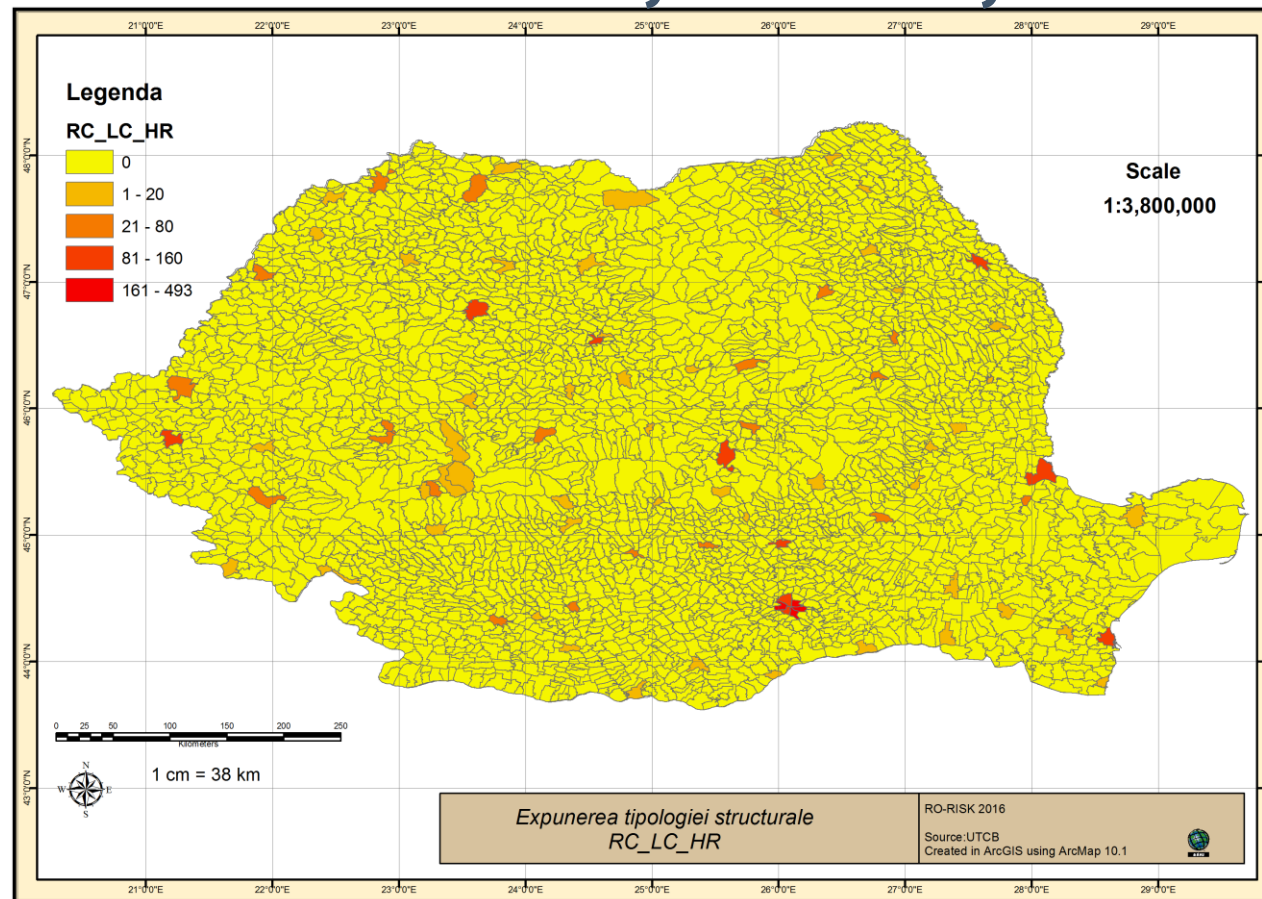
# Expunerea clădirilor și funcții de fragilitate

## Inventarul clădirilor de beton armat conform recensământ 2011

	Population	Housing units	Build area (sqm)	Buildings	
				Romania	Bucharest (%)
RC_PC_LR	724741	306358	16603935	247324	7.7
RC_PC_MR	114283	61165	2550190	2605	36.6
RC_PC_HR	28446	16799	727713	273	71.1
RC_LC_LR	840196	318907	17248189	289749	3.1
RC_LC_MR	1699758	813170	30423504	19122	8.6
RC_LC_HR	737437	363506	14445659	4328	45.7
RC_MC_LR	343886	118089	7088388	96444	1.7
RC_MC_MR	2093137	930007	40065898	29741	3.7
RC_MC_HR	745451	328803	14961168	5132	50.2
RC_HC_LR	701660	274784	21174192	261264	3.7
RC_HC_MR	128791	72112	3686716	3711	21.0
RC_HC_HR	68255	43386	2459026	727	42.0
TOTAL	8226041	3647086	171434578	960420	5.1

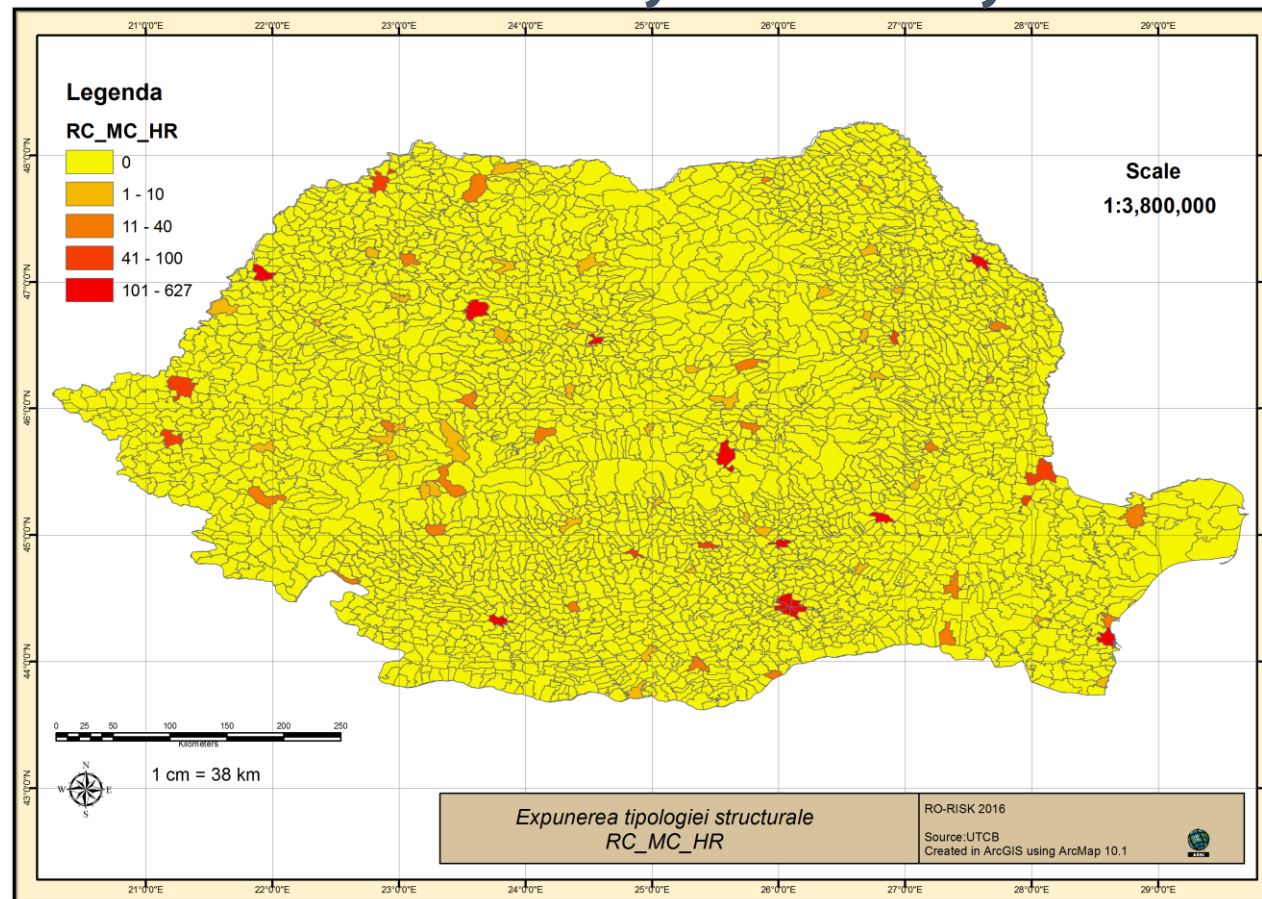


# Expunerea clădirilor și funcții de fragilitate



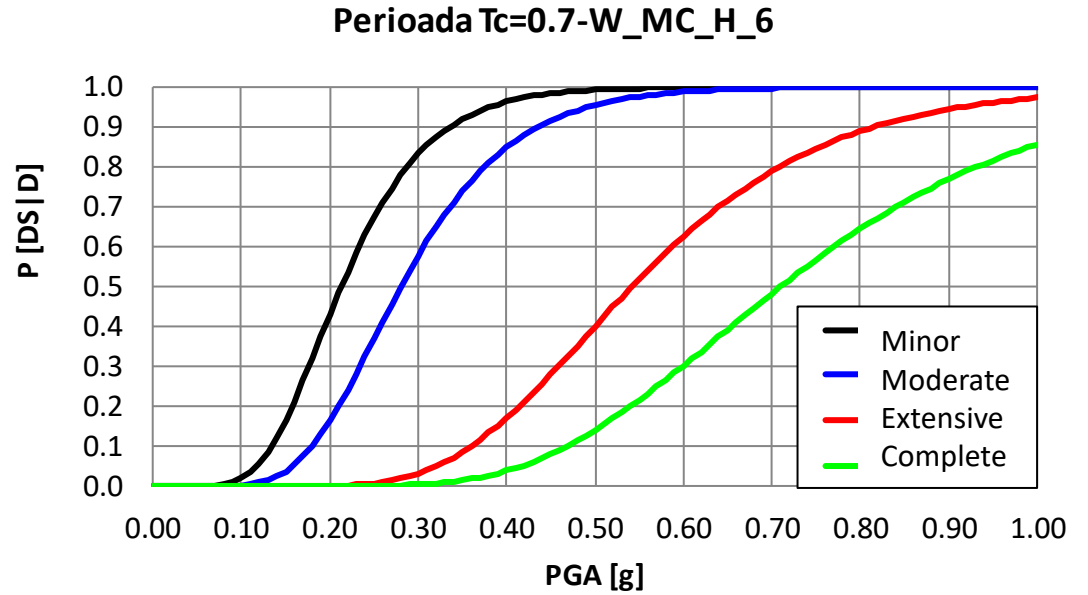
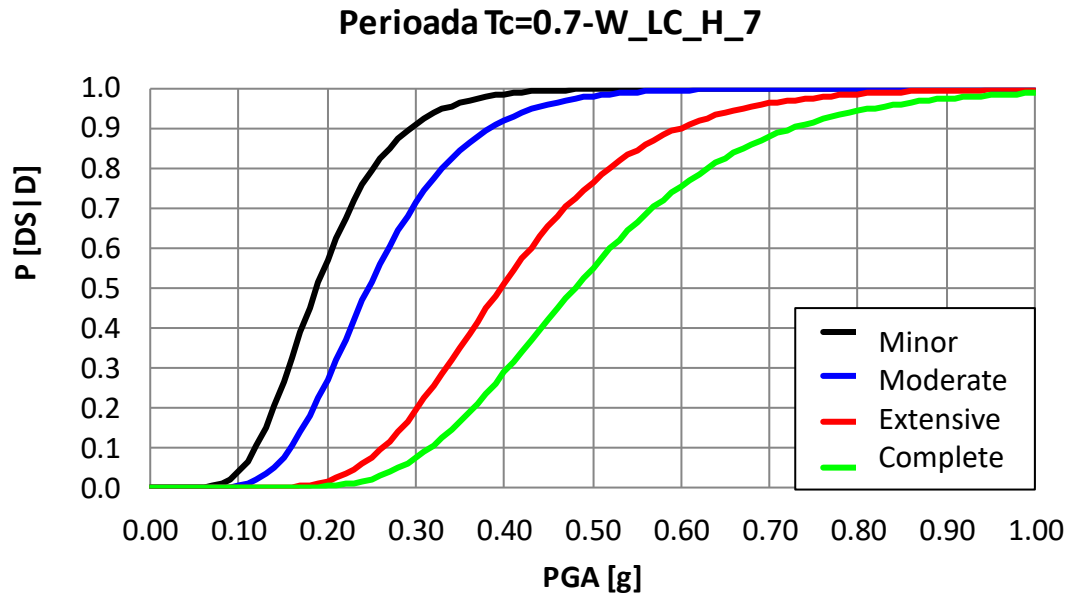
Distribuția clădirilor RC\_LC\_HR la nivel de UAT  
(RO-RISK)

# Expunerea clădirilor și funcții de fragilitate



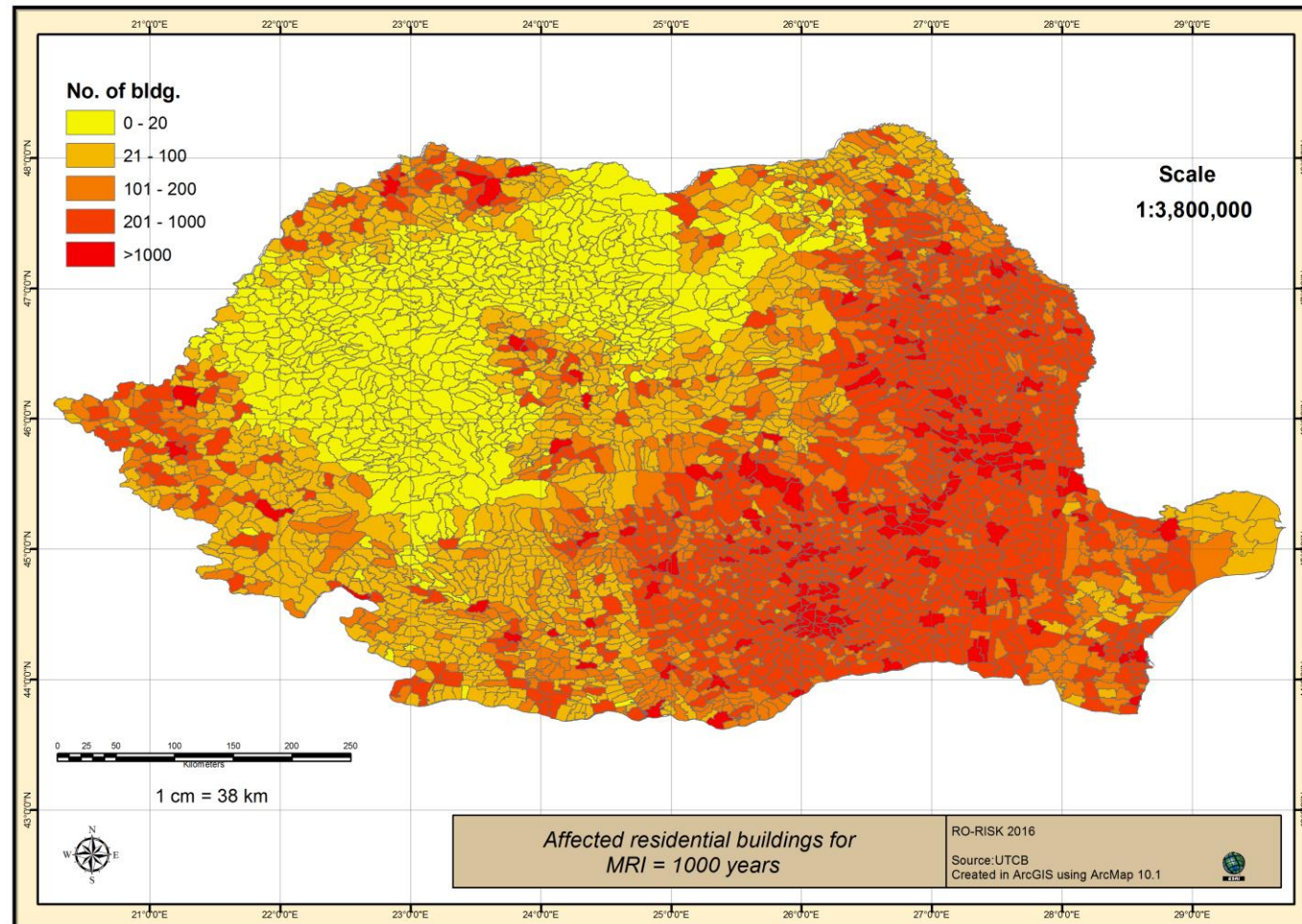
Distribuția clădirilor RC\_MC\_HR la nivel de UAT  
(RO-RISK)

# Expunerea clădirilor și funcții de fragilitate



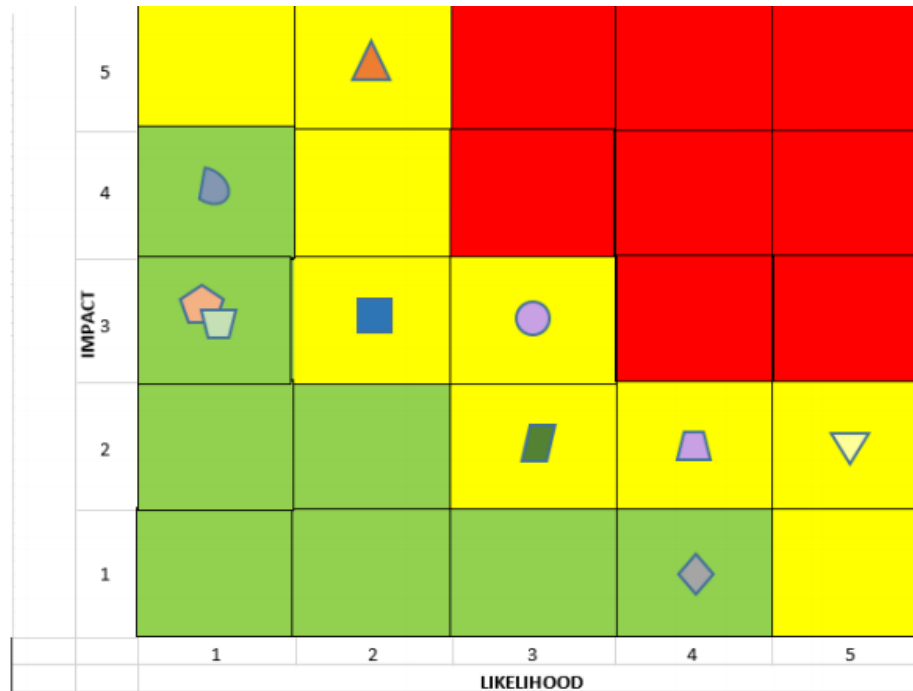
Funcții de fragilitate pentru clădiri cu pereți de beton armat (RO-RISK)

# Riscul seismic în România



Distribuția numărului de clădiri afectate la nivel de UAT  
(RO-RISK)

# Riscul seismic în România



**Legend:**

- Floods
- ◡ SEVESO Accidents
- Drought
- ◤ Forest fires
- ▲ Earthquakes
- ▭ Landslides
- ◃ Epidemics
- ◧ Major accidents involving dangerous substances
- ◊ Epizootic diseases and zoonosis
- ◐ Nuclear and radiological accidents

# Răspunsul seismic al clădirilor prefabricate

## ROMÂNIA

- Clădiri din panouri mari prefabricate – apar în perioada 1959-1960 cu un regim de înălțime P+4E; în perioada 1961-1963 extinse la P+7E; din 1973, P+8E
- Regimul de înălțime P+4E, în toată țara
- Regimurile de înălțime P+7E și P+8E, în București



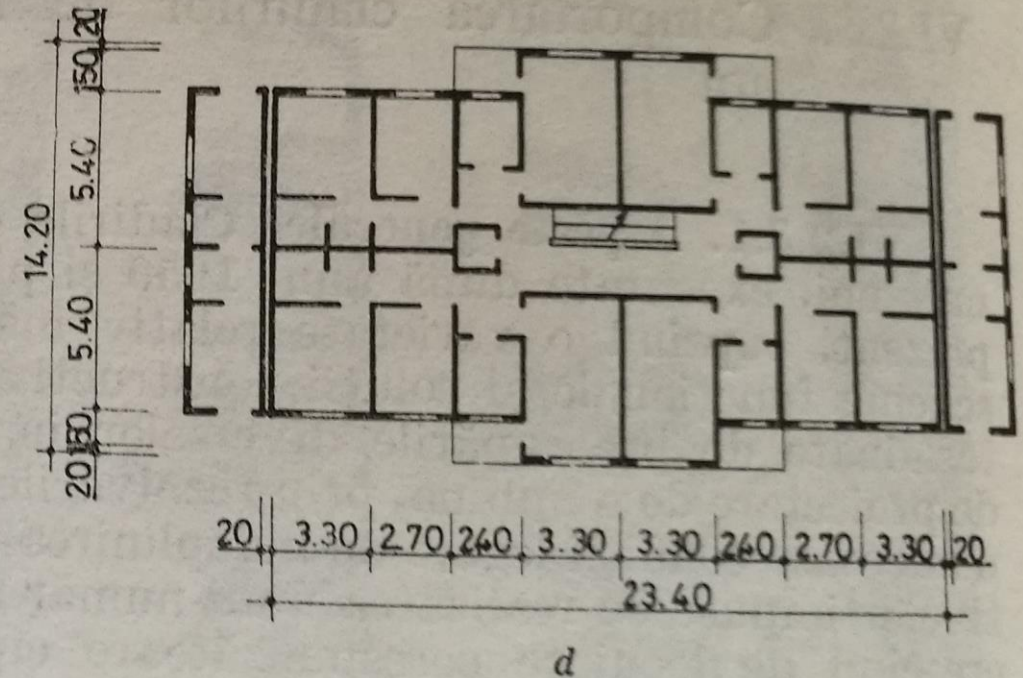
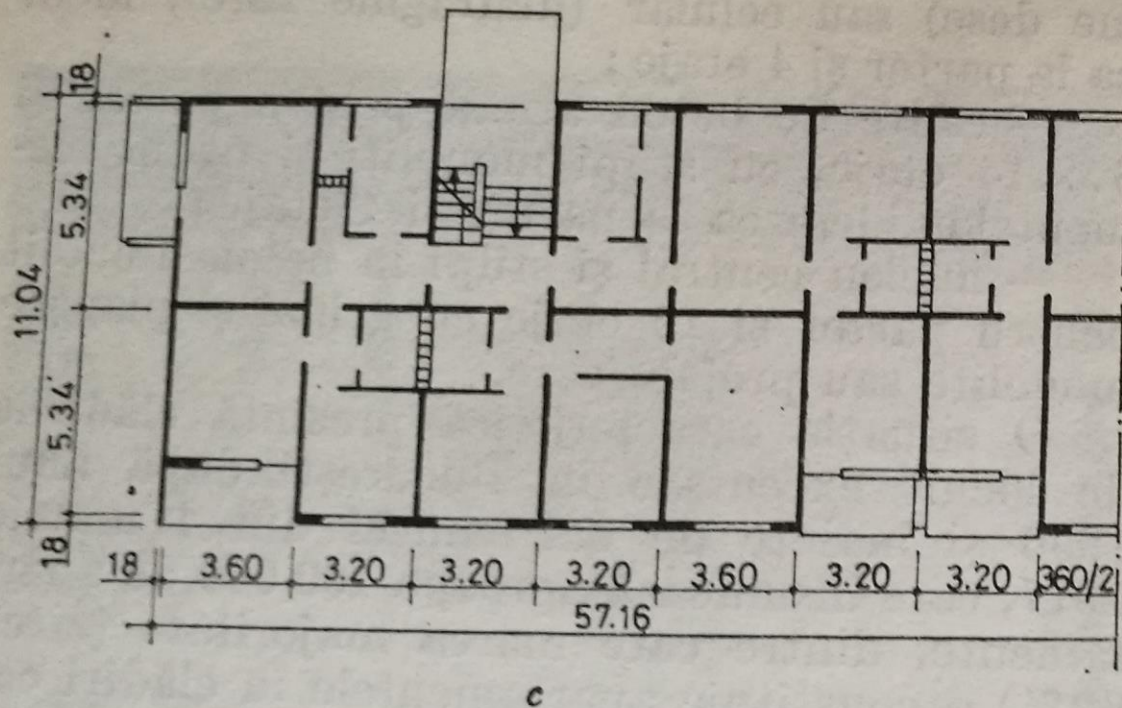
# Răspunsul seismic al clădirilor prefabricate



Clădire din panouri mari prefabricate din București



# Răspunsul seismic al clădirilor prefabricate



Planuri de etaj curent pentru P+5E (stânga) și P+8E (dreapta)

# Răspunsul seismic al clădirilor prefabricate

## ROMÂNIA

- Clădirile din panouri mari prefabricate au suferit avarii minore și moderate la cutremurul de la 4 martie 1977; avariile nu au pus în pericol rezistența și stabilitatea clădirilor
- Comportarea seismică favorabilă poate fi explicată prin rigiditatea mare a acestora (pereți de beton armat dispuși pe ambele direcții principale ale clădirilor), conformarea corectă a îmbinărilor, calitatea bună a betoanelor, execuție corectă

# Răspunsul seismic al clădirilor prefabricate



Bucharest, 4 martie 1977

Clădire din panouri mari prefabricate neavariată (Rojahn, 1977)

# Răspunsul seismic al clădirilor prefabricate

## ROMÂNIA

- Avarii în București - fisuri în zonele de îmbinare între pereți, sau între pereți și plăcile de planșeu; fisuri la  $45^\circ$  în riglele de cuplare (buiandrugi)
- Avarii în Iași – același tipar ca în București; totuși, extinderea avariilor mai mare ca în București; posibile fenomene de cvasi-rezonanță

# Răspunsul seismic al clădirilor prefabricate

## ROMÂNIA

- Datele privind avariile constatate la clădirile din panouri mari prefabricate - Anexa IV a *Report to the 8th ECEE*, 1986, intitulată *Some data on vulnerability obtained in European countries*
- Rezultatele investigației post-seism – exprimate ca grad de avariere, DD în funcție de intensitatea macroseismică MSK
- DD1 – neglijabilă; DD2 – ușoară; DD3 – moderată; DD4 – puternică; DD5 - colaps

# Răspunsul seismic al clădirilor prefabricate

## ROMÂNIA

- Rezultatele pentru Iași:
  - B2 – clădiri de zidărie nearmată cu planșee monolite de BA construite după 1950
  - B3 – clădiri de zidărie nearmată cu planșee prefabricate (fâșii cu goluri) de BA construite după 1950
  - B4 – clădiri P+4E din panouri mari prefabricate

# Răspunsul seismic al clădirilor prefabricate

Date privind avarierea clădirilor din municipiul Iași (EAEE, 1986)

Building typology	B4			B2			B3		
	# of bldgs.	Mean <i>DD</i>	RMS <i>DD</i>	# of bldgs.	Mean <i>DD</i>	RMS <i>DD</i>	# of bldgs.	Mean <i>DD</i>	RMS <i>DD</i>
VI <sup>1/2</sup>	17	2.47	0.91	18	0.44	0.68	36	1.73	1.25
VII <sup>1/2</sup>	46	2.63	0.91	17	0.88	0.83	77	2.18	1.22



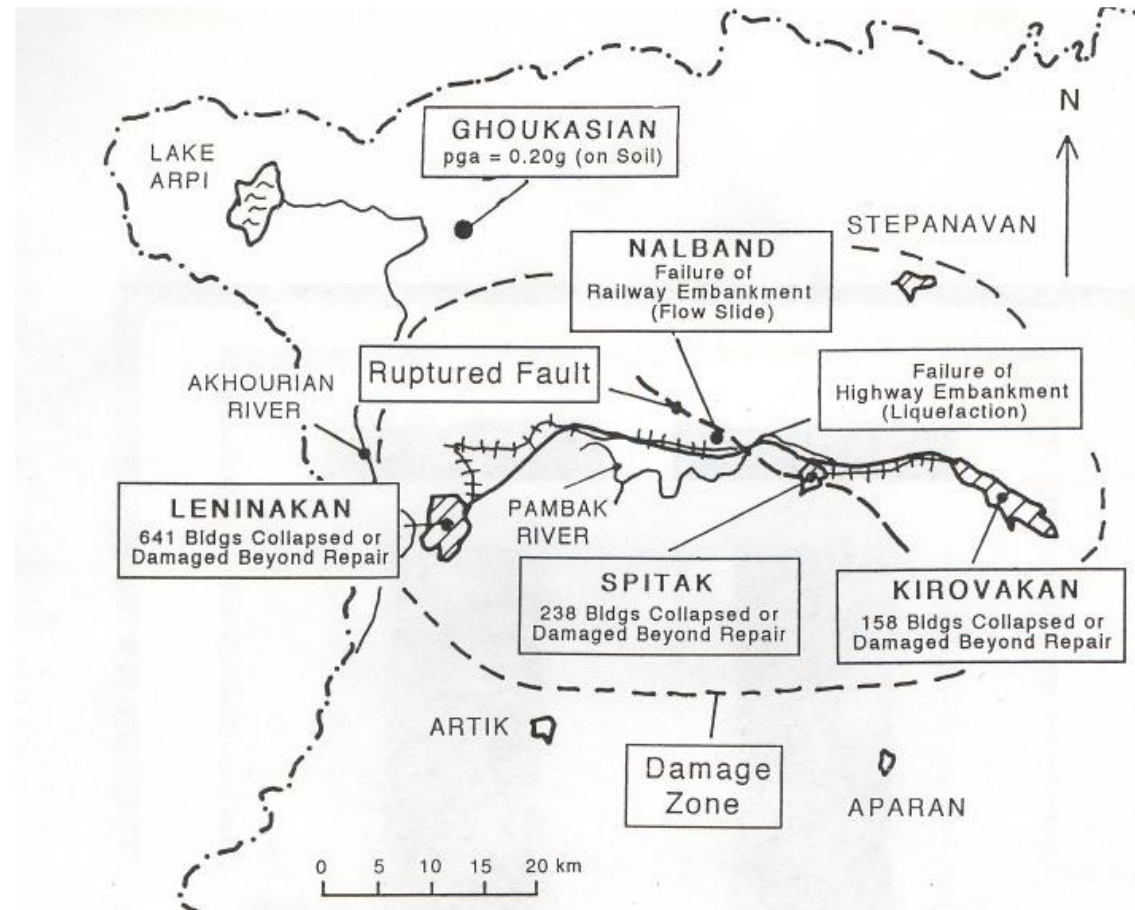
# Răspunsul seismic al clădirilor prefabricate

## ARMENIA

- Cutremurul Spitak– 7 decembrie 1988, Armenia, Ms 6.8
  - 25000 morți
  - 19000 răniți
  - 500000 persoane fără adăpost
  - Pierderi directe –  $16 \times 10^9$  US\$

# Răspunsul seismic al clădirilor prefabricate

## ARMENIA



EQE Report , 1989

# Răspunsul seismic al clădirilor prefabricate

## ARMENIA



Prăbușirea completă a clădirilor în cadre prefabricate de beton armat  
la Leninakan (stânga) și Spitak (dreapta) - (EQE Report, 1989)



# Răspunsul seismic al clădirilor prefabricate

## ARMENIA



# Răspunsul seismic al clădirilor prefabricate

## ITALIA

- Cutremurul Emilia-Romagna – 29 mai 012, Italia, Mw 5.8
  - 17 morți
  - 350 răniți
  - 14000 persoane fără adăpost
  - Pierderi directe–  $150 \times 10^6$  Euro

# Răspunsul seismic al clădirilor prefabricate

ITALIA





# Răspunsul seismic al clădirilor prefabricate

ITALY



# Răspunsul seismic al clădirilor prefabricate

ITALY



# Concluzii

- Răspunsul seismic al structurilor prefabricate cu pereți de beton armat – net superior față de cel al structurilor prefabricate în cadre de beton armat
- Principala problemă – conformarea defectuoasă a îmbinărilor
- Detalierea și rezolvarea conformă a zonelor de îmbinare dintre elemente prefabricate (sau prefabricat – monolit) – subiect de cercetare / dezvoltare / inovare

# Mulțumiri

- Contribuabililor români și japonezi
- Rezultatele prezentate – obținute în proiectele de cercetare **BIGSEES** (Bridging the Gap between Seismology and Earthquake Engineering: From the Seismicity of Romania towards a refined implementation of Seismic Action EN 1998-1 in earthquake resistant design of buildings), **COBPEE** (Community Based Performance Earthquake Engineering), **RO-RISK** (Evaluarea riscurilor de dezastre la nivel național)

# Mulțumiri

- Membrii echipelor de proiect BIGSEES, COBPEE și RO-RISK recunosc sprijinul financiar al Ministerului Educației Naționale, Ministerului Cercetării și Inovării, Inspectoratului General pentru Situații de Urgență și Fondului European pentru Dezvoltare
- Organizatorilor Conferinței Internaționale «Soluții prefabricate din beton» pentru invitație și sprijin



**Vă mulțumesc pentru atenția acordată!**

---

[www.utcb.ro](http://www.utcb.ro)