



GHID DE PROIECTARE **A CONSTRUCȚIILOR LA ACȚIUNEA SEISMICĂ** **PE ÎNȚELESUL TUTUROR**

Cosmin Dăescu

Bogdan Demian

Adrian Cocoș

Dragoș Marcu

Gelu Zaharia

George M. Croitoru

Prezentul ghid a fost elaborat în cadrul proiectului pilot “Ghid seismic pe înțelesul tuturor”, finanțat de către AICPS prin Ediția pilot 2023-2024 a Apelului pentru Proiecte create de membrii AICPS pentru membrii AICPS. Proiectul a fost realizat și coordonat de către membrii AICPS: ing. Adrian Cocoș, ing. George M. Croitoru, ing. Cosmin Dăescu, ing. Bogdan Demian, ing. Dragoș Marcu, ing. Gelu Zaharia.

Proiectul nu reprezintă în mod necesar poziția AICPS. AICPS nu este responsabilă de conținutul proiectului sau de modul în care rezultatele proiectului pot fi folosite. Acestea sunt în întregime responsabilitatea coordonatorilor proiectului/colectivului de elaboratori.

Colectivul de elaboratori și AICPS nu își asumă responsabilitatea pentru pierderi sau daune provocate de o utilizare parțială sau incorectă a informațiilor conținute în acest ghid. De asemenea, ghidul nu substituie o experiză tehnică sau o analiză structurală detaliată, personalizată pentru fiecare clădire în parte, ținând cont de particularitățile acesteia. Utilizarea recomandărilor din ghid trebuie făcută cu discernământ și, acolo unde este cazul, însoțită de consultarea unui specialist autorizat.

Pentru a accesa cea mai recentă versiune a ghidului și pentru a studia lista documentelor recomandate de către AICPS, accesați: **www.aicps.ro/documente**, iar pentru a accesa lista inginerilor proiectanți de structuri și a experților tehnici atestați puteți consulta lista membrilor AICPS aici: **www.aicps.ro/membrii** sau contactează-ne la adresa: **office@aicps.ro**

COLECTIV DE ELABORATORI

Adrian Cocoș

George M. Croitoru

Cosmin Dăescu

Bogdan Demian

Dragoș Marcu

Gelu Zaharia

ELABORATORI CAPITOLE

CAPITOLUL 1:

Cosmin Dăescu, Bogdan Demian

CAPITOLUL 2:

George M. Croitoru

CAPITOLUL 3:

Adrian Cocoș

CAPITOLUL 4:

Gelu Zaharia

CAPITOLUL 5:

Bogdan Demian

CAPITOLUL 6:

Cosmin Dăescu

CAPITOLUL 7:

Bogdan Demian, Cosmin Dăescu, Dragoș Marcu,
Gelu Zaharia, George M. Croitoru, Adrian Cocoș

CUPRINS



CAPITOLUL 1:

Introducere



CAPITOLUL 2:

Aspecte privind istoricul
codurilor de proiectare
seismică în România



CAPITOLUL 3:

Legislație și procesul de
construire



CAPITOLUL 4:

Proiectare structurală



CAPITOLUL 5:

Sisteme structurale



CAPITOLUL 6:

Prevederi de alcătuire pentru
clădiri



CAPITOLUL 7:

Concluzii



Mulțumiri

INTRODUCERE

O introducere în Seisme: Cunoașterea riscurilor pentru siguranța noastră

1.1 Scopul Documentului

În ultimii ani, atât în domeniul tehnic cât și în spațiul public au apărut discuții tot mai ample privind riscul apariției unui nou eveniment seismic cu rezultate potențial catastrofice. Evenimentele recente din februarie 2023 din Turcia și Siria au fost urmate și în țara noastră de o serie de cutremure în județul Gorj; în toamna aceluiași an au mai fost înregistrate o serie de cutremure produse în Afganistan, Maroc și Nepal. Deși nu poate fi prezis un asemenea fenomen, o teamă constantă de iminența lui rămâne în mintea oricărei persoane aflate într-o zonă expusă unui risc seismic, așa cum este întreg teritoriul României.

Ideea acestui ghid a apărut din dorința inginerilor proiectanți de structuri de a explica publicului măsurile de siguranță avute în vedere în procesul de proiectare a unei clădiri sau a unor alte construcții ingineresti, pentru a evita pierderile de vieți omenești și pentru a reduce cât mai mult pagubele materiale rezultate ca și consecințe ale unui asemenea eveniment.

Ghidul explică principiile de bază ce stau la baza proiectării seismice, astfel încât publicul larg să poată înțelege importanța acestora. Acest ghid nu se dorește a fi o explicație pur teoretică a metodelor de proiectare seismică, dar vrea să sublinieze aspecte cheie despre importanța activităților de proiectare structurală. De asemenea, sunt prezentate într-un mod accesibil principiile de bază ale prevederilor de proiectare din codurile, normativele și legislația națională.

Acest ghid se adresează proprietarilor, autorităților locale și participanților la procesul de construire, pentru a crea clădiri și infrastructură cât mai durabilă și rezistentă în fața unei forțe naturale în afara puterii noastre de control, precum și pentru a crea comunități mai reziliente în fața dezastrelor naturale.

1.2 Ce sunt cutremurele?

Cutremurele sunt fenomene naturale caracterizate prin mișcarea bruscă și brutală a pământului și au loc datorită eliberării de energie din interiorul pământului, atunci când se produc mișcări ale plăcilor tectonice aflate în contact.

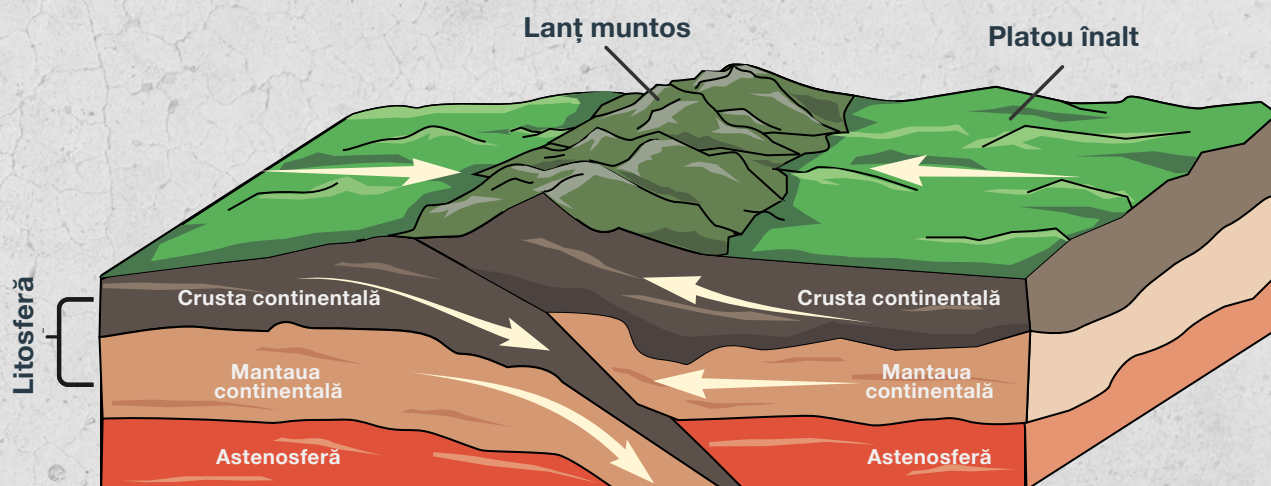


Fig. 1.1 – Interacțiunea plăcilor tectonice

Două plăci tectonice interacționează prin frecare, ciocnire sau îndepărtare. În momentul în care plăcile tectonice interacționează, ele pot genera rupturi masive de rocă în interiorul pământului eliberând energie sub formă de unde seismice. Aceste unde seismice sunt propagate în scoarța terestră, pe direcțiile verticală și orizontală.



Fig. 1.2 – Tipuri de falii tectonice

Cutremurele sunt definite de un hipocentru (punctul din adâncimea pământului de unde a pornit cutremurul) și un epicentru (punctul de unde pornesc undele de suprafață).

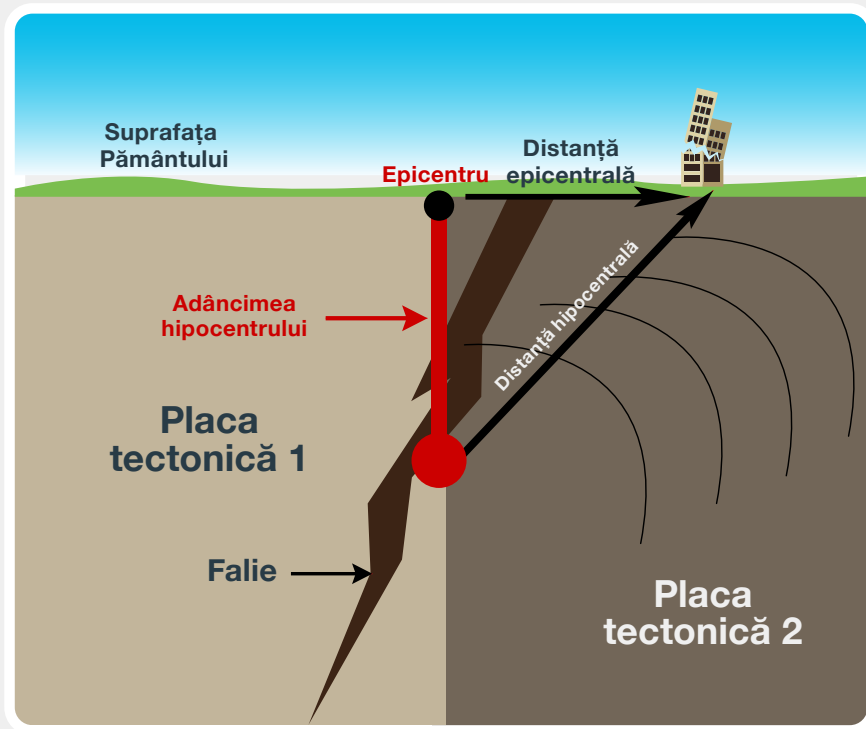


Fig. 1.3 – Parametri definire cutremur

Intensitatea și efectele unui cutremur pot varia în funcție de mai mulți parametri, cum ar fi:

- Magnitudinea unui eveniment seismic;
- Frecvența, durata și adâncimea la care acesta are loc (de exemplu, un hipocentru mai apropiat de suprafața pământului va genera o intensitate mai mare, dar pe o suprafață mai restrânsă);
- Mecanismul de producere a cutremurului (unișoc sau multișoc);
- Distanța epicentrală (distanța dintre epicentru și amplasamentul construcției studiate/expuse);
- Straturile de pământ pe care undele seismice le străbat între hipocentru și construcție (mediul de propagare);
- Caracteristicile geotehnice, hidrologice și geofizice ale terenului de fundare;
- Caracteristicile straturilor geologice profunde (referitoare la viteza de transmisie a undelor de forfecare).

Definirea și înțelegerea unui cutremur prin încadrarea sa pe scara magnitudinilor este necesară, nu însă și suficientă. Un cutremur de magnitudine ridicată poate să aibă efecte neînsemnate dacă zona afectată este una nelocuită, iar un cutremur de magnitudine medie poate să aibă urmări serioase asupra pierderilor de vieți sau asupra pierderilor materiale, dacă zona afectată este una urbană, intens populată. Nu înseamnă însă că un cutremur produs pe fundul mării nu poate să aibă urmări; mărturie stă cutremurul din 2004 din Oceanul Indian, care, prin tsunami-ul pe care l-a generat, a distrus localități întregi de pe coasta vest-asiatică, în Indonezia, cât și pe coasta de est a Africii, în Somalia.

Conform United States Geological Survey (USGS) în lume au loc anual 500.000 de cutremure detectate, din care 100.000 sunt resimțite de om și dintre care 100 produc efecte negative importante.

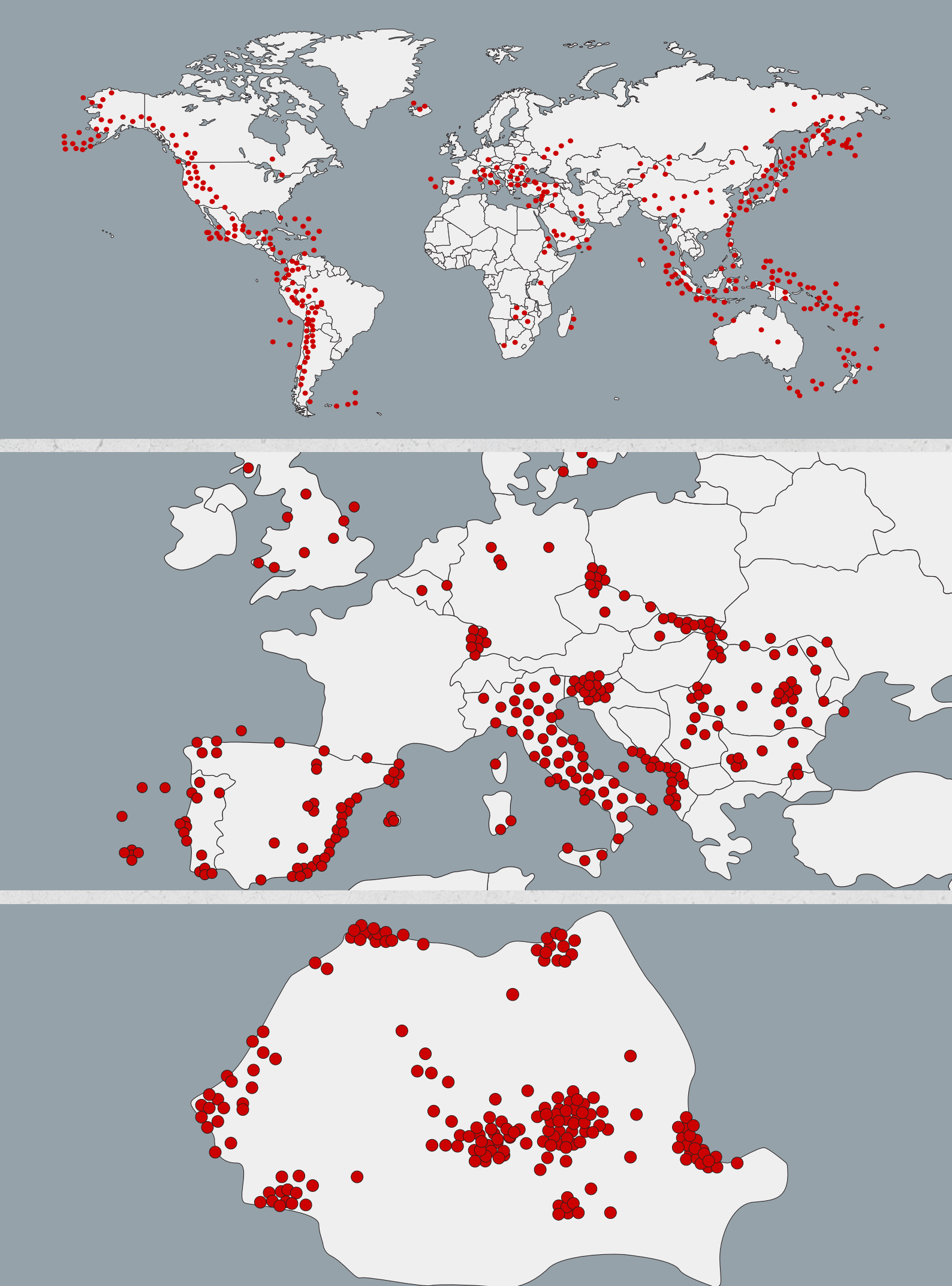


Fig. 1.4 – Distribuția evenimentelor seismice global (sus), în regiunea europeană (mijloc) și în România (jos)

Cutremurele pot avea efecte devastatoare asupra vieții omenești, asupra construcțiilor și, în cazuri extreme, chiar asupra reliefului și, implicit, asupra mediului înconjurător. Construcțiile și infrastructura vulnerabilă cedează catastrofic de cele mai multe ori, un cutremur putând să distrugă chiar și localități întregi; pot avea loc efecte secundare precum alunecări de teren, lichefierii de teren, incendii și inundații (generate natural, prin tsunami, sau artificial, prin cedarea infrastructurii hidrotehnice). Astfel că înțelegerea principiilor proiectării seismice devine crucială pentru reducerea impactului acestor dezastre. Prin continua studiere și dezvoltare a acestora, putem învăța din greșeli anterioare și putem asigura, în viitor, construcții mai reziliente la acțiunea accidentală a seismelor.



Fig. 1.5 – Clădiri avariate/distruse de cutremur.

1.3 Care este efectul cutremurelor asupra construcțiilor și care este rolul ingineriei seismice?

Nivelul de avariere și degradare al construcțiilor în urma unui cutremur depinde de mai mulți factori, cum ar fi magnitudinea cutremurului, condițiile geologice din zonă și mecanismele de proiectare a sistemului structural. Unele din principalele cauze ale avarierii și degradării construcțiilor sunt mișcările pământului, care pot fi verticale sau orizontale, afectând integritatea structurală a construcției. O altă cauză este frecvența undelor de suprafață; construcțiile răspund la anumite frecvențe în funcție de mărimea și forma lor, iar dacă frecvența undelor seismice se potrivește cu cea naturală a construcției, atunci construcția intră în rezonanță, ceea ce va genera efecte devastatoare asupra acesteia.

În plus, cutremurele pot afecta atât relieful natural cât și infrastructura construită. Mișcarea plăcilor tectonice poate duce la alunecări de teren, încrețirea scoarței terestre și chiar modificarea cursului unui râu. De asemenea, drumuri, căi ferate și poduri pot fi afectate de mișcarea scoarței terestre rezultând avariarea căilor de comunicații. Si rețele de utilități devin vulnerabile în fața efectelor seismice: rețele de gaze sau cele de alimentare electrică pot să explodeze, cauzând incendii și avariind serviciile esențiale. Regiunile de coastă maritimă pot fi afectate de efectele tsunami care pot distruge infrastructura din proximitate și pot duce la modificarea liniei costale.

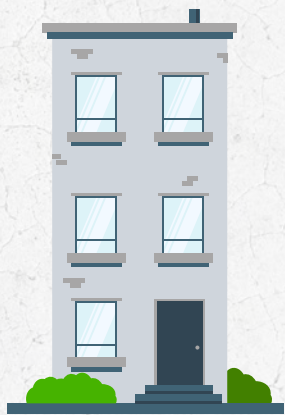
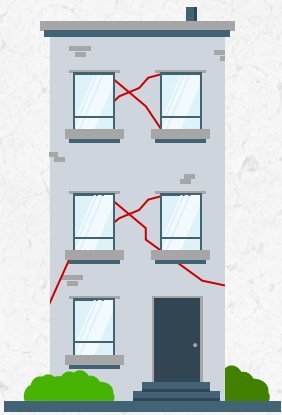
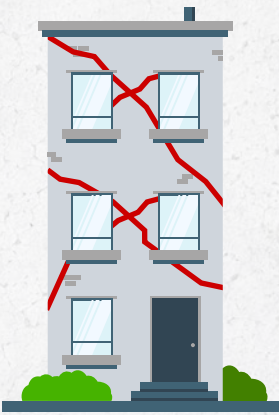
			
Neafectat	Degradări care nu afectează integritatea structurală	Cedare parțială	Cedare totală
În afara razei de acțiune a undelor seismice	Depărtată de epicentru dar pe raza de acțiune a undelor seismice	În apropiere de epicentru	La epicentru
Rocă dură	Pământuri cu pietriș sau rocă moale	Pământuri cu nisip compact	Pământuri argiloase

Fig. 1.6 – Nivel avariare în funcție de distanța epicentrală.



Imagini în proprietatea Institutului Național de Fizică a Pământului, România 1977
Fig. 1.7 – Tipuri de cedări: colaps complet clădiri, avariere moderată, avariere minoră.



Imagini în proprietatea Institutului Național de Fizică a Pământului, România 1977
Fig. 1.8 – Efectele cutremurului asupra terenului și infrastructurii



Fig. 1.9 – Consecințe ale acțiunii seismice: lichefierii, alunecări, tsunami, incendii, etc. - Japonia 2024

Ingineria seismică are rolul de a stabili felul în care trebuie protejate clădirile și viețile omenești, în cazul acțiunii distructive a cutremurelor. În subsidiar, ingineria seismică se preocupă de înțelegerea felului cum se produc evenimentele seismice, cum se transmit undele seismice prin teren și cum sunt impactate clădirile și infrastructura construită.

Sunt evidențiate mai multe arii de preocupări ingineresti, în funcție de diverse etape din existența clădirilor: măsuri implementate din faza de proiectare, măsuri de întreținere implementate în timpul duratei normale de utilizare și măsuri de reparare sau reabilitare ca urmare a anumitor evenimente.

1.4 Hazard, vulnerabilitate și risc seismic

Inginerul proiectant de structuri, precum și toți ceilalți actori principali implicați în procesul de construire, joacă un rol esențial în evaluarea riscului seismic. Aceștia trebuie să se asigure că proiectarea și construcția clădirilor respectă standardele anti-seismice. Riscul seismic se referă la potențialul de pierderi umane, economice și sociale cauzate de un potențial cutremur, iar în evaluarea riscului seismic sunt luate în considerare atât hazardul seismic cât și vulnerabilitatea construcțiilor.

Hazardul seismic reprezintă probabilitatea producerii unui cutremur într-o anumită zonă și impactul acestuia asupra mediului înconjurător și infrastructurii; el este influențat de activitatea tectonică, distanța față de faliile active și condițiile geologice locale. În evaluarea acestui hazard, sunt utilizate trei măsuri importante, denumite scări:

- scara Mercalli (1883, 1902, 1904 și 1931)
- scara Richter (1935)
- scara MMS, de magnitudine a momentului seismic (1979)

Scara Richter măsoară magnitudinea cutremurului (energia eliberată), fiind o măsură cantitativă și globală. Pe de altă parte, scara Mercalli evaluează intensitatea cutremurului la nivel local, bazându-se pe efectele percepute de oameni și pe daunele produse clădirilor și terenului, de la nivelul I (imperceptibil) la XII (distrugere totală). Cele două scale sunt complementare: scara Richter oferă o perspectivă generală asupra mărimii unui cutremur, în timp ce scara Mercalli reflectă impactul real în funcție de distanța față de epicentru și condițiile locale, fiind esențială pentru evaluarea riscurilor și pregătirea populației. Scara MMS este o măsură a magnitudinii unui cutremur, pe baza momentului seismic; ea a devenit scara standard utilizată de seismologii americani pentru raportarea cutremurelor mari.

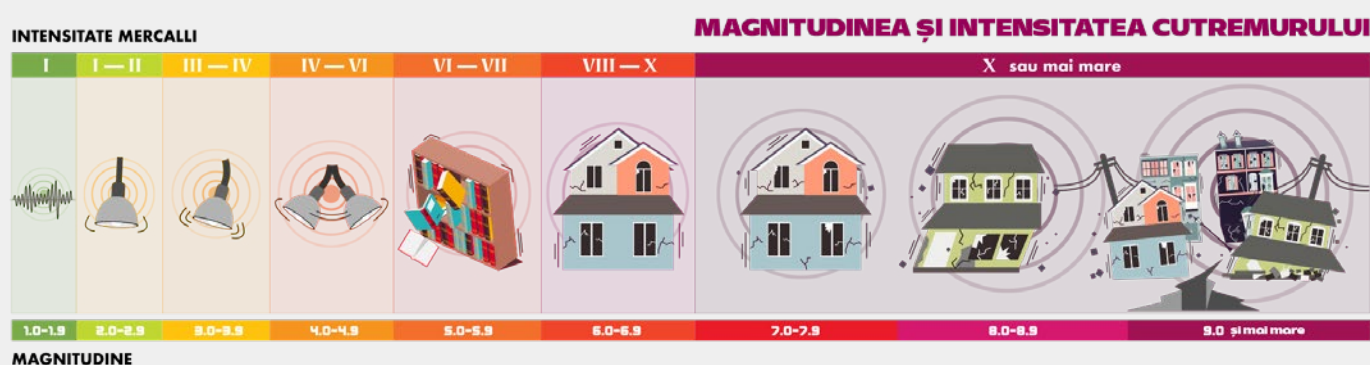


Fig. 1.10 – Scara Richter și scara Mercalli.

Vulnerabilitatea construcțiilor în fața cutremurelor se referă la susceptibilitatea acestora de a suferi daune în timpul unui seism, fiind influențată de factori precum conformarea structurală, materialele utilizate, vechimea clădirilor și gradul de avariere.

Construcțiile vechi sau neconsolidate, precum și cele realizate pe soluri instabile sau fără un proiect tehnic adecvat sunt deosebit de vulnerabile. Pentru a reduce aceste riscuri, este esențială adoptarea unor măsuri specifice, cum ar fi: aplicarea de standarde moderne în proiectare, utilizarea materialelor de construcție astfel încât să fie permise disipări de energie, consolidarea clădirilor existente prin metode adecvate (adăugarea de cadre de oțel, plăci de beton armat, izolatori sau amortizori seismici).

De asemenea, amplasarea construcțiilor în zone sigure, evitând terenurile cu risc ridicat de alunecări sau lichefiere, contribuie semnificativ la reducerea vulnerabilității lor. Conștientizarea acestor riscuri, prin educarea și pregătirea proprietarilor și constructorilor, completează aceste măsuri, sporind reziliența comunităților la evenimente seismice.

1.5 Structura prezentului ghid

CAPITOLUL 2:

Aspecte privind istoricul codurilor de proiectare seismică în România

- istoric al prevederilor de proiectare, după cutremurele din 1940 și 1977.

CAPITOLUL 3:

Legislație și procesul de construire

- Coduri, normative și legislație în vigoare.
- Rolurile participanților în procesul de construire (accent pe rolul autorităților publice, în general, după 1990).
- Posibilități de realizare a unei clădiri (regie proprie).
- Personalul tehnic implicat (inginer, Diriginte, RTE): rolului fiecărui specialist și cadrului legal aferent.
- Strategia națională pentru reducerea riscului seismic.

CAPITOLUL 4:

Proiectare structurală

- Cerințe de performanță.
- Clase de risc seismic.
- Clase de importanță.
- Stările limită: SLU și SLS/SLEN.
- Cerințe de limitare a deplasărilor laterale ale clădirilor.

CAPITOLUL 5:

Sisteme structurale pentru construcțiile rezistente la cutremur

- Tipuri de sisteme structurale.
- Criterii de selecție a sistemelor structurale.
- Modele grafice cu privire la fiecare tip de sistem structural (lemn, zidărie, beton, metal, sisteme mixte).
- Sistemelor structurale nepermise sau nerecomandate de codurile actuale, regăsite în clădirile mai vechi - explicații.
- Principalele caracteristici (avantaje/dezavantaje) ale sistemelor structurale prezentate.

CAPITOLUL 6:

Prevederi de alcătuire pentru clădiri

- Regularitate și simetrie structurală.
- Alcătuirea, rezerva de capacitate și interacțiunile cu alte clădiri.
- Sisteme de fundații și sisteme de protecție.

02

**ASPECTE PRIVIND
ISTORICUL CODURILOR
DE PROIECTARE
SEISMICĂ ÎN ROMÂNIA**

Anul 1909, Anul 1924 și Anul 1927:

Apariția primelor reglementări tehnice de proiectare seismică la nivel mondial, în Italia, Japonia și Statele Unite ale Americii

Începând cu primii ani ai secolului al XX-lea, în urma producerii unor cutremure distrugătoare la nivel mondial (printre cele mai cunoscute în literatura de specialitate fiind cutremurele din San Francisco-Statele Unite ale Americii, 1906, Messina-Italia, 1908, Kanto-Japonia, 1923), care au afectat sever atât clădirile istorice cât și construcțiile moderne, au apărut primele reglementări tehnice care au inclus prevederi specifice proiectării seismice.

Prima reglementare tehnică europeană cunoscută, ce a prevăzut considerarea acțiunilor orizontale seismice în calculul structurilor, a apărut în anul 1909 în Italia: „Standarde tehnice și igiene obligatorii pentru reparații, reconstrucții și construcții noi de clădiri publice și private în locurile afectate de cutremurul din 28 decembrie 1908 și altele precedente“.

În Japonia, una dintre cele mai active zone seismice din lume, este relevant de menționat apariția ediției din anul 1924 a Legii construcțiilor urbane, cunoscută ca primul cod japonez al construcțiilor. Aceasta a reprezentat o revizuire a primei ediții apărute în anul 1919 și s-a remarcat prin impunerea elaborării unui calcul structural luând în considerare și forța seismică.

În Statele Unite ale Americii, este important de remarcat apariția Codului Construcțiilor (UBC) din anul 1927, ce a inclus prevederi referitoare la acțiunile seismice.

În alte state ale lumii, cu potențial tehnic și științific semnificativ, pe teritoriul cărora se află zone seismice importante, prevederi similare au apărut în perioada următoare: Uniunea Sovietică (1937, prima hartă de zonare seismică), Turcia (1940, primul cod de proiectare seismică), China (1959, primul cod de proiectare seismică).

Anul 1941

Instrucțiuni provizorii pentru prevenirea deteriorării construcțiilor din cauza cutremurelor și repararea celor degradate

Prima reglementare tehnică, apreciată ca fiind pe deplin compatibilă cu ceea ce în prezent denumim proiectarea seismică a construcțiilor, a fost elaborată în România abia după producerea seismului din 10 noiembrie

1940, astfel că aceasta este considerată o referință tehnică și istorică importantă în acest domeniu. Elaborarea acesteia a fost realizată de o comisie de specialiști instituită de Consiliul Tehnic Superior din cadrul Ministerului Lucrărilor Publice și al Comunicațiilor iar aplicarea sa a fost obligatorie.

Această reglementare tehnică, intrată în vigoare în ianuarie 1942, a fost inspirată din cea mai recentă normă de proiectare seismică apărută în epocă (în traducere, Norme tehnice de construcție cu prescripții speciale pentru zonele seismice, Italia, 1938). Alcătuirea sa cuprindea 4 capitole, cu un total de 35 de articole și un exemplu de calcul pentru o structură în cadre de beton armat cu regimul de înălțime S+P+6E. Erau oferite instrucțiuni obligatorii pentru proiectarea unor elemente structurale (fundații, pereți din zidărie de cărămidă, stâlpi, grinzi și planșee de beton armat), însă caracterul său inovator era reprezentat de includerea în calculul structural al acțiunii seismice, complementar solicitărilor gravitaționale. Interesant de semnalat în această reglementare tehnică este și prima împărțire din punct de vedere seismic a teritoriului României: regiunea cea mai expusă la cutremure (la sud și est de Carpați, la care se adaugă județul Brașov) și regiunile în care se considera o acțiune mai redusă a cutremurelor (restul teritoriului țării).

Din păcate, publicarea acestor instrucțiuni tehnice provizorii în România s-a realizat cu mare întârziere, comparativ cu alte state ale lumii cu avans științific recunoscut în domeniu (Statele Unite ale Americii, Japonia, Italia), în perioada celui de-al doilea război mondial, iar acestea au rămas o perioadă importantă fără o aplicabilitate reală și concretă.

Anul 1945

Instrucțiuni pentru prevenirea deteriorării construcțiilor din cauza cutremurelor

Aceste instrucțiuni tehnice, publicate la 19 mai 1945, au fost elaborate de Ministerul Comunicațiilor și Lucrărilor Publice și au reprezentat o revizuire a instrucțiunilor tehnice provizorii din anul 1941. Alcătuirea acestei reglementări tehnice cuprindea 4 capitole, cu un total de 20 de articole, în care erau oferite instrucțiuni obligatorii pentru proiectarea și execuția unor elemente structurale, însă și instrucțiuni noi referitoare la considerarea în calcul a forțelor seismice. Printre altele, se ținea cont de natura terenului de fundare (valoarea forțelor seismice se majora cu 20% în cazul terenurilor de fundare slabe), era precizată necesitatea introducerii unor rigidizări în cadrul structurilor și erau prezentate recomandări minimale de prevenire a unor situații de încărcări dispuse dezavantajos, în cazul clădirilor cu înălțimea mai mare de 25,00 m și în cazul clădirilor la care înălțimea depășește de 4 ori dimensiunea minimă din plan.

Anul 1958

STAS 2923-58 „Prescripții generale de proiectare în regiuni seismice. Sarcini seismice“

Până la apariția în anul 1963 a primului normativ de proiectare seismică a construcțiilor în România, este important de consemnat o primă realizare semnificativă a specialiștilor români în acest domeniu: elaborarea în cadrul Comisiei de Standardizare a Republicii Populare Române, la nivel de anteproiect (două volume), a STAS 2923-58 „Prescripții generale de proiectare în regiuni seismice. Sarcini seismice“, care, însă, nu a primit aprobarea oficială din partea autorităților pentru a fi continuat și apoi publicat.

Anul 1963

P13-63 „Normativul condiționat pentru proiectarea construcțiilor civile și industriale din regiuni seismice“

Din punct de vedere cronologic, P13-63 a fost primul normativ de proiectare seismică a construcțiilor apărut în România, inspirat din normativul similar existent în Uniunea Sovietică. A fost elaborat de Comitetul de Stat pentru Construcții, Arhitectură și Sistemizare în acord cu Regulile de bază pentru proiectarea construcțiilor în regiuni seismice redactate în cadrul C.A.E.R., organizație internațională de colaborare economică între fostele state socialiste.

Conform P13-63, relația de calcul pentru sarcina seismică orizontală totală care acționează asupra unei construcții era cuantificată prin produsul unor coeficienți ce țineau cont, printre altele, de influența gradului de seismicitate de calcul și coeficientul dinamic al construcției, de influența materialului și a structurii construcției asupra amortizării prin frecare interioară a vibrațiilor produse de sarcinile seismice și de rezultanta sarcinilor gravitaționale pentru toate nivelurile construcției.

Normativul P13-63 a prezentat cinci clase de importanță pentru construcții și patru grade de seismicitate, dintre care, doar pentru trei dintre acestea era prevăzută necesitatea verificării la sarcini seismice de calcul (gradele 7, 8 și 9), însă nu a conținut prevederi privind verificarea deplasărilor laterale ale construcției din acțiunea forței seismice.

Este important de menționat că, în condițiile în care marea majoritate a teritoriului României era încadrat, conform STAS 2923-63, în zona de grad seismic 6, normativul P13-63 prevedea conformarea și dimensionarea structurilor și a componentelor nestructurale sub efectul forțelor seismice, doar pentru construcțiile amplasate în zone de grad seismic minim 7.

Anul 1970

P13-70 „Normativul pentru proiectarea construcțiilor civile și industriale din regiuni seismice“

Normativul P13-70 a fost elaborat de Institutul de Cercetări în Construcții și Economia Construcțiilor INCERC București, pe baza lucrărilor colectivului de specialiști desemnați în acest scop, încercându-se îmbunătățirea ediției din anul 1963 în concordanță cu noile norme internaționale și cele mai recente cercetări științifice de specialitate, efectuate în țară și pe plan extern. Astfel, printre modificările introduse se remarcă eliminarea termenului, considerat ca fiind artificial, de grad seismic de calcul, prescriindu-se direct valorile accelerației seismice de calcul în funcție de importanța construcției și de gradul de intensitate seismică a zonei, conform STAS 2923-63, precum și reducerea numărului claselor de importanță pentru construcții la patru.

Relația de calcul pentru sarcina seismică orizontală totală care acționează asupra unei construcții a fost similară celei din normativul P13-63, în condițiile modificărilor menționate. De asemenea, similar normativului precedent, nici normativul P13-70 nu a conținut prevederi privind verificarea deplasărilor laterale din acțiunea forței seismice.

Anul 1978 și Anul 1981

P100-78 și P100-81 „Normativul pentru proiectarea antiseismică a construcțiilor de locuințe social-culturale, agrozootehnice și industriale“

Evenimentul seismic major de la 4 martie 1977 a constituit o bornă fundamentală în ceea ce privește creșterea rigorii și nivelului științific pentru viitoarele normative românești de proiectare seismică a construcțiilor. Astfel, analiza efectelor majore ale seismului din 4 martie 1977, existența unei înregistrări a accelerației terenului (la stația seismică din cadrul Institutului de Cercetări în Construcții și Economia Construcțiilor INCERC București), precum și constituirea unei consistente baze de date cu concluzii obținute în urma cercetărilor și observațiilor efectuate pe teren, au contribuit la elaborarea noului „Normativ pentru proiectarea antiseismică a construcțiilor de locuințe socialculturale, agrozootehnice și industriale”, P100-78.

Normativul P100-78 a fost elaborat de un colectiv de specialiști constituit de Institutul Central de Cercetare, Proiectare și Directivare în Construcții și a fost prevăzut a fi aplicat experimental în perioada 1978-1979. Pe baza concluziilor rezultate din aplicarea acestui normativ a fost elaborată o variantă ulterioară, îmbunătățită, respectiv P100-81.

Conform P100-78 și P100-81, relația de calcul pentru sarcina seismică orizontală care acționează asupra unei construcții se determina pentru fiecare mod de vibrație și era cuantificată prin produsul dintre coeficienți ce țineau cont, printre altele, de gradul de protecție antiseismică al construcției, de ductilitatea structurii, de capacitatea de redistribuire a eforturilor, de ponderea cu care intervin rezervele de rezistență neconsiderate în calcul rezultate din conlucrarea structurii cu elementele nestructurale, de efectul amortizării vibrațiilor și de rezultanta sarcinilor gravitaționale.

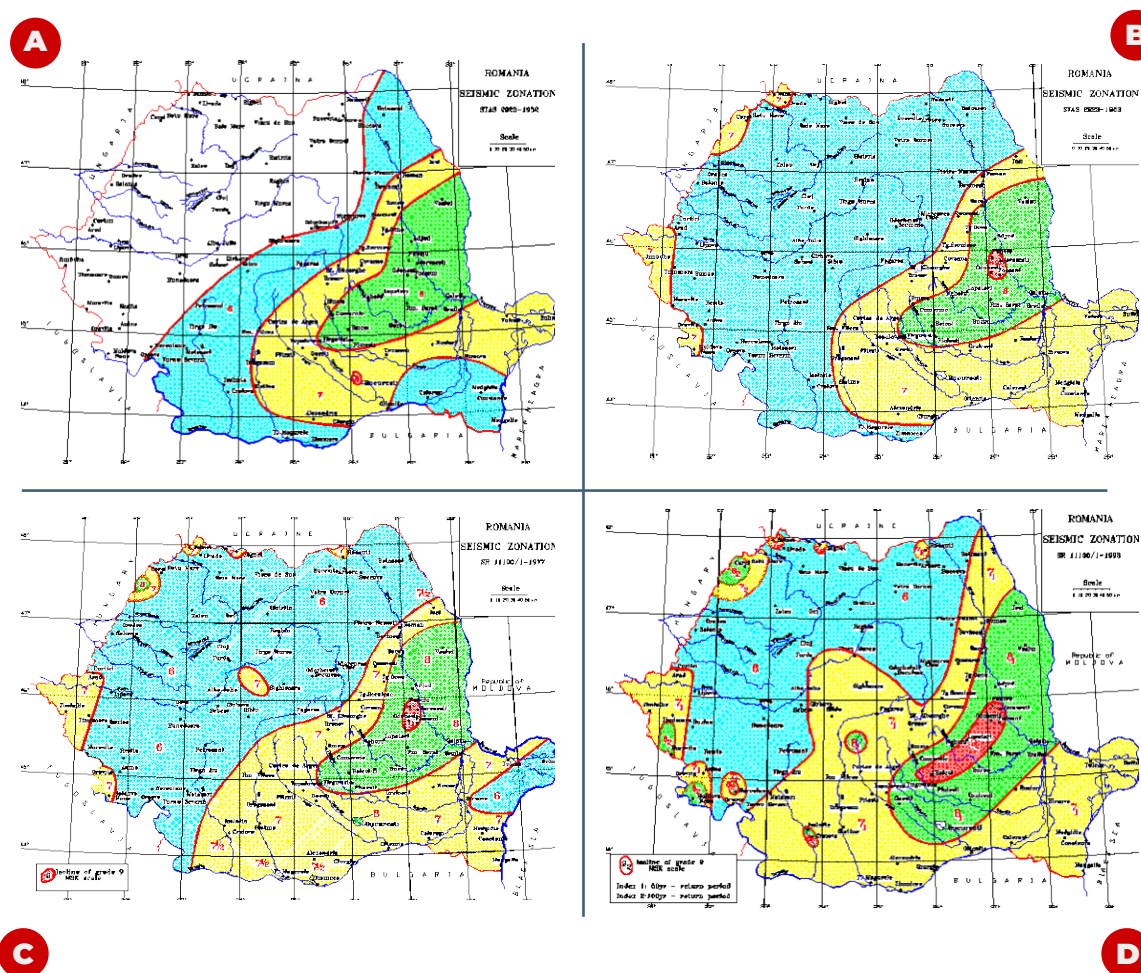


Fig. 2.1 – Analiză comparativă a hărților de zonare a intensității seismice adoptate în România în anii 1952 (stânga, sus), 1963 (dreapta, sus), 1977 (stânga, jos) și 1993 (dreapta, jos).

A *Harta de zonare a intensității seismice a teritoriului României, conform STAS 2923-52, elaborată de Oficiul de Stat pentru Standardizare din București.*

A fost inspirată din prima împărțire din punct de vedere seismic a teritoriului României (1941, 1945) care menționa că regiunea cea mai expusă la cutremure este la sud și est de Carpați, la care se adaugă județul Brașov iar regiunile în care se consideră o acțiune mai redusă a cutremurelor se află în restul teritoriului țării. Pentru regiunile menționate expuse la cutremure existau zone având 3 grade de seismicitate: 8 (verde), 7 (galben) și 6 (albastru).

- B** *Harta de zonare a intensității seismice a teritoriului Republicii Populare Române, conform STAS 2923-63, elaborată de Oficiul de Stat pentru Standardizare București.*

Reprezintă o îmbunătățire a macrozonării seismice conform STAS 2923-52: tot teritoriul țării este expus la cutremure, existând zone având 4 grade de seismicitate: 9 (roșu, respectiv zona sursei subcrustale Vrancea), 8 (verde), 7 (galben) și 6 (albastru, respectiv cea mai mare parte a teritoriului).

- C** *Harta de zonare a intensității seismice a teritoriului României, conform STAS 11100/1-77, elaborată de Institutul Român de Standardizare din București, după producerea cutremurului major de la 4 martie 1977.*

Reprezintă o îmbunătățire semnificativă a macrozonării seismice conform STAS 2923-63: tot teritoriul țării este expus la cutremure, existând zone având 4 grade de seismicitate: 9 (roșu, respectiv zona sursei subcrustale Vrancea), 8 (verde), 7 (galben) și 6 (albastru, respectiv cea mai mare parte a teritoriului). Având în vedere distrugerile majore produse de cutremurul din 4 martie 1977, conjunctural, s-a atribuit gradul 7½ orașelor Craiova, Iași, Zimnicea și Turnu-Măgurele și gradul 8 capitalei țării.

- D** *Harta de zonare a intensității seismice a teritoriului României, conform STAS 11100/1-91 și STAS 11100/1-93, elaborată de Institutul Român de Standardizare din București după producerea cutremurelor importante din 30 august 1986 și 30-31 mai 1990.*

Reprezintă o îmbunătățire substanțială a macrozonării seismice conform STAS 11100/1-77: tot teritoriul țării este expus la cutremure, existând zone având 4 grade de seismicitate: 9 (roșu, respectiv zona sursei subcrustale Vrancea ce a fost semnificativ extinsă), 8 (verde, zonă ce a fost semnificativ extinsă incluzând și zona capitalei țării), 7 (galben, zonă ce a fost extinsă, inclusiv pe toată suprafața Dobrogei) și 6 (albastru, în restul teritoriului).

Anul 1991 și Anul 1992

P100-91 și P100-92 „Normativul pentru proiectarea anti-seismică a construcțiilor de locuințe social-culturale, agrozootehnice și industriale”

Evenimentele seismice majore din 30 august 1986 și respectiv 30 și 31 mai 1990, ce au contribuit cu date noi din mișcările înregistrate în rețelele seismice existente la nivel național, coroborat cu cercetările de specialitate realizate în România după anul 1977 (unele fiind de certă valoare științifică), dar și pe plan mondial, au condus la apariția următoarelor normative seismice, P100-91 și P100-92, cel mai cunoscut publicului larg fiind P100-92.

Normativele P100-91 și P100-92 au fost elaborate de colective de specialiști constituite de Ministerul Lucrărilor Publice și Amenajării Teritoriului într-o concepție modernă, ce au introdus unele elemente de noutate. Astfel, comparativ cu normativul precedent, P100-81, în care au fost precizate 7 zone cu grade diferite de protecție seismică, în noile normative, P100-91 și P100-92, au fost considerate numai 6 zone seismice de calcul. De asemenea, relația de calcul pentru sarcina seismică orizontală totală care acționează asupra unei construcții a inclus un coeficient care diferențiază nivelurile de protecție seismică în funcție de cele 4 clase de importanță ale construcțiilor și au fost diversificate tipurile de structuri în aprecierea coeficientului de reducere a efectelor acțiunii seismice.

Dacă normativul P100-81 a fost primul care a conținut prevederi privind verificarea deplasărilor laterale din acțiunea forței seismice, normativul P100-92 a prevăzut limitări mai precise în acest sens. De asemenea, normativul P100-92 a introdus în premieră noțiunea de „interval mediu de recurență”, cu referire la perioadele de revenire ale intensităților cutremurelor corespunzătoare zonelor seismice din harta de zonare a intensității seismice a teritoriului României, conform STAS 11100/1-91, revizuit ulterior prin STAS 11100/1-93. Totodată, normativul P100-92 a inclus prevederi cu referire la expertizarea unei construcții existente și a stabilit criteriul cantitativ pentru stabilirea deciziei de intervenție, respectiv valoarea gradului de asigurare la acțiuni seismice a acestora.

Anul 1996

Completarea și modificarea capitolelor 11 și 12 din P100-92 „Normativul pentru proiectarea antiseismică a construcțiilor de locuințe social-culturale, agrozootehnice și industriale”

Documentul a fost elaborat de Ministerul Lucrărilor Publice și Amenajării Teritoriului prin Universitatea Tehnică de Construcții din București. A introdus noi precizări privind expertizarea unei construcții existente și determinarea valorii gradului de asigurare la acțiuni seismice a acestora, însă este important, printre altele, prin faptul că prezintă în premieră, detalii privind încadrarea construcțiilor în 4 clase de risc seismic.

Anul 2004

P100-1/2004 Cod de proiectare seismică „Prevederi de proiectare pentru clădiri - Partea I”

Codul P100-1/2004 a fost printre primele reglementări tehnice din România care au fost elaborate în scopul armonizării reglementărilor tehnice naționale cu cele existente în Uniunea Europeană, țara noastră

nefiind membru la acel moment. Din punct de vedere al titulaturii, s-a renunțat la expresia folosită până în anul 1992, respectiv aceea de „normativ”, în detrimentul celei de „cod”. A fost elaborat pe structura și în formatul codului european EC8 (SR EN 1998-1:2004) și a cuprins diverse informații tehnice, la nivelul acelei perioade istorice, pe plan internațional, însă cu aplicabilitate la condițiile seismice specifice teritoriului României. A avut o perioadă de utilizare redusă, fiind premurgător codului P100-1/2006, o reglementare tehnică modernă, un veritabil salt calitativ, comparativ cu precedenta reglementare tehnică relevantă, P100-92.

Anul 2006

P100-1/2006 Codul de proiectare seismică „Partea I - Prevederi de proiectare pentru clădiri”

Comparativ cu normativul P100-92, apreciat ca fiind unul de referință după producerea ultimelor evenimente seismice majore din România, ce a inclus prevederi atât pentru domeniul proiectării seismice a clădirilor noi cât și pentru cel al expertizării construcțiilor existente, începând cu anul 2006 s-a trecut la elaborarea codurilor, separat, pentru cele două domenii menționate.

Codul de proiectare seismică P100-1/2006 „Partea I - Prevederi de proiectare pentru clădiri”, intrat în vigoare din anul 2007, a fost elaborat pe structura și în formatul codului european EC8 (SR EN 1998-1:2004) și a reprezentat o versiune modernă de prescripție de proiectare seismică românească, aplicată proiectării construcțiilor amplasate în zone seismice ale teritoriului României, mai puțin construcțiile cu risc înalt pentru populație cum sunt centralele nucleare.

Structura sa a fost constituită din 11 capitole și 7 anexe, ce au reprezentat, totodată și baza alcătuirii viitoarei ediții, îmbunătățite, din anul 2013. Capitolele sale au cuprins generalități, cerințe de performanță esențiale și criterii pentru controlul îndeplinirii acestora la clădiri din zone seismice, metodele de reprezentare ale acțiunii seismice și pentru combinarea lor cu alte acțiuni, reguli generale de alcătuire pentru clădiri, modele și metode de calcul structural al clădirilor, reguli specifice pentru structuri de beton armat, din oțel, compozite oțel-beton, din zidărie, din lemn, cerințe de bază și reguli de proiectare a elementelor nestructurale, concepte și reguli pentru izolarea seismică a bazei structurilor.

Dacă normativul P100-92 a introdus în premieră noțiunea de „interval mediu de recurență”, cu referire la perioadele de revenire ale intensităților cutremurelor corespunzătoare zonelor seismice din harta de zonare a intensității seismice a teritoriului României, codul P100-1/2006 a introdus două niveluri de severitate pentru cele două cerințe esențiale de

proiectare, respectiv un interval mediu de recurență de 30 de ani asociat cerinței de limitare a degradărilor și de 100 ani asociat cerinței de siguranță a vieții.

Anul 2008

P100/3-2008 Cod de proiectare seismică „Partea III - Prevederi de proiectare pentru evaluarea seismică a clădirilor existente”

Codul de proiectare seismică P100-3/2008 „Partea III - Prevederi de proiectare pentru evaluarea seismică a clădirilor existente”, a fost elaborat de Ministerul Dezvoltării, Lucrărilor Publice, Amenajării Teritoriului și Locuinței prin Universitatea Tehnică de Construcții din București și a reprezentat primul cod elaborat exclusiv pentru expertizarea construcțiilor existente. Structura sa a fost constituită din 8 capitole și 5 anexe, ce au reprezentat, totodată și baza alcătuirii ediției din anul 2019, semnificativ îmbunătățite.

Capitolele sale au cuprins aspecte generale, cerințe de performanță și criterii de îndeplinire a acestora, aspecte privind evaluarea seismică a structurilor și componentelor nestructurale, colectarea informațiilor pentru evaluarea structurală, evaluarea calitativă, evaluarea prin calcul, evaluarea fundațiilor, evaluarea finală și formularea concluziilor.

Anexele codului au conținut informații privind evaluarea construcțiilor din beton armat, oțel și respectiv din zidărie dar și pentru evaluarea componentelor nestructurale ale clădirilor.

Referitor la evaluarea finală și formularea concluziilor acesteia, a fost păstrată încadrarea construcțiilor în 4 clase de risc seismic, stabilită încă din anul 1996, cu ocazia completării și modificării unor capitole ale normativului P100-92.

Anul 2013

P100-1/2013 Codul de proiectare seismică „Partea I - Prevederi de proiectare pentru clădiri”

Codul de proiectare seismică P100-1/2013 „Partea I - Prevederi de proiectare pentru clădiri”, a fost elaborat de Ministerul Dezvoltării Regionale și Administrației Publice, prin Universitatea Tehnică de Construcții din București, fiind în vigoare la momentul redactării prezentului ghid. Acest cod de proiectare seismică a reprezentat o

îmbunătățire a ediției din anul 2006, beneficiind de o bibliografie vastă, cu deschidere remarcabilă către literatura de cercetare științifică recentă de pe plan internațional.

Structura sa a păstrat numărul de capitole al ediției din anul 2006, însă a crescut numărul anexelor la 10, cu accent pe recomandările și exemplele de proiectare. Acest cod de proiectare seismică s-a remarcat, printre altele, prin implementarea unor modificări esențiale pentru procesul de proiectare, din punct de vedere al hazardului seismic, comparativ cu codul P100-1/2006, respectiv un interval mediu de recurență de 40 de ani (cu probabilitate de depășire de 20% în 10 de ani) asociat cerinței de limitare a degradărilor și de 225 de ani (cu probabilitate de depășire de 20% în 50 de ani) asociat cerinței de siguranță a vieții.

Anul 2019

P100/3-2019 Cod de proiectare seismică „Partea III - Prevederi de proiectare pentru evaluarea seismică a clădirilor existente”

Codul de proiectare seismică P100-3/2019 „Partea I - Prevederi de proiectare pentru evaluarea seismică a clădirilor existente”, a fost elaborat ca revizuire a ediției din anul 2008 de Ministerul Dezvoltării Regionale și Administrației Publice, prin Universitatea Tehnică de Construcții din București, fiind în vigoare la momentul redactării prezentului ghid.

Structura noului cod a păstrat numărul de capitole al ediției precedente (2008), însă a crescut numărul anexelor la 10. Complementar informațiilor privind evaluarea construcțiilor din beton armat, oțel și zidărie dar și pentru evaluarea componentelor nestructurale ale clădirilor, anexele acestui cod prezintă informații noi, clare și explicite, printr-un îndrumător de reabilitare seismică a clădirilor existente, prin exemple de calcul a lucrărilor de intervenție structurală la clădiri existente, vulnerabile seismic, prin exemple de rapoarte de evaluare seismică și un îndrumător pentru elaborarea raportului de expertiză tehnică seismică la clădiri.

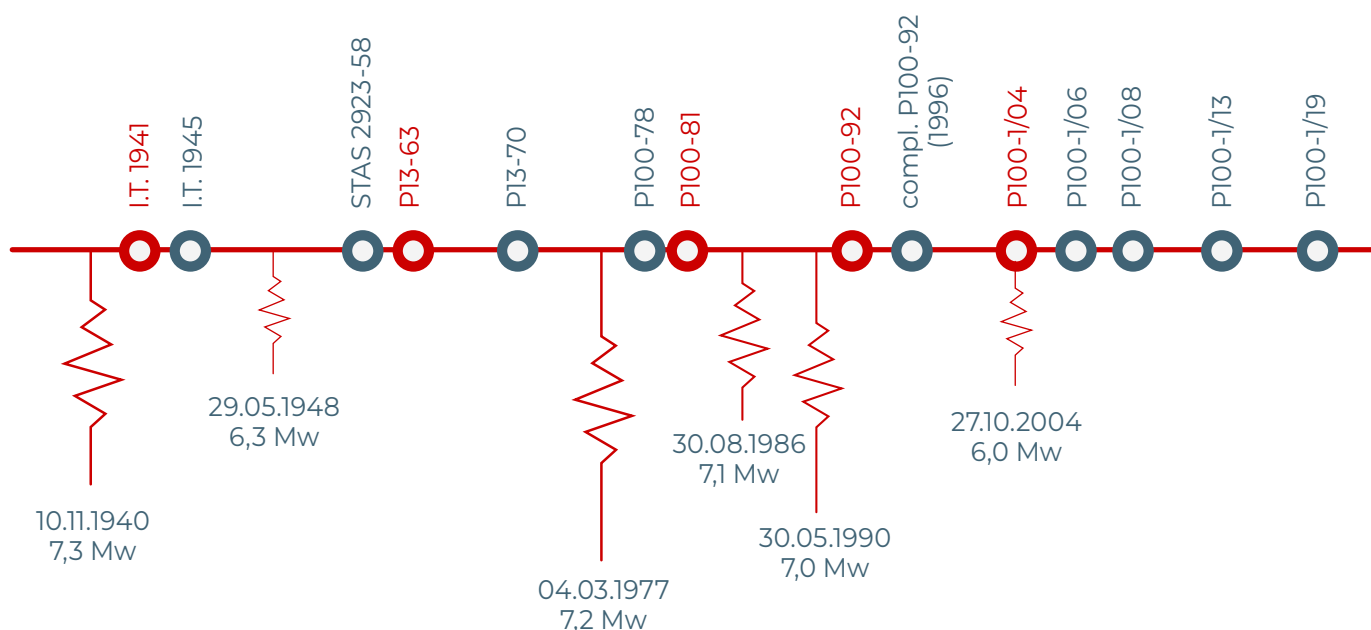
Referitor la evaluarea finală și formularea concluziilor acesteia, a fost păstrată încadrarea construcțiilor în 4 clase de risc seismic, stabilită încă din anul 1996, cu ocazia completării și modificării unor capitole ale normativului P100-92 și reconfirmată în ediția precedentă a codului din anul 2008.

Sumar

Prima reglementare tehnică, apreciată ca fiind pe deplin compatibilă cu ceea ce în prezent denumim proiectarea seismică a construcțiilor, a fost elaborată în România după producerea seismului din 10 noiembrie 1940, aceasta fiind considerată o referință tehnică și istorică în domeniu. Cronologia evoluției ulterioare a codurilor de proiectare seismică în țara noastră a fost caracterizată, în principal, de îmbunătățire permanentă, deschidere către literatura de cercetare științifică de pe plan internațional și valorificarea unor informații esențiale din baza de date a mișcărilor înregistrate în rețelele seismice existente la nivel național, constituită după producerea seismului din 4 martie 1977.

Din cele 15 reglementări tehnice, normative și coduri elaborate în acest domeniu în perioada 1941-2019, se poate aprecia importanța edițiilor din anii 1941 (referință tehnică și istorică), 1963 (primul normativ de proiectare seismică a construcțiilor), 1992 (primul normativ cu o concepție modernă, ce a introdus elemente relevante de noutate științifică, beneficiind de experiența seismelor din anii 1977, 1986, 1990) și 2004 (primul cod de proiectare seismică elaborat pe structura și în formatul codului european EC8, SR EN 1998-1:2004).

Coduri de proiectare seismică apărute în România în perioada 1940 - 2019



Acțiuni seismice relevante în România în perioada 1940 - 2019

Fig. 2.2 – Analiză privind apariția codurilor de proiectare seismică în România, în raport cu datele producerii evenimentelor seismice relevante (perioada 1940-2019).

Cutremurele sunt fenomene naturale foarte complexe, nu în totalitate cunoscute, ale căror consecințe și efecte, directe și indirecte, asupra structurii construcțiilor se cunosc numai după producerea acestora. Cu mare probabilitate, un nou cutremur poate contribui cu informații noi în acest domeniu, astfel că, elaborarea codurilor de proiectare seismică reprezintă, cu certitudine, un proces aflat într-o continuă evoluție și îmbunătățire.

LEGISLAȚIE ȘI PROCESUL DE CONSTRUIRE

3.1 Cadrul legislativ în domeniul construcțiilor

Prevederile legislației naționale și europene în ceea ce privește amenajarea teritoriului, urbanismul și construcțiile, sunt, la momentul elaborării acestui ghid, pe cale de a se introduce într-un singur Cod, prin care să se asigure cadrul normativ din aceste domenii.

Până la apariția acestui cod, structura legislativă actuală din domeniul construcțiilor, în care cea legată de reducerea riscului seismic are o importanță majoră, se împarte pe mai multe categorii:

Strategia națională de reducere a riscului seismic

Obiectivul principal al acestei strategii este de a transforma până în 2050 fondul construit al României într-un fond construit rezistent la seisme. Astfel, obiectivele secundare sunt:

- Prevenirea pierderilor de vieți omenești, reducerea numărului de vătămări și a victimelor, minimizarea daunelor și pagubelor materiale protejând fondul construit prin investiții eficiente;
- Promovarea bunăstării prin crearea de beneficii conexe prin îmbunătățirea condițiilor de eficiență energetică și sanitare, printre alte aspecte funcționale;

- Creșterea rezilienței prin integrarea considerentelor de risc în planificarea teritorială și sectorială și asigurarea unor procese reziliente de recuperare și reconstrucție post-seism;
- Mobilizarea participării și acțiunii incluzive prin creșterea nivelului de conștientizare publică cu privire la managementul riscului seismic și creșterea nivelului de asumare în implementarea măsurilor de reducere a riscurilor.

Întrucât cunoștințele devin mai avansate odată cu tehnologia și experiența unor noi seisme ce oferă date suplimentare, legislația se actualizează, scopul fiind acela de a permite inginerilor proiectanți de structuri și a celorlalte specialități care participă la realizarea unei construcții, să livreze clădiri care să funcționeze și după cutremure, făcându-le mai fezabile.

În funcție de categoriile și clasele de importanță ale construcțiilor, obiectivul inginerilor proiectanți de structuri este minimizarea impactului seismelor asupra construcțiilor, prin definirea unor riscuri acceptabile în funcție de importanța socială a clădirilor (daunele acceptabile anticipate sunt cu atât mai mici cu cât clădirea este mai esențială – cum ar fi spitalele).

Deși dorința generală a societății este de a avea construcții cu risc minim la seism, este o dezbatere permanentă între proprietarii de clădiri, investitori, dezvoltatori, beneficiari, administrație etc. de încadrare a costurilor în limite acceptabile, astfel încât aportul și răspunderea inginerilor proiectanți de structuri este mai importantă cu cât valoarea investiției este mai mare, atât în plan economic-financiar, dar și în plan social-cultural, ceea ce înseamnă că aportul acestora nu este neapărat direct proporțional cu dimensiunea clădirii, mai nou cerințele de minimizare a efectelor seismelor extinzându-se și asupra componentelor nestructurale.

Prin adresele de mai jos, se pot accesa direct documentele pentru o mai bună înțelegere a contextului legislativ.

- **Evaluarea riscului seismic**
- **Strategia națională de reducere a riscului seismic**
- **Strategia națională de reducere a riscului de dezastre 2024-2035**

Reglementări tehnice în construcții și standarde

Documentele care urmează prezintă o listă a reglementărilor tehnice, normativelor și standardelor aplicate în construcții atât la nivel național cât și la nivel european.

- Reglementări tehnice și standarde naționale
- Standarde europene și anexe naționale

3.2 Procesul de construire

1. Viziune, concept și finanțare

- Se identifică scopurile și obiectivele proiectului;
- Se efectuează analize de amplasament;
- Se identifică legislația (standardele, normative, regulamente de urbanism și alte cerințe ale avizatorilor) aplicabilă;
- Se identifică cerințele tehnice (dar și estetice, social-culturale etc.) ale programului;
- Se investighează și se analizează situația actuală;
- Se elaborează studiile de prefizabilitate și de fezabilitate (se aduc la un numitor comun viziunea investitorului, necesitățile proiectului, ale societății, ale construcțiilor și buget);
- Se pregătesc documentele inițiale de proiectare (scheme funcționale, concept etc.);
- Se estimează costurile pentru a determina fezabilitatea;
- Se determină și se investighează factorii conflictuali (vecinătăți, regulamente de urbanism, coduri sanitare, de mediu și de incendiu, monumente și alte coduri locale și guvernamentale);
- Se elaborează recomandări cu privire la scopul, calitatea și bugetul proiectului.

2. Proiectare și autorizare

- Se pregătesc documentele de proiectare;
- Se asigură costuri de construcție defalcate pe faze, specialități, obiecte etc.
- Se pregătesc specificațiile în concordanță cu legislația;
- Se pregătesc documentațiile pentru autorizare și licitație;
- Se pregătește costul detaliat în devize generale (care includ prețuri unitare, cantități de manopere, materiale, utilaje etc.);
- Se pregătesc specificații în caiete de sarcini și contracte de execuție
- Se actualizează datele de estimare ale proiectului.

3. Licitare și negociere

- Se studiază calificarea și încadrarea în condițiile contractuale ale candidaților;
- Se pregătesc documentațiile de licitație;
- Se evaluează candidații și au loc negocieri;
- Se determină antreprenorul lucrării și se încheie contractul de execuție.

4. Execuție, recepție și luare în folosință

- Se asigură administrarea contractului;
- Se notifică și se revizuiesc orice situații neconforme;
- Se obțin recepțiile pe faze de lucrări și la terminarea acestora;
- Se obțin documentele de luare în folosință și înscriere în cartea funciară.

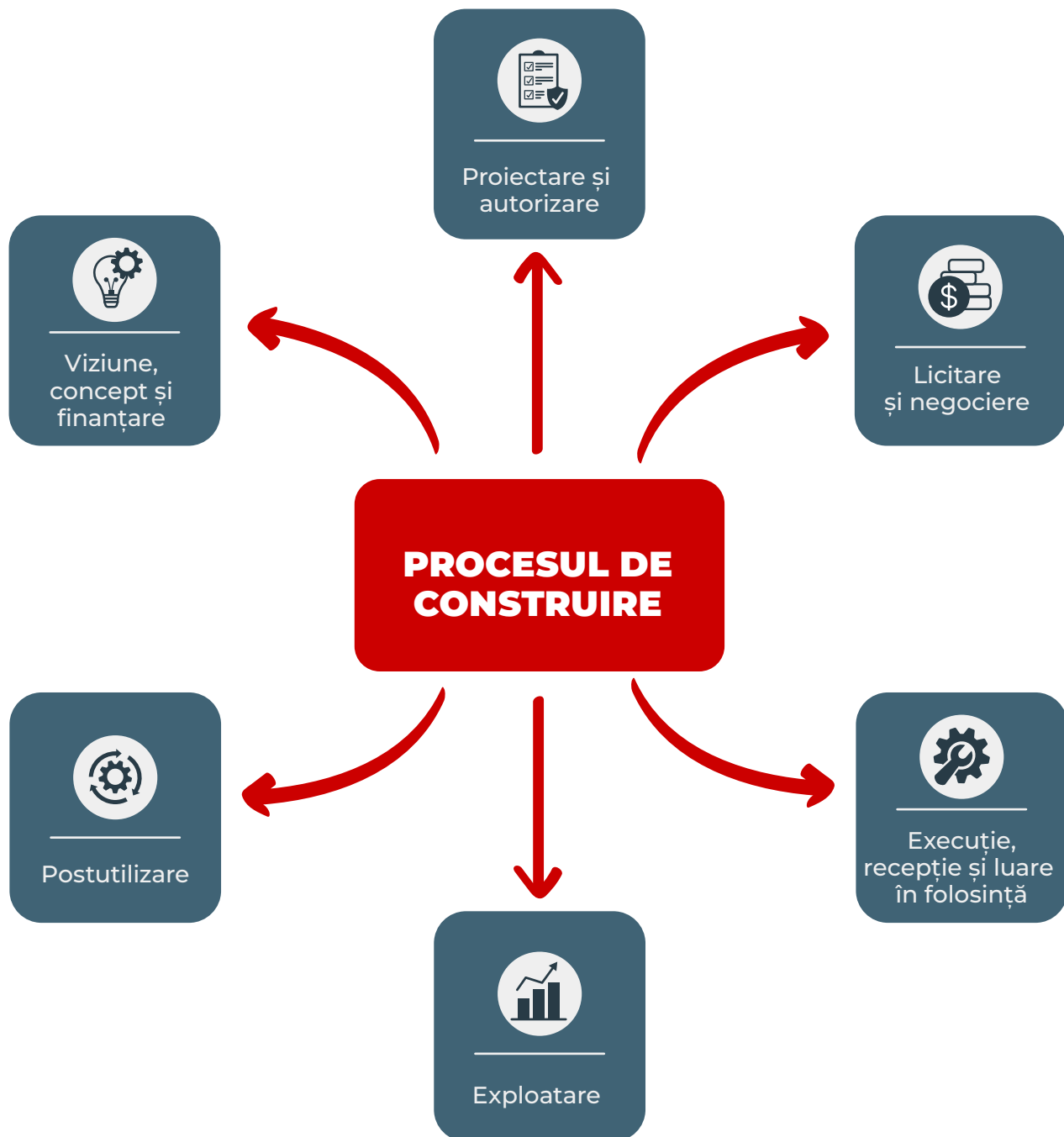
5. Exploatare

- Se obțin autorizații de funcționare conform specificului activității;
- Se administrează clădirea conform legislației în vigoare pe toată durata de existență a acesteia.

6. Postutilizare

- Se obțin documente legale pentru desființarea construcției și pentru eliberarea terenului.

3.3 Activități și persoane implicate în procesul de construire



Finanțare

- Investitor - manager de proiect, consultant

Studii de teren

- topograf
- geotehnician
- geolog
- hidrolog (determină caracteristici ale suprafeței terenului, ale subsolului și apelor de pe amplasamentul studiat;

Planuri urbanistice

- urbanist
- arheolog
- istoric
- arhitect (determină parametri și caracteristici ale zonelor, construcțiilor existente și propuse, stabilesc forma, estetica, configurația clădirilor din proiect, asigură de regulă colaborarea între specialiști ca șefi de proiect complex)
- inginer proiectant de structuri (proiectează structurile astfel încât acestea să suporte diverse încărcări - greutate proprie ale materialelor componente ale elementelor de construcții, utile din exploatare, extreme - explozii, climatice - vânt, zăpadă, temperatură, seism)
- ingineri de drumuri
- instalatori și tehnologi (asigură șefia de proiect pe specialități, proiectează și asigură verificarea proiectelor, întocmesc diverse expertize)
- peisagiști și horticultori
- designeri și arhitecți de interior;

Avizare, autorizare

- funcționari publici de diverse specialități, inclusiv ingineri structuriști, din administrația locală și guvernamentală, de la furnizorii de utilități și specialiști particulari - verificatori și experți (primării, consilii județene, inspectorate în construcții, agenții de mediu, cultură, sanitare etc.)

Execuție, recepții

- arhitect, ingineri proiectanți de structuri, responsabili tehnici cu execuția și diriginți de șantier, arhitecți și ingineri de alte specialități (asigură asistența tehnică pe șantier din partea proiectantului, al executantului sau al beneficiarului, asigură calitatea materialelor de construcții prin rolul lor în firmele de producere și distribuire-comercializare a acestora, laboratoare de încercări, firmele de cercetare și elaborare de norme, brevete etc.)

Exploatare și postutilizare

- administratori
- manageri de proiect
- agenți imobiliari,
- arhitecți
- ingineri structuriști și de alte specialități

04 PROIECTARE STRUCTURALĂ

4.1 Conceptul de proiectare seismică

Prevederile normativului de proiectare seismică conțin două cerințe fundamentale (sau niveluri de performanță) pe care trebuie să le îndeplinească structurile amplasate în zone seismice:

De siguranță a vieții

construcțiile trebuie să fie proiectate astfel ca sub efectul acțiunii seismice de proiectare să posede o marjă suficientă de siguranță față de prăbușirea locală sau globală a structurii, astfel încât viețile oamenilor să fie protejate.

De limitare a degradărilor

construcțiile trebuie să fie proiectate astfel ca pentru cutremure cu o intensitate mai mare decât acțiunea seismică de proiectare, structura să nu sufere scoateri din uz sau degradări ale căror costuri de remediere să fie exagerate în comparație cu valoarea construcției.

Conceptul de siguranță a vieții a fost primul concept introdus odată cu proiectarea structurilor rezistente la cutremur. Acest concept de bază poate fi exprimat simplu prin necesitatea de a asigura o capacitate de rezistență a elementelor structurale mai mare decât solicitarea rezultată în urma aplicării forțelor de proiectare echivalente unui cutremur. Ulterior s-a introdus suplimentar și criteriul de limitare a degradărilor structurale și, odată cu acestea, conceptul de performanță. Conceptul de performanță este un instrument destinat să raționalizeze activitățile de proiectare și execuție a clădirilor, să stimuleze promovarea progresului tehnic și a soluțiilor inovatoare, orientând-le spre asigurarea condițiilor și criteriilor de satisfacere cât mai completă a cerințelor utilizatorilor.

Tendința actuală este de a adapta conceptele de proiectare către o proiectare bazată pe consecințe (pierderi de vieți/răniți, costuri ale degradărilor structurale/avarii, costuri de refacere și de restabilire a funcționalității). De aici conceptul, mult mai complex, numit de reziliență structurală, care probabil se va impune în viitoarele coduri. Reziliența seismică include și capacitatea de a organiza, în mod eficient, acțiuni de restabilire rapidă a funcționalității sistemelor de construcții și infrastructurii urbane, la valoarea lor inițială.

Din enumerarea factorilor ce influențează riscul seismic rezultă trei dimensiuni relevante ale rezilienței: **tehnică, socială și economică**.

Dimensiunea tehnică include capacitatea structurilor de a prelua forța seismică fără a depăși un anumit prag de degradare, fie acesta impus sau preferabil.

Dimensiunea socială se referă la gestionarea eficientă a situațiilor de urgență post-seism, adoptate în cadrul comunității de către diferite organizații, respectiv administrații publice, cu scopul de a limita impactul negativ al cutremurului asupra populației.

Dimensiunea economică vizează capacitatea societății de a limita pierderile economice directe, respectiv indirecte, apărute ca urmare a evenimentului seismic, prin implementarea unor reguli și adoptarea anumitor măsuri pre și post-seism.

Astfel, conform cerințelor actuale, construcțiile trebuie să aibă capacitatea de a supraviețui unui cutremur sever. Acest lucru se poate realiza fie prin rezistența oferită elementelor structurale, dar cu costuri de construcție mai mari datorită consumului de materiale mai ridicat, fie dacă structura este astfel concepută astfel încât să „consume” (să disipeze) energia indusă de cutremur în structură; dar acest lucru va duce la degradări pentru unele elemente structurale, care vor necesita intervenții și costuri de refacere post cutremur.

4.2 Componente structurale și componente nestructurale

Întreaga clădire, atât infrastructura (fundațiile și subsolul) cât și suprastructura (parterul și etajele), este formată din elemente de construcție. O parte din elemente alcătuiesc structura de rezistență a clădirii (numite elemente structurale sau de rezistență); o altă parte nu fac parte din structura de rezistență (numite elemente nestructurale), rolul lor fiind hotărâtor în definirea spațiilor corespunzătoare (tehnic, estetic și igienic) pentru desfășurarea proceselor funcționale sau tehnologice. De asemenea, pentru buna funcționare a clădirilor sunt necesare mai multe tipuri de instalații (apă-canal, electrice, ventilații, ș.a.).

Elementele structurale formează, în ansamblu, structura de rezistență a clădirii. Fiecare element structural preia încărcările ce-i revin. Prin îmbinări se asigură legăturile dintre elementele structurale și conlucrarea acestora în cadrul structurii, rezultând astfel o structură spațială complexă. Încărcările verticale (sau gravitaționale) sunt preluate de elementele structurale orizontale (planșee, grinzi sau rampe de scară) și transmise elementelor structurale verticale (stâlpi sau pereți) care, la rândul lor, le transmit fundațiilor și acestea, mai departe, terenului de fundare. Încărcările orizontale (produse de vânt, seism sau datorate instalațiilor tehnologice) sunt preluate inițial în mod preponderent de planșee/grinzi și apoi transmise elementelor structurale verticale, urmând ca prin intermediul fundațiilor să fie descărcate pe terenul de fundare.

Din punct de vedere al seismicității, pentru o clădire se diferențiază trei categorii de componente:

- 1. Elemente structurale principale**
- 2. Elemente secundare**
- 3. Componente nestructurale**

Elementele structurale principale pentru preluarea forței seismice sunt componente ale sistemului structural supus la acțiuni seismice, care sunt considerate în calculul structural și sunt proiectate și detaliate în concordanță cu reglementările tehnice de proiectare seismică.

Elemente secundare sunt cele care nu intră în componența sistemului structural de rezistență la acțiuni seismice și nu sunt proiectate și detaliate conform reglementărilor tehnice de proiectare seismică, dar care trebuie astfel alcătuite încât să permită transmiterea încărcărilor gravitaționale, atunci când structura este supusă la deplasările laterale induse de cutremur.

Componentele nestructurale ne-portante sunt cele care participă la alcătuirea funcțională și protecția construcției, această categorie fiind realizată din mai multe elemente:

- Pereții despărțitori, de compartimentare sau închidere, care delimitează funcțiunile într-o clădire, respectiv închid clădirea la exterior.
- Învelitoarea – închide acoperișul la partea superioară, protejând panoul sau ultimul nivel, fiind realizată din produse ceramice (țiglă, olane), paie, stuf, șită, șindrilă.

- Izolațiile – protejează clădirea sau elemente ale clădirii împotriva apei (hidroizolații), împotriva pierderilor de căldură (termoizolații) sau a propagării zgomotului (fonoizolații).
- Tâmplăriile de la uși și ferestre au rolul de a închide golurile de lumină și circulație, de a izola interiorul față de exterior și a asigura o iluminare naturală corespunzătoare.
- Finisajele elementelor de construcții au rol estetic, dar și igienic, de protecție mecanică (uneori), etc. În această categorie intră: tencuieli, zugrăveli, vopsitorii, placaje, pardoseli, tapete, etc.

Condițiile limită de verificare structurală, care sunt detaliate în capitolul 4.6, au în vedere într-un mod important protejarea acestor componente nestructurale, deoarece pierderile materiale cele mai importante în urma cutremurelor sunt legate de acestea (cca. 60% din valoarea totală, în condițiile în care pentru elementele principale structurale procentul este de 15-20%, iar pentru echipamente și funcțiune cca. 20-25%).

4.3 Clase de ductilitate

Ductilitatea este principala caracteristică structurală prin care se consumă energie seismică. Ea este asigurată de material, de secțiune, de element și, în final, de structura în ansamblu.

În **știința materialelor**, ductilitatea este capacitatea unui material solid de a se **deforma** sub un efort de **tracțiune**; acest lucru este adesea caracterizat prin capacitatea materialului de a fi întins într-un fir.

O definiție tehnică, simplă, a ductilității poate fi ca și capacitate a unei structuri (sau a unui element) de a se deforma în domeniul plastic, fără o reducere substanțială a capacității portante.

Orice element structural (stâlp, grindă, perete) ce este proiectat să preia încărcări generate de un cutremur trebuie să fie capabil să preia încărcări și dincolo de momentul în care îi este depășită capacitatea limită pentru care a fost el calculat. Mai mult, acțiunea seismică este una dinamică, ciclică, iar dacă în primul ciclu important de solicitare se produce o degradare, atunci la următorul ciclu de solicitare elementul degradat poate avea atât pierderi de rigiditate și mai mari (se produce fisurarea elementului), cât și pierderi de rezistență (de capacitate portantă). O structură cu o bună ductilitate va căuta să "amâne" cât mai mult pierderile de rezistență, care însă o dată inițiate, pot duce la colaps în câteva cicluri mari de solicitare.

Cedările elementelor pot fi de două feluri:

- **Fragile:** bruște, fără semne de avertizare.
- **Ductile:** mai lente, însoțite de semne de avertizare cum ar fi fisurile în elementele din beton armat.

Pentru o mai bună înțelegere putem să ne imaginăm diferența dintre cum se rupe o bucată de cretă și cum se rupe o riglă din plastic: creta are o cedare fragilă, fără deformații, fără avertizare, pe când rigla are o cedare ductilă, care înainte de rupere are deformații mari, „cu fisuri de avertizare”.

Sticla este un material casant, betonul unul foarte puțin ductil (se rupe brusc imediat ce și-a atins și și-a depășit capacitatea), dar oțelul din armături sau din profilele metalice este ductil, se rupe după ce a experimentat deformații mari, chiar dacă forța pe care o transmite (capacitatea portantă) nu mai poate crește (cedează „cu avertizare”).

Pentru structurile ce trebuie să fie rezistente la cutremure, cedările elementelor structurale trebuie să fie întotdeauna ductile.

Clasele de ductilitate pentru o structură se stabilesc în concordanță cu gradul de performanță seismică pe care proiectantul împreună cu beneficiarul dorește să fie atribuit structurii. Astfel, o clădire în ansamblul ei poate fi proiectată pentru una dintre următoarele clase de ductilitate:

- 01. Clasa de ductilitate înaltă (DCH);**
- 02. Clasa de ductilitate medie (DCM);**
- 03. Clasa de ductilitate joasă (DCL).**

În cazul alegerii clasei de ductilitate înaltă DCH sau al clasei de ductilitate medie DCM, structura principală de rezistență se realizează în acord cu prevederile normelor specifice de proiectare (ref. P100-1) astfel încât să fie obținut un mecanism de comportare optim, cu o capacitate adecvată de disipare a energiei induse de acțiunea seismică.

În cazul alegerii clasei de ductilitate joasă DCL, proiectarea se realizează pentru obținerea și controlul unui răspuns elastic la acțiunea cutremurului în stare limită ultimă.

Ductilitatea este un concept relativ nou, care înlocuiește parțial necesitatea de rezistență în structuri. Structurile obișnuite, neproiectate seismic, care supraviețuiesc cutremurelor, o fac prin capacitatea de rezistență și nu printr-un consum (disipare) de energie. Aceste clădiri pot fi încadrate în clasa de ductilitate joasă (DCL). Cu alte cuvinte, structurile ductile au elemente cu dimensiuni mai mici, dar pregătite să poată suferi deformări plastice (avarieri). Conceptele actuale de proiectare se bazează foarte mult pe acest principiu, și, din acest motiv, majoritatea structurilor actuale sunt proiectate în

clase de ductilitate medie sau înaltă. Totuși, ductilitatea structurală, care poate fi obținută prin procesul de proiectare sau detaliere, trebuie ținută sub control. Creșterea ductilității și reducerea (limitarea) rezistenței va conduce inevitabil la degradări (avarii) structurale importante, chiar dacă cerința fundamentală de siguranță a vieții este asigurată.

4.4 Criterii privind alcătuirea structurilor

Configurația structurală

Orice structură portantă a unei clădiri este alcătuită din subsisteme structurale rezistențe la forțe orizontale (vânt, seism, explozii, loviri, ș.a.) și forțe verticale (greutate proprie elemente structurale, finisaje, închideri, încărcări din exploatare – oameni și mobilier, zăpadă, instalații, echipamente tehnice, ș.a.).

Structura portantă a clădirii se realizează astfel încât să se asigure un traseu logic al încărcărilor, iar încărcarea să meargă continuu de la punctul de aplicare către punctele de descărcare, iar în final, către fundații și teren.

Conformarea antiseismică a structurilor

Structurile dimensionate la acțiuni seismice trebuie să satisfacă patru categorii de condiții:

- de rezistență (structura trebuie să fie capabilă să preia solicitările corespunzătoare încărcărilor de dimensionare);
- de rigiditate (de limitare a deformațiilor și deplasărilor construcției);
- de ductilitate (de asigurare a unei capacități suficiente de deformare pentru a evita cedările casante);
- de impunere a unui mecanism favorabil de disipare a energiei (incursiunile în domeniul post-elastic se dirijează către zone favorabile pentru comportarea globală a structurii);
- de stabilitate (evitarea oricăror degradări/colaps locale sau parțiale).

Aspectele conceptuale de bază se referă la aceste criterii (explicate și exemplificate în capitolul 7):

- Simplitatea structurii;
- Uniformitate, simetrie și redundanță;
- Rezistență și rigiditate laterală în orice direcție;
- Rezistență și rigiditate la torsiune;
- Realizarea ca diafragme a planșeelor;
- Fundații adecvate.

Mecanismul plastic optim

Încărcările generate de seism asupra structurilor pot fi preluate de acestea și prin mecanisme plastice (degradări de material/secțiune/element) care produc degradări ale elementelor structurale principale, dar nu vor conduce la colapsuri structurale locale sau globale. În practica curentă de proiectare, astfel de zone sunt numite zone plastic potențiale sau zone de formare a articulațiilor plastice. Pentru exemplificare, să ne gândim la o grindă de nivel care este fixată între doi stâlpi. În mod curent, aceasta are capetele încastrate (înglobate) în stâlp, fără posibilitatea de rotire. În urma unui cutremur, din cauza mișcării structurii cât și a necesității de consum energetic, capetele grinzilor se vor degrada, vor fisura puternic și armătura va intra în curgere. Astfel, grinda va avea posibilitatea de a se roti în fața stâlpului. În acest moment, la capătul grinzilor sunt definite așa-numitele articulații plastice, care schimbă schema statică a structurii, dar care nu generează colapsuri sau desprinderi de elemente structurale. În tot acest proces de degradare al capătului de grindă, elementul/secțiunea va consuma energie seismică și astfel va asigura supraviețuirea structurală dorită. În figura de mai jos este exemplificat acest proces prin care capetele grinzilor se transformă în timpul solicitării seismice din încastrări în articulații, prin formarea mecanismelor plastice de consum energetic.

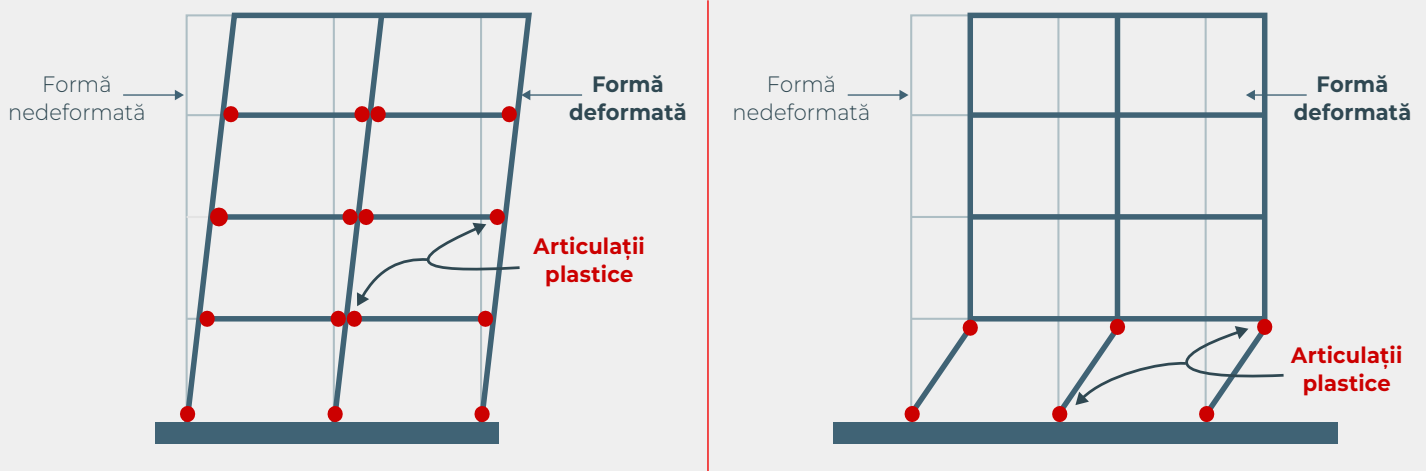


Fig. 4.1 – Formarea articulațiilor plastice

Mecanismul optim de consum energetic este cu formarea într-un număr cât mai mare de puncte a acestor articulații plastice. Figura de mai jos arată posibilități de formare a diferitelor mecanisme, modalitatea recomandată și cu consum energetic maxim este mecanismul de grindă.

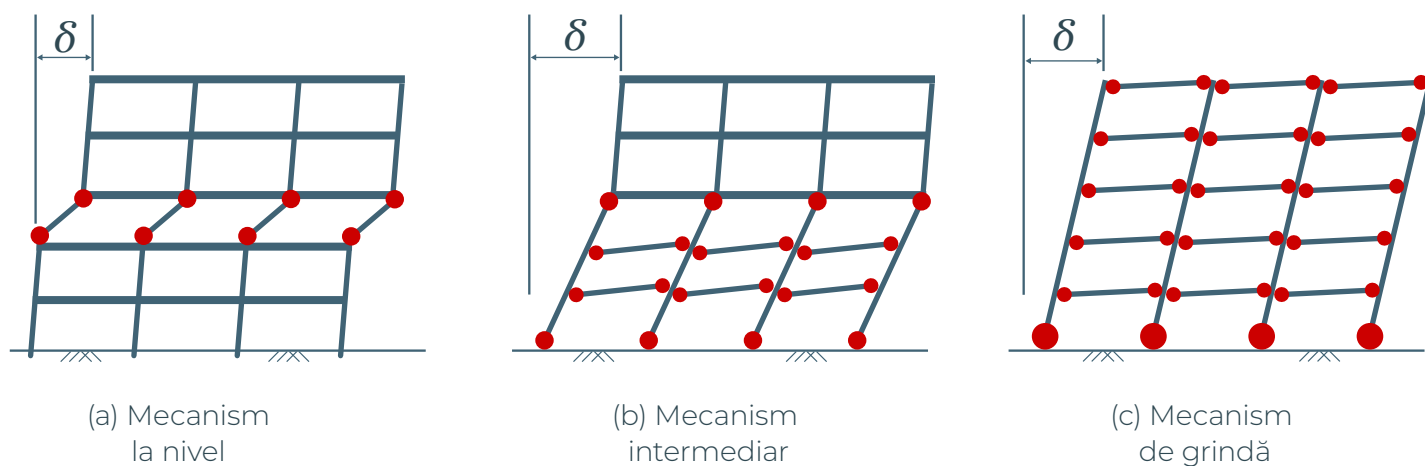


Fig. 4.2 – Tipuri de mecanisme plastice

4.5 Prezentarea claselor de risc seismic și a claselor de importanță- expunere

O problemă deosebit de sensibilă și care trebuie dezbătută și stabilită de către ingineri, arhitecți, investitori, utilizatori, autorități, sociologi, economiști, etc. este cea a fondului construit.

Construcțiile realizate în urmă cu mai mult de zeci de ani sunt mult mai puțin rezistente la cutremur față de construcțiile pe care le proiectăm și construim astăzi. Asta pentru că o dată la câțiva ani apar noi cerințe de proiectare, din ce în ce mai stricte (bazate și pe experiențele prin care au trecut acele construcții), riscul acceptat fiind tot mai mic. Astfel, o construcție pe care o proiectăm astăzi, poate ca în doar câțiva ani să nu mai fie la fel bună, dacă între timp intervine o nouă ediție a codurilor seismice, și, în consecință, în urma evaluării seismice, ele să fie încadrate într-un risc mai seismic mai mare decât cel aferent unei construcții noi. Asta pentru că cerințele de performanță pe care le poate asigura o construcție existentă, realizată în urmă cu câțiva ani sau cu mai multe zeci de ani, sunt raportate la cerințele de performanță cerute astăzi construcțiilor, conforme întotdeauna cerințelor ultimului cod de proiectare. De aceea, în cele mai multe țări, se acceptă ca o construcție existentă să fie mai puțin rezistentă decât o construcție nouă, sau ca o construcție existentă, odată evaluată, decizia de intervenție și modul în care se face consolidarea o va conduce la un nivel inferior unei construcții noi.

Cât de redus poate fi acest nivel este o problemă la care cu greu se poate răspunde și, în definitiv, contează cât de mult își permite societatea respectivă, câte resurse are pentru a le canaliza consolidării fondului construit. În zonele seismice din Statele Unite se cere ca o construcție existentă să aibă un nivel de rezistență la cutremur nu mai mic de 50% din cel al unei construcții noi, realizate după ultimul cod; în România acest procent este de 65%.

Clasele de risc seismic (Rs)

Evaluarea seismică a clădirilor constă dintr-un ansamblu de operații, pe baza cărora se stabilește susceptibilitatea avarierii seismice, în raport cu hazardul seismic din amplasament, corespunzător cu stările limită pentru care se face evaluarea și clasa de importanță-expunere la cutremur a clădirii. Pentru construcțiile în cazul cărora seismul reprezintă principalul risc, evaluarea seismică este primul pas în minimizarea impactului unui viitor cutremur, în ceea ce privește pierderile omenești și de materiale.

Evaluarea seismică a unei construcții implică următoarele categorii de activități:

- Colectarea informațiilor despre clădire;
- Stabilirea cerințelor fundamentale ale clădirii, a stărilor limită asociate și a cerințelor seismice;
- Stabilirea metodologiei de evaluare;
- Evaluarea propriu-zisă a clădirii.

Operațiile care alcătuiesc procesul de evaluare se pot grupa în două categorii:

- Evaluarea calitativă: realizată pe baza unor proprietăți care sunt observate și care nu pot fi în general măsurate; bazată pe judecata inginerescă;
- Evaluarea cantitativă: realizată prin metode de calcul ingineresc; conduce la rezultate numerice cu unități de măsură.

Evaluarea seismică se finalizează prin încadrarea clădirii într-o clasă de risc seismic (Rs) și stabilirea necesității lucrărilor de intervenție și, după caz, descrierea tipului și anvergurii acestora.

Există patru clase de risc seismic (ref. P100-3):

- **Clasa de risc seismic Rs I**, din care fac parte clădirile care se pot prăbuși total sau parțial la acțiunea cutremurului care se consideră în proiectare;
- **Clasa de risc seismic Rs II**, din care fac parte clădirile care pot avea o avariere majoră la acțiunea cutremurului care se consideră în proiectare, care pune în pericol siguranța utilizatorilor, dar la care prăbușirea totală sau parțială este puțin probabilă;
- **Clasa de risc seismic Rs III**, din care fac parte clădirile care pot avea o avariere moderată la acțiunea cutremurului care se consideră în proiectare, care poate pune în pericol siguranța utilizatorilor;

- **Clasa de risc seismic Rs IV**, din care fac parte clădirile existente care după un cutremur se comportă similar cu clădirile proiectate pe baza normelor în vigoare.

Conform prevederilor, necesitatea lucrărilor de intervenție se stabilește astfel:

- Dacă în urma evaluării seismice o clădire a fost încadrată în clasa de risc seismic Rsl sau RslI, sunt necesare lucrări de intervenție. În acest caz, tipul și anvergura lucrărilor de intervenție se stabilesc astfel încât, după efectuarea acestora, clădirea să poată fi încadrată cel puțin în clasa de risc seismic RslII;
- Dacă în urma evaluării seismice o clădire a fost încadrată în clasa de risc seismic RslII sau RslIV, necesitatea lucrărilor de intervenție pentru remedierea deficiențelor constatate se stabilește de către expert, în acord și cu solicitările beneficiarului;
- În cazul clădirilor aparținând integral domeniului public sau privat al statului sau al unităților administrativ-teritoriale, la care lucrările de intervenție sunt însoțite de lucrări de reparații capitale, tipul și anvergura lucrărilor de intervenție se stabilesc astfel încât, după efectuarea acestora, clădirea să poată fi încadrată în clasa de risc seismic RslIV.

Clasele de importanță-expunere

Clasele de importanță și expunere la cutremur se clasifică în funcție de consecințele socio-economice pe care un seism le-ar putea provoca și în funcție de rolul acestora în activitățile de răspuns post-hazard ale societății.

Există patru clase de importanță-expunere (ref. CR0-2012 si P100-2013):

- **Clasa I** – corespunde clădirilor cu funcțiuni esențiale, pentru care păstrarea integrității pe durata cutremurelor este vitală pentru protecția civilă.
- **Clasa II** – corespunde clădirilor care reprezintă un pericol major pentru siguranța publică în cazul prăbușirii sau avarierii grave.
- **Clasa III** – corespunde clădirilor de tip curent, care nu aparțin celorlalte clase.
- **Clasa IV** – corespunde clădirilor de mică importanță pentru siguranța publică, cu grad redus de ocupare și/sau de mică importanță economică.

Fiecărei clase de importanță și de expunere la cutremur îi este asociat un factor de importanță și de expunere ($\gamma_{I,e}$), având valori de la 1,4 pentru clasa I, până la 0,8 pentru clasa IV. Prin intermediul factorilor de importanță și expunere se diferențiază nivelul de hazard seismic pentru clădiri. Ce înseamnă asta? Clădirile cu grad de importanță mare, clasa I și II, spitalele de exemplu, vor fi calculate cu forțe seismice de proiectare mai mari decât cele din clasa de importanță normală III, blocuri de locuințe, forțe majorate cu cca 40% pentru a le asigura un comportament mai bun în timpul cutremurelor. Siguranța vieții este ne-negociabilă, construcțiile din toate clasele de importanță-expunere trebuie să garanteze siguranța vieții, însă păstrarea sau restabilirea funcționalității sunt diferite, întrucât consecințele sunt diferite, afectează un număr mai mare de oameni în cazul claselor superioare, afectează funcțiuni de importanță diferită. Consecințe pot fi severe la nivelul unei locuințe individuale, dar consecința pentru societate nu este importantă, câtă vreme amploarea este una locală. În schimb, consecința pierderii funcționării unui spital de urgență, a unei stații de pompieri afectează un segment extins al populației, iar consecințele avarierii unui baraj sau a unei centrale nucleare pot fi catastrofale, afectează segmente largi, extinderea putând fi transfrontalieră. O construcție poate fi mică, dar în același timp să fie încadrată într-o clasă superioară de importanță-expunere, pentru că, de exemplu, avarierea/distrugerea unui muzeu, a unui monument semnificativ poate avea consecințe culturale inestimabile pentru societate.

4.6 Evaluarea forței seismice de proiectare

Am menționat anterior că mișcarea terenului generată de cutremur va fi transmisă prin intermediul fundației structurii. Dar cum se poate interpreta și cuantifica asta, în condițiile în care sunt foarte multe elemente ce trebuie luate în considerare? Poate un raționament mai simplu ar fi astfel: cutremurul, prin mișcarea terenului, transmite aceste deplasări fundației, care va scoate din echilibru structura (o va deplasa), moment în care, prin acțiunea forțelor de inerție și a altor caracteristici structurale, aceasta va începe o oscilație (vibrație), adică structura va parcurge un proces de deformare atât timp cât cutremurul va acționa, cât și la finalizarea lui, până la regăsirea poziției de echilibru. Aceste oscilații/deformații sunt, în partea teoretică, transformate în final în niște forțe care acționează asupra structurii. Astfel, practic, raționamentul simplificat de proiectare este în a găsi o forță seismică (forța seismică echivalentă) ce se regăsește la bază și mai apoi de a o distribui pe înălțimea structurii, astfel încât, în final, forțele să producă aceleași deplasări/deformații structurale pe care le-ar genera cutremurul.

Rezultă deci că forța seismică de bază este direct proporțională cu accelerația gravitațională a cutremurului de proiectare pe amplasament, masă și clasa de

ductilitatea aleasă (cu care este proiectată și înzestrată structura) a structurii. Accelerația gravitațională de amplasament este transformată conform normei într-o valoare de accelerație spectrală, pentru a ține cont de mai mulți factori, atât de cei legați de cum vine cutremurul prin teren (adică de caracteristicile amplasamentului), cât și de caracteristicile proprii ale construcției (material, tipul structurii de rezistență, forma în plan și în elevație, etc). Nu o să intrăm acum în detalii legate de acest aspect.

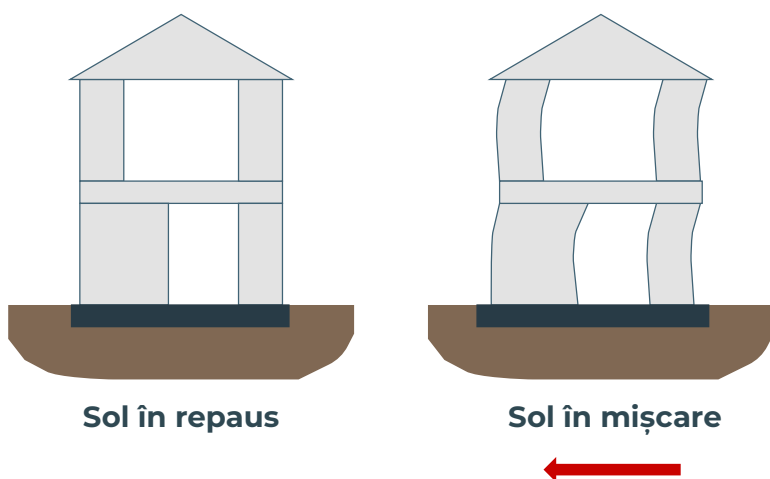


Fig. 4.3.a – Schematizarea unei structuri, în calculul seismic - structura reală

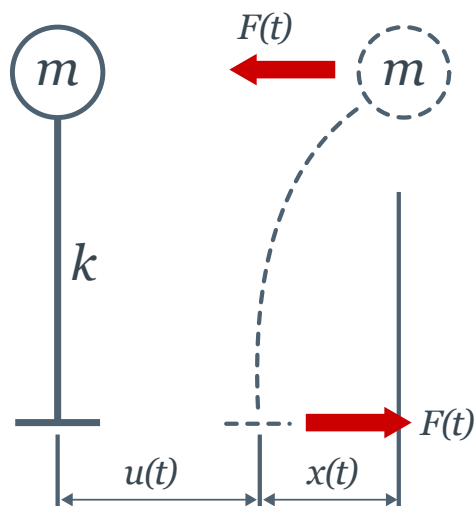
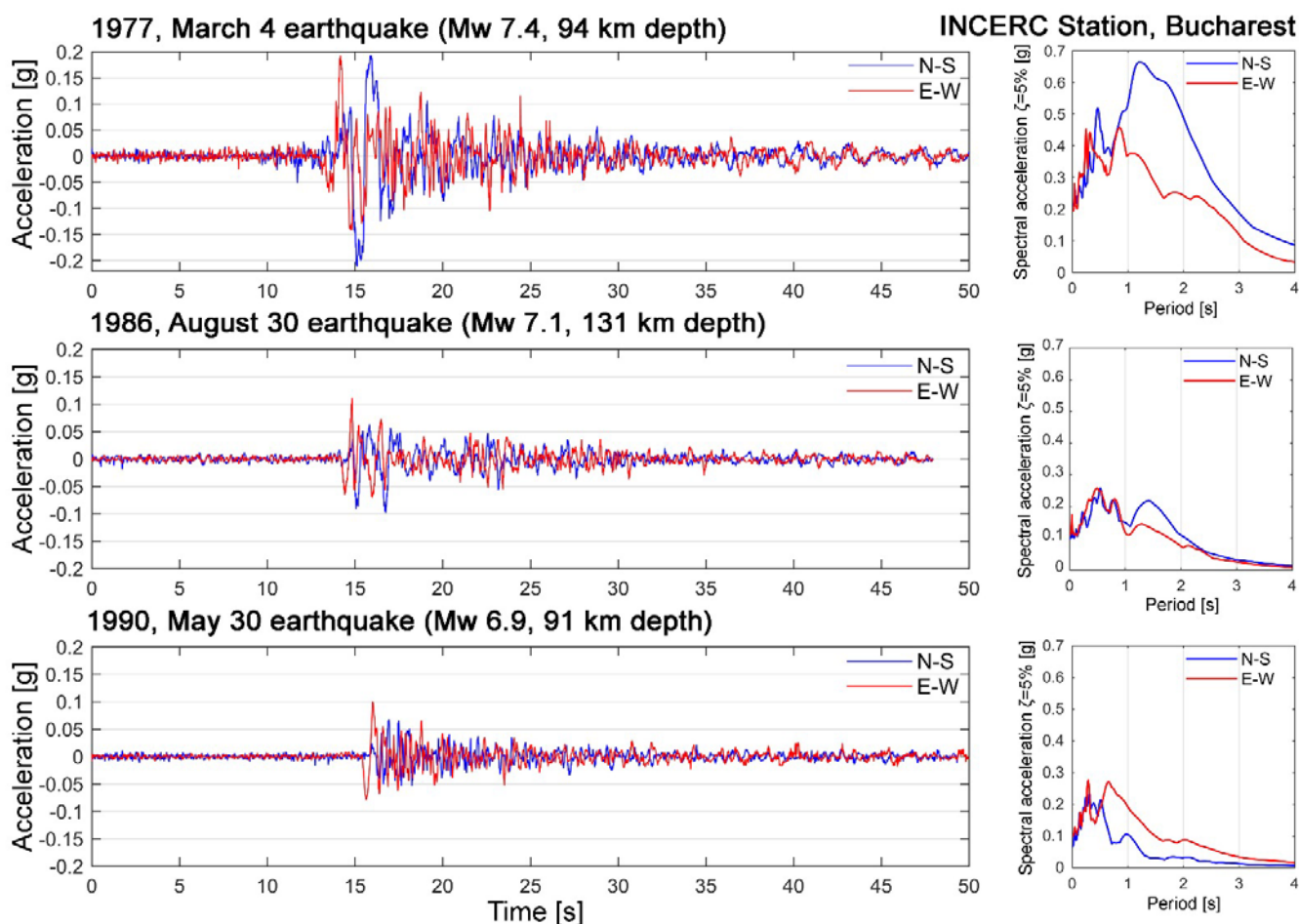


Fig. 4.3.b – Schematizarea unei structuri, în calculul seismic masa seismică echivalentă



Imagini în proprietatea Institutului Național de Fizică a Pământului
Fig. 4.4 – Evaluarea forței seismice de proiectare pe structuri.

Vorbeam anterior de un comportament elastic (fără degradări) și un comportament plastic (cu degradări) a structurilor. Ei bine, forța seismică se calculează într-o primă evaluare pe sisteme elastice și se aplică mai apoi tot unor sisteme elastice (în procesul de proiectare). Această simplificare care ajută de fapt calculelor, este considerată de normă prin introducerea unui factor care va reduce forța seismică de proiectare, factor care ține de fapt cont de comportarea reală a structurilor, care este mult diferită de cea elastică. Deci valoarea accelerației spectrale care vine din modele elastice și clasa de ductilitate în care structura este încadrată (cu posibilitatea finală de consum mai mare sau mai redus de energie seismică) va da valoarea forței efectiv aplicate în calcul structurii. Această forță este aplicată static (deci cu valoare fixă), nu dinamic/variabil, așa cum de fapt cutremurul se manifestă. Mai mult, această forță este estimată de cod cu o valoare maximă probabilă generată de un cutremur cu un interval de recurență (revenire) de 225 ani și are o posibilitate de depășire acceptată de cod de 20% într-un interval de 50 de ani.

$$F_b = S_d \times m$$

$$S_d = a_g \times \beta/q$$

Deci, simplificat și în valoarea maximă, forța seismică ce se aplică la baza structurilor este egală cu o valoare a ordonatei spectrale de proiectare ce cuprinde în principal valoarea accelerației maxime de pe amplasament, o valoare de amplificare spectrală, și factorul de reducere despre care am discutat anterior, acest termen fiind înmulțit cu masa clădirii, numită masă modală sau masă seismică.

Valoarea forței de bază F_b , care se află în punctul de încastrare – rezemare al structurii, se distribuie la toate nivelurile superioare ale structurii proporțional cu masa de nivel și cu înălțimea acestuia. Aceste valori însumate alcătuiesc forța de bază a structurii F_b .

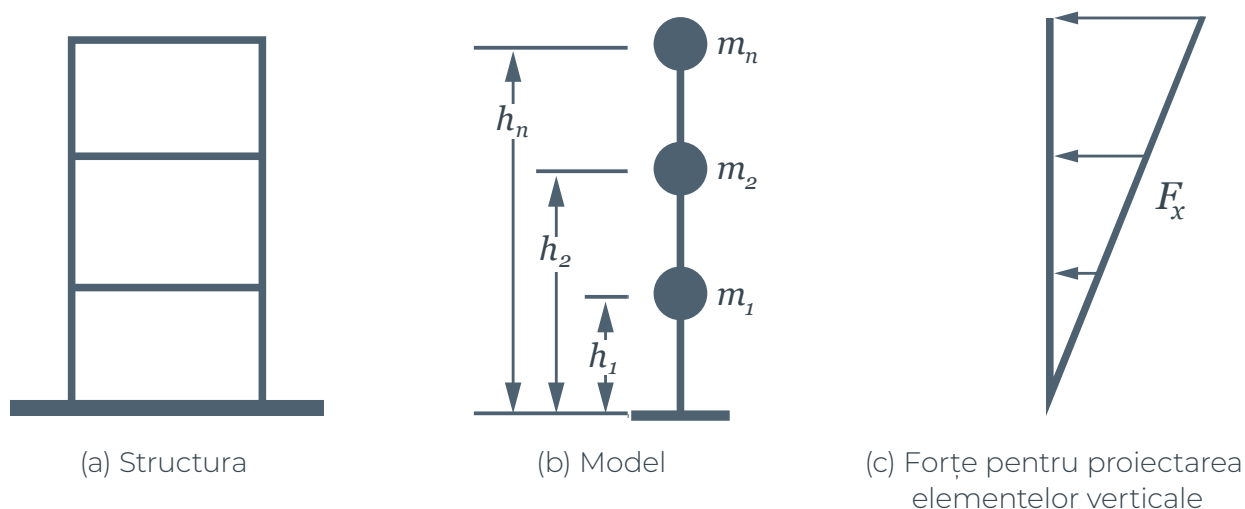


Fig. 4.5 – Distribuția forțelor seismice pe înălțimea unei structurii.

Cu aceste valori ale forțelor de nivel se calculează și mai apoi se dimensionează structurile, detaliind în final fiecare element astfel încât să urmărească criteriul de capacitate și cel de consum energetic și ierarhizare/formare de zone plastice, pentru asigurarea supraviețuirii structurii. **Chiar și o structură proiectată conform normelor actuale este de așteptat să sufere degradări în urma unui seism sever.**

Prezentarea cerințelor de performanță pentru clădiri

Așa cum am mai menționat, conceptul de performanță pentru clădiri este un instrument destinat să raționalizeze activitățile de proiectare și execuție a clădirilor, să stimuleze promovarea progresului tehnic și a soluțiilor inovatoare, orientând-le spre asigurarea condițiilor și criteriilor de satisfacere cât mai completă a cerințelor utilizatorilor. Criteriile de performanță se verifică din punct de vedere al siguranței oamenilor și a structurii, la pierderea utilității funcționale a unei componente sau a întregii structuri, la evitarea degradării totale a elementelor nestructurale.

Starea limită ultimă (SLU)

Starea limită ultimă se definește ca fiind acea stare limită care se referă la siguranța oamenilor și a structurii. Starea limită ultimă se referă la pierderea echilibrului static sau la ruperea unei componente critice a structurii sau al întregii structuri. Cu alte cuvinte, se definesc criterii astfel încât să nu survină o cedare a construcției.

În aceste condiții, cerința verificată este legată de starea de degradare a clădirii, care poate fi semnificativă și funcțiunea clădirii poate fi întreruptă pentru o perioadă lungă, dar stabilitatea de ansamblu și a componentelor nestructurale se păstrează după un cutremur care se produce rar.

Pentru reluarea funcțiunii după cutremur, componentele structurale pot necesita reparații și componentele nestructurale pot necesita repararea sau înlocuirea lor. În unele situații, este posibil ca repararea clădirii să nu poată fi realizată în condiții economice.

Fig. 4.6 – Degradare structurală datorată depășirii rezistenței elementelor structurale.



Starea unei clădiri după cutremur, dincolo de care se consideră că exigențele acestei stări limită nu mai sunt îndeplinite este:

- Structura este degradată moderat, are deplasări verticale și orizontale remanente (care nu mai pot fi aduse în poziția inițială) și este stabilă sub încărcări gravitaționale;
- Componentele nestructurale sunt degradate major dar sunt stabile sub greutatea proprie.

Starea limită de serviciu (SLS) sau Starea limită de exploatare normală (SLEN)

Starea limită de serviciu se referă la condițiile care duc la pierderea utilității funcționale a unui component sau a întregii structuri. Aceasta poate fi provocată de deformațiile terenului sau ale structurii. Starea limită de exploatare este atinsă atunci când deformațiile apărute în timpul duratei de viață a construcției depășesc limitele prevăzute sau dacă exploatarea normală a structurii este afectată.

Starea de degradare a clădirii este limitată, funcțiunea poate fi reluată imediat sau după o întrerupere de scurtă durată, stabilitatea de ansamblu și a componentelor nestructurale se păstrează după un cutremur care se produce frecvent.

Pentru asigurarea funcțiunii, structura nu necesită reparații imediate, componentele nestructurale pot necesita reparații. Repararea clădirii se poate efectua în condiții economice

Starea unei clădiri după cutremur, dincolo de care se consideră că exigențele acestei stări limită nu mai sunt îndeplinite este:

- Structura este degradată minor, are deplasări verticale și orizontale remanente neglijabile și este stabilă sub încărcări gravitaționale.
- Componentele nestructurale au degradări moderate și sunt stabile sub greutatea proprie.

Cerințe de limitare a deplasărilor laterale

Deplasarea admisibilă se stabilește conform obiectivelor stării limită la care se face verificarea. În cazul verificării de deplasare la starea limită ultimă obiectivele sunt:

- Evitarea degradării totale a elementelor nestructurale (în principal pereți nestructurali de închidere și compartimentare) a căror prăbușire poate pune în pericol siguranța utilizatorilor

- Limitarea incursiunilor în domeniul plastic și implicit a degradării elementelor structurale astfel încât acestea să păstreze un nivel acceptabil al rezistenței și rigidității laterale, să-și conserve capacitatea de transmitere a sarcinilor gravitaționale aferente și să poată fi reparate după cutremur în limite economice fezabile.



Imagini în proprietatea Institutului Național de Fizică a Pământului, România 1977

Fig. 4.7 – Degradare structurală datorată deplasărilor excesive ale clădirilor.



Fig. 4.8 – Efectele cutremurului asupra elementelor nestructurale

Așa cum se poate vedea există două tipuri de verificare structurală. Unul legat de capacitatea elementelor pentru evitarea degradărilor excesive și altul de limitare al deformațiilor structurale, pentru protejarea în principal a elementelor secundare ale structurilor.

În practica de proiectare dimensiunile finale ale unei construcții și alcătuirea elementelor principale nu sunt de fiecare dată dictate de criterii de rezistență ci pot fi obținute din cele de deplasare / deformare structurală.

În cazul în care criteriul de rezistență este unul care se rezolvă în principal prin aport de material, cel de deplasare se rezolvă prin aport de secțiune (rigiditate structurală). Deci cele două criterii se completează unul pe altul pentru asigurarea unei construcții rezistente la cutremur.

Dar ce înseamnă în fond o construcție rezistentă la cutremur în faza de proiectare sau proiectată/executată? Proiectantul alege în mod mai mult sau mai puțin obiectiv

modul de comportament așteptat al structurii. Se poate opta pentru un comportament în care structura să fie “rezistentă”, consumul energiei induse de cutremur să fie consumat prin deformări elastice, adică se încearcă ca degradările în urma unui cutremur să fie minime. Care sunt implicațiile unei astfel de decizii? O structură cu costuri inițiale mai ridicate, dar cu costuri de reparații post seism reduse și cu ocuparea imediată sau neîntreruptă cu privire la funcțiuni. Dacă se optează pentru o structură “ductilă”, acest concept va permite, conform principiilor amintite anterior (de plasticizare) degradarea locală a unor elemente în scopul consumului de energie seismică. Care sunt implicațiile acestei conformări structurale? O construcție cu costuri inițiale mai reduse, dar cu intervenții post seism de reparații / consolidare importante și posibil cu întreruperea temporară a funcțiunii.

Deci atenție la astfel de aspecte, ambele abordări se înscriu în criteriile de siguranță enunțate de norme, dar duc la consecințe de exploatare diferite.

O sinteză a celor menționate se regăsește în tabelul de mai jos

CONSTRUCȚIE BAZATĂ PE PRINCIPII DE	REZISTENȚĂ	DUCTILITATE
DUCTILITATE STRUCTURALĂ GENERALĂ ASIGURATĂ	REDUSĂ	RIDICATĂ
FORȚE SEISMICE DE PROIECTARE	CU VALORI MARI	CU VALORI MAI REDUSE
COMPORTAMENTUL ELEMENTELOR STRUCTURALE PRINCIPALE	CU DEGRADRI MINIME – COMPORTAMENT PREPONDERENT ELASTIC	CU DEGRADARI IMPORTANTE – COMPORTAMENT POST-ELASTIC/PLASTIC
DEGRADĂRI AȘTEPTATE POST SEISM	REDUSE	IMPORTANTE
COSTURI INIȚIALE ALE STRUCTURII DE REZISTENȚĂ	MARI	REDUSE
OCUPARE CONSTRUCȚIEI POST SEISM	IMEDIATĂ	NUMAI DUPĂ EFECTUAREA REPARAȚIILOR/ CONSOLIDĂRILOR
COSTURI DE REMEDIERE POST SEISM	REDUSE	RIDICATE

05

SISTEME STRUCTURALE PENTRU CONSTRUCȚIILE REZISTENTE LA CUTREMUR

Pentru a asigura condițiile necesare de rezistență și stabilitate a clădirii supusă încărcărilor laterale, în cadrul structurii vor fi introduse elemente care să transfere aceste încărcări din suprastructură către fundații și apoi către teren. Aceste elemente alcătuiesc sistemul lateral al structurii și lucrează prin introducerea unor mecanisme de rigidizare a clădirii în planul fiecărui etaj. Sistemul lateral este elementul critic în cazul proiectării seismice. O deosebită importanță trebuie acordată acestuia, pentru a se asigura absorbția și disiparea energiei cutremurului, astfel încât să se limiteze riscul de avariere sau prăbușire al clădirii.

Sistemele laterale pot fi împărțite în cinci mari categorii:

- Structuri cu pereți
- Structuri cu cadre rigide
- Structuri cu cadre contravântuite
- Structuri duale
- Structuri tip pendul inversat.

Fiecare dintre aceste tipuri are propriile avantaje și limitări, iar alegerea lor depinde în principal de clasa de importanță a clădirii, regimul de înălțime al acesteia, tipul de material folosit, activitatea seismică a locației, cerințe arhitecturale, modul de utilizare, restricții ale amplasamentului, etc.

5.1 Structuri cu pereți

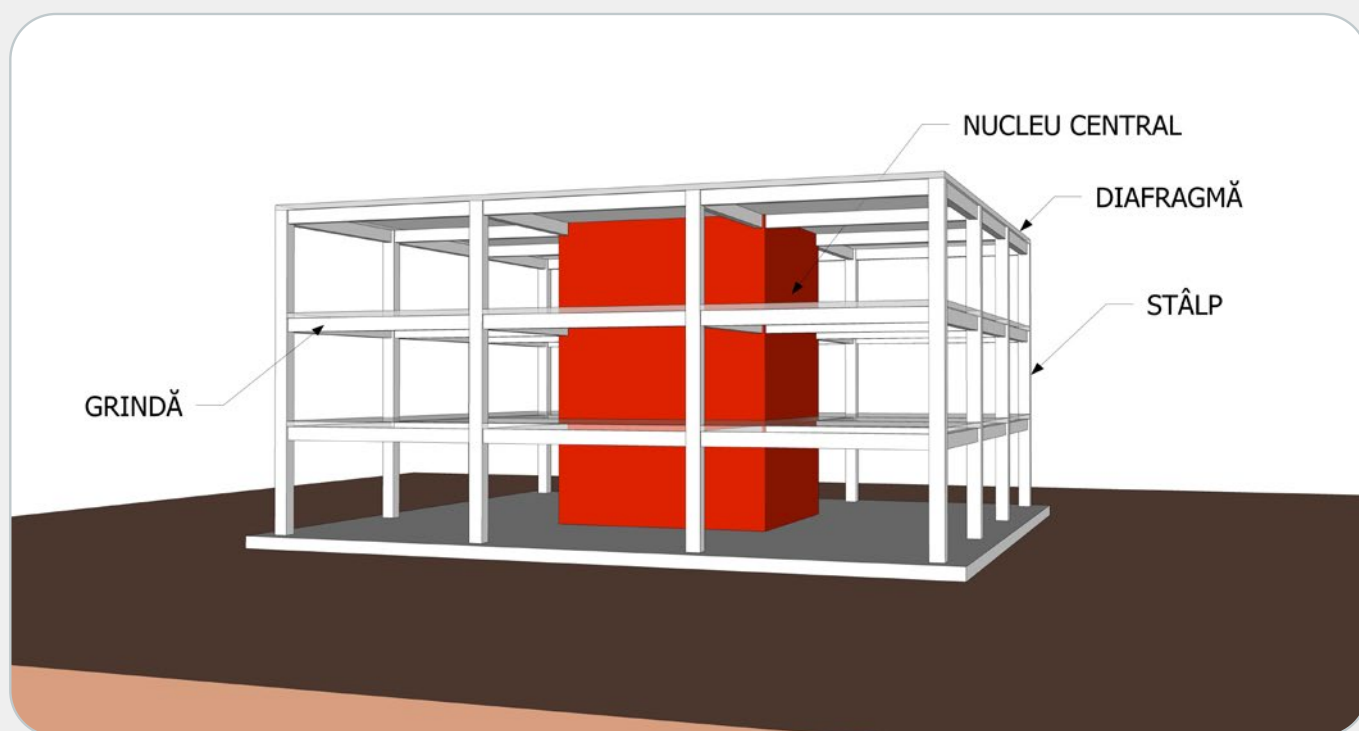


Fig. 5.1 – Schemă de principiu - Structură cu pereți

Sistemele structurale cu pereți din beton armat sunt cele mai întâlnite tipuri de sisteme structurale laterale în clădirile cu înălțime medie sau mare. Acestea sunt alcătuite din pereți dispuși pe fiecare din cele două direcții principale ale clădirii și se extind pe înălțimea acestora. Pereții transferă încărcările la fundație acționând precum o consolă înaltă și rigidă. Mecanismul principal prin care aceștia preiau forțele seismice este prin disiparea energiei la bază și asigurarea unui comportament elastic pe înălțimea acestuia, pentru a preveni prăbușirea clădirii.

Pereții pot fi de două tipuri:

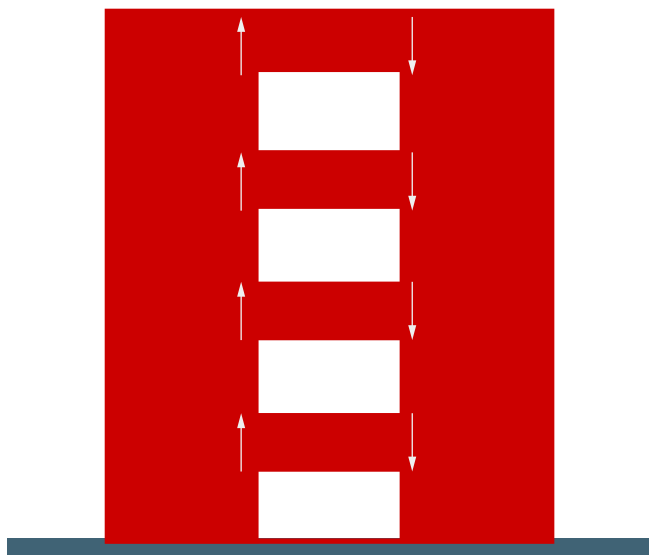
Pereți izolați

sau pereți care acționează independent unii față de alții

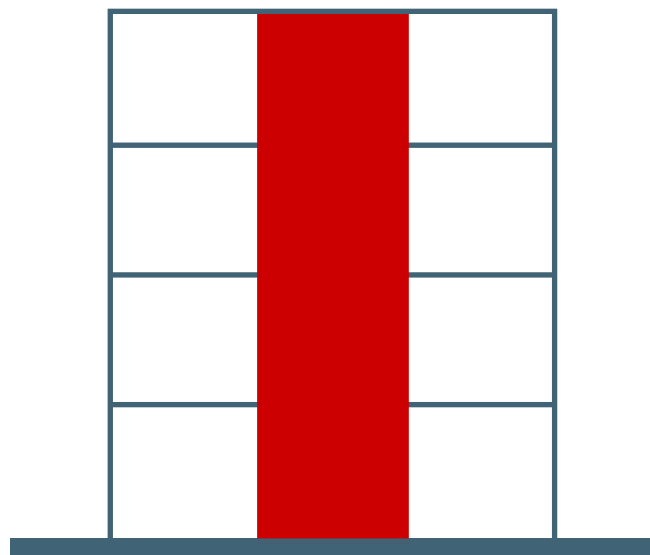
Pereți cuplați

grupuri de pereți care acționează împreună prin intermediul unei rigle de cuplare. Aceștia oferă un nivel de rigiditate mai mare clădirii.

Motivul pentru care pereții sunt adesea favorizați este acela că pot fi integrați ușor în arhitectura unei clădiri, dublând în multe cazuri și roluri precum delimitarea casei scării sau a liftului. De asemenea, datorită faptului că sunt foarte rigizi comparativ cu stâlpii și alte elemente verticale, aceștia atrag o mare proporție din încărcarea laterală, astfel oferind un comportament predictibil structurii în cazul unui eveniment seismic. Acesta este însă și un dezavantaj, pereții fiind supuși unor forțe foarte mari, astfel că necesită cantități mari de materiale și procese complexe de execuție, ceea ce duce la costuri mai ridicate.



Structura cu pereți cuplați



Structura cu perete izolat

Fig. 5.2 – Structură cu pereți din beton armat.

5.2 Structuri cu cadre rigide

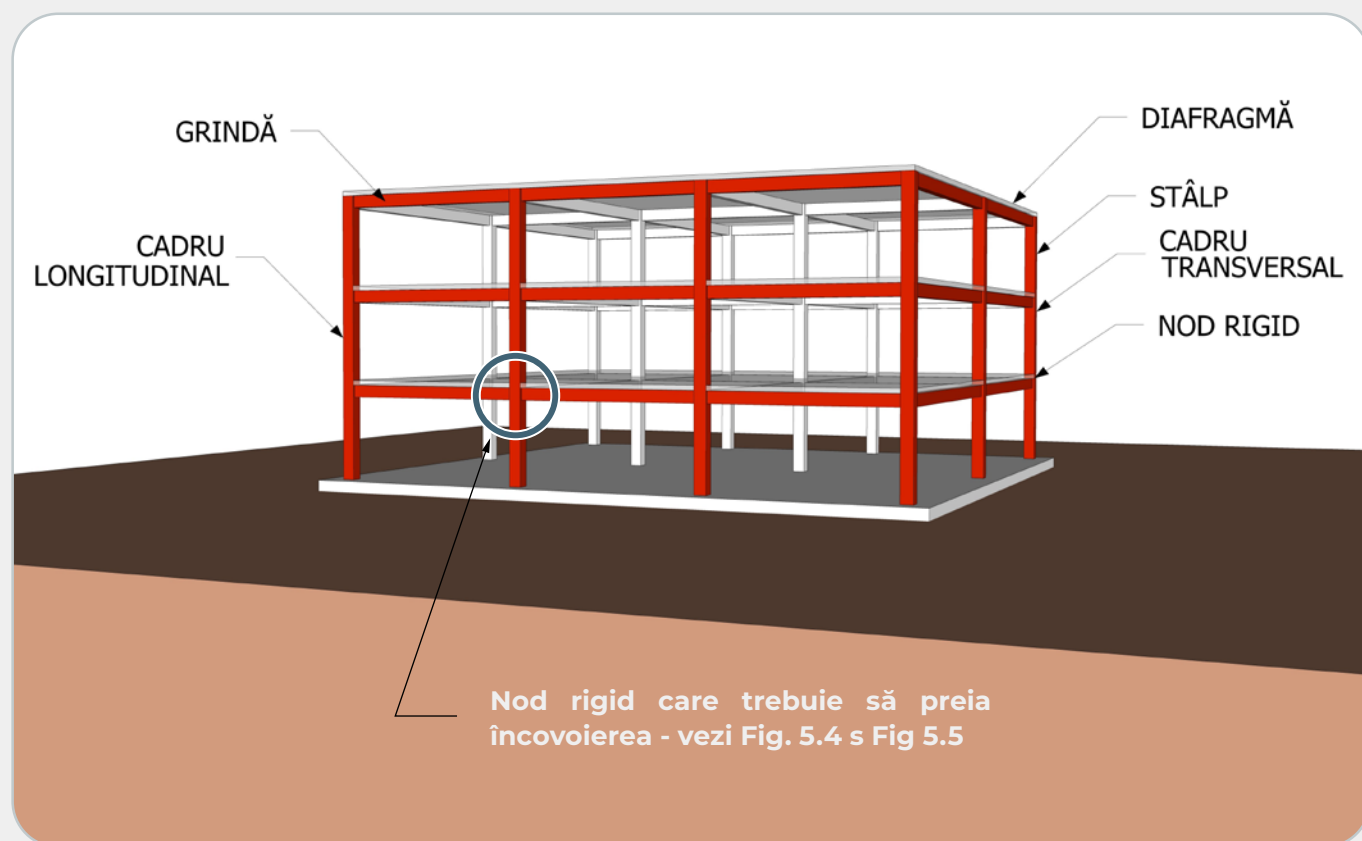


Fig. 5.3 – Schemă de principiu - Structură cu cadre rigide

Sistemele cu cadre rigide acționează prin intermediul îmbinării rigide dintre grindă și stâlp, ceea ce permite transferul încărcării laterale, sub formă de încovoiere, de la grindă la stâlp. Filozofia de proiectare seismică al acestui tip de sistem structural este acela de stâlp tare – grindă slabă, energia fiind disipată la capetele grinzii, unde aceasta se îmbină cu stâlpul. În cazul unui cutremur puternic, din care rezultă încărcări mari, este preferabil ca grinda să întrerupă transferul de încărcare către stâlp, prin deformarea plastică a capătului său, evitând astfel cedarea stâlpului, și, astfel, evitând prăbușirea clădirii.

Cadrele rigide sunt favorizate în clădiri unde se doresc spații largi, deschise, sau în clădiri de înălțime mică-medie unde introducerea unor pereți nu se justifică din punct de vedere al costurilor. Sistemele cu cadre rigide sunt mai flexibile decât cele cu pereți, atât din punct de vedere al construcției (cadrele putând fi construite din metal sau din beton armat) cât și al comportamentului. Deoarece stâlpii sunt relativ uniform distribuiți și proporționali ca dimensiuni, sistemul are un comportament mai flexibil, permițând un transfer de efort aproximativ uniform în toate elementele verticale de pe același nivel.

Însă această flexibilitate este și un dezavantaj, mai ales cu cât înălțimea clădirii crește, fiind susceptibil de deplasări laterale mari. Un alt dezavantaj al acestui sistem structural este costul ridicat asociat cu detalierea și construcția îmbinării rigide dintre grindă și stâlp.

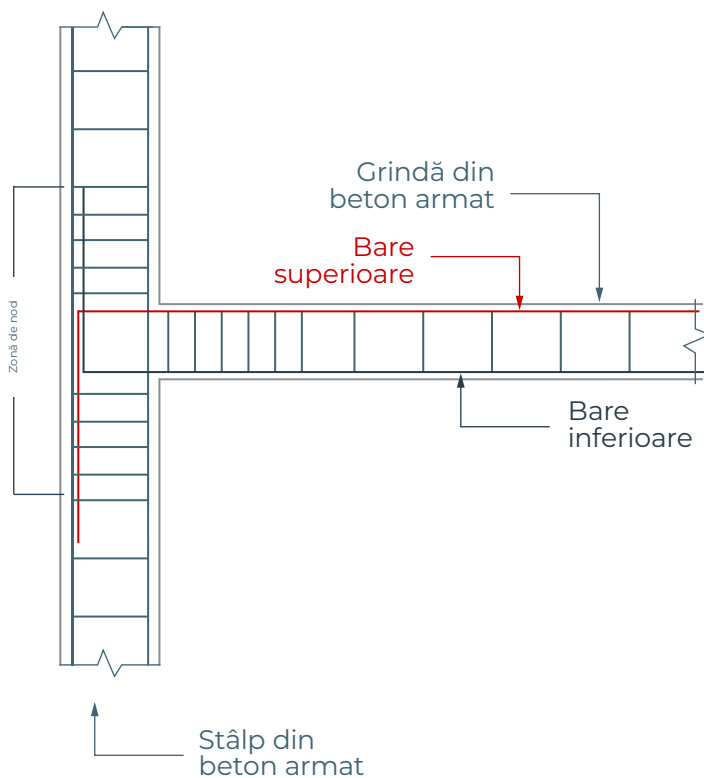


Fig. 5.4.a - Nod rigid - structură beton armat

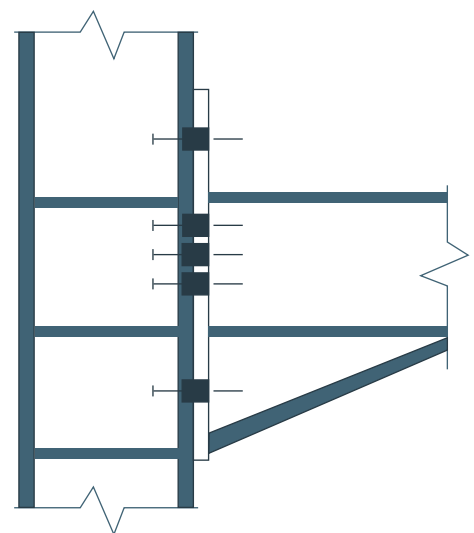


Fig. 5.4.b - Nod rigid - structură metal

5.3 Sisteme cu cadre contravântuite

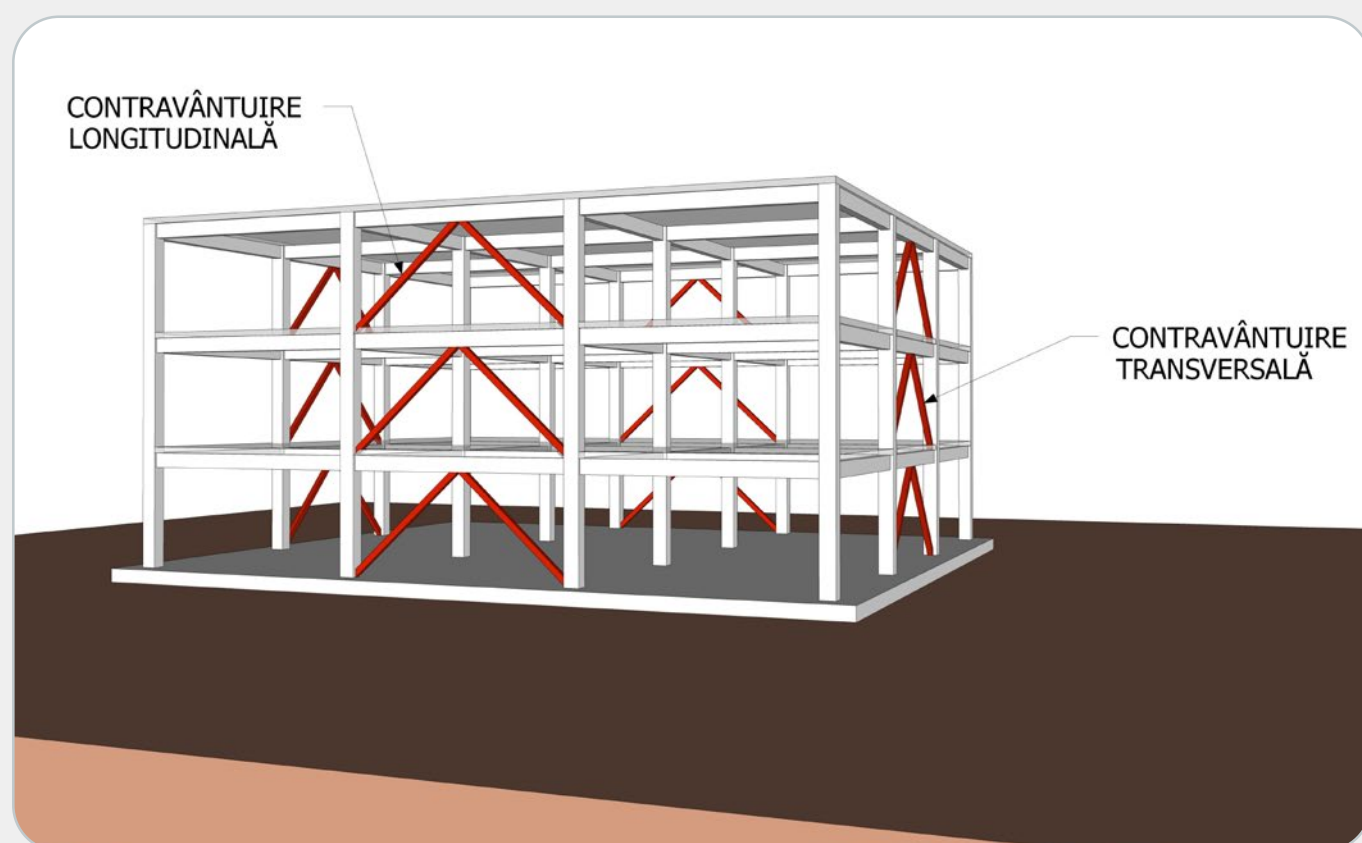


Fig. 5.5 – Schemă de principiu - Sistem cu cadre contravântuite

Sistemele cu cadre contravântuite sunt alcătuite din cadre rigidizate prin bare diagonale care transferă încărcarea laterală în stâlp sub formă de întindere. Mecanismul de disipare a energiei în cazul unui eveniment seismic este prin introducerea deformațiilor plastice în contravântuiri, întrerupând transferul încărcărilor în stâlp și prevenind astfel prăbușirea clădirii. Există mai multe tipuri de contravântuiri:

- Contravântuiri centrice;
- Contravântuiri excentrice;
- Contravântuiri cu torsiune împiedicată.

Fiind mai rigid decât un sistem cu cadre rigide și mai ușor de construit decât o structură cu pereți laterali, acest sistem este favorabil când se dorește un proces de construire accelerat sau simplist. În România, acest sistem este folosit în majoritatea cazurilor la structuri de tip hală, dar acest sistem este destul de popular în alte părți și în clădiri înalte. Un dezavantaj al acestui sistem este aspectul estetic precum și faptul că întrerupe căile de acces. De aceea aceste cadre sunt situate adesea doar pe perimetrul clădirii.

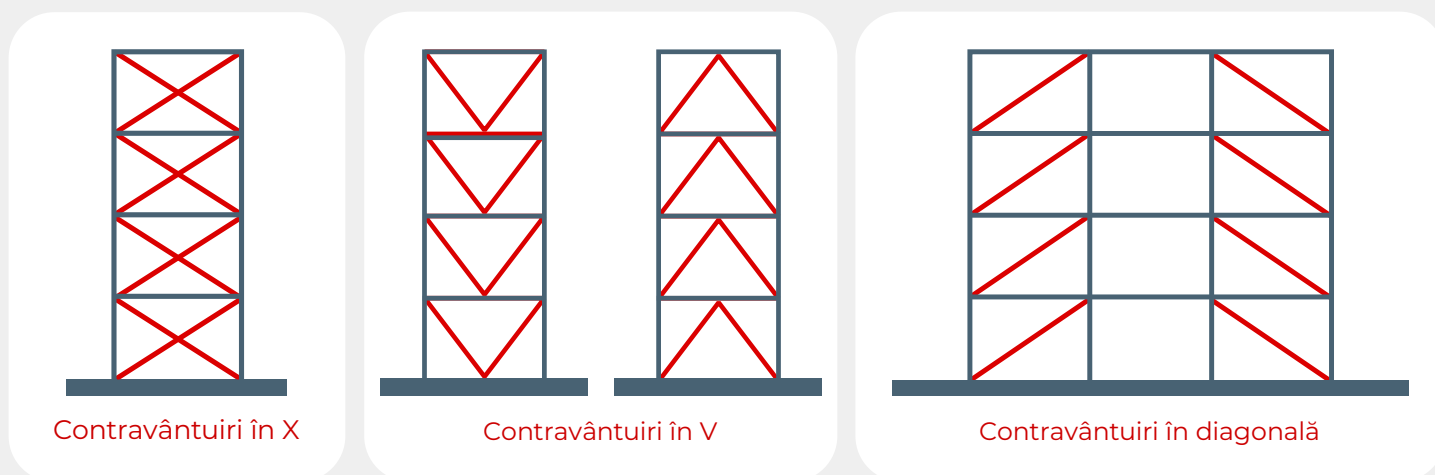


Fig. 5.6 – Tipuri de contravântuiri

5.4 Structuri duale



Fig. 5.7 – Schemă de principiu - Structuri duale

Structurile cu sisteme duale sunt alcătuite din două dintre sistemele structurale enumerate mai sus. Acestea sunt de regulă compuse dintr-un sistem mixt format din cadre rigide și pereți de beton armat sau cadre contravântuite. Cele două sisteme acționează complementar, cu o comportare preponderent specifică unuia din cele două sisteme în funcție de gradul de încărcare a elementelor verticale. Cadrele rigide oferă flexibilitate și ductilitate, permițând disiparea energiei în timpul evenimentelor seismice, în timp ce pereții sau contravântuirile adaugă rigiditate și rezistență, controlând deplasările laterale și deformările

Astfel această combinație se folosește de avantajele ambelor sisteme: cadrele rigide pot suporta deformări fără a ceda, iar pereții de forfecare sau contravântuirile transferă

eficient încărcările laterale către fundație. Împreună, aceste elemente asigură o performanță structurală mai bună în fața forțelor seismice și a vântului, fiind deosebit de potrivite pentru zonele cu risc seismic ridicat. Un dezavantaj al acestui tip de structură este faptul că necesită optimizări atât din punct de vedere al rezistenței, cât și economic pentru a atinge comportarea optimă.

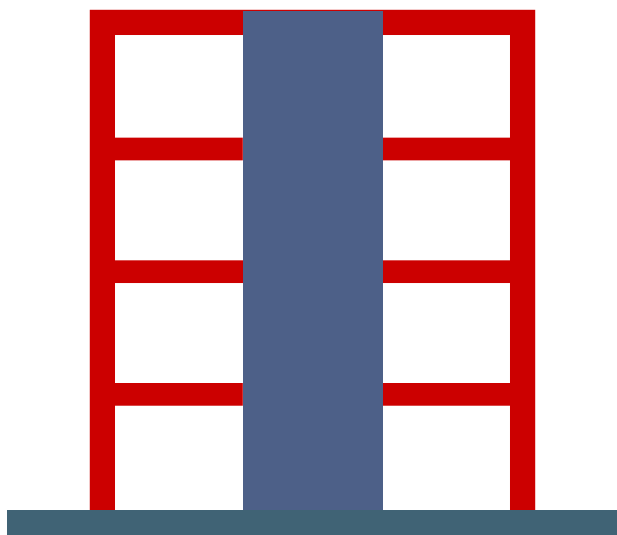


Fig 5.8.a - Structură duală perete și cadru

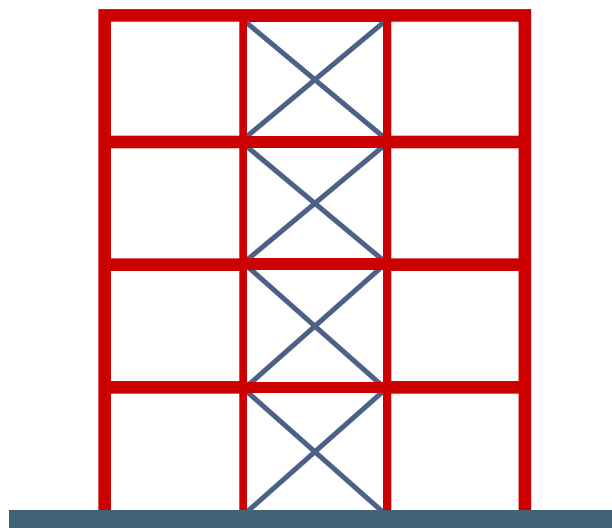


Fig. 5.8.b - Structură duală cu contravantuire și cadre rigide

5.5 Structuri tip pendul inversat

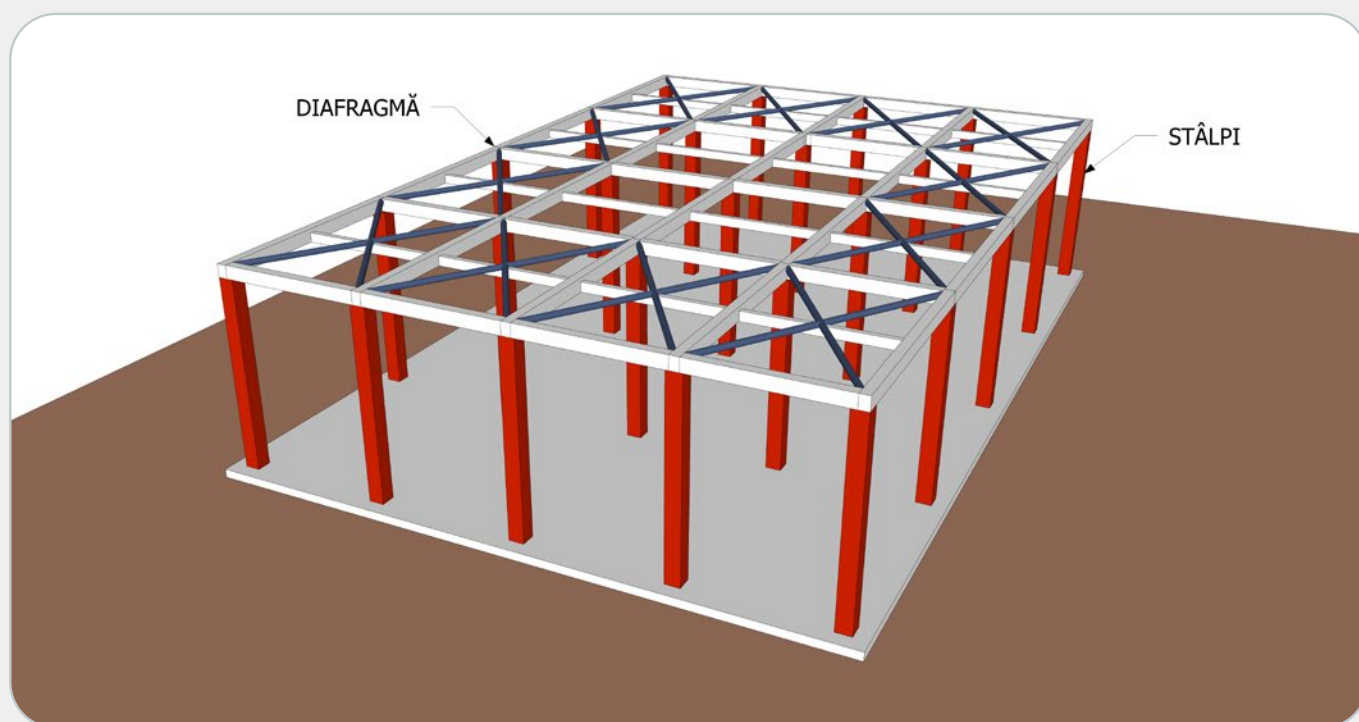


Fig. 5.9 – Structură de tip pendul inversat

Sistemele de tip pendul inversat sunt alcătuite din stâlpi aflați în consolă legați printr-o diafragma rigidă sau semi-rigidă. Această comportare este similară cu cea a unei console verticale: un element orizontal foarte rigid, denumit diafragma (de regulă alcătuit dintr-o placă de beton sau dintr-un sistem de grinzi contravântuite orizontal), asigură o deplasare aproximativ uniformă între elementele verticale la încărcări laterale și astfel încărcările sunt transmise în fundație.

Principalul avantaj al unei asemenea structuri este simplitatea și predictibilitatea ei. Dar această simplitate reprezintă și principalul dezavantaj. Datorită disipării încărcărilor seismice printr-un mecanism simplist, acesta nu permite introducerea unor elemente orizontale care să acționeze pe stâlpi la poziții intermediare. Astfel că majoritatea codurilor nu permit folosirea acestui sistem decât în cazul unor construcții cu un singur nivel cum ar fi halele sau complexele comerciale mari. Dar chiar și în cazul introducerii unui nivel de mezanin, această porțiune va trebui proiectată astfel încât să încorporeze un sistem structural alternativ.

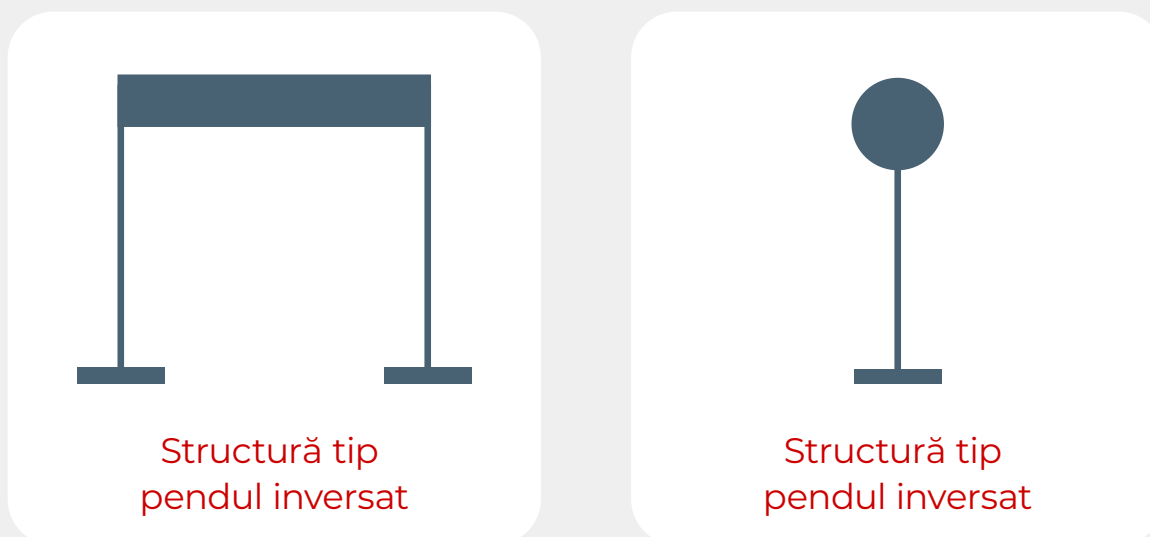


Fig. 5.10 – Schemă de principiu - Structură tip pendul inversat.

5.6 Măsuri speciale de prevenire a efectelor seismice

De-a lungul timpului, pe lângă sistemele clasice de preluare a eforturilor laterale provenite din cutremure, au fost dezvoltate o serie de măsuri speciale pentru a diminua efectele distructive ale unui eveniment seismic. Încă din anii '70 au existat preocupări legate de înzestrarea clădirilor din zone seismice cu sisteme de disipare a energiei și cu sisteme de izolare a bazei.

Izolarea bazei: prin acest mecanism se decuplează mișcarea clădirii față de cea a pământului prin utilizarea unor reazeme elastometrice la baza structurii. Sistemele de izolare a bazei sunt amplasate între suprastructura clădirii și infrastructura sa.

Rolul sistemelor de izolare este de a reduce semnificativ incidența cutremurului asupra suprastructurii clădirii, prin decuplarea (izolarea) parțială a mișcării terenului de clădire, simultan cu menținerea contactului vertical între ele. Există mai multe tipuri de izolatori: elastomerici, cu frecare, din cauciuc natural multistrat glisant, tip leagăn, cu arc, cu role, cu bile pe șine, cu aer sau cu balans.



Fig. 5.11.a – Izolatori seismici - aplicare reală

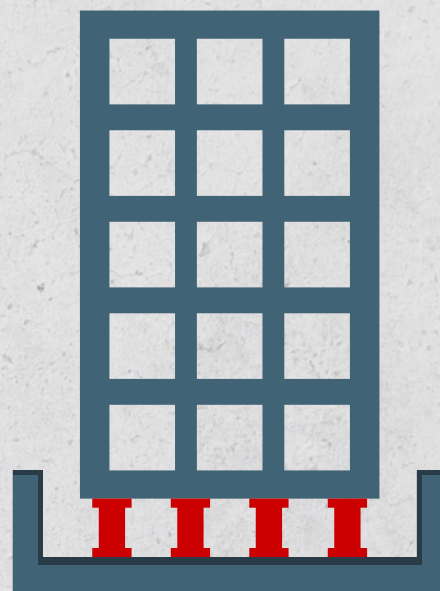


Fig. 5.11.b – Izolatori seismici - schemă de principiu

Amortizare: aceste mecanisme de disipare a energiei au rolul de a consuma o mare parte din energia indusă de cutremur, fără a se degrada, protejând astfel structura clădirii. Ele funcționează similar cu sistemele de amortizoare ale autovehiculelor, și în general sunt introduse în cadrul diagonalelor de contravântuire verticală a clădirilor. Principalele tipuri de sisteme de disipare sunt: amortizoare vâscoase, amortizoare cu frecare, amortizoare cu curgere, amortizoare histeretice.

Fig. 5.12 - Amortizori vâscoși - Orhideea Tower, București (imagine utilizată cu acordul Popp & Asociații).



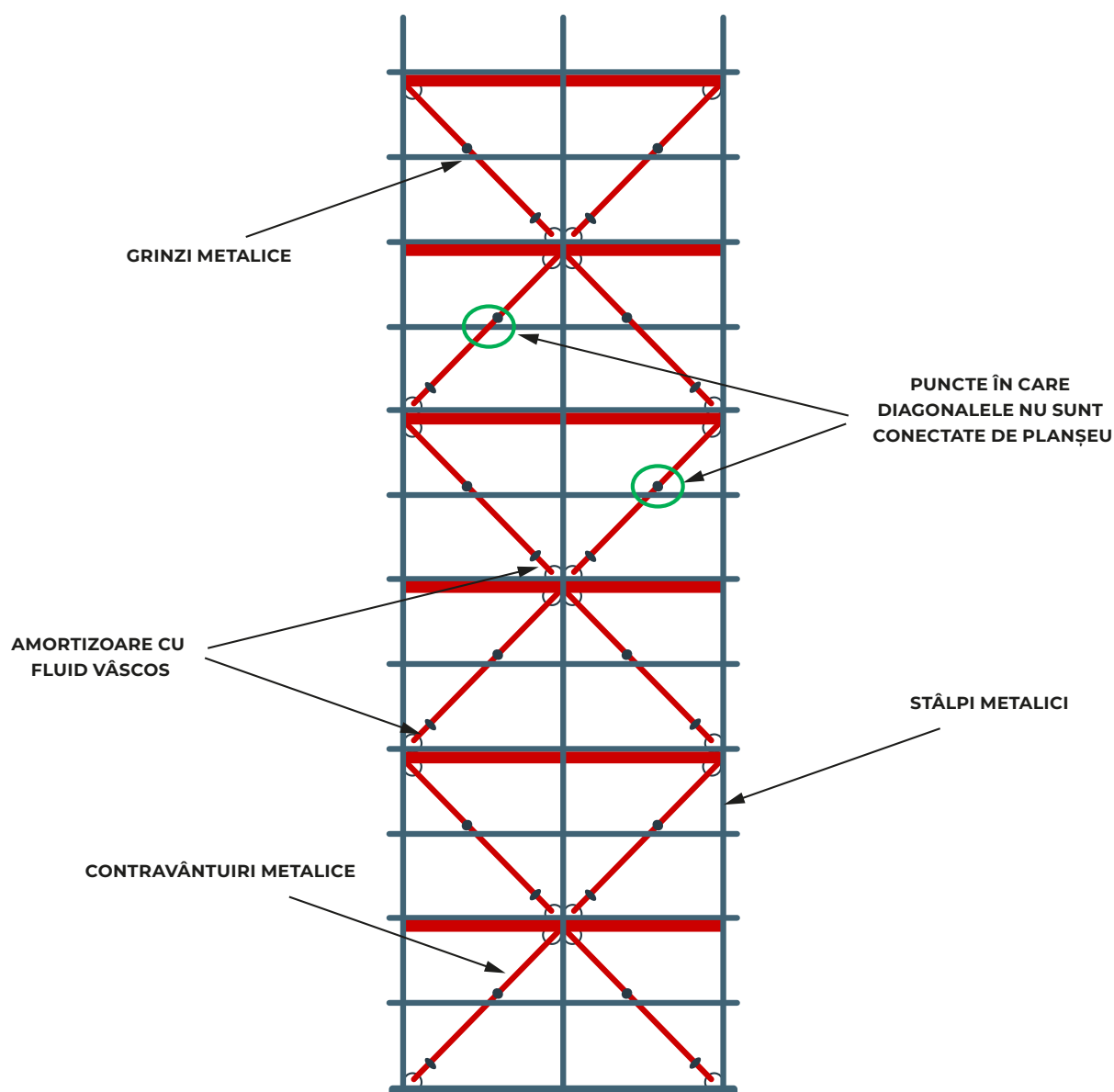


Fig. 5.13 – Schemă de principiu - structură cu amortizori vâscoși

Contravântuiri cu flambaj împiedicat: contravântuirile de asemenea pot oferi și un sistem suplimentar de rezistență la mișcările pământului prin reprimarea efectelor de flambaj al profilelor. Acesta este realizat prin încadrarea secțiunilor astfel încât acestea să acționeze atât în întindere cât și compresiune.

Amortizor cu masă acordată: acest mecanism implică introducerea unei greutate de tip pendul în interiorul clădirii care va genera o mișcare în antifază cu oscilațiile generate de evenimentul seismic, reducând astfel riscul ca structura să preia încărcări maxime.



Fig. 5.14 – Sistem cu masă acordată, cu amplasare deasupra clădirii - Palatul Victoria, București (imagine utilizată cu acordul Popp & Asociații).

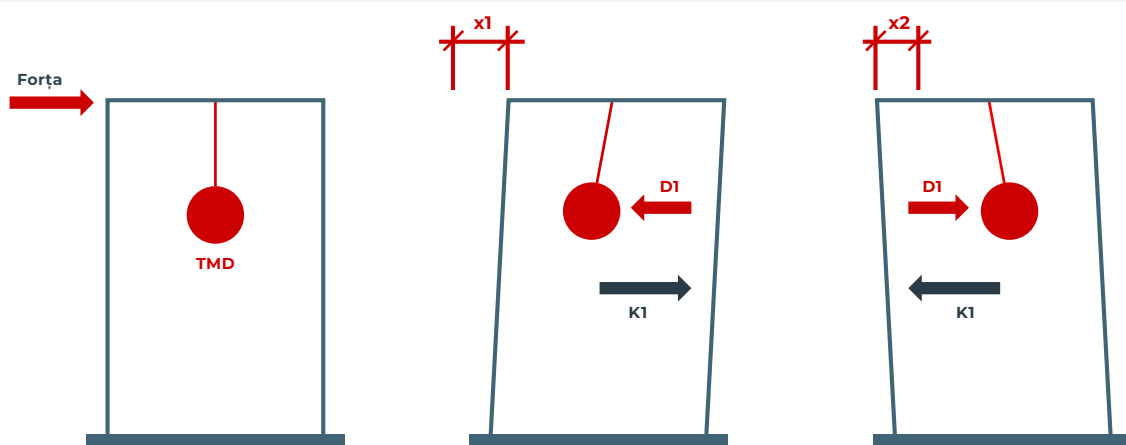


Fig. 5.15 - Schemă sistem cu masă acordată - amplasare în interiorul clădirii.

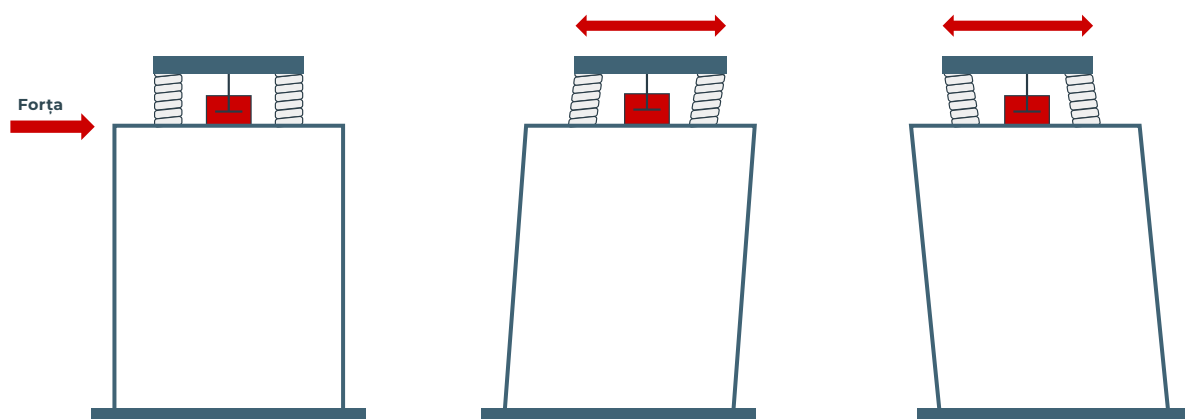


Fig. 5.16 - Schemă sistem cu masă acordată - amplasare deasupra clădirii.

06

PREVEDERI DE ALCĂȚUIRE PENTRU CLĂDIRI

Pentru a avea o comportare ideală în cazul unui cutremur, orice clădire ar trebui să corespundă mai multor cerințe, conform normativelor actuale de proiectare seismică (P100-1/2013).

În general, cerințele specificate în normativele de proiectare au caracter minimal. Respectarea lor aduce cu sine beneficii mari în ceea ce privește comportarea structurii în timpul acțiunii unui cutremur major.

6.1 Regularitate și simetrie structurală

Codurile de proiectare recomandă respectarea unor criterii privind simetria și continuitatea pe verticală a structurilor, atât cu scopul optimizării răspunsului structural, cât și pentru a optimiza consumul de materiale aferent clădirii.

În plan orizontal:

- Clădire cât mai simetrică, pe ambele direcții principale.
- Formă compactă, cât mai apropiată de pătrat sau cerc, evitându-se formele alungite (clădiri lamelare) sau formele neregulate (clădiri în formă de L).

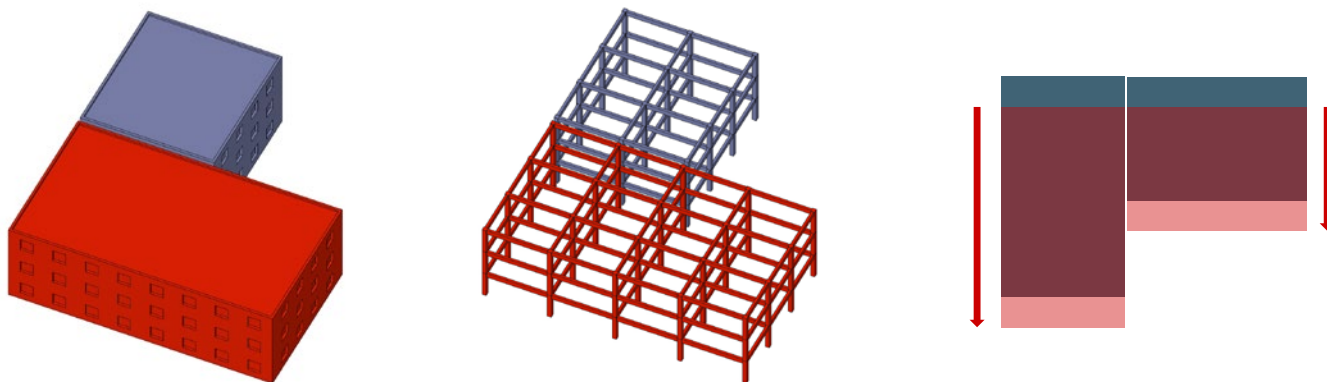


Fig. 6.1 – Clădire simetrică și clădire în formă de L.

Pe verticală:

- Etajele ar trebui să aibă, pe cât posibil, forma parterului, menținându-se continue elementele portante verticale (stâlpi și pereți).
- Orice retrageri la nivelul etajelor ar trebui să respecte, de asemenea, recomandările de mai sus privind simetria și forma compactă.
- Trebuie evitată apariția nivelurilor slabe/flexibile, în special la baza construcției (de ex. stâlpi zvelți la parter ce au pereți deasupra, cum ar fi în general situațiile în care spațiile comerciale sunt amplasate la parterul structurilor multietajate); această situație de proiectare este interzisă în multe țări ce au prevederi de calcul seismic.

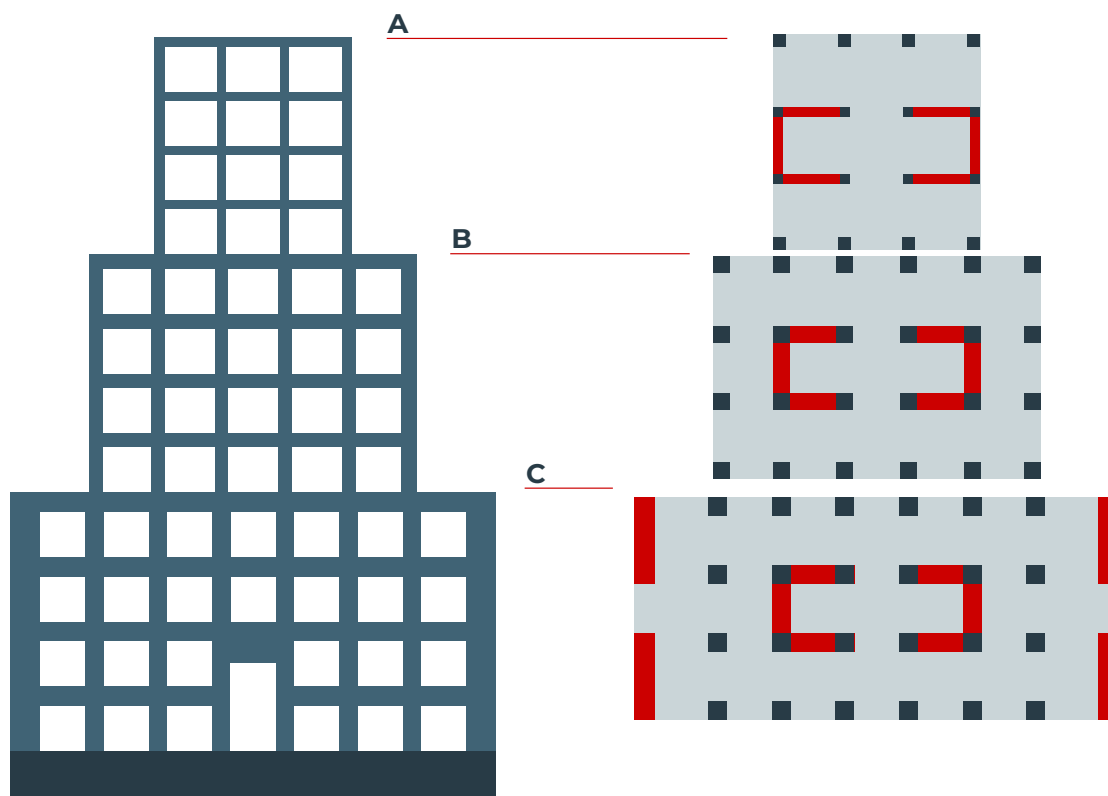


Fig. 6.2 – Clădire cu continuitate pe verticală și retrageri simetrice la nivel superior.

De rotire (torsională):

- Elementele portante verticale (stâlpi și pereți) ar trebui să aibă o poziție simetrică în interiorul clădirii, evitându-se situațiile în care elemente masive sunt concentrate doar pe o parte a structurii (de ex. pereți pe stânga și stâlpi pe dreapta, poziționați în planul orizontal). Cu cât elementele structurale sunt amplasate mai aproape de marginea structurii (în fațadă, de exemplu), dar întotdeauna simetric, cu atât capacitatea la rotire este mai mare. O masă care sprijină pe un picior central este ușor de rotit, dar una care sprijină pe patru picioare dispuse la colțuri este mai greu de rotit în plan orizontal, pe când una care are și



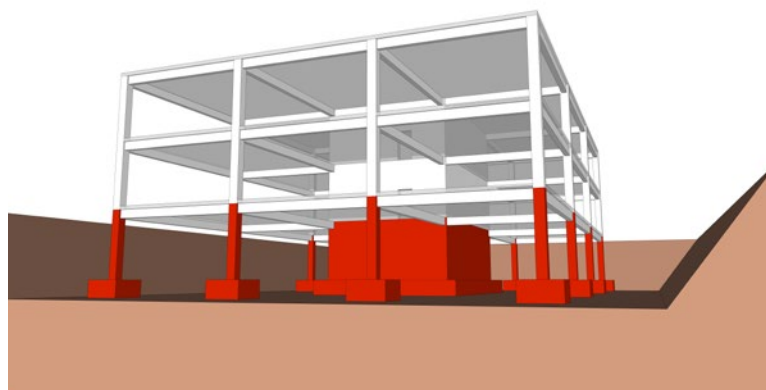
Fig. 6.3 – Clădire sensibilă la torsiune și urmări posibile ale torsionării clădirii.

6.2 Alcătuirea, rezerva de capacitate și interacțiunile cu alte clădiri

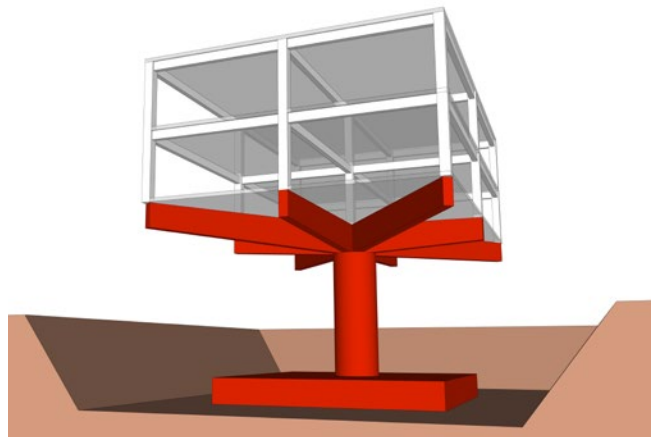
Reguli generale privind alcătuirea clădirilor

Elementele portante (verticale și orizontale) trebuie să fie corect dimensionate, evitându-se secțiunile foarte zvelte sau secțiunile întrerupte de goluri mari (de ex. grinzi sau planșee intersectate de goluri de trecere pentru instalații). Dimensiunile în plan ale elementelor structurale verticale (stâlpi și pereți) contribuie decisiv la asigurarea unei anumite rigidități laterale a clădirii, ceea ce se traduce prin necesitatea asigurării unor deplasări laterale reduse în cazul unui cutremur, foarte importante pentru evitarea avarierilor elementelor de închidere (pereți de zidărie sau fațade de sticlă).

Traseul prin care încărcările din clădire ajung la fundații (și apoi la teren) trebuie să fie continuu (de ex. nu sunt permise rezemări ale unor stâlpi pe grinzi inferioare); în general elementele structurale verticale (stâlpi, pereți) trebuie să fie continue, de la fundații și până la ultimul nivel al construcției.



Fundație fără o cale directă a încărcărilor



Traseu discontinuu – nu e acceptabil pentru zonele seismice

Fig. 6.4 – Traseu continuu (stânga) și traseu discontinuu (dreapta) al încărcărilor, către fundații.

Pereții nestructurali grei, echipamentele și instalațiile trebuie să fie fixate temeinic de structura principală de rezistență, pentru a evita desprinderea lor necontrolată în cazul unui cutremur.



Fig. 6.5 – Echipamente grele pe clădiri

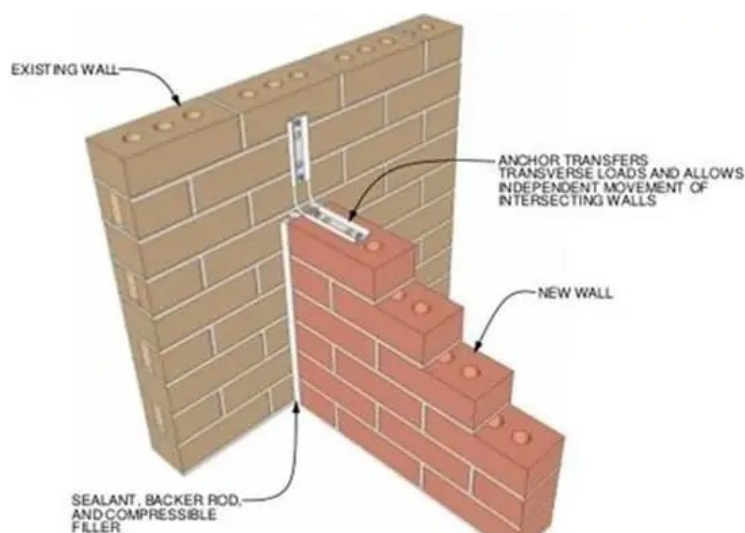


Fig. 6.6 – Fixări pereți grei de compartimentare

Planșeele trebuie alcătuite încât să se comporte ca și diafragme orizontale rigide (șaibe rigide). Ele trebuie să aibă capacitatea de a susține încărcările verticale (finisaje, mobilier, oameni, instalații, etc.) și de a le transfera către stâlpi și pereți. În general, planșeele rigide sunt alcătuite din beton armat, dar există și soluții de planșee metalice sau compuse, care pot fi rigidizate eficient cu ajutorul unor sisteme diagonale metalice.



Sursă imagine: Wikipedia - Sawmill_Covered_Bridge_Underside_Frame_3008px.jpg

Fig. 6.7 – Diagonale metalice pentru rigidizare planșee fără placă de beton.

Rezerva de capacitate: redundanța și robustețea structurală

Cutremurele sunt acțiuni impredictibile; calculul seismic se face utilizând procedee de calcul simplificate adecvat, bazate pe cutremurele ce au avut loc deja. Cât de puternic va fi următorul cutremur și ce tip de acțiune va produce – acestea sunt întrebări cărora nu le putem da un răspuns, astfel că putem doar estima. Astfel, clădirile trebuie neapărat înzestrate cu o anumită rezervă de capacitate, pentru ca atunci când apare un cutremur major să fie evitată prăbușirea locală sau globală a structurii. Această caracteristică este ceea ce noi numim redundanță structurală. Deși în textul literar redundanța este considerată o eroare, în proiectarea structurală redundanța este o caracteristică necesară.

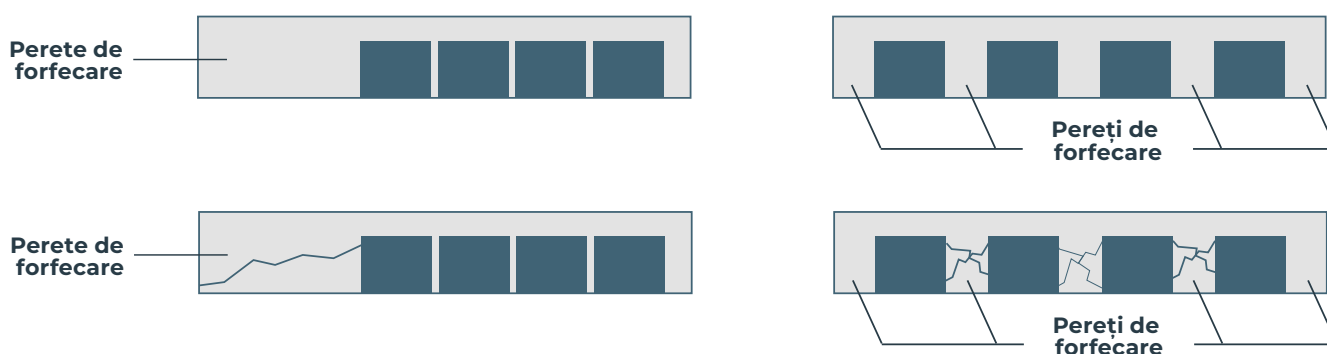


Fig. 6.8 – Structura din stânga nu este redundantă, deoarece un singur element (peretele de beton) trebuie să preia eforturile seismice; în cazul clădirii din dreapta, sunt mai mulți pereți implicați în preluarea forțelor seismice, ceea ce conferă redundanță structurală.



Fig. 6.9 – Cedarea parțială a peretelui fațadei nu a condus la colapsul general al structurii suficient de robuste.

Cedarea unui singur element dintr-o structură nu trebuie să genereze colapsul general; astfel, încă din faza de proiectare, toate clădirile trebuie înzestrate cu rezerve de capacitate, cu căi alternative de transmitere a eforturilor – este ceea ce numim robustețe. Normele de proiectare fac referire la robustețe ca fiind „Abilitatea unei structuri de a suporta evenimente cum ar fi focul, exploziile, impactul cu vehicule sau alte consecințe ale acțiunilor umane fără a fi avariate disproporționat cu cauza ce a acționat”.

Înzestrarea clădirilor cu suficiente rezerve de capacitate și suficiente trasee alternative de redistribuire și transmitere a încărcărilor către fundații sunt elemente esențiale în proiectarea structurilor, putându-se astfel evita multe pierderi de vieți omenești sau pierderi materiale.

Interacțiunile

Clădirile ce sunt construite alipit trebuie prevăzute cu rosturi de lucru, astfel încât să nu se ciocnească în timpul mișcării laterale cauzată de cutremure. Pentru clădirile noi sunt calculate lățimile rosturilor în funcție de cât de mult se va deplasa lateral fiecare clădire. Însă, în cazul multor clădiri existente, rosturile practic nu există (clădirile se ating), ceea ce poate genera coliziunea clădirilor și efecte nedorite și greu controlabile.



Sursă: https://lesionesporcatastrofes.five.es/wp-content/uploads/2023/12/S_41.4.jpg

Fig. 6.10 – Rost de separație insuficient

6.3 Sisteme de fundații

Există două mari categorii de fundații: de suprafață și de adâncime.

Fundațiile de suprafață sunt cele la care încărcările sunt transmise direct de la fundație la terenul de fundare. Există trei tipologii de fundații de suprafață:

- Fundații izolate: sunt amplasate sub stâlpi și au de obicei o formă dreptunghiulară.
- Fundații continue: utilizate pentru pereți portanți din zidărie sau beton, sau pentru șiruri de stâlpi; au forma unei grinzi continue, cu o talpă la partea inferioară.
- Radier general: recomandat a fi utilizat în zone seismice, în zone cu terenuri de fundare cu capacitate portantă redusă sau în zone cu subsoluri pentru care se dorește realizare unor cuve hidroizolate etanș; au forma unei plăci groase din beton.

Fundațiile de adâncime sunt sisteme utilizate în cazuri mai particulare, existând două situații utilizate în mod curent:

- **Fundații pe piloți:** utilizați în cazul în care terenul bun de fundare este situat în adâncime, iar încărcările sunt transmise către teren fie prin frecarea pe suprafața laterală a pilotului, fie prin presiunea creată la contactul bazei pilotului cu terenul bun de fundare. Tipurile de piloți sunt descrise prin tehnologia utilizată pentru introducerea lor în teren: îndesare, batere, vibro-presare, forare (dislocuire), înșurubare. Pot fi realizați din beton armat sau precomprimat, metal sau lemn.
- **Fundații realizate cu structuri de protecție tip cheson:** sunt fundații de adâncime, care însă sunt săpate în spatele unui ecran de protecție realizat din palplanșe ce închid etanș o incintă de lucru. Această tehnologie este utilizată în general pentru fundații realizate sub nivelul apei, cum ar fi de exemplu fundațiile pilonilor și culeelor podurilor sau infrastructurile hidrocentralelor.

Rolul principal al fundațiilor este de a transfera către teren toate încărcările verticale predate de structură. În cazul solicitărilor seismice, rolul fundațiilor este de a putea transfera către teren toate încărcările verticale și orizontale, fără a se deforma sau aluneca excesiv și, mai ales, fără a fi avariate major.

Un aspect foarte important, în special în cazul fundațiilor izolate sunt grinzile de legătură între fundații (grinzi de echilibrare), dispuse pentru a asigura conlucrarea tuturor fundațiilor în cazul solicitărilor seismice, în special în cazul forțelor laterale mari.

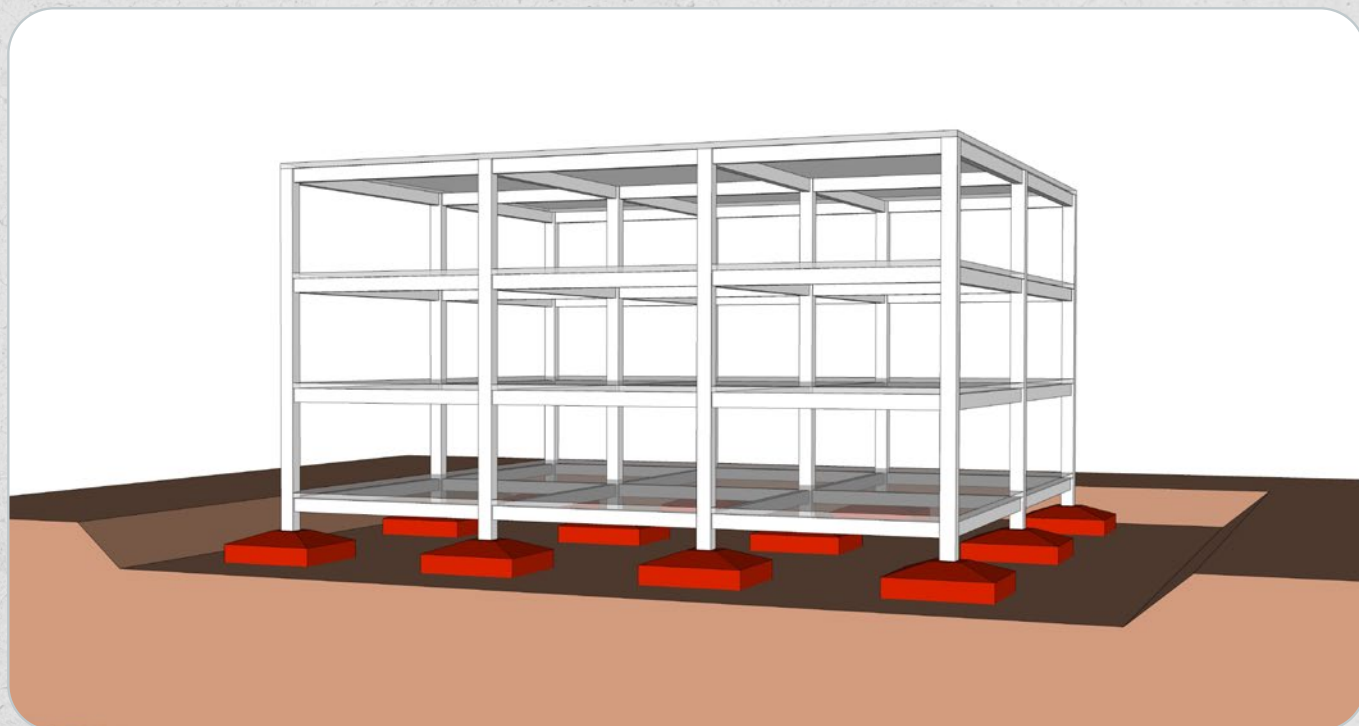


Fig. 6.11 – Fundații izolate cu talpă de beton armat

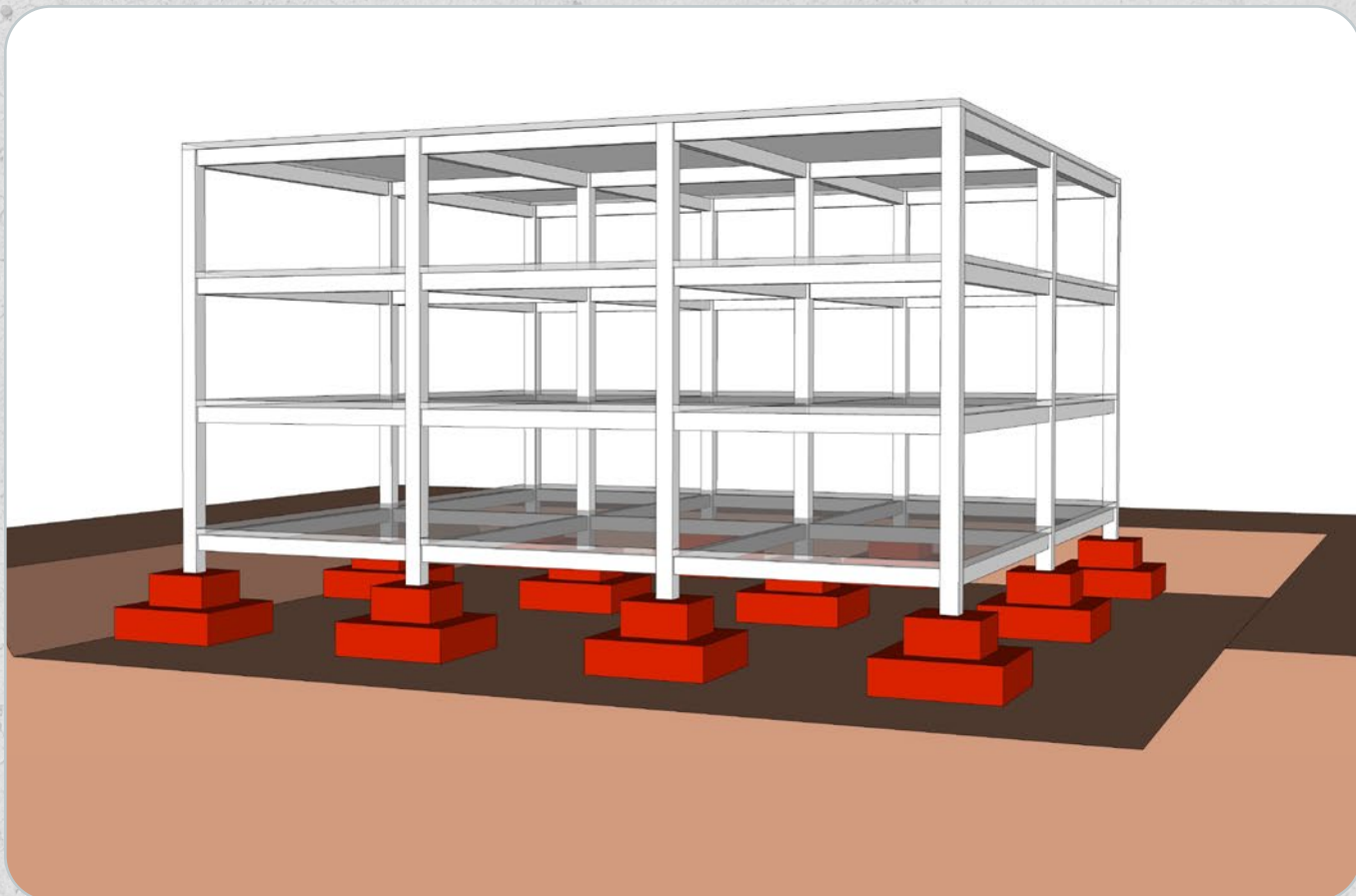


Fig. 6.12 – Fundații izolate cu talpă și cuzinet de beton armat

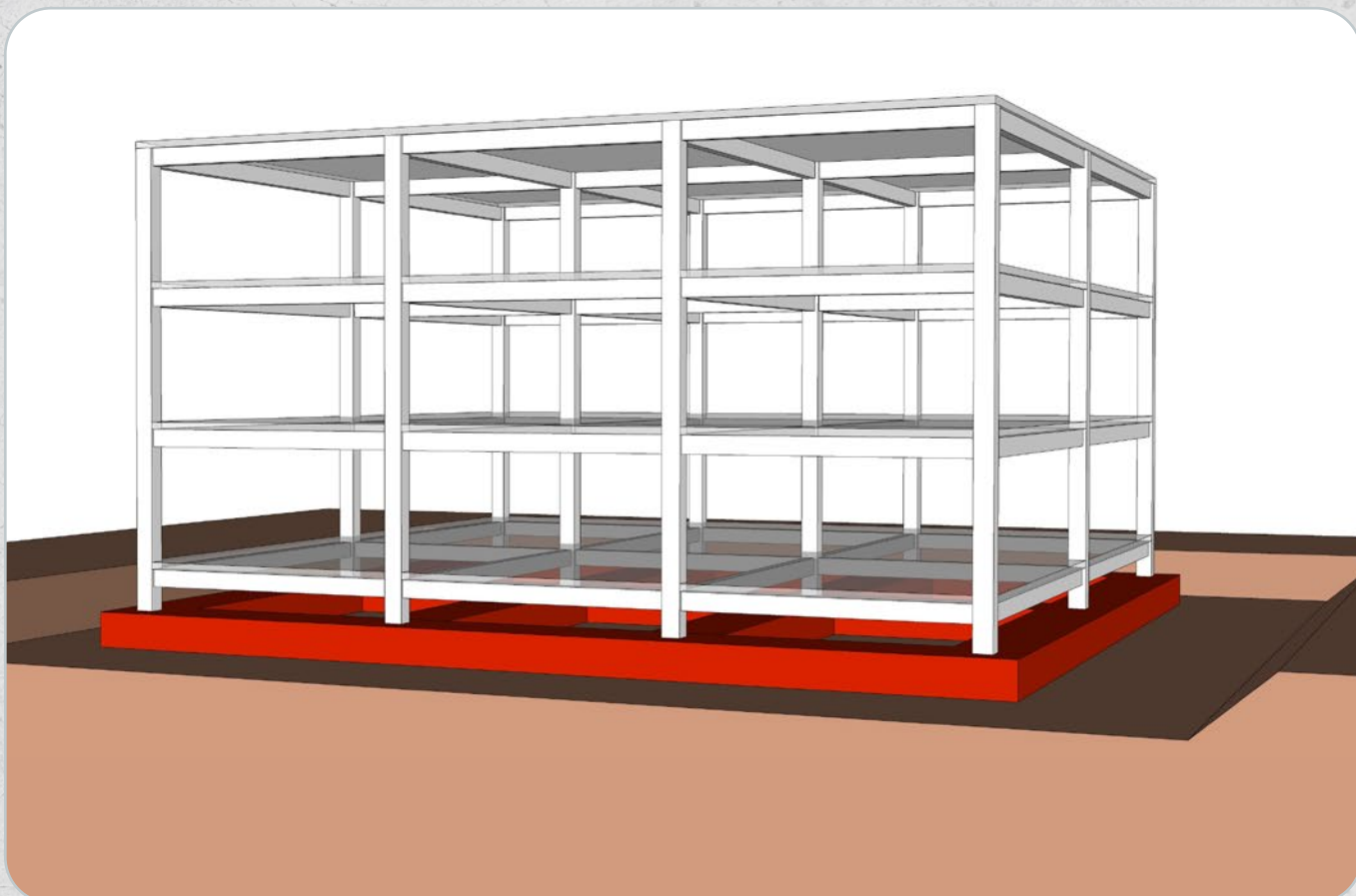


Fig. 6.13 – Fundație continuă de beton armat

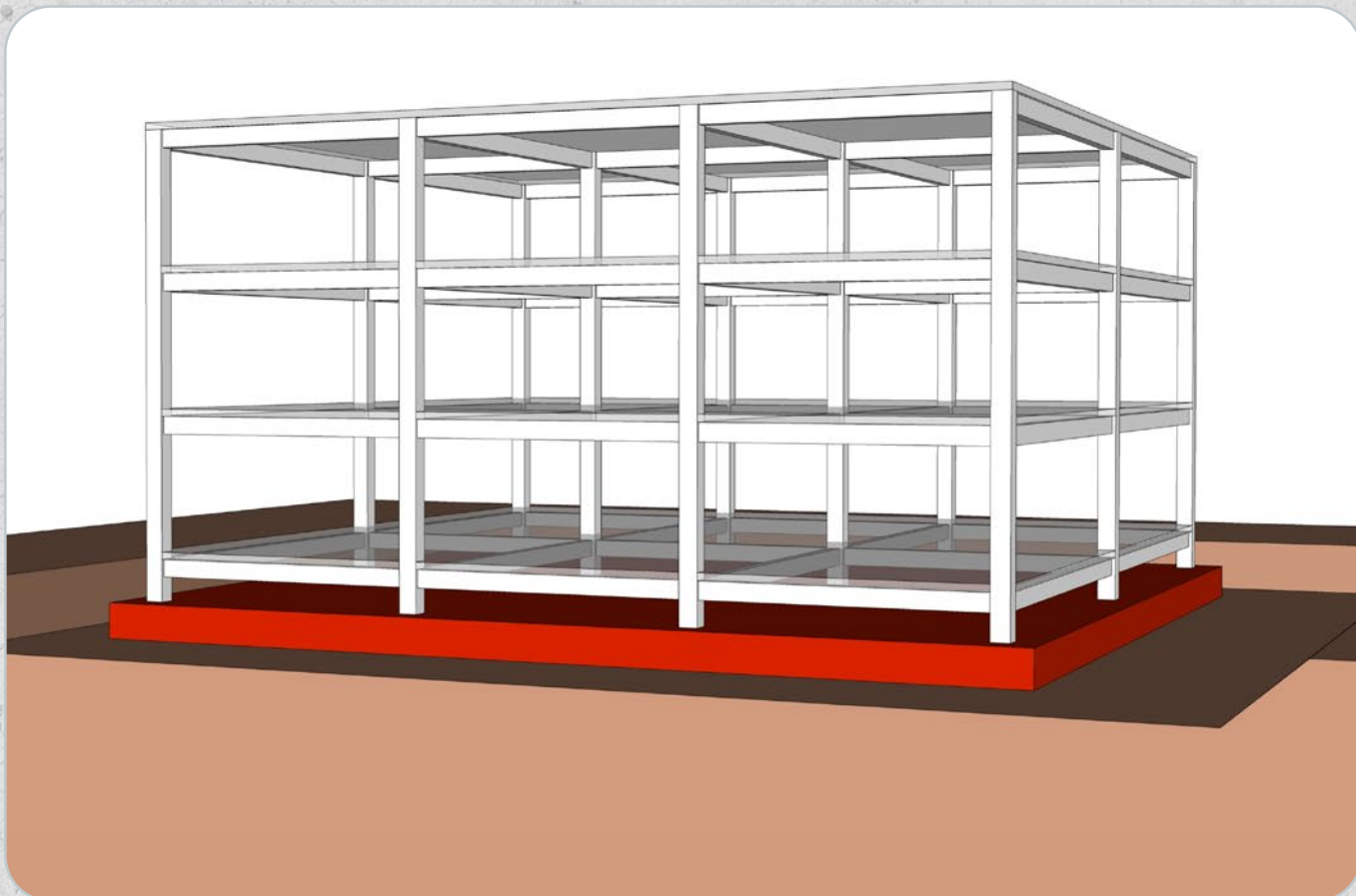


Fig. 6.14 – Fundație radier

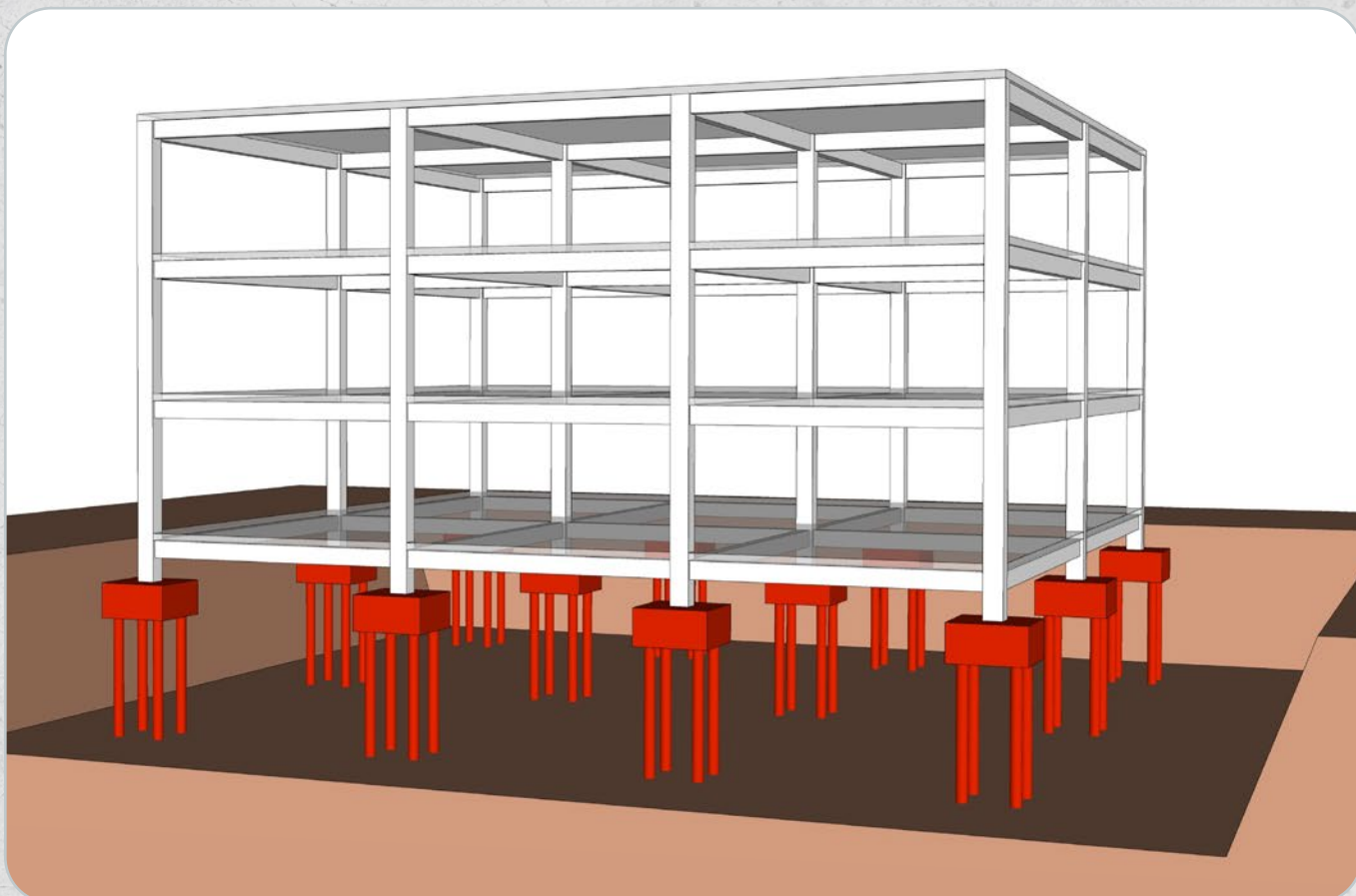


Fig. 6.15 – Fundație pe piloți

07 CONCLUZII

Cutremurele s-au produs dintotdeauna, cu diferite intensități și perioade de revenire; din păcate, în prezent nu este posibilă prezicerea locului, datei sau intensității la care se va produce următorul eveniment seismic. Cu toate acestea, inginerii (constructori și seismologi) trebuie să estimeze foarte judicios modul și intensitatea de apariție a viitoarelor cutremure și, pe baza acestor estimări, să calculeze impactul acestor seisme asupra actualelor și viitoarelor clădiri.

Inginerii din România au fost preocupați de adoptarea unor norme tehnice anti-seismice încă de la începuturile acestei activități la nivel mondial, de acum 84 de ani, din anul 1941. Pe parcursul acestor decenii a existat o preocupare continuă de îmbunătățire, rafinare și optimizare a metodelor de calcul, astfel încât clădirile și infrastructurile noi să fie mult mai sigure, iar clădirile existente să câștige reziliența necesară pentru a rezista viitoarelor cutremure.

Nu în ultimul rând, prezentul ghid încearcă să aducă în atenția tuturor volumul uriaș de muncă și marea responsabilitate ce stă în mâinile inginerilor constructori, în grija cărora sunt toate edificiile în care toți trăim, muncim și de care ne bucurăm zi de zi.

Mulțumiri

Prezentul ghid de proiectare a fost elaborat în cadrul proiectului “Ghid seismic pe înțelesul tuturor”, finanțat prin Ediția pilot 2023-2024 Apel pentru Proiecte al AICPS.

Autorii doresc să mulțumească pe această cale domnului dr. ing. SENCU Răzvan, pentru sugestiile constructive oferite în elaborarea capitolului 1 al prezentului ghid.

Referințe bibliografice

- [1.] Comisia de Standardizare a Republicii Populare Române (1958). STAS 2923-58, Prescripții generale de proiectare în regiuni seismice. Sarcini seismice, București. Nepublicat.
- [2.] Institutul de Cercetări în Construcții și Economia Construcțiilor INCERC (1978). Normativ pentru proiectarea antiseismică a construcțiilor de locuințe social-culturale, agrozootehnice și industriale P100-78, București.
- [3.] Institutul de Cercetări în Construcții și Economia Construcțiilor INCERC (1982). Normativ pentru proiectarea antiseismică a construcțiilor de locuințe social-culturale, agrozootehnice și industriale P100-81, București.
- [4.] Institutul de Cercetări în Construcții și Economia Construcțiilor INCERC (1996). Completarea și modificarea capitolelor 11 și 12 din Normativul pentru proiectarea antiseismică a construcțiilor de locuințe social-culturale, agrozootehnice și industriale P100-92, București.
- [5.] Institutul Român de Standardizare (1978). STAS 11100/1-77, Macrozonarea seismică a teritoriului României, București.
- [6.] Institutul Român de Standardizare (1991). STAS 11100/1-91 Macrozonarea teritoriului României, București.
- [7.] Institutul Român de Standardizare (1994). STAS 11100/1-93 Macrozonarea teritoriului României, București.
- [8.] Ministerul Lucrărilor Publice și Amenajării Teritoriului (1992). Normativ pentru proiectarea antiseismică a construcțiilor de locuințe social culturale, agrozootehnice și industriale P100-92, Buletinul Construcțiilor, vol. 1-2, București.
- [9.] Oficiul de Stat pentru Standardizare (1952). STAS 2923-52, Macrozonarea teritoriului R. P. Române, București.
- [10.] Oficiul de Stat pentru Standardizare (1963). STAS 2923-63, Macrozonarea teritoriului R. P. Române, București.
- [11.]*** (1942). Instrucțiuni provizorii pentru prevenirea deteriorării construcțiilor din cauza cutremurelor și repararea celor degradate, Monitorul Oficial. Partea I, 15, București.
- [12.]*** (1945). Instrucțiuni pentru prevenirea deteriorării construcțiilor din cauza cutremurelor, Monitorul Oficial. Partea I, 120, București.
- [13.]*** (1964). Normativ condiționat pentru proiectarea construcțiilor civile și industriale din regiuni seismice, P13-63, Editura Tehnică, București.
- [14.]*** (1971). Normativ pentru proiectarea construcțiilor civile și industriale din regiuni seismice, P13-70, Editura Tehnică, București.
- [15.]*** (2004). Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance- Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings EN 1998-1, European Committee for Standardization.
- [16.]*** (2005). Cod de proiectare seismică - Partea I: Prevederi de proiectare pentru clădiri, P100-1/2004, Buletinul Construcțiilor, vol. 5, Institutul de Cercetări în Construcții și Economia Construcțiilor INCERC, București.
- [17.]*** (2006). Codul de proiectare seismică - Partea I: Prevederi de proiectare pentru clădiri, P100-1/2006, Monitorul Oficial (Partea I si I bis) nr. 803, București.
- [18.]*** (2009). Codul de proiectare seismică - Partea III: Prevederi de proiectare evaluarea seismică a clădirilor existente, P100-3/2008, Monitorul Oficial (Partea I) nr. 647, București.
- [19.]*** (2013). Codul de proiectare seismică - Partea I: Prevederi de proiectare pentru clădiri, P100-1/2013, Monitorul Oficial (Partea I si I bis) nr. 558 și nr. 558 bis, București.
- [20.]*** (2019). Codul de proiectare seismică - Partea III: Prevederi de proiectare evaluarea seismică a clădirilor existente, P100-3/2019, Monitorul Oficial (Partea I) nr. 1003 bis, București.
- [21.] Cod de proiectare seismică – partea III – Prevederi pentru evaluarea seismică a clădirilor existente, Editura Matrix Rom, București 2020
- [22.] Cod de proiectare seismică – partea I – Prevederi de proiectare pentru clădiri Indicativ P 100-1/2025, Universitatea Tehnică de Construcții București, Ianuarie 2024
- [23.] CR0-2012 - Cod de proiectare. Bazele proiectării construcțiilor, Monitorul Oficial nr. 647bis/11.IX.2012.
- [24.] Gazzetta Ufficiale (1909). Regio Decreto 18 aprile 1909 no.193, portante norme tecniche ed igieniche obbligatorie per le riparazioni ricostruzioni e nuove costruzioni degli edifici pubblici e privati nei luoghi colpiti dal terremoto del 28 dicembre 1908 e da altri precedenti elencati nel R.D. 15 aprile 1909 e ne designa i Comuni, no. 95, Roma, Italia.
- [25.] Maki, Norio, Hayashi, Haruo (2000). Building Codes and Tradeoffs for Earthquake Risk Reduction: Disaster Management for Housing, Proceedings from the 12th World Conference on Earthquake Engineering, pp. 2556-2564, Auckland, New Zealand.
- [26.] Ulomov, V. I. Seismic Hazard of Northhern Eurasia, <http://www.seismo.ethz.ch/static/gshap/neurasia/report.html>, accesat 23.11.2024.
- [27.] Guo-Qiang Li, Yan-Bin Xu, Fei-Fei Sun (2012). Overview of Performance-Based Seismic Design of Building in China, International Journal of High-Rise Buildings, vol. 1, no. 3, pp. 169-179.
- [28.] FEMA, Seismic Building Codes in the U.S., https://www.nibs.org/files/pdfs/FEMA_NEHRP_Provisions-35-yea.pdf, accesat 23.11.2024.
- [29.] Sezen, Halil, Elwood, Kenneth, Whittaker, Andrew (2001). Evolution of Seismic Building Design and Construction Practice in Turkey, https://pubs.usgs.gov/of/2001/of01-163/GENERAL_PUBLICATIONS/Sezen_StructDesignofTallBld.pdf, accesat 23.11.2024.
- [30.] Scara Mercalli modificată: https://en.wikipedia.org/wiki/Modified_Mercalli_intensity_scale
- [31.] Scara Richter: https://en.wikipedia.org/wiki/Richter_scale
- [32.] Scara MMS: https://en.wikipedia.org/wiki/Moment_magnitude_scale