

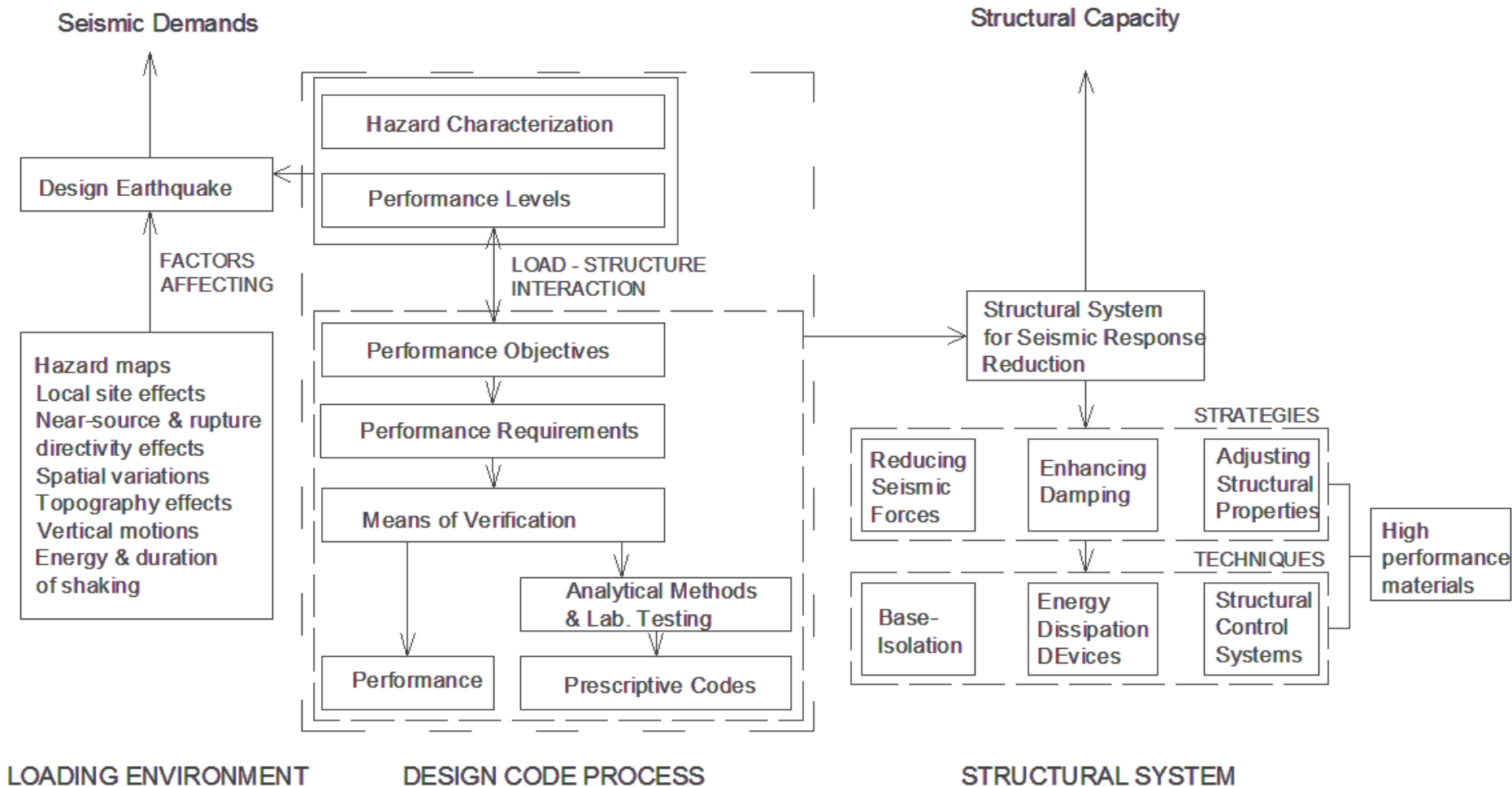
## WORKSHOP

**Implementarea în practica de proiectare anti-seismică din România a  
contravântuirilor cu flambaj împiedicat (IMSER)**

**Cercetări actuale la Universitatea Politehnica Timișoara  
în domeniul proiectării antiseismice a structurilor din oțel**  
Sisteme și soluții de protecție antiseismică a clădirilor existente care utilizează  
elemente metalice disipative

**Acad. Dan Dubina**

# Cerința seismică și capacitatea structurii: strategii de protecție anti-seismica



# Principii și strategii în protecția și reabilitarea antiseismică a construcțiilor

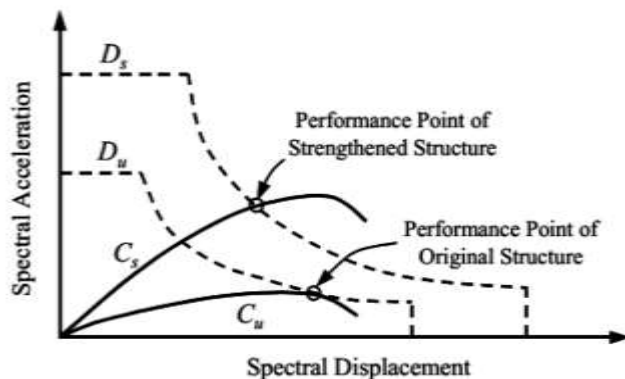
---

**Multe dintre clădirile existente au nevoie de reabilitare seismică. Motivele principale sunt:**

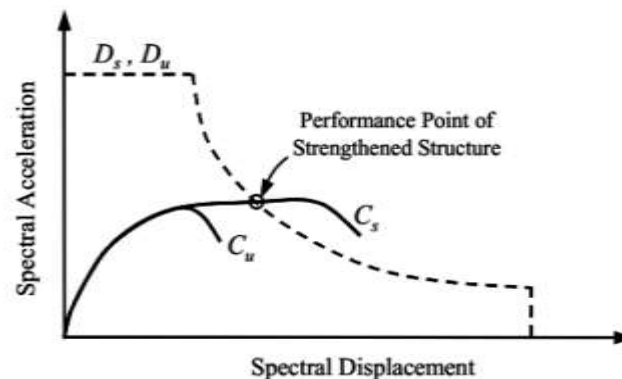
- **Proiectarea inițială nu a ținut seama de nivelul de siguranță cerut la acțiunea seismică,**
- **Calitatea redusă a materialelor și a execuției,**
- **Modificări sau extinderi aduse clădirii în timpul existenței ei și**
- **Creșterea cerințelor aplicate proiectării anti-seismice.**

# Strategii de intervenție

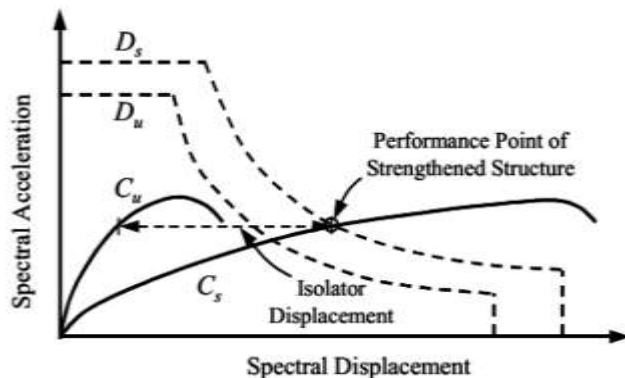
- Îmbunătățirea caracteristicilor structurii (rezistență, rigiditate, ductilitate)
- Reducerea cerințelor seismice (reducerea maselor, amortizare suplimentară, izolarea bazei)



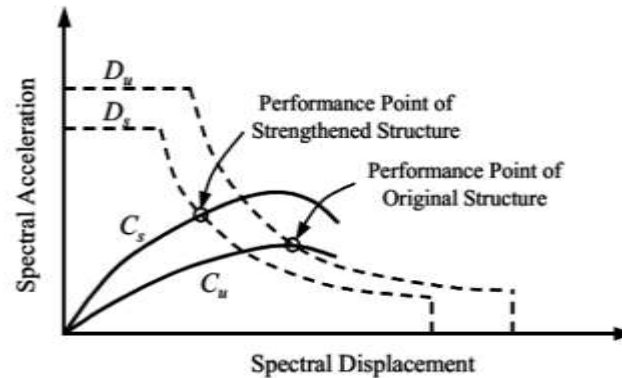
(a) Effect of structural strengthening



(b) Effect of deformation enhancement



(c) Effect of base isolation

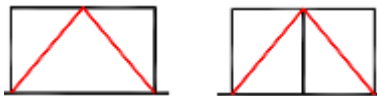
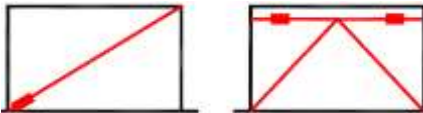
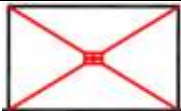
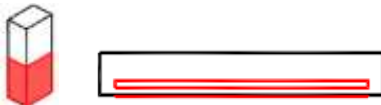


(d) Effect of enhanced energy dissipation

# Strategii de intervenție

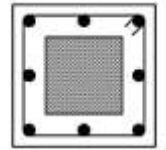
|                |                                   | Rezistență | Rigiditate | Ductilitate | Neregularitate | Cerința de rezistență | Cerința de deformare |
|----------------|-----------------------------------|------------|------------|-------------|----------------|-----------------------|----------------------|
| Măsuri locale  | Cămășuire cu beton                | ✓          | ✓          | ✓           |                | ✗                     | ✓                    |
|                | Cămășuire cu elemente din oțel    | ✓          |            | ✓           |                |                       |                      |
|                | Cămășuire cu FRP                  | ✓          |            | ✓           |                |                       |                      |
|                | Post-tensionare                   | ✓          |            | ✓           |                |                       |                      |
|                | Reducere de rezistență            | ✗          |            |             |                |                       |                      |
| Măsuri globale | Cadre, pereți, contravântuiri noi | ✓          | ✓          |             | ✓              | ✗                     | ✓                    |
|                | Reducerea masei                   |            |            |             | ✓              | ✓                     | ✓                    |
|                | Demolare parțială                 |            |            |             | ✓              | ✓                     |                      |
|                | Izolarea bazei                    |            |            |             | ✓              | ✓                     | ✓                    |
|                | Amortizori                        |            | ✓          |             |                | ✗                     | ✓                    |
|                | Rosturi seismice                  |            |            |             | ✓              |                       |                      |
|                | Cuplarea corpurilor independente  |            |            |             | ✓              |                       |                      |

# Strategii de intervenție

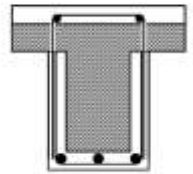
| Dispozitiv                                               |                                                                                     | Tipul intervenției                                            | Reversibilitate                                                          | Aspect                                                                    |  |  |  |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--|--|--|
| Cadre din oțel contravântuite excentric                  |    | Reducerea deplasărilor relative de nivel, disipare de energie | Foarte bună, interacțiunea cu structura existentă doar în zona îmbinării | Bun, pot fi ascunse în pereți. În traveele libere pot prejudicia aspectul |  |  |  |
| Contravântuiri cu flambaj împiedicat                     |    |                                                               |                                                                          |                                                                           |  |  |  |
| Pin INERD                                                |    |                                                               |                                                                          |                                                                           |  |  |  |
| Amortizori cu lichid vâcos, amortizori magneto-reologici |                                                                                     |                                                               |                                                                          |                                                                           |  |  |  |
| Amortizori visco-elastici                                |    |                                                               |                                                                          |                                                                           |  |  |  |
| Amortizori cu frecare                                    |   |                                                               |                                                                          |                                                                           |  |  |  |
| Panouri de forfecare din metal                           |  | Creșterea rezistenței și a ductilității                       | Foarte bună, îndepărtare ușoară                                          | Foarte bun, mascat de tencuială                                           |  |  |  |
| Polimeri armați cu fibre                                 |  |                                                               |                                                                          |                                                                           |  |  |  |

# Tehnici si tehnologii de reabilitare antiseismică: soluții clasice

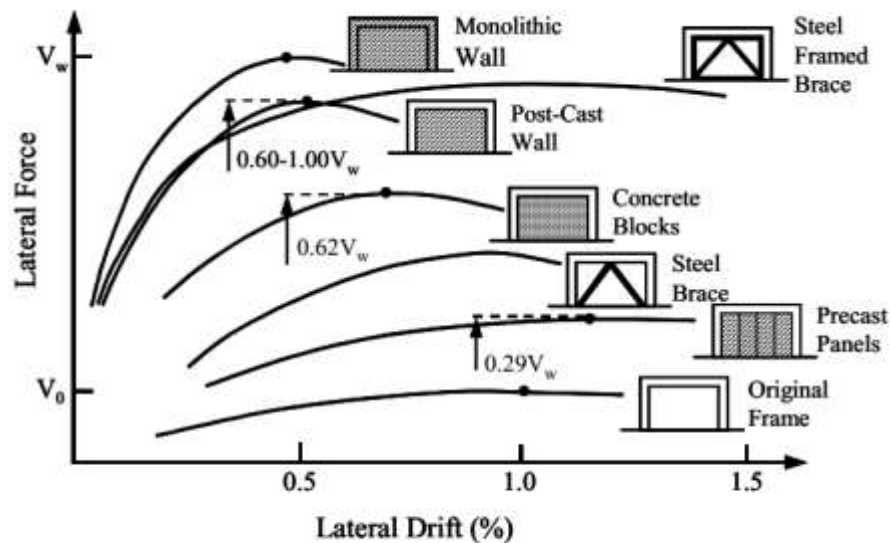
- Cămășuirea elementelor cadrelor, cu beton armat, cu piese de oțel sau cu polimeri armați cu fibre
- Poate afecta în măsură importantă și elementele nestructurale ale construcției, astfel încât costul și durata lucrărilor poate fi mai mare
- **Cresterea rigidității implica cerințe de rezistență sporite**



(b) Column jacketing



(c) Beam jacketing

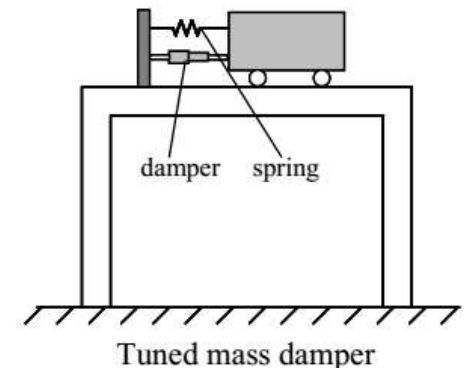
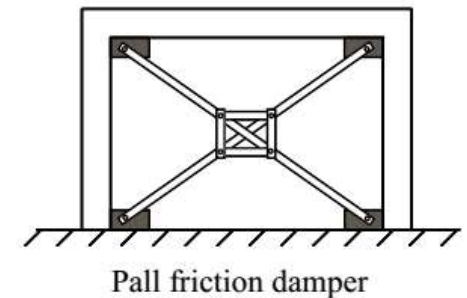
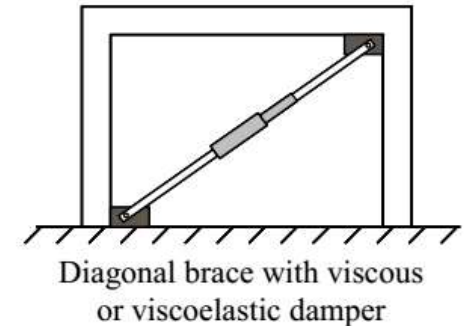


(a) Effectiveness of structural walls and bracings (Sugano, 1989; CEB, 1997)



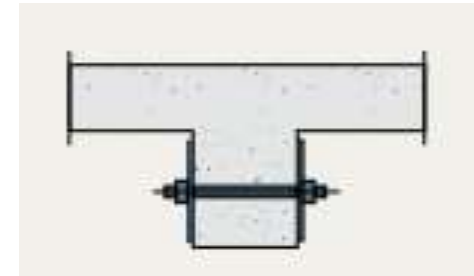
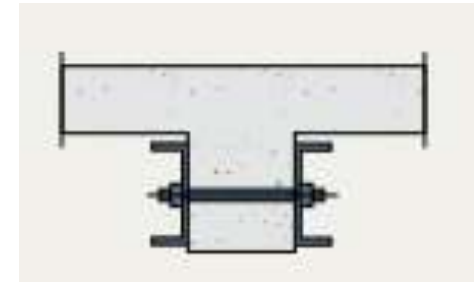
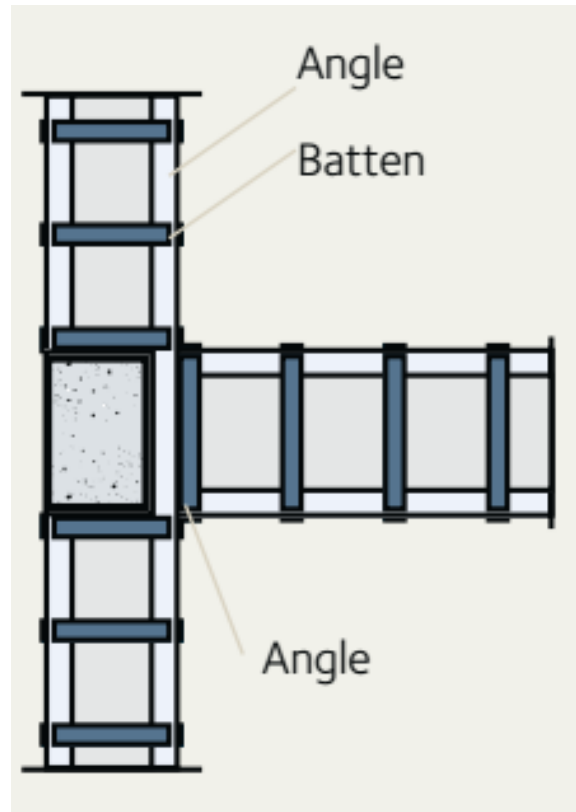
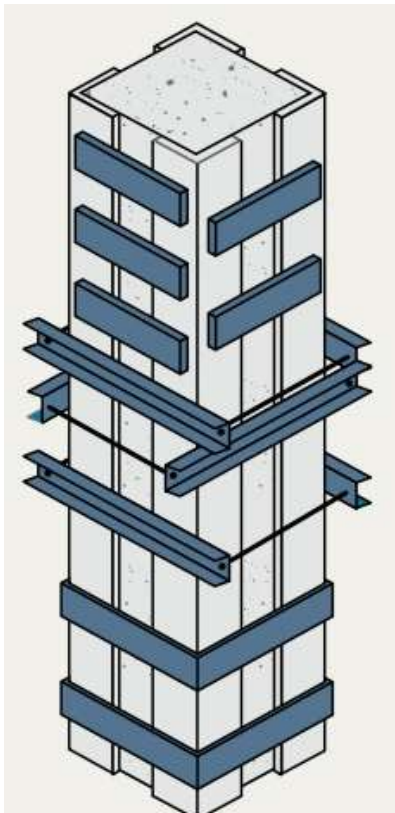
# Tehnici si tehnologii de reabilitare antiseismică: amortizare suplimentară și control structural

- Izolarea bazei
- Sisteme pasive de control structural:
  - dispozitive histeretice din metal
  - amortizori cu lichid vâscos
  - amortizori visco-elastici
  - amortizori cu frecare
  - amortizori cu mase acordate (TMD)
  - amortizori cu lichide acordate (TLD)
- Sisteme de control semi-activ
  - amortizori cu lichid magneto-reologic
  - amortizori piezoelectrics
  - amortizori cu lichid vâscos
  - Aliaje cu memorie de formă (SMA)
- Sisteme de control activ
- Sisteme hibride



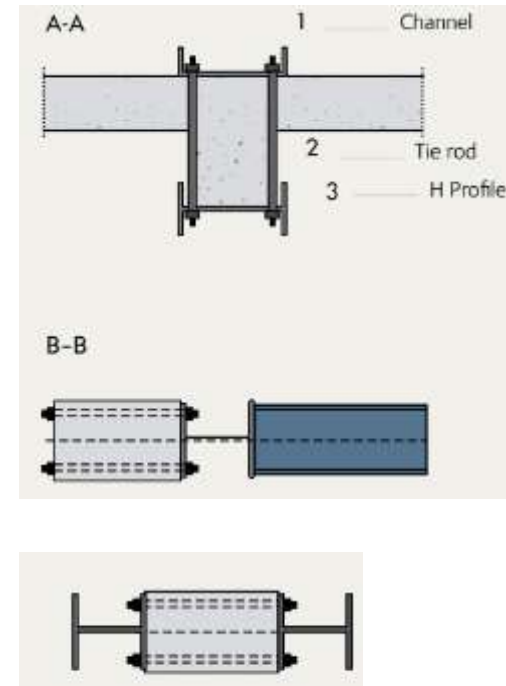
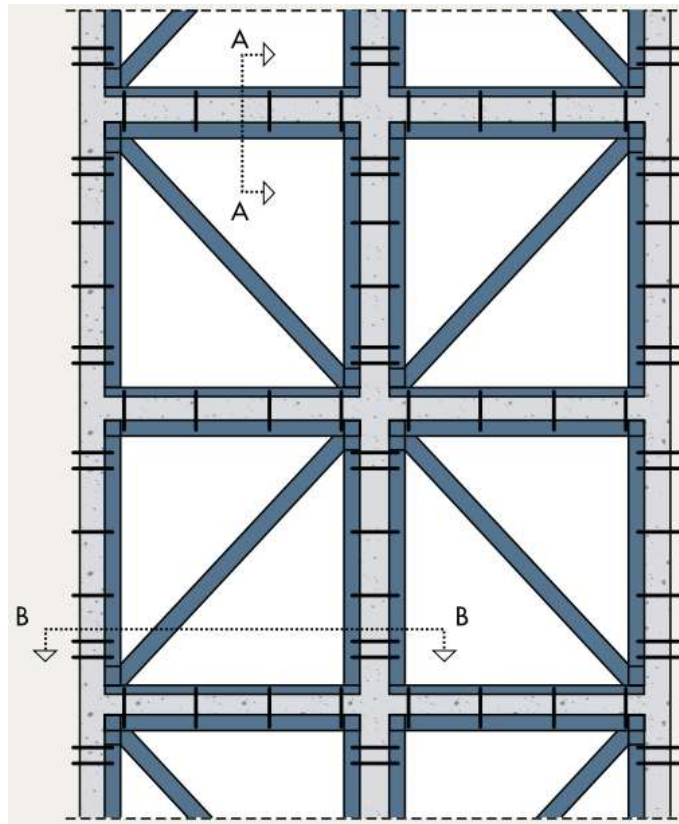
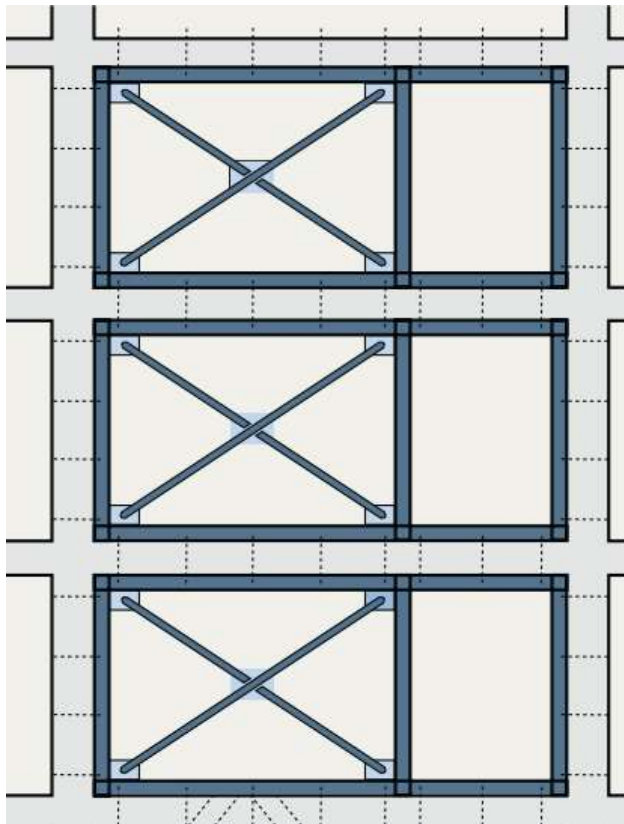
# Tehnici si tehnologii de reabilitare antiseismică: soluții care utilizează oțelul și alte metale

- **Cămășuirea cu piese de oțel;**
- **Contravântuirea cadrelor cu elemente din oțel;**
- **Umplerea ochiurilor de cadru cu panouri metalice;**
- **Atașarea unor cadre spațiale la exteriorul construcției.**



# Tehnici si tehnologii de reabilitare antiseismică: soluții care utilizează oțelul și alte metale

- Cămășuirea cu piese de oțel;
- Contravântuirea cadrelor cu elemente din oțel;
- Umplerea ochiurilor de cadru cu panouri metalice;
- Atașarea unor cadre spațiale la exteriorul construcției.



# Tehnici si tehnologii de reabilitare antiseismică: soluții care utilizează oțelul și alte metale

---

- Cămășuirea cu piese de oțel;
- **Contravântuirea cadrelor cu elemente din oțel;**
- Umplerea ochiurilor de cadru cu panouri metalice;
- Atașarea unor cadre spațiale la exteriorul construcției.



# Tehnici si tehnologii de reabilitare antiseismică: soluții care utilizează oțelul și alte metale

- Cămășuirea cu piese de oțel;
- Contravântuirea cadrelor cu elemente din oțel;
- **Umplerea ochiurilor de cadru cu panouri metalice;**
- Atașarea unor cadre spațiale la exteriorul construcției.



# Criterii de selecție a soluțiilor de intervenție

---

|                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aspecte tehnice     | Reversibilitatea intervenției, Compatibilitatea, Durabilitatea, Coroziunea, Rezistența UV, Îmbătrânire, Fluaaj, Condiții locale, Disponibilitatea materialului/dispozitivului, Capacitatea tehnică, Controlul calității                                                                                                                                                                          |
| Aspecte structurale | Performanța structurală (Rezistență, Rigiditate, Ductilitate, Oboseală), Răspunsul la foc, Sensibilitatea la modificări ale acțiunilor/rezistențelor (de exemplu acțiunea seismică, temperatura, focul, condițiile terenului), Măsuri adiacente, Suport tehnic (Codificare, Recomandări, Reguli tehnice), Instalare/Montare (de exemplu disponibilitatea/necesitatea echipamentelor de ridicare) |
| Aspecte economice   | Costuri, Proiectare, Materiale/Fabricare, Transport, Montare/ Instalare/ Întreținere, Lucrări pregătitoare                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

# Criterii de selecție a soluțiilor de intervenție

---

- **Există o varietate largă de soluții de consolidare, care se diferențiază prin:**
  - **costul implementării și al mentenanței;**
  - **timpul necesar implementării;**
  - **performanță;**
  - **durabilitate;**
  - **gradul de invazivitate;**
  - **reversibilitatea soluției.**
- **Decizia asupra soluției optime de consolidare implică:**
  - **proiectarea unor soluții alternative de intervenție;**
  - **selectarea criteriilor de evaluare;**
  - **definirea importanței relative a criteriilor de evaluare;**
  - **evaluarea alternativelor conform fiecărui criteriu**
  - **conversia tuturor variabilelor în valori numerice**
  - **identificarea soluției optime folosind o metodă de luare de decizii**

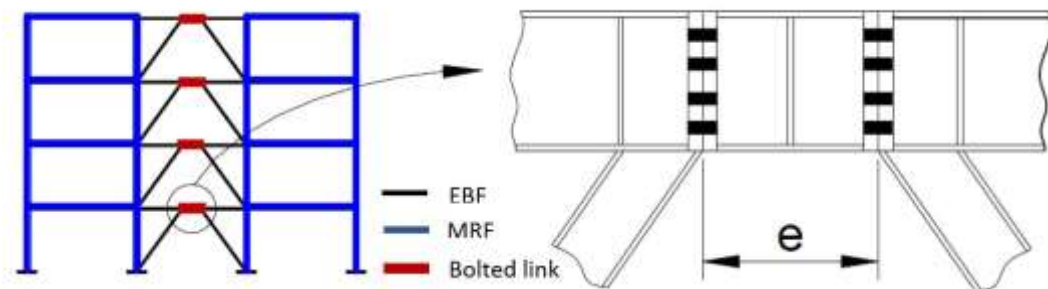
# Proiecte naționale și europene, consacrare protecției și reabilitării antiseismice implicând UP Timisoara & CCTFA

---

- **FP 6 "PROHITECH" (2005-2008) – Earthquake protection of historical buildings by reversible mixed technologies**
- **RFCS "SteelRetro" (2007-2011) – Steel solutions for seismic retrofit and upgrade of existing constructions**
- **RFCS "SteelEarth" (2014-2015) – Steel-based applications in earthquake-prone areas**
- **RFCS "INNOSEIS" (2016-2017) – Valorization of innovative anti-seismic devices**
- **FP 7 "DUAREM" (2010-2014) – Full-scale experimental validation of dual eccentrically braced frame with removable links**
- **PNII "SEMNAL MRD" (2013-2017) – Protecția seismică a structurilor cu sisteme de contravanturi disipative echipate cu amortizoare cu fluid nano-micro magnetoreologic**
- **PNII "IMSER" (2013-2017) – Implementarea în practica de proiectare anti-seismică din România a contravântuirilor cu flambaj împiedicat**

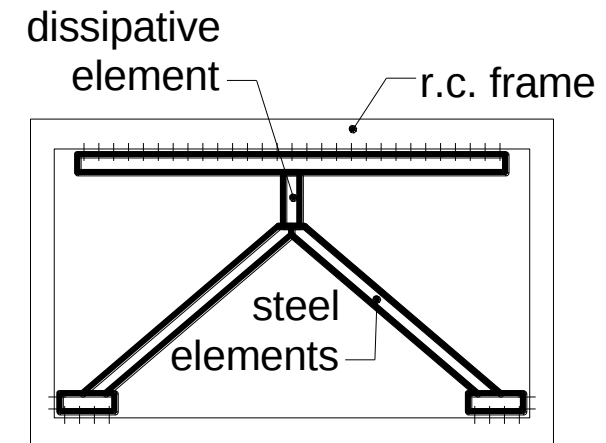
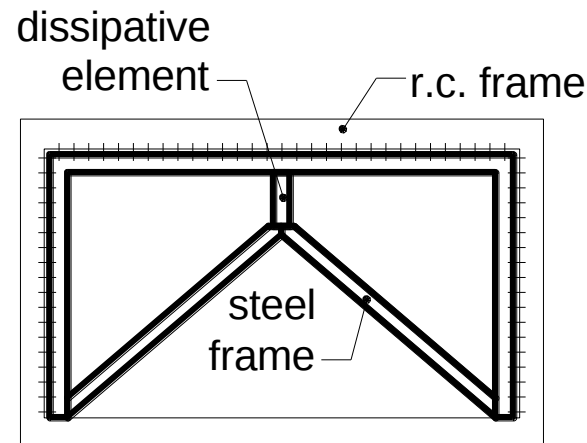
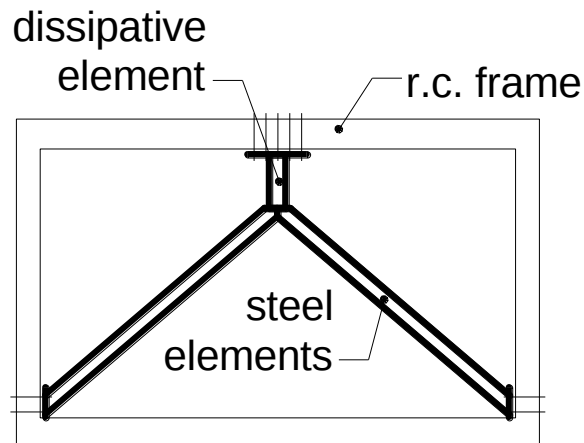
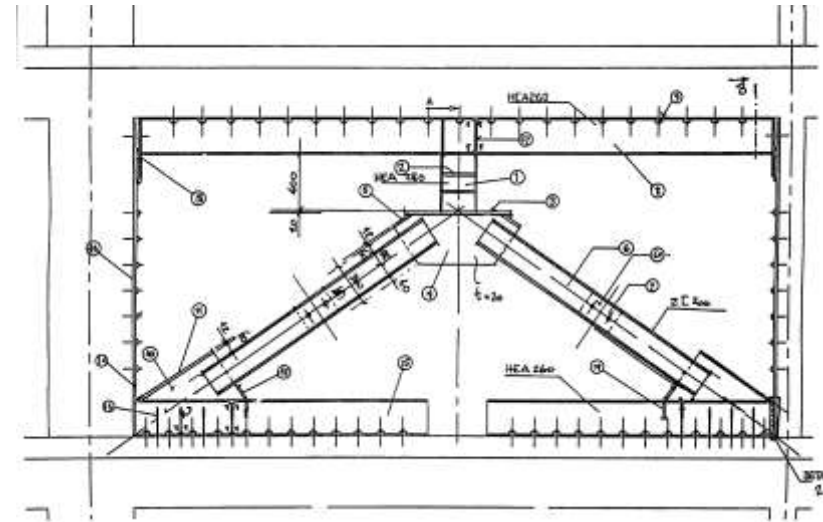
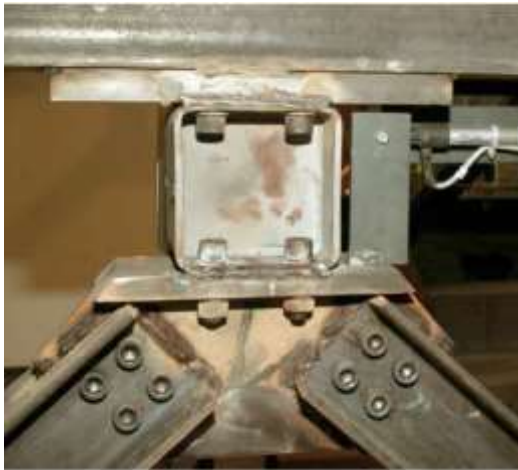
# Soluții dezvoltate de UPT & CCTFA în cadrul unor proiecte de cercetare naționale și internaționale

- Cadre contravântuite excentric cu linkuri demontabile
- Înlocuirea elementelor disipative avariate
- Re-centrarea structurii
- Fezabilitatea soluției demonstrată prin încercări experimentale la nivel de
  - Dispozitiv
  - Subansamblu
  - Structură



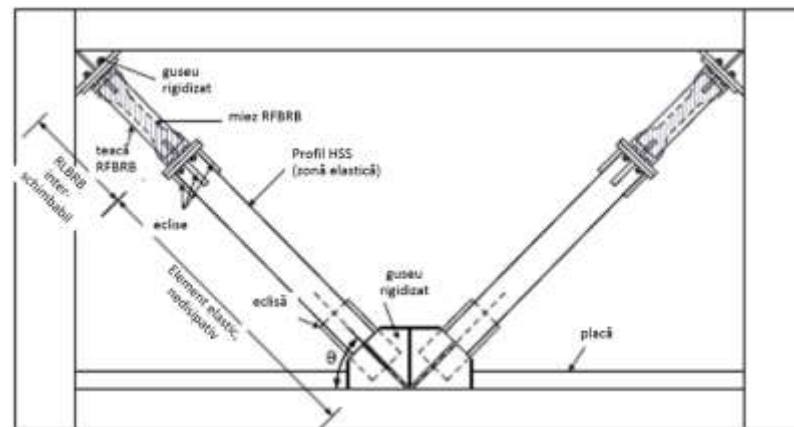
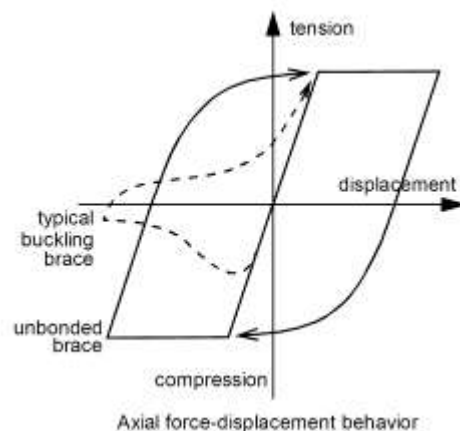
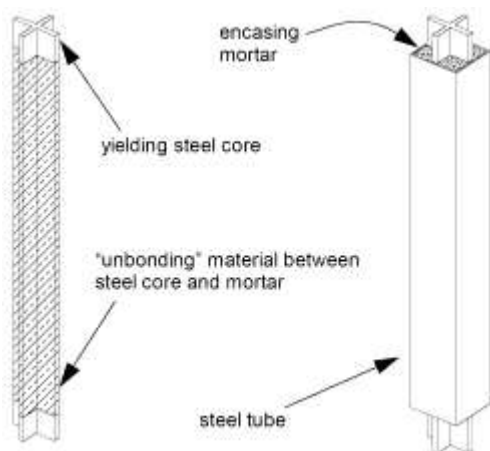
# Soluții dezvoltate de UPT & CCTFA în cadrul unor proiecte de cercetare naționale și internaționale

- Cadre contravântuite excentric cu linkuri demontabile: aplicare la consolidarea cadrelor din b.a.



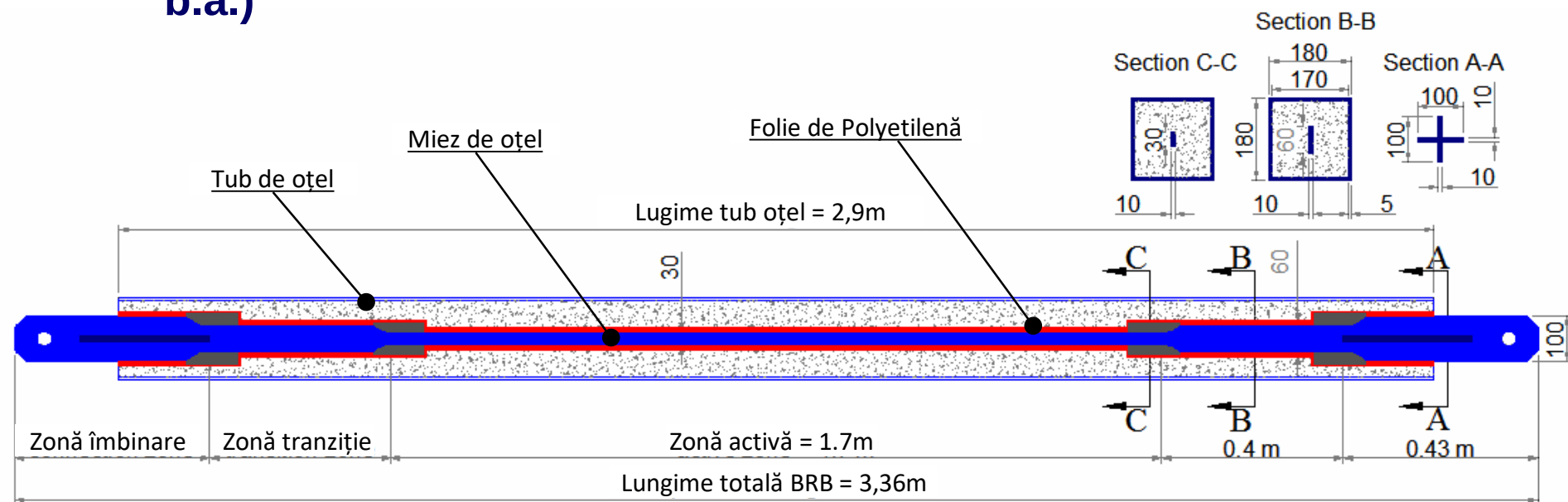
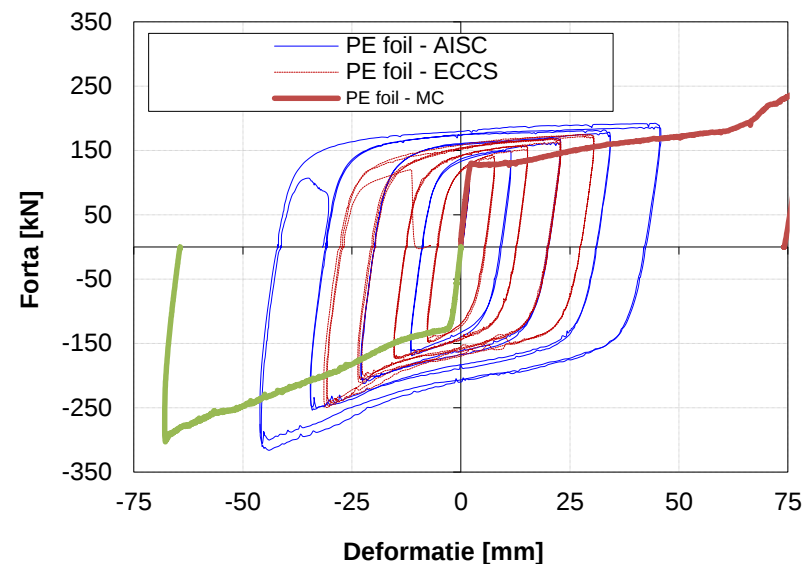
# Soluții dezvoltate de UPT & CCTFA în cadrul unor proiecte de cercetare naționale și internaționale

- Contravântuiri cu flambaj împiedicat (P 100-1-2013)
- Element disipativ cu un răspuns histeretic stabil și simetric
- Soluție reversibilă
- Ajustarea proprietăților de rezistență și rigiditate



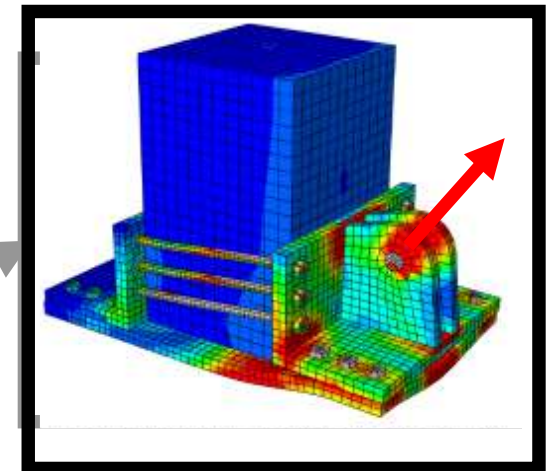
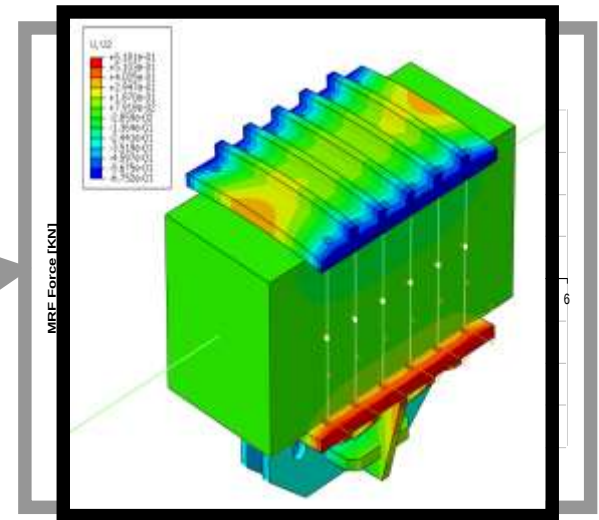
# Soluții dezvoltate de UPT & CCTFA în cadrul unor proiecte de cercetare naționale și internaționale

- Contravântuiri cu flambaj împiedicat
- Dezvoltare soluție
- Validare experimentală la nivel de
  - Element
  - Sistem (consolidare cadre din b.a.)



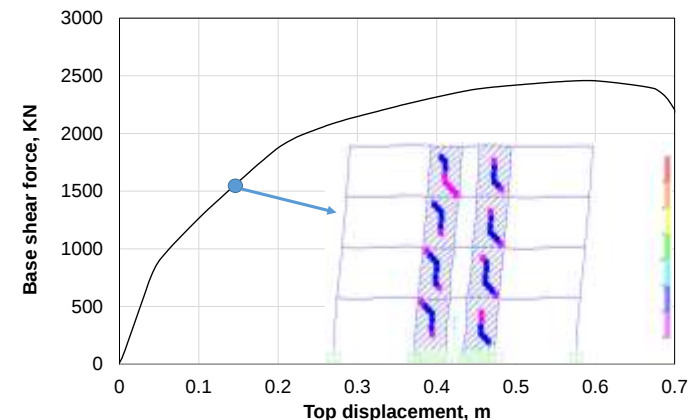
# Soluții dezvoltate de UPT & CCTFA în cadrul unor proiecte de cercetare naționale și internaționale

- Validare experimentală la nivel de sistem (consolidare cadre din b.a.)



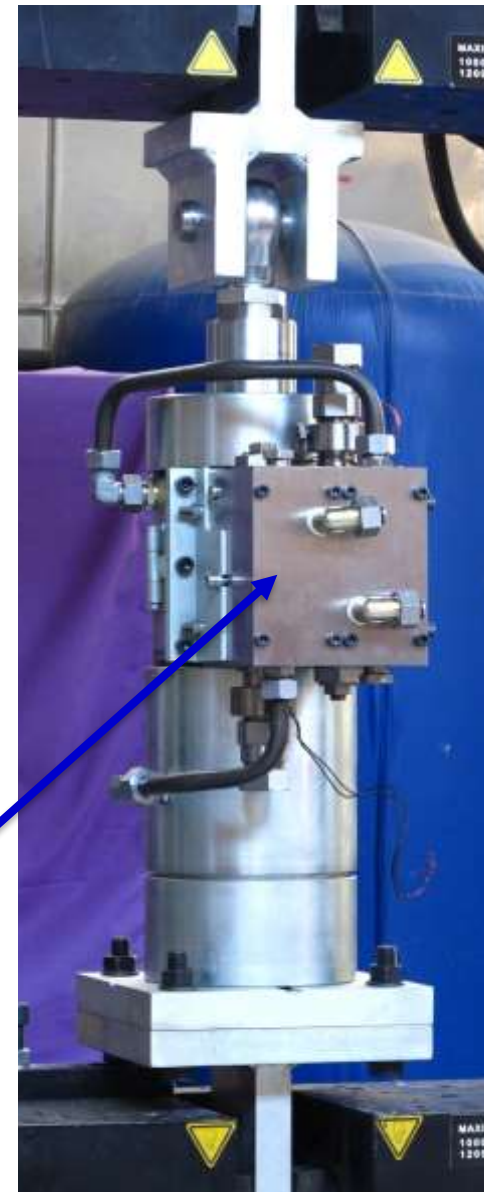
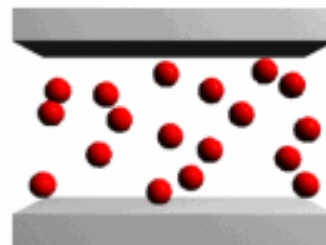
# Soluții dezvoltate de UPT & CCTFA în cadrul unor proiecte de cercetare naționale și internaționale

- Panouri din oțel
- Sistem structural inovativ cu aplicații în SUA și Japonia
- Lipsă prevederi de proiectare la nivel național / European
- Încercări experimentale pe model la scară redusă
- Determinarea factorilor de comportare și suprarezistență necesari în proiectare
- Dezvoltarea unui model numeric și evaluarea performanței seismice a structurilor multietajate
- Elaborarea unei metodologii de proiectare



# Soluții dezvoltate de UPT & CCTFA în cadrul unor proiecte de cercetare naționale și internaționale

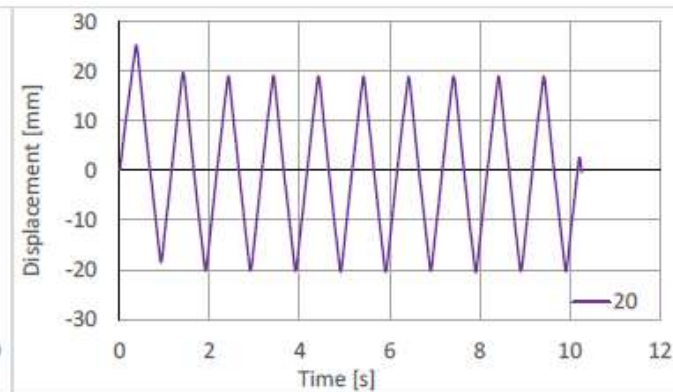
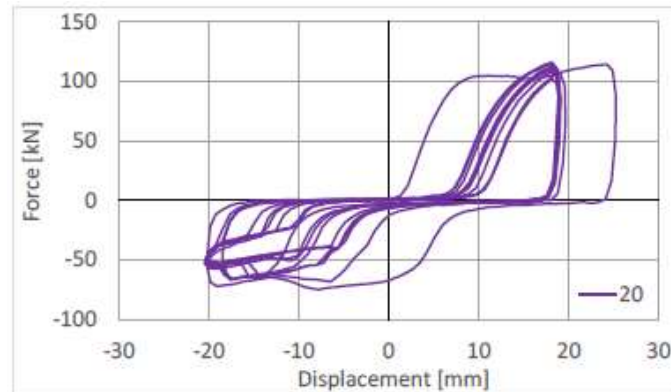
- Sistem semi-activ de protecție seismică pe bază de amortizori cu lichid nano-micro-magneto reologic
- Dezvoltare lichid nano-micro-magneto reologic
- Proiectare și fabricare amortizor de 10tf
- Încercări experimentale pe
  - Amortizor
  - Dispozitiv hibrid amortizor + BRB
- Simulare numerică a eficienței sistemului de control



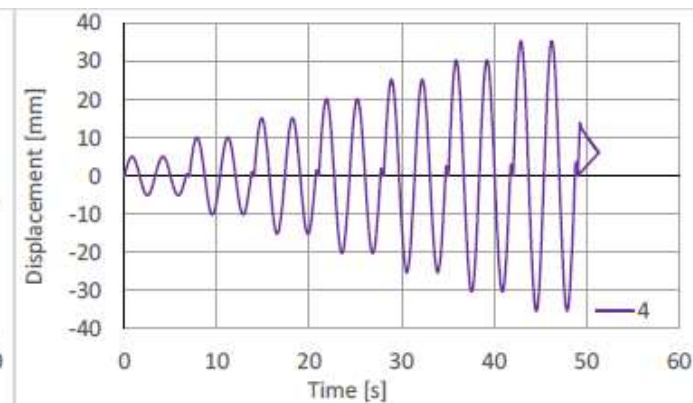
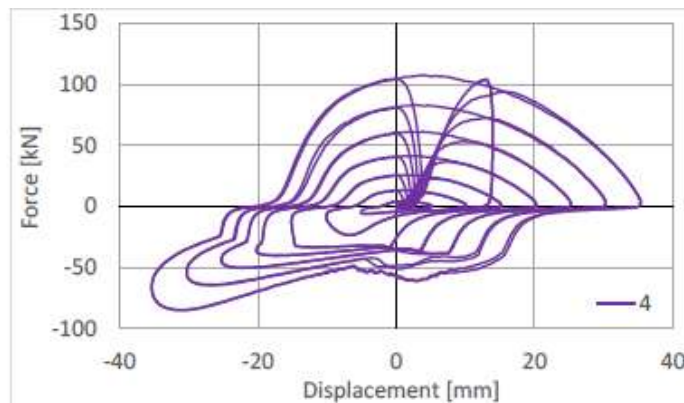
# Soluții dezvoltate de UPT & CCTFA în cadrul unor proiecte de cercetare naționale și internaționale



Triangular loading (constant amplitude)



Sinusoidal loading (variable amplitude)

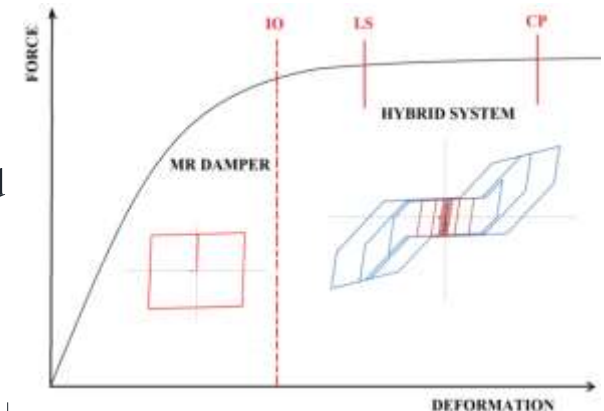
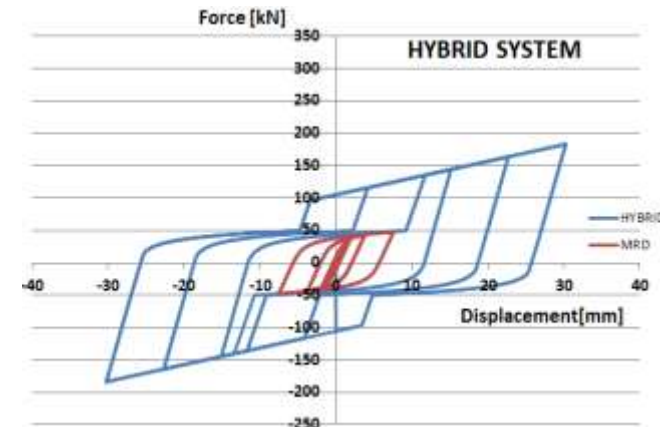
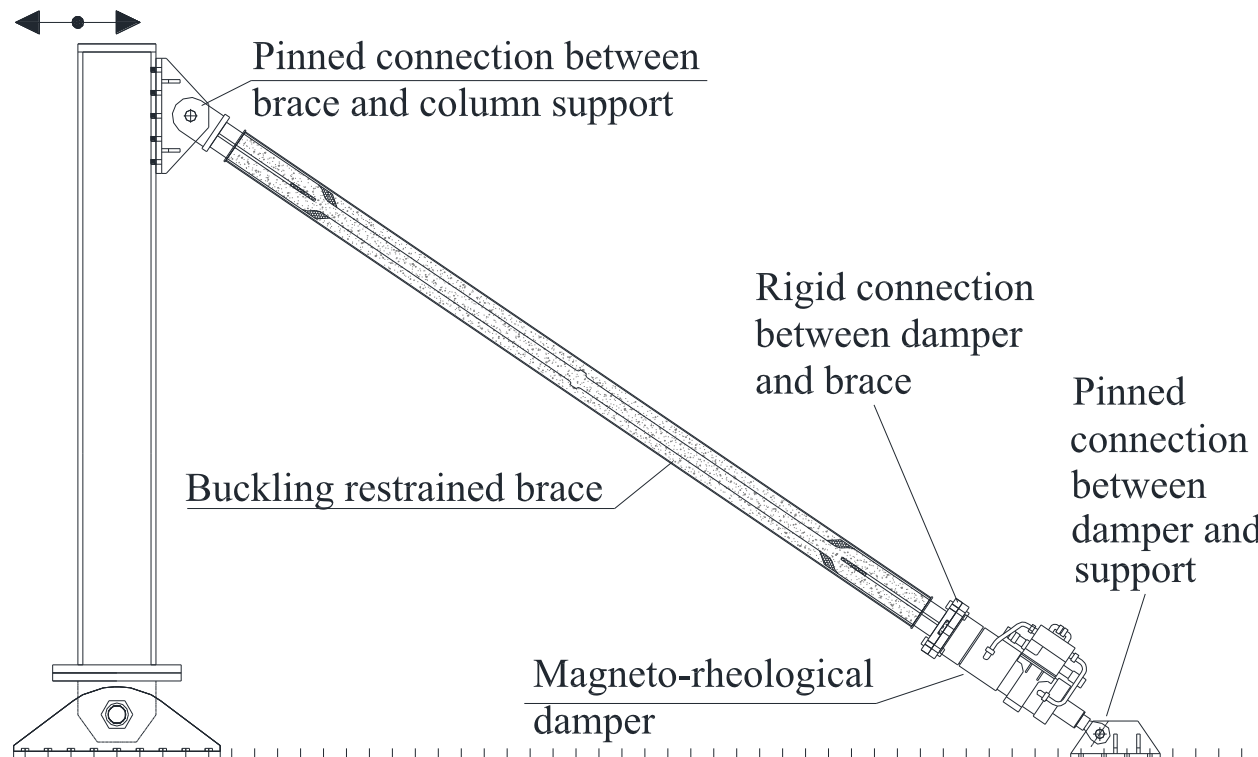


# Soluții dezvoltate de UPT & CCTFA în cadrul unor proiecte de cercetare naționale și internaționale

## Hybrid BRB +MRD System : quasy-static tests

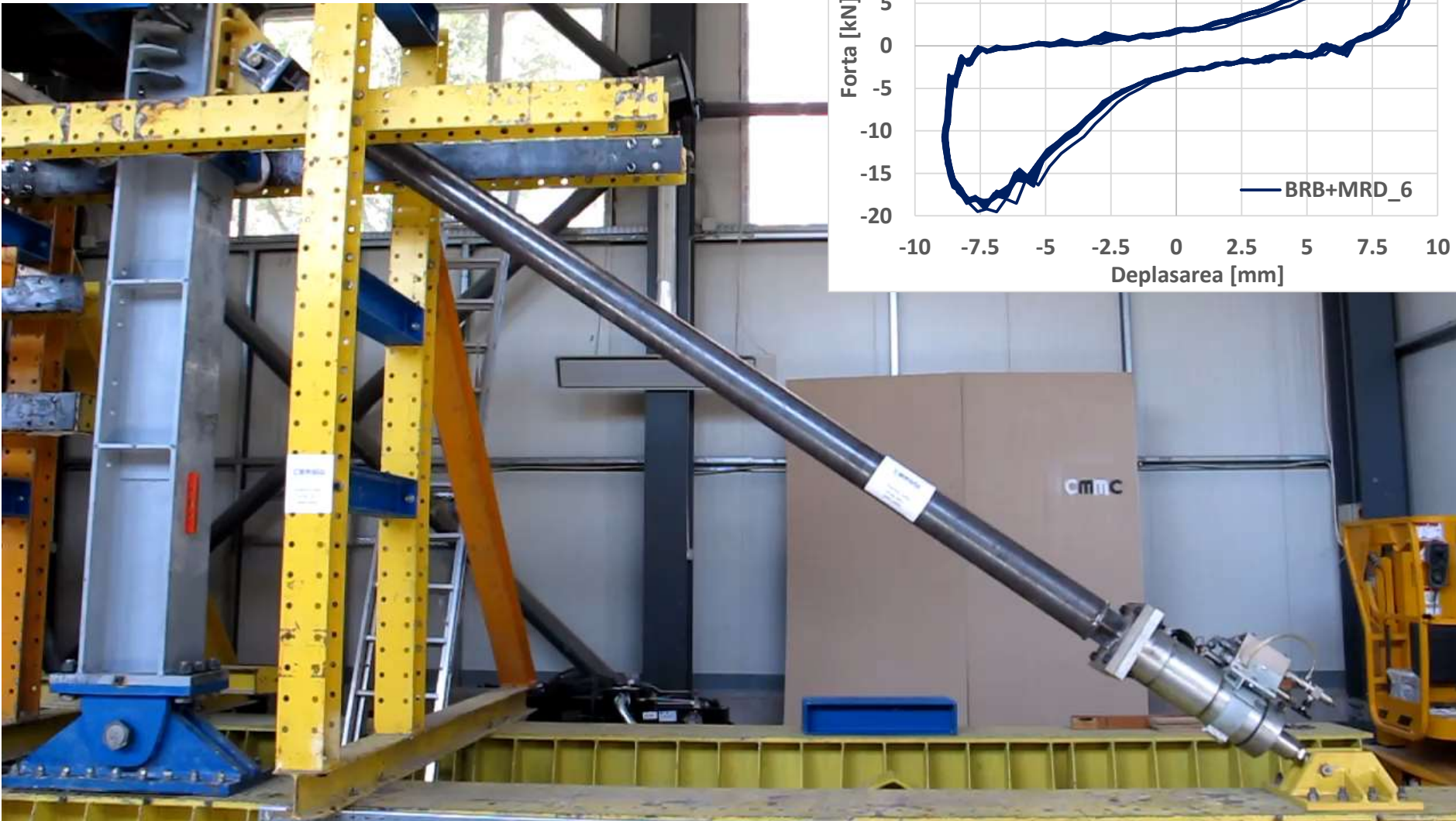
### Testing configurations (brace types):

- A – with conventional brace: only the damper is working
- B – with buckling restrained brace: the damper is working up to its capacity (10tf), after which it blocks and the BRB becomes active



# Soluții dezvoltate de UPT & CCTFA în cadrul unor proiecte de cercetare naționale și internaționale

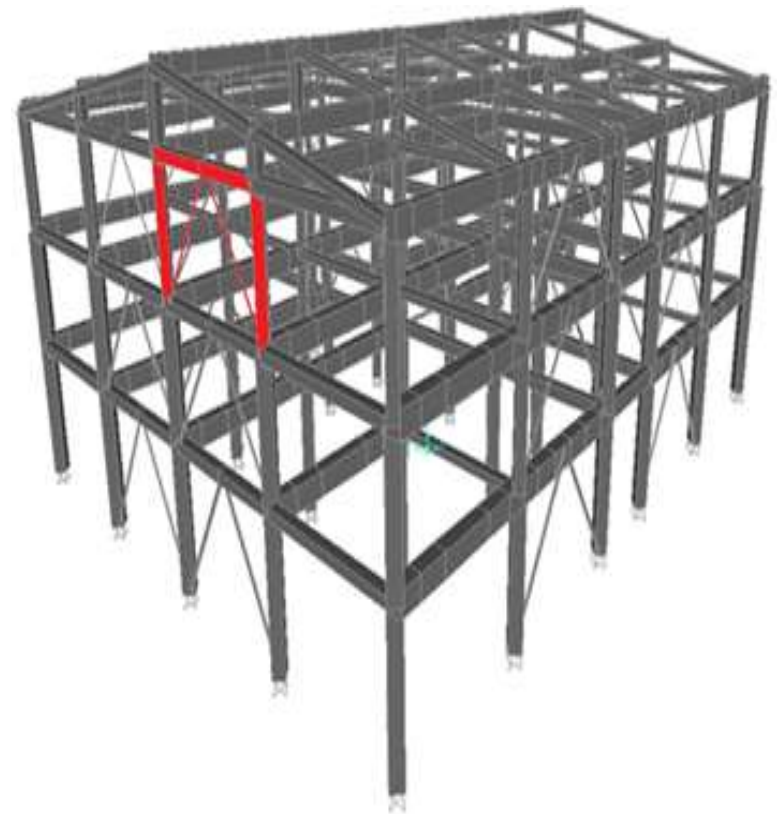
## Experimental investigations on the brace-damper assembly



# Studiu de caz: STEELRETRO

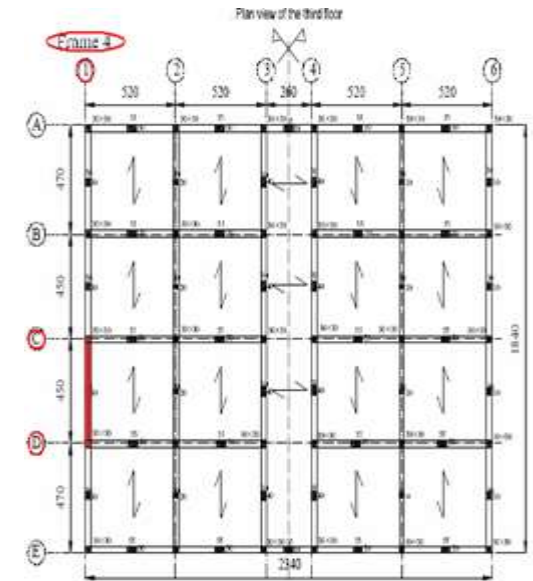
---

- Structura de referință reprezintă o clădire reală în cadre din beton armat.
- Clădirea din beton armat a fost proiectată în conformitate cu codurile de proiectare italiene valabile în 1939, dar caracterizează multe clădiri din beton armat construite nu numai în Italia, ci și în alte țări din sudul Europei.
- Structura a fost evaluată în starea sa inițială și în urma consolidării.

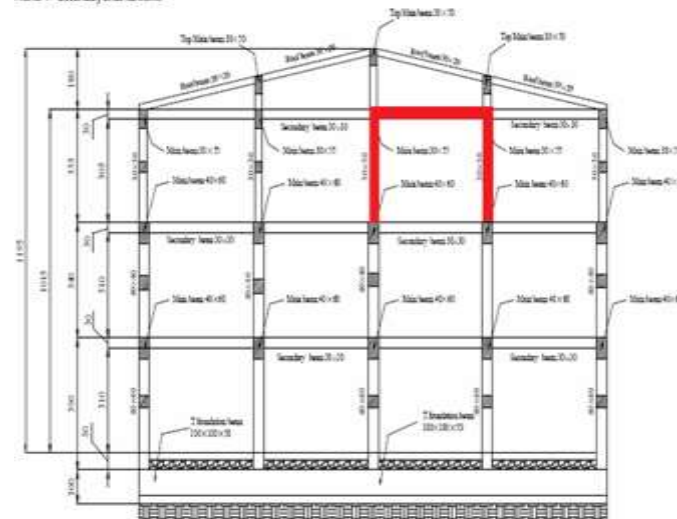


# Descrierea structurii de referință

- Clădirea cu 3 etaje are dimensiunile în plan de 23,4 pe 18,4 m și 11,95 m înălțime
- Caracteristicile armăturilor și betonului au fost considerate cele utilizate în acea perioadă:
  - rezistența caracteristică la compresiune a betonului  $f_{ck}=20 \text{ N/mm}^2$
  - armături cu o rezistență de curgere caracteristică  $f_{sk}=230 \text{ N/mm}^2$
- Armare neconformă

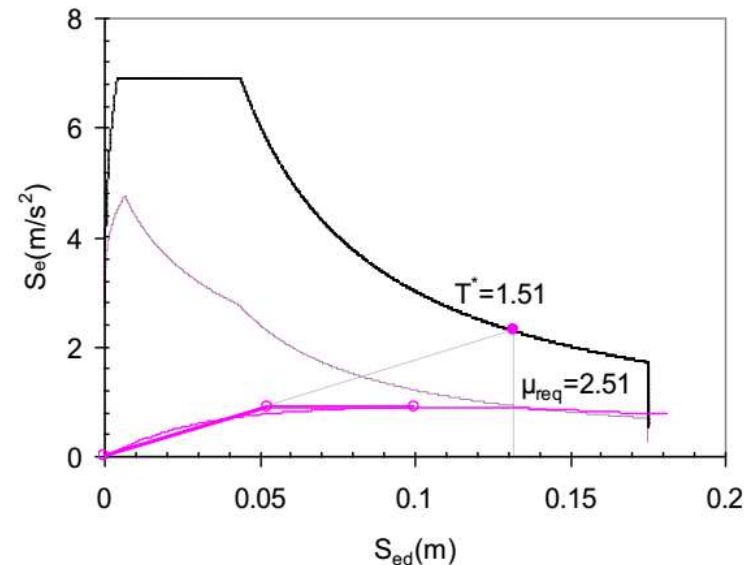
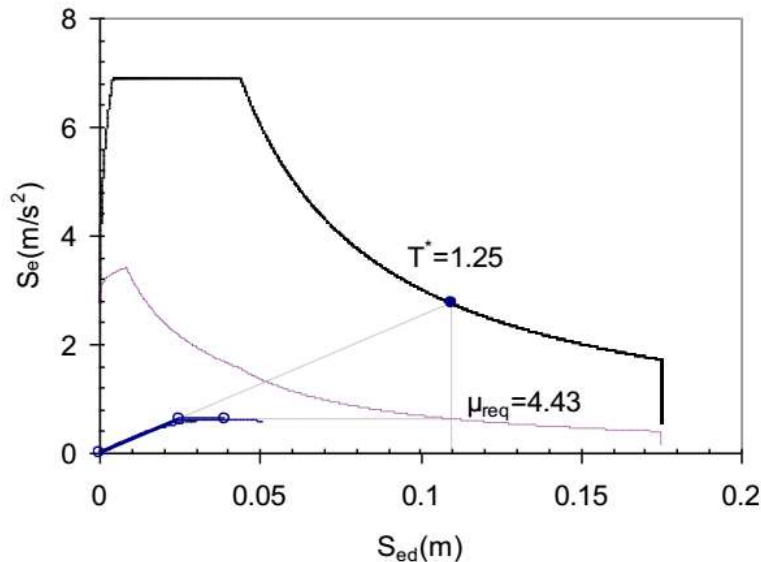
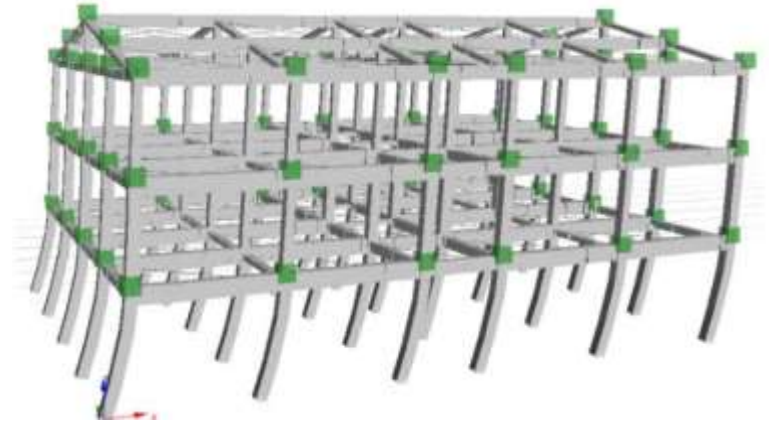


Frame 4 – Secondary external frame



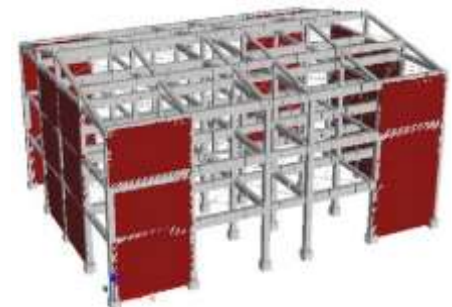
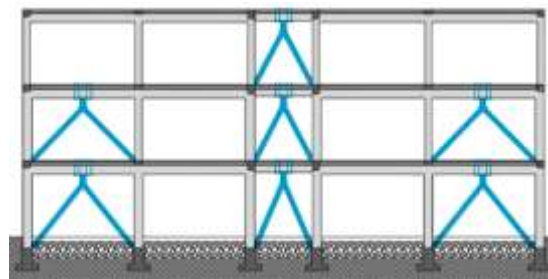
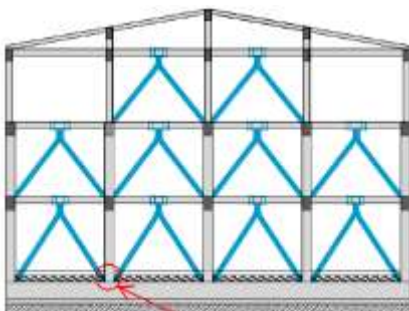
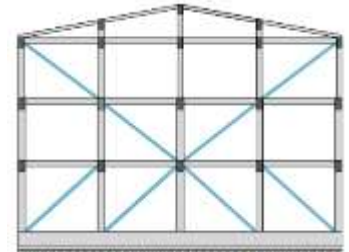
# Evaluarea performanței structurii neconsolidate

- Rezistență insuficientă
- Flexibilitate excesivă
- Nivel ridicat al forței axiale în stâlpi (cedare prin strivirea betonului)
- Pe direcția transversală grinzile sunt mai tari decât stâlpii



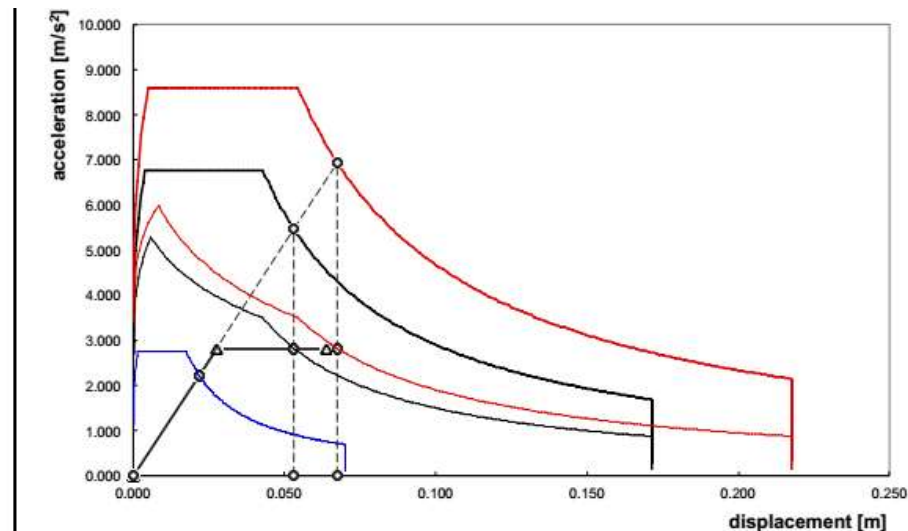
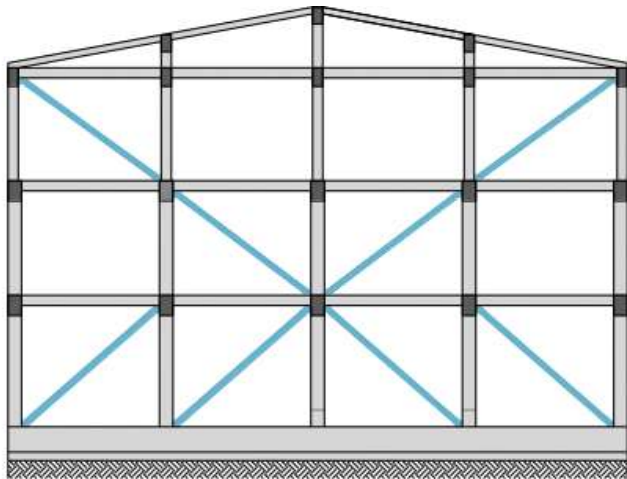
# Soluții de consolidare investigate

- Sistem de contravântuiri convenționale (CBF)
- Sistem de contravântuiri cu flambaj împiedicat (BRB)
- Panouri din table de oțel (SSW)
- Panouri din elemente de oțel formate la rece (LGSW)
- Sistem de contravântuiri excentrice (EBF)



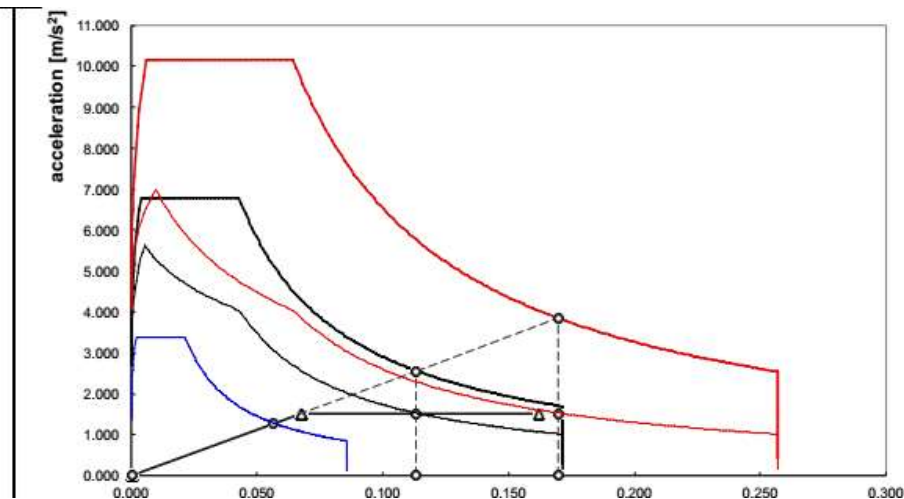
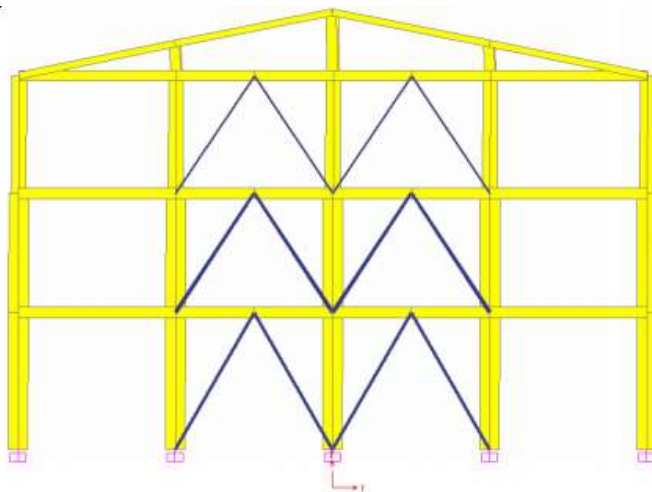
# Performanța structurilor consolidate

- Sistem de contravântuiri convenționale (CBF)
- Criterii de performanță la IO, LS și CP îndeplinite
- Multe elemente structurale – probleme de ordin arhitectonic



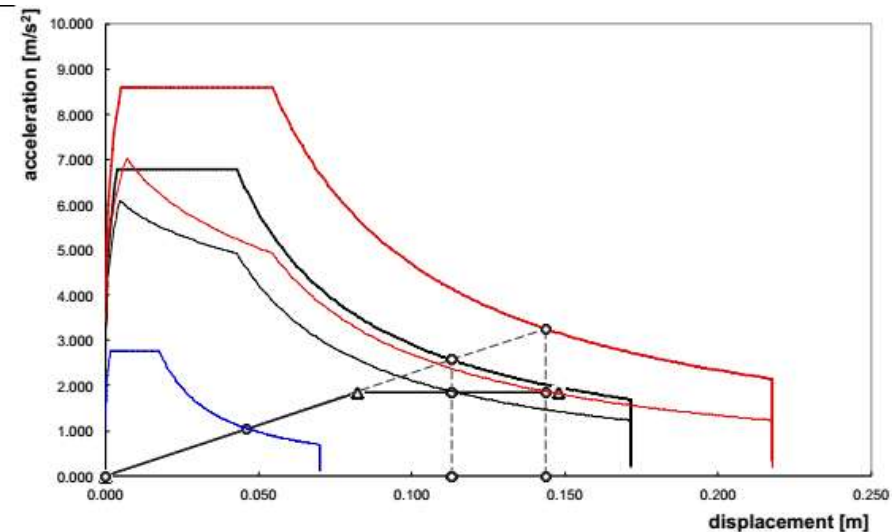
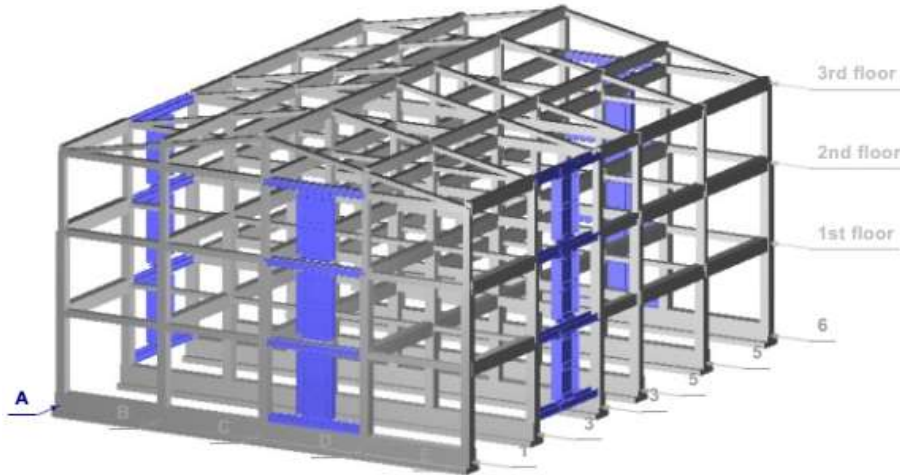
# Performanța structurilor consolidate

- Sistem de contravânturi cu flambaj împiedicat (BRB)
- Un număr mai mic de contravânturi în comparație cu sistemele EBF și CBF
- Criterii de performanță la IO, LS și CP îndeplinite



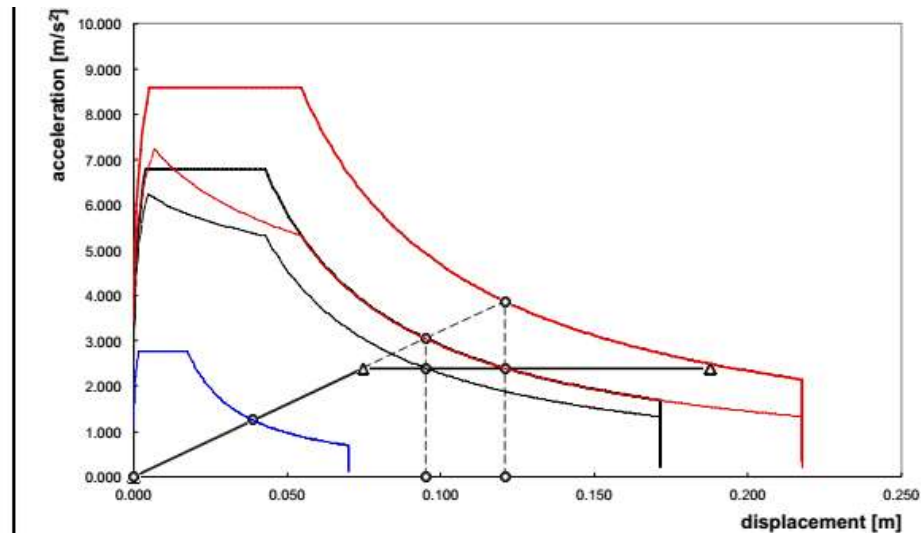
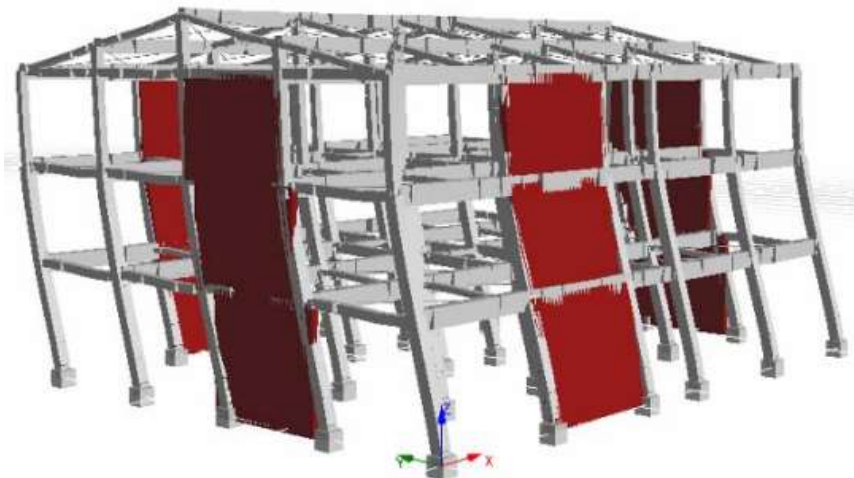
# Performanța structurilor consolidate

- Panouri din table de oțel (SSW)
- Număr redus de componente noi – o rigiditate relativ mică față de celelalte soluții
- Criterii de performanță la IO, LS și CP îndeplinite



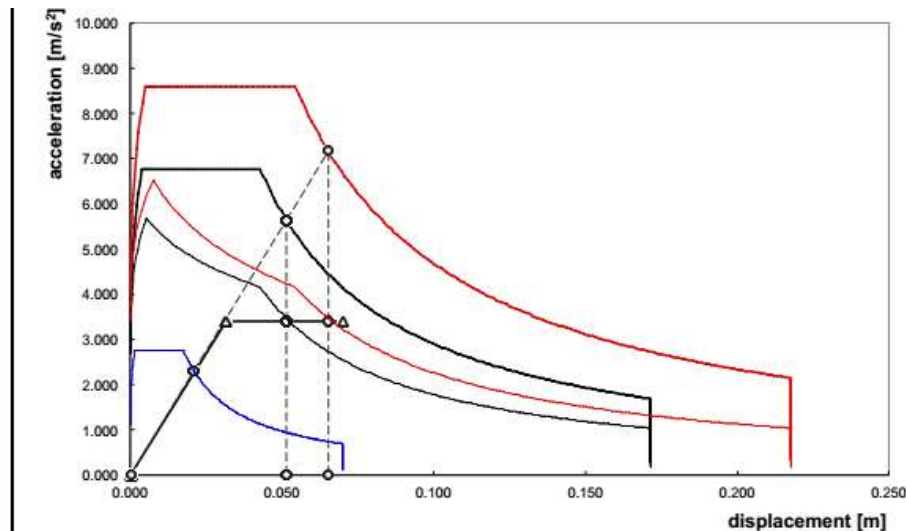
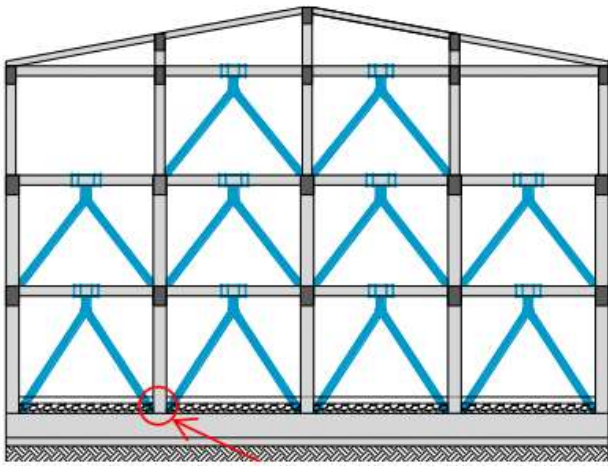
# Performanța structurilor consolidate

- Panouri din elemente de oțel formate la rece (LGSW)
- Rigiditate și rezistență superioare SSW
- Criterii de performanță la IO, LS și CP îndeplinite



# Performanța structurilor consolidate

- Sistem de contravântuiri excentrice (EBF)
- Număr mare de elemente metalice datorită unghiului nefavorabil al contravânturilor
- Criterii de performanță la IO, LS și CP îndeplinite



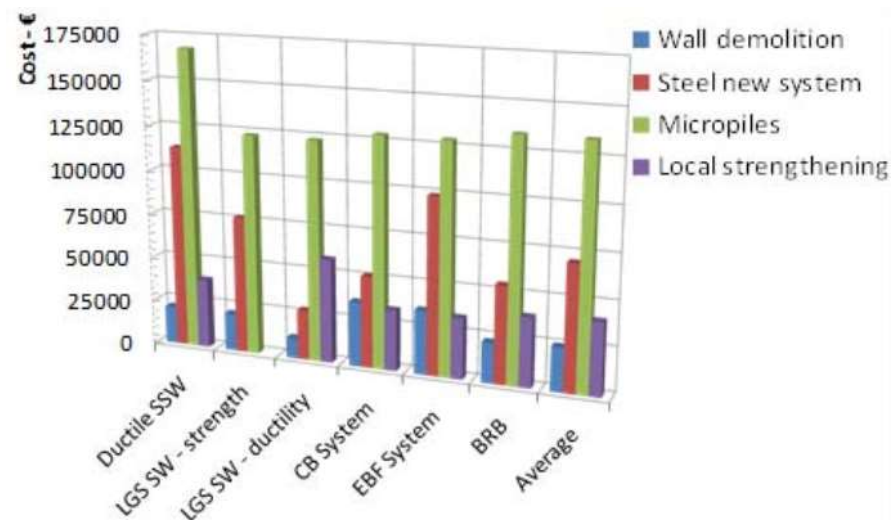
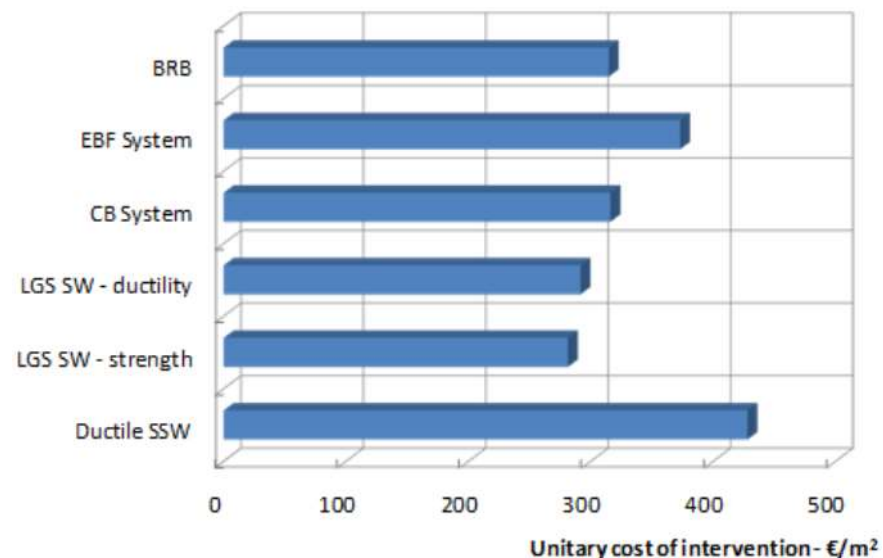
# Analiza de cost

## ■ Costuri defalcate:

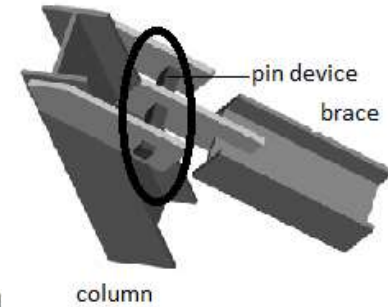
- Demolare pereți
- Sistemul de consolidare din oțel
- Consolidarea fundațiilor folosind micropile
- Consolidarea locală a elementelor din b.a.

## ■ Soluțiile mai eficiente economic:

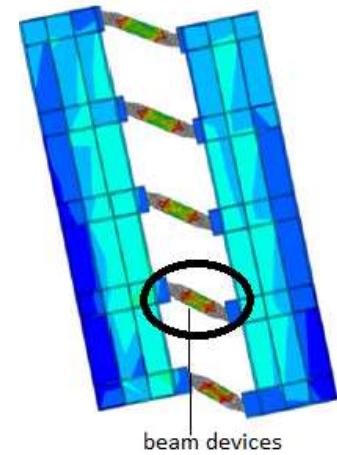
- Panouri din elemente de oțel formate la rece (LGSW)
- Sistem de contravânturi convenționale (CBF)
- Sistem de contravânturi cu flambaj împiedicat (BRB)



# Concluzii ( UP Timisoara)



bolted devices



# Concluzii

---

## ▪ Avantajele soluțiilor metalice:

- Îmbunătățirea substanțială a rezistenței, rigidității și ductilității structurii existente
- Ajustarea facilă a cerinței de rezistență și rigiditate
- Sistemul nou poate fi proiectat pentru a prelua întreaga forță seismică
- Greutate adăugată mică
- Posibilitatea dispunerii unor goluri
- Posibilitatea aplicării fără întreruperea activității (în cazul sistemelor aplicate pe exteriorul clădirii)
- Ușurința în aplicare ( soluțiile pot fi aplicate fara evacuarea clădirii)
- Reversibilitatea

## ▪ Evaluarea performanței seismice:

- Predimensionare folosind calcul elastic
- Evaluare finală folosind un calcul neliniar (static sau dinamic)