

LOGO OF THE  
PARTNER

VENUE



**Valorization of knowledge on FREE from DAMAge Steel Connections**  
**Grant Agreement Number: 899321**



**Connessioni Innovative per Strutture Antisismiche:  
una breve panoramica**

DISSEMINATION WORKSHOP of the  
FREEDAM PLUS Project

*Salerno, Italia*  
XX XXXXX 2022



# CONTENUTI

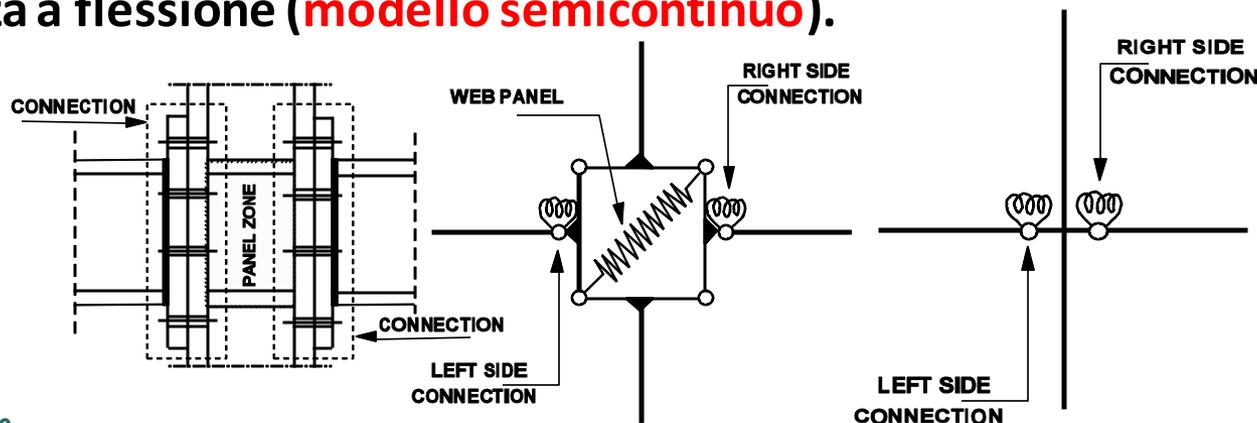
1. *Connessioni tradizionali Trave-Colonna*
  - 1.1 *Connessioni a Completo ripristino di resistenza*
  - 1.2 *Connessioni a Parziale ripristino di resistenza*
  
2. *Connessioni innovative Trave-Colonna*
  - 2.1 *Connessioni equipaggiate con dispositivi isteretici*
  - 2.2 *Connessioni equipaggiate con BRB*
  - 2.3 *Connessioni equipaggiate con Dispositivi ad Estrusione di Piombo*
  - 2.4 *Connessioni equipaggiate con Dispositivi ad Attrito*
  - 2.5 *Connessioni equipaggiate con Dispositivi di Ricentraggio*
  
3. *Considerazioni sul ricentraggio*

- a) Quando sono progettati per trasmettere solo l'azione di taglio, sono modellati come cerniere (**modello incernierato**)
- b) Quando sono progettati per trasmettere sia l'azione di taglio che il momento flettente, sono modellati come continui (**modello continuo**).

Nel caso a) appartengono al **sistema resistente ai carichi verticali**;

Nel caso b) appartengono al **sistema resistente al carico sismico**.

Attualmente, sviluppano sempre un comportamento intermedio tra il modello incernierato e il modello continuo che può essere caratterizzato da una curva momento-rotazione dove i parametri principali sono la rigidità rotazionale e la resistenza a flessione (**modello semicontinuo**).



Secondo la EN 1998, la **capacità di rotazione plastica** dei giunti trave-colonna per telai in acciaio antisismici non deve essere inferiore a **0.035 rad per classe di duttilità alta** e **0.025 rad per classe di duttilità media**.

### a) Connessioni a piena resistenza

**Le connessioni a piena resistenza** sono progettate per assicurare una resistenza flessionale maggiore del momento plastico della trave collegata. In particolare, al fine di sviluppare la capacità di rotazione plastica della trave collegata, devono essere progettate per possedere un'adeguata sovrarresistenza flessionale.

Secondo la EN 1998:  $M_{j.Rd} \geq 1.10 \gamma_{ov} M_{b.Rd}$

Solitamente si presume che le connessioni a piena resistenza siano in grado di assicurare la capacità di rotazione plastica richiesta

**b) Connessioni a resistenza parziale**  $M_{j.Rd} < M_{b.Rd}$

**Le connessioni a resistenza parziale** mostrano una resistenza a flessione inferiore al momento plastico della trave collegata. Devono essere progettate governando opportunamente la resistenza dei componenti del giunto e progettando il **componente del giunto più debole** per sviluppare un'adeguata capacità di deformazione plastica. La capacità di rotazione plastica del nodo è influenzata principalmente dalla capacità di deformazione plastica della componente più debole dell'articolazione e del braccio di leva.

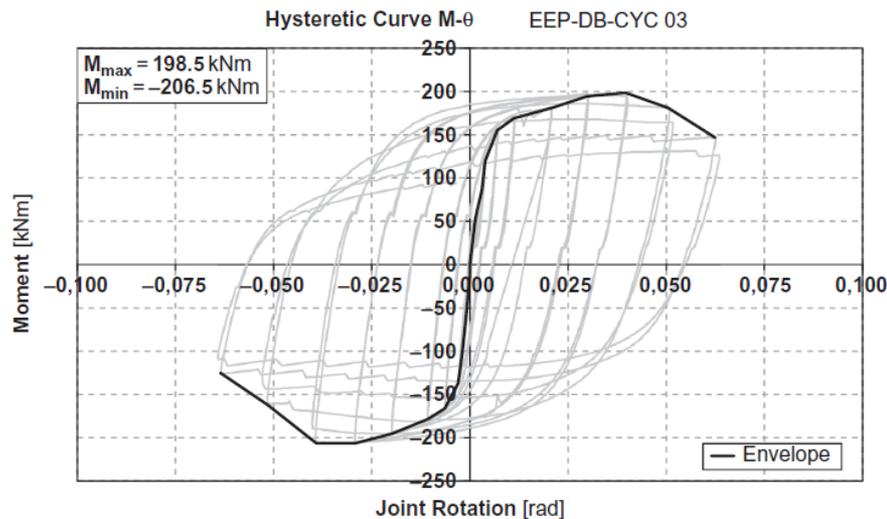
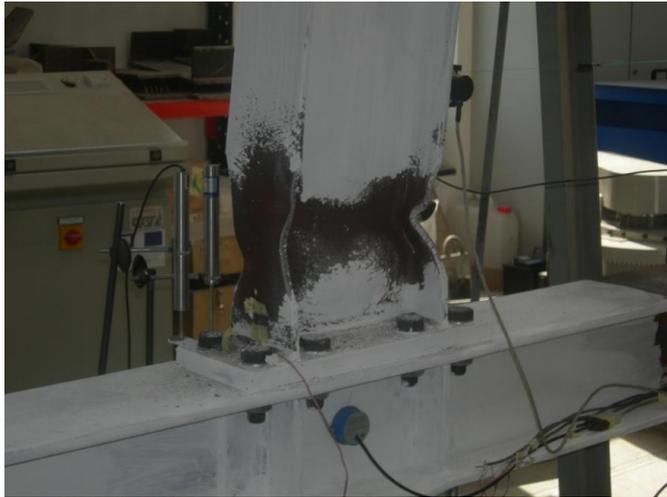
Per assicurare la capacità di rotazione plastica richiesta, il progettista deve essere in grado di governare la posizione del giunto più debole e assicurare un comportamento duttile di tale componente.

Solitamente sono necessarie prove sperimentali per verificare se il particolare strutturale della connessione è in grado di assicurare una capacità di rotazione plastica compatibile con la classe di duttilità.

# COLLEGAMENTI TRADIZIONALI TRAVE-COLONNA

LOGO OF THE  
PARTNER

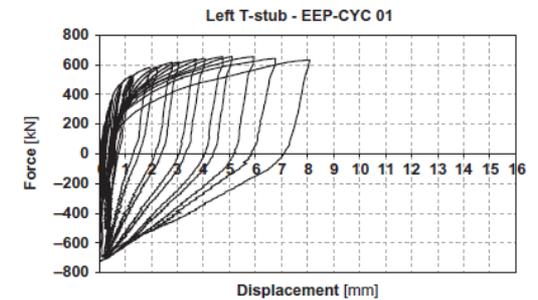
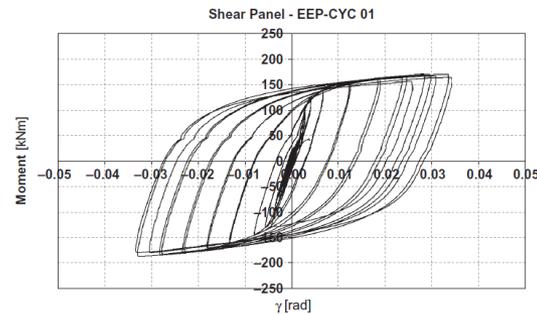
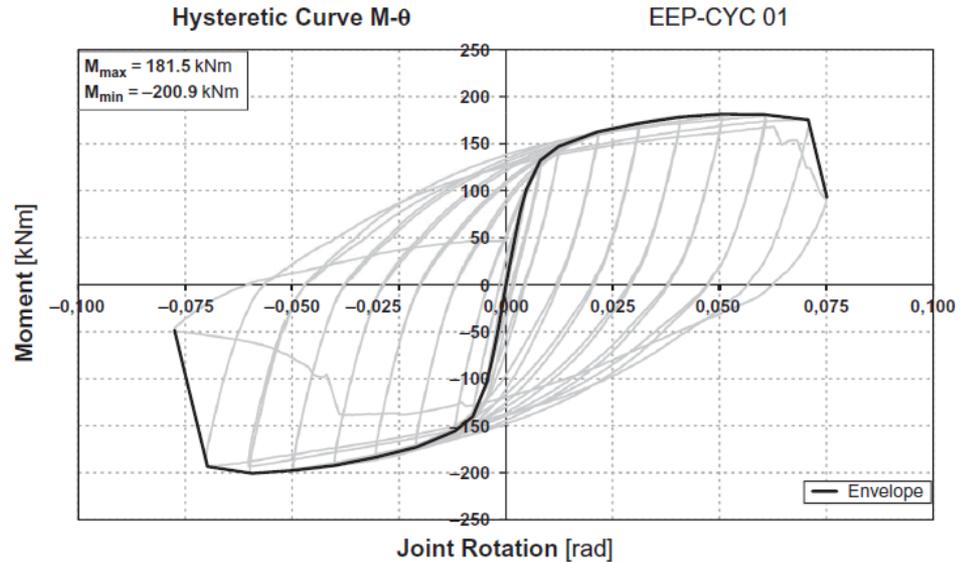
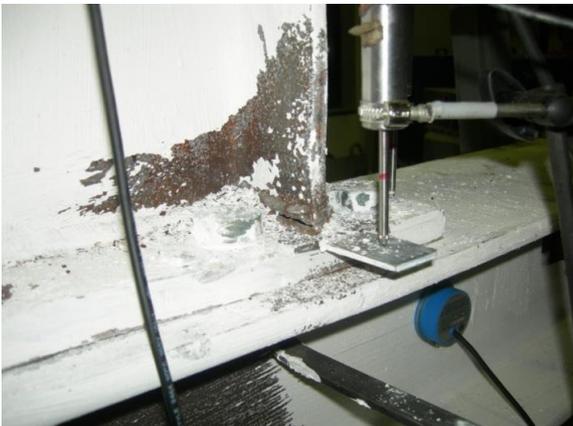
## Connessione flangiata con RBS



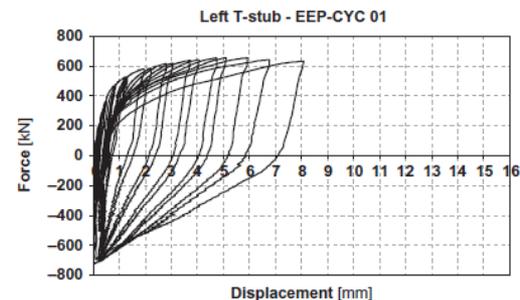
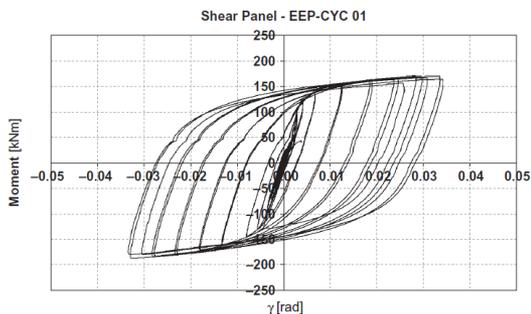
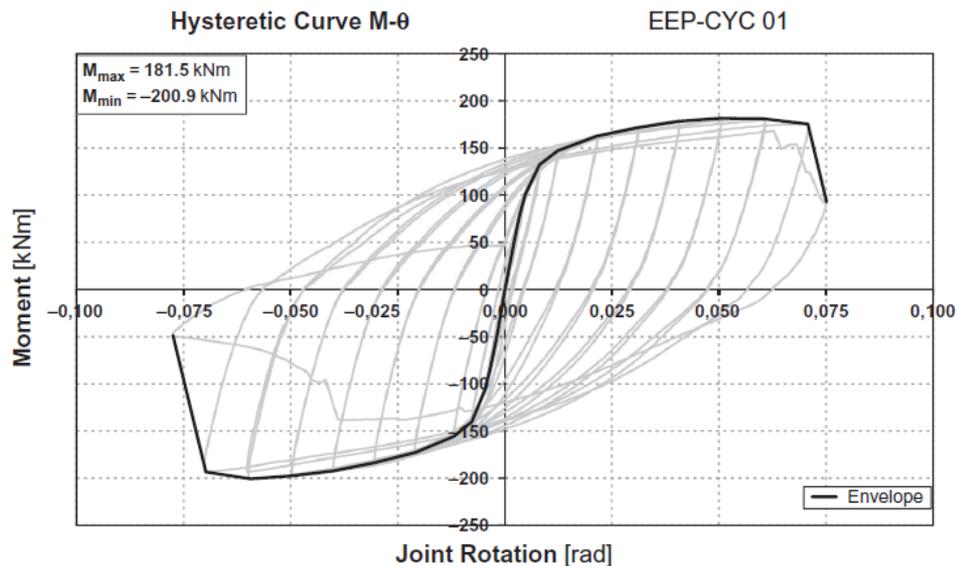
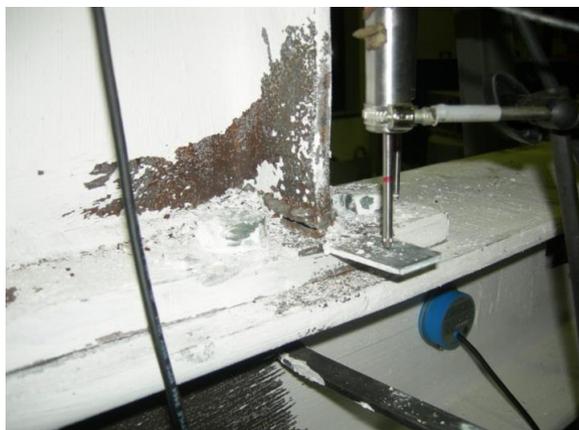
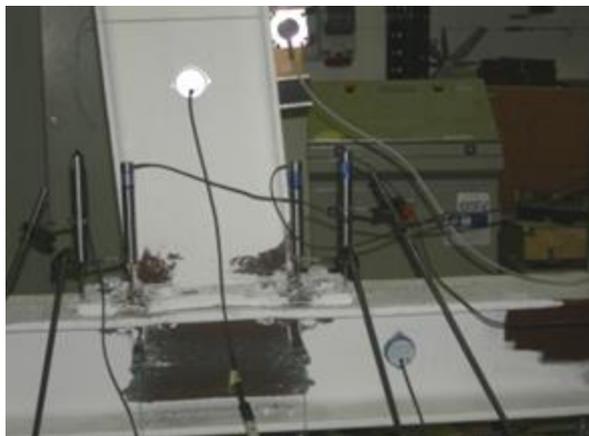
*freedom*

## Collegamenti flangiati con trave a sezione integra

## ECP-CYC01



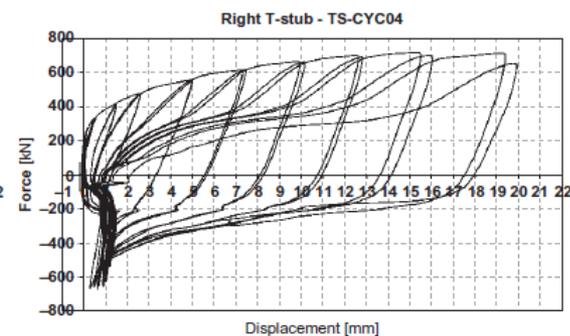
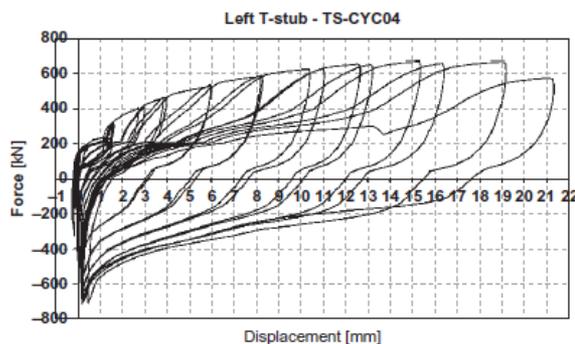
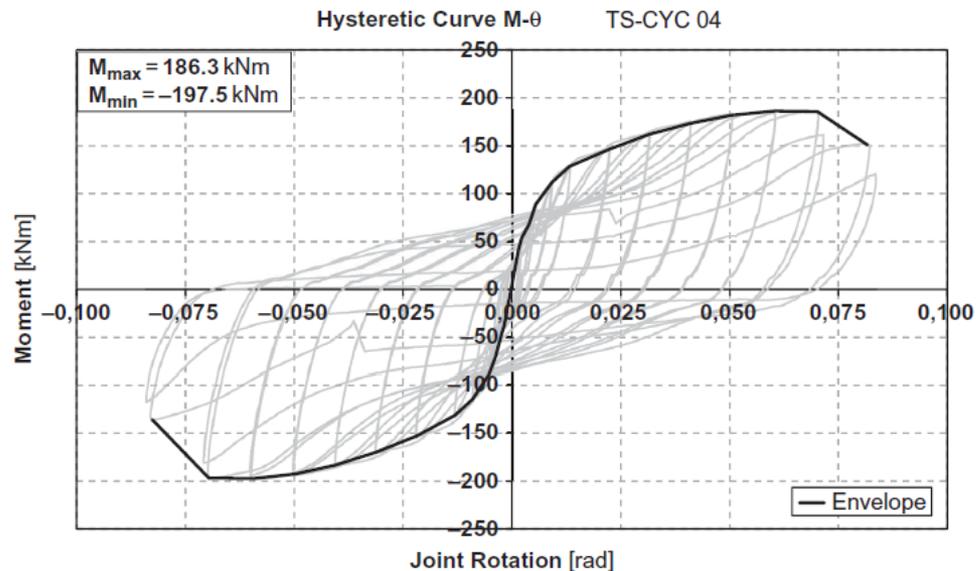
Componente debole: anima della colonna a taglio



**Componente più debole del giunto: anima della colonna a taglio**

# COLLEGAMENTI TRADIZIZIONALI TRAVE-COLONNA

LOGO OF THE  
PARTNER



Componente più debole del giunto : flangia del T-stub in flessione

### CONNESSIONI A PIENA RESISTENZA:

#### VANTAGGI:

- a) Le **zone dissipative** sono costituite dalle **estremità della trave** che sono in grado di fornire un'adeguata rotazione plastica supplementare a condizione che i rapporti ampiezza-spessore  $b/t$  siano adeguatamente limitati.
- b) I cicli di isteresi sono ampi e stabili.

#### SVANTAGGI:

- a) Le **zone dissipative**, costituite dalle estremità della trave, **sono soggette a cedimento** al verificarsi di eventi sismici distruttivi (stato limite di Salvaguardia della Vita e stato limite Vicino al Collasso); pertanto il sistema strutturale primario antisismico risulta danneggiato e necessita di essere riparato;
- b) La **riparazione** delle estremità delle travi cedute non è agevole e, comunque, ha un costo rilevante;
- c) Dopo un evento sismico distruttivo il sistema strutturale è **fuori piombo** e, pertanto, necessita di essere ricentrato;
- d) **Perdite economiche** significative si verificano a causa di danni diretti e indiretti.

### CONNESSIONI A PARZIALE RESISTENZA:

#### VANTAGGI:

- a) Se si esclude lo snervamento della zona del pannello, le **zone dissipative** sono costituite dagli **elementi a piastra** costituenti il sistema di collegamento e quindi in alcune tipologie di connessione possono essere facilmente sostituite (collegamenti con T-stubs bullonati, con angolari superiori e inferiori, angolari d'anima, e simili);
- b) Le **travi**, ovvero le membrature del sistema strutturale antisismico primario **restano in campo elastico**;

#### SVANTAGGI:

- a) Il **progetto della connessione è più complicato** perché il progettista deve saper governare non solo la resistenza flessionale e la rigidezza rotazionale ma soprattutto la capacità di deformazione plastica della **componente più debole del giunto**;
- b) I cicli di isteresi sono caratterizzati da picchi;
- c) Gli elementi di connessione necessitano di essere riparati o sostituiti;
- d) Dopo un evento sismico distruttivo il Sistema strutturale è **fuori piombo** e, pertanto, necessita di essere ricentrato;
- e) **Perdite economiche** significative si verificano a causa di danni diretti e indiretti.

## COLLEGAMENTI INNOVATIVI (SMART) TRAVE-COLONNA

### OBIETTIVI

Connessioni innovative trave-colonna sono concepite per raggiungere uno o più tra i seguenti obiettivi:

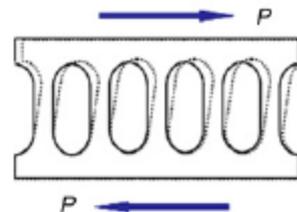
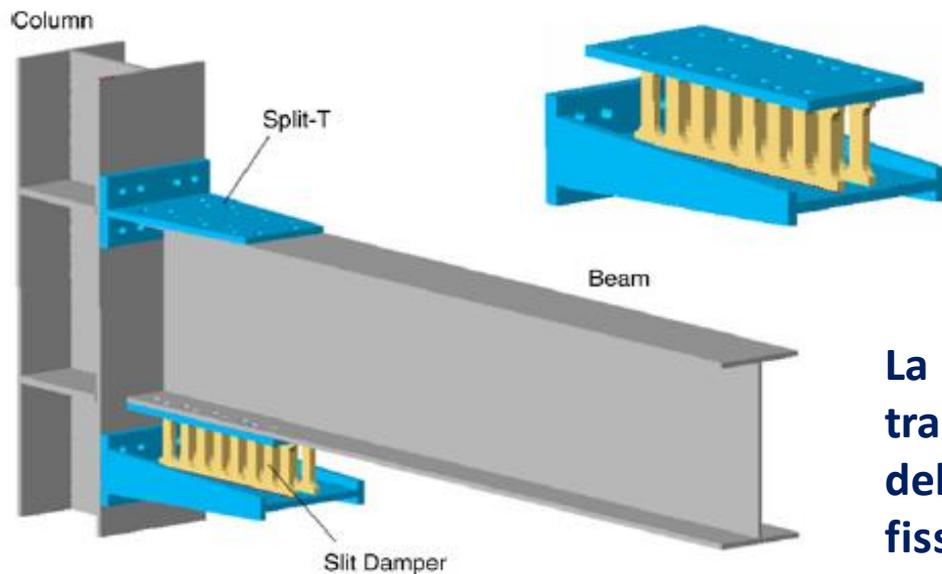
- a) Assicurare che **le membrature del sistema strutturale antisismico rimangano in campo elastico** (come nel caso di connessioni a resistenza parziale);
- b) Dissipare l'energia sismica in ingresso in **componenti dei giunti progettati specificamente** che possono essere facilmente sostituiti dopo un evento sismico distruttivo;
- c) Ridurre le deformazioni plastiche residue (fuori piombo) dopo eventi sismici distruttivi, dal **ricentraggio** del sistema strutturale.

### POSSIBILI STRATEGIE

- a) Concezione delle connessioni trave-colonna **equipaggiate con dispositivi**
  - dispositivi isteretici;
  - dispositivi ad estrusione di piombo;
  - dispositivi isteretici costituiti da BRB;
  - dispositivi ad attrito;
  - dispositivi isteretici fatti di leghe a memoria di forma.
- b) Connessioni trave-colonna equipaggiate con **sistemi ricentrati**
- c) **Combinazione di dispositivi sismici e sistemi ricentrati.**

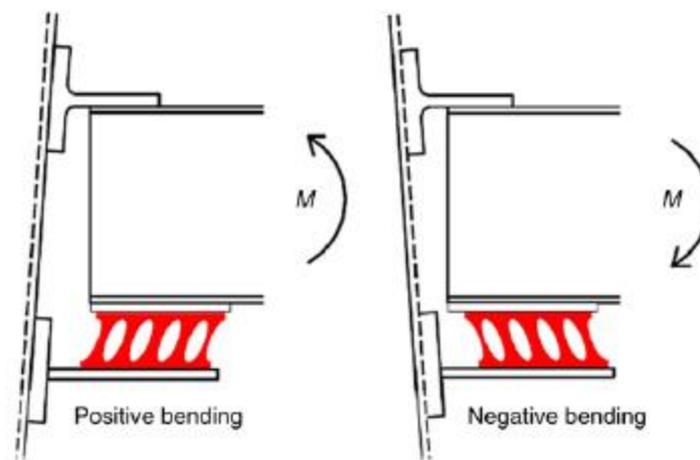
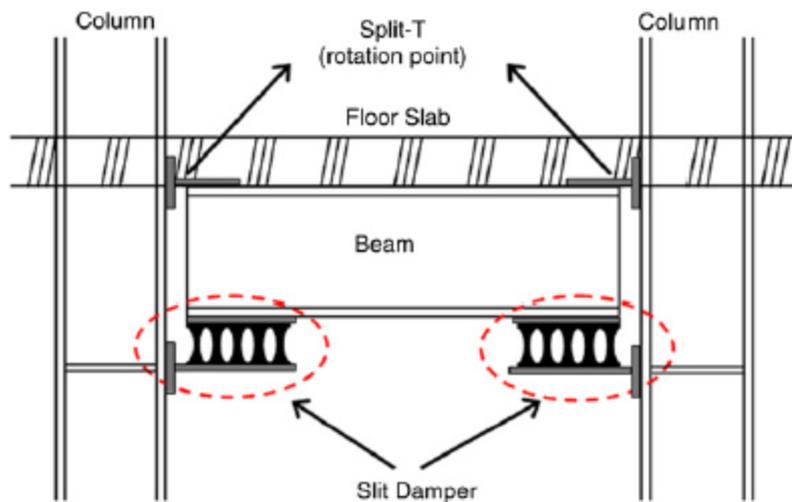
# CONNESSIONI TRAVE-COLONNA EQUIPAGGIATE CON DISPOSITIVI ISTERETICI: "SLIT DAMPER" TYPE

## LOGO OF THE PARTNER

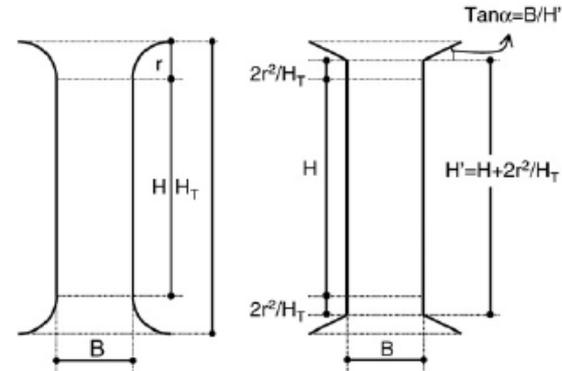
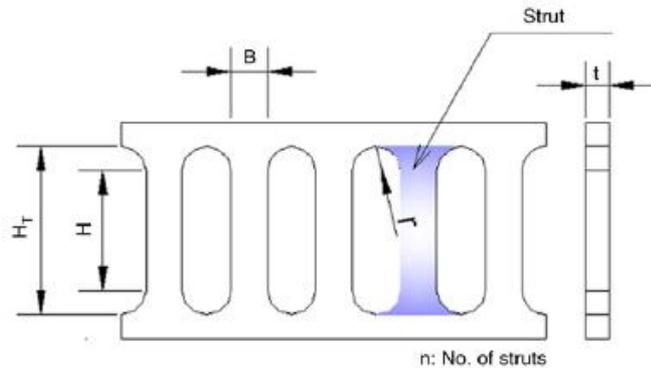


Piatto con lunghi fori asolati

La connessione con **T-stub** bullonato (split-T) tra la flangia superiore della trave e la flangia della colonna è usato per **trasmettere il taglio** e fissare il **centro di rotazione**.



## CONNESSIONI TRAVE-COLONNA EQUIPAGGIATE CON DISPOSITIVI ISTERETICI: "SLIT DAMPER" TYPE



### Resistenza allo snervamento del dispositivo:

$$P_y = \min \left\{ n \frac{f_y t B^2}{2H'} ; n \frac{2f_y t B}{3\sqrt{3}} \right\}$$

### Spostamento allo snervamento del dispositivo:

$$\delta_y = \frac{1.5P_y H_T}{n E t B} \left[ \left( \frac{H'}{B} \right)^2 + 2.6 \right]$$

### Resistenza ultima del dispositivo:

$$P_u = \min \left\{ n \frac{f_u t B^2}{2H'} ; n \frac{2f_u t B}{3\sqrt{3}} \right\}$$

**Attuale geometria**      **Modello semplificato**

**n** = numero di montanti

**B** = larghezza dei montanti

**t** = spessore del montante

**H<sub>T</sub>** = altezza massima dell'asola

**f<sub>y</sub>** = tensione di snervamento

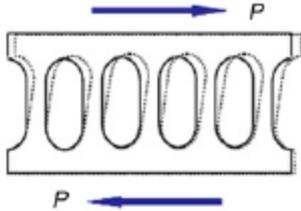
**f<sub>u</sub>** = tensione ultima

**E** = modulo elastico

$$H' = H + 2 \frac{r^2}{H_T}$$

**r** = raggio dell'asola

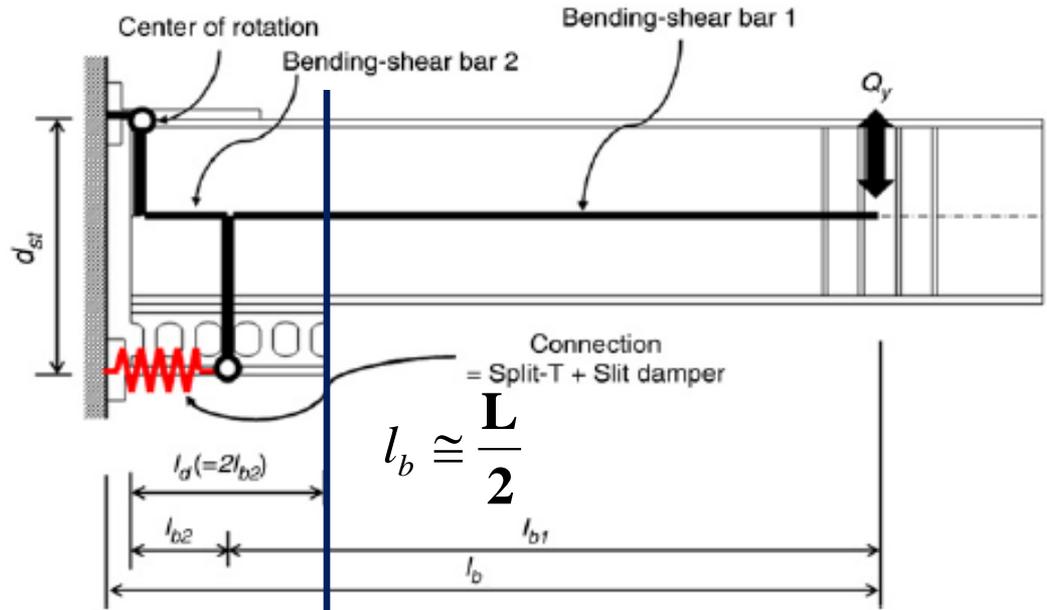
# PRINCIPIO DEL CAPACITY DESIGN



$$P_u = \min \left\{ n \frac{f_u t B^2}{2H'} ; n \frac{2f_u t B}{3\sqrt{3}} \right\}$$

$$M_{j,u} = P_u d_{st}$$

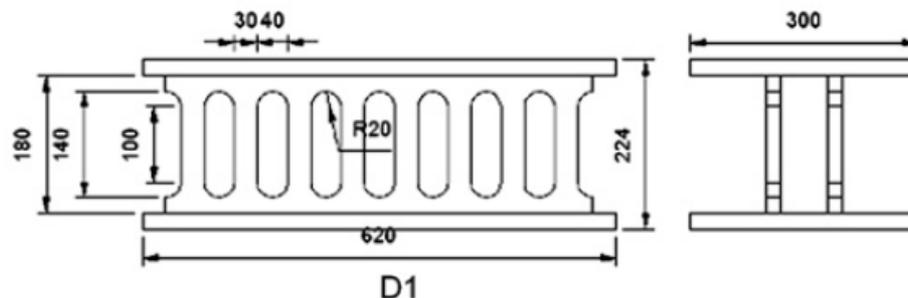
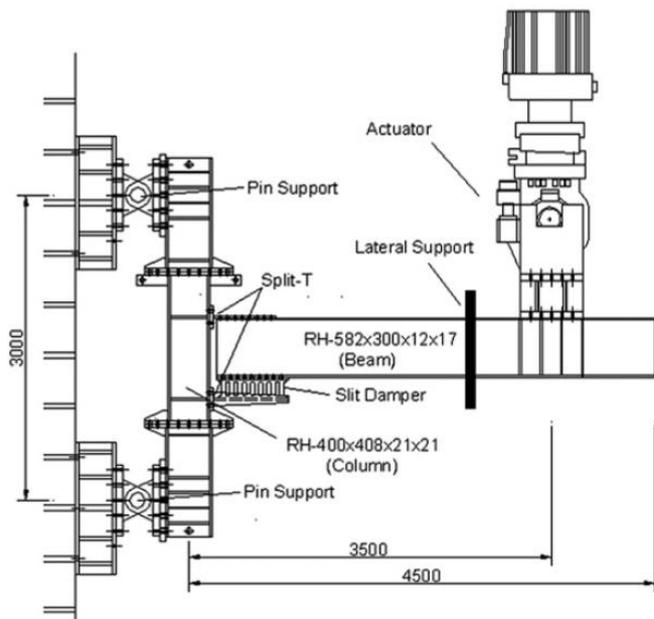
$$M_{j,u} = P_u d_{st}$$



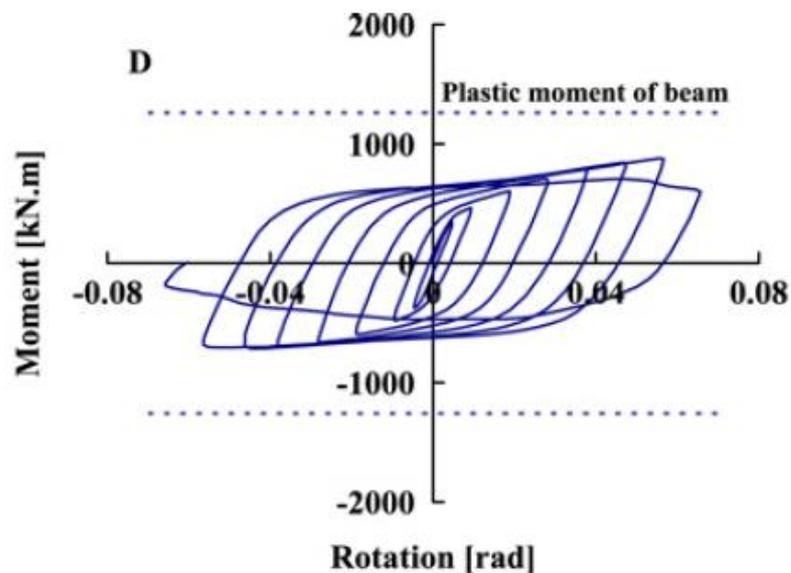
$$M_{b,Cd} = \frac{M_{j,u}}{(l_{b1} + l_{b2})} (l_{b1} - l_{b2})$$

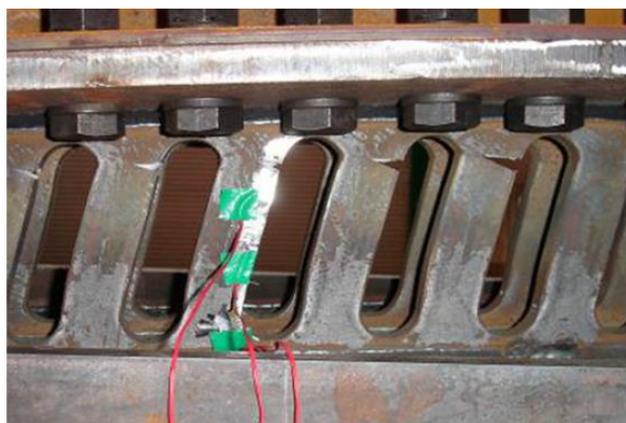
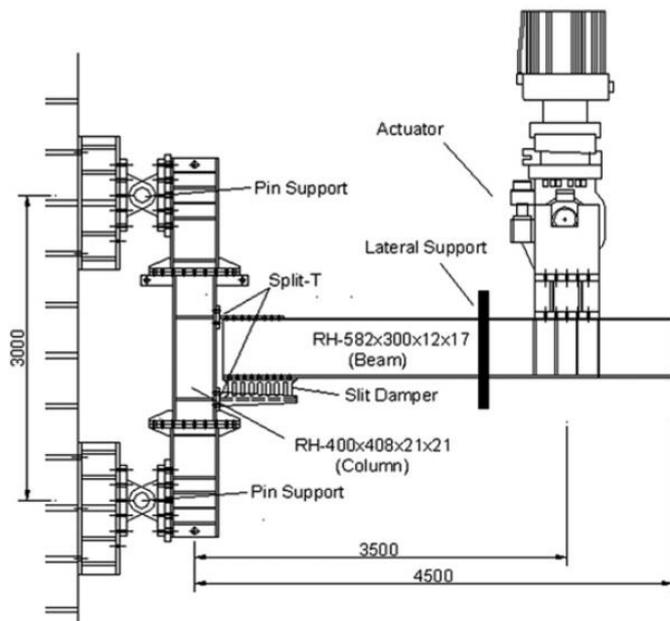
$$M_{b,Cd} = \frac{M_{j,u}}{(l_{b1} + l_{b2})} (l_{b1} - l_{b2}) \leq M_{b,Rd}$$

## Geometria del dispositivo D1

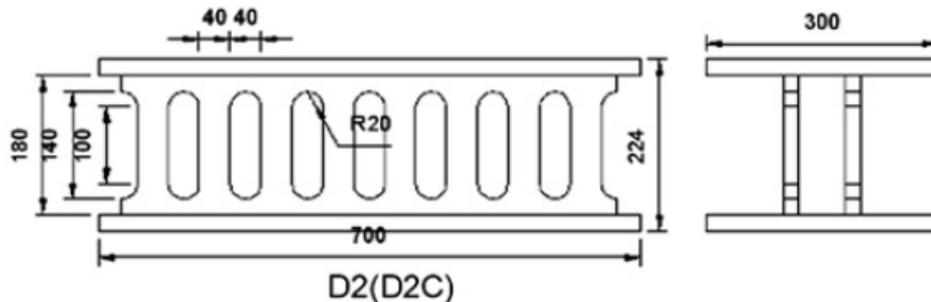


$n = 16$        $B = 30 \text{ mm}$

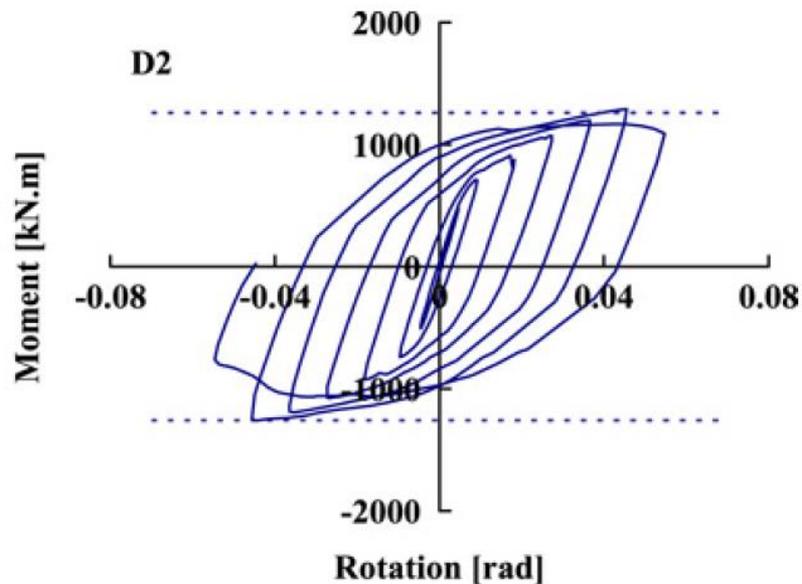




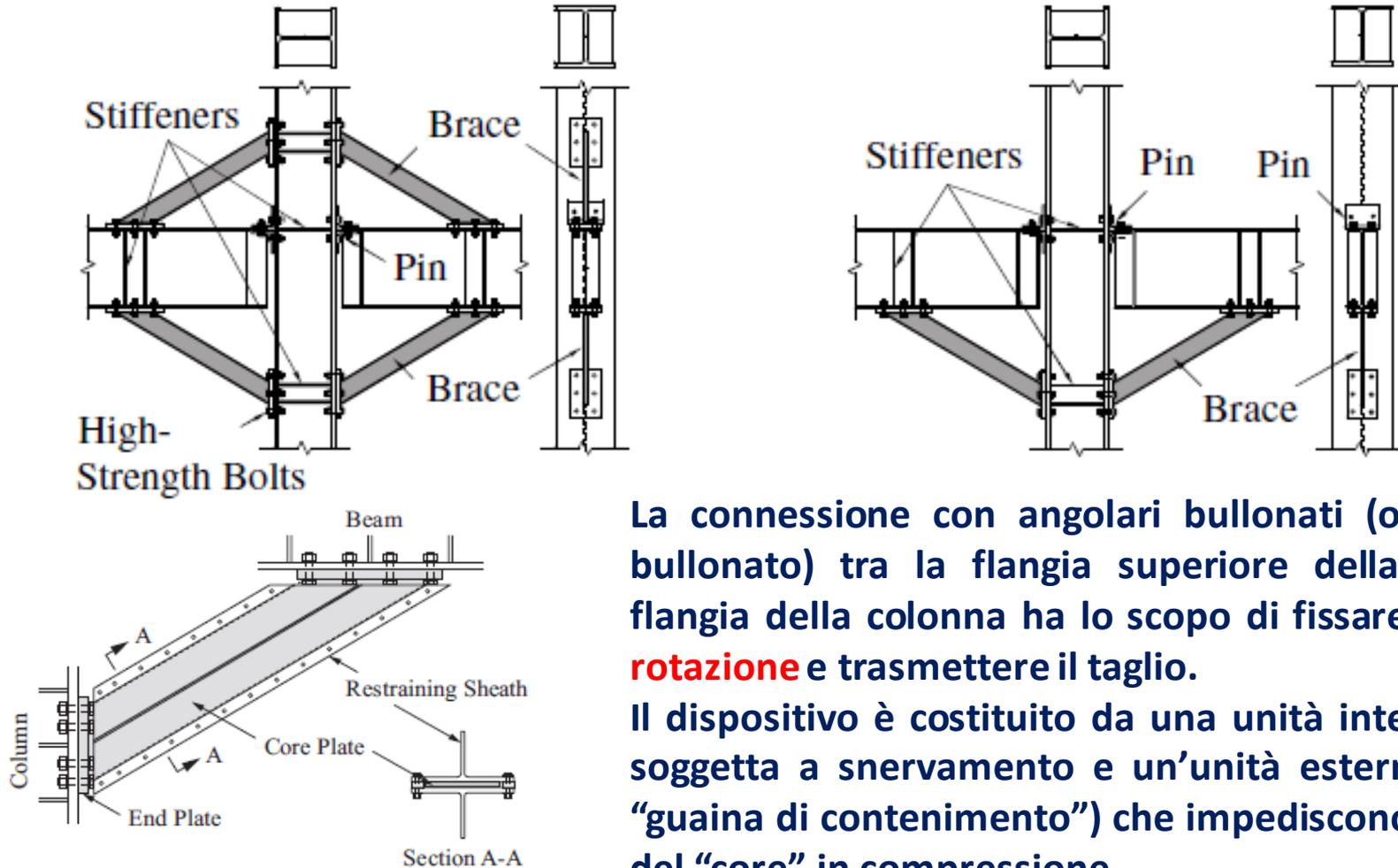
## Geometria del dispositivo D2



$n = 16$        $B = 40 \text{ mm}$



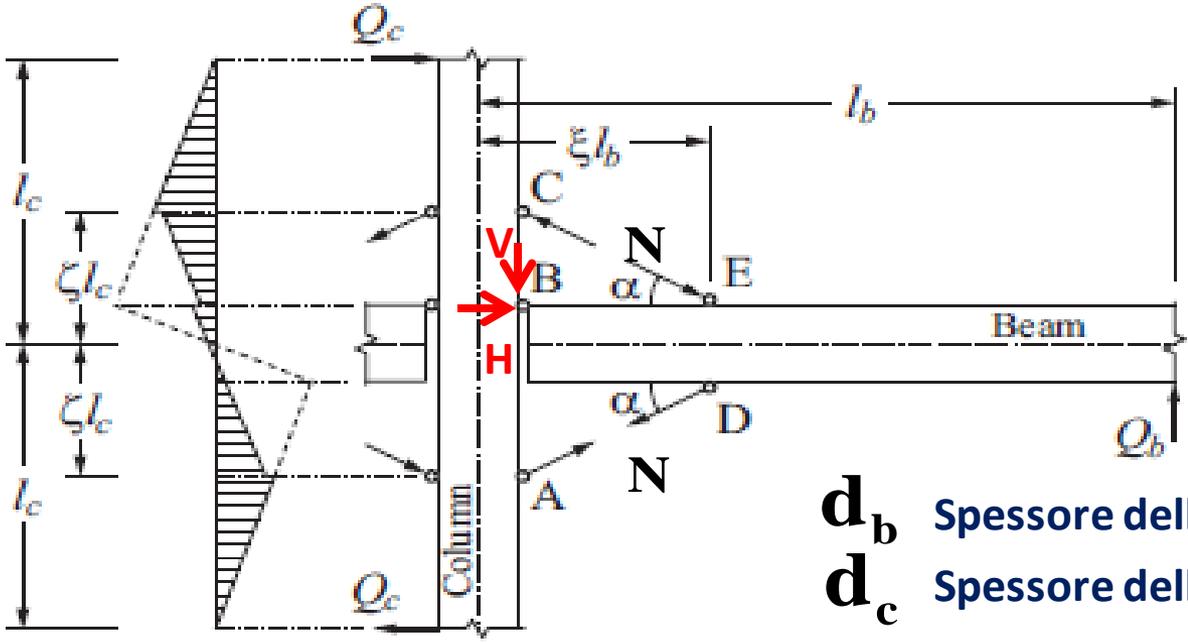
UNIVERSITÀ DI KYOTO



La connessione con angolari bullonati (o con T-stub bullonato) tra la flangia superiore della trave e la flangia della colonna ha lo scopo di fissare il **centro di rotazione** e trasmettere il taglio.

Il dispositivo è costituito da una unità interna (“**core**”) soggetta a snervamento e un’unità esterna (“**case**” o “guaina di contenimento”) che impediscono l’instabilità del “core” in compressione.

# BRBs SUPERIORI E INFERIORI



**N** Sforzo normale nel BRB

$$N = N_y$$



$$Q_b = Q_{bp}$$

Condizione di snervamento

**d<sub>b</sub>** Spessore della trave

**d<sub>c</sub>** Spessore della colonna

**Equilibrio alla traslazione verticale della trave :**  $V = Q_{bp} - 2N_y \sin \alpha$

**Equilibrio alla traslazione orizzontale della trave :**  $H = 0$

**Equilibrio alla rotazione intorno al punto B:**

$$Q_{bp} \left( l_b - \frac{d_c}{2} \right) = N_y d_b \cos \alpha + 2N_y \sin \alpha \left( \xi l_b - \frac{d_c}{2} \right)$$

$$Q_{bp} = \frac{2N_y \cos \alpha}{2l_b - d_c} [d_b + \operatorname{tg} \alpha (2\xi l_b - d_c)]$$



# PRINCIPIO DEL CAPACITY DESIGN

LOGO OF THE  
PARTNER

$$Q_{bp} = \frac{2N_y \cos\alpha}{2l_b - d_c} [d_b + \operatorname{tg}\alpha (2\xi l_b - d_c)] \quad \operatorname{tg}\alpha = \frac{\zeta l_c - \frac{d_b}{2}}{\xi l_b - \frac{d_c}{2}}$$

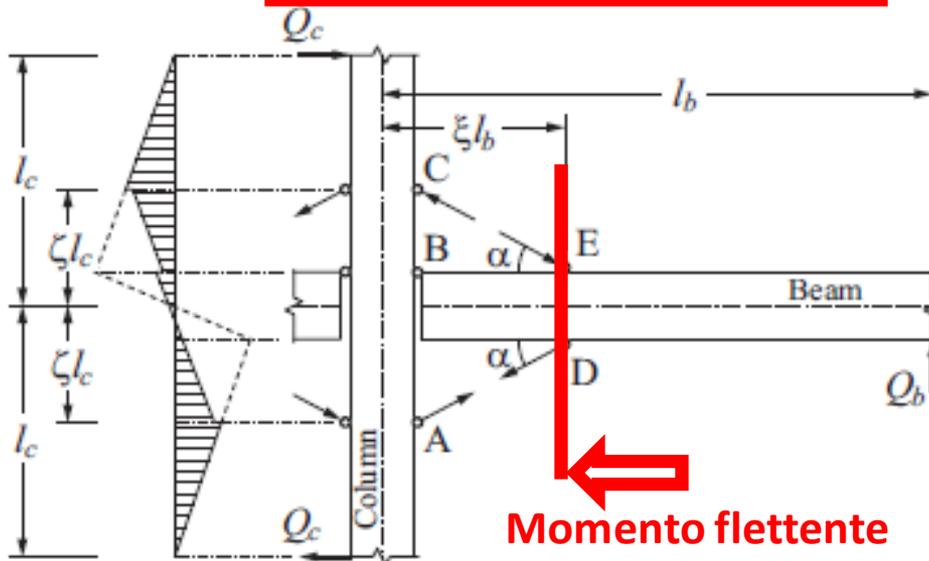
$$Q_{bp} = \frac{4\zeta l_c}{2l_b - d_c} N_y \cos\alpha$$

Questo è lo sforzo di taglio che si verifica nella trave quando gli BRBs si sono snervati

Applicando il secondo principio del capacity design

$$M_{b.Cd} = Q_{bp} (1 - \xi) l_b$$

$$M_{b.Cd} = \frac{4\zeta l_c}{2l_b - d_c} N_y \cos\alpha (1 - \xi) l_b$$



Momento flettente  
massimo della sezione

$$M_{b.Cd} \leq M_{b.Rd} = \frac{Z_b f_y}{\gamma_{M0}} \quad \frac{4\zeta l_c}{2l_b - d_c} N_y \cos\alpha (1 - \xi) l_b \leq M_{b.Rd}$$

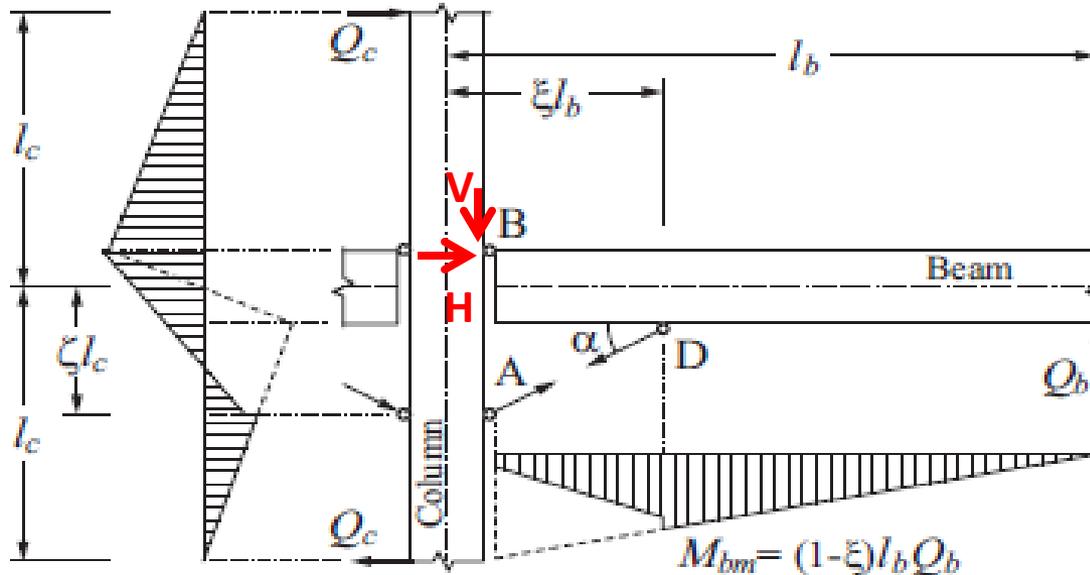


$$N_y \leq \frac{M_{b.Rd} \left(1 - \frac{d_c}{2l_b}\right)}{2\zeta l_c (1 - \xi) \cos\alpha}$$

$$A_{core} \leq \frac{1}{f_y} \frac{M_{b.Rd} \left(1 - \frac{d_c}{2l_b}\right)}{2\zeta l_c (1 - \xi) \cos\alpha}$$

# BRBs INFERIORE

LOGO OF THE  
PARTNER



**N** Sforzo normale nel BRB

$$N = N_y$$



$$Q_b = Q_{bp}$$

**Condizione di  
snervamento**

**Equilibrio alla traslazione verticale della trave :**

$$V = Q_{bp} - N_y \sin \alpha$$

**Equilibrio alla traslazione orizzontale della trave :**

$$H = N_y \cos \alpha$$

**Equilibrio alla rotazione intorno al punto B:**

$$Q_{bp} \left( l_b - \frac{d_c}{2} \right) = N_y d_b \cos \alpha + N_y \sin \alpha \left( \xi l_b - \frac{d_c}{2} \right)$$

$$Q_{bp} = \frac{N_y \cos \alpha}{2l_b - d_c} [2d_b + \operatorname{tg} \alpha (2\xi l_b - d_c)]$$

*freedom*

$$Q_{bp} = \frac{N_y \cos \alpha}{2l_b - d_c} [2d_b + \operatorname{tg} \alpha (2\xi l_b - d_c)] \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{\zeta l_c - \frac{d_b}{2}}{\xi l_b - \frac{d_c}{2}}$$



$$Q_{bp} = \frac{2\zeta l_c + d_b}{2l_b - d_c} N_y \cos \alpha$$

**sfuerzo di taglio che si verifica nella trave quando gli BRBs si sono snervati**

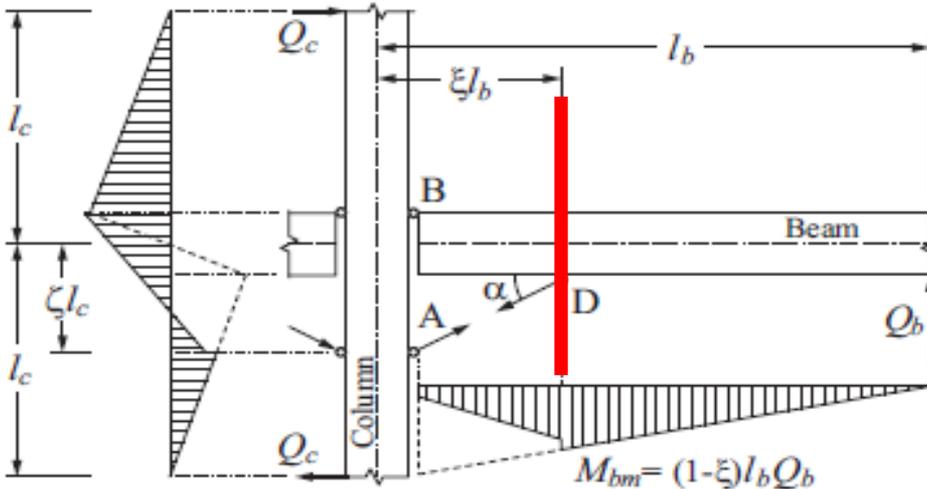
**Applicando il secondo principio del capacity design**



$$M_{b.Cd} = Q_{bp} (1 - \xi) l_b$$



$$M_{b.Cd} = \frac{2\zeta l_c + d_b}{2l_b - d_c} N_y \cos \alpha (1 - \xi) l_b$$



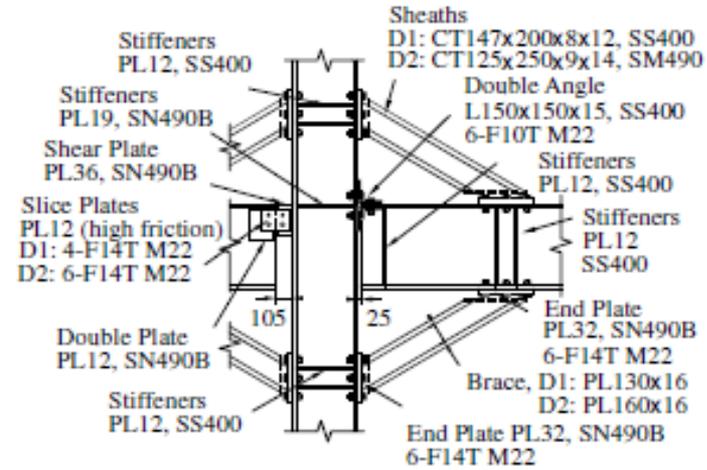
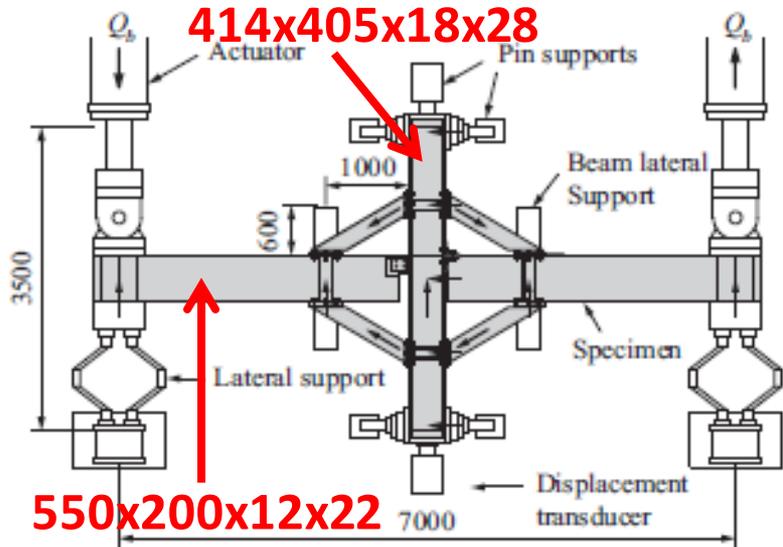
$$\mathbf{M}_{b.Cd} \leq \mathbf{M}_{b.Rd} = \frac{\mathbf{Z}_b \mathbf{f}_y}{\gamma_{M0}} \quad \frac{2\zeta l_c + \mathbf{d}_b}{2l_b - \mathbf{d}_c} \mathbf{N}_y \cos\alpha (1 - \xi) l_b \leq \mathbf{M}_{b.Rd}$$



$$\mathbf{N}_y \leq \frac{\mathbf{M}_{b.Rd} \left(1 - \frac{\mathbf{d}_c}{2l_b}\right)}{\zeta l_c (1 - \xi) \left(1 + \frac{\mathbf{d}_b}{2\zeta l_c}\right) \cos\alpha}$$
$$\mathbf{A}_{core} \leq \frac{1}{\mathbf{f}_y} \frac{\mathbf{M}_{b.Rd} \left(1 - \frac{\mathbf{d}_c}{2l_b}\right)}{\zeta l_c (1 - \xi) \left(1 + \frac{\mathbf{d}_b}{2\zeta l_c}\right) \cos\alpha}$$

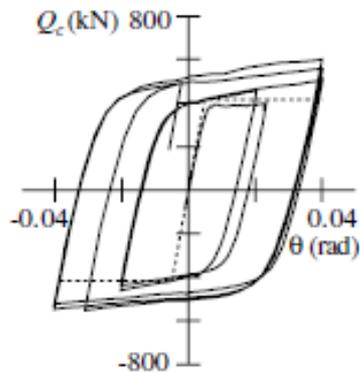
# COMPORTAMENTO SOTTO CARICHI CICLICI

LOGO OF THE PARTNER



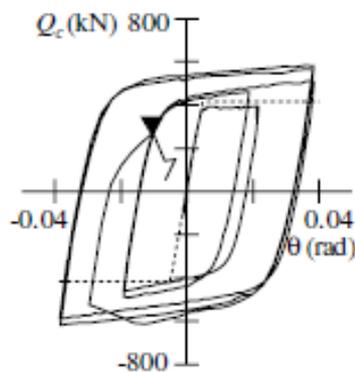
(a) Specimens D1 and D2

“core” PIASTRA D1: 130x15.5 D2: 160x15.5



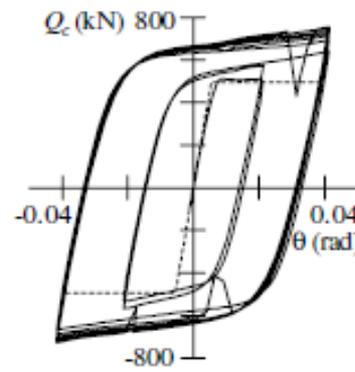
(a) D1 Left Beam

$N_y = 441 \text{ kN}$



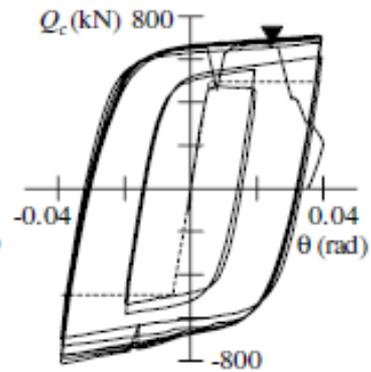
(b) D1 Right Beam

$M_{b.Cd}/M_{b.Rd} = 0.75$



(c) D2 Left Beam

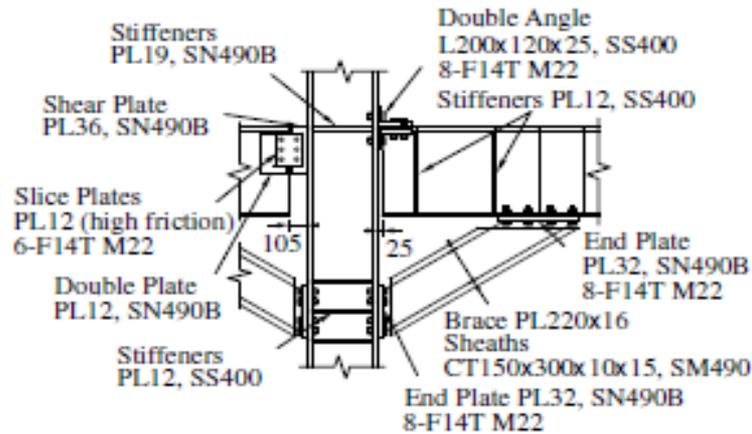
$N_y = 543 \text{ kN}$



(d) D2 Right Beam

$M_{b.Cd}/M_{b.Rd} = 0.92$

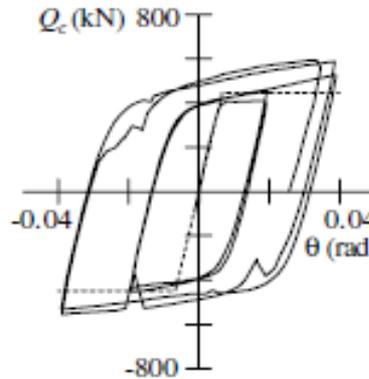
*freedom*



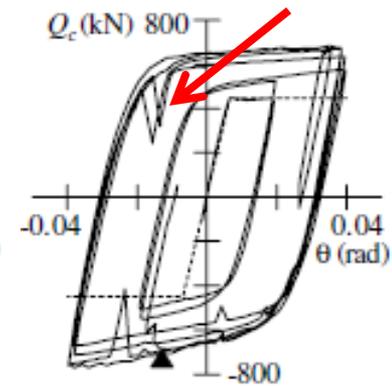
(b) Specimen S

“core” PIASTRA S: 220x15.5

Scorrimento della connessione a taglio BRB



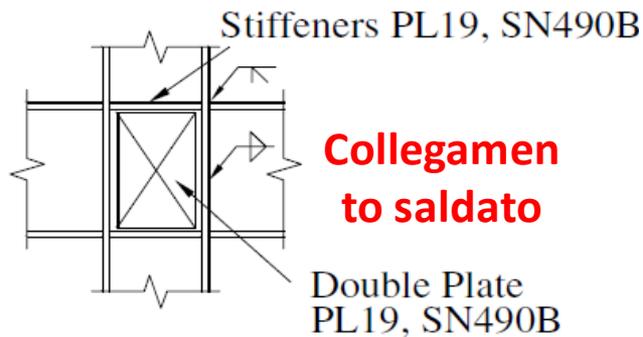
(e) S Left Beam



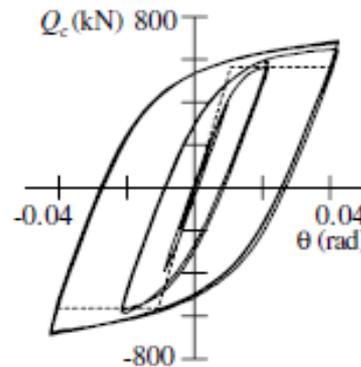
(f) S Right Beam

$N_v = 747 \text{ kN}$

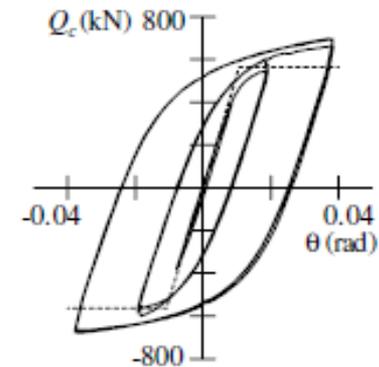
$M_{b,Cd}/M_{b,Rd} = 0.83$



(c) Specimen W



(g) W Left Beam



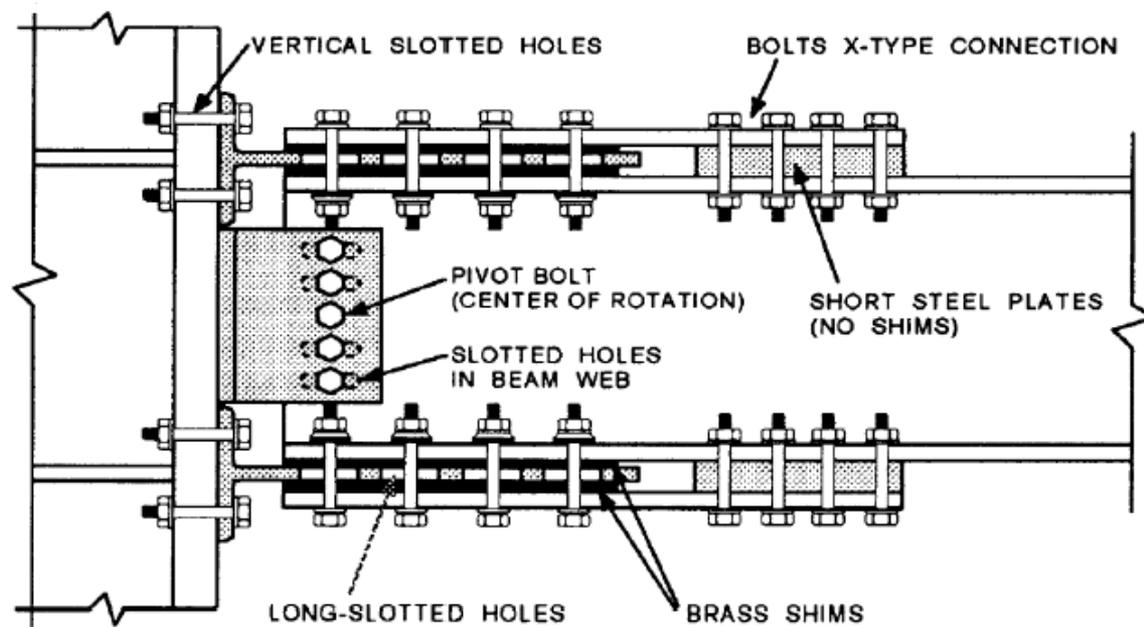
(h) W Right Beam



# CONNESSIONI TRAVE-COLONNA EQUIPAGGIATE CON DISPOSITIVI AD ATTRITO

LOGO OF THE  
PARTNER

Popov and Yang  
1995

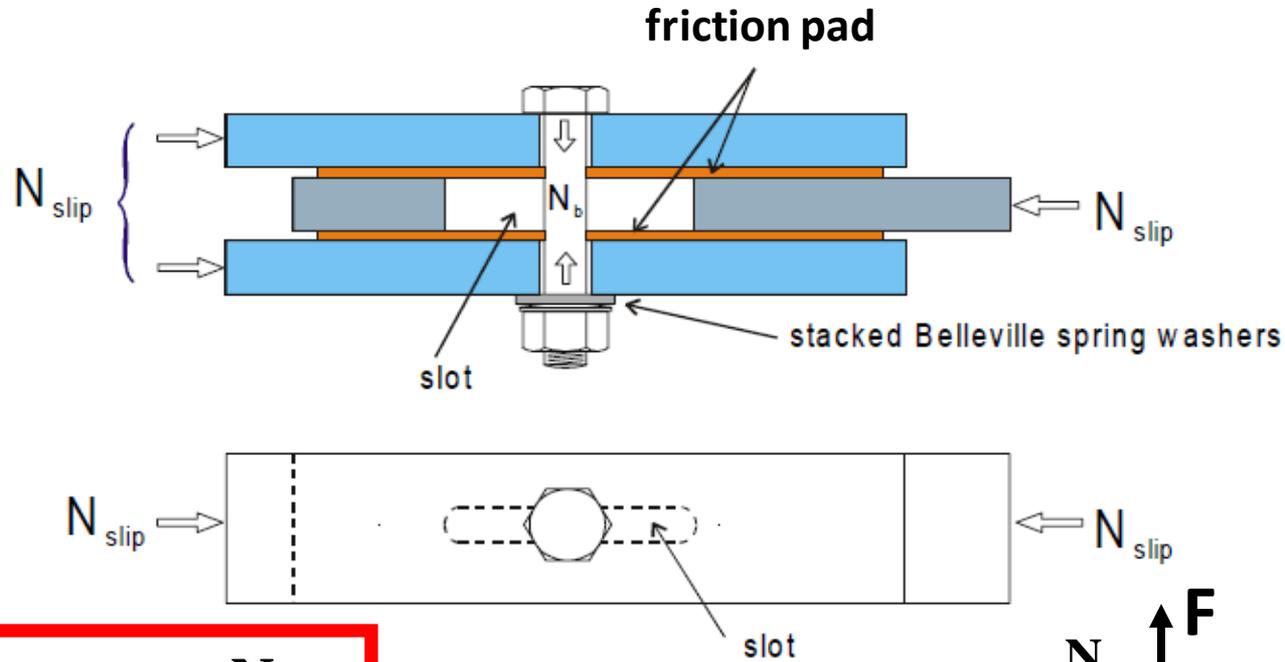


Sebbene i collegamenti trave-colonna dotati di cuscinetti di attrito siano stati proposti per la prima volta già nel 1995 da **Popov and Yang** (Università di Berkeley), la ricerca in questo settore ha subito un forte impulso solo in anni molto recenti, principalmente in Nuova Zelanda, Stati Uniti e Italia. Possono essere con attrito simmetrico o con attrito asimmetrico. Il principale vantaggio di queste connessioni è che sono praticamente **libere dal danno** fino a valori di rotazione compatibili con la corsa dei dispositivi ad attrito.

*freedom*

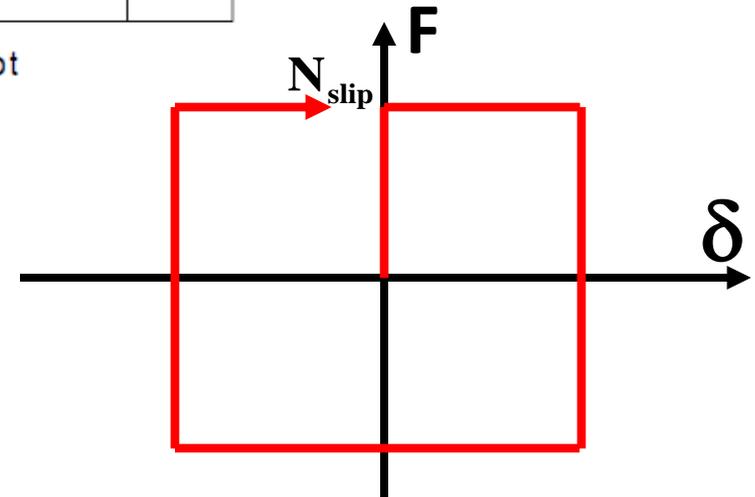
# DISPOSITIVI AD ATTRITO SIMMETRICO

LOGO OF THE PARTNER



$$N_{slip} = n_b n_s \mu N_b$$

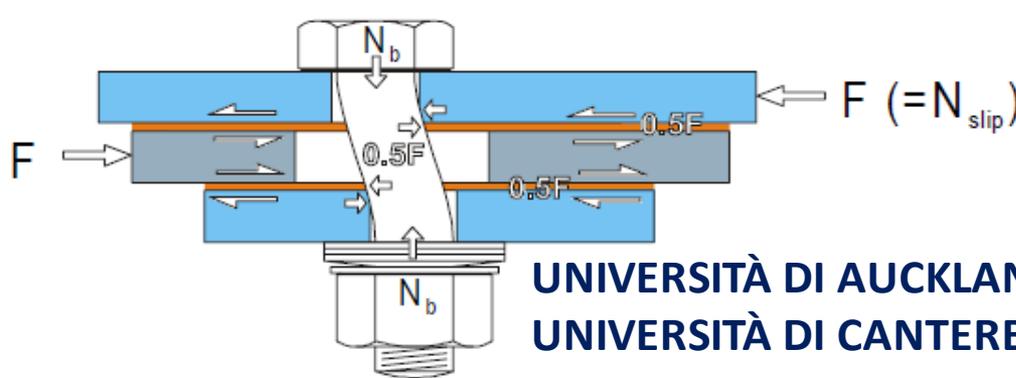
- $n_b$  Numero di bulloni
- $n_s$  Numero di superfici di contatto
- $\mu$  Coefficiente d'attrito
- $N_b$  Sforzo normale nei bulloni



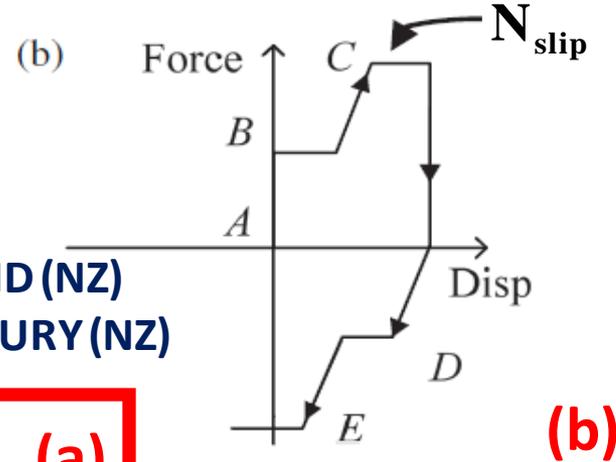
*freedom*

# DISPOSITIVI AD ATTRITO ASIMMETRICO

LOGO OF THE PARTNER



UNIVERSITÀ DI AUCKLAND (NZ)  
UNIVERSITÀ DI CANTERBURY (NZ)



$$M = \frac{Vl}{2} = \frac{\mu Nl}{2} \quad V = \mu N \quad (a)$$

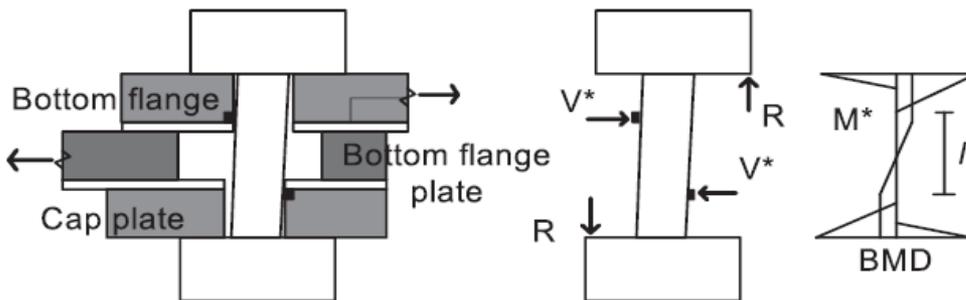
$$M_{\text{bolt.Rd}} = Z_{\text{bolt}} \left( 1 - \frac{N}{N_{\text{bolt.Rd}}} \right) f_{\text{um}} \cong 0.1655d^3 \left( 1 - \frac{N}{0.56d^2 f_{\text{um}}} \right) f_{\text{um}}$$

$$V_{\text{bolt.Rd}} \cong 0.62f_{\text{um}} 0.56d^2$$

$$\frac{M}{M_{\text{bolt.Rd}}} + \frac{V}{V_{\text{bolt.Rd}}} = 1$$

Sostituendo le Eqs. (a) in (b) e risolvendo per N, si ottiene la forza di scorrimento.

$$F_{\text{slip.1}} = N_{\text{slip}} = 2\mu N$$

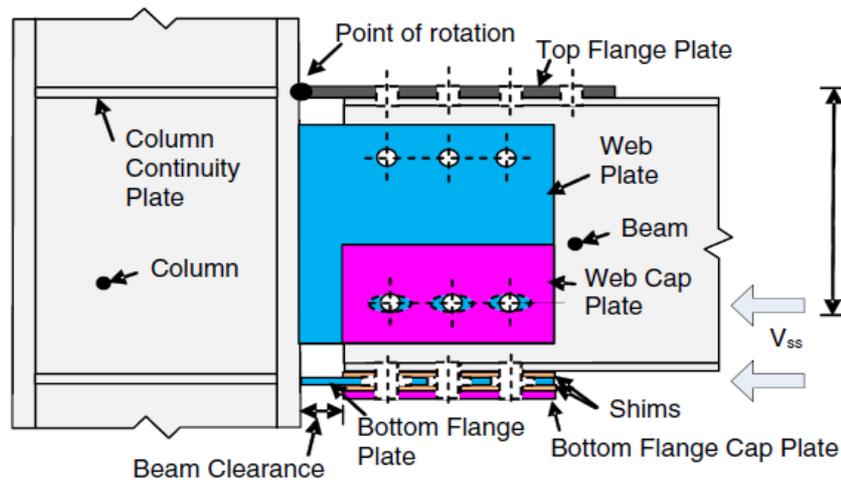


*freedom*

# CONNESSIONI TRAVE-COLONNA EQUIPAGGIATE CON DISPOSITIVI AD ATTRITO

LOGO OF THE  
PARTNER

“GIUNTO A CERNIERA SCORREVOLE” (SHJ) – UNIVERSITA’ DI AUCKLAND (NZ)

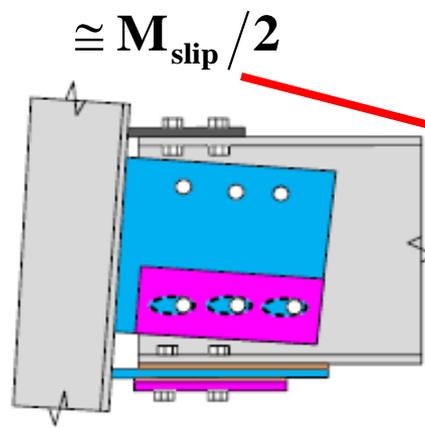


FLANGIA ANIMA

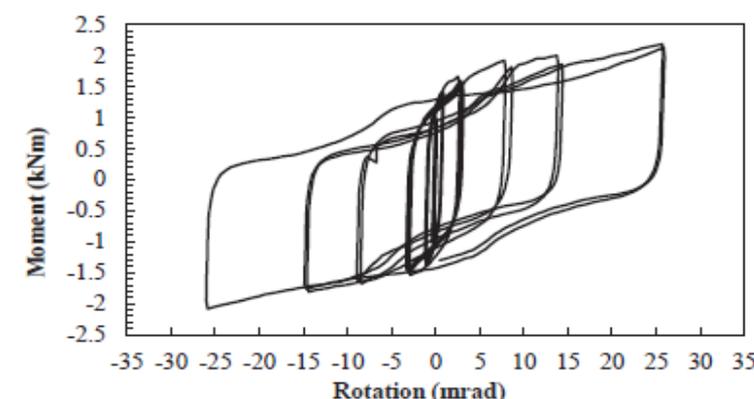
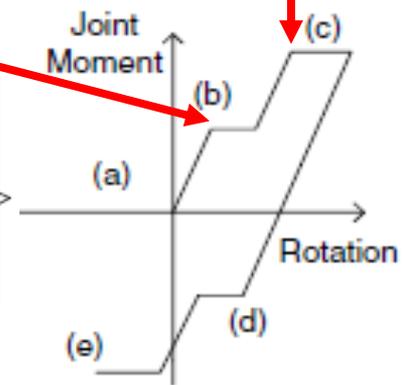
$$M_{slip} = F_{bf.slip} d_b + F_{bw.slip} e_{wb}$$

bulloni flangia Bulloni d'anima

$$M_{slip} = n_{bf} F_{slip.1.bf} d_b + n_{bw} F_{slip.1.bw} e_{wb}$$



$$\cong M_{slip} / 2$$



*freedom*

## BENEFICI:

- 1) Il **centro di rotazione** è fissato sull'asse della piastra di collegamento superiore tra l'ala della colonna e l'ala superiore della trave;
- 2) Si evitano danni alla **soletta dell'impalcato**;
- 3) I cicli di isteresi presentano un “**picco**” dovuto all'asimmetria degli ammortizzatori di attrito, questo determina una **tendenza** del sistema a **ricentrarsi**.

## SVANTAGGI:

- 1) La presenza delle piastre saldate alle ali della colonna **complica il dettaglio costruttivo**;
- 2) L'asimmetria dei dispositivi ad attrito porta ad una **riduzione del coefficiente di attrito effettivo**, ovvero :  
$$F_{\text{slip},1} = 2\mu N < 2\mu_{\text{eff}} N_{\text{b.serraggio}}$$
- 3) la **ridotta resistenza a flessione** rispetto alla trave collegata determina, nel caso di telai paralleli alle travi secondarie dell'impalcato, la necessità di sovradimensionare le travi per sopportare i carichi corrispondenti alle condizioni di esercizio;
- 4) Il **punzonamento** riduce la capacità di dissipazione.

# CONNESSIONI “FREEDAM”

## LOGO OF THE PARTNER



RESEARCH & INNOVATION  
Key Enabling Technologies



Research Fund for Coal & Steel

GRANT AGREEMENT No. RFSR-CT-2015-00022

### Progetto FREEDAM

#### “Conneessioni in acciaio FREE from DAMage”

**Università degli Studi di Salerno (IT)**  
**Dipartimento di Ingegneria Civile**

COORDINATORE DEL PROGETTO DI RICERCA

**Prof. Vincenzo Piluso**



**Université de Liège (B)**  
**Département d'Architecture, Géologie,  
Environnement et Constructions (ArGenCo)**

**Prof. Jean-Pierre Jaspart**



**Università degli Studi di Napoli “Federico II” (IT)**  
**Dipartimento di Strutture per l’Ingegneria e  
l’Architettura**

**Prof. Raffaele Landolfo**



**Universidade de Coimbra (PT)**  
**Departamento de Engenharia Civil**

**Prof. Luis Simoes da Silva**



**FIP INDUSTRIALE Spa**  
**Selvazzano (PD) (IT)**

**Ing. Maria Gabriella Castellano**



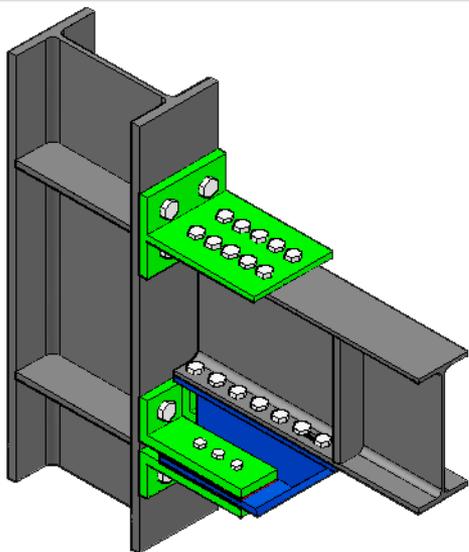
**O FELIZ METALOMECÂNICA**  
**Braga (PT)**

**Ing. José Manuel Silva**

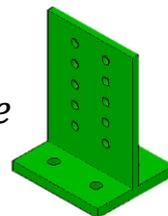
*freedam*

# CONNESSIONI FREEDAM: CONFIGURAZIONE ORIZZONTALE

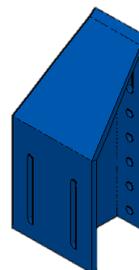
LOGO OF THE  
PARTNER



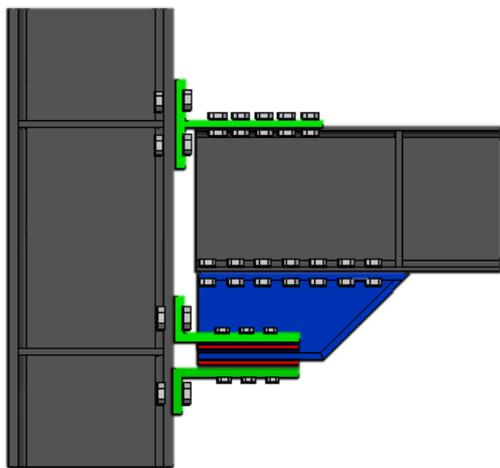
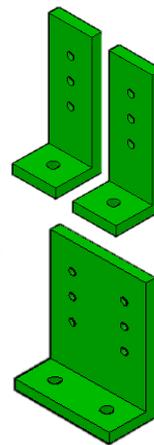
- *T-stub che lavora in tensione/compressione*



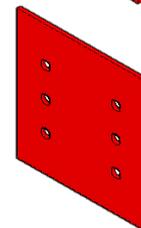
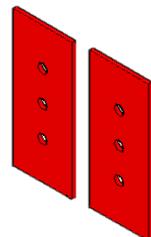
- *Rinforzo asolato imbullonato alla flangia della trave inferiore*



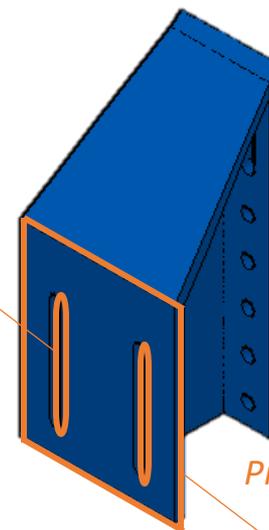
- *L-stubs fissati al rinforzo e alla colonna*



- *Cuscinetti ad attrito*



*Asole*

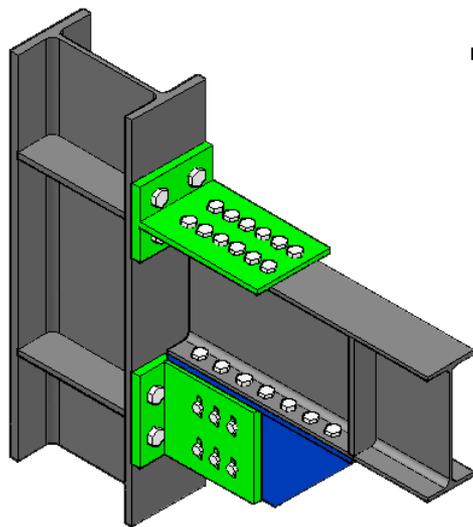


*Piastra in acciaio inossidabile*

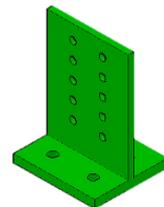
*freedom*

# CONNESSIONI FREEDAM: CONFIGURAZIONE VERTICALE

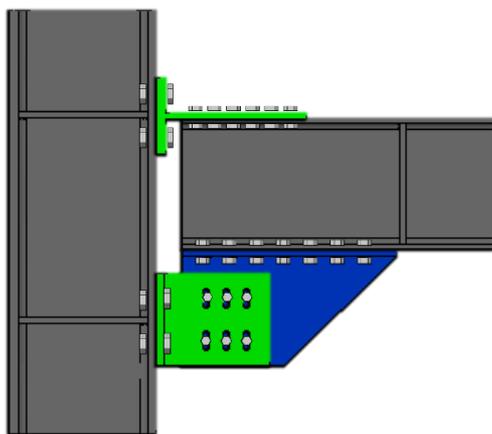
LOGO OF THE  
PARTNER



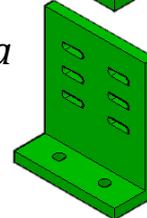
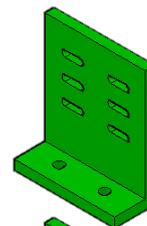
- *T-stub che lavora in tensione/compressione*



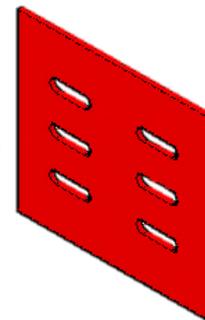
- *Rinforzo asolato imbullonato alla flangia della trave inferiore*



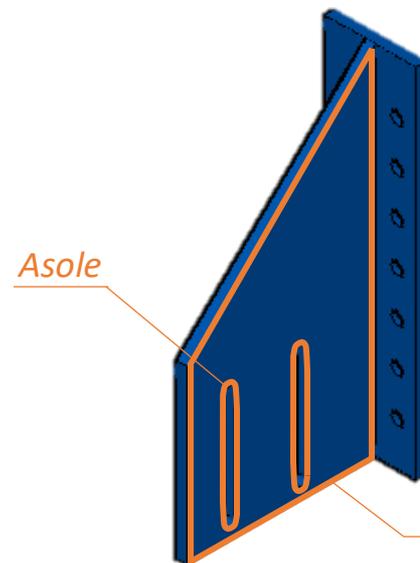
- *L-stubs fissati al rinforzo e alla colonna*



- *Cuscinetti ad attrito*



*Asole*



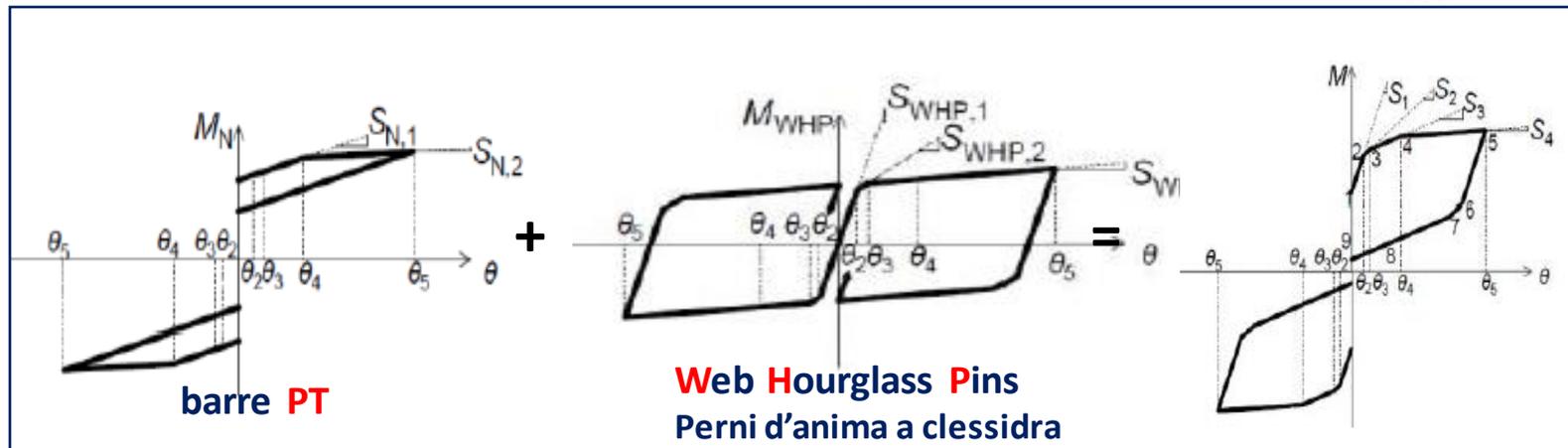
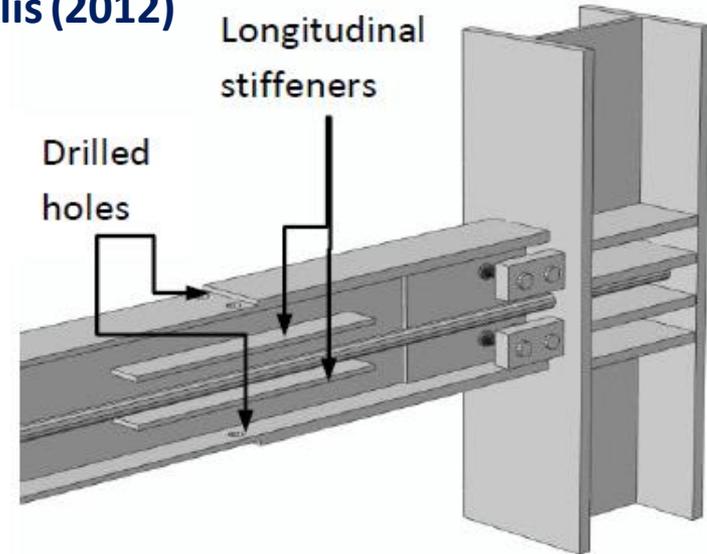
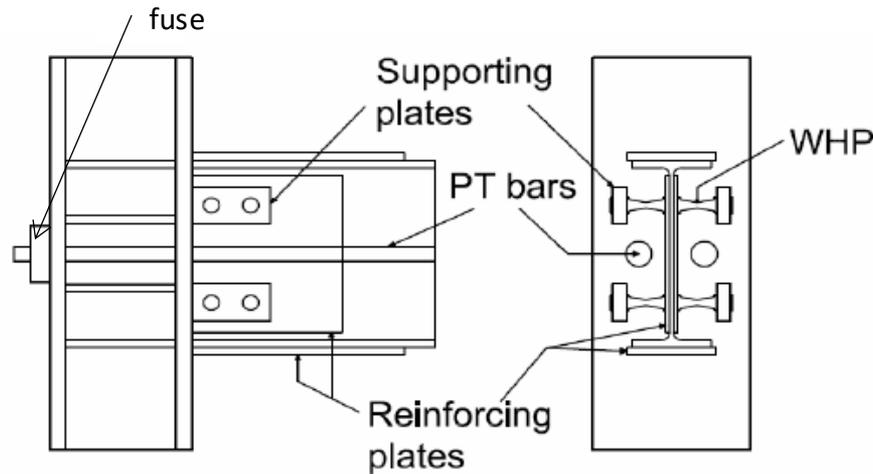
*Piastra in acciaio inossidabile*

*freedom*

# CONNESSIONI TRAVE-COLONNA EQUIPAGGIATI CON DISPOSITIVI ISTERETICI E SISTEMA DI RICENTRAGGIO CON BARRE POST-TESE

LOGO OF THE PARTNER

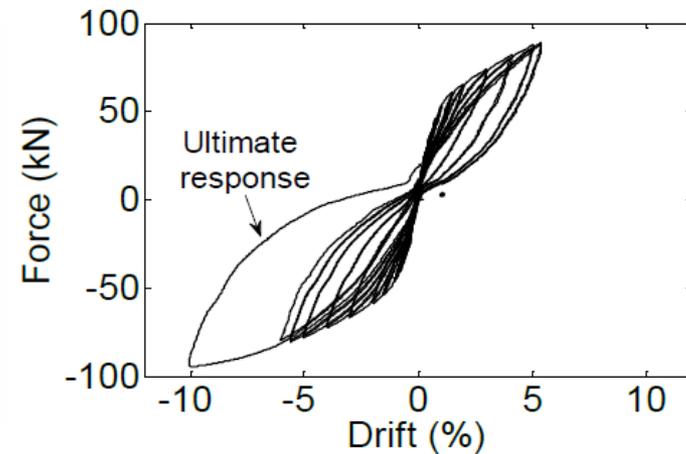
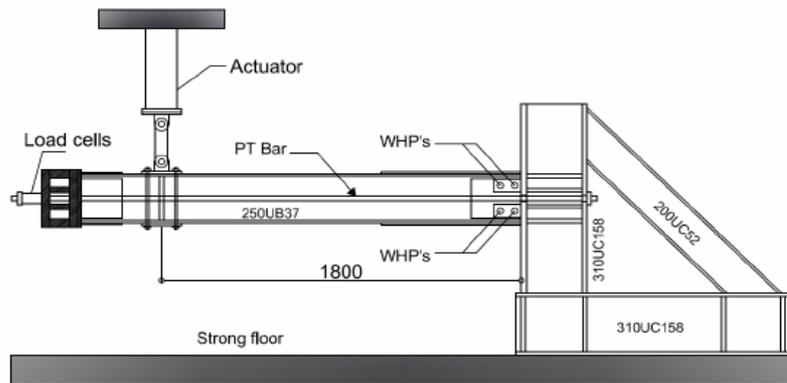
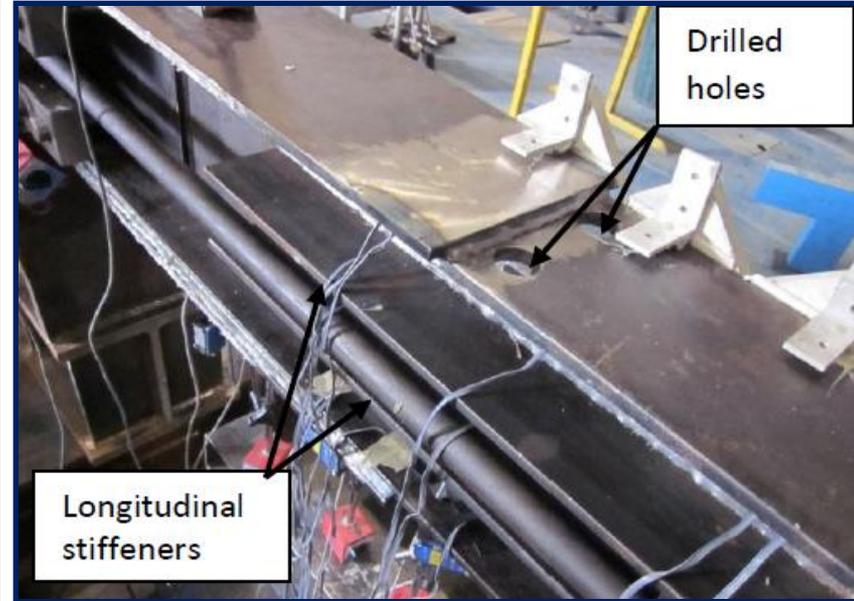
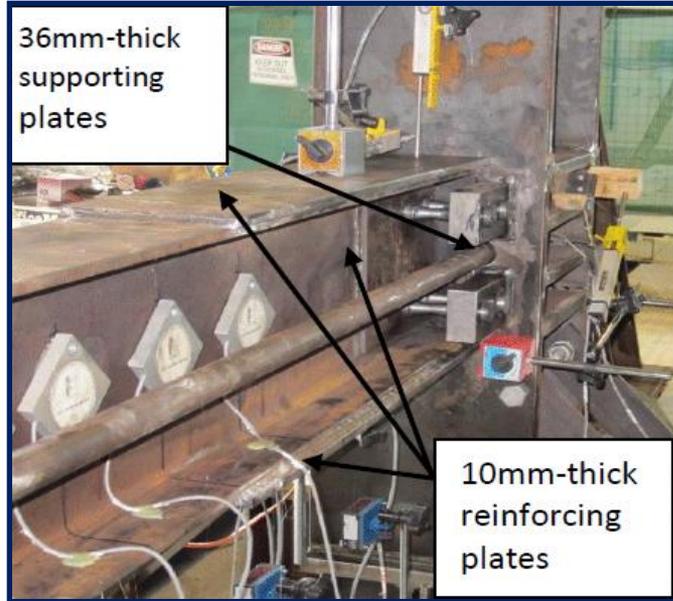
A.I. Dimopoulos, A.S. Tzimas, T.L. Karavasilis (2012)



*freedom*

# COMPORTAMENTO SOTTO CARICHI CICLICI

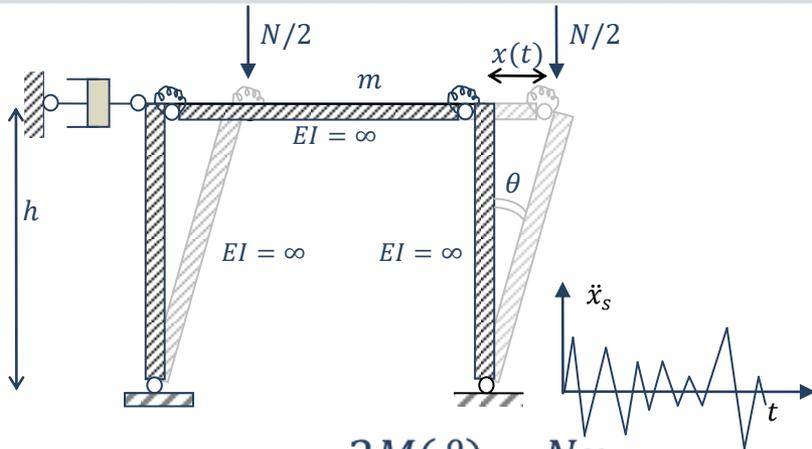
LOGO OF THE PARTNER



*freedom*

# CONSIDERAZIONI SUL RICENTRAGGIO

## LOGO OF THE PARTNER



$$m(\ddot{x} + \ddot{x}_s) + c\dot{x} + \frac{2M(\vartheta)}{h} - \frac{Nx}{h} = 0$$

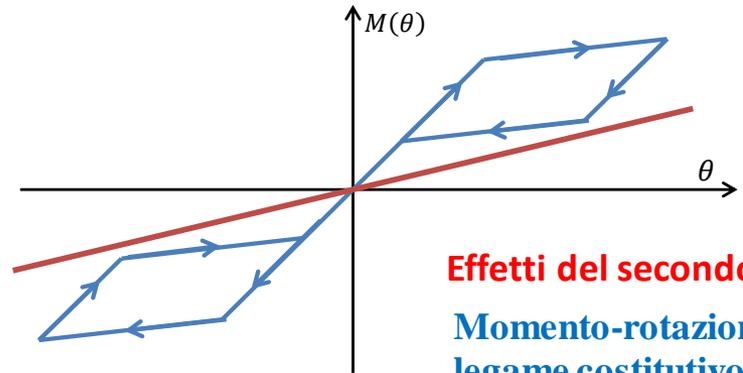
Quando la struttura torna al riposo:

$$\dot{x} = 0 \quad \ddot{x} = \ddot{x}_s = 0$$



$$\frac{2M(\vartheta)}{h} = \frac{Nx}{h} \Rightarrow M(\vartheta) = \frac{Nx}{2} = \frac{Nh}{2} \vartheta$$

Gli effetti del **secondo ordine** sono rappresentati da una retta la cui pendenza è  $Nh/2$

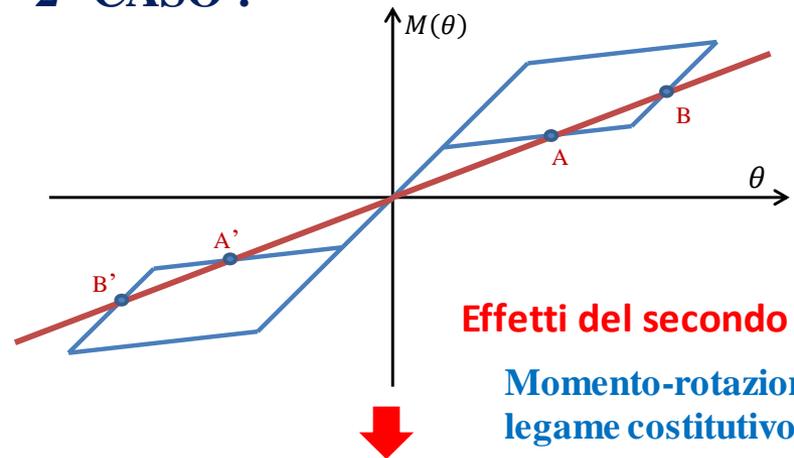


**Effetti del secondo ordine**

Momento-rotazione  
legame costitutivo

**1° CASO :  $M_{\text{external}} = M_{\text{internal}}$  only for  $\theta = 0$**   
**L'autocentraggio è assicurato**

**2° CASO :**



**Effetti del secondo ordine**

Momento-rotazione  
legame costitutivo

**L'autocentraggio non è assicurato**

*freedom*



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

# VENUE



## Valorization of knowledge on FREE from DAMAge Steel Connections Grant Agreement Number: 899321



## Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici

DISSEMINATION WORKSHOP of the  
FREEDAM PLUS Project

Salerno, Italy

XX XXXXX 2022



# CONTENUTI



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

1. *Connessioni FREEDAM*
2. *Procedura di progetto dei nodi FREEDAM*
3. *Esempio*



# CONTENUTI



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

1. *Connessioni FREEDAM*
2. *Procedura di progetto dei nodi FREEDAM*
3. *Esempio*



# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

I sistemi sismici strutturali **FREE from DAMage** o facilmente sostituibili dopo il terremoto, hanno riscosso, negli ultimi anni, un crescente interesse da parte della comunità scientifica. In questo quadro risultano particolarmente interessanti i dispositivi di smorzamento supplementare in grado di dissipare una parte dell'energia sismica immessa, riducendo così la domanda sismica sugli elementi strutturali.



*Connessioni FREEDAM*

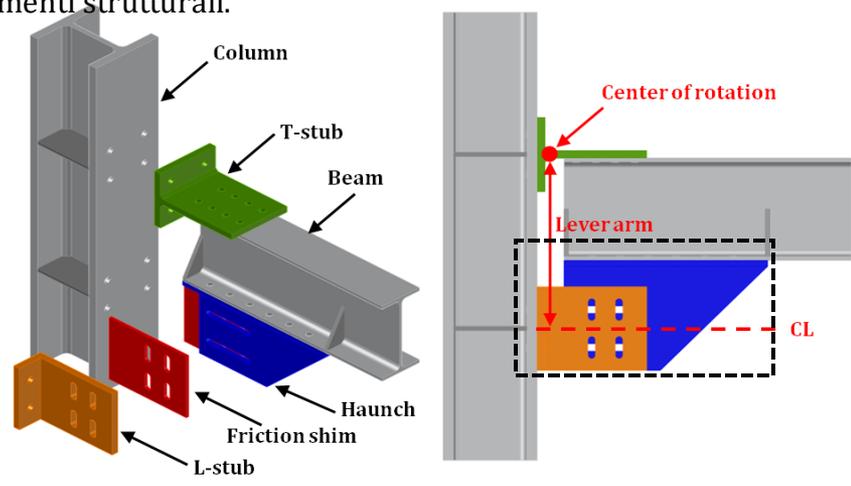
FREEDAM PLUS DISSEMINATION WORKSHOP

# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici

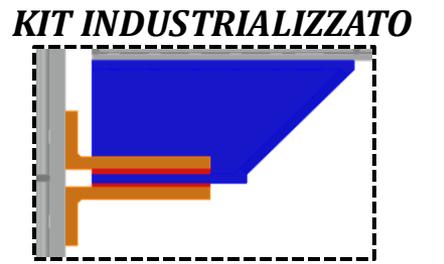
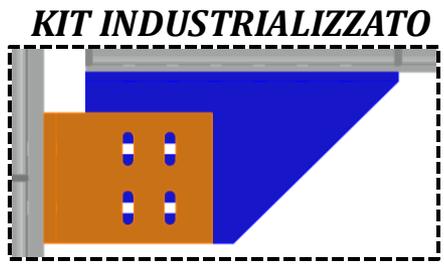
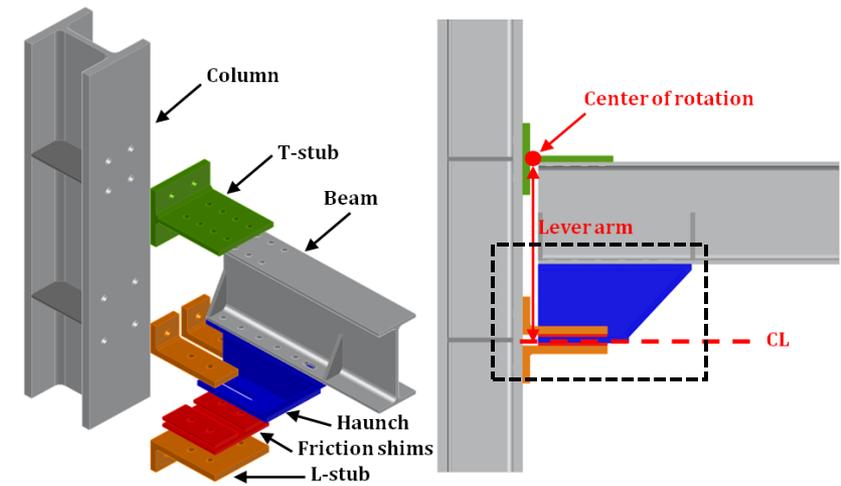


I sistemi sismici strutturali **FREE from DAMAGE** o facilmente sostituibili dopo il terremoto, hanno riscosso, negli ultimi anni, un crescente interesse da parte della comunità scientifica. In questo quadro risultano particolarmente interessanti i dispositivi di smorzamento supplementare in grado di dissipare una parte dell'energia sismica immessa, riducendo così la domanda sismica sugli elementi strutturali.

VFC - Configurazione



HFC - Configurazione



Al fine di facilitare l'applicazione pratica dei giunti dissipativi trave-colonna dotati di dispositivi FREEDAM sono state fornite le linee guida per la progettazione delle connessioni dotate di SFD



# CONTENUTI



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

1. *Connessioni FREEDAM*
2. *Procedura di progetto dei nodi FREEDAM*
3. *Esempio*



# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

*Dal punto di vista progettuale, l'approccio alla progettazione **FREEDAM** si basa su una procedura step-by-step:*

*VFC – Configurazione*

***Procedura di progetto***

# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

Dal punto di vista progettuale, l'approccio alla progettazione **FREEDAM** si basa su una procedura step-by-step:

Progetto degli dispositivi ad attrito FREEDAM per le azioni derivanti dalle combinazioni di carico ULS e SLS:

**1° step:** Progetto dei dispositivi ad attrito

**2° step:** Azioni di Progetto per le componenti non-dissipative

**Secondo le Raccomandazioni di progetto pre-normativa (PDR – Capitolo 10 dei Documenti Informativi)**

**Procedura di progetto**

FREEDAM PLUS DISSEMINATION WORKSHOP



# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

*Dal punto di vista progettuale, l'approccio alla progettazione **FREEDAM** si basa su una procedura step-by-step:*

*Progetto degli dispositivi ad attrito FREEDAM per le azioni derivanti dalle combinazioni di carico ULS e SLS:*

*progettazione delle parti non dissipative della connessione, tenendo conto della massima sovra resistenza dovuta alla variabilità del materiale ad attrito e alla variabilità della forza di precarico dei bulloni.*

**1° step:** Progetto dei dispositivi ad attrito

**2° step:** Azioni di Progetto per le componenti non-dissipative

**Secondo le Raccomandazioni di progetto pre-normativa (PDR – Capitolo 10 dei Documenti Informativi)**

**3° step:** Progetto del ringrosso di flangia

**4° step:** Progetto dell'anima del ringrosso

**5° step:** Progetto dei T-stub di flangia

**6° step:** Progetto dei T-stub

**7° step:** Progetto degli L-stubs

**8° step:** Verifica della trave e progettazione di ulteriori irrigidimenti

**9° step:** Column checks and design of additional column web stiffeners

**Secondo gli Eurocodici**

**Procedura di progetto**

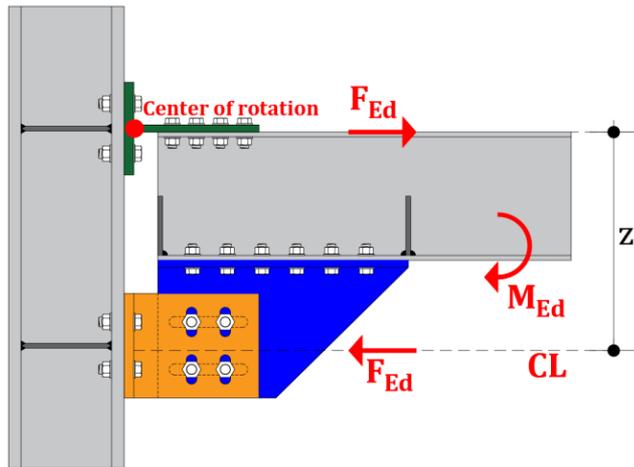


# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

**1° step:** Progetto dei bulloni del dispositivo ad attrito



Il rapporto tra il momento flettente di progetto  $M_{Ed}$  e il braccio di leva della connessione  $z$  fornisce la forza di progetto  $F_{Ed}$  agente al CL:

$$F_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{z}$$

dove  $M_{Ed}$  è il momento flettente massimo che si verifica nella connessione sotto la combinazione di carico più gravosa risultante da:

- *la combinazione di carichi gravitazionali ULS;*
- *la combinazione di carico da vento;*
- *la combinazione sismica di servizio.*

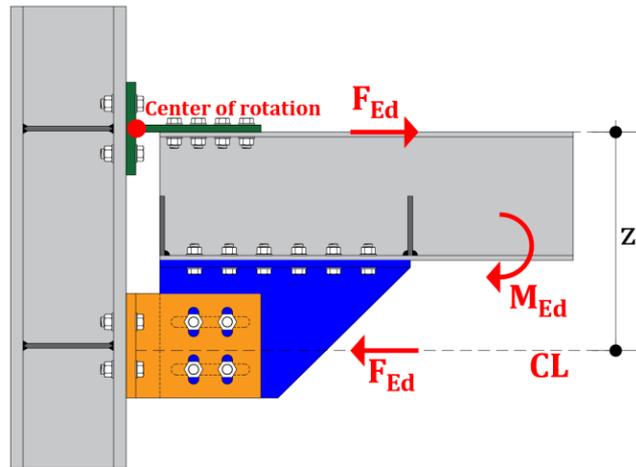
**Procedura di progetto**

# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

**1° step:** Progetto dei bulloni del dispositivo ad attrito



Il rapporto tra il momento flettente di progetto  $M_{Ed}$  e il braccio di leva della connessione  $z$  fornisce la forza di progetto  $F_{Ed}$  agente al CL:

$$F_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{z}$$

dove  $M_{Ed}$  è il momento flettente massimo che si verifica nella connessione sotto la combinazione di carico più gravosa risultante da:

- *la combinazione di carichi gravitazionali ULS;*
- *la combinazione di carico da vento;*
- *la combinazione sismica di servizio.*

La forza di scorrimento è

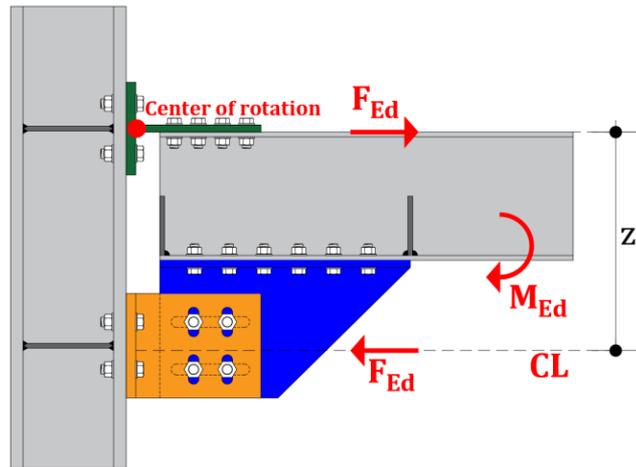
$$F_{slip} = \Omega_{dyn} \cdot F_{slip,Rd} = \Omega_{dyn} \cdot \frac{\mu_{s,lower} \cdot n_b \cdot n_s \cdot F_{p,lt}}{\gamma_{Mf}}$$

**Procedura di progetto**

# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



## 1° step: Progetto dei bulloni del dispositivo ad attrito



Il rapporto tra il momento flettente di progetto  $M_{Ed}$  e il braccio di leva della connessione  $z$  fornisce la forza di progetto  $F_{Ed}$  agente al CL:

$$F_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{z}$$

dove  $M_{Ed}$  è il momento flettente massimo che si verifica nella connessione sotto la combinazione di carico più gravosa risultante da:

- *la combinazione di carichi gravitazionali ULS;*
- *la combinazione di carico da vento;*
- *la combinazione sismica di servizio.*

La forza di scorrimento è

$$F_{slip} = \Omega_{dyn} \cdot F_{slip.Rd} = \Omega_{dyn} \cdot \frac{\mu_{s.lower} \cdot n_b \cdot n_s \cdot F_{p.lt}}{\gamma_{Mf}}$$



*Fattore che tiene in conto della differenza tra coefficiente d'attrito statico e dinamico  $\Omega_{dyn}=1$  per materiale ad attrito di tipo M4*

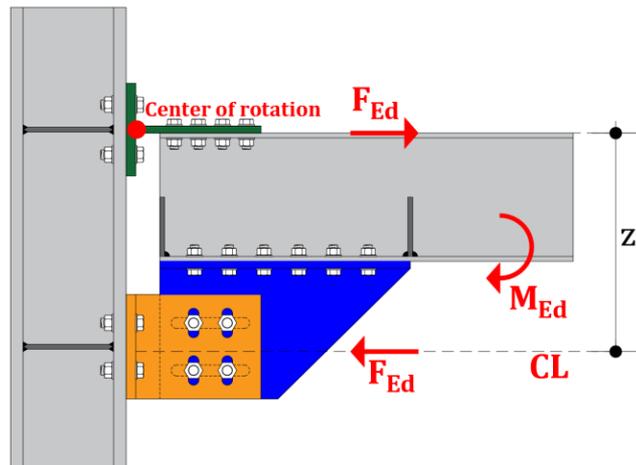
**Procedura di progetto**



# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



**1° step:** Progetto dei bulloni del dispositivo ad attrito



Il rapporto tra il momento flettente di progetto  $M_{Ed}$  e il braccio di leva della connessione  $z$  fornisce la forza di progetto  $F_{Ed}$  agente al CL:

$$F_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{z}$$

dove  $M_{Ed}$  è il momento flettente massimo che si verifica nella connessione sotto la combinazione di carico più gravosa risultante da:

- *la combinazione di carichi gravitazionali ULS;*
- *la combinazione di carico da vento;*
- *la combinazione sismica di servizio.*

La forza di scorrimento è

$$F_{slip} = \Omega_{dyn} \cdot F_{slip.Rd} = \Omega_{dyn} \cdot \frac{\mu_{s.lower} \cdot n_b \cdot n_s \cdot F_{p.lt}}{\gamma_{Mf}}$$

*5% frattile del coefficiente d'attrito statico delle superfici di contatto come influenzato dal processo di rivestimento*  
 $\mu_{s.lower}=0.69$  per materiale di tipo M4

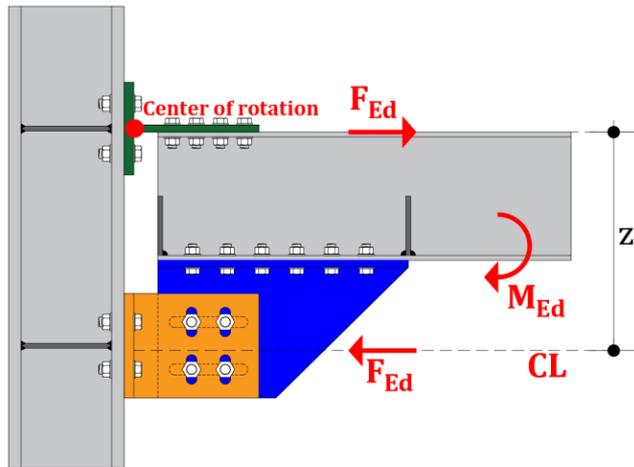
**Procedura di progetto**



# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



**1° step:** Progetto dei bulloni del dispositivo ad attrito



Il rapporto tra il momento flettente di progetto  $M_{Ed}$  e il braccio di leva della connessione  $z$  fornisce la forza di progetto  $F_{Ed}$  agente al CL:

$$F_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{z}$$

dove  $M_{Ed}$  è il momento flettente massimo che si verifica nella connessione sotto la combinazione di carico più gravosa risultante da:

- *la combinazione di carichi gravitazionali ULS;*
- *la combinazione di carico da vento;*
- *la combinazione sismica di servizio.*

La forza di scorrimento è

$$F_{slip} = \Omega_{dyn} \cdot F_{slip.Rd} = \Omega_{dyn} \cdot \frac{\mu_{s.lower} \cdot n_b \cdot n_s \cdot F_{p.lt}}{\gamma_{Mf}}$$

$\downarrow$   
*Numero delle superfici di contatto*  
 $\downarrow$   
*Numero dei bulloni*

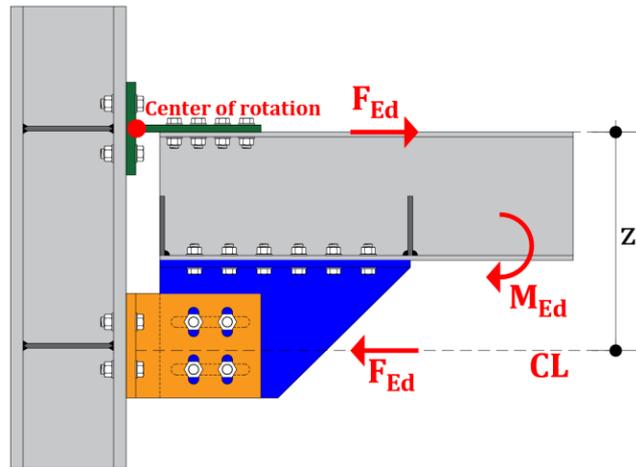
**Procedura di progetto**



# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



## 1° step: Progetto dei bulloni del dispositivo ad attrito



Il rapporto tra il momento flettente di progetto  $M_{Ed}$  e il braccio di leva della connessione  $z$  fornisce la forza di progetto  $F_{Ed}$  agente al CL:

$$F_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{z}$$

dove  $M_{Ed}$  è il momento flettente massimo che si verifica nella connessione sotto la combinazione di carico più gravosa risultante da:

- *la combinazione di carichi gravitazionali ULS;*
- *la combinazione di carico da vento;*
- *la combinazione sismica di servizio.*

La forza di scorrimento è  $F_{slip} = \Omega_{dyn} \cdot F_{slip.Rd} = \Omega_{dyn} \cdot \frac{\mu_{s.lower} \cdot n_b \cdot n_s \cdot F_{p.lt}}{\gamma_{Mf}}$

$\gamma_{Mf}$

valore a lungo termine del precarico bullone dovuto al serraggio

Fattore di sicurezza parziale

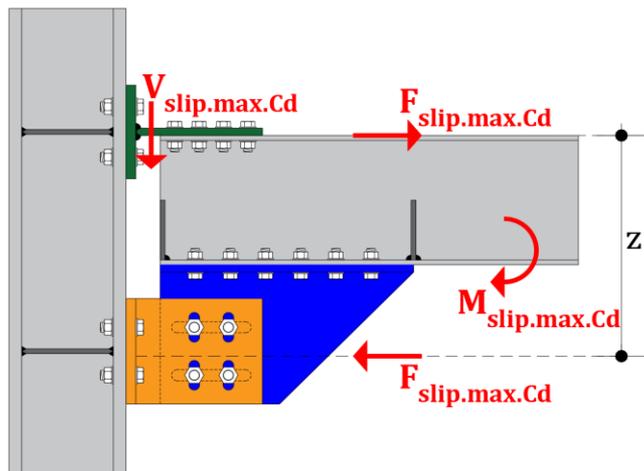
$\gamma_{Mf}=1.162$  per materiale ad attrito M4

**Procedura di progetto**

# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



## 2° step: Azioni di Progetto per le componenti non-dissipative



I requisiti di prestazione per i componenti del giunto non dissipativo si considerano soddisfatti se la forza massima trasmessa dal dispositivo ad attrito,  $F_{slip.max.Cd}$ , alle componenti non dissipative si valuta come:

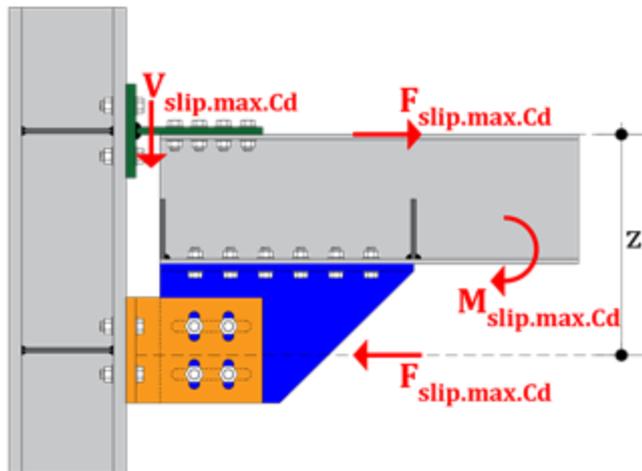
$$F_{slip.max.Cd} = \Omega_{Cd} \cdot F_{slip} = \Omega_{Cd} \cdot \Omega_{dyn} \cdot \frac{\mu_{s.lower} n_b n_s F_{p,lt}}{\gamma_{Mf}}$$



# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



**2° step:** Azioni di Progetto per le componenti non-dissipative



I requisiti di prestazione per i componenti del giunto non dissipativo si considerano soddisfatti se la forza massima trasmessa dal dispositivo ad attrito,  $F_{slip.max.Cd}$ , alle componenti non dissipative si valuta come:

$$F_{slip.max.Cd} = \Omega_{Cd} \cdot F_{slip} = \Omega_{Cd} \cdot \Omega_{dyn} \cdot \frac{\mu_{s.lower} n_b n_s F_{p,lt}}{\gamma_{Mf}}$$

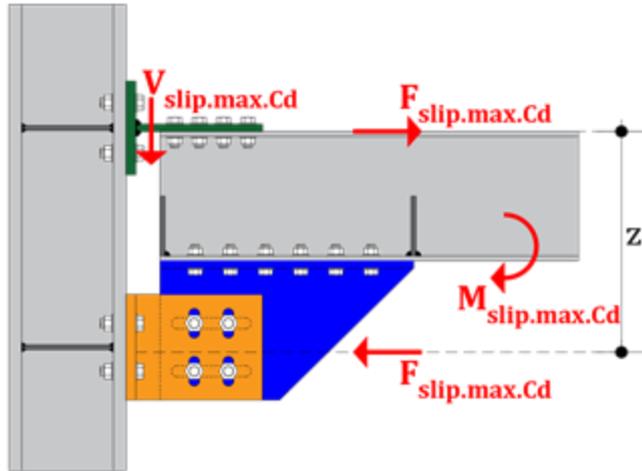
$\Omega_{Cd} = 1.56$  il fattore di sovraresistenza che tiene conto della variabilità del coefficiente di attrito e del livello di affidabilità selezionato nel raggiungimento dell'obiettivo di progettazione.



# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



## 2° step: Azioni di Progetto per le componenti non-dissipative



I requisiti di prestazione per i componenti del giunto non dissipativo si considerano soddisfatti se la forza massima trasmessa dal dispositivo ad attrito,  $F_{slip.max.Cd}$ , alle componenti non dissipative si valuta come:

$$F_{slip.max.Cd} = \Omega_{Cd} \cdot F_{slip} = \Omega_{Cd} \cdot \Omega_{dyn} \cdot \frac{\mu_{s.lower} n_b n_s F_{p,lt}}{\gamma_{Mf}}$$

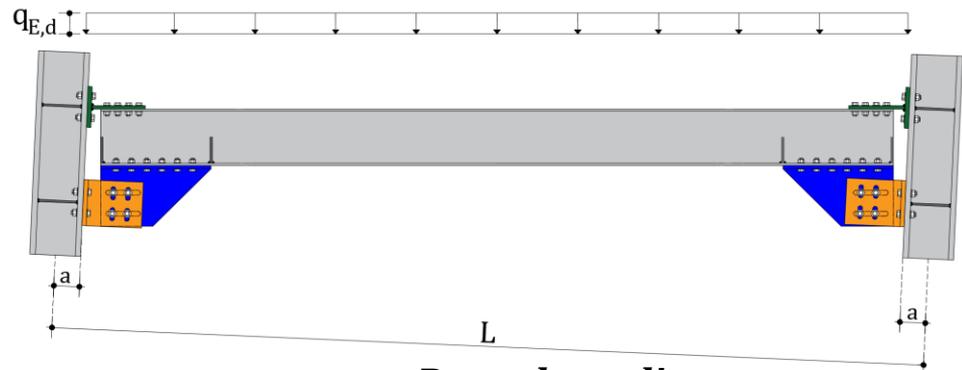
$\Omega_{Cd} = 1.56$  è il fattore di sovraresistenza che tiene conto della variabilità del coefficiente di attrito e del livello di affidabilità selezionato nel raggiungimento dell'obiettivo di progettazione.

Momento flettente:

$$M_{slip.max.Cd} = F_{slip.max.Cd} \cdot z$$

Taglio:

$$V_{slip.max.Cd} = \frac{2F_{slip.max.Cd} \cdot z}{(L - 2a)} + q_{E,d} \frac{(L - 2a)}{2}$$



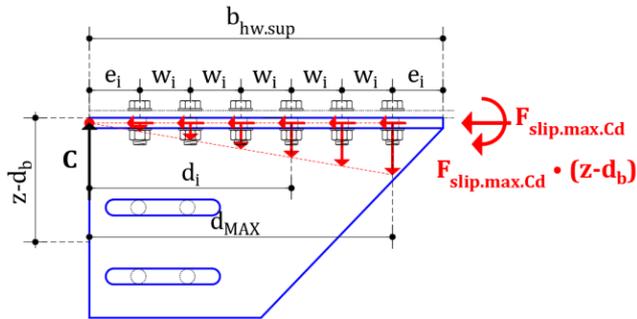
**Procedura di progetto**



# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



## 3° step: Progetto della flangia del ringrosso



- Lo spessore del ringrosso di flangia  $t_{hf}$  è considerato almeno uguale allo spessore della flangia della trave
- Per il progetto dei bulloni che collegano il dispositivo alla flangia inferiore della trave, è possibile calcolare la forza assiale e la forza di taglio nel bullone più sollecitato (considerando due bulloni per ogni fila), come segue:

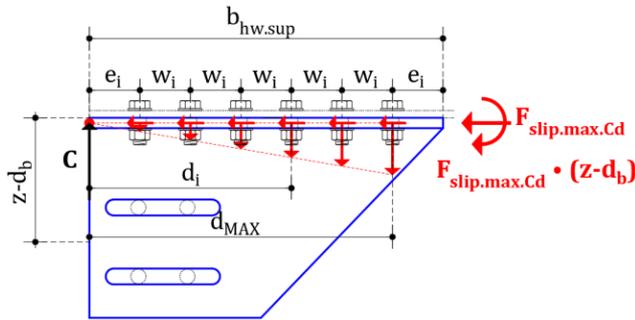
$$F_{t,Ed,max} = \frac{F_{slip,max,Cd} \cdot (z - d_b) \cdot d_{MAX}}{2 \cdot \sum_{i=1}^{n_b} d_i} \quad F_{v,Ed} = \frac{F_{slip,max,Cd}}{2 \cdot n_b}$$



# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



## 3° step: Progetto della flangia del ringrosso

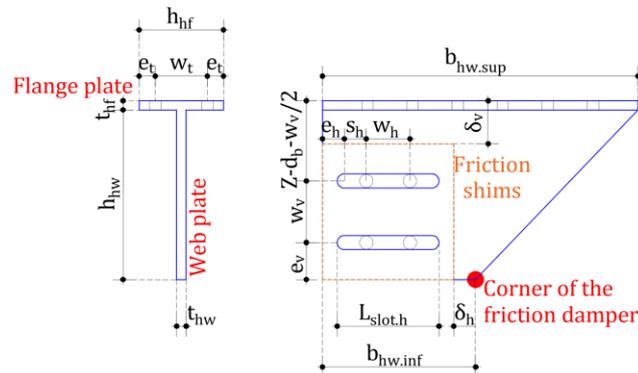


- Lo spessore della flangia del ringrosso  $t_{hf}$  è preso almeno uguale allo spessore della flangia della trave
- Per il progetto dei bulloni che fissano il dispositivo alla flangia inferiore della trave, è possibile calcolare la forza assiale e la forza di taglio nel bullone più sollecitato (considerando due bulloni per ogni fila), come segue:

$$F_{t,Ed,max} = \frac{F_{slip,max,Cd} \cdot (z - d_b) \cdot d_{MAX}}{2 \cdot \sum_{i=1}^{n_b} d_i}$$

$$F_{v,Ed} = \frac{F_{slip,max,Cd}}{2 \cdot n_b}$$

## 4° step: Progetto dell'anima del ringrosso

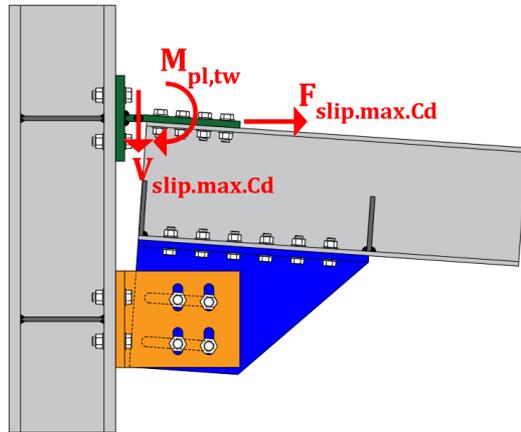


- La forma e la dimensione del ringrosso sono derivate da considerazioni geometriche a seconda dei seguenti parametri:
  - Diametro del foro ( $d_0$ );
  - Il numero dei bulloni del dispositivo ( $n_{b,act}$ );
  - La lunghezza dei fori asolati ( $L_{slot,h}$ );
  - La dimensione  $b_{hw,sup}$ ;
  - La grandezza degli spessori ad attrito
- Lo spessore dell'anima del ringrosso  $t_{hw}$  può essere progettato eguagliando la resistenza del bullone alla forza di progetto  $F_{slip,max,Cd}$

# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici

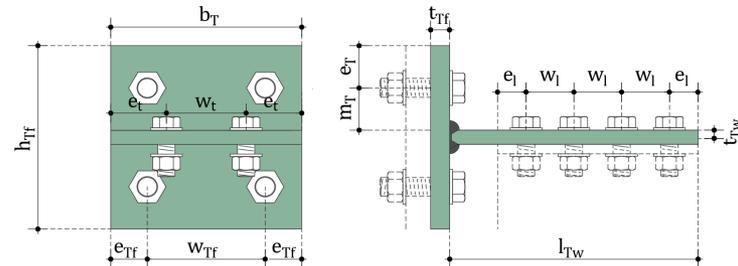


## 5° step: Progetto della flangia del T-stub



Secondo il classico modello T-stub adottato da EC3 parte 1.8, si possono considerare i tre possibili meccanismi di collasso.

- I bulloni che connettono il T-stub alla colonna devono essere verificati sia per la forza assiale che a taglio considerando la combinazione di  $V_{slip,max,Cd}$  e  $F_{slip,max,Cd}$
- Lo spessore di flangia  $t_{Tf}$  può essere progettato considerando la forza di progetto  $F_{slip,max,Cd}$  e la possibile occorrenza dei meccanismi di collasso di tipo-1 e tipo-2 failure modes

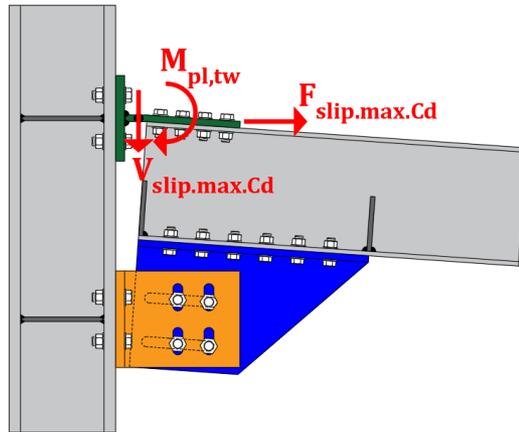


**Procedura di progetto**

# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici

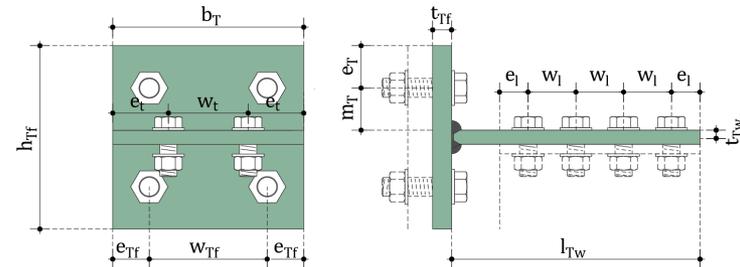


## 5° step: Progetto della flangia del T-stub

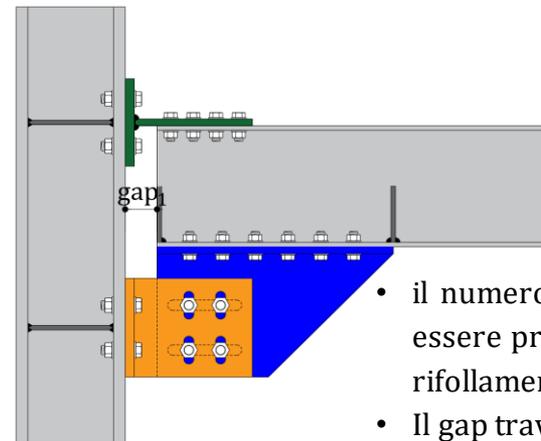


Secondo il classico modello T-stub adottato da EC3 parte 1.8, si possono considerare i tre possibili meccanismi di collasso.

- I bulloni che connettono il T-stub alla colonna devono essere verificati sia per la forza assiale che a taglio considerando la combinazione di  $V_{slip.max.Cd}$  e  $F_{slip.max.Cd}$
- Lo spessore di flangia  $t_{Tf}$  può essere progettato considerando la forza di progetto  $F_{slip.max.Cd}$  e la possibile occorrenza dei meccanismi di collasso di tipo-1 e tipo-2 failure modes



## 6° step: Progetto dell'anima del T-stub



- Lo spessore dell'anima del T – stub  $t_{TW}$  deve essere progettato in modo da evitare l'interazione tra taglio e momento flettente. Ciò significa che  $t_{TW}$  è progettato per portare una forza di taglio almeno uguale a  $2V_{slip.max.Cd}$  (EC3 part 1.1)

- il numero e il diametro dei bulloni che collegano l'anima del T-stub alla flangia della trave possono essere progettati in base alla forza di taglio agente nella connessione mediante verifiche a taglio e a rifollamento;
- Il gap trave-colonna ( $gap_1$ ) è progettato per accomodare le rotazioni di progetto ( $\phi$ )

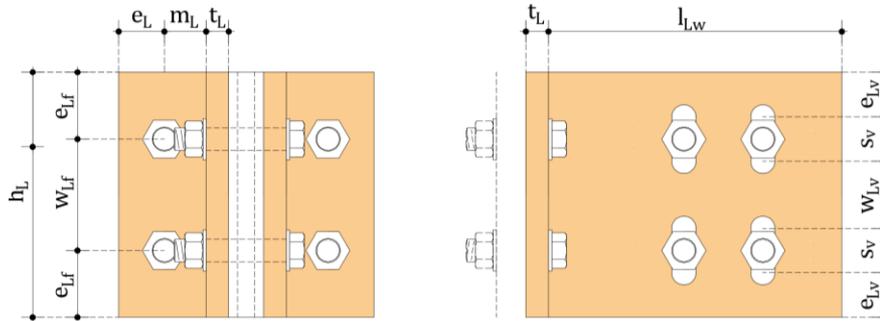
## Procedura di progetto



# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



## 7° step: Progetto degli L-stubs

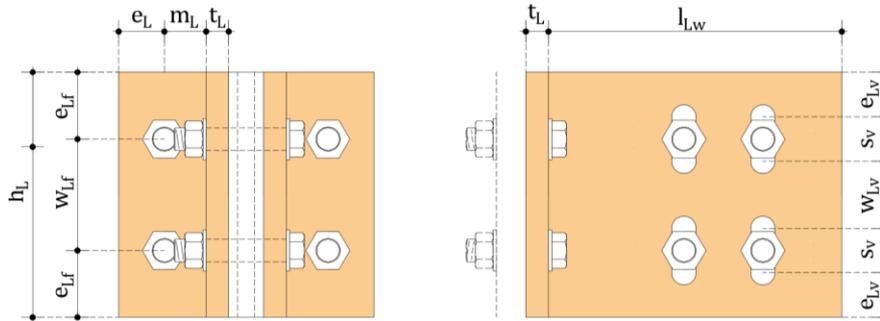


- Il Progetto dello spessore degli L-stubs soggetti alla forza di trazione  $F_{slip.max.Cd}$ ,  $t_L$  può essere effettuato in modo analogo ai T-stub;
- L'anima dell' L-stub deve essere verificata considerando il meccanismo di rottura a strappamento considerando la lunghezza delle asole verticali  $s_v$  determinate in modo da accomodare le rotazioni di progetto

# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici

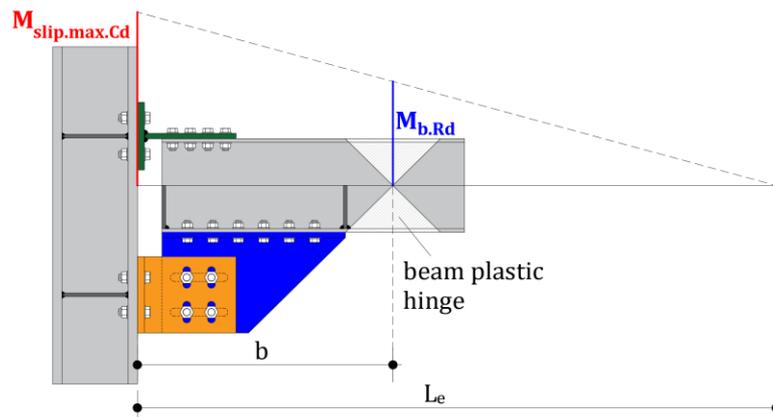


## 7° step: Progetto degli L-stubs



- Il Progetto dello spessore degli L-stubs soggetti alla forza di trazione  $F_{slip.max.Cd}$ ,  $t_L$  può essere effettuato in modo analogo ai T-stub;
- L'anima dell' L-stub deve essere verificata considerando il meccanismo di rottura a strappamento considerando la lunghezza delle asole verticali  $s_v$  determinate in modo da accomodare le rotazioni di progetto

## 8° step: Verifica della trave e Progetto degli irrigidimenti della trave



La trave è una zona non dissipativa e deve essere protetta verificando che il momento flettente in corrispondenza della cerniera plastica sia inferiore o uguale alla resistenza di progetto della trave:

$$M_{slip.max.Cd} \frac{L_e - b}{L_e} \leq M_{b.Rd}$$

Per evitare l'instabilità locale dell'anima della trave, è necessario aggiungere due irrigidimenti alle estremità del dispositivo.

## Procedura di progetto



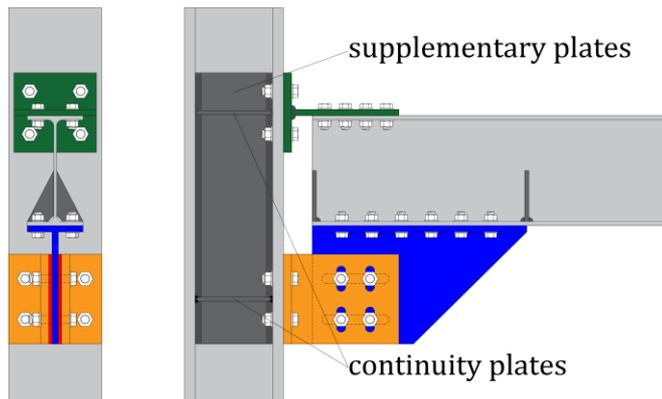
# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## 9° step: Verifica della Colonna e Progetto di irrigidimenti aggiuntivi d'anima

VFC - Configurazione



Verifica della zona del pannello effettuata considerando una forza di taglio pari a  $2F_{slip,max,Cd}$  nel caso di nodi interni

per rafforzare la zona del pannello possono essere adottati irrigidimenti come piastre di continuità.

Verifica della flangia della colonna in flessione mediante una modellazione equivalente a T-stub come suggerito da EC3 Parte 1-8 considerando una forza di trazione pari a  $F_{slip,max,Cd}$

per rinforzare le flange delle colonne si possono adottare piastre di continuità e/o piastre di supporto.

*freedom*

**Procedura di progetto**

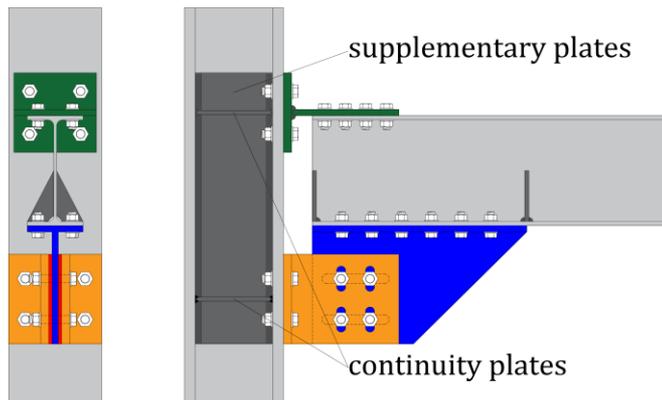
# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## 9° step: Verifica della Colonna e Progetto di irrigidimenti aggiuntivi d'anima

VFC - Configurazione



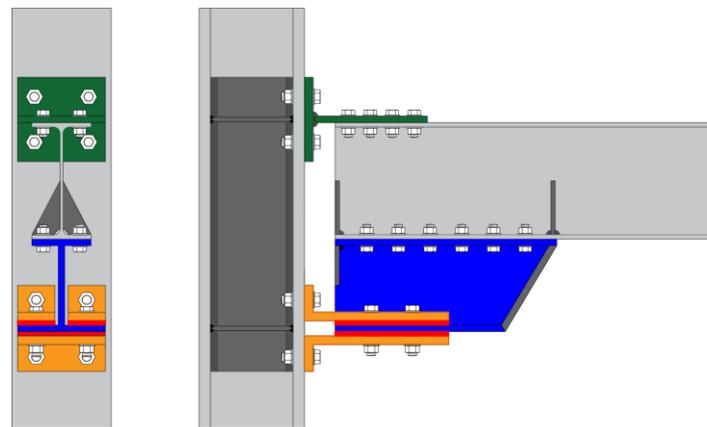
Verifica della zona del pannello effettuata considerando una forza di taglio pari a  $2F_{slip,max,Cd}$  nel caso di nodi interni

per rafforzare la zona del pannello possono essere adottati irrigidimenti come piastre di continuità.

Verifica della flangia della colonna in flessione mediante una modellazione equivalente a T-stub come suggerito da EC3 Parte 1-8 considerando una forza di trazione pari a  $F_{slip,max,Cd}$

per rinforzare le flange delle colonne si possono adottare piastre di continuità e/o piastre di supporto.

HFC - Configurazione



La procedura di progetto step-by-step per giunti ad attrito con SFD verticali può essere facilmente specificata per il caso del collegamento con dispositivo orizzontale.

- I passaggi 1,2,5,6,8,9 possono essere mantenuti uguali.
- Gli altri passaggi devono essere leggermente modificati considerando le specificità della configurazione del giunto con SFD orizzontali

***Tutti i dettagli sono disponibili nel Capitolo 7 dei documenti informativi***

***Procedura di progetto***

# CONTENUTI



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

1. *Connessioni FREEDAM*
2. *Procedura di progetto dei collegamenti FREEDAM*
3. *Esempio*

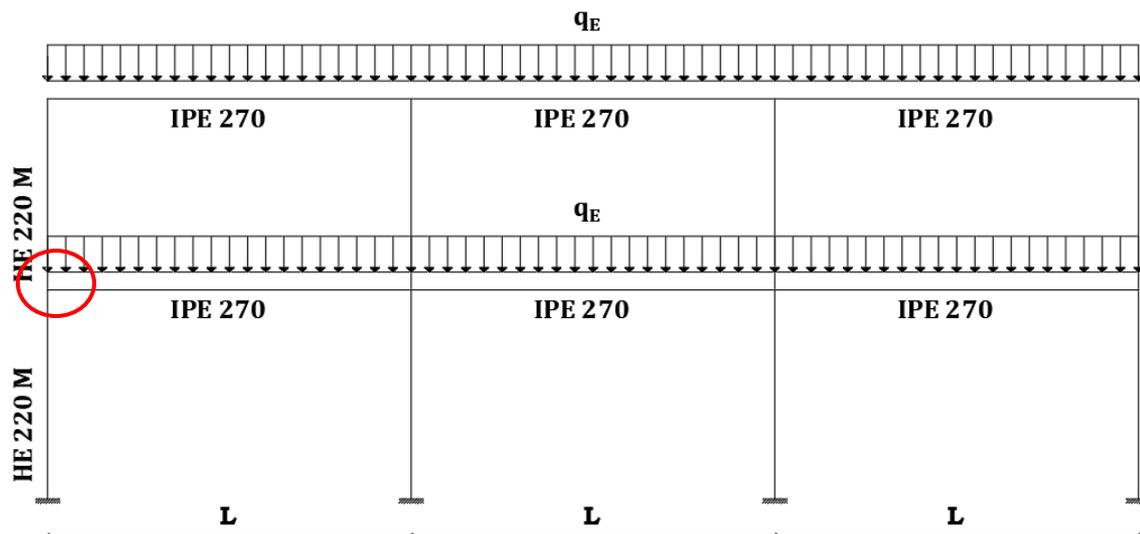


# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

Progetto della connessione trave-colonna esterna di una struttura precedentemente analizzata :



## Input data:

Profilo della trave: IPE270    Profilo della colonna : HE220M    Acciaio: S355    Bulloni: 10.9 HR

Acciaio del dispositivo ad attrito: AISI304    Materiale ad attrito: M4    Braccio di leva (z): 450mm

Fattore di utilizzo m trave:  $\bar{m} = \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = 0.84$     Rotazione del giunto ( $\phi$ ): 0.06 rad

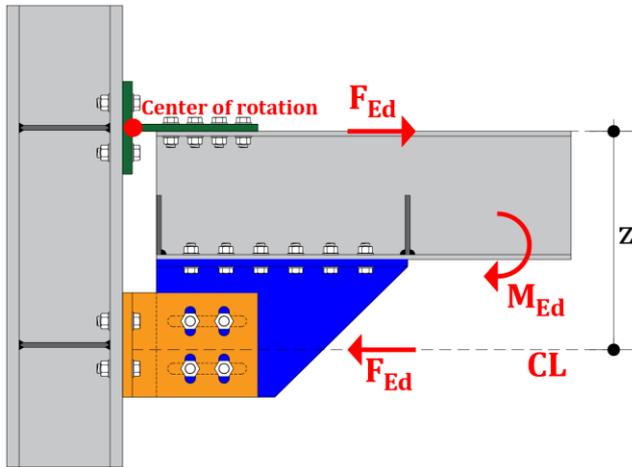
*freedom*

**Esempio guidato**

# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



**1° step:** Progetto dei bulloni del dissipatore ad attrito



Il rapporto tra momento flettente di progetto e braccio di leva fornisce  $F_{Ed}$ :

$$F_{Ed} = \frac{\bar{m} \cdot M_{b,Rd}}{z} = \frac{0.84 \cdot 171.82}{0.45} \cong 321 \text{ kN}$$

La forza di scorrimento del dispositivo è:

$$F_{slip} = \frac{\mu_{s,lower} F_{p,lt} n_b n_s}{\gamma_{Mf}}$$

$$\mu_{s,lower} = 0.69 \quad F_{p,lt} = \psi 0.70 f_{ub} A_s \quad n_b = 4 \quad n_s = 2 \quad \gamma_{Mf} = 1.162$$

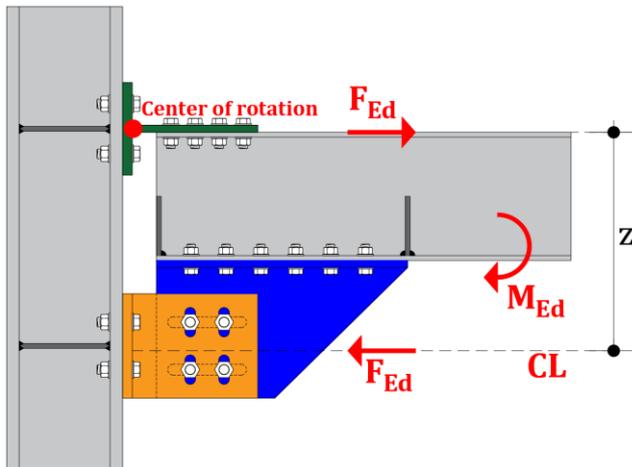
VFC - Configurazione



# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



**1° step:** Progetto dei bulloni del dissipatore ad attrito



Il rapporto tra momento flettente di progetto e braccio di leva fornisce  $F_{Ed}$ :

$$F_{Ed} = \frac{\bar{m} \cdot M_{b,Rd}}{z} = \frac{0.84 \cdot 171.82}{0.45} \cong 321 \text{ kN}$$

La forza di scorrimento del dispositivo è :  $F_{slip} = \frac{\mu_{s,lower} F_{p,lt} n_b n_s}{\gamma_{Mf}}$

$$\mu_{s,lower} = 0.69 \quad F_{p,lt} = \psi \cdot 0.70 f_{ub} A_s \quad n_b = 4 \quad n_s = 2 \quad \gamma_{Mf} = 1.162$$

$\psi \leq 1.0$  è un fattore di riduzione del precarico dei bulloni da applicare per ridurre l'usura delle superfici di contatto e/o prevenire fenomeni di stick and slip

VFC - Configurazione



# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

**1° step:** Progetto dei bulloni del dissipatore ad attrito

$$F_{Ed} = \frac{\bar{m} \cdot M_{b,Rd}}{z} = \frac{0.84 \cdot 171.82}{0.45} \cong 321 \text{ kN}$$

$$F_{slip} = \frac{\mu_{s,lower} F_{p,lt} n_b n_s}{\gamma_{Mf}}$$

$$\xrightarrow[\psi=1.0; d_b = 20\text{mm}]{F_{Ed} = F_{slip}} n_{b,min} = \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{Mf}}{\mu_{s,lower} \cdot F_{p,lt} \cdot n_s} = \frac{321 \cdot 1.162}{0.69 \cdot 171.53 \cdot 2} = 1.57 \quad \mathbf{n_b = 4}$$

# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



**1° step:** Progetto dei bulloni del dissipatore ad attrito

$$F_{Ed} = \frac{\bar{m} \cdot M_{b,Rd}}{z} = \frac{0.84 \cdot 171.82}{0.45} \cong 321 \text{ kN}$$

$$F_{slip} = \frac{\mu_{s,lower} F_{p,lt} n_b n_s}{\gamma_{Mf}}$$

$$\xrightarrow[\psi=1.0; d_b = 20\text{mm}]{F_{Ed} = F_{slip}} n_{b,min} = \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{Mf}}{\mu_{s,lower} \cdot F_{p,lt} \cdot n_s} = \frac{321 \cdot 1.162}{0.69 \cdot 171.53 \cdot 2} = 1.57 \quad n_b = 4$$

$$\downarrow \begin{matrix} F_{Ed} = F_{slip} \\ n_b = 4 \end{matrix}$$

$$\psi = \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{Mf}}{\mu_{s,lower} n_{b,act} n_s \cdot (0.70 f_{ub} A_s)} = \frac{321 \cdot 1.162}{0.69 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 171.53} = 0.40$$

$$F_{p,lt} = 0.40 \cdot 0.70 f_{ub} A_s = 68.61 \text{ kN}$$

VFC - Configurazione



# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



**1° step:** Progetto dei bulloni del dissipatore ad attrito

$$F_{Ed} = \frac{\bar{m} \cdot M_{b,Rd}}{z} = \frac{0.84 \cdot 171.82}{0.45} \cong 321 \text{ kN}$$

$$F_{slip} = \frac{\mu_{s,lower} F_{p,lt} n_b n_s}{\gamma_{Mf}}$$

$$\overset{F_{Ed} = F_{slip}}{\psi=1.0; d_b = 20\text{mm}} n_{b,min} = \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{Mf}}{\mu_{s,lower} \cdot F_{p,lt} \cdot n_s} = \frac{321 \cdot 1.162}{0.69 \cdot 171.53 \cdot 2} = 1.57 \quad n_b = 4$$

$$\downarrow \begin{matrix} F_{Ed} = F_{slip} \\ n_b = 4 \end{matrix}$$

$$\psi = \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{Mf}}{\mu_{s,lower} n_{b,act} n_s \cdot (0.70 f_{ub} A_s)} = \frac{321 \cdot 1.162}{0.69 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 171.53} = 0.40$$

$$F_{p,lt} = 0.40 \cdot 0.70 f_{ub} A_s = 68.61 \text{ kN}$$

Il valore di progetto della forza di precarico iniziale necessaria per valutare la coppia da applicare per il serraggio dei bulloni è dato da:

$$F_{p,0} = \gamma_{lt} \cdot F_{p,lt} = 1.15 \cdot 68.61 \text{ kN} = 78.90 \text{ kN}$$

$\gamma_{lt} = 1.15$  è un fattore che tiene conto delle perdite attese di precarico dei bulloni che si verificano durante il ciclo di vita della struttura



# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## 2° step: Azioni di Progetto per le component non-dissipative

La forza assiale da adottare per il progetto dei T-stub, L-stubs, e pannello nodale è uguale a :

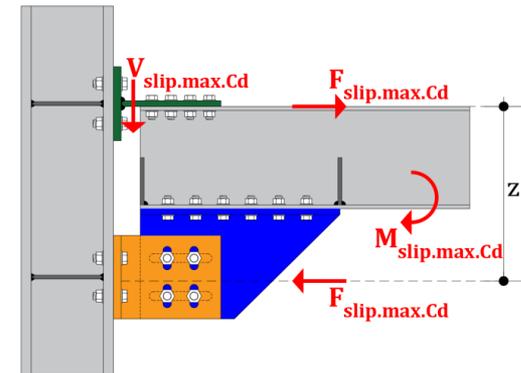
$$F_{slip.max.Cd} = \Omega_{Cd} \cdot F_{slip} = \Omega_{Cd} \cdot \Omega_{dyn} \cdot \frac{\mu_{s.lower} n_b n_s F_{p,lt}}{\gamma_{Mf}} = 1.56 \cdot 1 \cdot \frac{0.69 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 68.61}{1.162} = 508.89 kN$$

Il corrispondente momento flettente di progetto è uguale a :

$$M_{slip.max.Cd} = F_{slip.max.Cd} \cdot z = 508.89 \cdot 0.45 = 229 kNm$$

Considerando il layout sperimentale la forza di taglio nella connessione può essere calcolata come:

$$V_{slip.max.Cd} = \frac{2F_{slip.max.Cd} \cdot z}{(L - 2a)} + q_{E,d} \frac{(L - 2a)}{2} = 160.14 kN$$



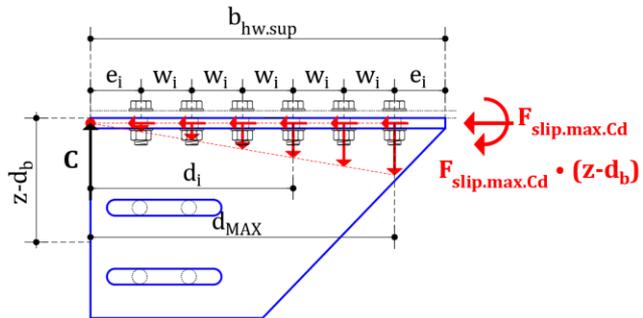
*Esempio guidato*



# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



## 3° step: Progetto del ringrosso di flangia



Lo spessore della flangia del ringrosso  $t_{hf}$  è progettato almeno pari allo spessore della flangia della trave  $\rightarrow t_{hf} = 15\text{mm}$

La geometria della flangia è definita mediante una procedura per tentativi ed errori fissando:

- Il numero delle file dei bulloni  $\rightarrow 6\text{ rows}$
- Il diametro dei bulloni  $\rightarrow M18$
- Il passo  $w_i$  e la distanza delle file di bulloni finali dal bordo  $e_i \rightarrow 72.1\text{ mm}$

Conseguentemente, la larghezza  $b_{hw,sup}$  risulta uguale a  $520\text{mm}$ .

Con questi presupposti, la verifica dei bulloni che collegano la flangia della trave all'ala inferiore della trave viene effettuata con le seguenti azioni:

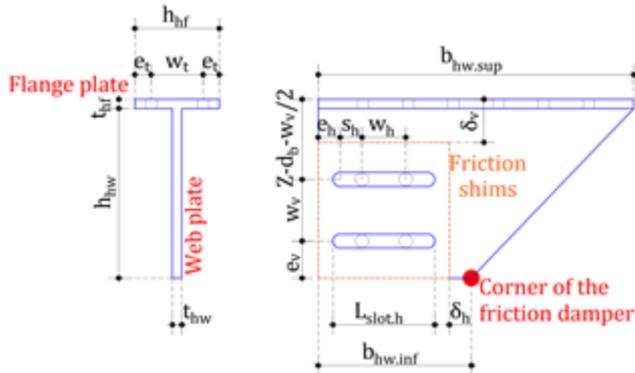
$$F_{t,Ed,max} = \frac{F_{slip,max,Cd} \cdot (z - d_b) \cdot d_{MAX}}{2 \cdot \sum_{i=1}^{n_b} d_i} = 42.41\text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = \frac{F_{slip,max,Cd}}{2 \cdot n_b} = 41.34\text{ kN}$$

# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



## 4° step: Progetto dell'anima del ringrosso



- La forma e la dimensione dell'anima del ringrosso sono derivate da considerazioni geometriche a seconda di:
- Diametro dei fori ( $d_0$ )  $\rightarrow$  **22mm**
- Numero dei bulloni del dissipatore ( $n_{b,act}$ )  $\rightarrow$  **4**
- La dimensione  $b_{hw,sup}$   $\rightarrow$  **520mm**
- La grandezza degli spessori ad attrito
- La lunghezza dei fori asolati ( $L_{slot,h}$ )

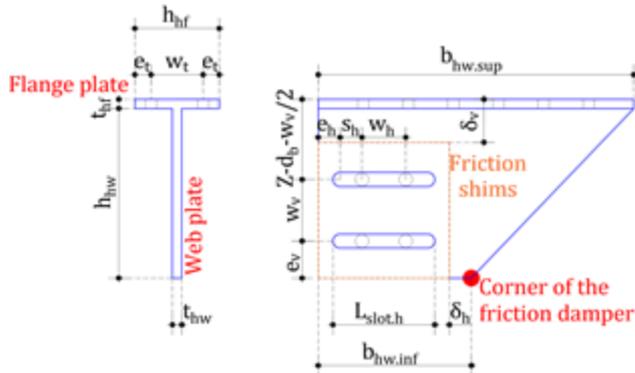
VFC - Configurazione



# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



## 4° step: Progetto dell'anima del ringrosso



- La forma e la dimensione dell'anima del ringrosso sono derivate da considerazioni geometriche a seconda di:
- Diametro dei fori ( $d_0$ )  $\rightarrow 22mm$
- Numero dei bulloni del dissipatore ( $n_{b,act}$ )  $\rightarrow 4$
- La dimensione  $b_{hw,sup}$   $\rightarrow 520mm$
- La grandezza degli spessori ad attrito
- La lunghezza dei fori asolati ( $L_{slot,h}$ )

Al fine di definire la grandezza degli spessori ad attrito sono stati fissati i seguenti parametri geometrici:

- Distanza orizzontale  $\rightarrow w_h=70mm$
- Distanza orizzontale dal bordo  $\rightarrow e_h=35mm$
- Distanza verticale  $\rightarrow w_v=100mm$
- Distanza verticale della fessura dal bordo  $\rightarrow e_v=60mm$

La lunghezza delle asole orizzontali può essere calcolato come:

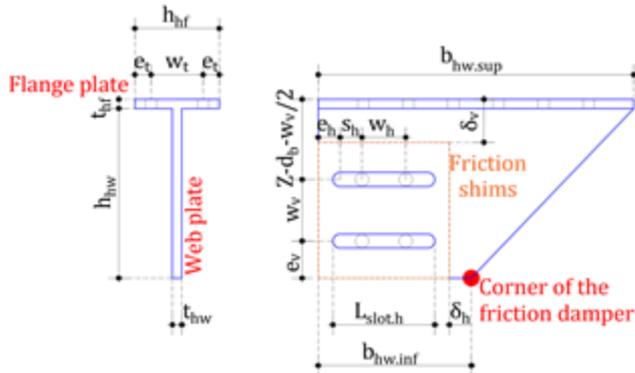
$$L_{slot,h,min} = \left(\frac{n_{b,act}}{2} - 1\right) \cdot w_h + d_0 + 2 \cdot \phi \cdot \left(z + \frac{w_v}{2}\right) = 152mm \quad \rightarrow L_{slot,h} = 163mm$$



# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



## 4° step: Progetto dell'anima del ringrosso



- La forma e la dimensione dell'anima del ringrosso sono derivate da considerazioni geometriche a seconda di:
- Diametro dei fori ( $d_0$ )  $\rightarrow 22\text{mm}$
- Numero dei bulloni del dissipatore ( $n_{b,act}$ )  $\rightarrow 4$
- La dimensione  $b_{hw,sup}$   $\rightarrow 520\text{mm}$
- La grandezza degli spessori ad attrito
- La lunghezza dei fori asolati ( $L_{slot,h}$ )

Al fine di definire la grandezza degli spessori ad attrito sono stati fissati i seguenti parametri geometrici:

- Distanza orizzontale  $\rightarrow w_h = 70\text{mm}$
- Distanza orizzontale dal bordo  $\rightarrow e_h = 35\text{mm}$
- Distanza verticale  $\rightarrow w_v = 100\text{mm}$
- Distanza verticale della fessura dal bordo  $\rightarrow e_v = 60\text{mm}$

La lunghezza delle asole orizzontali può essere calcolato come:

$$L_{slot,h,min} = \left( \frac{n_{b,act}}{2} - 1 \right) \cdot w_h + d_0 + 2 \cdot \phi \cdot \left( z + \frac{w_v}{2} \right) = 152\text{mm} \quad \rightarrow L_{slot,h} = 163\text{mm}$$

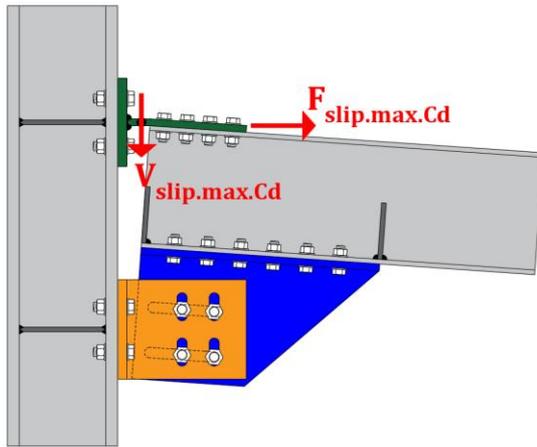
Considerando semplici osservazioni geometriche  $\rightarrow b_{hw,inf} = 245\text{mm}$  ;  $h_{hw} = 275\text{mm}$  ;  $\delta_h = 35\text{mm}$

Per mezzo della verifica net-tension  $F_{slip,max.Cd} = \frac{0.9A_{net}f_{yh}}{\gamma_{M2}} \rightarrow t_{hw} = 15\text{mm}$

# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



## 5° step: Progetto della flangia del T-stub

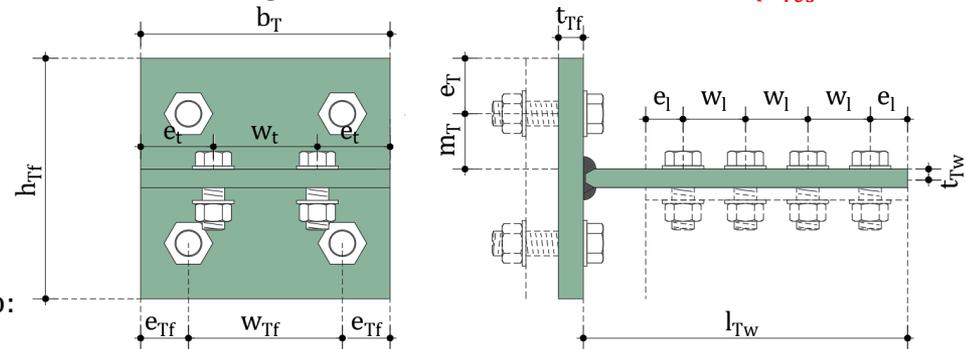


I bulloni che collegano il T-stub alla colonna devono essere verificati contro la forza assiale e il taglio considerando la combinazione di  $V_{slip.max.Cd}$  e  $F_{slip.max.Cd}$ . Le azioni nel bullone sono:

$$F_{t,Ed} = \frac{F_{slip.max.Cd}}{n_b} = \frac{508890}{4} = 127.22 \text{ kN} \quad F_{V,Ed} = \frac{V_{slip.max.Cd}}{n_b} = \frac{160.14}{4} = 40.03 \text{ kN}$$

L'area netta del bullone è calcolata seguendo EC3 Part 1-8

→ M20 ( $A_{res} = 245 \text{ mm}^2$ )



La dimensione della flangia T-stub si ricava considerando:

- Distanze orizzontali dei bulloni  
 $b_T = 2 \cdot e_{Tf} + w_{Tf} = 2 \cdot 38.3 + 123.4 = 200 \text{ mm}$
- La distanza tra l'asse del bullone e la cerniera plastica localizzata sul T-stub  $m_T = 45 \text{ mm}$
- La distanza tra la linea del bullone e l'estremità del piatto  $e_T = n_T = 38.3 \text{ mm}$

Lo spessore di flangia  $t_{Tf}$  può essere progettato considerando l'azione di progetto  $F_{slip.max.Cd}$  e la possibile occorrenza di meccanismi di rottura di tipo-1 e tipo-2.

$$F_{slip.max.Cd} = \min\{F_{Rd.Type-1}; F_{Rd.Type-2}\} \rightarrow t_{Tf} = 20 \text{ mm}$$

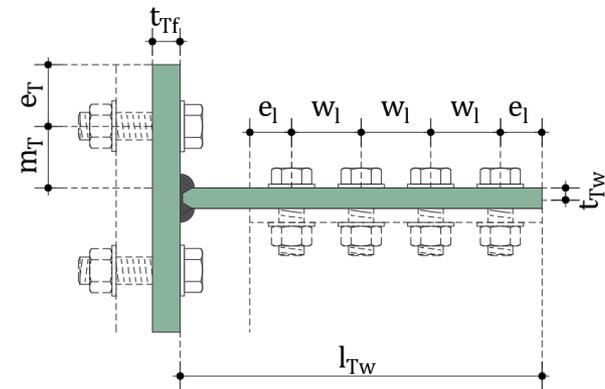
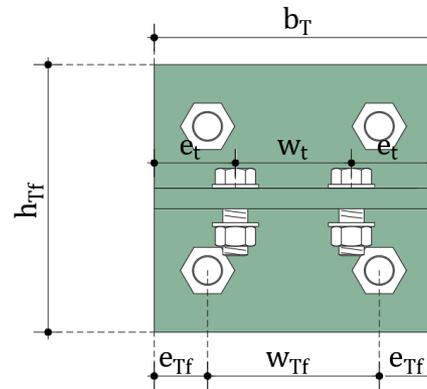
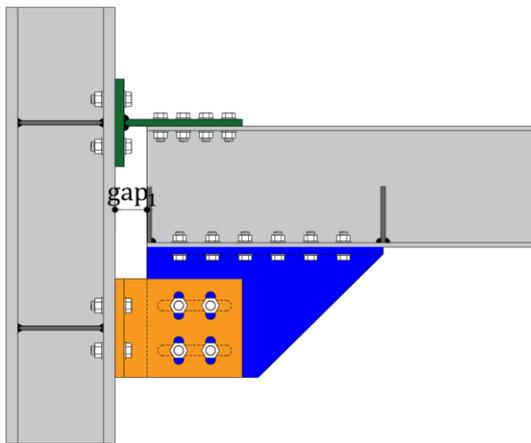
Esempio guidato



# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



## 6° step: Progetto dell'anima del T-stub



Lo spessore dell'anima del T-stub  $t_{Tw}$  può essere progettato in modo da evitare l'interazione tra taglio e momento flettente. Ciò significa che  $t_{Tw}$  è progettato per portare una forza di taglio pari almeno a  $2V_{slip,max,Cd}$  (EC3 part 1.1). In aggiunta, al fine di semplificare le verifiche a rifollamento,  $t_{Tw}$  può essere selezionato per essere almeno uguale allo spessore della flangia della trave:

$$t_{Tw} = \max \left\{ \frac{V_{slip,max,Cd} \cdot \sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}{0.5 \cdot b_T \cdot f_{y,T}} = \frac{160.14 \cdot \sqrt{3} \cdot 1}{0.5 \cdot 200 \cdot 0.355} = 7.60mm; t_{bf} = 10.2mm \right\} \rightarrow t_{Tw} = 15mm$$

Le verifiche a rifollamento e a taglio (EC3 Part 1-8) sono effettuate in modo da definire il numero ed il diametro dei bulloni che connettono il T-stub alla flangia della trave

→ 4 rows of M18

Per definire completamente la geometria, la grandezza minima del gap trave-colonna deve essere determinato:

$$gap_1 \geq t_{Tf} + 2 t_{Tw} = 50mm \rightarrow 70mm$$



$$h_{Tw} = 200mm \text{ and } b_{Tw} = 260mm$$

**Esempio guidato**



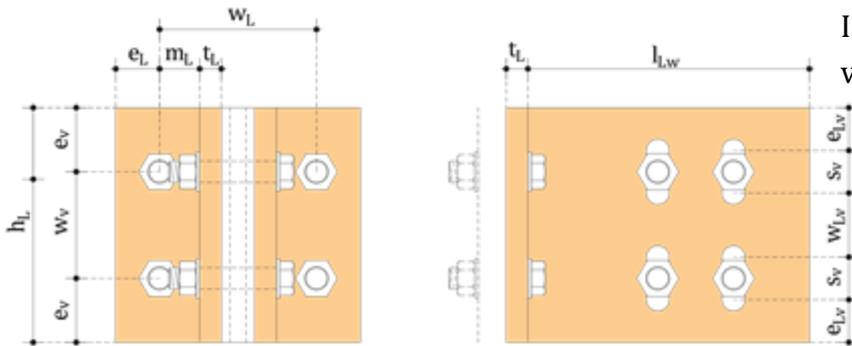
# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



## 7° step: Progetto degli L-stub

I bulloni che connettono l'elemento L-stub alla colonna devono essere verificati per la forza assiale  $F_{slip,max.cd}$ . L'azione nel bullone è pari a:

$$F_{t,Ed} = \frac{F_{slip,max.cd}}{n_b} = \frac{508890}{4} = 127.22 \text{ kN} \rightarrow M20 (A_{res} = 245 \text{ mm}^2)$$



La grandezza della flangia dell'L-stub è derivata considerando:

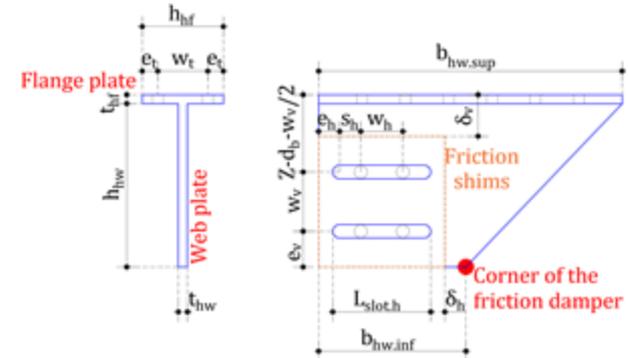
- Distanza orizzontale tra i bulloni  $\rightarrow w_L = 145 \text{ mm}$
- La distanza tra l'asse del bullone e la cerniera plastica localizzata sul T-stub  $m_L = 37 \text{ mm}$
- La distanza tra la linea del bullone e l'estremità del piatto  $e_L = n_L = 40.5 \text{ mm}$

I parametri definiti allo step 4 relativi alla definizione della geometria

$$\rightarrow h_L = 2 \cdot e_v + w_v = 2 \cdot 60 + 100 = 220 \text{ mm}$$

Lo spessore  $t_L$  può essere progettato considerando l'azione di progetto  $F_{slip,max.cd}$  e la possibile occorrenza di meccanismi di rottura di tipo-1 e tipo-2.

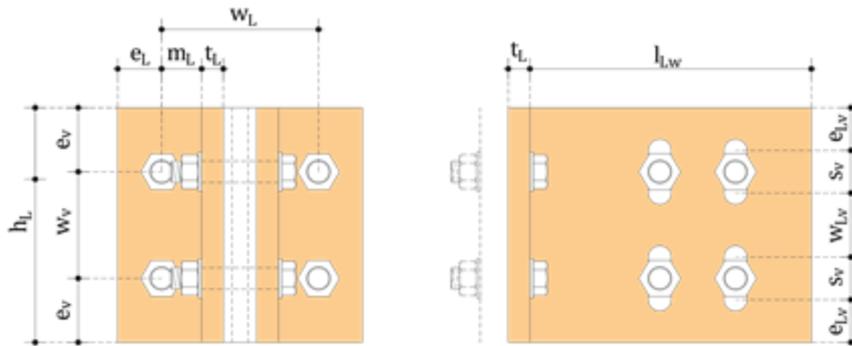
$$F_{slip,max.cd} = \min\{F_{Rd,Type-1}; F_{Rd,Type-2}\} \rightarrow t_L = 20 \text{ mm}$$



# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



## 7° step: Progetto degli L-stub



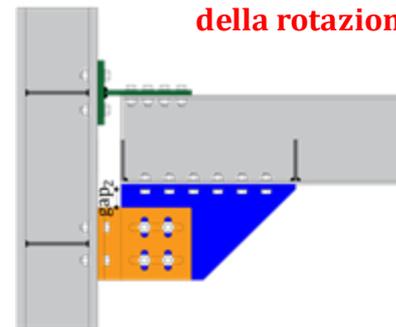
L'asola verticale può essere determinata in modo da assecondare la rotazione di progetto evitando l'impiego dei bulloni a taglio:

$$L_{slot,v,min} = s_v + 2d_0 = \phi \cdot [gap_1 + e_h + s_h + w_h] + 2d_0 = 0.06 \cdot [70 + 35 + 35.5 + 70] = 47.26 \text{ mm} \rightarrow L_{slot,v} = 61.5 \text{ mm}$$

Verifiche geometriche:  $\delta_v = \phi \cdot (l_{Lw} + t_L) = 16.86 \text{ mm} < gap_2 = (h_{hw} - h_L) = 55 \text{ mm}$

where  $l_{Lw} = gap_1 - t_L + L_{slot,h} + 2e_h - d_0 = 260 \text{ mm}$

**Il bordo superiore degli snodi a L non tocca la piastra della flangia del ringrosso al raggiungimento della rotazione di progetto**



**Esempio guidato**

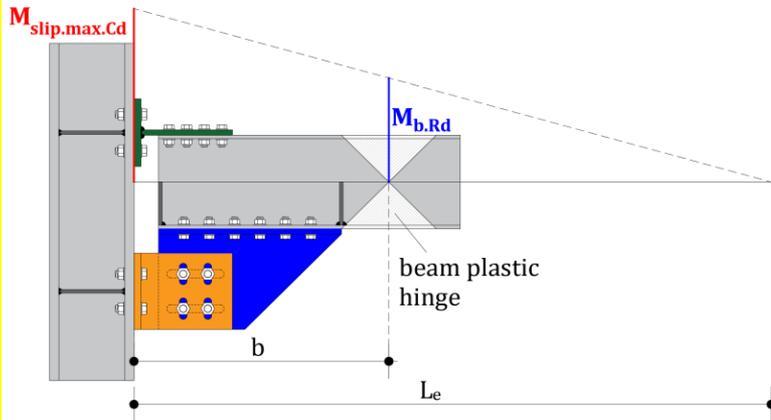


# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

**8° step:** Verifica della trave e Progetto degli irrigidimenti della trave

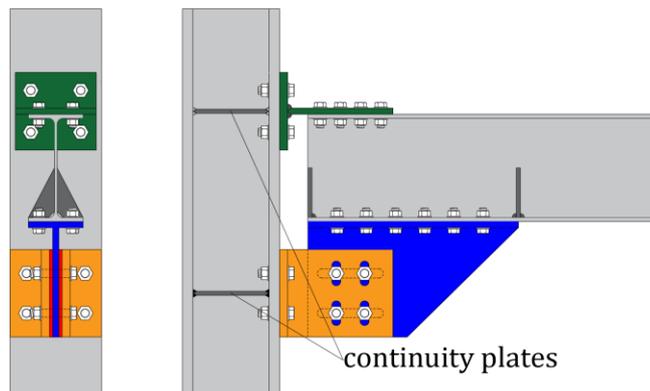


$$M_{slip.max.Cd} \frac{L_e - b}{L_e} \cong 112 \text{ kNm} \leq M_{b.Rd} = 171.82 \text{ kNm}$$

$L_e = 1.43\text{m}$  è la distanza tra il punto di applicazione della forza e la flangia della colonna

$b = 0.725\text{m}$  è la distanza tra la posizione potenziale della cerniera plastica e la flangia della colonna

**9° step:** Verifica della colonna e Progetto degli irrigidimenti della colonna



Secondo l'Eurocodice 3 Part1-8, sono richieste le verifiche della resistenza dell'anima della colonna a taglio, trazione e compressione e della flangia della colonna a flessione. Nel caso del campione analizzato, solo piatti di continuità con uno spessore pari a 10 mm sono stati localizzati dove l'azione  $F_{slip.max.Cd}$  è applicata.

**Esempio guidato**



# Progetto delle connessioni FREEDAM nel contesto degli Eurocodici



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

***Grazie per l'attenzione***

*freedam*



1 2 9 0  
UNIVERSIDADE D  
COIMBRA



# VENUE



## Valorization of knowledge on FREE from DAMAge Steel Connections Grant Agreement Number: 899321



## Comportamento delle connessioni FREEDAM: Evidenza sperimentale e simulazioni FEM

DISSEMINATION WORKSHOP of the  
FREEDAM PLUS Project

*Salerno, Italy*  
XX XXXXX 2022



# CONTENUTI



1. *Comportamento dei materiali ad attrito dei nodi FREEDAM*
2. *Risposta ciclica dei collegamenti trave-colonna*
3. *Simulazioni FEM dei collegamenti FREEDAM*



# Materiali ad attrito



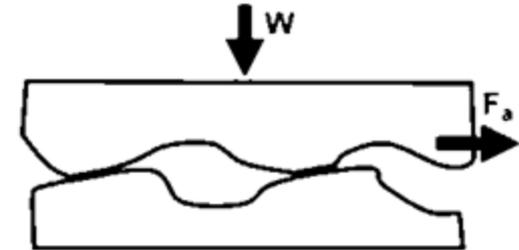
## Teoria di Bowden e Tabor

(*The friction and Lubrication of Solids*, 1950)

$$\mu = \frac{S_0}{\sigma_0}$$

Tensione critica a taglio del materiale più debole in contatto

Durezza del materiale in contatto più morbido



Leghe con durezza superficiale ( $HV < 30$ ) molto inferiore o molto superiore all'acciaio ( $HV = 160$ )



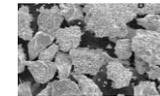
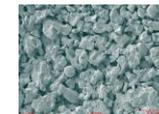
**Materiali "Soffice"** 5 metalli chiamati M1-M5 applicato per mezzo di rivestimento ad arco

**Materiali "Duri"**

2 carburi duri e 3M spessori ad attrito



**3M**



*Materiale realizzato con matrice di nichel + polvere di diamante per applicazioni ad attrito*

*freedom*

# Materiali ad attrito



## Macchina per test:

Schenck Hydropuls

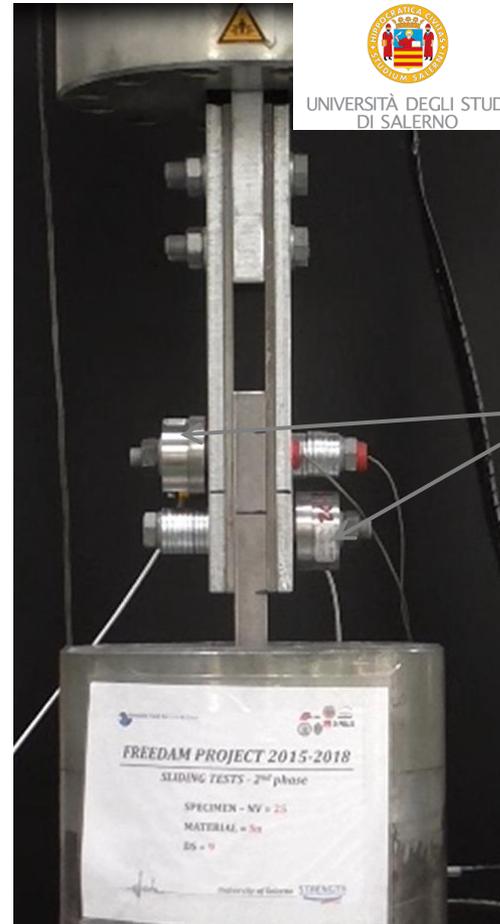
Corsa del pistone +/- 125 mm

Capacità +/- 630 kN

n° di test: 51

## Parametri

1. Tipo di rivestimento;
2. Forza di preserraggio (4 livelli);
3. Configurazione delle Disk springs (3 co.);
4. Variabilità del materiale ad attrito (10 test);



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## Cella di carico

+ OUTPUT  
(COMPRESSION)



Ferrante Cavallaro G, Francavilla A, Latour M, Piluso V, Rizzano G. (2016). Experimental behaviour of innovative thermal spray coating materials for FREEDAM joints. Composites Part B Engineering.

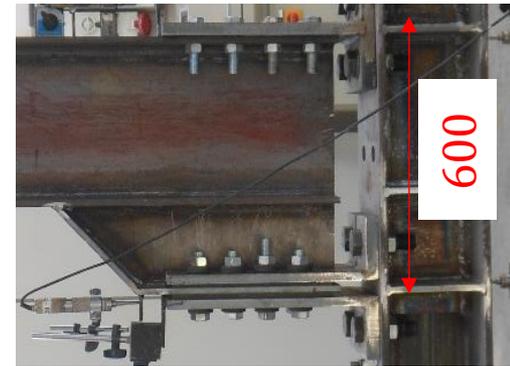
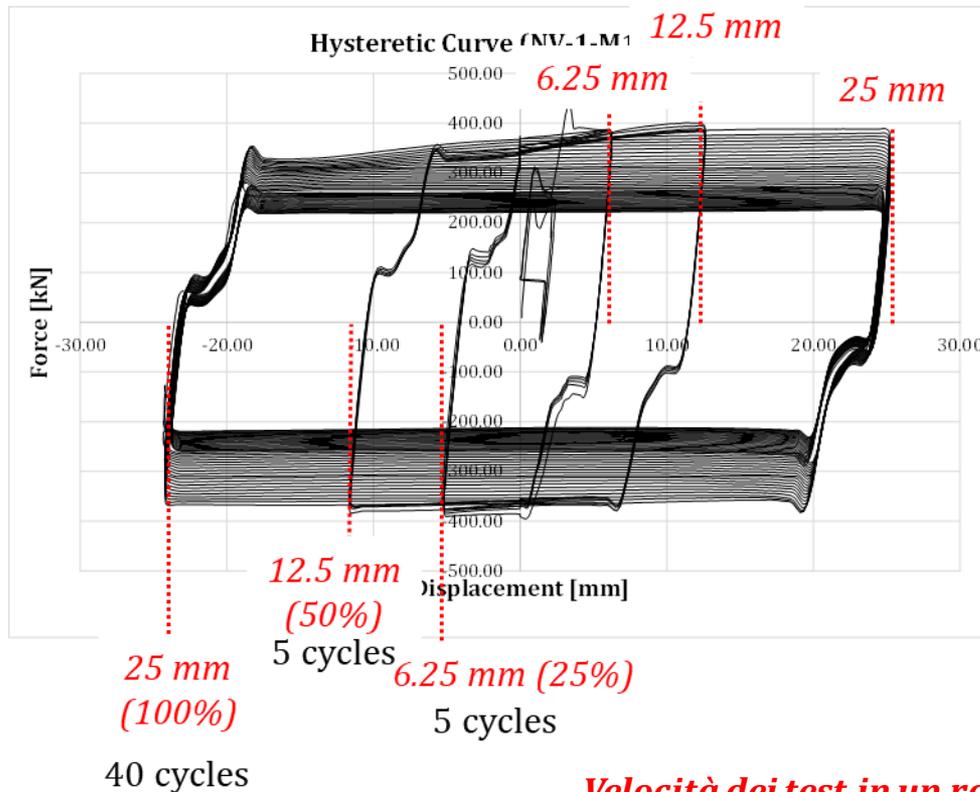
*freedom*

# Materiali ad attrito



## Protocollo di carico

Normativa di riferimento: *EN 15129:2009 – par.6 Dispositivi spostamento-dipendenti*



Ampiezza a livello del dispositivo ad attrito del collegamento

$$0.04 \cdot 600 = 24 \text{ mm} \cong 25 \text{ mm}$$

Massimo pre-carico dei bulloni:

$$Fd = 0.70 f_{ub} A_{res} = 171.5 \text{ kN}$$

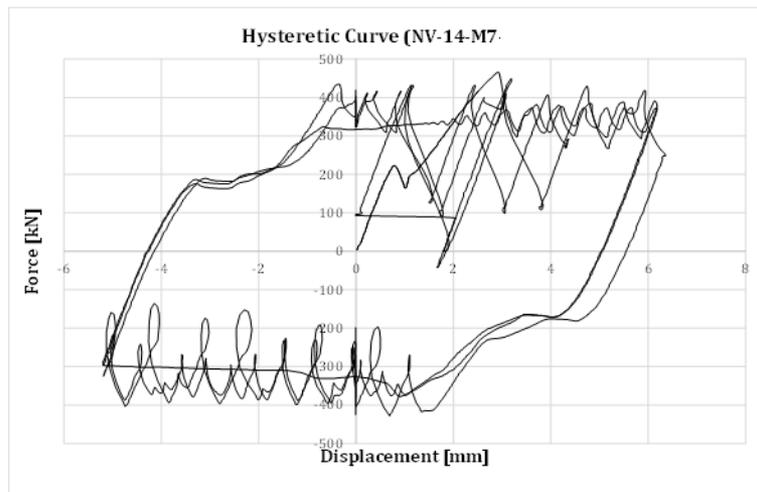
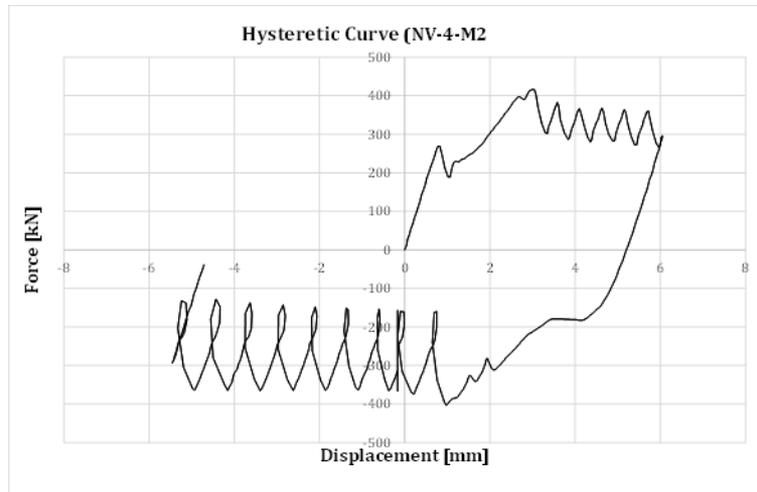
(corrisponde ad una coppia di serraggio  $\cong 450 \text{ Nm}$ );



**Velocità dei test in un range quasi-statico:  
1 mm/s per i primi 5 cicli – 4 mm/s per i cicli successivi**

*freedom*

# Materiali ad attrito



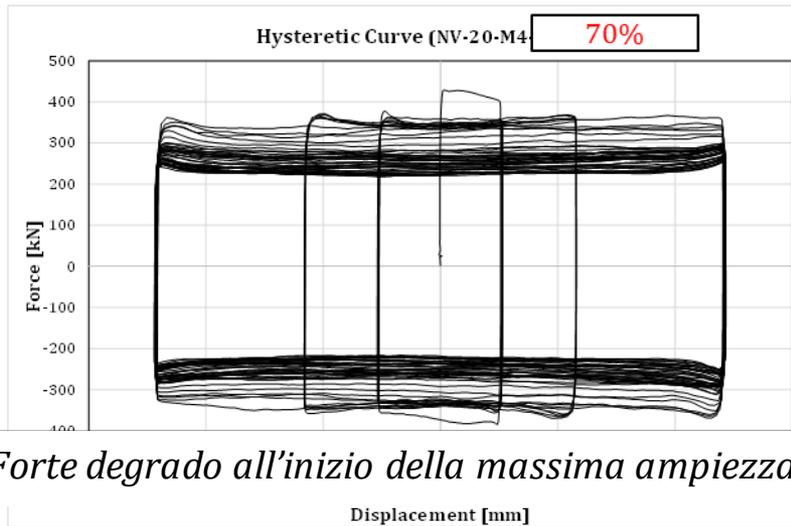
*Risposta "Stick and Slip" del coefficiente d'attrito di circa 0.4-0.5*

*freedom*

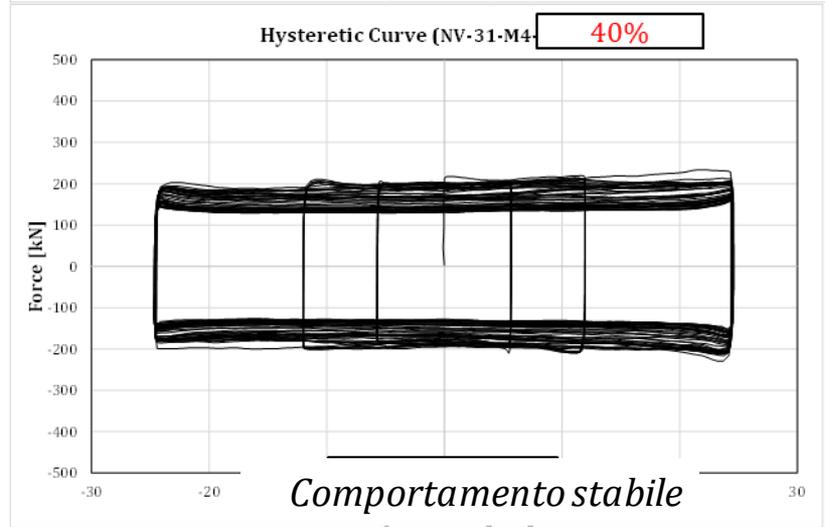
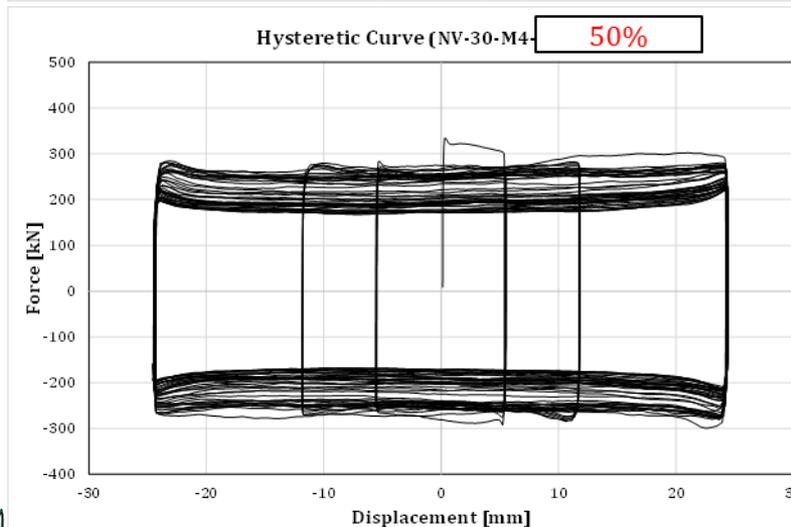
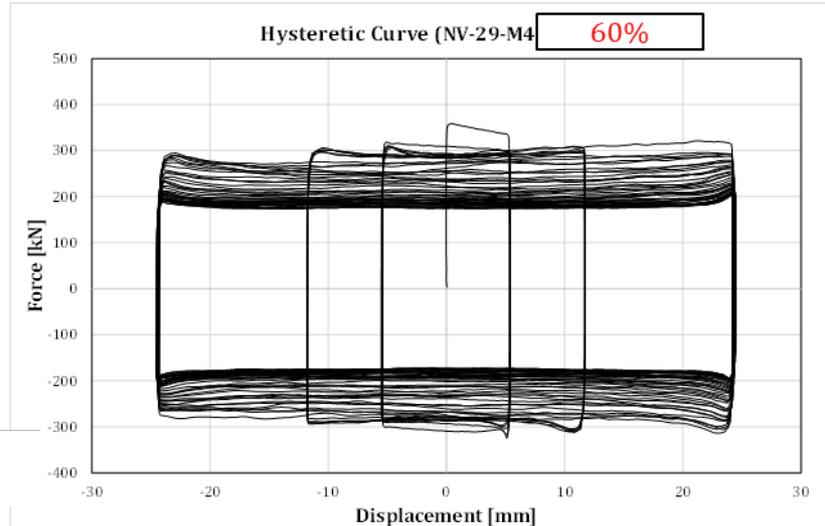
# Materiali ad attrito



## M4 - soffice



*Forte degrado all'inizio della massima ampiezza*



*Comportamento stabile*

# Materiali ad attrito



*M1*



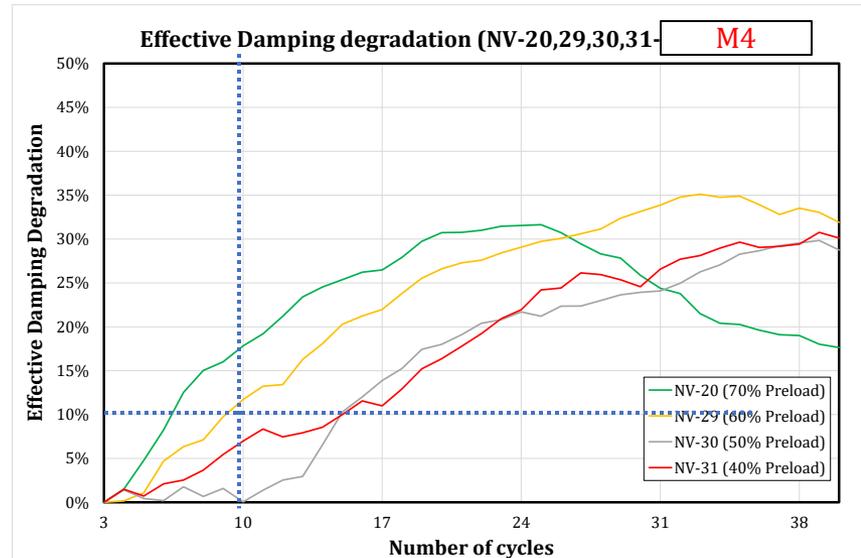
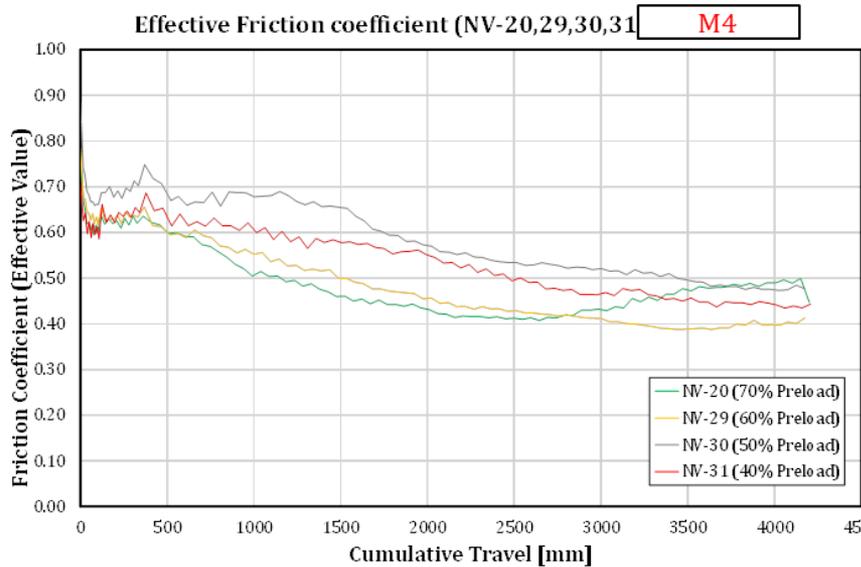
*M4*



# Materiali ad attrito



## M4 - soffice



$$\mu_{effective} = \frac{F_{slip,i}}{2(N_{b1,0} + N_{b2,0})}$$

$$\xi_{eff,i} = \frac{E_{diss,i}}{2\pi F_{slip,d} d_d} \quad \text{EN 15129}$$

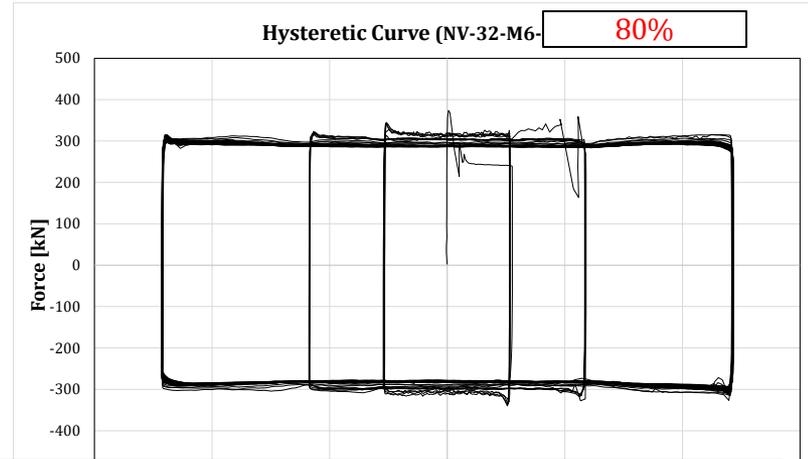
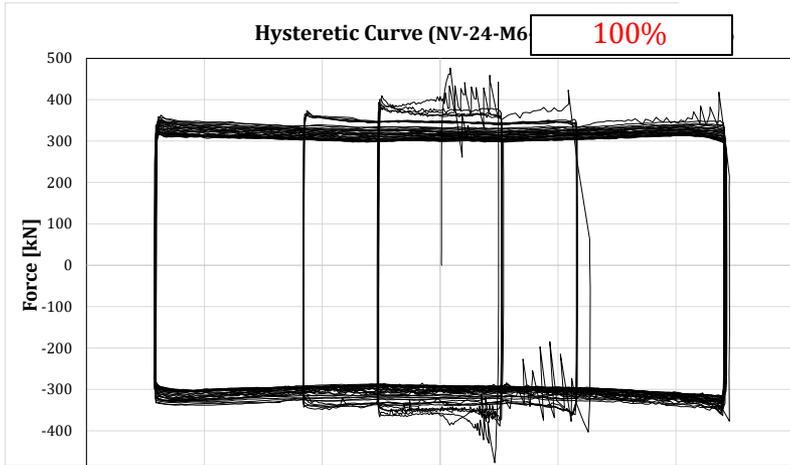
**Coefficienti di attrito iniziali molto simili. Almeno nella fase iniziale, il degrado è maggiore in caso di precarico maggiore**

*freedom*

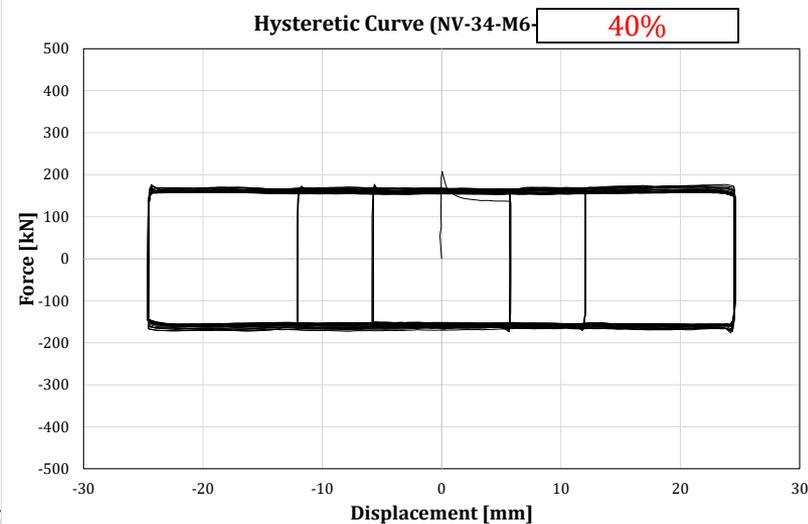
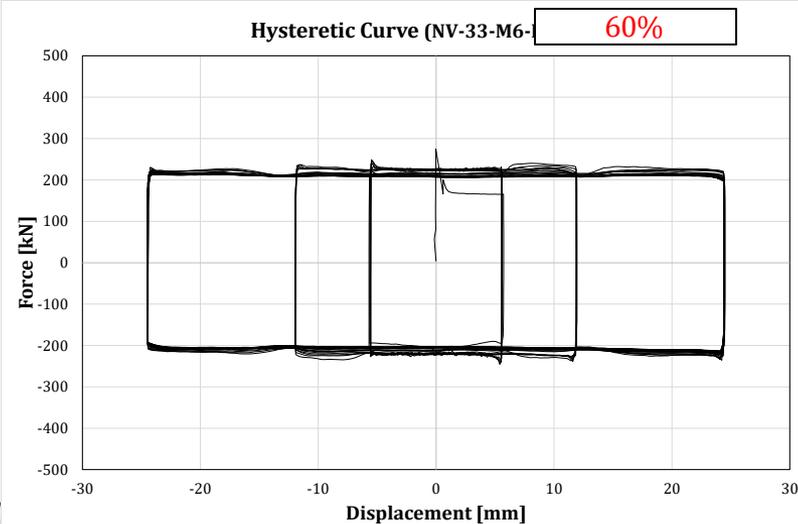
# Materiali ad attrito



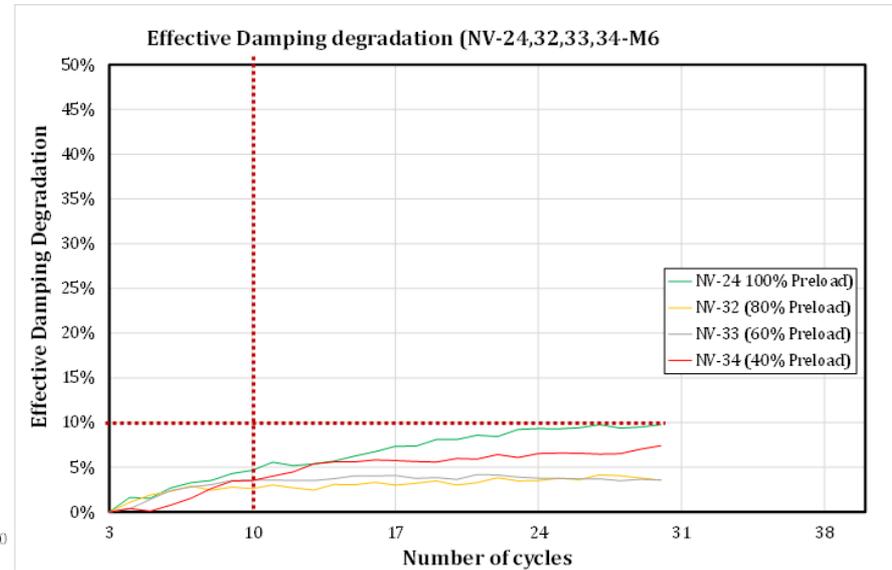
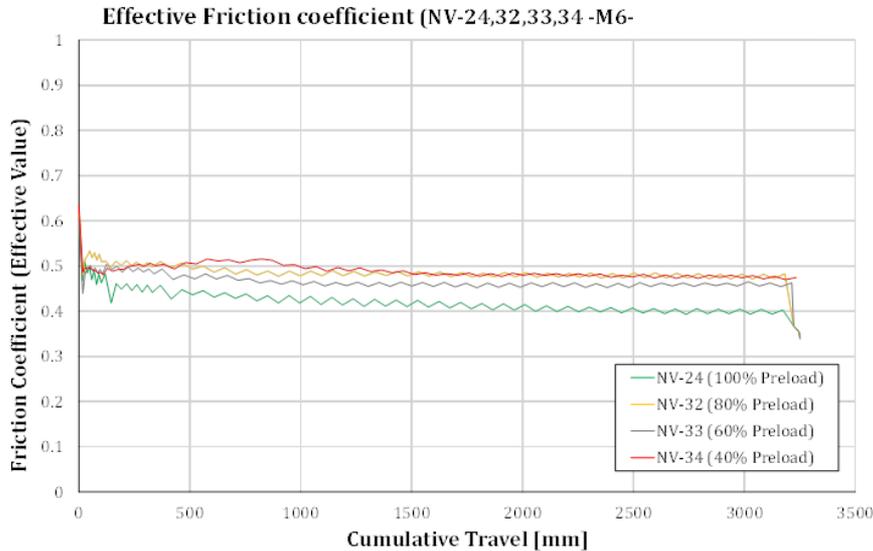
## M6 - Duri



*Il fenomeno «Stick and slip» scompare per un precarico inferiore al 60%*



## M6 - Duri



$$\mu_{effective} = \frac{F_{slip,i}}{2(N_{b1,0} + N_{b2,0})}$$

$$\xi_{eff,i} = \frac{E_{diss,i}}{2\pi F_{slip,d} d_d}$$

**EN 15129**

**La forza è molto stabile per precarichi inferiori all'80%. Il degrado energetico è sempre al di sotto del limite previsto dalla EN15129 anche al termine della prova (30 cicli).**

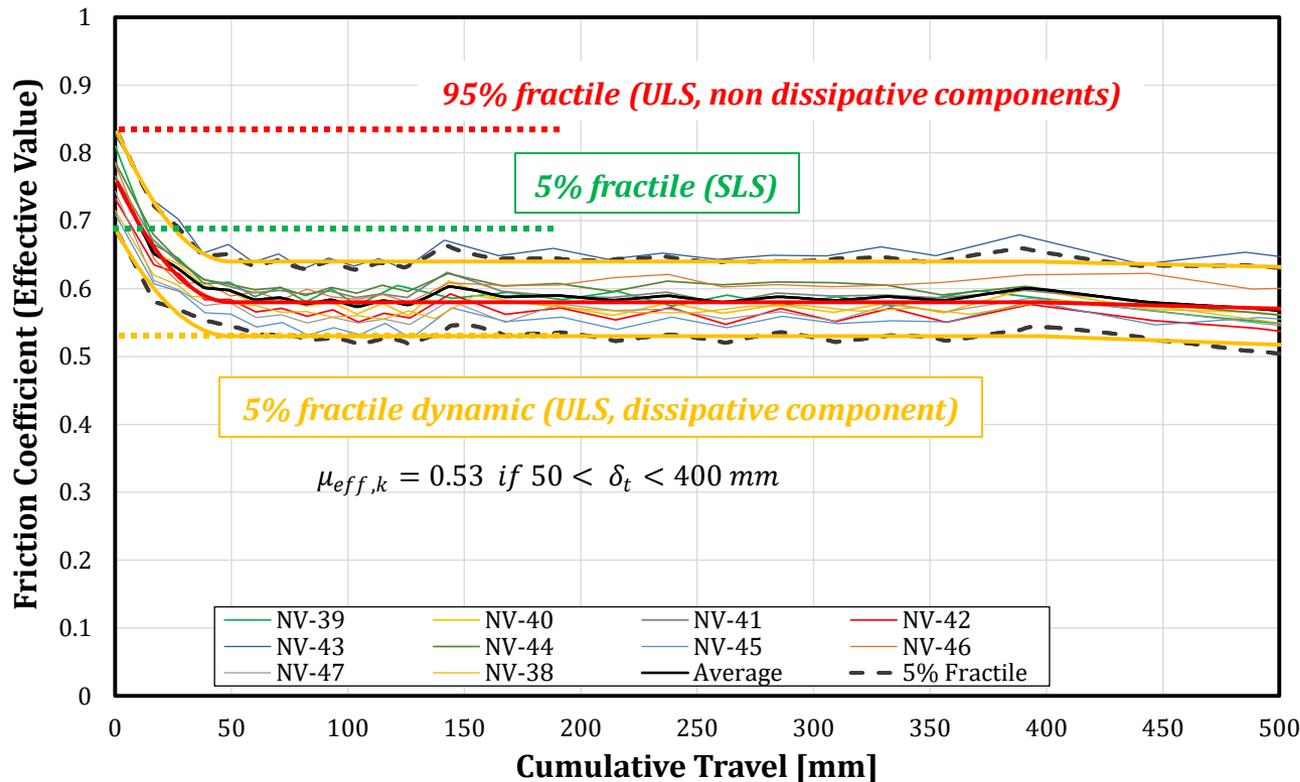
# Materiali ad attrito



M4

Effective Friction coefficient (NV-39/NV-47-M4-

## Static FCs



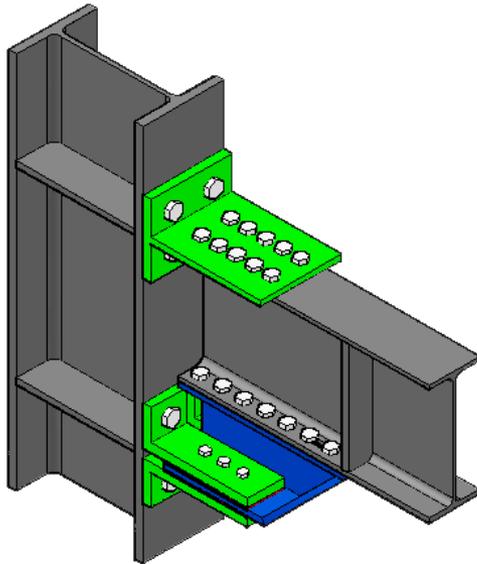
		$\mu_{0, effective}$	$\mu_{0, actual}$
NV	38	0.72	0.74
NV	39	0.81	0.85
NV	40	0.76	0.81
NV	41	0.77	0.80
NV	42	0.73	0.76
NV	43	0.83	0.86
NV	44	0.79	0.82
NV	45	0.71	0.74
NV	46	0.78	0.81
NV	47	0.74	0.77
	<b>MEDIA</b>	0.76	0.79
	<b>DEV ST</b>	0.04	0.041
	<b>CV</b>	0.05	0.052
	<b>Frattile 5%</b>	0.69	0.72
	<b>Frattile 95%</b>	0.84	0.87



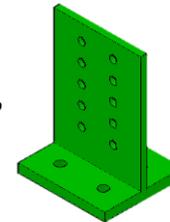
# Risposta ciclica di nodi esterni ed interni



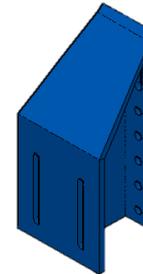
## Configurazione 1 – dispositivo ad attrito orizzontale



- *T-stub che lavora in tensione/compressione*



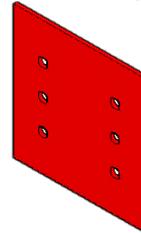
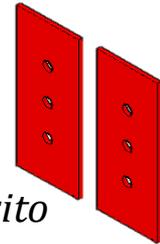
- *Rinforzo asolato e bullonato alla flangia della trave inferiore*



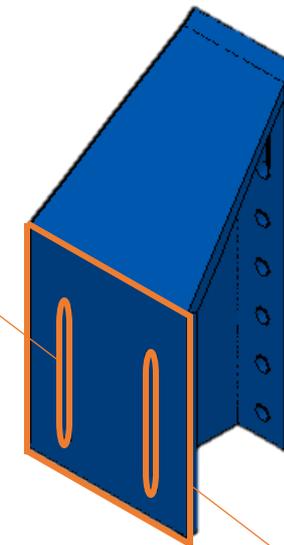
- *L-stubs che collegano il rinforzo alla colonna*



- *Spessori ad attrito*



Asole

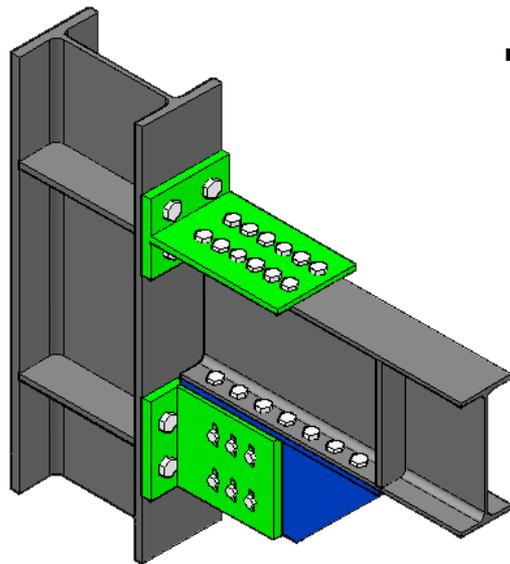


Elemento in acciaio inox

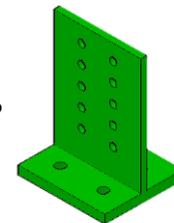
# Risposta ciclica di nodi esterni ed interni



## Configurazione 2 – dispositivo ad attrito verticale



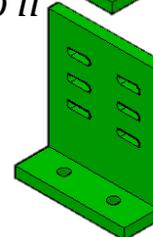
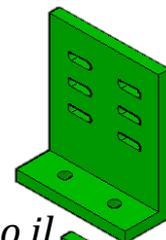
- *T-stub che lavora in tensione/compressione*



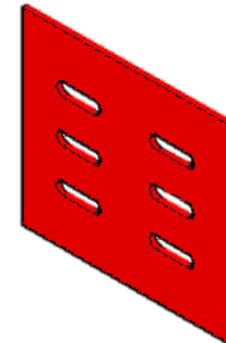
- *Rinforzo asolato e bullonato alla flangia della trave inferiore*



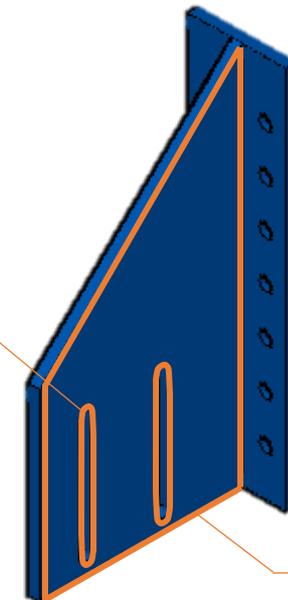
- *L-stubs che collegano il rinforzo alla colonna*



- *Spessori ad attrito*



*Asole*

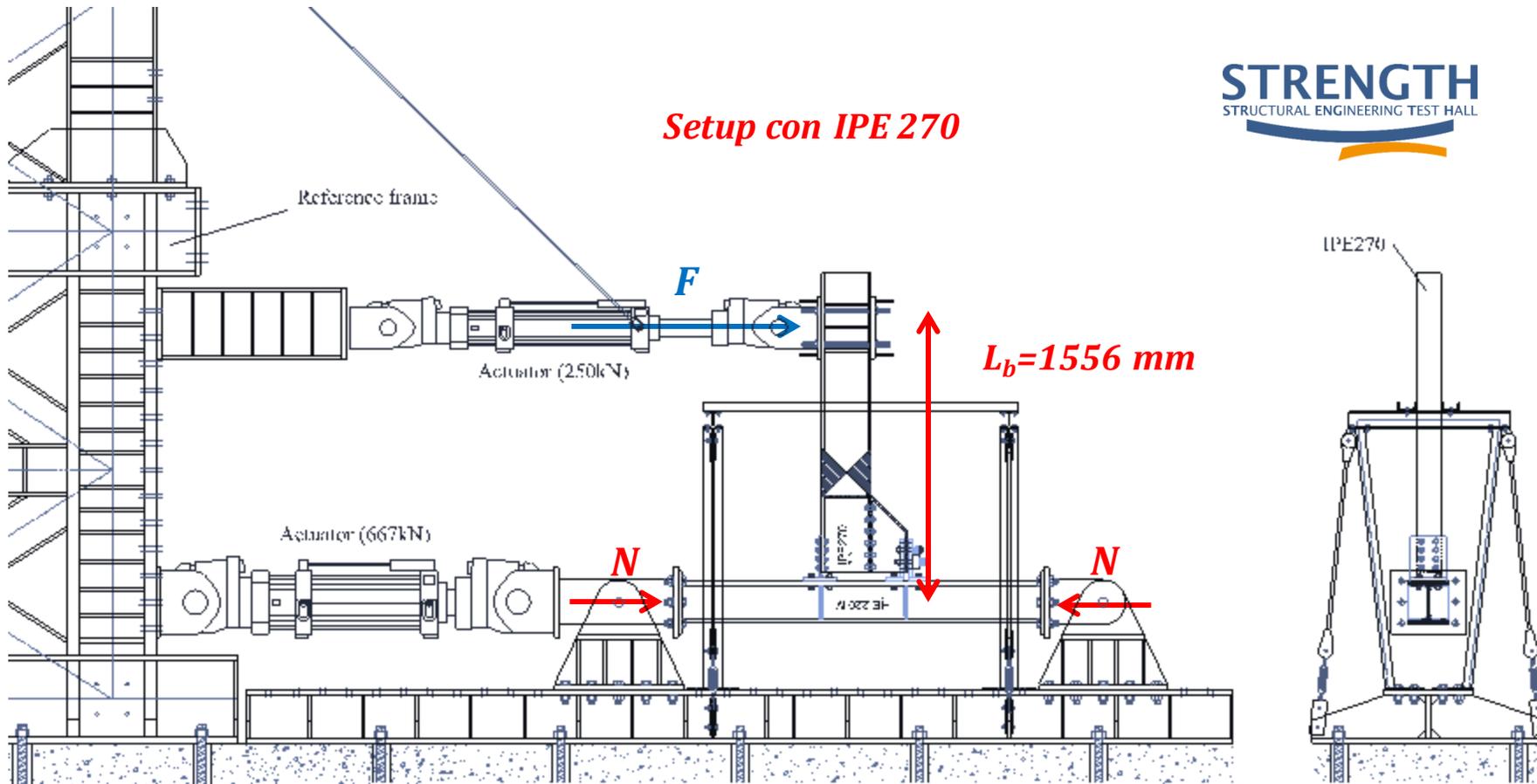


*Elemento in acciaio inox*

# Risposta ciclica di nodi esterni ed interni



*Set-up sperimentale per i test sui collegamenti esterni*

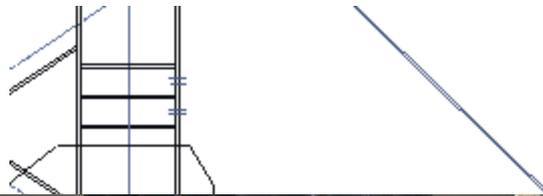


*freedom*

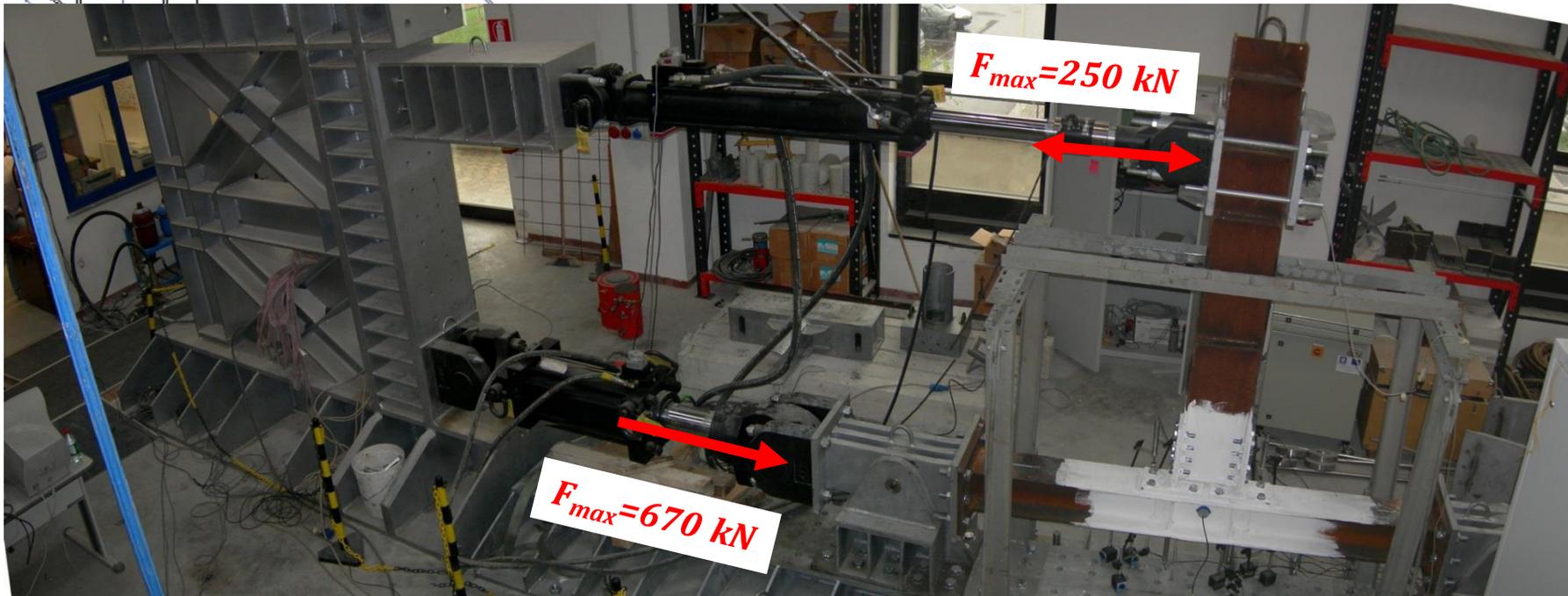
# Risposta ciclica di nodi esterni ed interni



*Set-up sperimentale per i test sui collegamenti esterni*



*Setup con IPE 270*

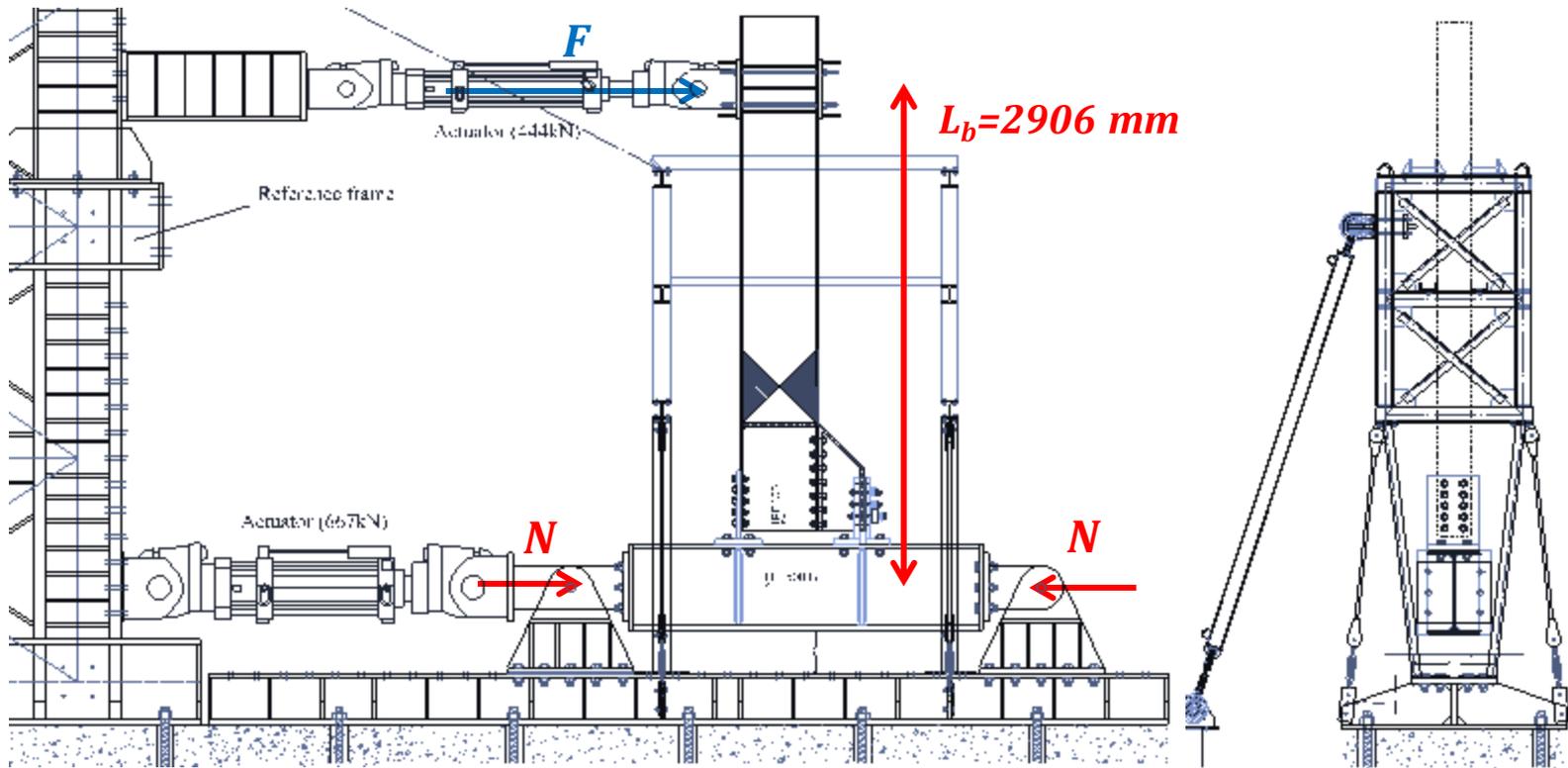


# Risposta ciclica di nodi esterni ed interni



*Set-up sperimentale per i test sui collegamenti esterni*

*Setup con IPE 450*



*freedom*

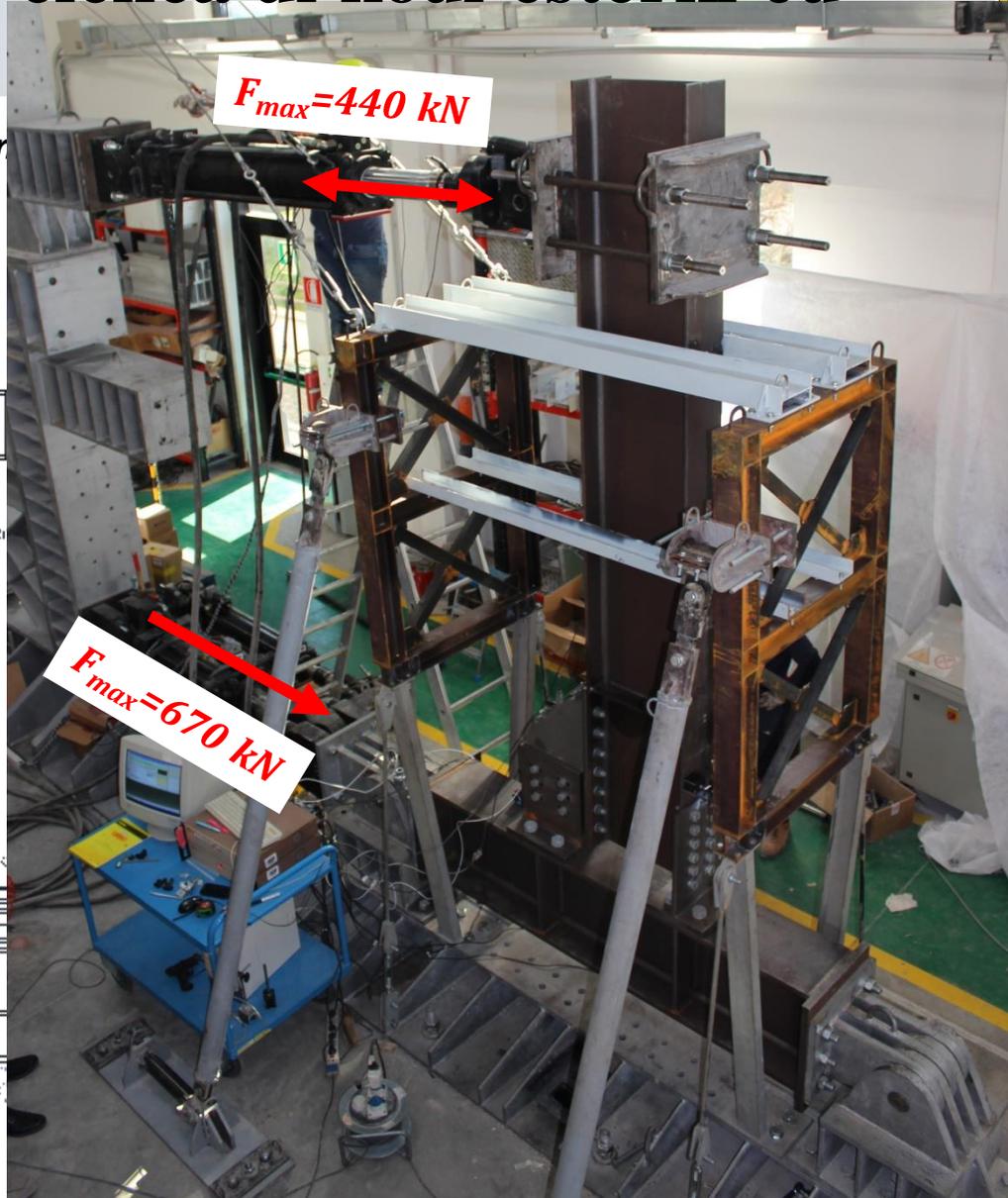
# Risposta ciclica di nodi esterni ed interni



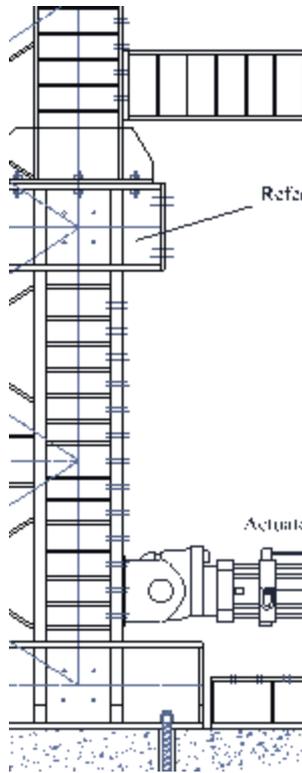
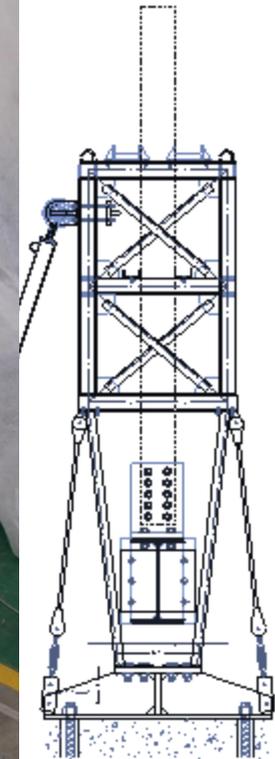
1290  
UNIVERSIDADE P  
COIMBRA



Set-up sperimentale



**STRENGTH**  
STRUCTURAL ENGINEERING TEST HALL

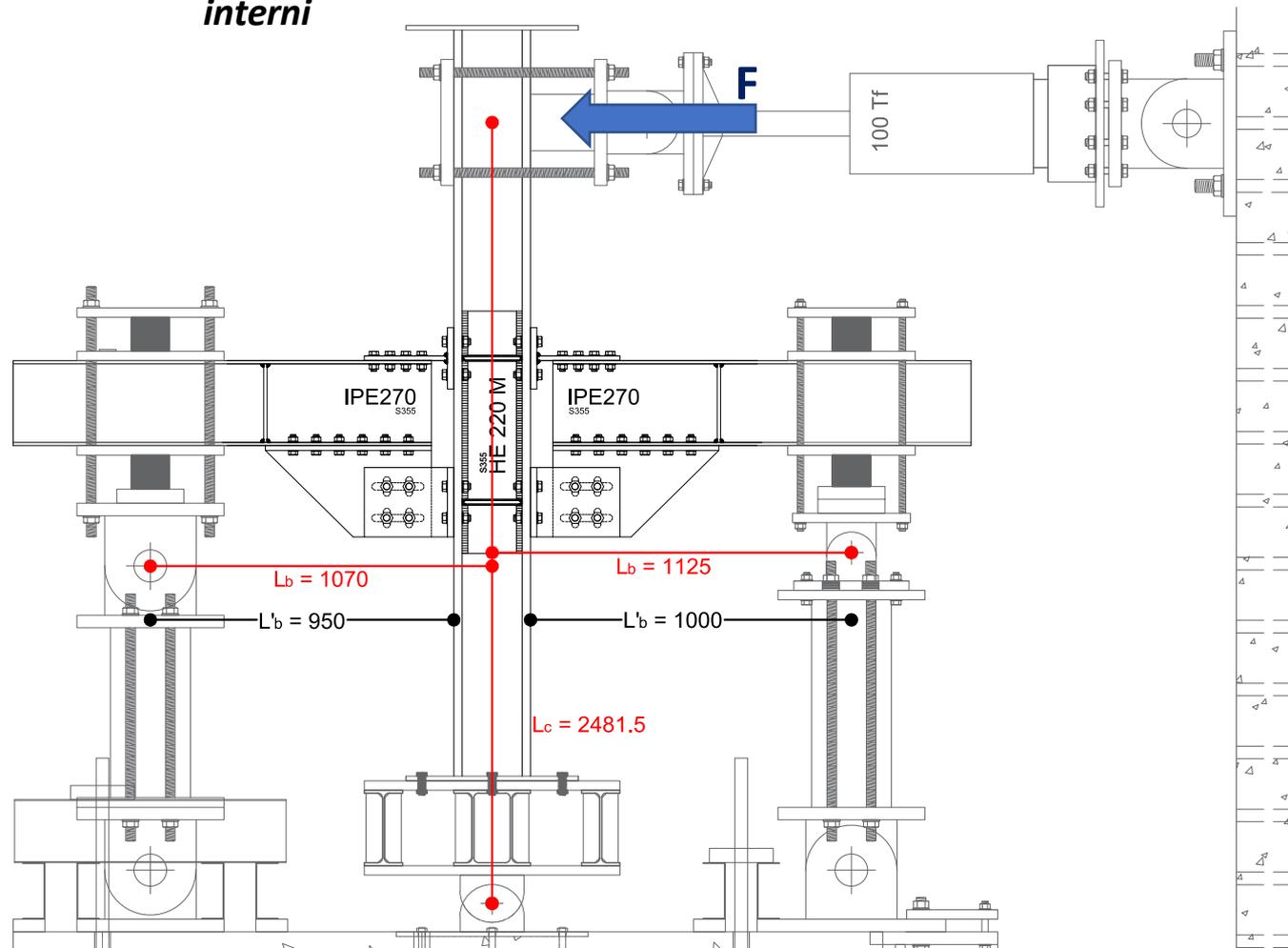


freedom

# Risposta ciclica di nodi esterni ed interni



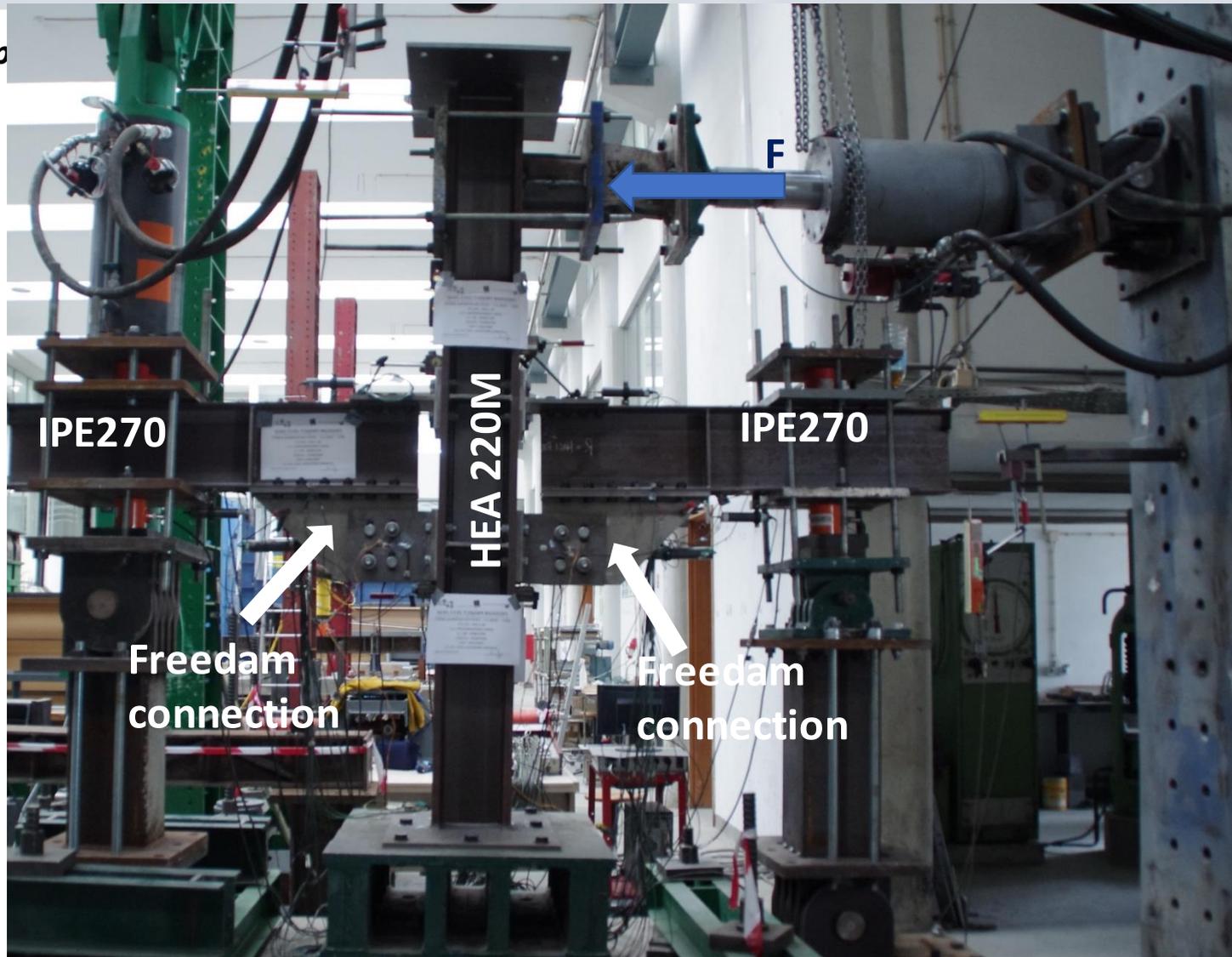
## Set-up sperimentale per i test sui collegamenti interni



# Risposta ciclica di nodi esterni ed interni



*Set-up*



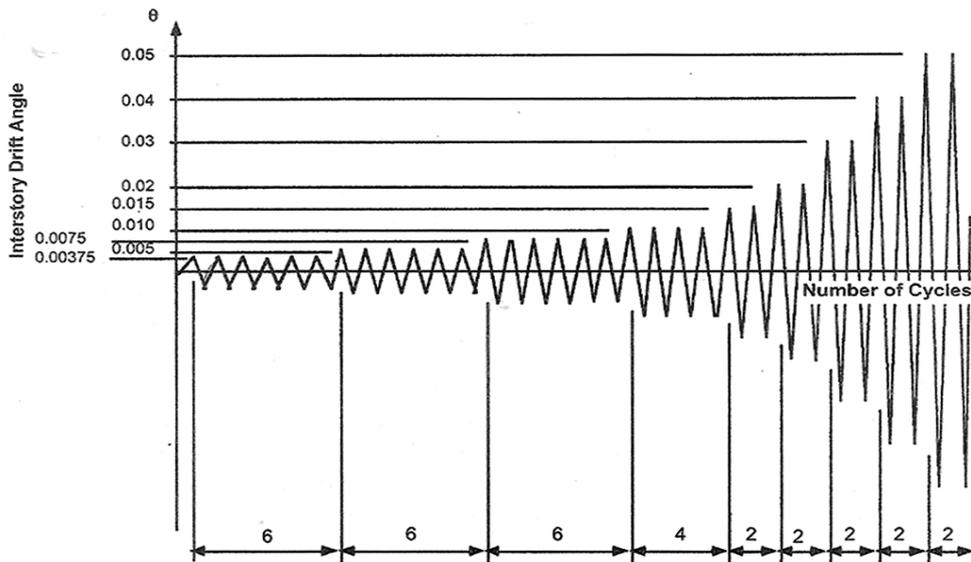
*freedom*

# Risposta ciclica di nodi esterni ed interni



La cronologia di carico è stata definita secondo le disposizioni sismiche AISC 341-10 per gli edifici in acciaio

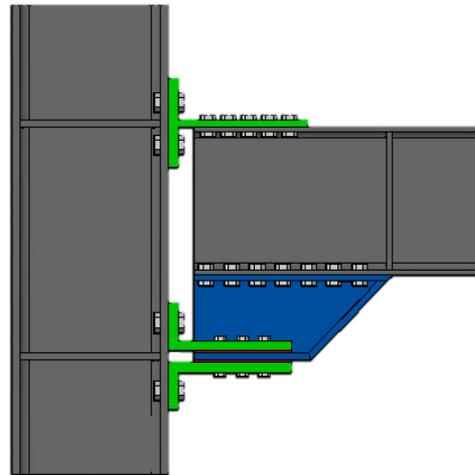
**MULTIPLE STEP TEST - LOADING HISTORY**



V [mm/sec]	Step	$\theta$ [rad]	n° cicli	$\delta$ [mm]
0,5	1	0.00375	6	5,85
	2	0.005	6	7,8
1	3	0.0075	6	11,7
	4	0.01	4	15,6
2	5	0.015	2	23,4
	6	0.02	2	31,2
	7	0.03	2	46,8
	8	0.04	2	62,4
4	9	0.05	2	78
	10	0.06	2	93,6
	11	0.07	2	109,2
6	12	0.08	2	124,8
	13	0.09	2	140,4
	14	0.10	2	156
	15	0.11	2	171,6

*freedom*

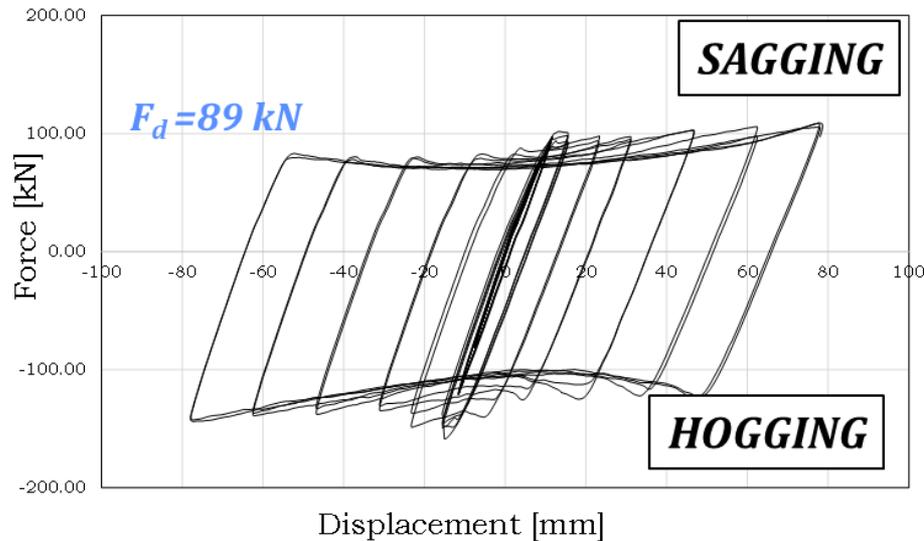
# Risposta ciclica di nodi esterni ed interni



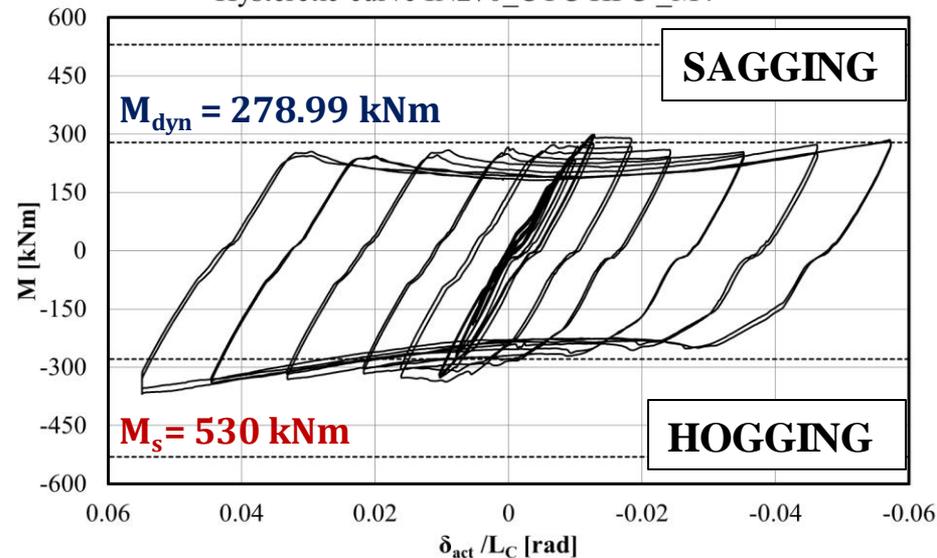
**Nodi esterni**

**Nodi interni**

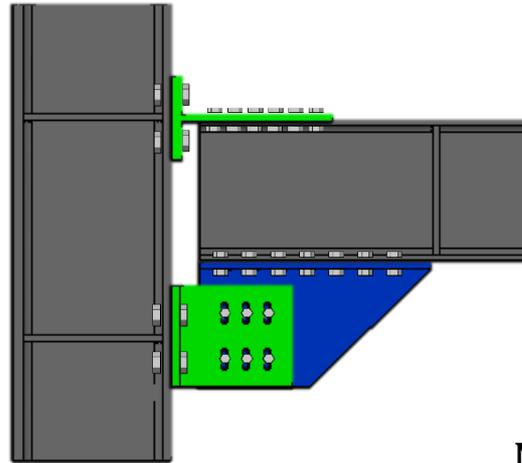
Force vs Displacement



Hysteretic curve IN270\_CYC HFC\_M4



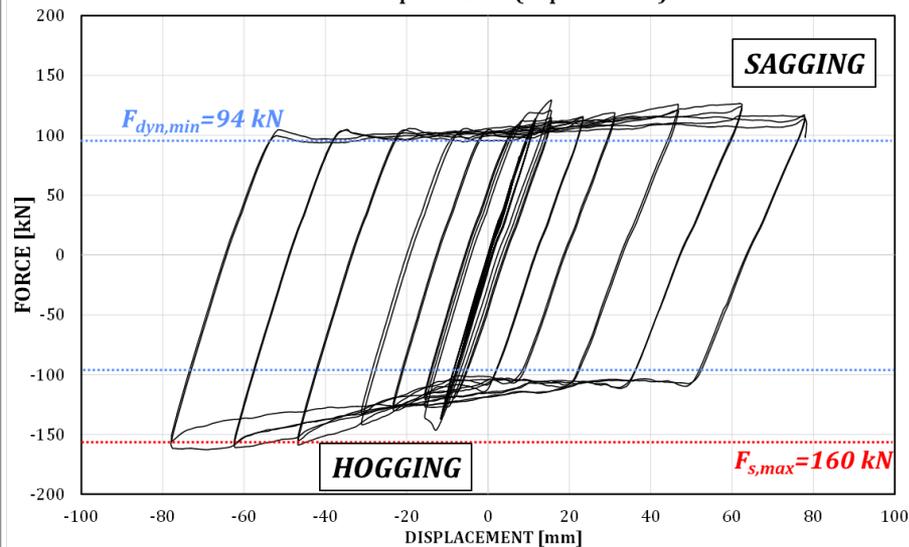
# Risposta ciclica di nodi esterni ed interni



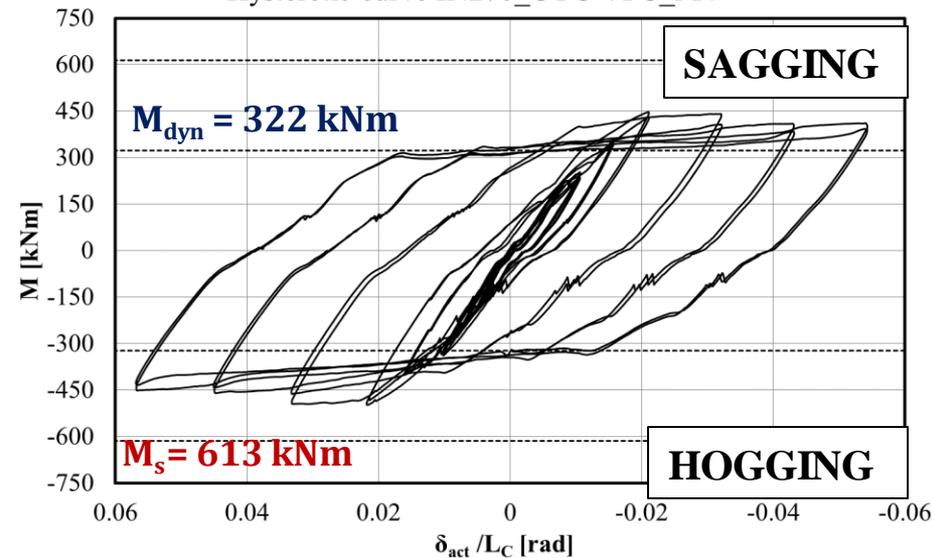
## Nodi esterni

## Nodi interni

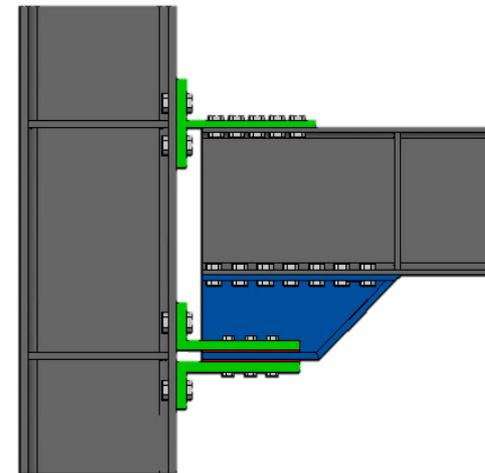
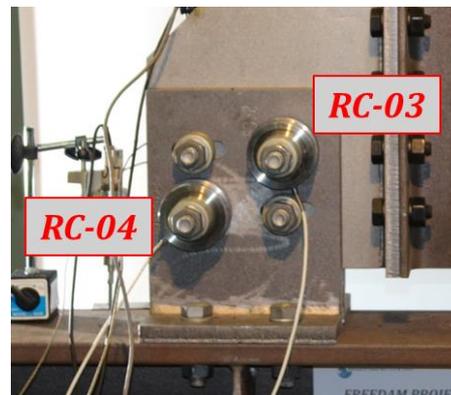
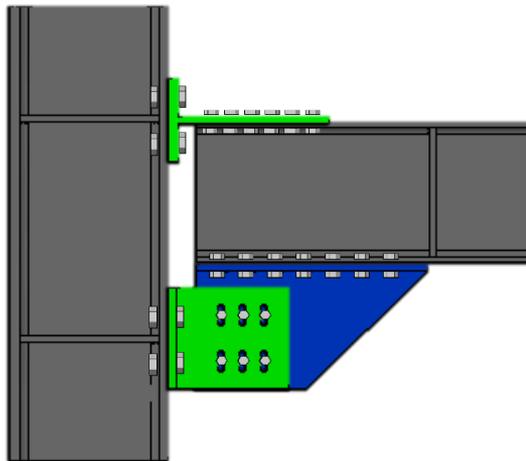
### Force vs Displacement (Top Actuator)



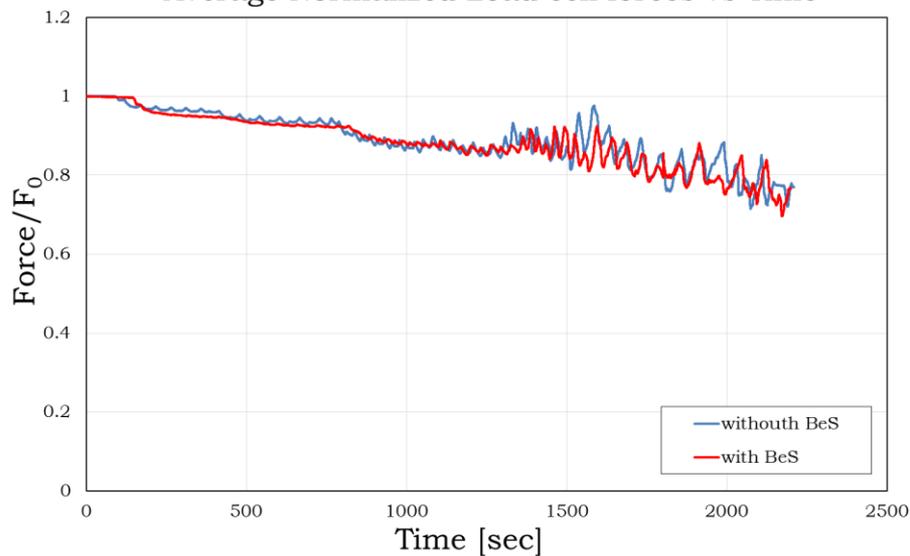
### Hysteretic curve IN270\_CYC VFC\_M4



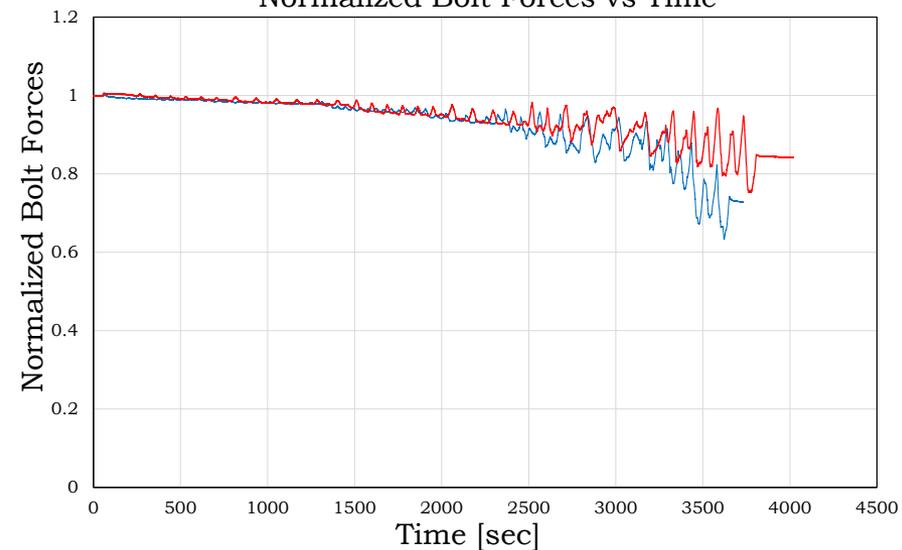
# Risposta ciclica di nodi esterni ed interni



Average Normalized Load cell forces vs Time



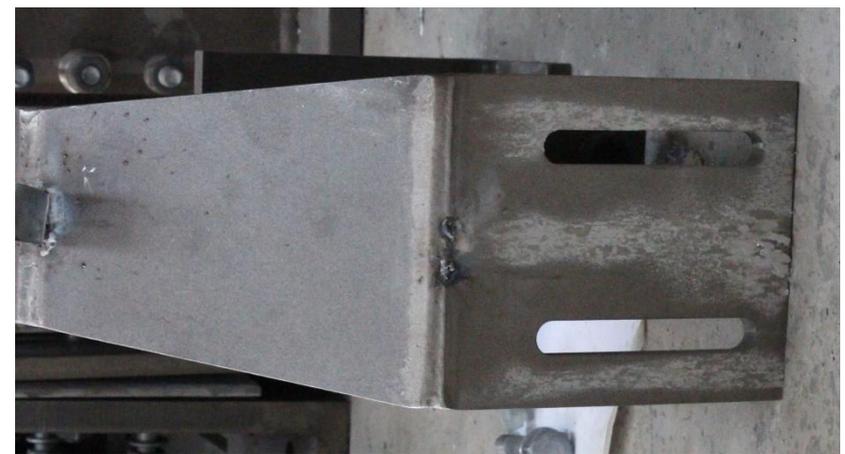
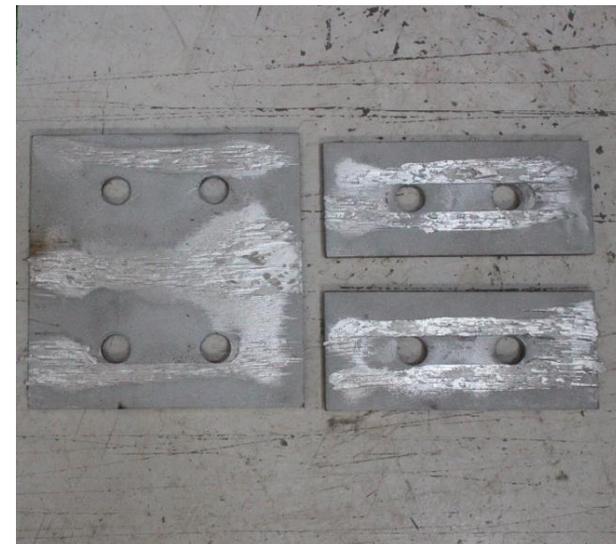
Normalized Bolt Forces vs Time



# Risposta ciclica di nodi esterni ed interni



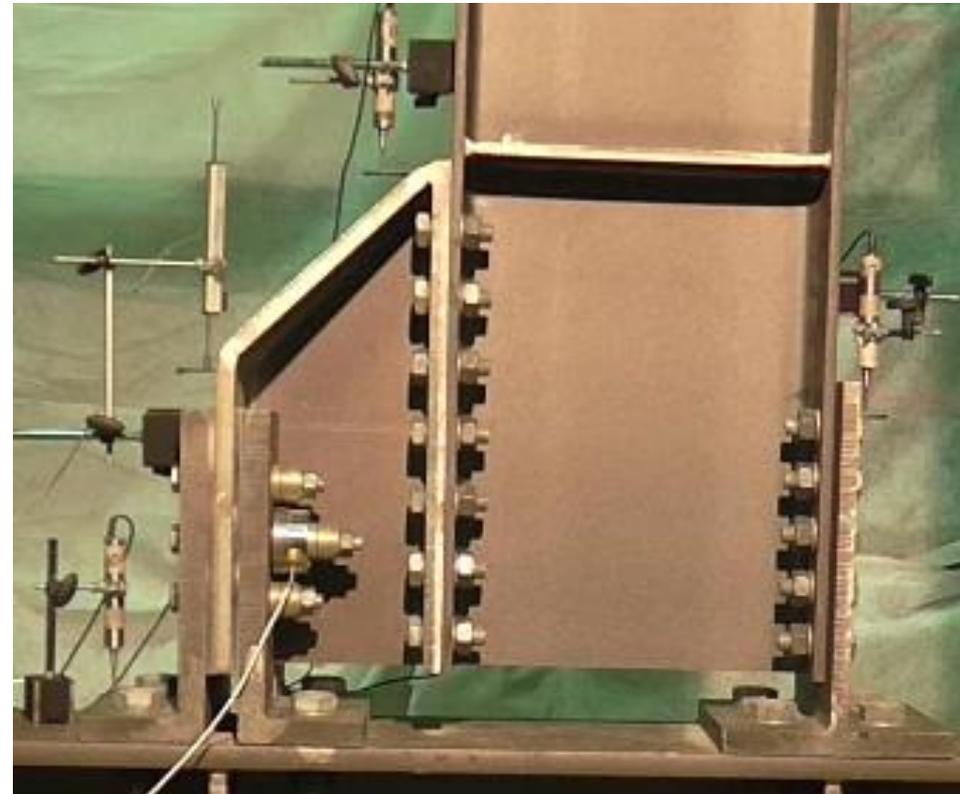
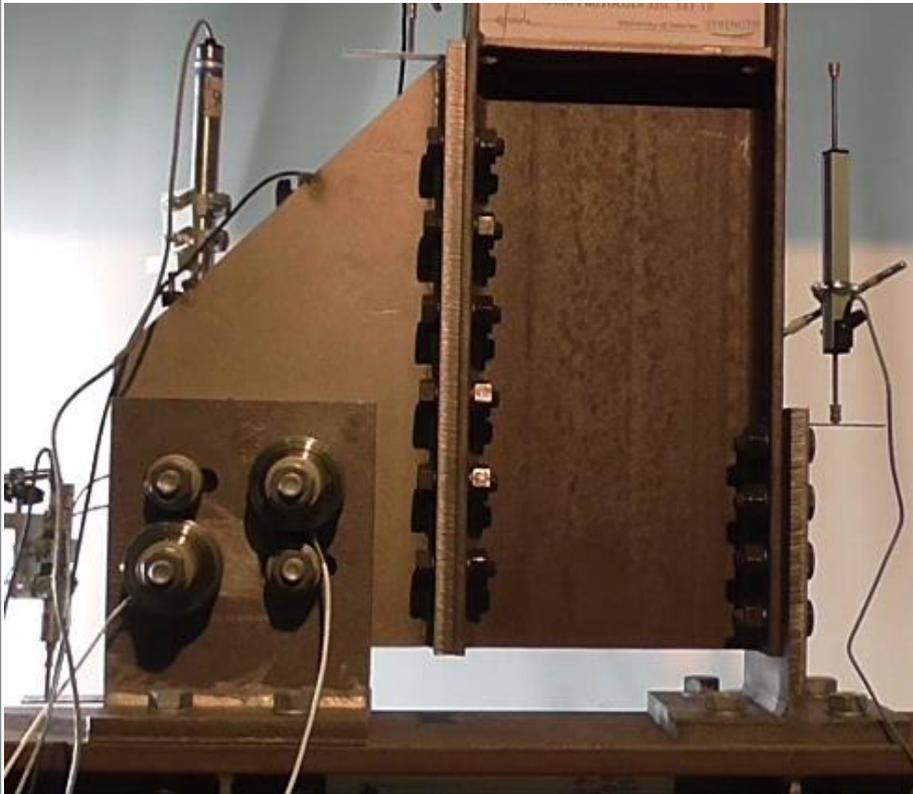
## *Danneggiamento alla fine dei test*



# Risposta ciclica di nodi esterni ed interni



64x



Vedi sul Canale youtube del progetto FREEDAM



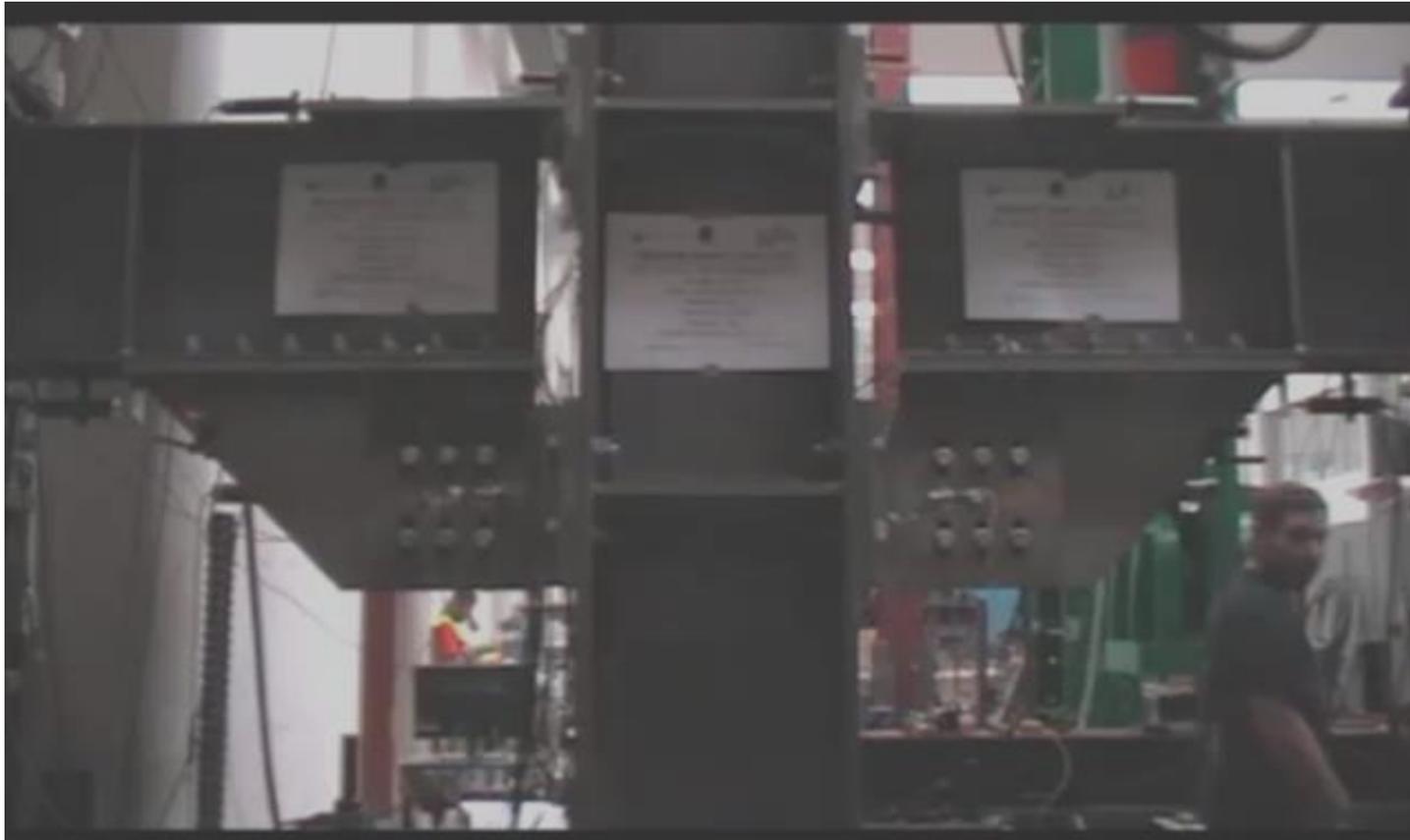
<https://www.youtube.com/channel/UCpn9ndskAcwgZTForCl-Xvw>



# Risposta ciclica di nodi esterni ed interni



*Configurazione 2 – dispositivo ad attrito verticale – IPE 450*



Vedi sul Canale youtube del progetto FREEDAM



<https://www.youtube.com/channel/UCpn9ndskAcwgZTForCl-Xvw>

*freedom*

# Simulazioni FE



- Le FEA sono state eseguite utilizzando Abaqus/Standard v14.4.
- **Geometria**
- I modelli FE erano basati sui campioni testati presso l'Università di Salerno, vale a dire, giunti unilaterali (T).
- Assemblaggio 1: Trave IPE 270 – Colonna HE 220M
- Assemblaggio 2: Trave IPE 450 – Colonna HE 500B
- I modelli saranno individuati in base a:

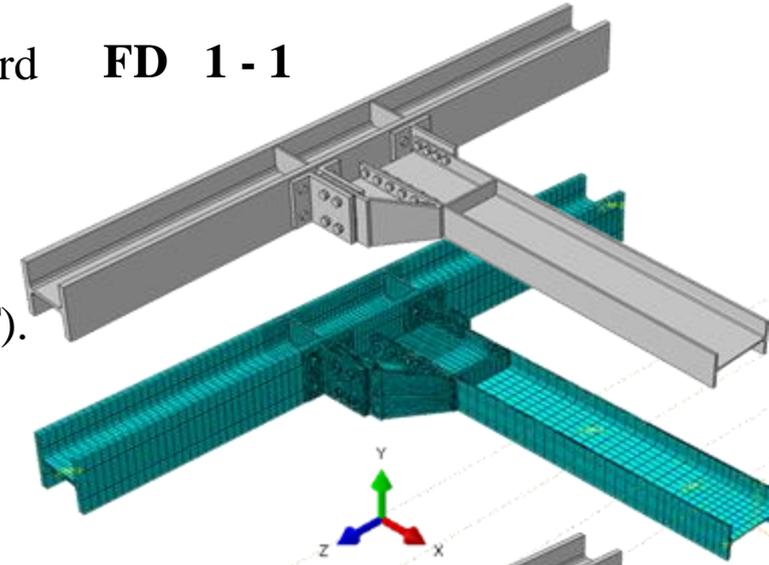
**FD x - y**

Configurazione  Assemblaggio  
1 or 2 1 or 2

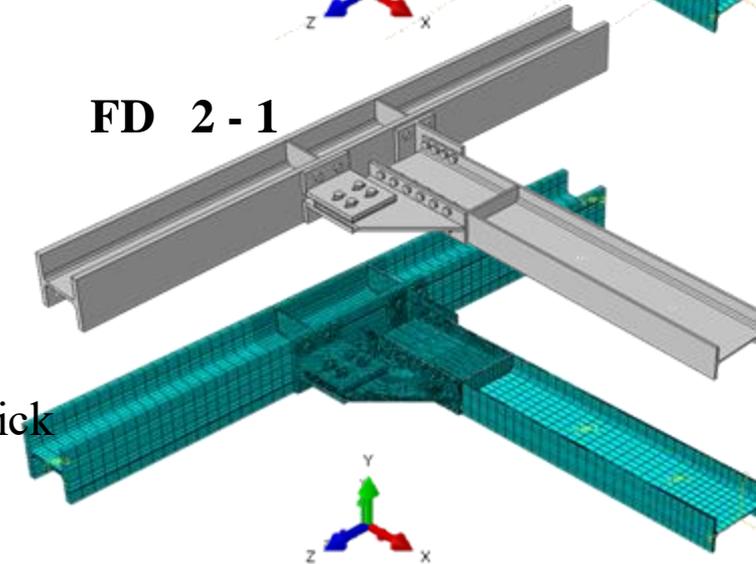
- **Dettagli della mesh**

- Per la mesh del modello è stato utilizzato l'elemento brick C3D8R a 8 nodi ad integrazione ridotta

**FD 1 - 1**



**FD 2 - 1**



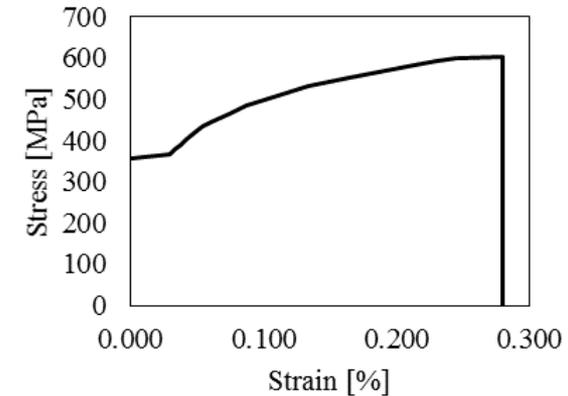
*freedom*

# Simulazioni FE

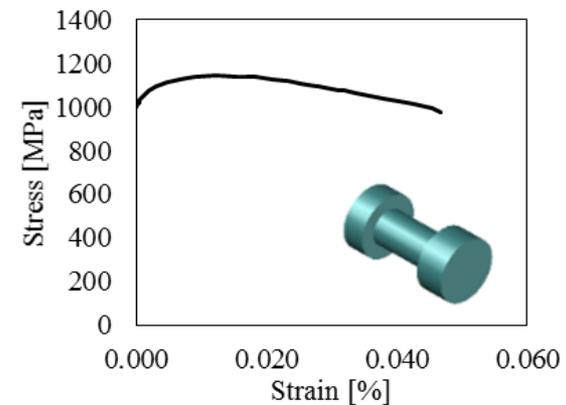


- *Material*
- S355 testato sperimentalmente
- Il comportamento elastico è definito con un modulo elastico ( $E = 210 \text{ GPa}$ ) ed il coefficiente di Poisson (0.3).
- Per la parte non lineare della curva del materiale è stato considerato l'incrudimento isotropico-cinematico combinato.
- La resistenza e la rigidezza del materiale del bullone vengono ridimensionate per tenere conto del gambo filettato

Material Steel S355



Material Bolts gr10.9



D'Aniello M., Cassiano D., Landolfo R., (2016) Monotonic and cyclic inelastic tensile response of European preloadable GR10.9 bolt assemblies. Journal of Constructional Steel Research, 124: 77–90

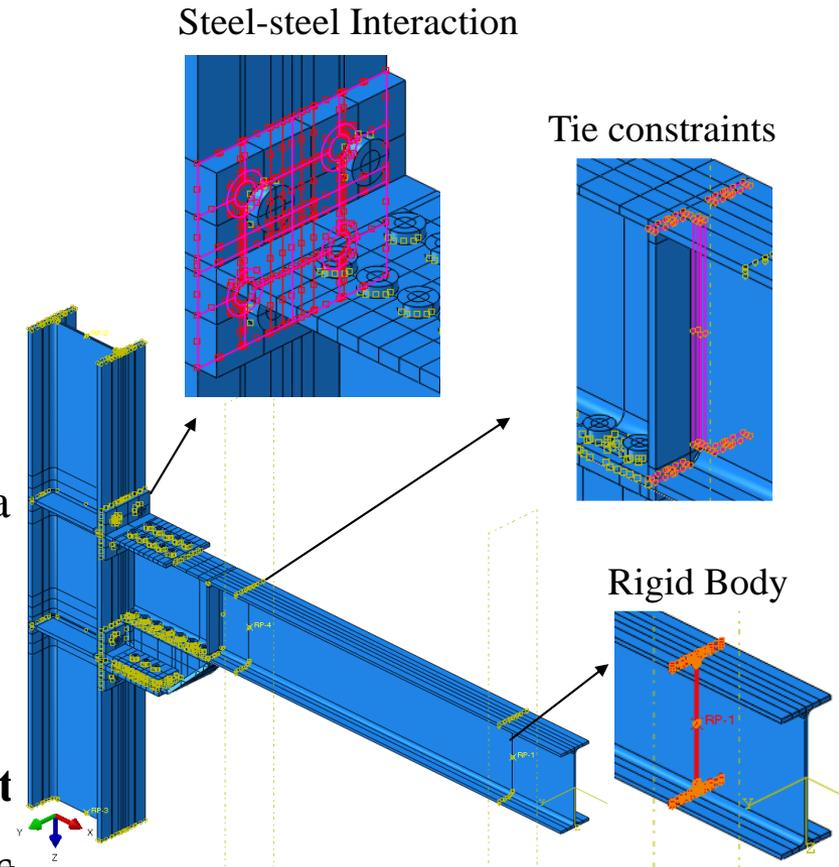
# Simulazioni FE



- **Interazioni**
- Interazioni di contatto definite utilizzando:
- **Comportamento tangenziale:** «Coulomb friction»
- **Comportamento normale:** «Hard Contact»
- Coefficiente penalty:
- 0.3 per interfaccia acciaio-acciaio
- I valori della tabella seguente per l'interfaccia a attrito:

$\mu_{\text{dyn}} 5\%$	$\mu_{\text{avg}}$	$\mu_{\text{dyn}} 95\%$
0.53	0.59	0.64

- Le saldature sono modellate con «**Tie constraint**»
- Vincoli di corpo rigido sono definiti per facilitare l'assegnazione delle condizioni al contorno



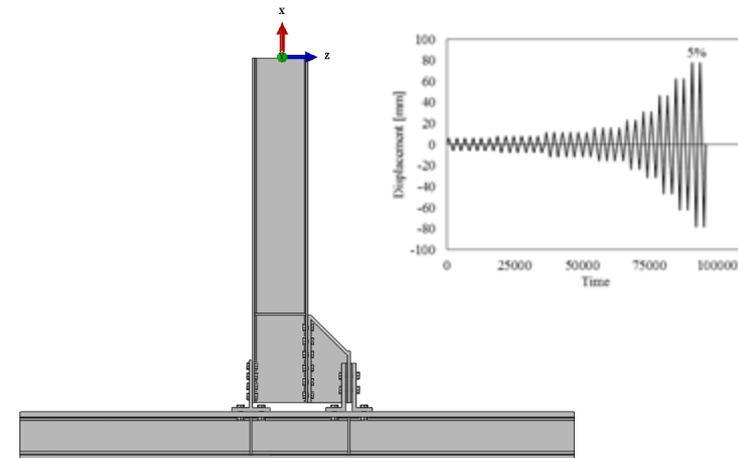
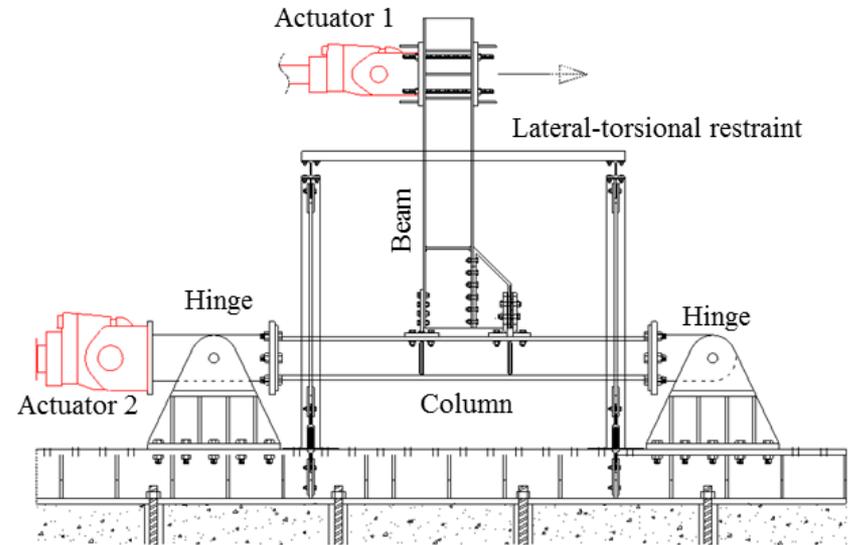
# Simulazioni FE



- *Condizioni al contorno*
- Nodi di base incernierati
- Vincoli latero-torsionali a livello della trave
- *Protocollo di carico*
- Il protocollo di carico AISC340 fino al 5% è stato applicato all'estremità della trave:

	$n_b$ [%]	$N_b$ [kN]
FD 1-1	34%	58
FD 1-2	57%	99
FD 2-1	37%	63
FD 2-2	61%	105

- Il serraggio del bullone è stato applicato utilizzando l'opzione «Bolt Load» in Abaqus.



# Simulazioni FE



## Parametri monitorati

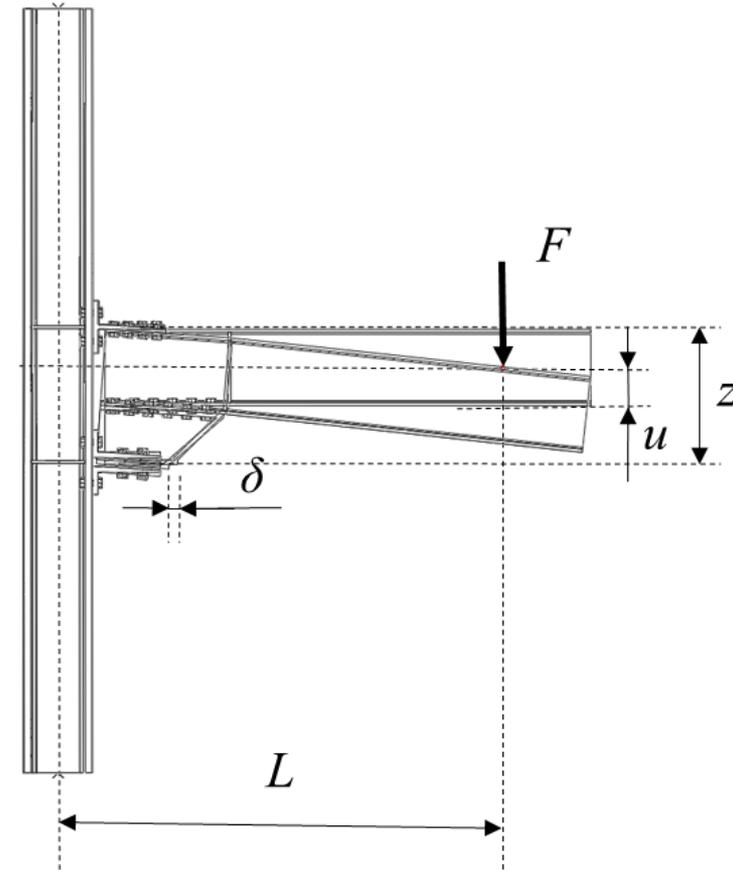
- La curva Forza – Spostamento ( $F - \delta$ ),
- La curva momento flettente – rotazione alla corda ( $M - \theta$ )

$$M = F \cdot L \quad \theta = \frac{u}{L}$$

- La curva momento flettente – rotazione della connessione ( $M - \theta_{connection}$ )

$$\theta_{connection} = \frac{\delta}{z}$$

- Le deformazioni plastiche equivalenti (**PEEQ**) nelle simulazioni ad elementi finiti FEAs
- Il livello di forza nei bulloni del dispositivo di attrito



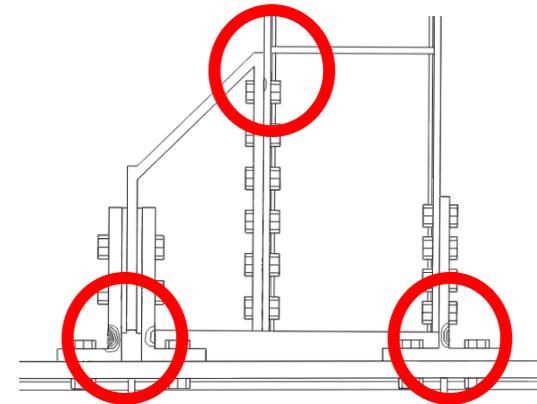
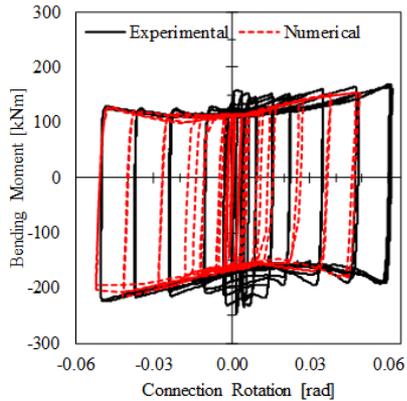
freedom

# Simulazioni FE

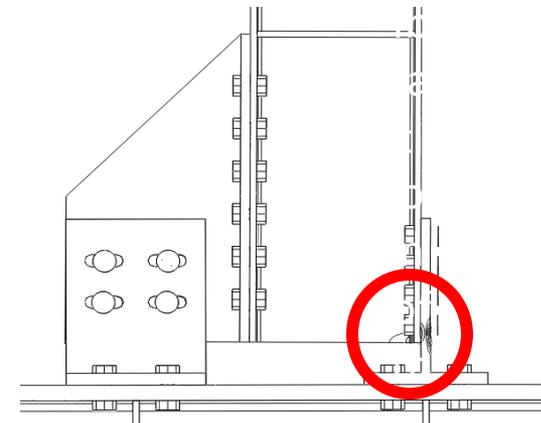
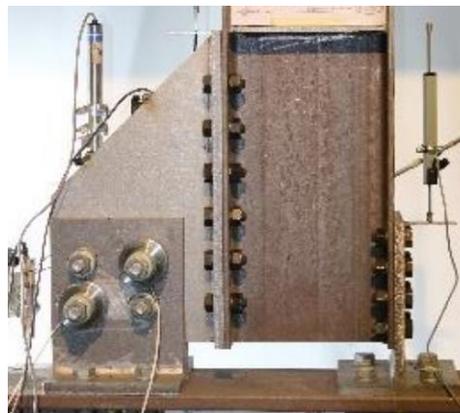
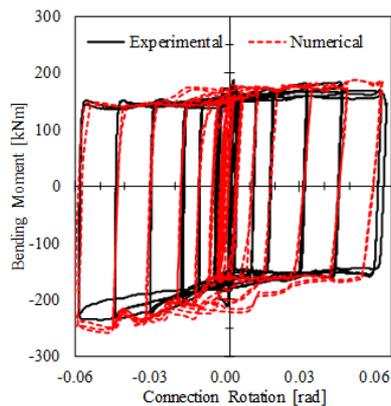


## Calibrazione del modello agli Elementi Finiti

**FD 1 - 1**



**FD 2 - 1**



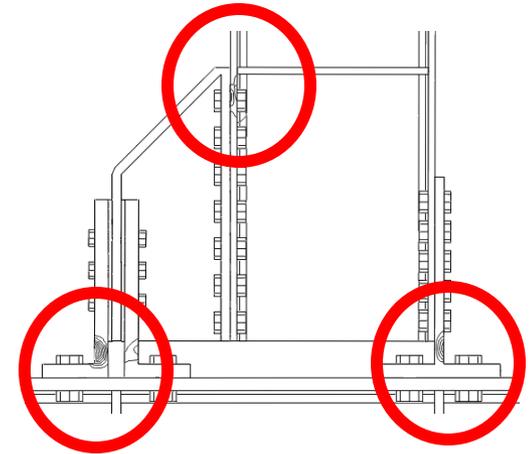
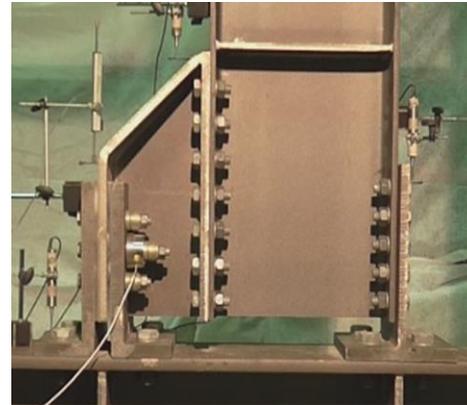
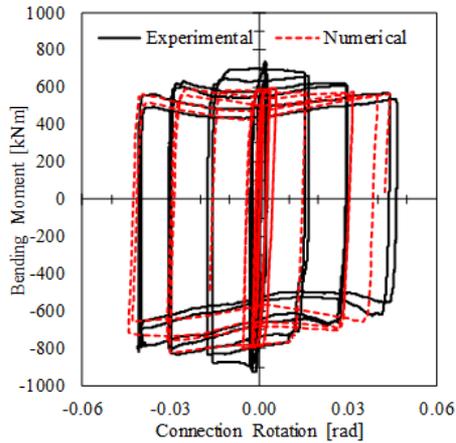
*freedom*

# Simulazioni FE

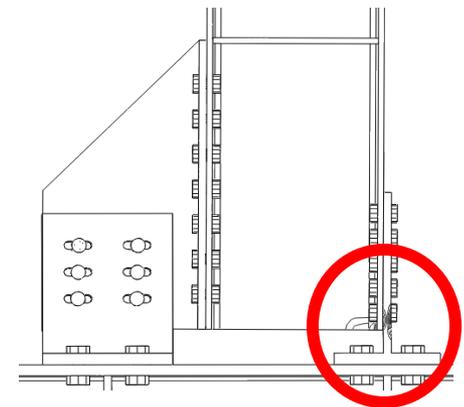
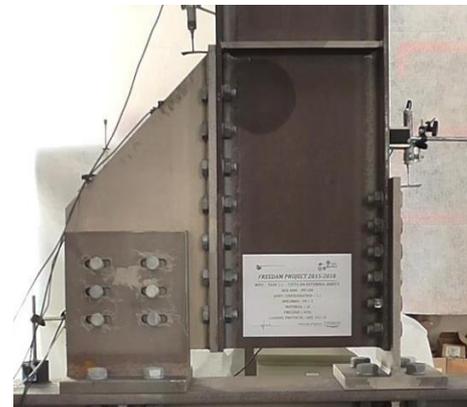
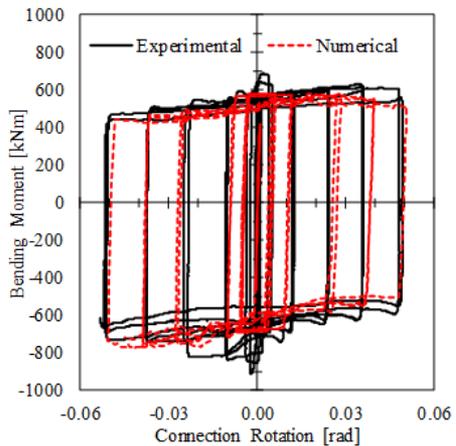


## Calibrazione del modello agli Elementi Finiti

FD 1 - 2



FD 2 - 2



*freedom*

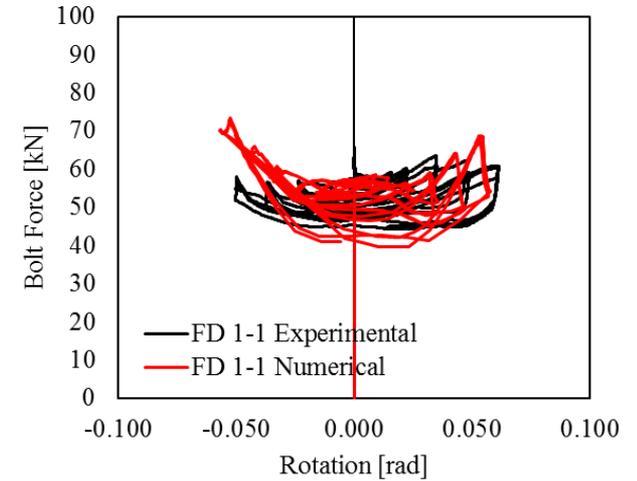
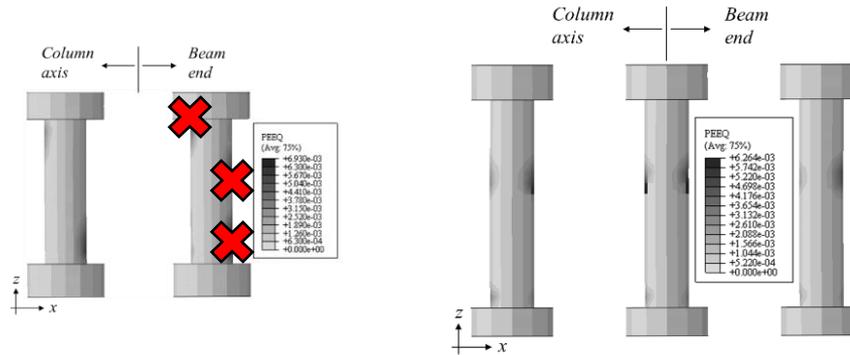
# Simulazioni FE



## Calibrazione del modello agli Elementi Finiti

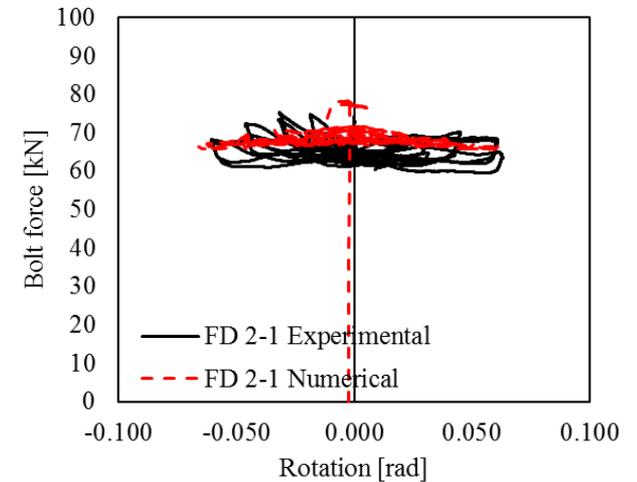
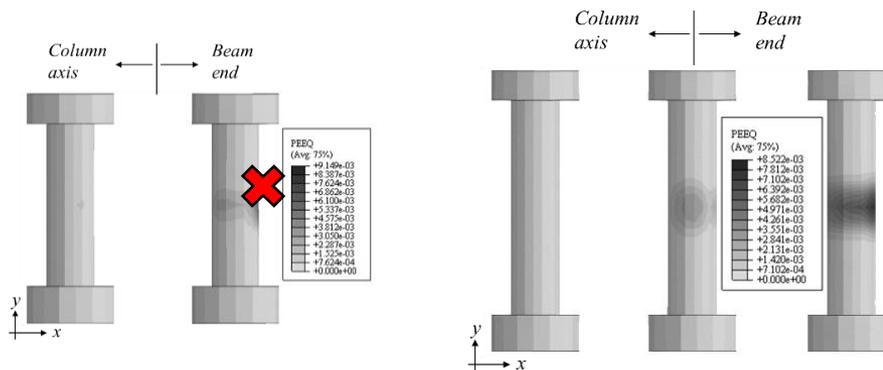
Configurazione 1

1



Configurazione 2

2

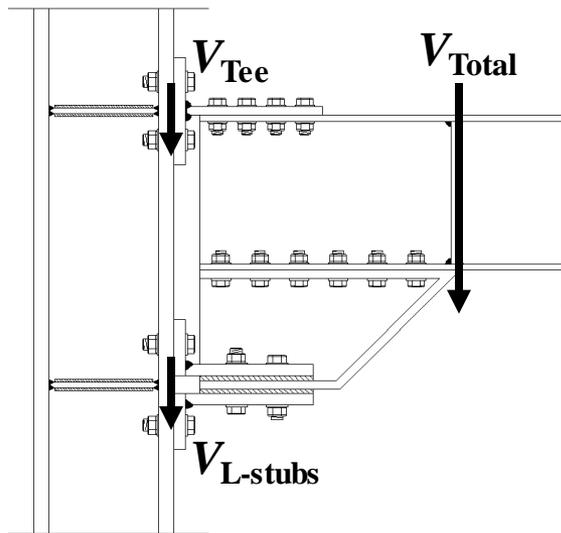


*freedom*

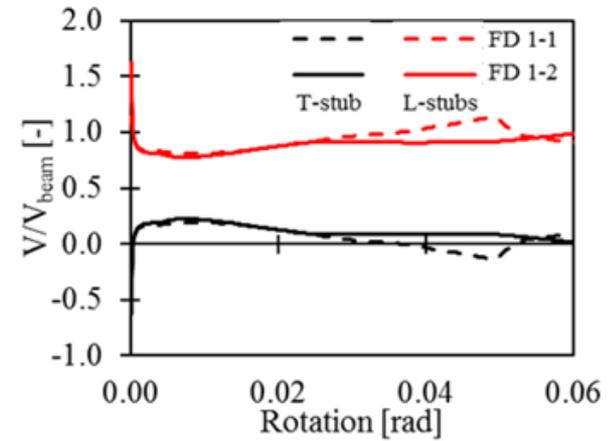
# Simulazioni FE



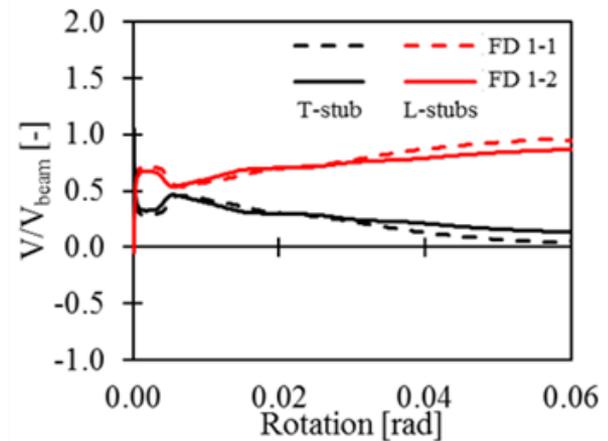
## Meccanismo di trasferimento della forza di taglio



Hogging



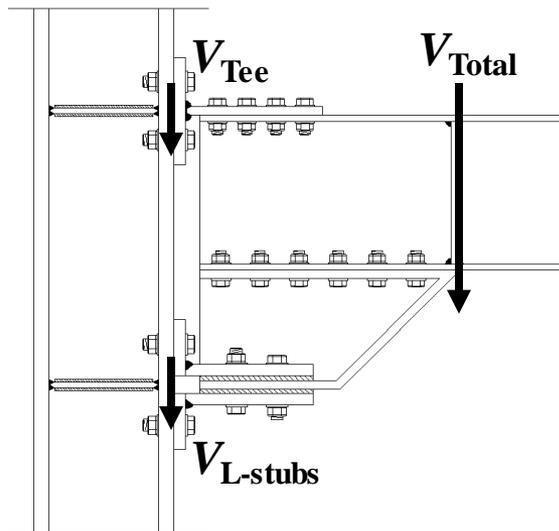
Sagging



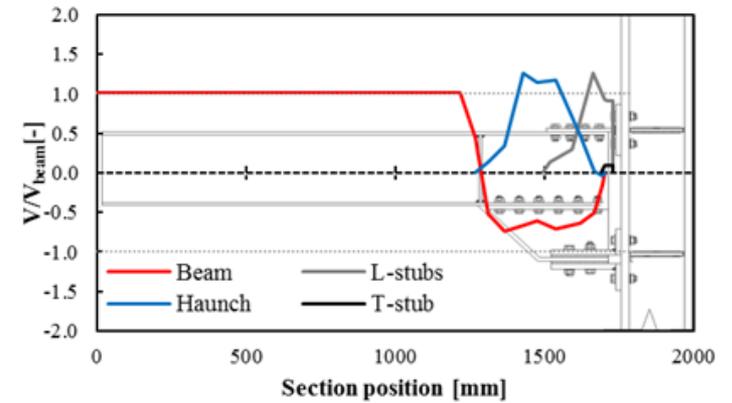
# Simulazioni FE



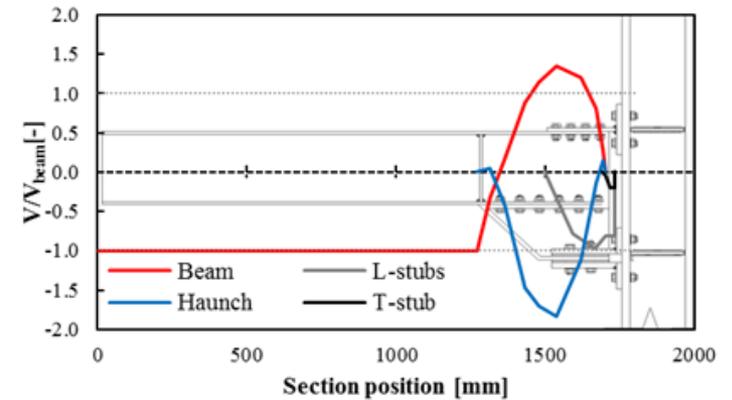
## Meccanismo di trasferimento della forza di taglio



Hogging



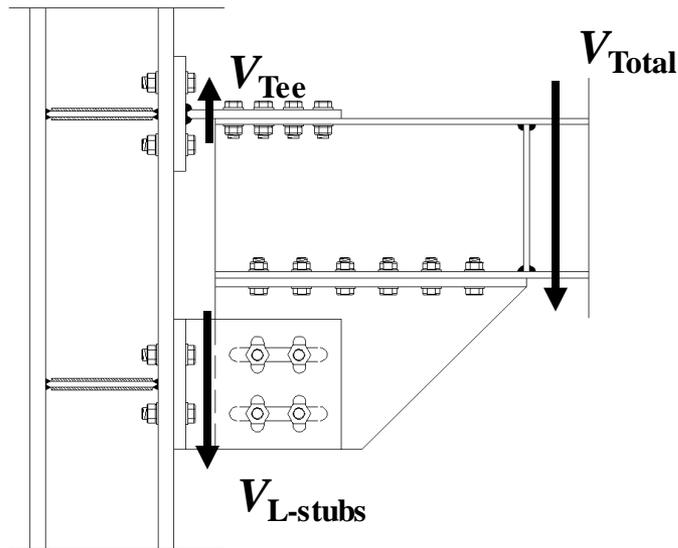
Sagging



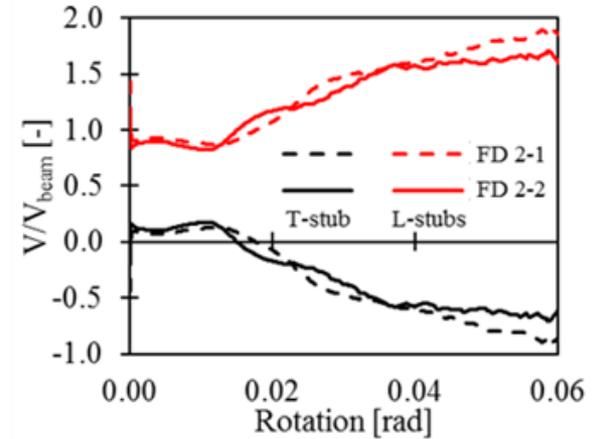
# Simulazioni FE



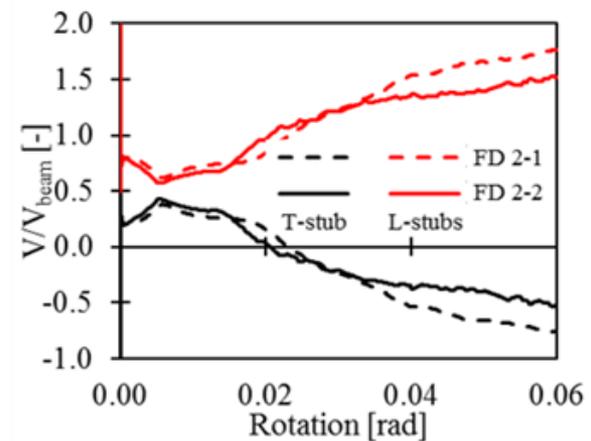
## Meccanismo di trasferimento della forza di taglio



Hogging



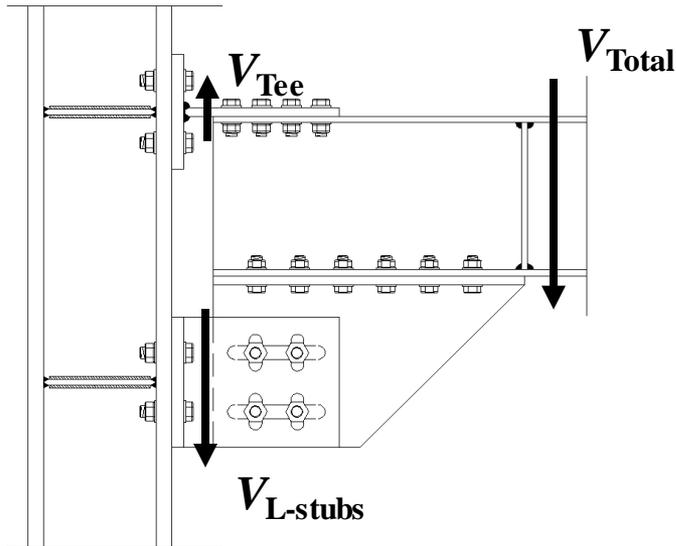
Sagging



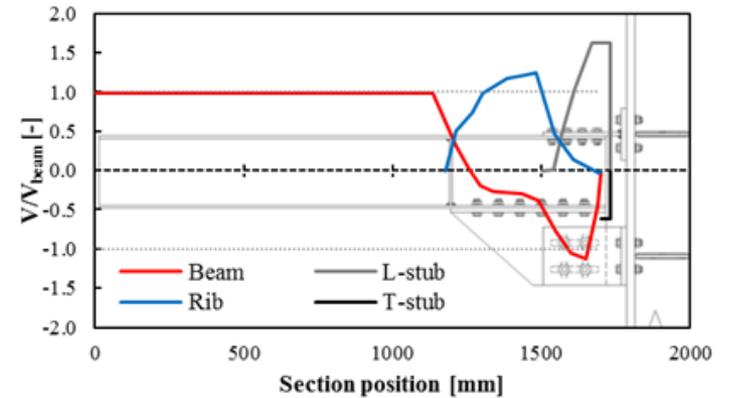
# Simulazioni FE



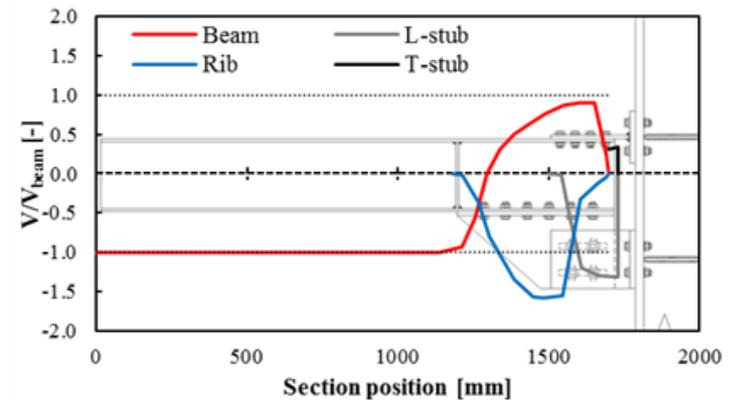
## Meccanismo di trasferimento della forza di taglio



Hogging



Sagging



# CONCLUSIONI



- Entrambe le configurazioni testate (HFC e VFC) si sono comportate in modo simile; tuttavia, il collegamento con il dispositivo ad attrito nella configurazione VFC ha fornito un comportamento ciclico più stabile e una minore asimmetria del comportamento ciclico;
- Il comportamento ottenuto è stato sempre caratterizzato da spire isteretiche a piombo senza alcun pinching e con bassa degrado della capacità di dissipazione dell'energia, della resistenza e della rigidezza;
- Dopo le prove, solo gli spessori ad attrito hanno mostrato dei danni dovuti all'usura delle superfici; tutte le altre parti dei collegamenti sono rimaste nel range elastico.



# CONCLUSIONI



- Il modello FE replica accuratamente i risultati sperimentali e può essere utilizzato per future indagini dettagliate sui giunti ad attrito;
- Il meccanismo di trasferimento del taglio è diverso per le due configurazioni, pertanto occorre prestare attenzione durante la progettazione degli elementi T-Stub e L-Stub della connessione





UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

# VENUE



## Valorization of knowledge on FREE from DAMAge Steel Connections Grant Agreement Number: 899321



## Raccomandazioni progettuali pre-normative per le connessioni FREEDAM

DISSEMINATION WORKSHOP of the  
FREEDAM PLUS Project

*Salerno, Italy*

XX XXXXX 2022





# CONTENUTI

1. *Obiettivo*
2. *Disposizioni generali relative ai dispositivi ad attrito*
3. *Regole per la modellazione e la progettazione di collegamenti FREEDAM*
4. *Requisiti per i dispositivi ad attrito*
5. *Regole di progettazione dei telai con collegamenti FREEDAM*
6. *Osservazioni finali*



# CONTENUTI

1. *Obiettivo*
2. *Disposizioni generali relative ai dispositivi ad attrito*
3. *Regole per la modellazione e la progettazione di collegamenti FREEDAM*
4. *Requisiti per i dispositivi ad attrito*
5. *Regole di progettazione dei telai con collegamenti FREEDAM*
6. *Osservazioni finali*



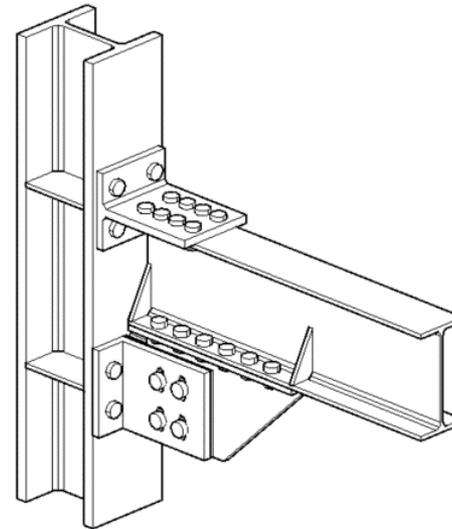
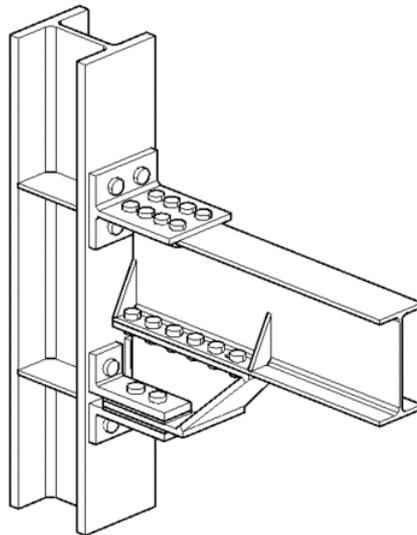
# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

L'obiettivo di questa presentazione è quello di riassumere le regole e i requisiti supplementari:

- (1) per telai in acciaio resistenti al momento dotati di connessioni FREEDAM nell'ambito delle norme prEN 1998-1-1 e prEN 1998-1-2.
- (2) per collegamenti trave-colonna dotati di dispositivi FREEDAM da armonizzare con la norma prEN 1993-1-8.



*freedom*

***FREEDAM connections***

FREEDAM PLUS DISSEMINATION WORKSHOP



# CONTENUTI

1. *Obiettivo*
2. *Disposizioni generali relative ai dispositivi ad attrito*
3. *Regole per la modellazione e la progettazione di collegamenti FREEDAM*
4. *Requisiti per i dispositivi ad attrito*
5. *Regole di progettazione dei telai con collegamenti FREEDAM*
6. *Osservazioni finali*

# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## DISPOSIZIONI GENERALI RELATIVE AI DISPOSITIVI AD ATTRITO

- (1) Installazione, Ispezione, Manutenzione e Piano di Sostituzione per i dispositivi ad attrito dovrebbero essere stabiliti secondo la EN 15129.
- (2) Dovrebbe essere previsto lo spazio sufficiente per l'ispezione, la manutenzione e la sostituzione dei dispositivi ad attrito durante tutta la vita della struttura.
- (3) Quando rilevante, i dispositivi ad attrito dovrebbero essere protetti da potenziali effetti pericolosi, come incendi e attacchi chimici o biologici. La protezione fornita non deve impedire la funzionalità dei dispositivi ad attrito durante un terremoto.
- (4) La protezione antincendio dei dispositivi ad attrito deve essere coerente con i requisiti antincendio per la struttura nel suo complesso. La protezione fornita non deve impedire la funzionalità dei dispositivi ad attrito durante un terremoto.
- (5) I dispositivi ad attrito devono essere progettati tenendo conto delle condizioni ambientali, tra cui vento, effetti dell'invecchiamento, temperatura ambiente, temperatura in esercizio ed esposizione a umidità o sostanze dannose.
- (6) I dispositivi ad attrito devono essere realizzati utilizzando la classe di bulloni 10.9.

# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## DISPOSIZIONI GENERALI RELATIVE AI DISPOSITIVI AD ATTRITO

I valori del coefficiente ad attrito considerati nel progetto devono essere specificati e annotati sui disegni.

Devono essere indicati i seguenti valori rilevanti:

Il valore medio del coefficiente di attrito dinamico ( $\bar{\mu}_d$ );

- Il valore nominale (frattile al 5%) del coefficiente di attrito dinamico ( $\mu_d$ );
- Valore nominale del limite superiore (frattile al 95%) del coefficiente di attrito statico ( $\mu_{s.upper}$ );
- Il valore nominale del limite inferiore (frattile al 5%) del coefficiente di attrito statico ( $\mu_{s.lower}$ ).





# CONTENUTI

1. *Obiettivo*
2. *Disposizioni generali relative ai dispositivi ad attrito*
3. *Regole per la modellazione e la progettazione di collegamenti FREEDAM*
4. *Requisiti per i dispositivi ad attrito*
5. *Regole di progettazione dei telai con collegamenti FREEDAM*
6. *Osservazioni finali*

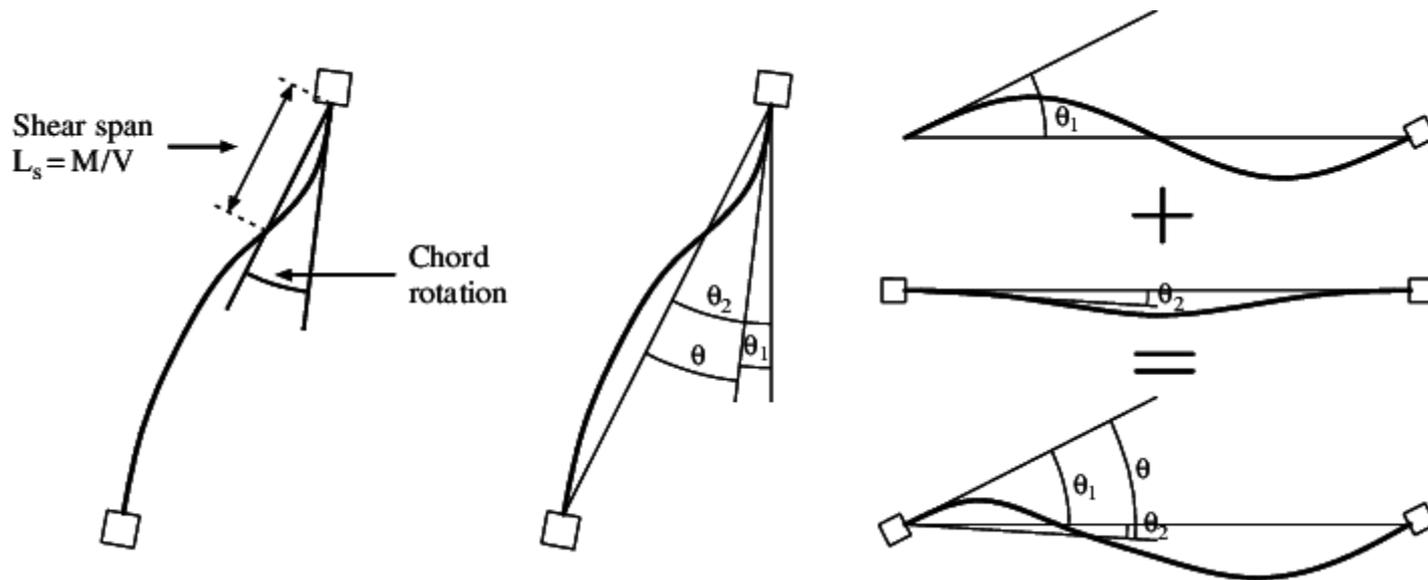
# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## CRITERI DI DEFORMAZIONE E MODELLI DI RESISTENZA

La capacità di deformazione rotazionale delle travi dotate di connessioni FREEDAM deve essere definita in termini di rotazione alla corda,  $\theta$ , come definito nella sezione 7 della norma EN 1998-1-1.



La rotazione alla corda è uguale al rapporto di spostamento interpiano dell'elemento, cioè la deflessione all'estremità della campata di taglio ( $L_V = M/V =$  momento/taglio alla fine della sezione, cioè il punto di controflessione) rispetto alla tangente all'asse dello scorrimento del dispositivo ad attrito, diviso la luce a taglio.

*freedam*

# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM



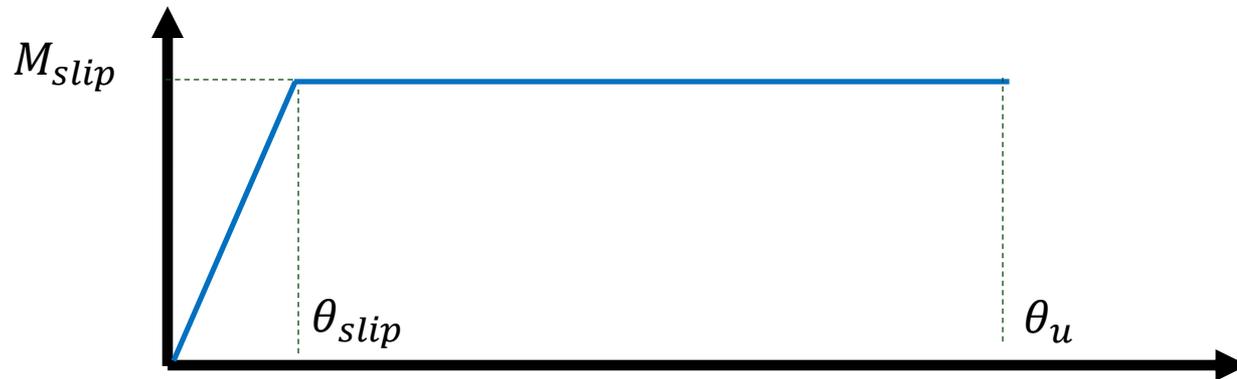
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## CRITERI DI DEFORMAZIONE E MODELLI DI RESISTENZA

Un modello bilineare della relazione forza-deformazione può essere utilizzato per rappresentare il comportamento duttile. In tal caso, due livelli di danno dovrebbero essere definiti in termini di soglie di deformazione a livello dell'elemento, che sono punti strutturalmente rilevanti insieme alla relazione forza-deformazione, come indicato in a) e b):

a) deformazione allo snervamento (inizio dello scorrimento),  $\theta_{slip}$ , corrispondente al raggiungimento di un'effettiva resistenza a flessione dovuta allo scorrimento ad attrito della connessione,  $M_{slip}$ .

b) Deformazione ultima,  $\theta_u$ , è la deformazione massima compatibile con la corsa finale del dispositivo.



*freedam*

# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM

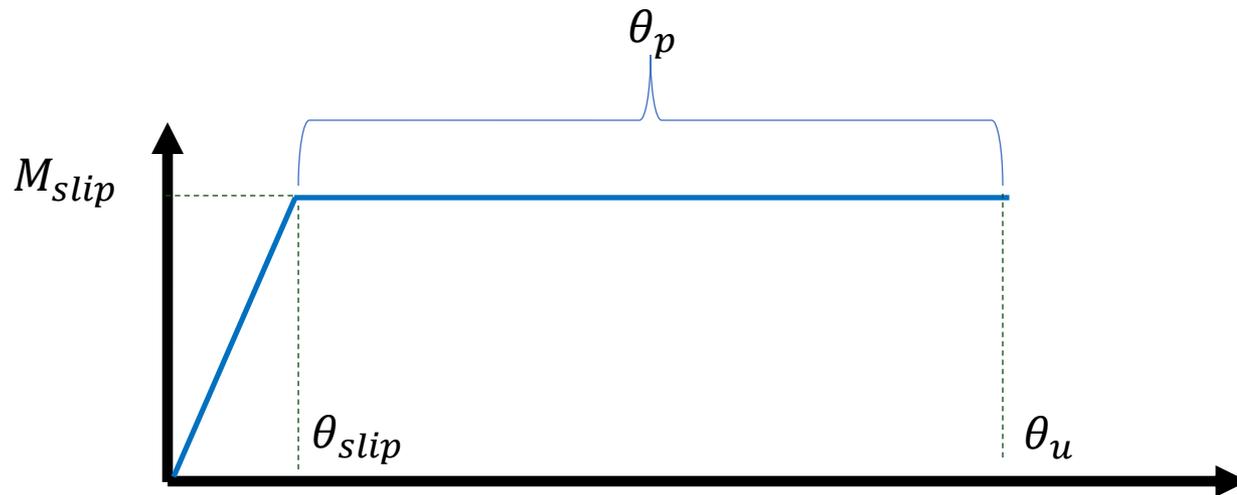


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## CRITERI DI DEFORMAZIONE E MODELLI DI RESISTENZA

Se si prevede che il punto di controflessione si verifichi a metà di una trave di acciaio in giunti trave-colonna dotati di connessioni FREEDAM, la rotazione ottenuta allo scorrimento del collegamento  $\theta_{slip}$  è data da:  $\theta_{slip} = (1+n) M_{slip} L/6EI$

Dove  $M_{slip}$  è la resistenza flessionale allo scorrimento;  $EI$  è la rigidezza della sezione trasversale della trave in acciaio;  $L$  è la lunghezza netta dell'elemento;  $n$  è un fattore che contribuisce alla deformazione da taglio e deve essere calcolato come  $n = (12 EI)/(L^2 GA_{eff})$  essendo  $G$  il modulo elastico tangenziale dell'acciaio;  $A_{eff}$  è l'area di taglio effettiva della sezione trasversale.



*freedam*

# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM

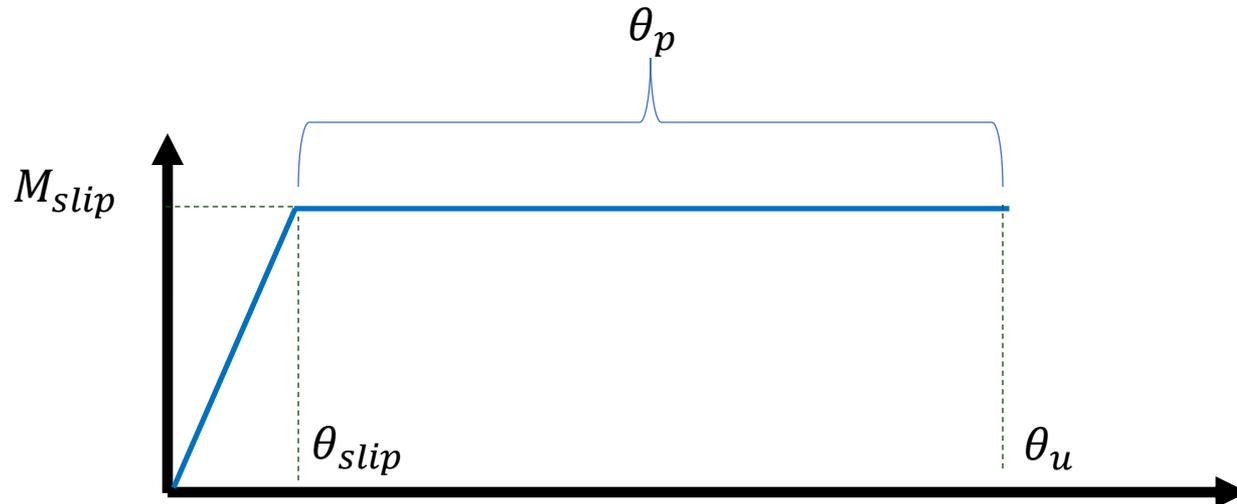


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## CRITERI DI DEFORMAZIONE E MODELLI DI RESISTENZA

La deformazione ultima,  $\theta_u$ , deve essere calcolata in base alla deformazione allo scorrimento,  $\theta_{slip}$ , più la parte pseudo-plastica della deformazione,  $\theta_p$ , a causa della corsa di progetto del dispositivo ad attrito che equipaggia le connessioni. La corsa deve essere progettata per fornire una rotazione pseudo-plastica  $\theta_p$  non inferiore a 0,03 rad in DC3 e 0,02 rad in DC2.

La parte pseudoplastica della deformazione finale è data dal rapporto tra la corsa di progetto del dispositivo ad attrito che equipaggia la connessione e il braccio della leva, valutato tenendo conto della posizione del centro di rotazione.



*freedam*

# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## CRITERI DI DEFORMAZIONE E MODELLI DI RESISTENZA

La parte pseudoplastica della deformazione finale è data dal rapporto tra la corsa di progetto del dispositivo ad attrito che equipaggia la connessione e il braccio della leva, valutato tenendo conto della posizione del centro di rotazione.

La parte pseudoplastica della deformazione,  $\theta_p$ , dovuta allo scorrimento della connessione è data dal rapporto tra la corsa di progetto del dispositivo ad attrito e il braccio della leva:

$$\theta_p = \delta_d / h_t$$

dove:

$\delta_d$  è il valore di progetto della corsa del dispositivo ad attrito che dipende dalla lunghezza dei fori asolati che consentono lo scorrimento dei bulloni;

$h_t$  è il braccio di leva ottenuto come distanza verticale tra il centro di rotazione e il baricentro del gruppo di bulloni che costituiscono il dispositivo ad attrito.



# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM



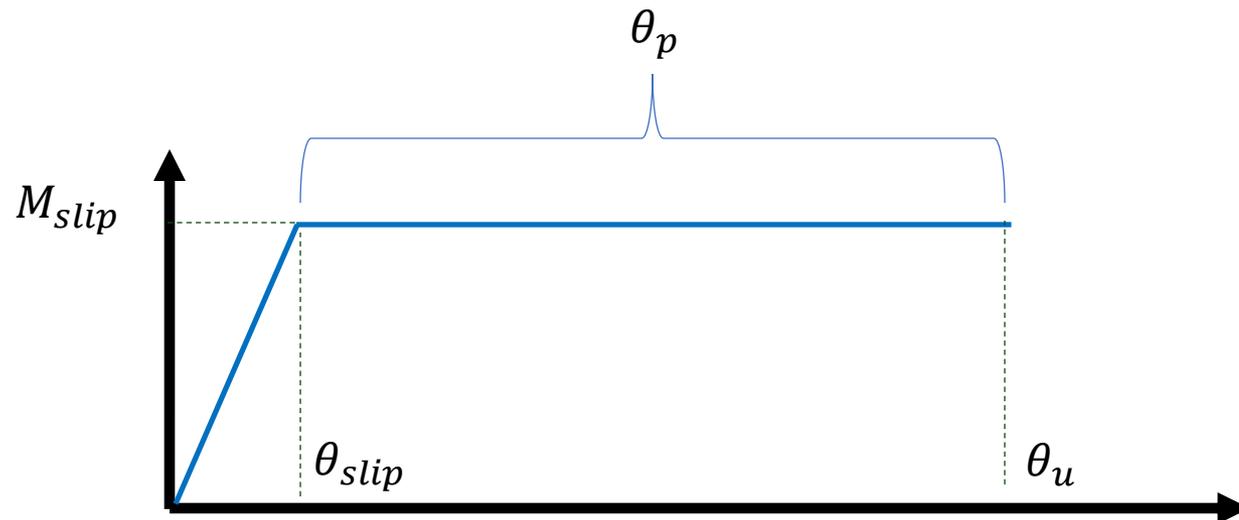
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## CRITERI DI DEFORMAZIONE E MODELLI DI RESISTENZA

I valori delle resistenze sono valori medi in condizioni dinamiche che dovrebbero essere considerati per le analisi strutturali non lineari.

Valori caratteristici più bassi delle resistenze vengono utilizzati per le verifiche.

I valori caratteristici superiori delle resistenze sono utilizzati per i criteri di progettazione in capacità, per progettare le componenti fragili della struttura e del collegamento.



*freedam*

# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

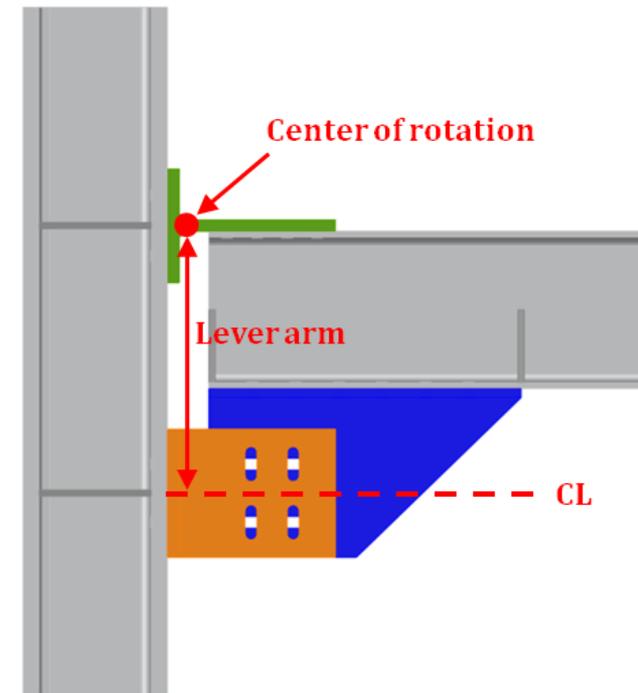
## Resistenza dei Giunti FREEDAM

L'effettiva resistenza allo scorrimento delle connessioni FREEDAM è data da:

$$M_{\text{slip}} = \Omega_{\text{dyn}} M_{\text{slip.Rd}}$$

dove:

$\Omega_{\text{dyn}}$  è il fattore materiale che considera la differenza tra coefficienti di attrito statici e dinamici. È uguale al rapporto tra il valore medio del coefficiente di attrito dinamico e il valore di progetto del coefficiente di attrito statico utilizzato per definire la resistenza di progetto della connessione. Il valore  $\Omega_{\text{dyn}} = 1.00$  è valido per il materiale M4 utilizzato per il rivestimento dei cuscinetti di attrito dei dispositivi FREEDAM. Per diversi rivestimenti, devono essere effettuate prove sperimentali specifiche.



# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

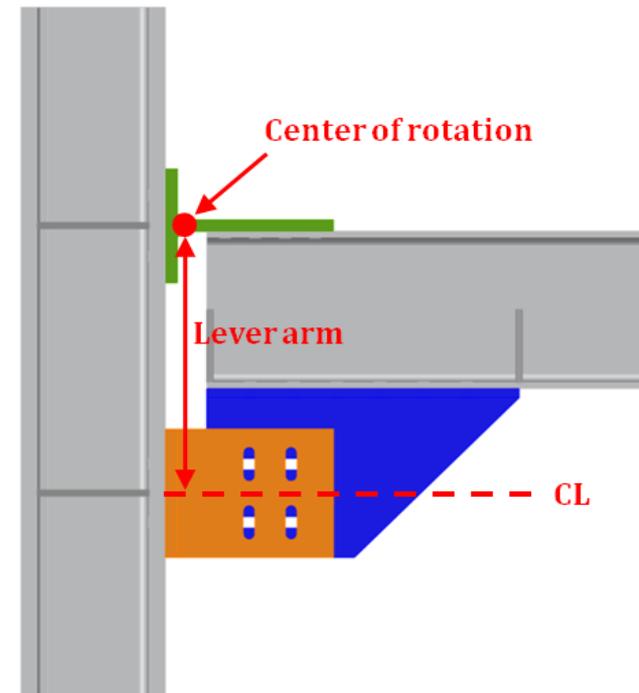
## Resistenza dei Giunti FREEDAM

$M_{slip.Rd}$  è il momento resistente corrispondente allo scorrimento del dispositivo ad attrito equipaggiante la connessione, dato da:

$$M_{slip.Rd} = \mu_{s.lower} n_b n_s F_{p,lt} h_t / \gamma_{Mf}$$

dove  $n_b$  è il numero di bulloni,  $n_s$  è il numero di superfici di contatto,  $F_{p,lt}$  è il valore a lungo termine del precarico del bullone dovuto al serraggio,  $h_t$  è il braccio della leva,  $\mu_{s.lower}$  è il frattile al 5% del coefficiente di attrito statico delle superfici di contatto influenzate dal processo di rivestimento e  $\gamma_{Mf}$  è il fattore di sicurezza parziale.

In caso di dispositivi FREEDAM, possono essere usati i valori  $\mu_{s.lower} = 0.69$  e  $\gamma_{Mf} = 1.162$ . Per diversi rivestimenti, devono essere effettuate prove sperimentali specifiche per stabilire il valore di progetto del coefficiente di attrito.



*freedam*

# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## Resistenza dei Giunti FREEDAM

Un' adeguata resistenza a flessione delle connessioni trave-colonna dotate di dispositivi ad attrito dovrebbe essere garantita soddisfacendo la seguente relazione:

$$M_{Ed} \leq \Omega_{dyn} M_{slip.Rd}$$

dove:

$M_{Ed}$  è il momento flettente massimo che si verifica nella connessione sotto le combinazioni di carico sismico per gli stati limite ultimi, cioè combinazioni dei carichi gravitazionali con l'azione sismica corrispondente allo stato limite di danno significativo (SD).

$\Omega_{dyn} M_{slip.Rd}$  è il momento resistente per lo stato limite di danno significativo corrispondente allo scorrimento del dispositivo ad attrito che equipaggia la connessione. Il valore  $\Omega_{dyn}=1.00$  è valido per il materiale M4 usato per il rivestimento dei cuscinetti di attrito dei dispositivi FREEDAM. Per diversi rivestimenti devono essere effettuate prove sperimentali specifiche.



# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## Resistenza dei Giunti FREEDAM

Devono essere applicati criteri di gerarchia locali per assicurare che lo scorrimento del dispositivo ad attrito sia la componente del giunto più debole, agendo come componente dissipativa.

Le componenti non dissipative della connessione devono essere progettate per rimanere in campo elastico e, pertanto, devono essere progettati in modo da resistere alle forze massime che il componente dissipativo è in grado di trasmettere, cioè  $F_{\text{slip.max.Cd}}$ , che viene valutato come:

$$F_{\text{slip.max.Cd}} = \Omega_{\text{Cd}} (\mu_{\text{s.lower}} n_b n_s F_{\text{p,lt}}) / \gamma_{\text{Mf}}$$

dove  $\Omega_{\text{Cd}}$  è un fattore di sovraresistenza che rappresenta l'aleatorietà del coefficiente di attrito, come influenzato dal processo di rivestimento dei cuscinetti ad attrito, e dal livello di affidabilità selezionato nel raggiungimento dell'obiettivo progettuale.

In caso di dispositivi FREEDAM, il fattore di sovraresistenza è  $\Omega_{\text{Cd}}=1.56$ .

Nel caso di cuscinetti di attrito con un rivestimento diverso, devono essere effettuate prove sperimentali specifiche.



# CONTENUTI

1. *Obiettivo*
2. *Disposizioni generali relative ai dispositivi ad attrito*
3. *Regole per la modellazione e la progettazione di collegamenti FREEDAM*
4. *Requisiti per i dispositivi ad attrito*
5. *Regole di progettazione dei telai con collegamenti FREEDAM*
6. *Osservazioni finali*



# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## REQUISITI PER I DISPOSITIVI AD ATTRITO

### Preparazione delle superfici di contatto dei cuscinetti ad attrito

L'area delle superfici di contatto deve essere assunta uguale all'area degli elementi della piastra che costituiscono i cuscinetti di attrito. Le superfici di contatto devono essere preparate in modo da produrre il fattore di scorrimento richiesto secondo un intervallo comportamentale specificato che deve essere generalmente determinato dalla prova come specificato nell'allegato A.

Le seguenti precauzioni devono essere prese prima del montaggio:

- a) le superfici di contatto devono essere prive di tutti i contaminanti, come olio, sporco o vernice. Le imperfezioni che impedirebbero la posizione solida delle parti di collegamento devono essere rimosse;
- b) le superfici non rivestite devono essere liberate da tutti gli strati di ruggine e altro materiale sciolto. Bisogna fare attenzione a non danneggiare o levigare la superficie irruvidita. Le aree non trattate attorno al perimetro della connessione serrata devono essere lasciate non trattate fino al completamento di un'ispezione della connessione.

# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## REQUISITI PER I DISPOSITIVI AD ATTRITO

### Preparazione delle superfici di contatto dei cuscinetti di attrito

Il dispositivo ad attrito deve essere costruito per fornire:

- a) adeguata resistenza all'attrito per evitare qualsiasi scorrimento in condizioni di carico gravitazionale sia allo stato limite di esercizio (SLS) che allo stato limite ultimo (ULS);
- b) adeguata resistenza all'attrito per evitare qualsiasi scorrimento sotto le azioni del vento, a meno che non si desideri una dissipazione di energia per i livelli specificati dell'intensità dell'azione del vento.
- c) adeguata resistenza all'attrito per evitare qualsiasi scorrimento sotto azioni sismiche corrispondenti allo stato limite di operatività (SLS);
- d) prevenzione del collasso degli elementi della piastra costituenti il dispositivo ad attrito e dei componenti della connessione;
- e) adeguata capacità di dissipazione dell'energia in condizioni di carico ciclico.



# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## REQUISITI PER I DISPOSITIVI AD ATTRITO

### Preparazione delle superfici di contatto dei cuscinetti di attrito

Il fabbricante deve fornire informazioni adeguate sia sul coefficiente di attrito statico che sul coefficiente di attrito dinamico.

La clausola precedente sarà soddisfatta a condizione che siano dichiarati e garantiti i seguenti parametri:

- Il limite superiore (frattile al 95%) del coefficiente di attrito statico;
- Il limite inferiore (frattile al 5%) del coefficiente di attrito statico;
- Il valore medio del coefficiente di attrito dinamico;
- Il limite inferiore (frattile al 5%) del coefficiente di attrito dinamico.



# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## REQUISITI PER I DISPOSITIVI AD ATTRITO

### Serraggio dei bulloni precaricati del dispositivo ad attrito

Il metodo della coppia è quello preferito per il serraggio dei bulloni dei dispositivi FREEDAM. La forza di precarico deve essere presa come:

$$F_{ap.C} = \gamma_{lt} \psi 0.70 f_{ub} A_s$$

dove  $\gamma_{lt}$  è un fattore che tiene conto delle perdite di precarico previste dei bulloni che si verificano durante il ciclo di vita della struttura,  $\psi \leq 1.0$  è il fattore di riduzione del precarico dei bulloni da applicare per ridurre l'usura delle superfici di contatto e/o per prevenire fenomeni di stick e slip.

Nel caso di dispositivi FREEDAM, il valore del fattore  $\gamma_{lt}$  tenendo conto delle perdite di precarico previste dei bulloni che si verificano durante il ciclo di vita della struttura è pari a 1.15 nel caso di cuscinetti ad attrito rivestiti con materiale M4;

Se  $\gamma_{lt} \psi$  supera 1.0, il livello di precarico a lungo termine che può essere effettivamente sfruttato dovrebbe essere adeguatamente ridotto (vale a dire  $\psi$  dovrebbe essere ridotto).

# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## REQUISITI PER I DISPOSITIVI AD ATTRITO Serraggio dei bulloni precaricati del dispositivo ad attrito

Possono essere utilizzati valori ridotti del fattore  $\gamma_{lt}$  per tener conto delle perdite di precarico dei bulloni a condizione che venga effettuato il riserraggio dei bulloni dopo 24 ore. I valori ridotti sono specificati mediante prove sperimentali a lungo termine.

In caso di dispositivi FREEDAM, il valore del fattore di riduzione del precarico del bullone  $\psi$  per ridurre l'usura delle superfici di contatto e/o per prevenire fenomeni di stick e slip dovrebbe essere  $\psi \leq 1.00$  nel caso di cuscinetti di attrito rivestiti con materiale M4.

L'uso di un livello di precarico  $\psi \geq 0.40$  è raccomandato indipendentemente dal materiale di rivestimento.

Il valore di progetto della forza di precarico a lungo termine necessaria per valutare la resistenza allo scorrimento del dispositivo ad attrito deve essere valutato come:

$$F_{p.lt} = \psi \cdot 0.70 \cdot f_{ub} \cdot A_s \leq F_{p.0} / \gamma_{lt}$$

dove  $F_{p.0}$  è il valore iniziale.

# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## REQUISITI PER I DISPOSITIVI AD ATTRITO Serraggio dei bulloni precaricati del dispositivo ad attrito

Il valore di progetto della forza di precarico iniziale necessaria per valutare la coppia da applicare per il serraggio dei bulloni è dato da:

$$F_{p,0} = F_{ap,C} = \gamma_{lt} \psi 0.70 f_{ub} A_s \quad \text{con la limitazione } \gamma_{lt} \psi \leq 1.0.$$

I valori della coppia  $M_{r,i}$  da utilizzare per ottenere la forza di precarico  $F_{p,0}$  devono essere determinate per ogni tipo di combinazione di bullone e dado utilizzata da una delle seguenti opzioni:

- valori basati sulla classe  $k$  dichiarati dal costruttore del dispositivo di fissaggio secondo EN 14399:

$$M_{r,2} = \gamma_{lt} \psi k_m d F_{p,C,max} \quad \text{con } k_m \text{ per classe K2}$$

- valori determinati secondo l'allegato H della norma EN 1090-2:

$M_{r,test} = M_m$  con  $M_m$  determinato secondo la procedura pertinente al metodo di serraggio da utilizzare.

*freedam*



# CONTENUTI

1. *Obiettivo*
2. *Disposizioni generali relative ai dispositivi ad attrito*
3. *Regole per la modellazione e la progettazione di collegamenti FREEDAM*
4. *Requisiti per i dispositivi ad attrito*
5. ***Regole di progettazione dei telai con collegamenti FREEDAM***
6. *Osservazioni finali*



# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## STATI LIMITE E CLASSI DI DUTTILITÀ

Lo stato del danno è riferito ai quattro stati limite (LS):

- a) SL Prevenzione del Collasso (NC) - la struttura è fortemente danneggiata, con grandi spostamenti interpiano permanenti, ma mantiene la sua capacità di carico verticale.
- b) SL di Danno Significativo (SD) - la struttura è significativamente danneggiata, possibilmente con moderati spostamenti interpiano permanenti, ma mantiene la sua capacità di carico verticale. La struttura dovrebbe essere riparabile, ma, in alcuni casi, potrebbe essere antieconomica da riparare.
- c) SL di Limitazione del Danno (DL) - la struttura è solo leggermente danneggiata ed economica da riparare; i componenti ausiliari, ove presenti, presentano solo danni minori che possono essere riparati economicamente (ad esempio, partizioni e tamponature possono mostrare fessure distribuite).
- d) SL di Piena Operatività (OP) - la struttura non è danneggiata, consentendo il funzionamento continuo degli impianti ospitati dalla struttura.

# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## STATI LIMITE E CLASSI DI DUTTILITÀ

Gli stati limite SD e NC devono essere considerati come Stati Limite Ultimi.

Gli stati limite DL e OP devono essere considerati Stati Limite di Esercizio.

Per quanto riguarda la loro capacità di deformazione e la capacità di dissipazione cumulativa di energia, le strutture dovrebbero essere classificate in tre classi di duttilità:

DC1 (Classe di duttilità 1),

DC2 (Classe di duttilità 2),

DC3 (Classe di duttilità 3).



# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## STATI LIMITE E CLASSI DI DUTTILITÀ

**DC1:** viene presa in considerazione la capacità di sovraresistenza, mentre la capacità di deformazione e la capacità di dissipazione di energia non sono prese in considerazione, vale a dire **solo progetto elastico senza regole e/o requisiti di progettazione in capacità.**

**DC2:** vengono prese in considerazione la capacità di sovraresistenza locale, la capacità di deformazione locale e la capacità di dissipazione dell'energia locale. Tuttavia, non ci sono requisiti per la verifica dell'abilità della struttura di formare un meccanismo plastico globale allo stato limite SD, ma **vengono fornite alcune regole gerarchiche semplificate per evitare meccanismi di piano soffice.**

**DC3:** sono prese in considerazione la capacità della struttura di formare un meccanismo plastico globale allo stato limite SD e la sua capacità di sovraresistenza locale, la capacità di deformazione locale e la capacità di dissipazione dell'energia locale, vale a dire **vengono fornite regole gerarchiche sia a livello globale che locale.**

# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## FATTORE DI STRUTTURA PER LO SPETTRO DI PROGETTO

Nuova EN-1998

DC1 *Coinvolgimento non plastico*

DC2 *Coinvolgimento poco dissipativo*

DC3 *Coinvolgimento plastico  
Medio-Elevato*

*Nuovo formato del fattore di struttura*

$$q = q_s q_R q_D$$

dove:

$q_R$  è la componente del fattore di struttura che tiene conto della sovraresistenza dovuta alla ridistribuzione degli effetti dell'azione sismica in strutture ridondanti;

$q_s$  è la componente del fattore di struttura che tiene conto della sovraresistenza dovuta a tutte le altre fonti;

$q_D$  è la componente del fattore di struttura che rappresenta la capacità di deformazione e la capacità di dissipazione dell'energia.



# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## FATTORE DI STRUTTURA PER LO SPETTRO DI PROGETTO

**Nuova EN-1998**

DC1	<i>Coinvolgimento non plastico</i>
DC2	<i>Coinvolgimento poco dissipativo</i>
DC3	<i>Coinvolgimento plastico Medio-Elevato</i>

*Nuovo formato del fattore di struttura*

$$q = q_s q_R q_D$$

I telai in acciaio sismo-resistenti dotati di connessioni FREEDAM devono essere progettati assumendo:

$$q_s = 1.50$$

$$q_R = 1.20$$

$$q_D = 2.0 \text{ in DC2}$$

$$q_D = 3.60 \text{ in DC3}$$



# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## CONTROLLO DEGLI EFFETTI DEL SECONDO ORDINE

Effetti del secondo ordine in DC3

$$\theta = \frac{P_{tot} d_{r,SD}}{q_S q_R \Omega_d V_{tot} h_s}$$

1.50    1.20

- $P_{tot}$  è il carico verticale totale al piano e al di sopra di esso, dovuto alle masse considerate nell'analisi sismica della struttura;
- $d_{r,SD}$  sono gli spostamenti relativi ottenuti considerando l'analisi sviluppata applicando lo spettro di progetto ridotto SD senza il limite inferiore;
- $q_R$  è la componente del fattore di struttura che tiene conto della sovraresistenza dovuta alla redistribuzione degli effetti dell'azione sismica in strutture ridondanti;
- $q_S$  è la componente del fattore di struttura che tiene conto della sovraresistenza dovuta a tutte le altre fonti;
- $V_{tot}$  è il taglio totale di piano nella situazione di progetto sismica, viene calcolato considerando un'analisi spettrale con lo spettro ridotto SD con il limite inferiore.

$$\Omega_d = \min(\Omega_{d,i}) = \min\left(\frac{M_{slip.Rd} - M_{G.Ed}}{M_{Ed,i}}\right)$$

$0,1 < \theta \leq 0,2$



Gli effetti di secondo ordine possono essere considerati approssimativamente moltiplicando gli effetti rilevanti dell'azione sismica per un fattore pari a  $1/(1-\theta)$

*freedam*

# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## LIMITAZIONE DELLO SPOSTAMENTO INTERPIANO

Massimo spostamento  
interpiano

$$d_{r,SD} \leq \lambda_s h_s$$

0.02

- $d_{r,SD}$  è lo spostamento interpiano di progetto, definito come la differenza degli spostamenti laterali medi  $d_s$  nella parte superiore e inferiore del piano in esame e calcolato in conformità con la EN 1998-1-1:2019;
- $\lambda_{ns}$  è un coefficiente che tiene conto della sensibilità degli elementi ausiliari allo spostamento interpiano.
- $h_s$  è l'altezza interpiano.

Lo spostamento si ottiene considerando l'analisi sviluppata applicando lo spettro di progettazione ridotto SD senza il limite inferiore!!!



# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## CRITERI DI PROGETTAZIONE

Le connessioni trave-colonna dotate di dispositivi ad attrito FREEDAM devono essere progettate per garantire:

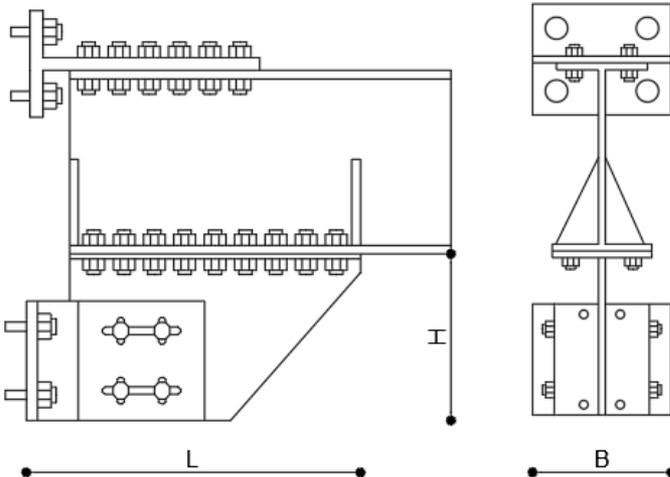
- adeguata resistenza all'attrito per evitare qualsiasi scorrimento in condizioni di carico gravitazionale sia agli stati limite di esercizio (SLE) che agli stati limite ultimi (ULS) per combinazioni di carichi non sismici;
- adeguata resistenza all'attrito per evitare qualsiasi scorrimento sotto le azioni del vento, a meno che non si desideri una dissipazione di energia per livelli specifici dell'intensità dell'azione del vento;
- un'adeguata resistenza all'attrito per evitare qualsiasi scorrimento in caso di azioni sismiche corrispondenti allo stato limite di piena operatività (OP) può essere concordata con il cliente;
- prevenzione del collasso degli elementi della piastra costituenti il dispositivo ad attrito e dei componenti della connessione;
- adeguata capacità di dissipazione dell'energia in condizioni di carico ciclico.

# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## PROGETTO DELLE ZONE DISSIPATIVE



$$M_{Ed} \leq M_{slip.Rd} = \frac{\mu_{s.lower} n_b n_s F_{p,lt} h_t}{\gamma_{Mf}}$$

Criterio di gerarchia locale

$$M_{b.Rd} \geq \underset{1.56^{[2]}}{\Omega_{Cd}} M_{slip.Rd} \left( \frac{l-L}{l} \right)$$

[2] F. Di Lauro, R. Montuori, E. Nasti, V. Piluso "Partial safety factors and overstrength coefficient evaluation for the design of connections equipped with friction dampers", *Engineering Structures*, 178 (2019) 645–655



# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## PROGETTO DELLE ZONE DISSIPATIVE

### *Requisiti aggiuntivi*

I bulloni e le saldature delle connessioni e degli elementi collegati devono avere una sovreresistenza sufficiente per consentire lo sviluppo di scorrimento ciclico nel dispositivo ad attrito delle connessioni.

Le membrature devono avere una sovreresistenza sufficiente per resistere elasticamente agli effetti massimi dovuti al dispositivo ad attrito delle connessioni.



# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## PROGETTO DELLE TRAVI

$$\begin{aligned}M_{Ed} &\leq M_{b.Rd} \\ N_{Ed} &\leq 0.15 N_{b.Rd} \\ V_{Ed} &\leq V_{b.Rd}\end{aligned}$$

$M_{Ed}$ ,  $N_{Ed}$  e  $V_{Ed}$  sono il momento flettente, la forza assiale e la forza di taglio, rispettivamente, nella situazione di progetto sismica;

$M_{b.Rd}$ ,  $N_{b.Rd}$ ,  $V_{b.Rd}$  sono le resistenze di progetto delle sezioni trasversali delle travi.

$M_{Ed.max}$  è stato selezionato come il massimo tra i primi due e gli ultimi due piani.



# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## PROGETTO DELLE TRAVI

Per le travi in DC3:

$$V_{Ed} \leq V_{Ed,G} + V_{Ed,M}$$

valore di Progetto del Taglio da determinare in base all'equilibrio della trave sotto le azioni non sismiche

Valore di Progetto del Taglio dovuto all'applicazione dei momenti di scorrimento

$$(M_{slip,A} + M_{slip,B}) / L_n$$

$L_n$  è al luce netta della trave tra le ali della colonna alle due estremità della trave

$$\Omega_{rm} M_{slip.Rd.A}$$

$$\Omega_{rm} M_{slip.Rd.B}$$

$$\Omega_{rm} = 1,50$$

$\Omega_{rm}$  è il fattore di sovreresistenza del materiale delle zone dissipative dovute alla variabilità causale del coefficiente di attrito dei dispositivi che equipaggiano i collegamenti trave-colonna [2]

[2] F. Di Lauro, R. Montuori, E. Nastri, V. Piluso "Partial safety factors and overstrength coefficient evaluation for the design of connections equipped with friction dampers", *Engineering Structures*, 178 (2019) 645-655



# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## PROGETTO DELLE COLONNE

*Verifiche per compressione, flessione e taglio in DC2*

$$N_{Ed} \leq N_{Ed,G} + \Omega N_{Ed,E}$$

$$M_{Ed} \leq M_{Ed,G} + \Omega M_{Ed,E}$$

$$V_{Ed} \leq V_{Ed,G} + \Omega V_{Ed,E}$$

Il fattore di amplificazione dell'azione sismica deve essere assunto uguale a:

$\Omega = 1.7$  in caso di telai a portale e MRFs ad un piano con sezioni trasversali di classe 1 e 2;

$\Omega = 2.0$  nel caso di MRFs a più piani.

# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## PROGETTO DELLE COLONNE

### *Resistenza delle colonne in DC3*

$$\sum M_{c.pl.Rd}(N_{Ed}) \geq \sum (\Omega_{rm} M_{slip.Rd} + s_h V_{Ed,M})$$

$\sum M_{c.pl.Rd}(N_{Ed})$  è la somma dei momenti resistenti di progetto della colonna tenendo conto dello sforzo normale  $N_{Ed}$

$s_h$  è la distanza tra la posizione del dispositivo ad attrito e l'asse della colonna

### *Verifiche per compressione, flessione e taglio in DC3*

$$\begin{aligned} N_{Ed} &\leq N_{Ed,G} + \Omega_{rm} \Omega_d N_{Ed,E} \\ M_{Ed} &\leq M_{Ed,G} + \Omega_{rm} \Omega_d M_{Ed,E} \\ V_{Ed} &\leq V_{Ed,G} + \Omega_{rm} \Omega_d V_{Ed,E} \end{aligned}$$

$\Omega_d$  è il valore minimo di  $(M_{slip,Rd} - M_{Ed,G})/M_{Ed,E}$  di tutte le connessioni in cui sono previste zone dissipative e  $M_{Ed,G}$  è il momento dovuto alle azioni non sismiche.

$\Omega_{rm}$  è il fattore di sovraresistenza del materiale della zona dissipativa dovuto all'aleatorietà del coefficiente di attrito dei dispositivi che equipaggiano le connessioni trave-colonna.

# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## PROGETTO DELLE COLONNE

### *Requisiti addizionali per DC3*

I telai sismo-resistenti in DC3 dotati di connessioni FREEDAM dovrebbero essere progettati in modo che si verifichi uno scorrimento nei collegamenti trave-colonna.

Il collasso delle colonne dovrebbe essere evitato ad eccezione della base del telaio in cui  $N_{Ed,G}$  nelle colonne primarie soddisfa la disuguaglianza:  $N_{Ed,G} / N_{pl,Rd} < 0.30$ ;





# CONTENUTI

1. *Obiettivo*
2. *Disposizioni generali relative ai dispositivi ad attrito*
3. *Regole per la modellazione e la progettazione di collegamenti FREEDAM*
4. *Requisiti per i dispositivi ad attrito*
5. *Regole di progettazione dei telai con collegamenti FREEDAM*
6. *Osservazioni finali*



# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

- *In questa presentazione sono state riassunte le norme e i requisiti supplementari per i telai in acciaio resistenti al momento dotati di connessioni FREEDAM nell'ambito delle norme prEN 1998-1-1 e prEN 1998-1-2.*
- *Le regole e i requisiti derivano dall'esperienza acquisita nel progetto FREEDAM e sono allineati con la filosofia della norma in procinto di essere varata prEN1998-1-2.*
- *Il background tecnico e scientifico delle regole presentate è già stato dimostrato dai precedenti contributi.*
- *Si osserva che le regole presentate saranno implementate nella prossima versione di EN1998-1-2. Pertanto, i telai in acciaio con collegamenti di tipo FREEDAM saranno facilmente accessibili a tutti i progettisti europei.*



# Raccomandazioni di progettazione pre-normative per le connessioni FREEDAM



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

***Grazie per la cortese attenzione***

*freedam*



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

# VENUE



## Valorization of knowledge on FREE from DAMAge Steel Connections Grant Agreement Number: 899321



## Linee Guida per la Progettazione ed Esempi di Strutture Dotate di Connessioni “FREEDAM”

DISSEMINATION WORKSHOP of the  
FREEDAM PLUS Project

*Salerno, Italia*  
XX XXXXX 2022





# CONTENUTI

1. *Obiettivo*
2. *Caso studio*
3. *Carichi permanenti e accidentali*
4. *Progetto per carichi verticali*
5. *Definizione delle imperfezioni*
6. *Definizione delle azioni sismiche*
7. *Approccio progettuale in linea con la norma aprEN1998*
8. *Approccio progettuale in linea con la Teoria del Controllo del Meccanismo Plastico (TPMC)*
9. *Osservazioni finali*

*freedom*

# CONTENUTI



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

1. *Obiettivo*
2. *Caso studio*
3. *Carichi permanenti e accidentali*
4. *Progetto per carichi verticali*
5. *Definizione delle imperfezioni*
6. *Definizione delle azioni sismiche*
7. *Approccio progettuale in linea con la norma prEN1998*
8. *Approccio progettuale in linea con la Teoria del Controllo del Meccanismo Plastico (TPMC)*
9. *Osservazioni finali*

*freedom*

# Linee Guida per la Progettazione ed Esempi di Strutture dotate di Connessioni “FREEDAM”

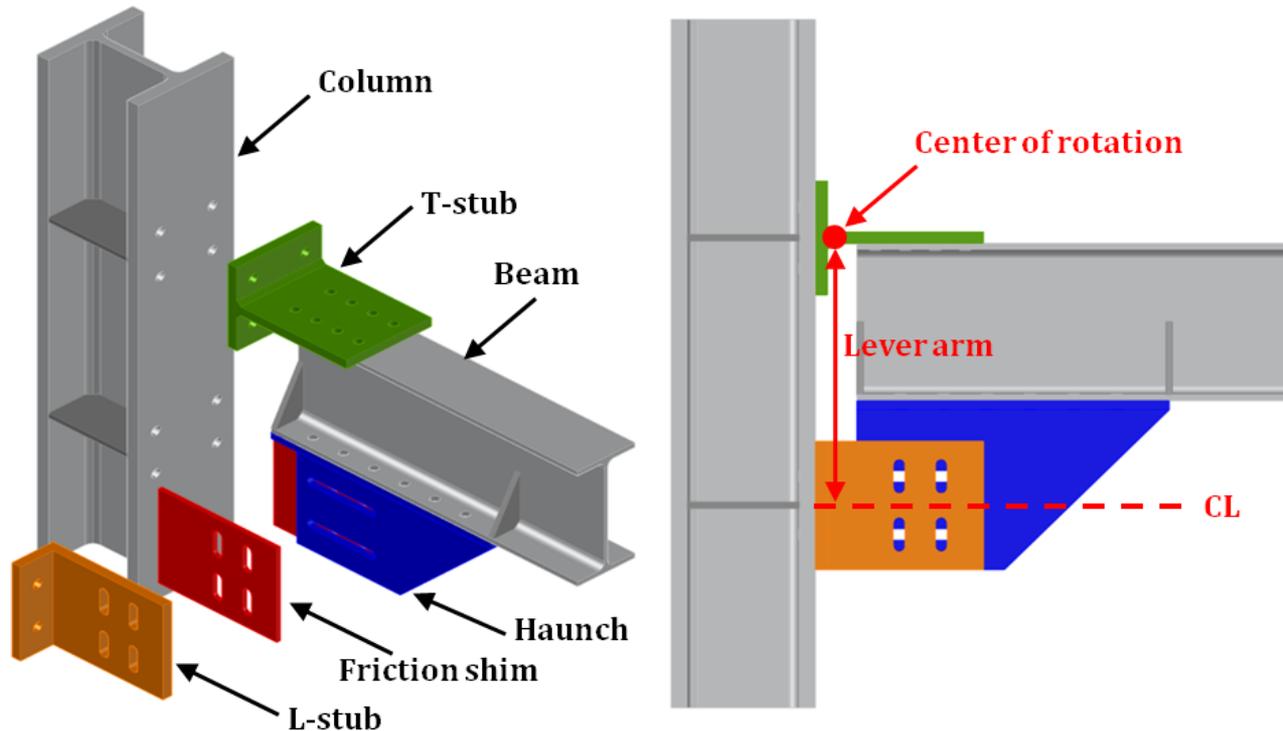


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

L'obiettivo di questa presentazione è la progettazione sismica di telai dotati di connessioni FREEDAM.

Si fa riferimento a Telai Sismo-Resistenti (MRFs) progettati sia con una procedura di progettazione in linea con la EN1998 sia con una procedura basata sulla Teoria del Controllo del Meccanismo Plastico (TPMC).

Viene presentato un esempio dettagliato per spiegare accuratamente la procedura di progettazione di tali MRFs. Le strutture sono state progettate nella classe di duttilità più alta, ovvero DC3 secondo la definizione di classe di duttilità riportata nella norma prEN1998 1-1 e 1-2.



*freedom*

**Connessioni FREEDAM**

FREEDAM PLUS DISSEMINATION WORKSHOP



# CONTENUTI

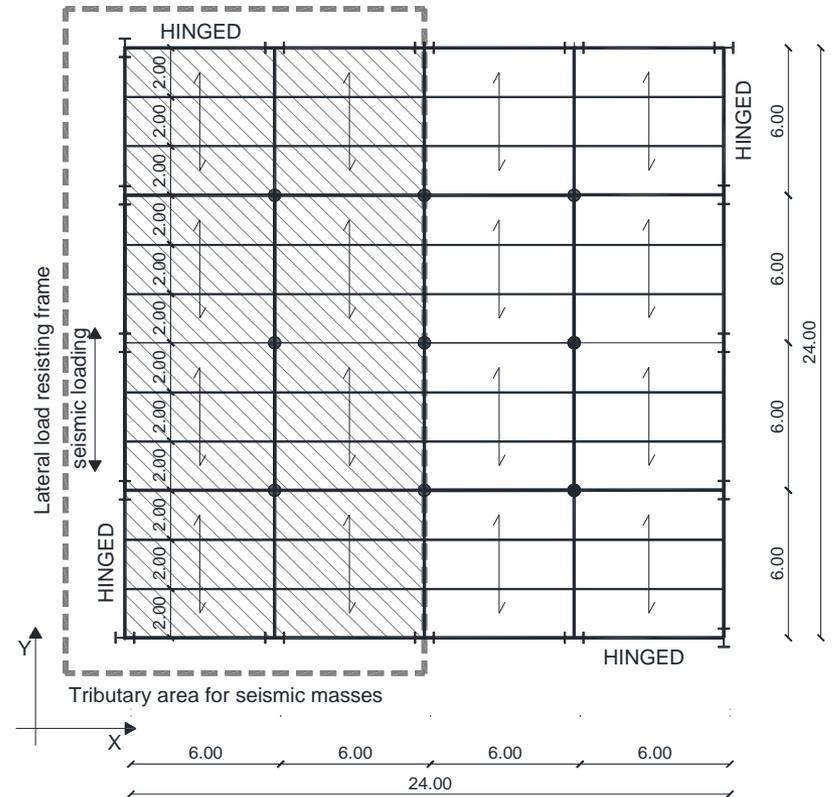
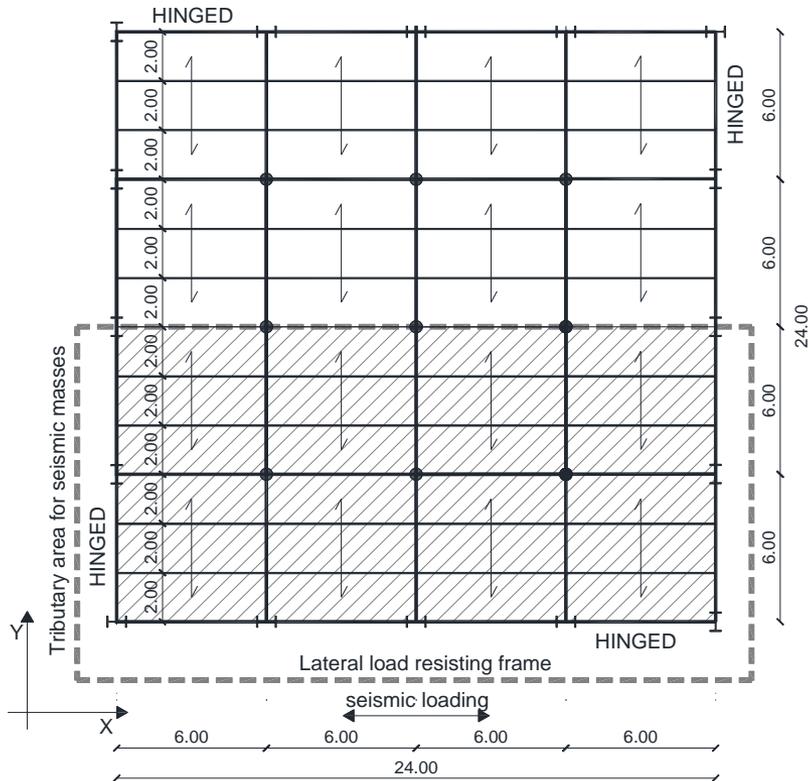
1. *Obiettivo*
2. *Caso studio*
3. *Carichi permanenti e accidentali*
4. *Progetto per carichi verticali*
5. *Definizione delle imperfezioni*
6. *Definizione delle azioni sismiche*
7. *Approccio progettuale in linea con la norma prEN1998*
8. *Approccio progettuale in linea con la Teoria del Controllo del Meccanismo Plastico (TPMC)*
9. *Osservazioni finali*

*freedom*

# Linee Guida per la Progettazione ed Esempi di Strutture dotate di Connessioni “FREEDAM”



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO



**CATEGORIA B**  
**GRADO DI ACCIAIO S355**

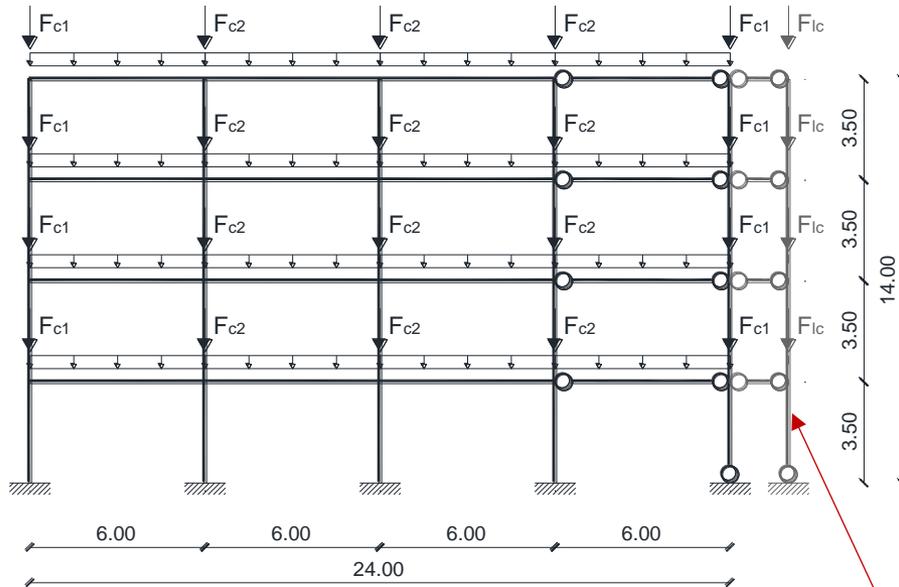
*freedom*

# Linee Guida per la Progettazione ed Esempi di Strutture dotate di Connessioni “FREEDAM”



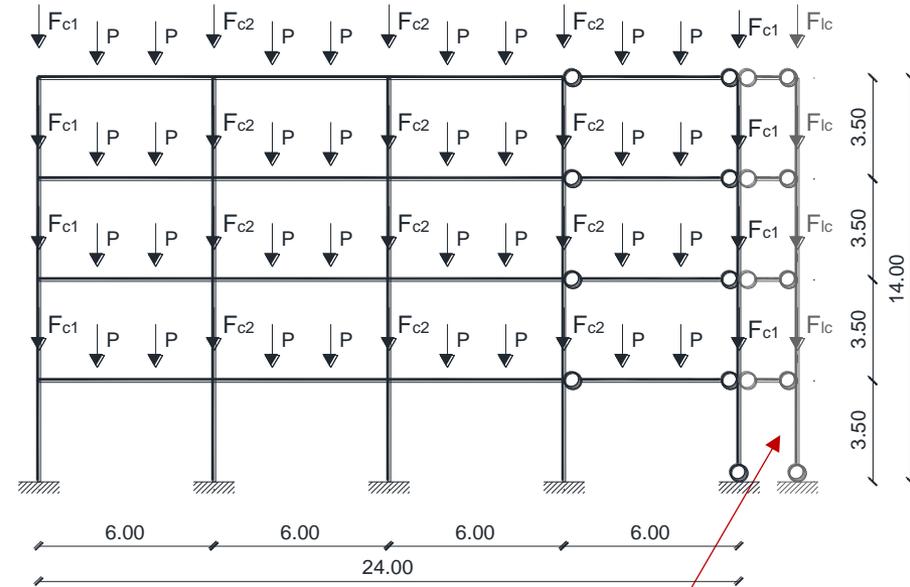
## 4 PIANI MRFs

**DIREZIONE X**



**Leaning Column**

**DIREZIONE Y**



**Leaning Column**



# CONTENUTI

1. *Obiettivo*
2. *Caso studio*
3. *Carichi permanenti e variabili*
4. *Progetto per carichi verticali*
5. *Definizione delle imperfezioni*
6. *Definizione delle azioni sismiche*
7. *Approccio progettuale in linea con la norma prEN1998*
8. *Approccio progettuale in linea con la Teoria del Controllo del Meccanismo Plastico (TPMC)*
9. *Osservazioni finali*

*freedom*

# Linee Guida per la Progettazione ed Esempi di Strutture dotate di Connessioni “FREEDAM”



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

Il carico permanente strutturale totale è:  $3.25 \text{ kN/m}^2$ .

## Carichi permanenti non strutturali

	Weight per unit of volume ( $\text{kN/m}^3$ )	Thickness (m)	Loads ( $\text{kN/m}^2$ )
Soundproof insulation	0.30	0.010	0.003
Floor screed	7.20	0.050	0.360
Floor	10.00	0.020	0.200
Thermal insulation	0.10	0.100	0.010
Ceiling			0.177
<b>Total value of non-structural permanent loads</b>			<b><math>0.75 \text{ kN/m}^2</math></b>

In conclusione, i carichi permanenti ( $g_k$ ) sono:

- Carichi permanenti sui piani e sul tetto:  $3.25 + 0.75 = 4.0 \text{ kN/m}^2$
- Carichi permanenti delle pareti esterne :  $1.0 \text{ kN/m}^2$

I carichi accidentali sono:

Piano:  $q_k = 3.5 \text{ kN/m}^2$

Tetto:  $q_k = 3.0 \text{ kN/m}^2$

Combinazione SLU per carichi verticali:

Piano:  $q_d = \gamma_g (g_{k1} + g_{k2}) + \gamma_q q_k = 10,65 \text{ kN/m}^2$

Tetto:  $q_{d.roof} = \gamma_g (g_{k1} + g_{k2}) + \gamma_q q_k = 9,90 \text{ kN/m}^2$



# CONTENUTI

1. *Obiettivo*
2. *Caso studio*
3. *Carichi permanenti e accidentali*
4. *Progetto per carichi verticali*
5. *Definizione delle imperfezioni*
6. *Definizione delle azioni sismiche*
7. *Approccio progettuale in linea con la norma prEN1998*
8. *Approccio progettuale in linea con la Teoria del Controllo del Meccanismo Plastico (TPMC)*
9. *Osservazioni finali*

*freedom*

# Linee Guida per la Progettazione ed Esempi di Strutture dotate di Connessioni “FREEDAM”



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

- Progetto delle travi

Reazioni in corrispondenza degli appoggi interni

$$R_i = 1.00 q_d l = 1.00 \times 10.65 \times 2 = 21.30 \text{ kN/m}$$

$$R_{i.roof} = 1.00 q_{d.roof} l = 1.00 \times 9.9 \times 2 = 19.8 \text{ kN/m}$$

Reazioni in corrispondenza degli appoggi esterni

$$R_e = 0,50 q_d l = 0,50 \times 10.65 \times 2 = 10,65 \text{ kN/m}$$

$$R_{e.roof} = 0,50 q_{d.roof} l = 0,50 \times 9.9 \times 2 = 9,90 \text{ kN/m}$$

## Travi secondarie

$$M_{max} = R_i \frac{L^2}{8} = 21.30 \times \frac{6^2}{8} = 95.85 \text{ kN m} \rightarrow W_{pl} = \frac{M_{max}}{f_y} = 270.00 \text{ cm}^3 \rightarrow \text{IPE 220}$$

↓  
**IPE 270**

Carico concentrato dovuto alle travi interne

$$P = R_i \times L = 21.30 \times 6 = 127.80 \text{ kN}$$

Carico concentrato dovuto alle travi esterne primarie

$$P = R_e \times L = 10,65 \times 6 = 63.90 \text{ kN}$$

## Travi primarie

$$M_{max} = Pl = 127.8 \times 2 = 255.60 \text{ kNm} \rightarrow W_{pl} = \frac{M_{max}}{f_y} = 720,00 \text{ cm}^3 \rightarrow \text{IPE 330}$$

↓  
**IPE 360**

# Linee Guida per la Progettazione ed Esempi di Strutture dotate di Connessioni “FREEDAM”

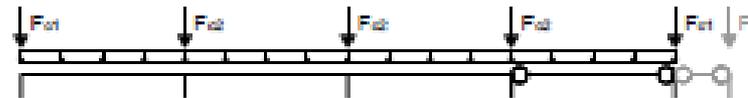


- Calcolo dei carichi verticali concentrati e distribuiti agenti sul telaio sismo-resistente*

**Piano:**  $G_k + \psi_2 Q_k = 4.00 + 0.3 \times 3.5 = 5.05 \text{ kN/m}^2$        $q_d = 0.50 \times 5.05 \times 2 = 5.05 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

**Tetto:**  $G_k + \psi_2 Q_k = 4.00 + 0.3 \times 3.0 = 4.90 \text{ kN/m}^2$        $q_{d.roof} = 0.50 \times 4.90 \times 2 = 4.90 \text{ kN/m}$

Direzione X



Storey	$F_{c1}$ (kN)		$F_{c2}$ (kN)		$F_{lc}$ (kN)	
	$G_k$	$Q_k$	$G_k$	$Q_k$	$G_k$	$Q_k$
1-3	45.00	21.00	69.00	42.00	927.00	756.00
4	34.50	18.00	58.50	36.00	895.50	648.00

Direzione Y



Storey	P (kN)		$F_{c1}$ (kN)		$F_{c2}$ (kN)		$F_{lc}$ (kN)	
	$G_k$	$Q_k$	$G_k$	$Q_k$	$G_k$	$Q_k$	$G_k$	$Q_k$
1-3	24.00	21.00	33.00	10.50	45.00	21.00	927.00	756.00
4	24.00	18.00	22.50	9.00	34.50	18.00	895.50	648.00

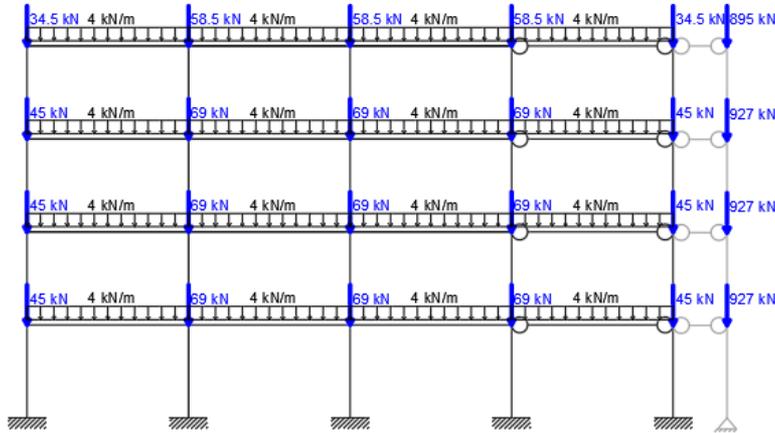


# Linee Guida per la Progettazione ed Esempi di Strutture dotate di Connessioni “FREEDAM”

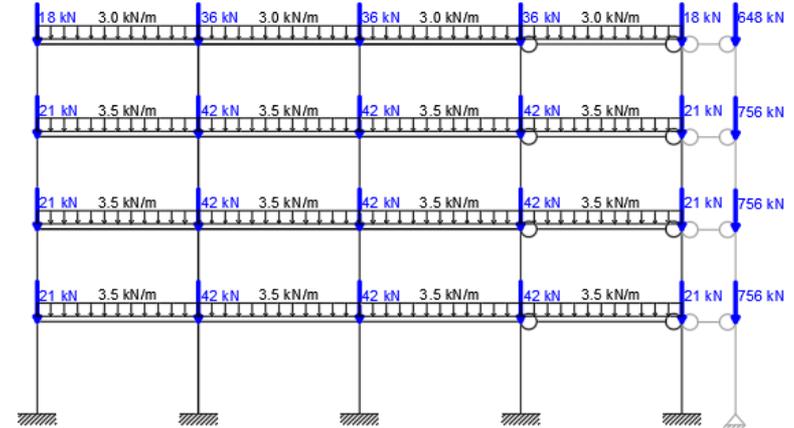


## Schema di carico per $G_k$ e $Q_k$

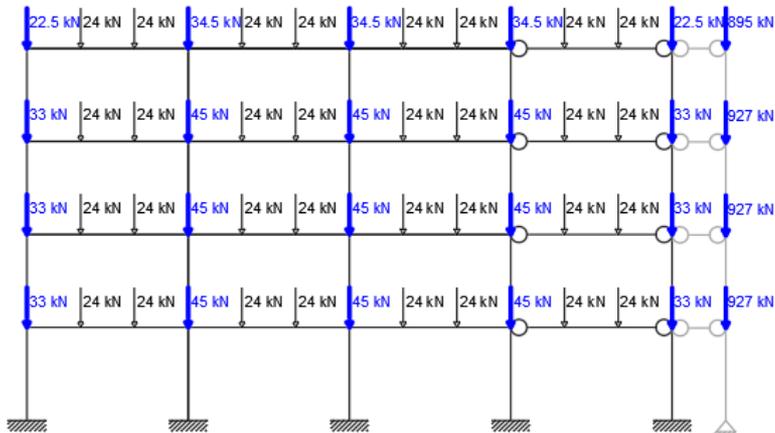
$G_k$  loads in X direction



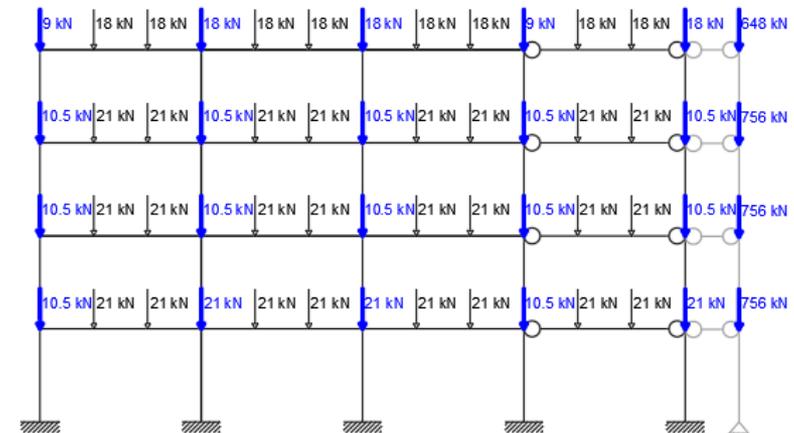
$Q_k$  loads in X direction



$G_k$  loads in Y direction



$Q_k$  loads in Y direction



*freedom*

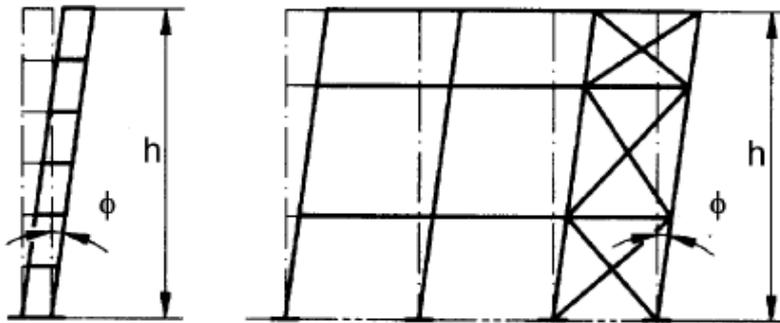


# CONTENUTI

1. *Obiettivo*
2. *Caso studio*
3. *Carichi permanenti e accidentali*
4. *Progetto per carichi verticali*
5. *Definizione delle imperfezioni*
6. *Definizione delle azioni sismiche*
7. *Approccio progettuale in linea con la norma prEN1998*
8. *Approccio progettuale in linea con la Teoria del Controllo del Meccanismo Plastico (TPMC)*
9. *Osservazioni finali*

*freedom*

# Linee Guida per la Progettazione ed Esempi di Strutture dotate di Connessioni “FREEDAM”



$$\phi = \phi_0 \alpha_h \alpha_m$$

$$\phi_0 = 1/200 = 0.005$$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} \text{ but } \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1$$

$$\alpha_m = \sqrt{0.5 \left( 1 + \frac{1}{m} \right)}$$

$m$  è il numero di colonne in una riga comprendente solo quelle colonne che portano un carico verticale  $N_{Ed}$  non inferiore al 50% del valore medio della colonna nel piano verticale considerato

Structure	h (m)	$\phi_0$ (-)	$\alpha_h$ (-)	m (-)	$\alpha_m$ (-)	$\phi$ (-)
4-storey	14	0.005	0.67	5	0.77	0.0026

La determinazione dell'imperfezione equivalente della forza orizzontale può essere calcolata come segue:  $H_{Ed} = \phi N_{Ed}$  dove  $N_{Ed}$  è lo sforzo normale totale agente ad ogni piano in entrambe le combinazioni di carico verticale a SLU e Sismica.

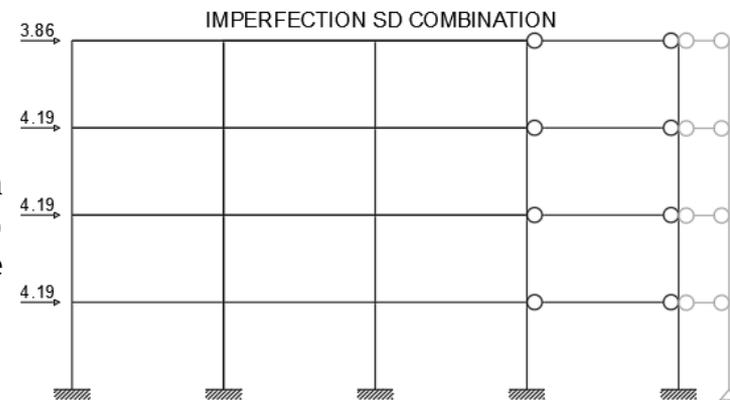
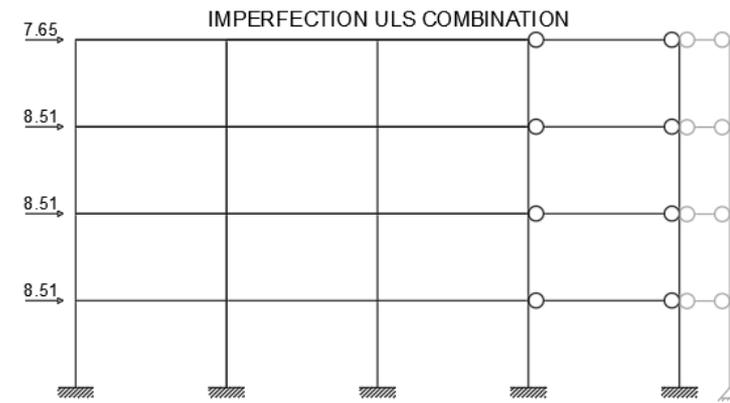
## Combinazione SLU

Storey	$N_{Ed}$ (kN)	$\phi$ (-)	$H_{Ed}$ (kN)
1-3	3294.00	0.0026	8.51
4	2940.60		7.65

## Combinazione Sismica

Storey	$N_{Ed}$ (kN)	$\phi$ (-)	$H_{Ed}$ (kN)
1-3	1622.40	0.0026	4.19
4	1495.20		3.86

Le imperfezioni da oscillazione possono essere trascurate quando  $H_{Ed} \geq 0.15 N_{Ed}$



*freedom*  $N_{Ed}$  è calcolato nella combinazione di carico permanente



# CONTENUTI

1. *Obiettivo*
2. *Caso studio*
3. *Carichi permanenti e accidentali*
4. *Progetto per carichi verticali*
5. *Definizione delle imperfezioni*
6. ***Definizione delle azioni sismiche***
7. *Approccio progettuale in linea con la norma prEN1998*
8. *Approccio progettuale in linea con la Teoria del Controllo del Meccanismo Plastico (TPMC)*
9. *Osservazioni finali*

*freedom*

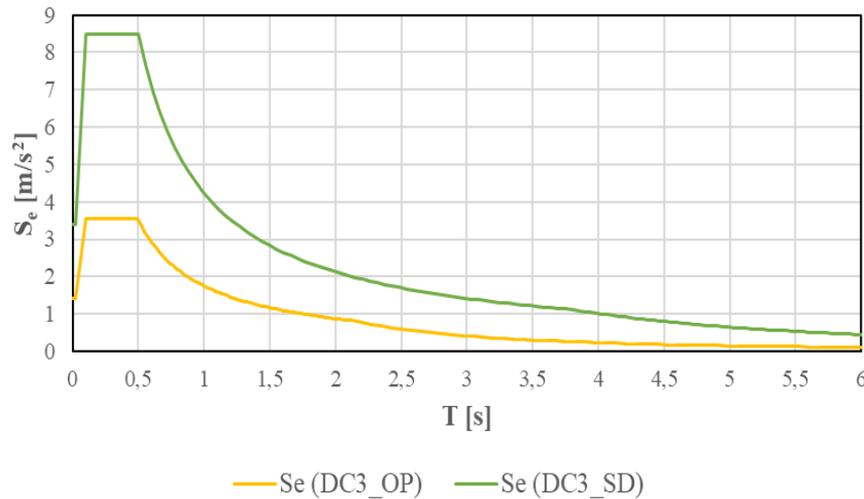
# Linee Guida per la Progettazione ed Esempi di Strutture dotate di Connessioni “FREEDAM”



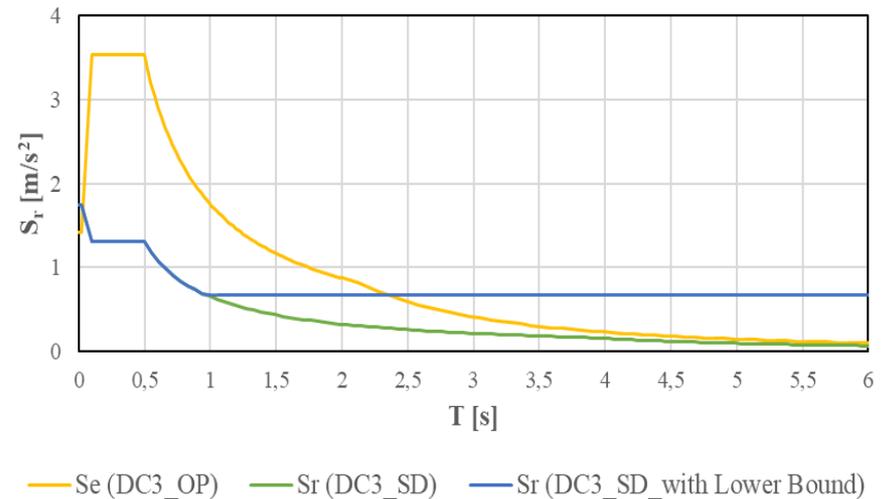
*Eurocodice 8*

- SL di Piena Operatività (OP)
- SL di Limitazione del Danno (DL)
- SL di Danno Significativo (SD)
- SL Vicino al Collasso (NC)

Elastic Response Spectrum



Reduced Spectrum



# Linee Guida per la Progettazione ed Esempi di Strutture dotate di Connessioni “FREEDAM”



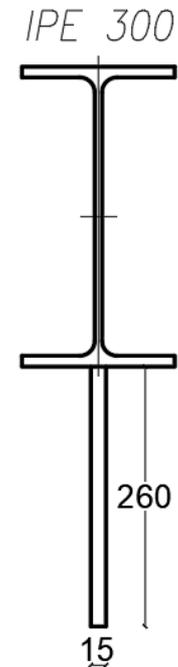
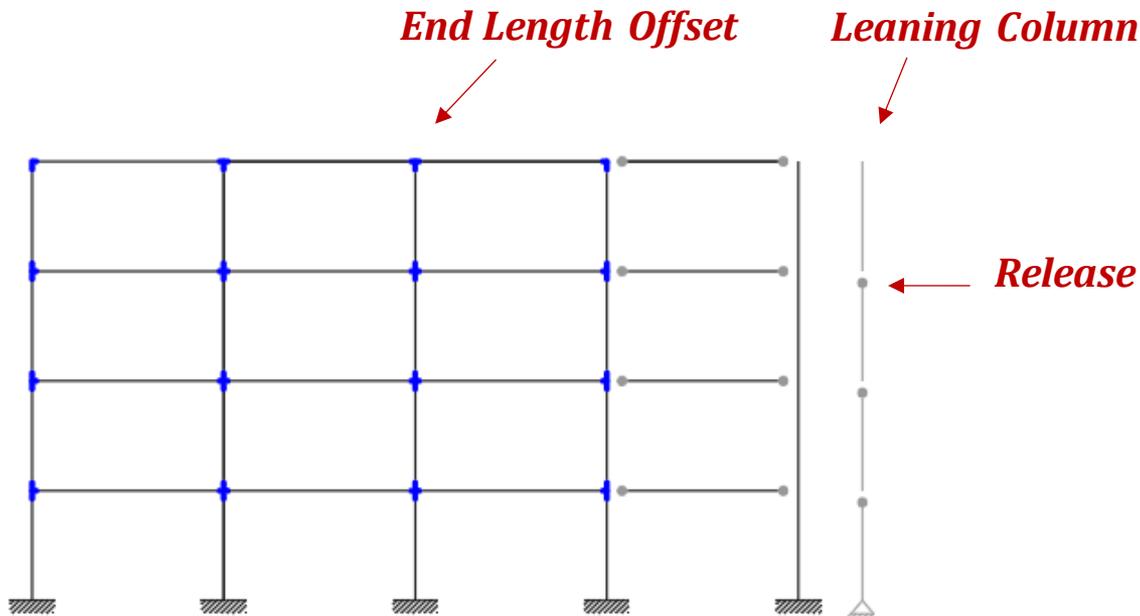
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## Modello Strutturale



SAP2000  
Versione 22

## **MODELLO FREEDAM per dispositivo D1**



*freedom*



# CONTENUTI

1. *Obiettivo*
2. *Caso studio*
3. *Carichi permanenti e accidentali*
4. *Progetto per carichi verticali*
5. *Definizione delle imperfezioni*
6. *Definizione delle azioni sismiche*
7. *Approccio progettuale in linea con la norma prEN1998*
8. *Approccio progettuale in linea con la Teoria del Controllo del Meccanismo Plastico (TPMC)*
9. *Osservazioni finali*

*freedom*

# Linee Guida per la Progettazione ed Esempi di Strutture dotate di Connessioni “FREEDAM”



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## Progetto per carichi verticali

La EN 1993<sup>[1]</sup> suggerisce che se:  $\alpha_{cr} \geq 3$  gli effetti di oscillazione del secondo ordine dovuti ai carichi verticali possono essere calcolati incrementando tutti i carichi orizzontali e altri possibili effetti di oscillazione secondo la teoria del primo ordine mediante il fattore  $\frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}}$

Storey	X direction		Y direction	
	Bay 1-3	Bay 4 (pinned)	Bay 1-3	Bay 4 (pinned)
1-2	IPE 330	IPE 220	IPE 330	IPE 270
3-4	IPE 300	IPE 220	IPE 330	IPE 270
Storey	Column 1-5	Column 4	Column 1-5	Column 4
1-2	HE 340 B	HE 340 B	HE 340 B	HE 340 B
3-4	HE 320 B	HE 320 B	HE 320 B	HE 320 B

$$\text{Direzione X} \begin{cases} \alpha_{cr} = 6.74 \\ \frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}} = 1.18 \end{cases}$$

$$\text{Direzione Y} \begin{cases} \alpha_{cr} = 7.00 \\ \frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}} = 1.17 \end{cases}$$

$$3 \leq \alpha_{cr} \leq 10$$



Le imperfezioni devono essere incrementate mediante il coefficiente di amplificazione!!!

[1] CEN. Eurocode 3: “Design of steel structures Part 1-1: General rules and rules for buildings”, UNI EN 1993-1-1, 2005.

# Linee Guida per la Progettazione ed Esempi di Strutture dotate di Connessioni “FREEDAM”

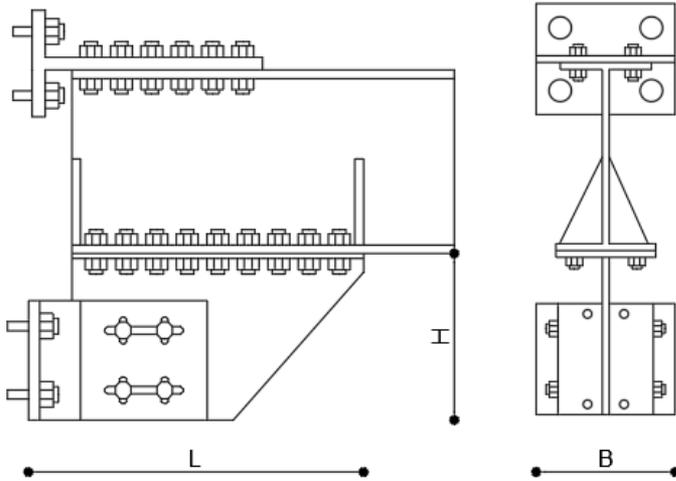


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## Progetto delle zone dissipative



### DISPOSITIVO D1



DEVICE	Minimum column size	L (mm)	H (mm)	B (mm)
D1	HE 240 B	505	260	221

$$M_{Ed} \leq M_{slip.Rd} = \frac{\mu_{s.lower} n_b n_s F_{p,lt} h_t}{\gamma_{Mf}}$$

Critério di gerarchia locale

$$M_{b.Rd} \geq \Omega_{Cd} M_{slip.Rd} \left( \frac{l-L}{l} \right)$$

1.56<sup>[2]</sup>

Per materiale M4  $\mu_{s.lower} = 0.69$  e  $\gamma_{Mf} = 1.16$

Direzione X

St.	column	beam	D	l (m)	$M_{Ed,max}$ (kNm)	$F_{p,lt}$ (kN)	$M_{slip.Rd}$ (kNm)	$\Omega_{Cd} M_{slip.Rd}$ (kNm)	$M_{b,Rd}$ (kNm)
1-2	HE340B	IPE360	D1	2.83	228.27	91.00	229.11	293.86	361.75
3-4	HE320B	IPE300	D1	2.84	162.70	73.00	162.99	209.21	223.08

Direzione Y

St.	column	beam	D	l (m)	$M_{Ed,max}$ (kNm)	$F_{p,lt}$ (kN)	$M_{slip.Rd}$ (kNm)	$\Omega_{Cd} M_{slip.Rd}$ (kNm)	$M_{b,Rd}$ (kNm)
1-2	HE340B	IPE360	D1	2.83	250.98	100.00	251.77	322.68	361.75
3-4	HE320B	IPE330	D1	2.84	186.16	79.00	187.64	240.67	285.53

[2] F. Di Lauro, R. Montuori, E. Nastri, V. Piluso “Partial safety factors and overstrength coefficient evaluation for the design of connections equipped with friction dampers”, *Engineering Structures*, 178 (2019) 645–655



# Linee Guida per la Progettazione ed Esempi di Strutture dotate di Connessioni “FREEDAM”



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## Approccio progettuale in linea con la norma prEN1998: Progetto e verifica delle travi

$$\begin{aligned} M_{Ed} &\leq M_{b.Rd} \\ N_{Ed} &\leq 0.15 N_{b.Rd} \\ V_{Ed} &\leq V_{b.Rd} \end{aligned}$$

$M_{Ed}$ ,  $N_{Ed}$  e  $V_{Ed}$  sono i momenti flettenti, lo sforzo normale e il Taglio, rispettivamente, nella situazione sismica di progetto;

$M_{b.Rd}$ ,  $N_{b.Rd}$ ,  $V_{b.Rd}$  sono le resistenze di Progetto delle sezioni trasversali delle travi.

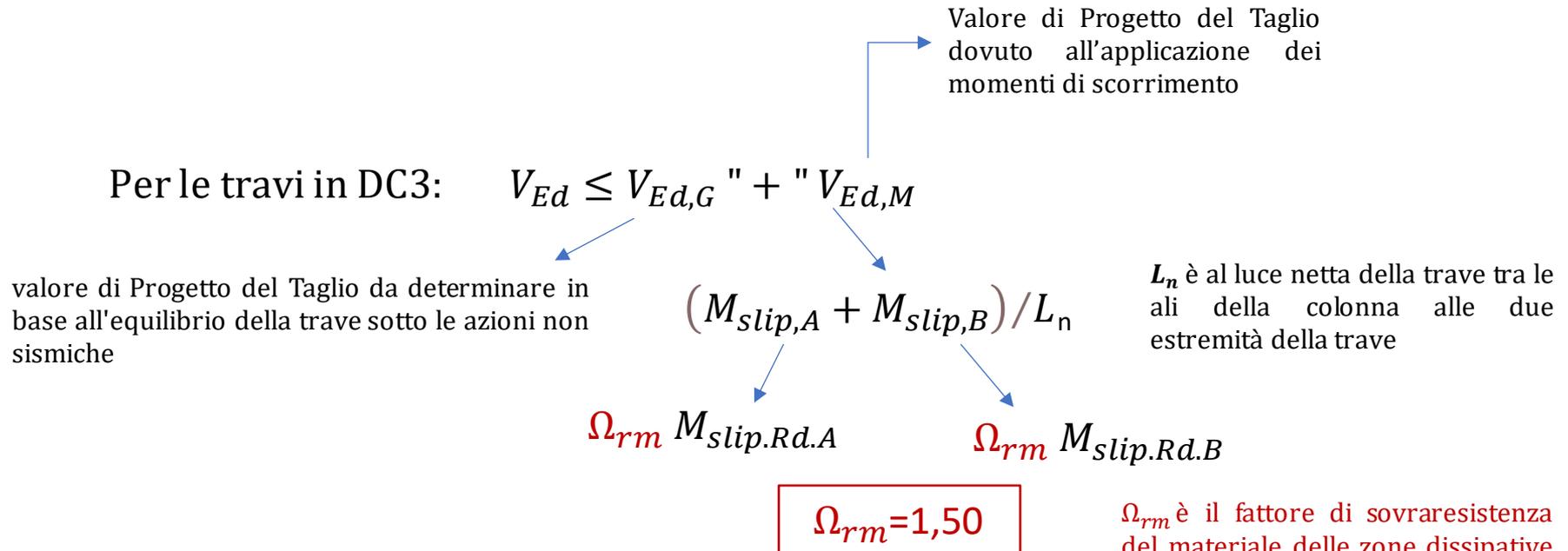
St.	beam	$M_{Ed.max}$ (kNm)	$M_{b.Rd}$ (kNm)	check	$N_{Ed}$ (kN)	$0.15N_{b.Rd}$ (kN)	check
1-2	IPE 360	174.24	361.75	ok	0.00	333.40	ok
3-4	IPE 300	114.02	223.08	ok	0.00	333.40	ok

$M_{Ed.max}$  deve essere selezionato come il Massimo tra i primi due piani e gli ultimi due piani

# Linee Guida per la Progettazione ed Esempi di Strutture dotate di Connessioni "FREEDAM"



## Approccio progettuale in linea con la norma prEN1998: Progetto e verifica delle travi



St.	$M_{slip.Rd.A}$ (kNm)	$M_{slip.Rd.B}$ (kNm)	$M_{slip,A}$ (kNm)	$M_{slip,B}$ (kNm)	$L_n$ (m)	$V_{Ed,M}$ (kN)	$V_{Ed,G}$ (kN)	$V_{Ed}$ (kN)	$V_{b.Rd}$ (kN)	Check
1-2	226.60	226.60	339.89	339.89	5.70	119.26	30.30	149.56	670.77	ok
3-4	185.27	185.27	277.90	277.90	5.72	97.17	30.30	127.47	490.66	ok

[2] F. Di Lauro, R. Montuori, E. Nastri, V. Piluso "Partial safety factors and overstrength coefficient evaluation for the design of connections equipped with friction dampers", *Engineering Structures*, 178 (2019) 645-655



# Linee Guida per la Progettazione ed Esempi di Strutture dotate di Connessioni “FREEDAM”



## Approccio progettuale in linea con la norma prEN1998: Progetto e verifica delle colonne

*Resistenza e stabilità delle colonne in DC3*

$$\sum M_{c.pl.Rd}(N_{Ed}) \geq \sum (\Omega_{rm} M_{slip.Rd} + s_h V_{Ed,M})$$

$\sum M_{c.pl.Rd}(N_{Ed})$  è la somma dei momenti resistenti di Progetto della colonna tenendo conto dello sforzo normale  $N_{Ed}$

$s_h$  è la distanza tra la posizione del dispositivo e l'asse della colonna

Joint	element	$N_{pl.Rd}$ (kN)	$N_{Ed}$ (kN)	$N_{Ed} \leq 0.3 N_{pl.Rd}$	$M_{c.pl.Rd}(N_{Ed})$ (kN m)	$s_h$ (m)	$\sum M_{c.pl.Rd}(N_{Ed})$ (kN m)	$\sum \Omega_{rm} M_{slip.Rd} + s_h(V_{Ed,M})$ (kN m)
4	Sup.	4664.70	101.08	ok	544.57	0.14	1089.14	512.90
	Inf.	4664.70	214.45	ok	544.57			
3	Sup.	4664.70	72.31	ok	544.57	0.14	1089.14	500.93
	Inf.	4664.70	171.82	ok	544.57			
2	Sup.	5293.05	330.35	ok	663.495	0.15	1326.99	723.52
	Inf.	5293.05	447.76	ok	663.495			
1	Sup.	5293.05	287.21	ok	663.495	0.15	1326.99	705.43
	Inf.	5293.05	402.92	ok	663.495			

*Verifiche per compressione, flessione e taglio*

$$N_{Ed} \leq N_{Ed,G} + \Omega_{rm} \Omega_d N_{Ed,E}$$

$$M_{Ed} \leq M_{Ed,G} + \Omega_{rm} \Omega_d M_{Ed,E}$$

$$V_{Ed} \leq V_{Ed,G} + \Omega_{rm} \Omega_d V_{Ed,E}$$

Storey	$M_{slip.Rd}$ (kNm)	$M_{Ed,G}$ (kNm)	$M_{Ed,E}$ (kNm)	$\Omega_d$ (-)
1	229.11	15.45	173.42	1.23
2	229.11	15.45	167.03	1.28
3	162.99	14.59	114.02	1.30
4	162.99	14.59	67.88	2.19

$\Omega_d$  è il minimo valore di  $(M_{slip,Rd} - M_{Ed,G})/M_{Ed,E}$  di tutte le connessioni in cui sono previste le zone dissipative e  $M_{Ed,G}$  è il momento dovuto alle azioni non sismiche

Le verifiche sono soddisfatte con colonne **HE 300 B** per i primi due piani e **HE 280 B** per gli altri due.



# Linee Guida per la Progettazione ed Esempi di Strutture dotate di Connessioni “FREEDAM”



## Approccio progettuale in linea con la norma prEN1998: Controllo degli effetti del secondo ordine

### Effetti del secondo ordine in DC3

$$\theta = \frac{P_{tot} d_{r,SD}}{q_S q_R \Omega_d V_{tot} h_S}$$

$\swarrow$        $\swarrow$   
 1.50    1.20

- $P_{tot}$  è il carico gravitazionale totale in corrispondenza e al di sopra del piano, dovuto alle masse considerate nell'analisi sismica della struttura;
- $d_{r,SD}$  sono gli spostamenti relativi ottenuti considerando l'analisi sviluppata applicando lo spettro di progetto ridotto SD senza il limite inferiore;
- $q_R$  è la componente del fattore di struttura che tiene conto della sovraresistenza dovuta alla redistribuzione degli effetti dell'azione sismica nelle strutture ridondanti;
- $q_S$  è la componente del fattore di struttura che tiene conto dell'eccessiva resistenza dovuta a tutte le altre fonti;
- $V_{tot}$  è il taglio totale di piano nella situazione di progetto sismico calcolato considerando un'analisi spettrale avente lo spettro SD ridotto con il limite inferiore.

Storey (-)	$P_{tot}$ (kN)	$d_{r,SD}$ (m)	$\Omega_d$ (-)	$V_{tot}$ (sap) (kN)	$\theta$ (-)	$\theta_{max}$ (-)	Interval (-)	Amplification factor (-)
1	6362.58	0.049	1.23	362.97	0.1181	0.1261	0.1 < $\theta$ ≤ 0.2	1.14
2	4740.16	0.062	1.23	316.42	0.1261			
3	3117.73	0.065	1.23	247.01	0.1059			
4	1495.27	0.057	1.23	150.83	0.0749			

**0,1 <  $\theta$  ≤ 0,2** →

Gli effetti del secondo ordine possono essere approssimativamente considerati moltiplicando gli effetti dell'azione sismica per un fattore pari a **1/(1- $\theta$ )**



# Linee Guida per la Progettazione ed Esempi di Strutture dotate di Connessioni “FREEDAM”



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## Approccio progettuale in linea con la norma prEN1998: Controllo della limitazione dello spostamento interpiano

Massimo spostamento interpiano

$$d_{r,SD} \leq \lambda_s h_s$$

↓  
0.02

- $d_{r,SD}$  è lo spostamento interpiano di progetto, definito come differenza degli spostamenti laterali medi  $d_s$  nella parte superiore e inferiore del piano in esame e calcolati secondo EN 1998-1-1:2019;
- $\lambda_{ns}$  è un coefficiente che tiene conto della sensibilità degli elementi ausiliari allo spostamento tra i piani;
- $h_s$  è l'altezza interpiano.

Storey	$d_{r,SD}$ (m)	$h_s$ (m)	$d_{r,SD}$ (rad)	$d_{r,SD,adm}$ (rad)
1	0.049	3.5	0.01	0.02
2	0.062	3.5	0.02	0.02
3	0.065	3.5	0.02	0.02
4	0.057	3.5	0.01	0.02

Lo spostamento è ottenuto considerando l'analisi sviluppata applicando lo spettro di progetto ridotto SD senza il limite inferiore!!!

*I risultati per MRF disposti in direzione Y sono mostrati in questa Tabella*

Storey	Bay 1	Bay 2	Bay 3	Bay 4 (pinned)
1-2	IPE 360	IPE 360	IPE 360	IPE 270
3-4	IPE 330	IPE 330	IPE 330	IPE 270
Storey	Column 1-5	Column 2	Column 3	Column 4
1-2	HE 320 B	HE 320 B	HE 320 B	HE 320 B
3-4	HE 300 B	HE 300 B	HE 300 B	HE 300 B

*freedom*



# CONTENUTI

1. *Obiettivo*
2. *Caso studio*
3. *Carichi permanenti e accidentali*
4. *Progetto per carichi verticali*
5. *Definizione delle imperfezioni*
6. *Definizione delle azioni sismiche*
7. *Approccio progettuale in linea con la norma prEN1998*
8. *Approccio progettuale in linea con la Teoria del Controllo del Meccanismo Plastico (TPMC)*
9. *Osservazioni finali*

*freedom*

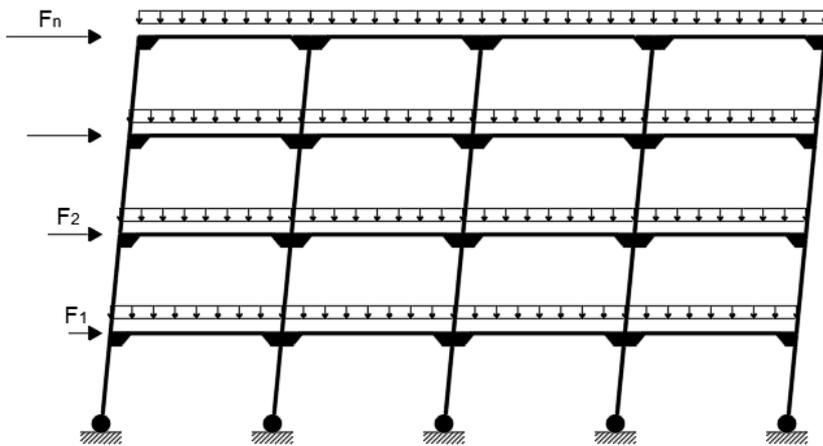
# Linee Guida per la Progettazione ed Esempi di Strutture dotate di Connessioni “FREEDAM”



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

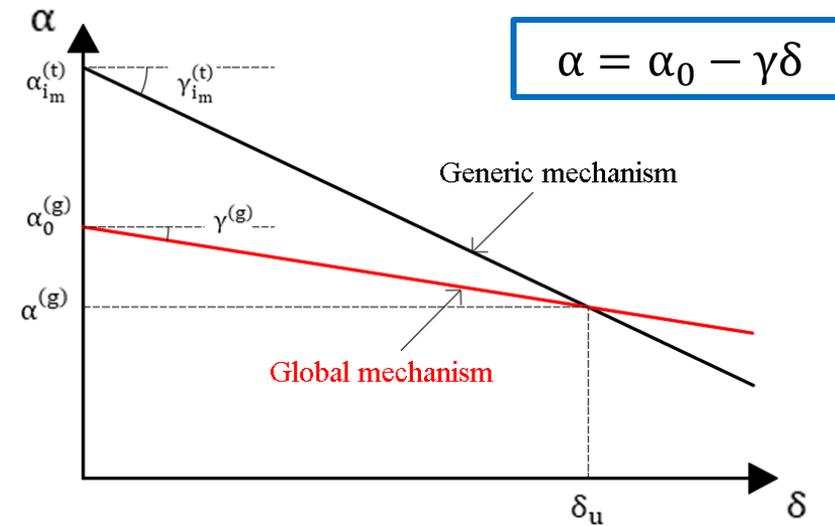
## Approccio progettuale in linea con la TPMC: Introduzione

### Meccanismo Globale



$$\alpha_0^{(g)} - \gamma^{(g)} \delta_u \leq \alpha_{i_m}^{(t)} - \gamma_{i_m}^{(t)} \delta_u \quad \text{for} \quad \begin{cases} i_m = 1, 2, 3.. \\ t = 1, 2, 3 \end{cases}$$

### Condizione di Progetto



## Calcolo delle forze sismiche di progetto ad ogni piano

$$F_h = S_{ed}(T_1) W \lambda$$

- $S_{ed}(T_1)$  è l'accelerazione spettrale dello spettro ridotto SD in corrispondenza del primo periodo di vibrazione;
- $\lambda$  è un fattore di correzione uguale a 0,85 se  $T_1$  è inferiore a due volte  $T_C$  e la struttura ha più di due piani, altrimenti uguale a 1.

$$\begin{aligned} T_1 &= 1.75 \text{ per direzione X} \\ T_1 &= 1.60 \text{ per direzione Y} \end{aligned}$$

*freedom*

# Linee Guida per la Progettazione ed Esempi di Strutture dotate di Connessioni “FREEDAM”



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## Approccio progettuale in linea con la TPMC: Calcolo delle forze sismiche di progetto

Le masse sismiche competenti a metà struttura sono calcolate secondo

$$G_k + \psi_{E.i} Q_k$$

Storey	$z_i$ (m)	$W_i$ (ton)
1	3.50	147.12
2	7.00	147.12
3	10.50	147.12
4	14.00	136.56

Il tagliante di metà struttura è distribuito su tutti i piani secondo:

$$F_k = F_h \frac{W_i z_i}{\sum_i W_i z_i}$$

Storey	$h_i$ (m)	$F_{k,x}$ (kN)	$F_{k,y}$ (kN)
1	3.5	22.26	24.59
2	3.5	44.52	49.19
3	3.5	66.78	73.78
4	3.5	82.65	91.32

a) Selezione dello spostamento di progetto

$$\delta_u = \theta_u h_{n_s} = 0.03 \times 14 = 0.42 \text{ m}$$

È fondamentale scegliere uno spostamento ultimo di progetto,  $\delta_u$ , in relazione alla duttilità locale della struttura, in particolare alla corsa massima del dispositivo FREEDAM. In questo esempio, si ritiene che la rotazione “pseudo-plastica” dovuta allo slittamento sia uguale a 0.03 essendo raccomandato<sup>[3]</sup> che in DC3, il dispositivo FREEDAM deve accogliere una rotazione “pseudo-plastica” finale  $\theta_u$  non inferiore a 0.03 rad.

[3] Pre-normative Design Recommendations for seismically qualified friction joints, Deliverable 2.4 - WP2 - T2.4, 2021



# Linee Guida per la Progettazione ed Esempi di Strutture dotate di Connessioni “FREEDAM”



## Approccio progettuale in linea con la TPMC: Sviluppo della procedura di progetto

b) Calcolo delle pendenze delle curve di equilibrio del meccanismo,  $\gamma_{i_m}^{(t)}$

$$\gamma_{i_m}^{(1)} = \frac{1}{h_{i_m}} \frac{\sum_{k=1}^{i_m} V_k h_k + h_{i_m} \sum_{k=i_m+1}^{n_s} V_k}{\sum_{k=1}^{i_m} F_k h_k + h_{i_m} \sum_{k=i_m+1}^{i_m} F_k}$$

Pendenza della curva di equilibrio del meccanismo corrispondente al  $i_m$ -esimo meccanismo parziale che coinvolge  $i_m$ -piani a partire dalla base

$$\gamma_{i_m}^{(2)} = \frac{1}{h_{n_s} - h_{i_m-1}} \frac{\sum_{k=i_m}^{n_s} V_k (h_k - h_{i_m-1})}{\sum_{k=i_m}^{n_s} F_k (h_k - h_{i_m-1})}$$

Pendenza della curva di equilibrio del meccanismo corrispondente al  $i_m$ -esimo meccanismo parziale che coinvolge i piani al e al di sopra l'  $i_m$ -esimo piano

$$\gamma_{i_m}^{(3)} = \frac{1}{h_{i_m} - h_{i_m-1}} \frac{\sum_{k=i_m}^{n_s} V_k}{\sum_{k=i_m}^{n_s} F_k}$$

Pendenza della curva di equilibrio del meccanismo corrispondente al  $i_m$ -esimo meccanismo di piano

- $F_k$  è la forza sismica applicata al k-esimo piano;
- $h_k$  è l'altezza del k-esimo piano valutata rispetto al livello di fondazione;
- $V_k$  è il carico gravitazionale totale agente al k-esimo piano nella combinazione di carico sismico;
- $n_b$  è il numero di campate;
- $n_c$  è il numero di colonne;
- $n_s$  è il numero di piani.

Storey	$\gamma_{i_m}^{(1)}$ (m <sup>-1</sup> )	$\gamma_{i_m}^{(2)}$ (m <sup>-1</sup> )	$\gamma_{i_m}^{(3)}$ (m <sup>-1</sup> )
1	8.41	1.75	8.41
2	3.87	2.09	6.98
3	2.42	2.84	5.96
4	1.75	5.17	5.17

Il valore della pendenza della curva di equilibrio del meccanismo di globale,  $\gamma^{(g)}$ , è il minimo tra tutti i valori di  $\gamma_{i_m}^{(t)}$

$$\gamma^{(g)} = \frac{1}{h_{n_s}} \frac{\sum_{k=1}^{n_s} V_k h_k}{\sum_{k=1}^{n_s} F_k h_k}$$

*freedom*

# Linee Guida per la Progettazione ed Esempi di Strutture dotate di Connessioni “FREEDAM”



## Approccio progettuale in linea con la TPMC: Sviluppo della procedura di progetto

c) Progetto delle sezioni di colonna del primo piano

$$\sum_{i=1}^{n_c} M_{c.i.1} \geq \frac{\sum_{k=1}^{n_s} \sum_{j=1}^{n_b} W_{d.jk} + (\gamma_1^{(3)} - \gamma^{(g)}) \delta_u \sum_{k=1}^{n_s} F_k h_k}{2 \frac{\sum_{k=1}^{n_s} F_k h_k}{h_1 \sum_{k=1}^{n_s} F_k} - 1} = 2834,06$$

- $W_{d.jk}$  è il lavoro interno dovuto alle zone dissipative;
- $\delta_u$  è il valore di progetto dello spostamento plastico orizzontale ultimo del piano superiore che dovrebbe essere assunto pari a  $0.03 h_{n_s}$ .

d) Calcolo dello sforzo normale agente nelle colonne allo stato di collasso

STOREY 1				
Column	$N_q$ (kN)	$N_F$ (kN)	$N_D$ (kN)	$N_{tot}$ (kN)
1	60.15	193.80	-450.53	196.58
2	120.30	314.10	0	434.40
3	120.30	314.10	0	434.40
4	120.30	314.10	450.53	884.93
5	60.15	193.80	0	253.95

STOREY 2				
Column	$N_q$ (kN)	$N_F$ (kN)	$N_D$ (kN)	$N_{tot}$ (kN)
1	45.00	142.50	-318.52	131.02
2	90.00	232.50	0	322.50
3	90.00	232.50	0	322.50
4	90.00	232.50	318.52	641.02
5	45.00	142.50	0	187.50

STOREY 3				
Column	$N_q$ (kN)	$N_F$ (kN)	$N_D$ (kN)	$N_{tot}$ (kN)
1	29.85	91.20	-186.51	65.46
2	59.70	150.90	0	210.60
3	59.70	150.90	0	210.60
4	59.70	150.90	186.51	397.11
5	29.85	91.20	0	121.05

STOREY 4				
Column	$N_q$ (kN)	$N_F$ (kN)	$N_D$ (kN)	$N_{tot}$ (kN)
1	14.70	39.90	-93.26	38.66
2	29.40	69.30	0	98.70
3	29.40	69.30	0	98.70
4	29.40	69.30	93.26	191.96
5	14.70	39.90	0	54.60

*freedom*

# Linee Guida per la Progettazione ed Esempi di Strutture dotate di Connessioni “FREEDAM”



## Approccio progettuale in linea con la TPMC: Sviluppo della procedura di progetto

e) La somma dei momenti plastici richiesti al primo piano  $\sum_{i=1}^{n_c} M_{c,i,1}$  è distribuita tra le colonne del primo piano

STOREY 1						
Column	$N_{tot}$ (kN)	$M_{req,i,1}^{(1)}$ (kNm)	$W_{pl,req}$ (cm <sup>3</sup> )	sections	$W_{pl,obt}$ (cm <sup>3</sup> )	$M_{pl,obt}$ (kNm)
1	196.58	633.51	1784.55	HE 300 B	1869.00	663.50
2	434.40	633.51	1784.55	HE 300 B	1869.00	663.50
3	434.40	633.51	1784.55	HE 300 B	1869.00	663.50
4	884.93	633.51	1784.55	HE 300 B	1869.00	663.50
5	253.95	300.00	845.07	HE 300 B	870.10	308.89

La somma dei momenti plastici resistenti del primo piano è uguale a  $\sum_{i=1}^{n_c} M_{c,i,1}^* = 2962.87 \text{ kNm}$

f) Calcolo della somma dei momenti plastici delle colonne ridotti dalla contemporanea azione dello sforzo normale,

$\sum_{i=1}^{n_c} M_{c,i,i_m}^{(t)}$ , richiesti agli altri piani per evitare i meccanismi indesiderati e selezione del massimo

$$\sum_{i=1}^{n_c} M_{c,i,i_m}^{(1)} \geq (\alpha^{(g)} + \gamma_{i_m}^{(1)} \delta_u) \left( \sum_{k=1}^{i_m} F_k h_k + h_{i_m} \sum_{k=i_m+1}^{i_m} F_k \right) - \sum_{i=1}^{n_c} M_{c,i,1}^* - \sum_{k=1}^{n_s} \sum_{j=1}^{n_b} W_{d,jk}$$

$$\sum_{i=1}^{n_c} M_{c,i,i_m}^{(2)} \geq (\alpha^{(g)} + \gamma_{i_m}^{(2)} \delta_u) - \sum_{k=i_m}^{n_s} F_k (h_k - h_{i_m-1}) - \sum_{k=1}^{n_s} \sum_{j=1}^{n_b} W_{d,jk}$$

$$\sum_{i=1}^{n_c} M_{c,i,i_m}^{(3)} \geq (\alpha^{(g)} + \gamma_{i_m}^{(3)} \delta_u) \frac{(h_{i_m} - h_{i_m-1})}{2} \sum_{k=i_m}^{n_s} F_k$$

$$\sum_{i=1}^{n_c} M_{c,i,i_m} \geq \max \left\{ \sum_{i=1}^{n_c} M_{c,i,i_m}^{(1)} ; \sum_{i=1}^{n_c} M_{c,i,i_m}^{(2)} ; \sum_{i=1}^{n_c} M_{c,i,i_m}^{(3)} \right\}$$



# Linee Guida per la Progettazione ed Esempi di Strutture dotate di Connessioni “FREEDAM”



## Approccio progettuale in linea con la TPMC: Sviluppo della procedura di progetto

- $\sum_{i=1}^{n_c} M_{c,i,1}^*$  è la somma dei momenti plastici, ridotti dalla contemporanea azione dello sforzo normale, delle colonne del primo piano valutati dopo la selezione delle sezioni delle colonne dal sagomario.
- $\alpha^{(g)} = \alpha_0^{(g)} - \gamma^{(g)} \delta_u$  è il moltiplicatore cinematicamente ammissibile delle forze orizzontali sismiche corrispondenti allo spostamento ultimo di progetto  $\delta_u$  sulla curva di equilibrio del meccanismo globale;
- $\alpha_0^{(g)}$  è il moltiplicatore cinematicamente ammissibile delle forze orizzontali sismiche corrispondenti al meccanismo globale e valutato secondo l'analisi rigido-plastica del primo ordine.

Storey	$\sum_{i=1}^{n_c} M_{c,i,i_m}^{(1)}$ (kNm)	$\sum_{i=1}^{n_c} M_{c,i,i_m}^{(2)}$ (kNm)	$\sum_{i=1}^{n_c} M_{c,i,i_m}^{(3)}$ (kNm)	$\sum_{i=1}^{n_c} M_{c,i,i_m}^{(t)}$ (kNm)
1	2962.87	(-)	2962.87	2962.87
2	2876.93	-2135.41	2358.58	2876.93
3	2379.43	-476.28	1704.96	2379.43
4	1600.27	189.52	894.89	1600.27

### g) Progetto delle sezioni delle colonne ad ogni piano

STOREY 2						
Column	$N_{tot}$ (kN)	$M_{req,i,1}^{(2)}$ (kNm)	$W_{pl,req}$ (cm <sup>3</sup> )	sections	$W_{pl,obt}$ (cm <sup>3</sup> )	$M_{pl,obt}$ (kNm)
1	131.02	644.23	1814.74	HE 300 B	1869.00	663.50
2	322.50	644.23	1814.74	HE 300 B	1869.00	663.50
3	322.50	644.23	1814.74	HE 300 B	1869.00	663.50
4	641.02	644.23	1814.74	HE 300 B	1869.00	663.50
5	187.50	300.00	845.07	HE 300 B	870.10	308.89



# Linee Guida per la Progettazione ed Esempi di Strutture dotate di Connessioni “FREEDAM”



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## Approccio progettuale in linea con la TPMC: Sviluppo della procedura di progetto

STOREY 3						
Column	$N_{tot}$ (kN)	$M_{req,i1}^{(2)}$ (kNm)	$W_{pl,req}$ (cm <sup>3</sup> )	sections	$W_{pl,obt}$ (cm <sup>3</sup> )	$M_{pl,obt}$ (kNm)
1	65.46	531.36	1496.78	HE 280 B	1534.00	544.57
2	210.60	531.36	1496.78	HE 280 B	1534.00	544.57
3	210.60	531.36	1496.78	HE 280 B	1534.00	544.57
4	397.11	531.36	1496.78	HE 280 B	1534.00	544.57
5	121.05	254.00	715.49	HE 280 B	717.60	254.75

STOREY 4						
Column	$N_{tot}$ (kN)	$M_{req,i1}^{(2)}$ (kNm)	$W_{pl,req}$ (cm <sup>3</sup> )	sections	$W_{pl,obt}$ (cm <sup>3</sup> )	$M_{pl,obt}$ (kNm)
1	38.66	362.57	1021.31	HE 280 B	1534.00	544.57
2	98.70	362.57	1021.31	HE 280 B	1534.00	544.57
3	98.70	362.57	1021.31	HE 280 B	1534.00	544.57
4	191.96	362.57	1021.31	HE 280 B	1534.00	544.57
5	54.60	150.00	422.54	HE 280 B	717.60	254.75

### *h) Controllo della condizione tecnologica*

La condizione tecnologica è verificata perché le sezioni della colonna non aumentano lungo l'altezza del telaio.



# Linee Guida per la Progettazione ed Esempi di Strutture dotate di Connessioni “FREEDAM”



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## Approccio progettuale in linea con la TPMC: Controllo della limitazione dello spostamento interpiano

$$d_{r,SD} \leq \lambda_S h_S$$

Storey	$d_{r,SD}$ (m)	$h_s$ (m)	$d_{r,SD}$ (rad)	$d_{r,SD,adm}$ (rad)
1	0.0448	3.5	0.0128	0.02
2	0.0618	3.5	0.0176	0.02
3	0.0648	3.5	0.0185	0.02
4	0.0558	3.5	0.0159	0.02

*I risultati per la struttura disposta in direzione Y sono mostrati nella seguente Tabella*

Storey	Bay 1	Bay 2	Bay 3	Bay 4 (pinned)
1-2	IPE 360	IPE 360	IPE 360	IPE 270
3-4	IPE 330	IPE 330	IPE 330	IPE 270
Storey	Column 1-5	Column 2	Column 3	Column 4
1-2	HE 320 B	HE 320 B	HE 320 B	HE 320 B
3-4	HE 300 B	HE 300 B	HE 300 B	HE 300 B



# Linee Guida per la Progettazione ed Esempi di Strutture dotate di Connessioni “FREEDAM”



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

## Approccio progettuale in linea con la TPMC: Validazione della procedura mediante Analisi Pushover



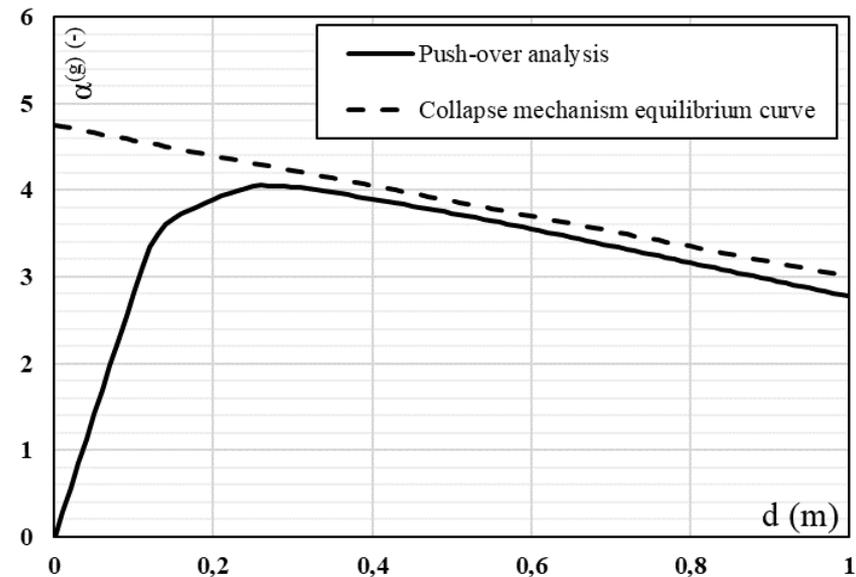
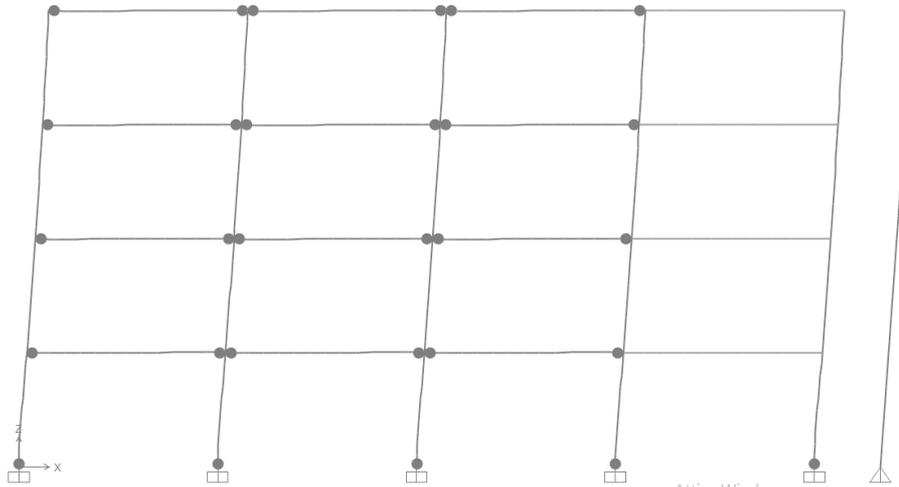
SAP2000  
Versione 22

Equazione della curva del meccanismo di collasso  $\alpha^{(g)} = \alpha_0^{(g)} - \gamma^{(g)} \delta_u = 4.02$

Moltiplicatore cinematicamente ammissibile delle forze orizzontali sismiche corrispondenti al meccanismo globale

$$\alpha_0^{(g)} = \frac{\sum_{i=1}^{n_c} M_{c.1}^* + 2 \sum_{k=1}^{n_s} \sum_{j=1}^{n_b} \Omega_{cd} M_{slip.Rd.jk}}{\sum_{k=1}^{n_s} F_k h_k} = 4.75$$

1.56



*freedom*



# CONTENUTI

1. *Obiettivo*
2. *Caso studio*
3. *Carichi permanenti e accidentali*
4. *Progetto per carichi verticali*
5. *Definizione delle imperfezioni*
6. *Definizione delle azioni sismiche*
7. *Approccio progettuale in linea con la norma prEN1998*
8. *Approccio progettuale in linea con la Teoria del Controllo del Meccanismo Plastico (TPMC)*
9. *Osservazioni finali*

*freedom*

# Linee Guida per la Progettazione ed Esempi di Strutture dotate di Connessioni “FREEDAM”



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

- *In questa presentazione viene mostrato e dettagliato passo dopo passo un caso di studio MRF dotato di connessioni FREEDAM, progettato con due diversi approcci.*
- *Le strutture progettate secondo un approccio progettuale in linea con la norma prEN1998 e la TPMC, in questo caso particolare hanno le stesse sezioni e quindi lo stesso comportamento dissipativo.*
- *Bisogna considerare che questo risultato non è sempre raggiunto perché più volte i telai presentano sezioni diverse.*
- *Si osserva che molte strutture progettate secondo un approccio progettuale in linea con la prEN1998 non sviluppano un meccanismo di collasso di tipo globale.*
- *Al contrario, tutte le strutture progettate secondo un approccio progettuale in linea con la TPMC esibiscono al collasso un meccanismo di tipo globale.*

*freedom*

# Linee Guida per la Progettazione ed Esempi Realizzati di Strutture dotate di Connessioni “FREEDAM”



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

***Grazie per la gentile attenzione***

*freedom*

## Valorization of knowledge on FREE from DAMAge Steel Connections Grant Agreement Number: 899321



**The robustness of structures equipped with FREEDAM Connections**

DISSEMINATION WORKSHOP of the  
FREEDAM PLUS Project

*Salerno, Italy*

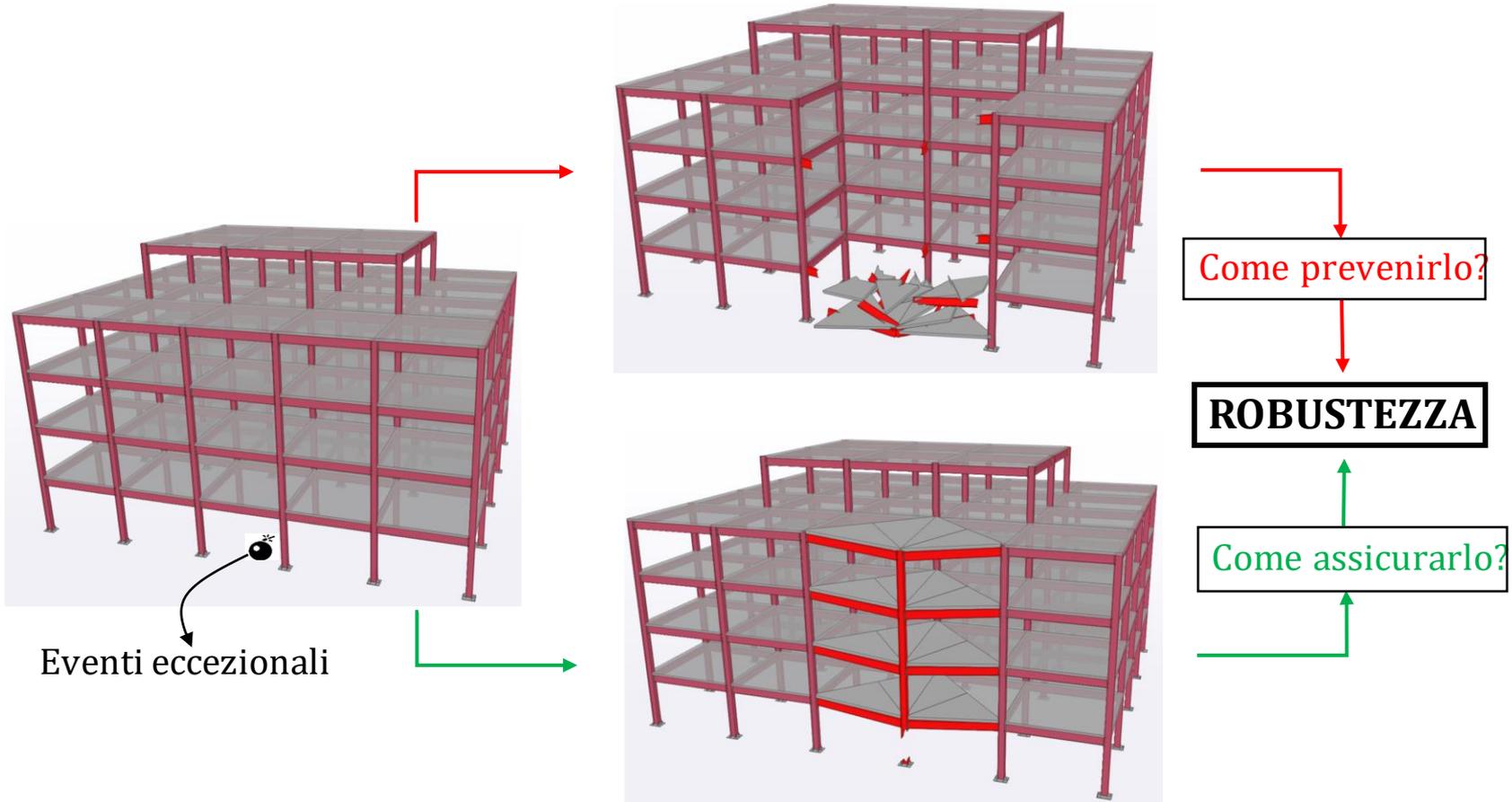
XX XXXXX 2022



# CONTENUTI

1. *Introduzione alla robustezza*
2. *Contesto normativo*
3. *Strutture FREEDAM PLUS*
4. *Valutazione della robustezza*
5. *Conclusioni*

# INTRODUZIONE ALLA ROBUSTEZZA



**Robustezza**= la capacità di una struttura di resistere ad eventi come incendi, esplosioni, impatti o conseguenze dell'errore umano, senza essere danneggiata in misura sproporzionata rispetto alla causa originale.  
(EN 1991-1-7)

*freedom*

# CONTESTO NORMATIVO

## EN 1991-1-7: Azioni sulle strutture– Azioni accidentali

- Il concetto di classe d'uso per le strutture

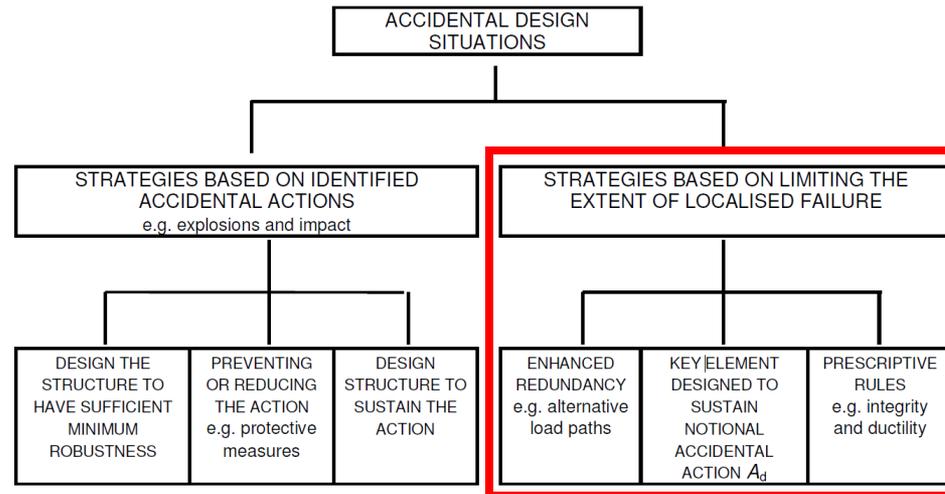
Consequence class	Example of categorisation of building type and occupancy
1	Single occupancy houses not exceeding 4 storeys. Agricultural buildings. Buildings into which people rarely go, provided no part of the building is closer to another building, or area where people do go, than a distance of $1\frac{1}{2}$ times the building height.
2a Lower Risk Group	5 storey single occupancy houses. Hotels not exceeding 4 storeys. Flats, apartments and other residential buildings not exceeding 4 storeys. Offices not exceeding 4 storeys. Industrial buildings not exceeding 3 storeys. Retailing premises not exceeding 3 storeys of less than 1 000 m <sup>2</sup> floor area in each storey. Single storey educational buildings All buildings not exceeding two storeys to which the public are admitted and which contain floor areas not exceeding 2000 m <sup>2</sup> at each storey.
2b Upper Risk Group	Hotels, flats, apartments and other residential buildings greater than 4 storeys but not exceeding 15 storeys. Educational buildings greater than single storey but not exceeding 15 storeys. Retailing premises greater than 3 storeys but not exceeding 15 storeys. Hospitals not exceeding 3 storeys. Offices greater than 4 storeys but not exceeding 15 storeys. All buildings to which the public are admitted and which contain floor areas exceeding 2000 m <sup>2</sup> but not exceeding 5000 m <sup>2</sup> at each storey. Car parking not exceeding 6 storeys.
3	All buildings defined above as Class 2 Lower and Upper Consequences Class that exceed the limits on area and number of storeys. All buildings to which members of the public are admitted in significant numbers. Stadia accommodating more than 5 000 spectators Buildings containing hazardous substances and /or processes

Classe d'uso   
↓  
Requisiti di robustezza 



## EN 1991-1-7: Azioni sulle strutture – Azioni accidentali

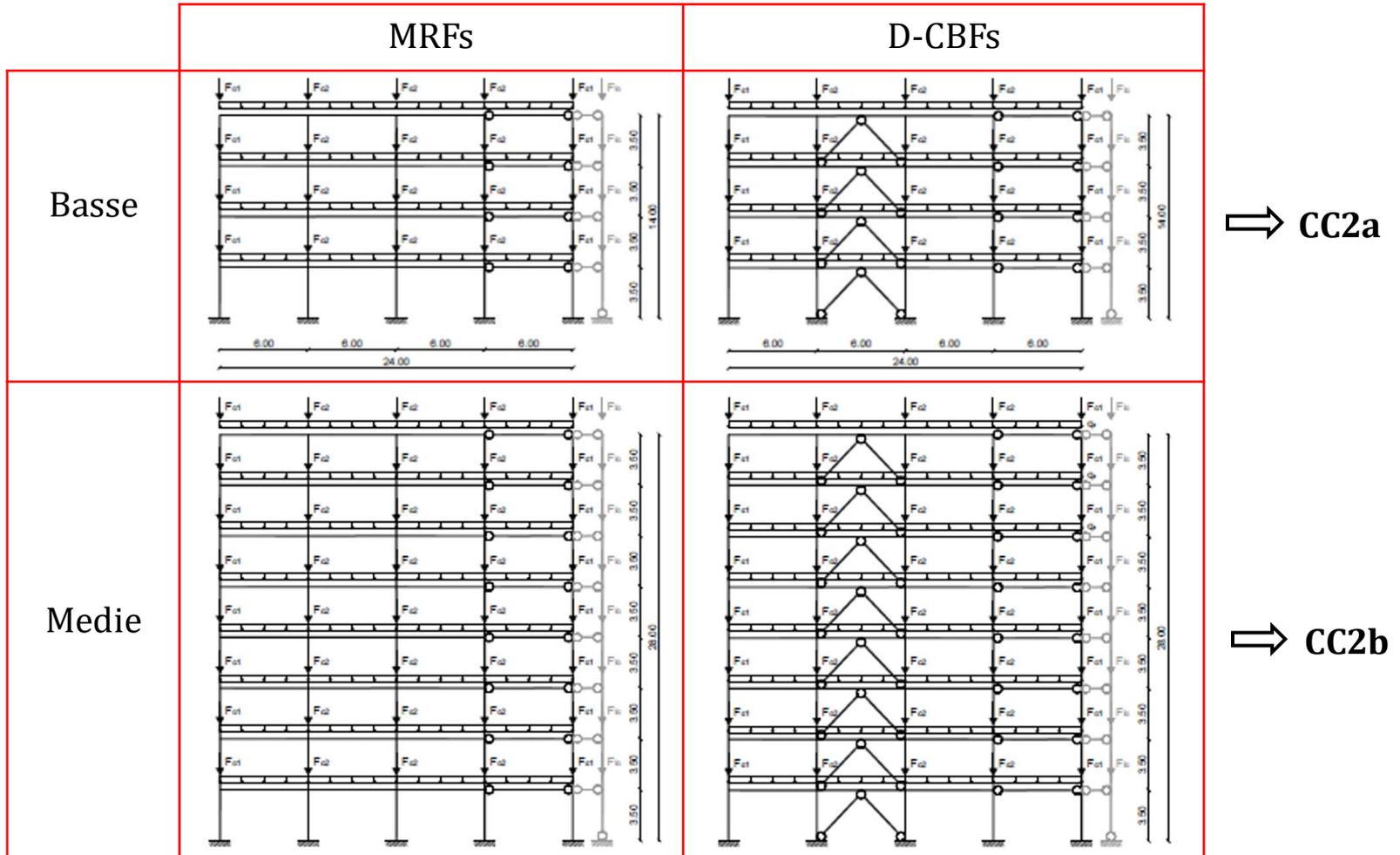
- Strategie generali di progettazione per situazioni accidentali



- Strategie di Progetto basate sulle classi d'uso
  - **CC1**: nessuna specifica raccomandazione (EC0 – EC9 conforme)
  - **CC2a**: regole prescrittive (legature orizzontali)
  - **CC2b**: regole prescrittive (legature verticali ed orizzontali) + rimozione elementi di supporto
  - **CC3**: Valutazione sistematica del rischio- possono essere considerati gli effetti dinamici

# STRUTTURE FREEDAM PLUS

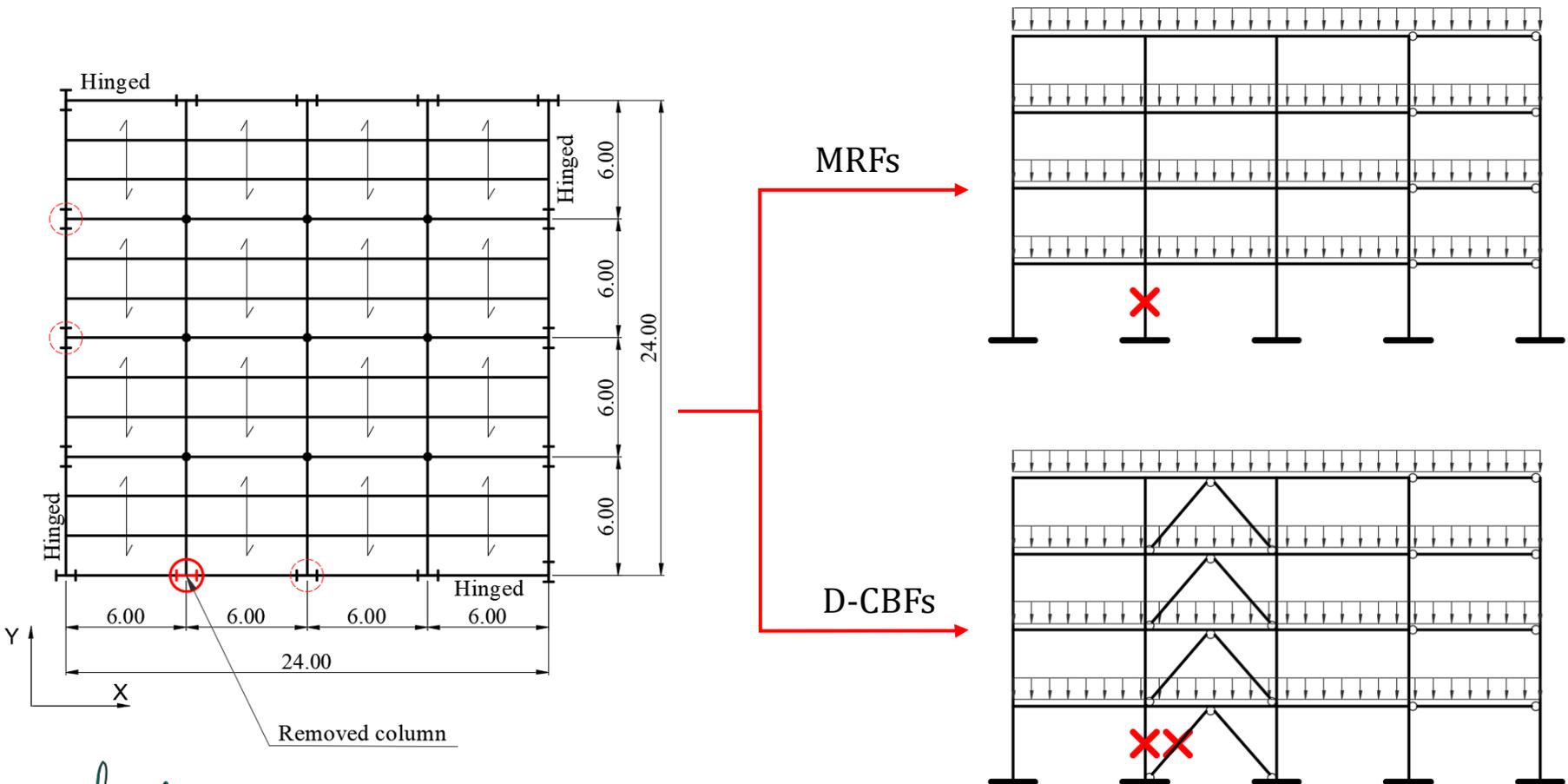
Telai sismoresistenti perimetrali (MRFs) and Telai con controventi concentrici accoppiati (D-CBFs)



*freedom*

## Presunta situazione accidentale

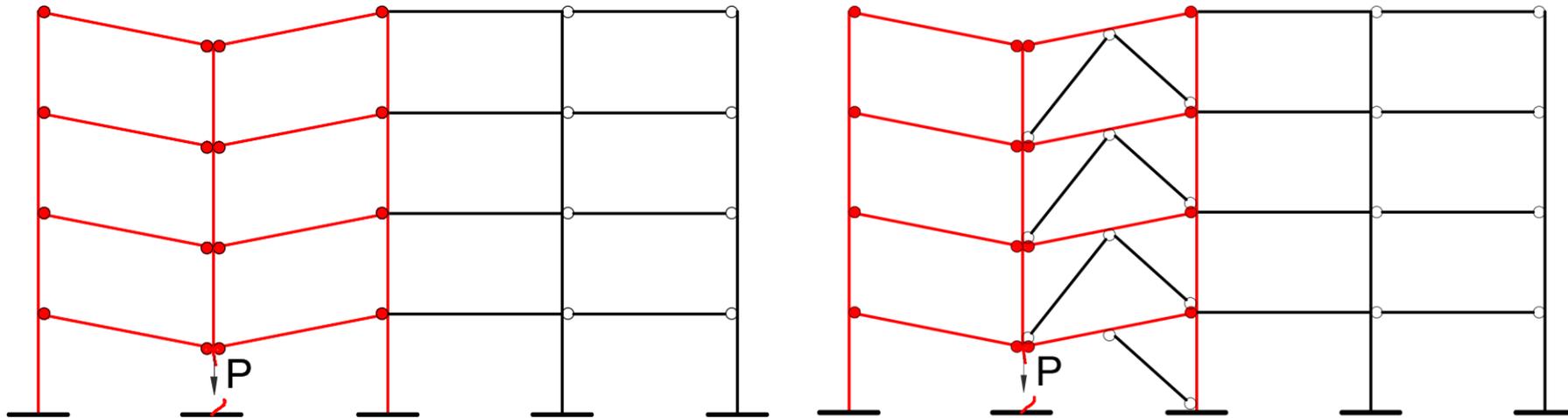
- Perdita della colonna di base nei telai perimetria equipaggiati con collegamenti tipo FREEDAM



*freedom*

## Analisi preliminari

- Analisi del meccanismo plastico dei telai MRFs e D-CBFs



- Identificazione delle "criticità" strutturali

$P > N_{\text{normal}}$

$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{SI} \Rightarrow \text{Nessun meccanismo plastico} \rightarrow \text{La struttura è robusta (resiste al collasso della colonna)} \\ \mathbf{No} \Rightarrow \text{Meccanismo plastico} \rightarrow \text{"Criticità" strutturale} \rightarrow \text{Necessaria analisi pushdown} \end{array} \right.$

- $N_{\text{normal}}$  = Azione di sforzo normale in corrispondenza della colonna persa nella combinazione accidentale

$$G_k + \psi_1 Q_k$$

## Analisi preliminari

### - MRFs

Structure label	Height regime	Ductility class	$N_{normal}$ [kN]	$P_{predicted}$ [kN]	$\frac{P_{predicted}}{N_{normal}}$
4 St DC1 MRFs EC8	Low-rise	DC1	484	329	0.68
4 St DC2 MRFs EC8		DC2	484	395	0.82
4 St DC3 MRFs EC8		DC3	484	349	0.72
4 St DC2 MRFs TPMC		DC2	484	318	0.66
4 St DC3 MRFs TPMC		DC3	484	318	0.66
8 St DC1 MRFs EC8	Medium-rise	DC1	977	926	0.95
8 St DC2 MRFs EC8		DC2	977	1254	1.28
8 St DC3 MRFs EC8		DC3	977	1324	1.35
8 St DC2 MRFs TPMC		DC2	977	750	0.77
8 St DC3 MRFs TPMC		DC3	977	1149	1.18

7 MRFs  
"critici"

### - D-CBFs

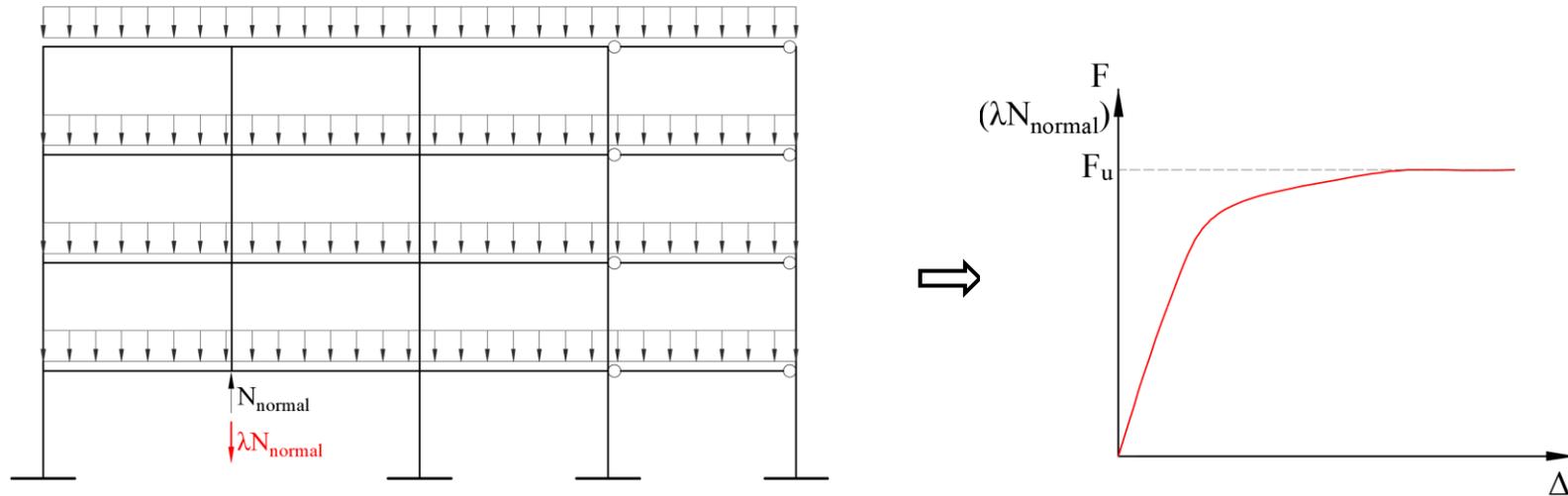
Structure label	Height regime	Ductility class	$N_{normal}$ [kN]	$P_{predicted}$ [kN]	$\frac{P_{predicted}}{N_{normal}}$
4 St DC1 D-CBFs EC8	Low-rise	DC1	473	982	2.17
4 St DC2 D-CBFs EC8		DC2	473	522	1.20
4 St DC3 D-CBFs EC8		DC3	473	770	1.72
4 St DC2 D-CBFs TPMC		DC2	473	376	0.88
4 St DC3 D-CBFs TPMC		DC3	473	385	0.79
8 St DC1 D-CBFs EC8	Medium-rise	DC1	971	1124	2.62
8 St DC2 D-CBFs EC8		DC2	971	1004	2.35
8 St DC3 D-CBFs EC8		DC3	971	1035	2.01
8 St DC2 D-CBFs TPMC		DC2	971	854	0.92
8 St DC3 D-CBFs TPMC		DC3	971	1000	1.03

4 D-CBFs  
"critici"



## Analisi Pushdown

- Analisi quasi statica per perdita di colonna simulata (analisi non lineare)

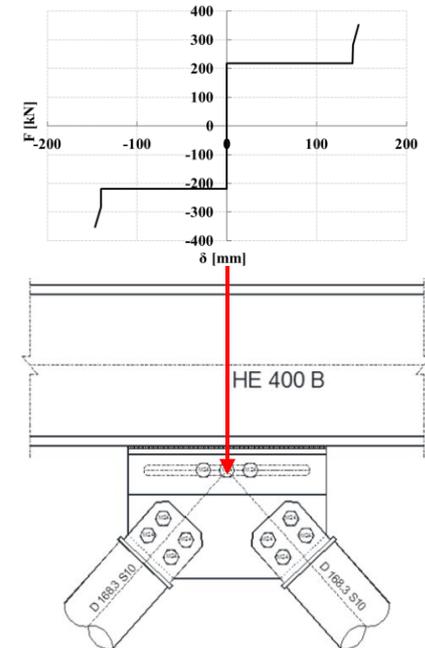
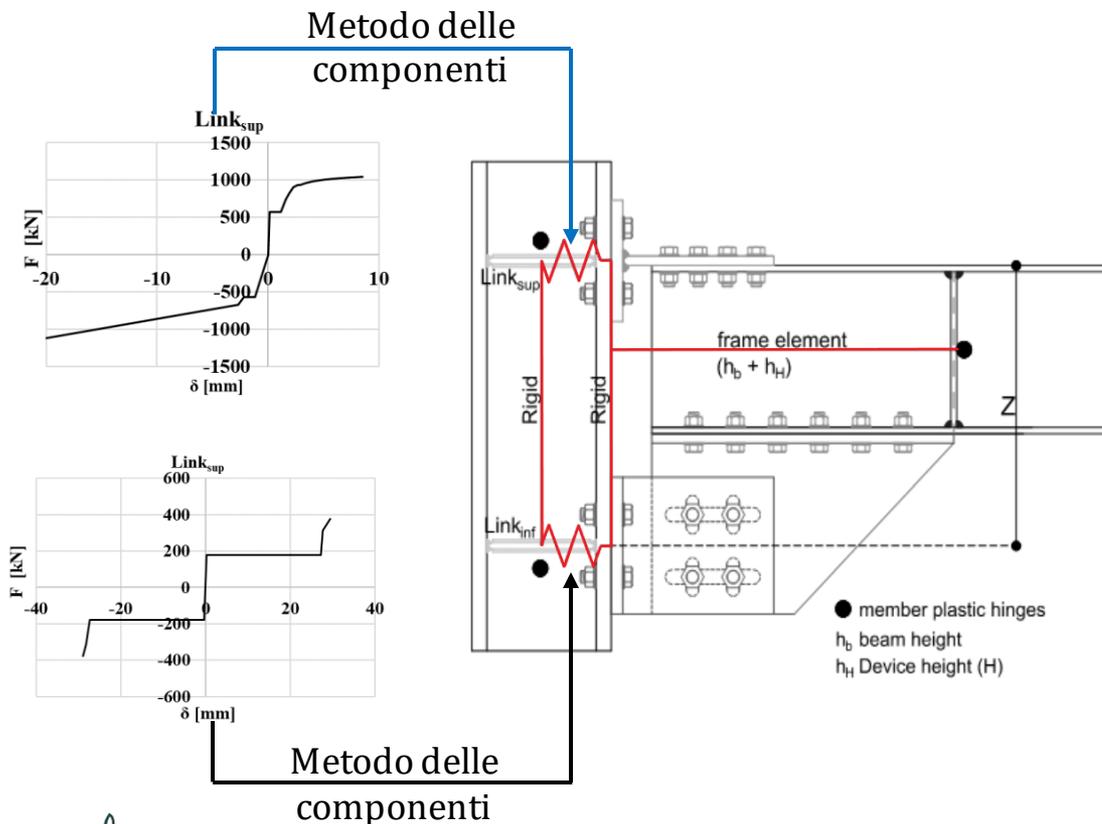


- Valutazione dei processi di carico attivati in maniera alternata

$$F_u \begin{cases} \geq N_{\text{normal}} \Rightarrow \text{La struttura è robusta (resiste alla perdita della colonna)} \\ < N_{\text{normal}} \Rightarrow \text{La struttura non è robusta (collasso innescato)} \end{cases}$$

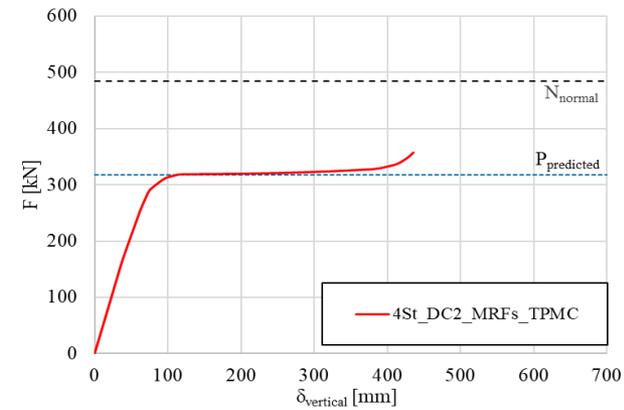
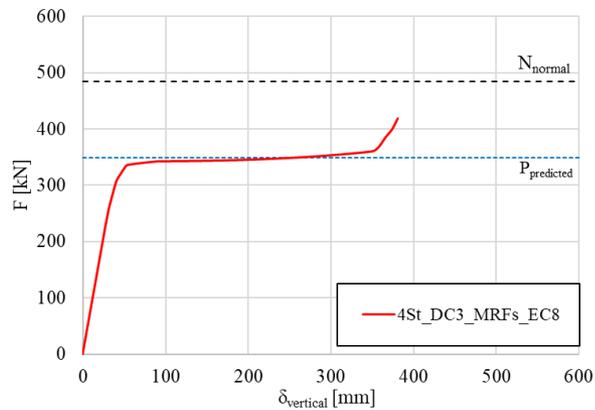
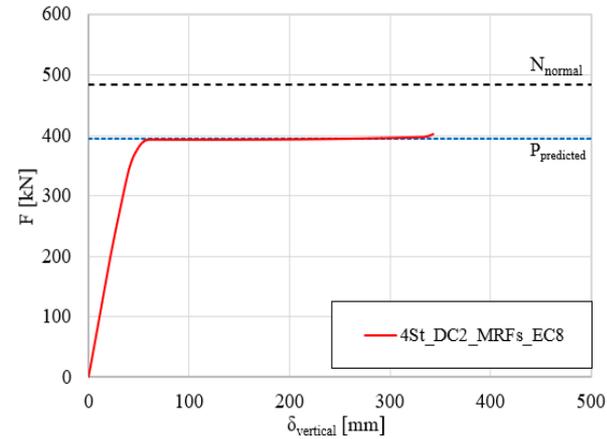
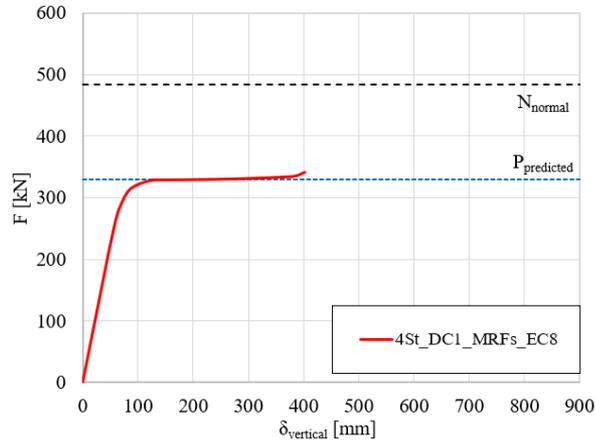
## Analisi Pushdown

- Modellazione zone di connessione:
- Collegamento trave-colonna: modello a "2 molle" • connessione controventi: *molla a taglio*



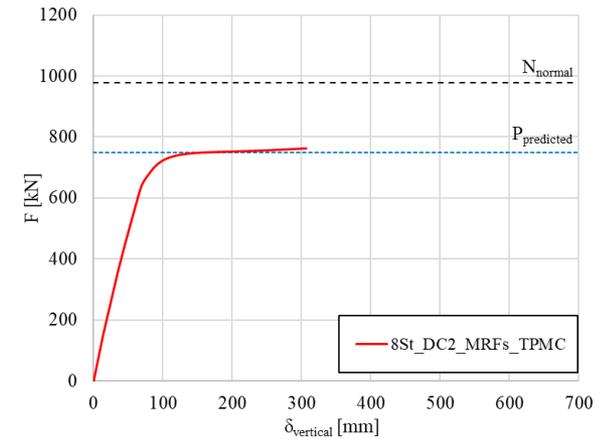
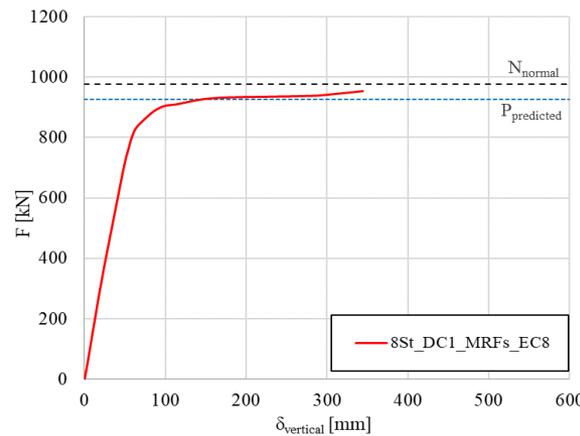
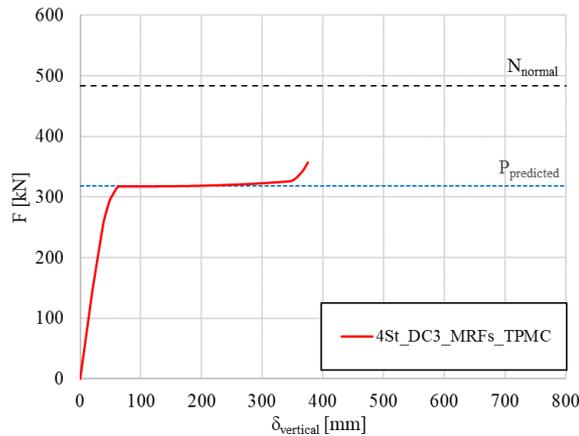
## Analisi pushdown

- MRFs



## Analisi pushdown

### - MRFs



- Collasso prematuro del collegamento tipo FREEDAM (bulloni a taglio)
- $F_u < N_{norm} \Rightarrow$  Tutta la criticità dei MRFs collassa dopo la perdita della colonna  $\rightarrow$   
**robustezza inadeguata**
- Sono richieste soluzioni per migliorare il comportamento post scorrimento

## Ottimizzazione del collegamento FREEDAM per robustezza

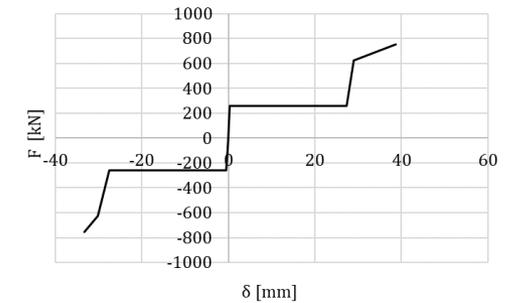
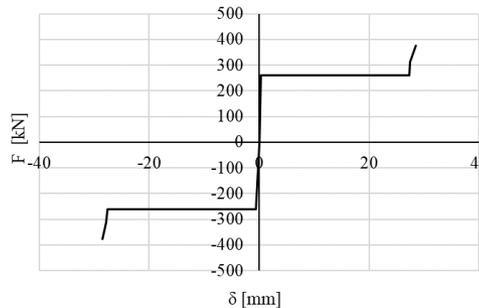
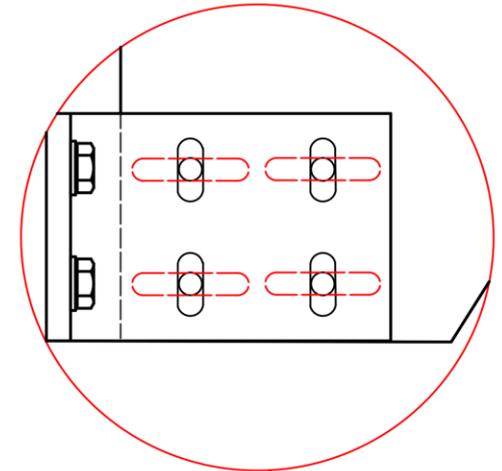
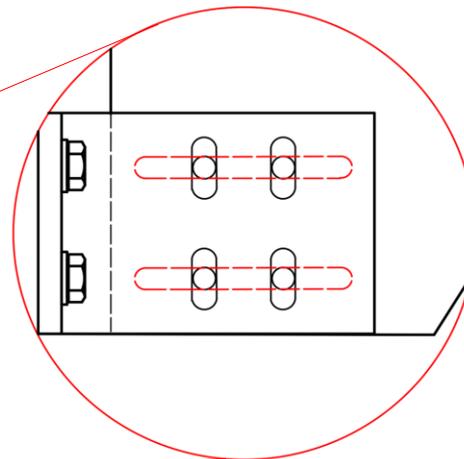
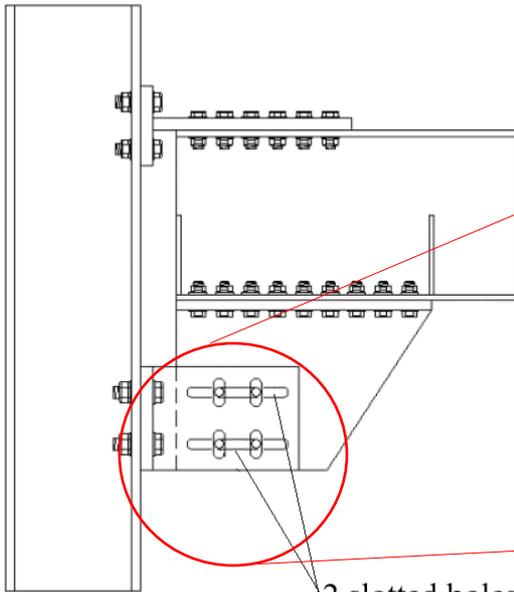
- Prevenzioni delle crisi premature nelle connessioni

### Configurazione iniziale

- 2 bulloni resistenti a taglio

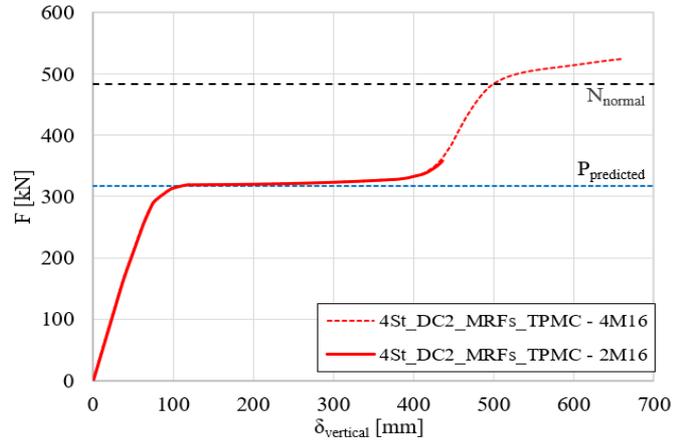
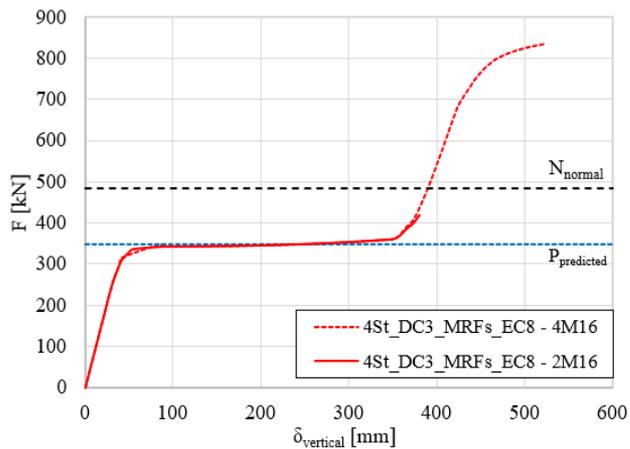
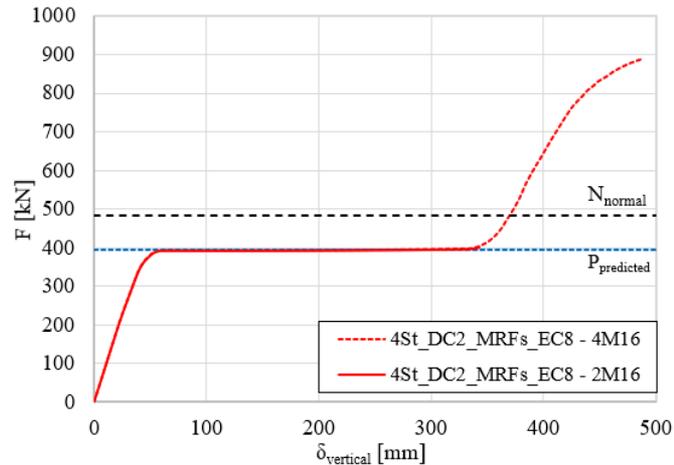
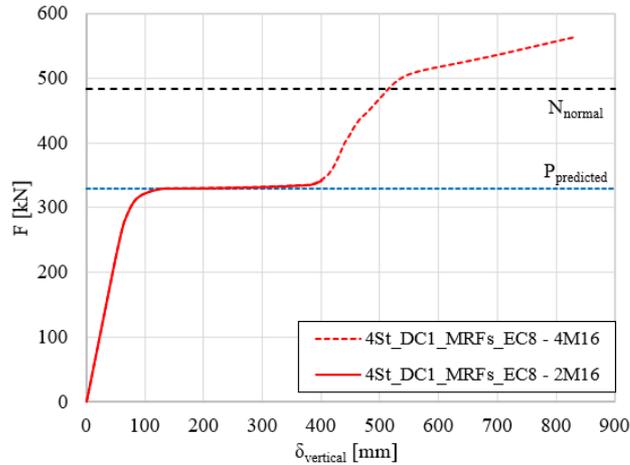
### Configurazione proposta

- 4 bulloni resistenti a taglio



## Analisi pushdown

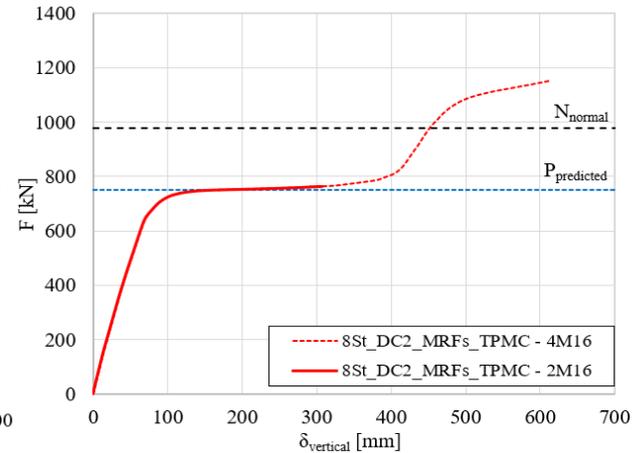
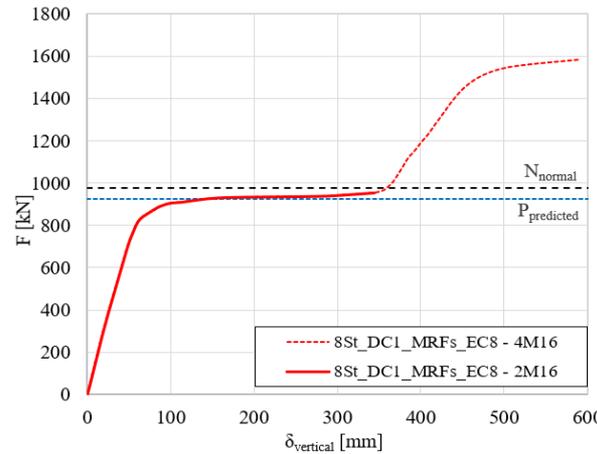
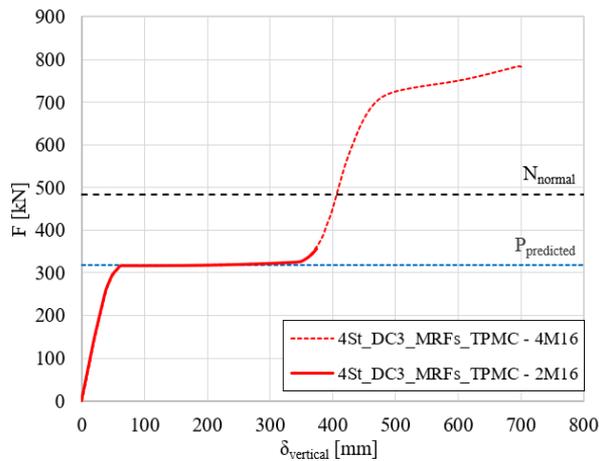
- MRFs (configurazione proposta)



*freedom*

## Analisi pushdown

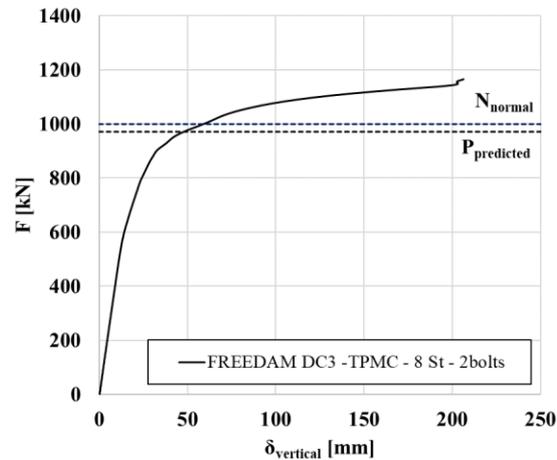
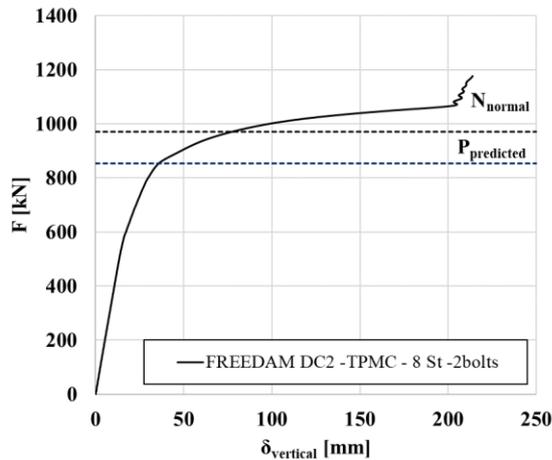
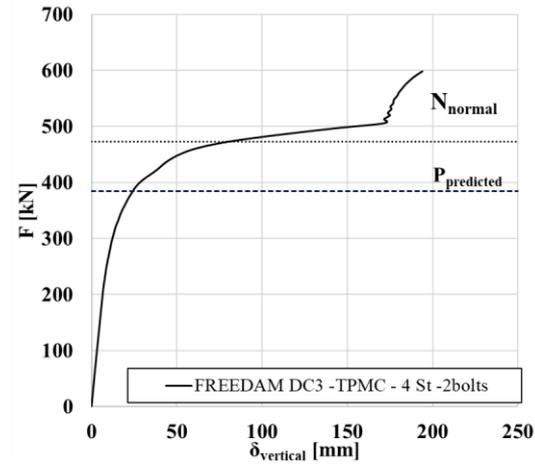
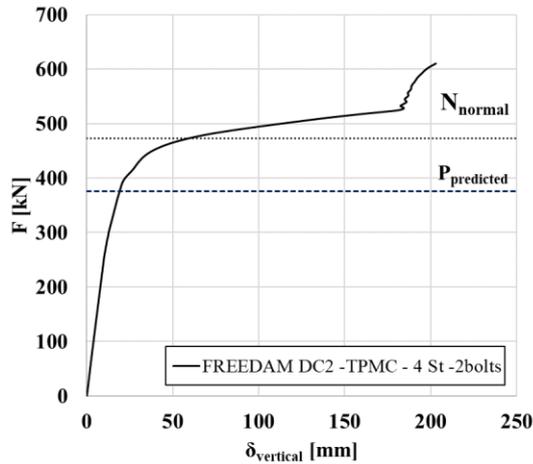
- MRFs (configurazione proposta)



- Tutti i critici MRFs esibiscono una robustezza sufficiente per resistere alla perdita della colonna
- Il collasso si verifica come risultato della rottura dei bulloni a taglio (dispositivo FREEDAM)
- Deformazioni plastiche si sviluppano nelle travi (predominante al primo piano)

## Analisi pushdown

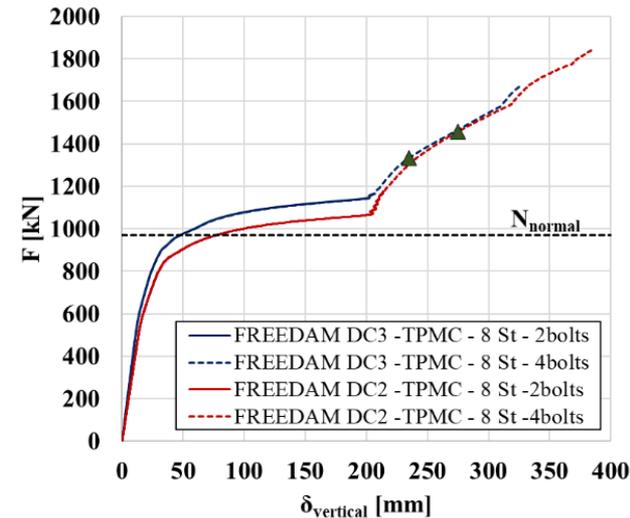
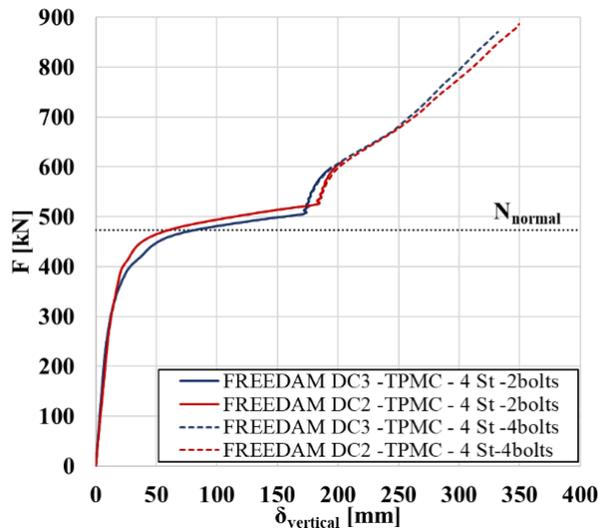
- D-CBFs (configurazione iniziale)



*freedam*

## Analisi pushdown

- D-CBFs (configurazione proposta)



- Tutti i "critici" D-CBFs esibiscono sufficiente robustezza per resistere alla perdita della colonna
- La disposizione dei bulloni proposta migliora considerevolmente il comportamento post scorrimento
- Uno snervamento limitato si sviluppa nelle travi delle campate non controventate (per medie D-CBFs)
- La crisi avviene per rottura dei bulloni a taglio nei collegamenti dei controventi

*freedom*

# CONCLUSIONI

- I telai MRFs equipaggiati con dispositivi tipo FREEDAM, proposti inizialmente, non risultano sufficientemente robusti per resistere ad uno scenario di Perdita di colonna.
- Una soluzione, che non comporta costi aggiunti, è stata proposta e validata  
⇒ Passare da uno schema a due asole ad uno a 4 asole per il dispositivo ad attrito
- I telai CBFs con connessioni FREEDAM resistono a scenari di perdita di membrature grazie allo scorrimento delle connessioni trave-colonna e controventi
- Il modello proposto a fori asolati comporta un significativo miglioramento della resistenza residua e della duttilità dei telai CBFs
- Attenzioni ai dettagli costruttivi nelle fasi di progetto potrebbero essere un **salvavita!**



1 2 9 0

UNIVERSIDADE D  
COIMBRA

# VENUE



## Valorization of knowledge on FREE from DAMAge Steel Connections Grant Agreement Number: 899321



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI  
DI NAPOLI FEDERICO II



UNIVERSIDADE D  
COIMBRA



University of Ljubljana  
Faculty of Civil and Geodetic Engineering



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH



National Technical  
University of Athens



INSTITUT NATIONAL  
DES SCIENCES  
APPLIQUÉES  
RENNES



## Strumento di progettazione delle connessioni prequalificate

DISSEMINATION WORKSHOP of the  
FREEDAM PLUS Project

Salerno, Italy

XX XXXXX 2022



# CONTENUTI



1. *Strumento di progettazione*
2. *Calcolatore*
3. *Esempio applicativo*
4. *Conclusioni*

# STRUMENTO DI PROGETTAZIONE

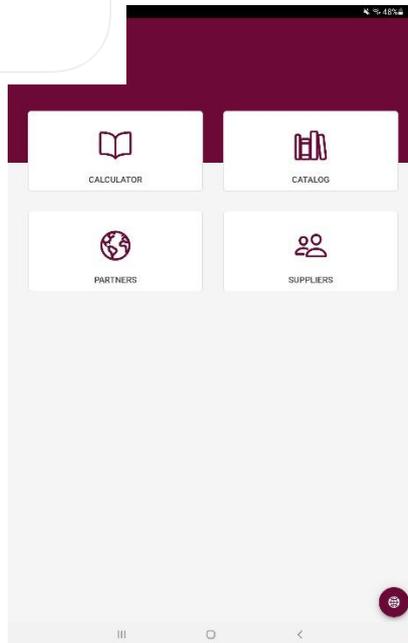


È stato sviluppato uno strumento di progettazione, quindi i progettisti hanno uno strumento pratico e facile per progettare la connessione freedom più conveniente per la loro progettazione strutturale;

Questo strumento è disponibile sia in formato software (per PC) che in formato app mobile (per Android e IOs)



strumento di progettazione per pc



Google play store



Apple store



# STRUMENTO DI PROGETTAZIONE



The interface displays a list of steel sections on the left, with 'HE 220 A' selected. The right side shows technical drawings and a table of properties:

AREA	1138.00	mm <sup>2</sup>
COLDES SECTION GEOMETRY	184.00	mm <sup>2</sup>
	188.00	mm <sup>2</sup>
DEFINITION	49.00	mm <sup>2</sup>
DIMENSIONS	210.00	mm
	220.00	mm
	7.00	mm
	11.00	mm
	2.00	mm
OTHER SECTION PROPERTIES	21.87	mm <sup>2</sup>
	10019.00	mm <sup>2</sup>
	81.00	mm <sup>2</sup>

Red arrows indicate connections to the logos of the University of Salerno, the University of Coimbra, and FIP Industriale (FIP).

Università Degli Studi di Salerno - UNISA  
Via Giovanni Paolo II 132, Fisciano SA, 84084 Italy  
[www.unisa.it](http://www.unisa.it)



The University of Salerno has very ancient origins as it is one of the oldest universities in Europe together with Paris and Bologna. The Department of Civil Engineering was founded in 1983 and nowadays is composed by about 50 teaching academics. The structural research group involved in the present project is composed by about 10 people, including post-docs, engaged by many years in research activities on steel structures. The research is led by prof. V. Piluso and G. Rizzano. They are authors of many papers published on the most important scientific journals and an international book entitled "Structural Steel Seismic Connections", edited by CRC Press (Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokyo, 1999). In addition, prof. Piluso and Prof. Rizzano are members of the Technical Committees TC13 and TC10 of ECSC and member of UNI-SCA on composite structures and UNI-SCA on structures in seismic areas. The research group share a laboratory with technicals and equipment for testing of materials and structures, including also facilities for pseudo-dynamic test of structures.

Universidade de Coimbra - UC  
Paço das Escultas, Coimbra, 3001 451 Portugal  
[www.ucp.pt](http://www.ucp.pt)

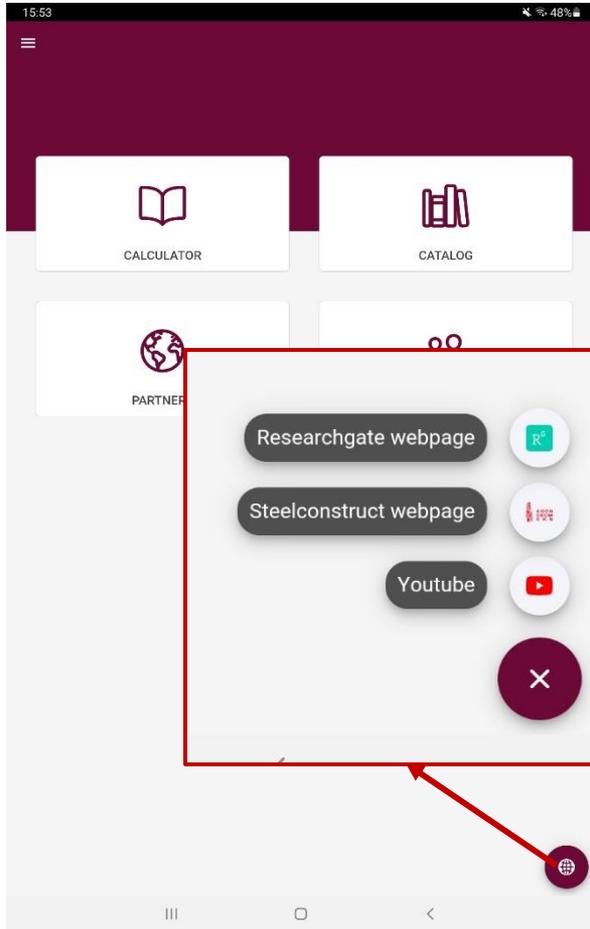


UC, The University of Coimbra (UC) is a research and education organization located in central Portugal, which was established in 1290. In the Faculty of Science and Technology (FCTUC), Dept. of Civil Engineering, the research Group on Steel and Composite Construction is represented by Prof. Luis de SENA, who is member of ECOS, TC10, TC14 and the evolution group of EN 1993-1-1. President of Portuguese Steelwork Association (CMA), an experienced person in European Steel R&D activity, heavily involved in R&D projects. He chairs the research group on Steel and Mass Building Technology of the research unit GISE (Institute for Sustainability and Innovation in Structural Engineering) that comprises more than 50 people, including 30 PhD students, with a shared laboratory and modern equipment for mechanical testing and instrumentation.



*freedom*

# STRUMENTO DI PROGETTAZIONE

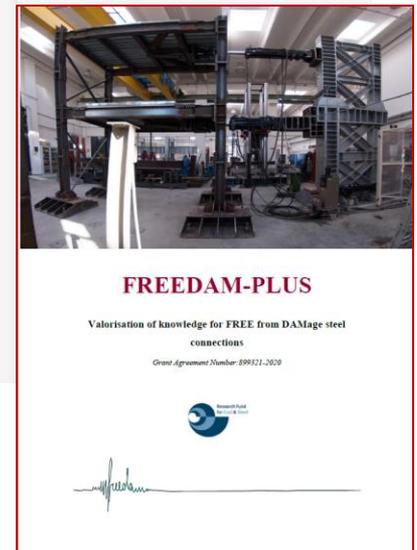
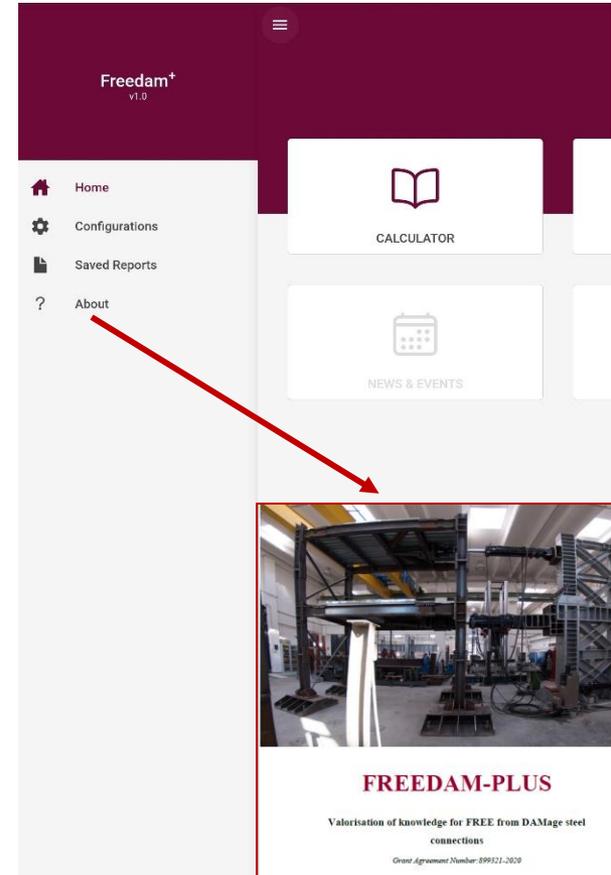


Links:

[Research gate](#)

[Steelconstruct](#)

[FREEDAM - YouTube](#)



Un manuale utente è implementato all'interno degli strumenti

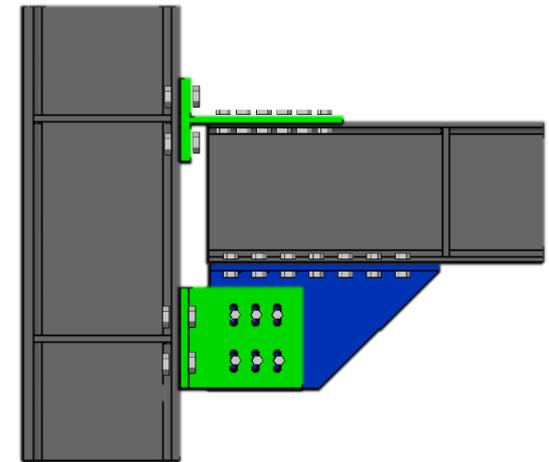
*myfreedom*

**Cinque kit di collegamenti FREEDAM industriali** sono stati sviluppati e introdotti nello strumento, seguendo un paio di ipotesi:

- S355 grado dell'acciaio per tutti gli elementi
- Sezioni degli elementi trasverse da IPE 270 a IPE 750 x 185
- $\mu_{\text{dyn},5\%} = 0.53$  è stato utilizzato per valutare la forza di scorrimento di progetto (materiale M4)
- Intervallo di forza di serraggio accettabile compreso tra il 40 e il 60% di  $F_{p,C}$  come definito in EC3 1-8 (secondo le regole di progettazione pre-normative)
- Dispositivo ad attrito con configurazione verticale
- Bulloni ad alta resistenza di classe 10.9
- Fattore di sfruttamento  $m$  per il collegamento è assunto pari a

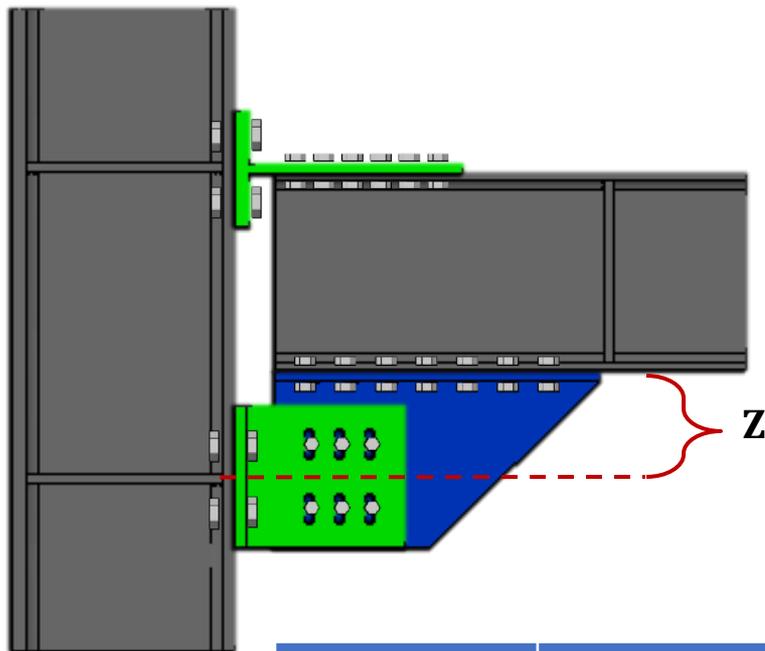
0.3 e 0.6

$$m = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}}$$



# CALCOLATORE

## Connessioni prequalificate/industrializzate

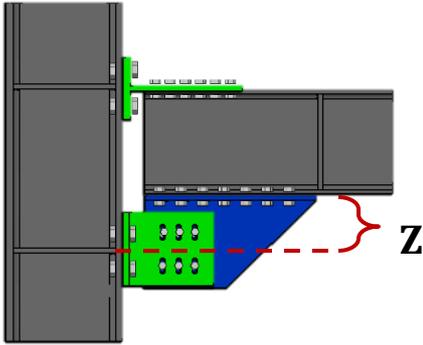


I kit differiscono sul **numero** e il **diametro** dei **bulloni** e il **braccio di leva del dispositivo (Z)**

Dispositivo	Numero di bulloni	Diametro	Braccio di leva (Z)
D1	4	M16	Z = 170 mm
D2-A	4	M20	Z = 250 mm
D2-B	6		
D2-C	8		
D3	8	M24	Z = 330 mm

# CALCOLATORE

## Connessioni prequalificate/industrializzate



Dispositivo	Numero di bulloni	Diametro	Braccio di leva (Z)
D1	4	M16	Z = 170 mm
D2-A	4	M20	Z = 250 mm
D2-B	6		
D2-C	8		
D3	8	M24	Z = 330 mm

Il programma **fornisce il dispositivo più appropriato** a partire dalla valutazione della **forza di scorrimento richiesta**, a seconda del **profilo della trave** e del **fattore di utilizzo m** selezionato.

$$F_{slip,req} = \frac{m \cdot M_{pl,b,rd}}{Z}$$

$$F_{slip,eff} = \mu \cdot n_s \cdot n_b \cdot N_b \geq F_{slip,req}$$

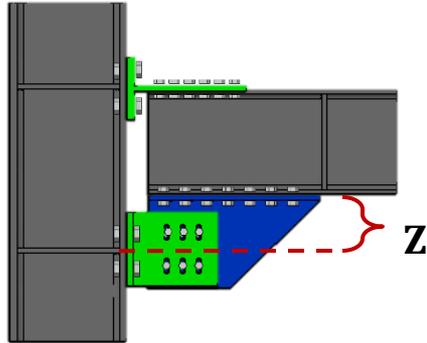
$$N_b = \frac{F_{slip,eff}}{\mu \cdot n_s \cdot n_b \cdot F_{p,C}}$$

Size	0.3	0.4	0.5	0.6
IPE 270			D1	D1
IPE 300		D1	D1	D1
IPE 360	D1	D1	D-2A	D-2A
IPE 400	D1	D-2A	D-2A	D-2A
IPE 450	D1	D-2A	D-2A	D-2B
IPE 500	D-2A	D-2A	D-2B	D-2B
IPE 550	D-2A	D-2B	D-2B	D-2C
IPE 600	D-2A	D-2B	D-2C	D-2C
IPE 750 x 147	D-2B	D-2C	D3	D3
IPE 750 x 161	D-2B	D-2C	D3	D3
IPE 750 x 173+	D-2B	D-2C	D3	D3
IPE 750 x 185	D-2C	D3	D3	D3

*freedom*

# CALCOLATORE

## Connessioni personalizzate



**Una versione personalizzata della connessione è possibile per:**

- Acciaio S355 per tutte le mebrature
  - **Sezioni tra HEA 220 e HEA 500**
  - $\mu_{\text{dyn},5\%} = 0.53$
  - Intervallo di forza di serraggio accettabile tra 40 e 60% di  $F_{p,C}$
  - Dispositivo ad attrito con configurazione verticale
  - Bulloni ad alta resistenza 10.9
  - Il **fattore di utilizzo  $m$**  per il collegamento è stato assunto tra **0.4 e 0.8**
- 
- Segue le stesse regole di progettazione delle connessioni prequalificate;
  - **Per ogni coppia sezione della trave - fattore  $m$  l'utente riceve un suggerimento sulle dimensioni e le proprietà del dispositivo**

# ESEMPIO APPLICATIVO



← CALCULATE

IPE 270	>
IPE 300	>
IPE 360	>
IPE 400	>
IPE 450	>
IPE 500	>
IPE 550	>
IPE 600	>
IPE 750 X 147	>
IPE 750 X 161	>
IPE 750 X 173+	>
IPE 750 X 185	>

IPE 270

BEAM PARAMETERS  
Steel Grade **S355**

OTHER PARAMETERS  
Utilization factor **Select One**

AREA  
A **4404.79** mm<sup>2</sup>

CROSS-SECTION GEOMETRY  
d **245.60** mm  
hi **249.60** mm

DESIGNATION  
G **35.20** kg/m

DIMENSIONS  
---

Per ottenere la soluzione più appropriata, l'utente deve definire:

## Il profile della trave

1. Classe dell'acciaio (è disponibile solo il S355)
2. *Fattore m* (fattore di sfruttamento della trave)

## Dati:

Trave: **IPE 270**

Acciaio : **S355**

$M_{pl,Rd} = 172$  kNm

$M_{Ed} = 103$  kNm

→ **m = 0.6**



# ESEMPIO APPLICATIVO



## Dati:

trave: IPE 270  $M_{pl,Rd} = 172 \text{ kNm}$   
acciaio: S355  $M_{Ed} = 103 \text{ kNm}$   $\rightarrow m = 0.6$

## MARK

FREEDAM - IPE 270 / 0.6 ID Nome dispositivo / profilo della trave/ fattore m

## DEVICE PROPERTIES

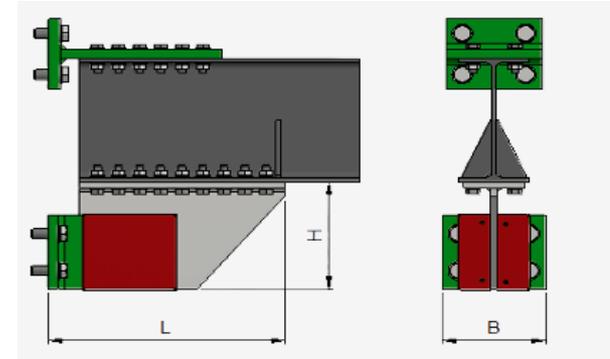
Name	D1
$F_{slip,Rd}$	234.3 kN
$M_{j,Rd}$	103 kNm
Bolts	M16 HV 10.9
Number of bolts, $n_b$	4
Number of surfaces, $n_s$	2
Preload force, $F_{p,d}$	63.55 kN

## GEOMETRY

L	505 mm
H	260 mm
B	221 mm

## MINIMUM COLUMN SIZE

HE 240 B



Dispositivo (D1, D2-A, D2-B, D2-C o D3)

Resistenza ad attrito di progetto

Resistenza flettente ad attrito di progetto

Informazioni sui bulloni del dispositivo (tipo; numero, forza di precarico)

Geometria del dispositivo ad attrito  
( L - lunghezza ; H - altezza; B - Larghezza)

Dimensione minima della colonna da utilizzare

*freedom*

# ESEMPIO APPLICATIVO



## Dati:

trave: IPE 270  $M_{pl,Rd} = 172 \text{ kNm}$   $\rightarrow m = 0.6$

acciaio: S355  $M_{Ed} = 103 \text{ kNm}$

Per ulteriori informazioni, l'utente ha la possibilità di scaricare un report completo, in cui viene presentato il progetto dettagliato delle connessioni, in base alle raccomandazioni di progettazione sviluppate per queste connessioni

FREEDAM D1\_IPE270\_0.6 - Design report

DESIGN REPORT	
GENERAL DATA	
Joint	Name: FREEDAM D1/IPE270/0.6
	Friction damper kit typology: D1
Safety factors	$\gamma_{Stk}   -   1.1$ $\gamma_{St1}   -   1.1$ $\gamma_{St2}   -   1.25$ $\gamma_{St3}   -   1.1$ $\gamma_{sw}   -   1.93$ $\gamma_{comp}   -   1.15$
Materials:	Steel elements, S355 $f_y$ [Mpa]: 355 $f_t$ [Mpa]: 510 AISI 304 - Haunch web $f_y$ [Mpa]: 210 $f_t$ [Mpa]: 520 Bolts HV grade 10.9 $f_{yb}$ [Mpa]: 900 $f_{ts}$ [Mpa]: 1000
Ultimate rotation	$\Phi$ [rad]: 0.0525

Remarks

I.5xPhi\_mindCL\_EC8

## DESIGN OF THE JOINT (JOINT UNDER BENDING)

### Step 1 - Design of the friction damper bolts

Design force acting at the damper center line of the damper,  $F_{Ed}$

$m$ : 0.60  
 $Z$  [mm]: 440  
 $F_{Ed}$  [kN]: 234.30

Design preload force,  $F_{p,d}$

$\mu_{d,k}$ : 0.53  
 $n_b$ : 4  
 $n_s$ : 2  
 $F_{p,d}$  [kN]: 63.55

Design flexural resistance,  $M_{Rd,friction}$  and friction resistance force,  $F_{Rd,friction}$

$M_{Rd,friction}$  [kNm]: 103.09  
 $F_{Rd,friction}$  [kN]: 234.30

### Step 2 - Design of non-dissipative components

Design actions for non-dissipative components

$F_{nd}$  [kN]: 452.40  
 $M_{nd}$  [kNm]: 199  
 $V_{nd}$  [kN]: 69.12

Component - Hauch flange

### Geometry

Number of longitudinal bolt rows,  $n_{rows}$  [-]: 9  
 $d$  [mm]: 16  
 $d_0$  [mm]: 18  
 $h_{1,f}$  [mm]: 135.00  
 $b_{bw,sup}$  [mm]: 440.00  
 $e_1$  [mm]: 40.00  
 $e_t$  [mm]: 22.50  
 $w_1$  [mm]: 45.00  
 $w_i$  [mm]: 90.00  
 $t_{bf}$  [mm]: 15.00

# CONCLUSIONI



- È stato sviluppato uno **strumento** per rendere più facile ai progettisti la progettazione di connessioni FREEDAM da applicare negli edifici con strutture in acciaio;
- Lo **strumento di progettazione** consente l'utilizzo di connessioni FREEDAM prequalificate o l'utilizzo di connessioni personalizzate;
- Lo **strumento di progettazione** è disponibile gratuitamente nel formato di strumento web per pc e strumento app per IO e sistemi Android;

