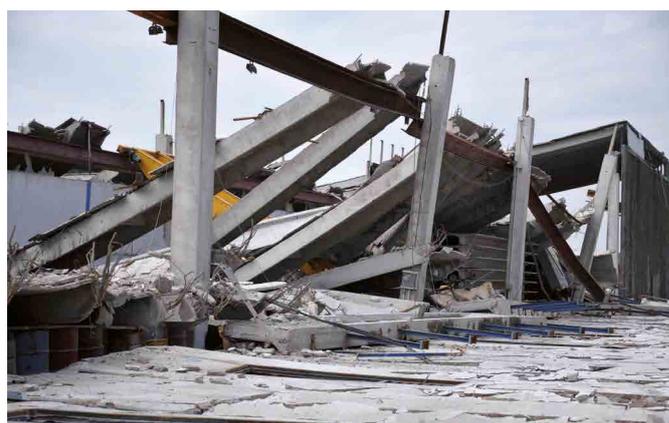


LA VULNERABILITÀ SISMICA DELLE STRUTTURE PREFABBRICATE

Fibre Net presenta la linea di dissipatori antisismici SAFE+, un brevetto sviluppato in collaborazione con l'Università di Bergamo.

Gli ultimi terremoti che hanno colpito il territorio nazionale hanno messo in evidenza, in analogia a quanto successo per altre tipologie di strutture, come anche la capacità di resistere alle azioni sismiche degli edifici prefabbricati dipenda, in primo luogo, dalla presenza di collegamenti in grado di trasferire le sollecitazioni tra i vari elementi strutturali e solo successivamente dalla resistenza delle travi, dei pilastri, del sistema di fondazione e dei pannelli di rivestimento.



A seguito della revisione della Normativa Tecnica per le Costruzioni e della classificazione sismica del territorio Nazionale, avviata con l'entrata in vigore dell'OPCM 3274 a partire dal 2003, è stata modificata la mappa che definisce la pericolosità sismica del territorio nazionale e molte zone che prima erano definite NC, ossia non classificate, ora lo sono.



Questa riclassificazione ha avuto come conseguenza il fatto che un elevato numero di edifici prefabbricati realizzati negli anni passati e progettati per resistere prevalentemente ai carichi permanenti e a quelli variabili (carico della neve, carico del vento e ecc...), presentano ora una elevata vulnerabilità alle azioni dovute al sisma.

Vale la pena ricordare che sul nostro territorio nazionale sono quasi 1,5 milioni i capannoni prefabbricati che non risultano adeguati ai vigenti criteri di sicurezza in quanto costruiti tra il 1950 e il 2000 in zone che all'epoca non erano considerate a rischio sismico.

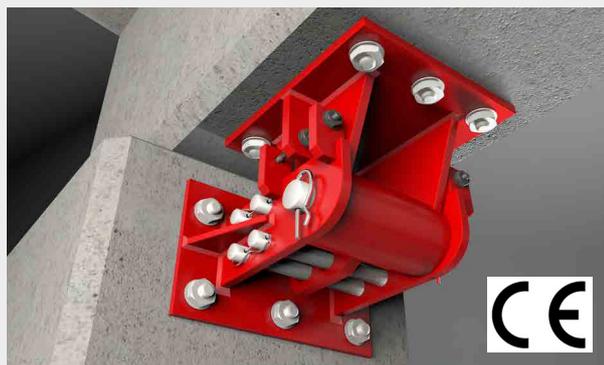
Alla luce dei concetti sopra espressi, e da un'esperienza ventennale sullo studio di nuove tipologie di sistemi di rinforzo per gli edifici esistenti, Fibre Net ha **sviluppato due famiglie di dispositivi antisismici che consentono di vincolare gli elementi strutturali, al fine di migliorare o adeguare la risposta sismica locale e globale degli edifici prefabbricati.** *Model A e Model B, questi i nomi dei due dispositivi della linea SAFE+ **marcati CE**, rappresentano un'efficace soluzione per prevenire e contrastare i danni da sisma; l'installazione veloce e sicura non interferisce con le attività produttive in corso e non richiede modifiche strutturali dell'immobile.*

Per connettere le travi principali ai pilastri, Fibre Net propone il dispositivo SAFE+ Model A, mentre per unire i tegoli di copertura alle travi o le tamponature alle strutture principali il dispositivo SAFE+ Model B.

SAFE+ Model A

- ✓ fusibile
- ✓ dissipatore
- ✓ vincolo meccanico smorzante

SAFE+ Model A è un dispositivo antisismico combinato **marcato CE** e classificato come dispositivo a comportamento non lineare NLD secondo la normativa EN 15129.



SAFE+ Model B

- ✓ dissipatore
- ✓ vincolo meccanico

SAFE+ Model B è un dispositivo antisismico **marcato CE** e classificato come dispositivo a comportamento elastico non lineare NLED secondo la normativa EN 15129.





L'interesse di molti gruppi di lavoro e di ricerca nel definire problematiche e soluzioni da adottare al fine di migliorare o adeguare la risposta sismica degli edifici prefabbricati, per garantire la salvaguardia delle vite umane e limitare gli effetti socio-economici, ha fatto sì che nel corso di questi anni venissero prodotti diversi documenti tecnici utilizzabili come guida per gli interventi.

Di seguito si riporta un elenco inerente le scelte tecniche ed economiche da adottare per risolvere o limitare questa problematica:

Titolo del documento:	Autore/i:
Linee guida di indirizzo per interventi su edifici industriali monopiano colpiti dal terremoto della pianura padana emiliana del maggio 2012 non progettati con criteri antisismici: aspetti geotecnici	Gruppo di lavoro dell'AGI per gli Edifici Industriali
Linee guida ASSOBETON per la progettazione sismica di strutture prefabbricate	ASSOBETON, Sezione Strutture Prefabbricate
Linee di indirizzo per interventi locali e globali su edifici industriali monopiano non progettati con criteri antisismici	Protezione Civile, RELUIS, CNI (Consiglio Nazionale degli Ingegneri), ASSOBETON, Federazione Regionale Ordini Ingegneri dell'Emilia Romagna.
Linee Guida per la Classificazione del Rischio Sismico delle Costruzioni	Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Norme Tecniche per le Costruzioni, DM del 17 gennaio 2018	Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Circolare esplicativa del 7 gennaio 2019 n.7	Consiglio Superiore dei Lavori pubblici

IN CASO DI COLLASSO DELL'EDIFICIO A SEGUITO DI UN TERREMOTO CHI NE RISPONDE?

È importante ricordare che la responsabilità dell'eventuale collasso di un edificio industriale a seguito di un evento sismico, **non è da imputarsi al solo progettista** (con il termine progettista si riassumono le figure del progettista architettonico, di quello delle strutture e del Direttore dei Lavori), **ma anche al RSSP e al Datore di lavoro** o all'**utilizzatore dell'immobile**.

Le figure indicate hanno l'obbligo, per il ruolo che rappresentano all'interno di un'organizzazione aziendale, di rispondere non solo alle richieste che derivano dalle NTC 2018 ma anche a quelle indicate dal **Decreto Legge n. 81/2008**, il testo unico in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro. Quest'ultimo, all'articolo 15, indica che **per la tutela dei lavoratori devono essere valutati tutti i rischi per la loro sicurezza e salute, deve essere attuata una programmazione per la prevenzione dei rischi con l'obiettivo di eliminarli o, dove questo non sia possibile, devono essere ridotti al minimo** in relazione alle conoscenze acquisite dal progresso tecnologico.

Sempre lo stesso Decreto Legge evidenzia che gli edifici sede dei luoghi di lavoro devono resistere alle azioni alle quali possono essere sottoposti nell'arco della loro vita.

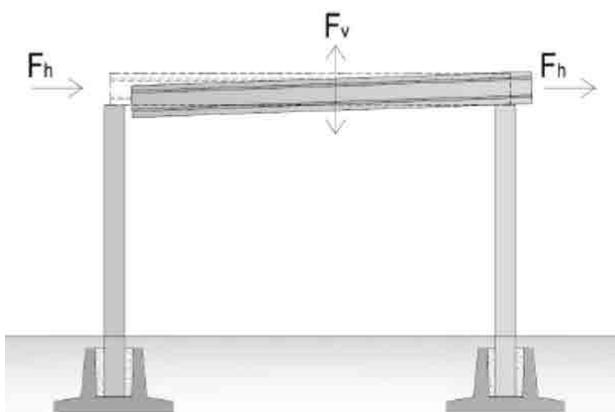
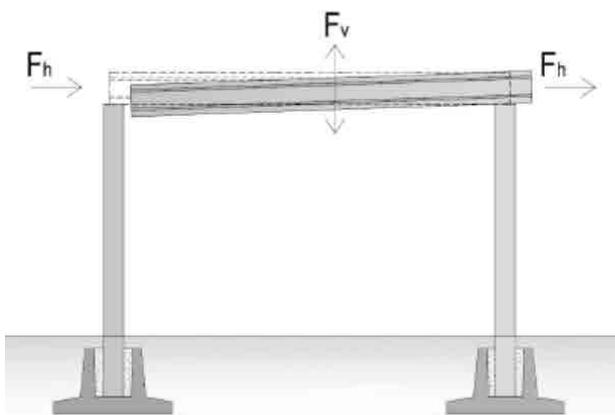
Se ci si sofferma sulla definizione del termine Rischio sismico, inteso come combinazione della pericolosità, vulnerabilità e dell'esposizione, si comprende che sia il Decreto legge n.81/2008 e sia le NTC 2018 hanno come obiettivo quello di garantire l'incolumità degli utilizzatori della struttura e quindi risultano tra di loro interconnessi.

ANALISI DEL CAPANNONE SOGGETTO AD AZIONI SISMICHE: MODALITÀ DI COLLASSO

Le Linee di indirizzo per interventi locali e globali su edifici industriali monopiano non progettati con criteri antisismici, redatte dalla Protezione Civile, da RELUIS, dal CNI (Consiglio Nazionale degli Ingegneri), da ASSOBETON e dalla Federazione Regionale Ordini Ingegneri dell'Emilia Romagna riassumono le tipologie di collasso di questi edifici sulla base dei danni riscontrati a seguito del terremoto che ha colpito nel maggio del 2012 la regione Emilia Romagna. In particolare: perdita di appoggio, rotazione delle travi fuori dal proprio piano, assenza di diaframma di piano, danneggiamento degli elementi di tamponatura, danneggiamento dei pilastri.

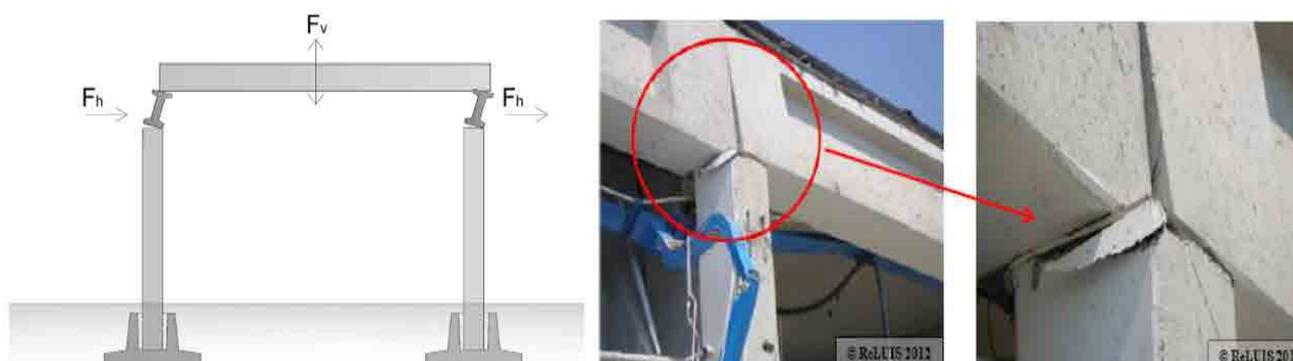
PERDITA DI APPOGGIO

La perdita di appoggio delle strutture orizzontali degli elementi di supporto è stata una delle cause più frequenti di danneggiamento degli edifici prefabbricati ed è avvenuta o per mancanza di elementi di connessione oppure, se in presenza di un perno di collegamento, per crisi del calcestruzzo, per espulsione del copriferro e dello spinotto.



ROTAZIONE DELLE TRAVI FUORI DAL PROPRIO PIANO

In presenza di travi principali alte è possibile che in prossimità degli appoggi si inneschi un meccanismo di rotazione che può portare la perdita di equilibrio della trave.



ASSENZA DI DIAFRAMMA DI PIANO

L'assenza di diaframmi di piano di rigidezza sufficienti per assicurare una distribuzione uniforme delle forze orizzontali ai vari elementi resistenti verticali può portare ad un funzionamento disordinato della struttura.

DANNEGGIAMENTO DEGLI ELEMENTI DI TAMPONATURA

In base all'epoca di costruzione dell'edificio, il pannello di tamponamento può essere realizzato in muratura, per gli edifici meno recenti, o in pannelli prefabbricati in calcestruzzo per quelli costruiti negli ultimi 40 anni. Le modalità di collasso possono interessare il solo pannello di rivestimento, se questo è collegato alla struttura principale mediante squadrette non adeguatamente dimensionate a sopportare azioni orizzontali, oppure anche l'intera struttura, nel caso di pannelli ammortati alla struttura che riescono a funzionare come elementi di controvento, portando in alcuni casi al cedimento del pilastro corto (o pilastro tozzo).



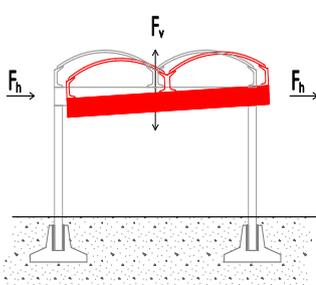
DANNEGGIAMENTO DEI PILASTRI

Negli edifici monopiano gli elementi verticali hanno il compito di sopportare sia le azioni verticali sia quelle orizzontali e sono calcolati considerando uno schema statico a mensola incastra. In alcuni casi, a causa delle forze orizzontali, è stato possibile notare la perdita di verticalità a causa della rotazione rigida al piede dovuta o alla rotazione dell'elemento di fondazione oppure al danneggiamento della struttura in calcestruzzo armato posta a sostegno del pilastro (bicchieri, plinti, ecc...)

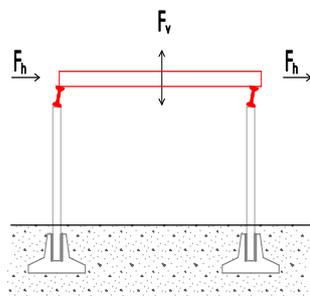
In altri casi si è notato che il problema principale di questi elementi strutturali è la formazione di una cerniera plastica alla base dei pilastri. In presenza di grandi deformazioni, di azioni di tipo ciclico e in assenza di un adeguato numero di staffe nelle zone critiche dissipative, si raggiunge precocemente il cedimento per instabilità delle barre compresse che porta ad una riduzione della duttilità della sezione e quindi della struttura.



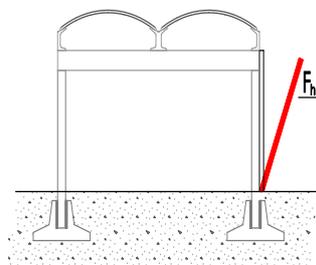
RIASSUNTO DELLE PRINCIPALI DI MODALITÀ COLLASSO DEI CAPANNONI:



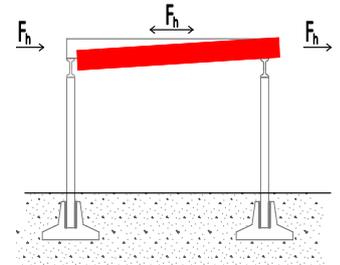
Perdita dell'appoggio della trave



Ribaltamento della trave



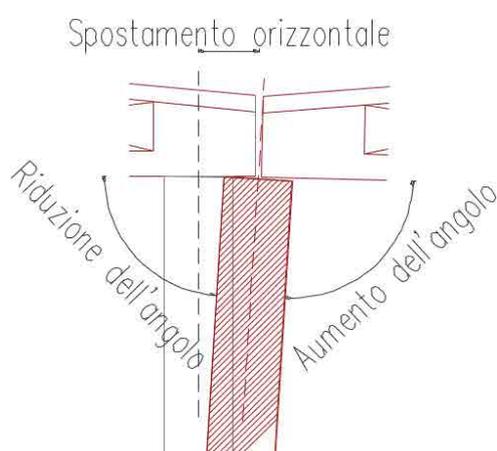
Ribaltamento del tamponamento



Perdita dell'appoggio del tegolo

ANALISI DEL CAPANNONE SOGGETTO AD AZIONI SISMICHE: COLLEGAMENTO TRAVE-PILASTRO.

Immaginiamo di analizzare il comportamento di una struttura prefabbricata monopiano alle sole azioni orizzontali e di isolare il comportamento di un portale, composto da due pilastri e da una trave che li collega in semplice appoggio. La deformabilità laterale del portale dipende dalla interazione tra il plinto di fondazione e il terreno, dalle caratteristiche inerziali del pilastro e dalla tipologia di giunto che collega il pilastro alla trave. Quest'ultimo deve essere in grado di impedire la traslazione mutua tra gli elementi che collega in modo tale da evitare la perdita di appoggio della trave al pilastro senza impedirne le rotazioni, che si sviluppano a seguito dello spostamento laterale del portale tra la trave e il pilastro.



Schematizzazione del comportamento del giunto trave-pilastro

Il collegamento deve poi essere in grado di sopportare anche le azioni indotte dalla componente verticale del sisma che possono portare ad una dislocazione improvvisa della trave.

In molti edifici prefabbricati progettati in assenza di normative antisismiche, la principale vulnerabilità della struttura è data dalla presenza di giunti trave-pilastro in cui il collegamento è affidato esclusivamente all'attrito dell'appoggio. È facile intuire come la combinazione della forza sismica orizzontale e quelle verticale renda inefficace questa tipologia di collegamento.



Esempi di appoggi con funzionamento ad attrito



Al riguardo le attuali Norme Tecniche per le Costruzioni, al paragrafo 7.4.5.2, evidenziano come i collegamenti tra gli elementi prefabbricati condizionino il comportamento statico dell'organismo strutturale e la risposta alle azioni sismiche e devono essere progettati in modo tale da possedere capacità in spostamento e di resistenza maggiori delle corrispondenti domande.

Compreso quindi qual è il funzionamento dell'appoggio, è facile capire che la strategia di intervento sugli edifici esistenti può seguire due strade:

- La Progettazione di collegamenti sovraresistenti in grado di non pregiudicare la plasticizzazione delle zone dissipative (ad esempio utilizzando piastre e bulloni in acciaio).
- L'inserimento di dispositivi antisismici in grado di dissipare parte dell'energia sismica.

Entrambe le soluzioni risultano essere valide, ma richiedono al progettista una attenta valutazione di quali siano i possibili effetti secondari sulla struttura.

Nel primo caso, ovvero l'utilizzo di collegamenti rigidi, le piastre devono essere installate in modo da consentire alla struttura gli spostamenti dovuti alle azioni termiche e non devono modificare lo schema di appoggio originario, a meno che questo non sia voluto (trasformazione del portale in telaio).

Nel secondo caso, invece, la scelta del dispositivo antisismico deve essere tarata sulle caratteristiche di resistenza e di capacità in rotazione della sezione del pilastro e della deformabilità laterale del portale (è opportuno evitare che spostamenti relativi trave-pilastro troppo elevati comportino le dislocazioni di elementi non strutturali come ad esempio gli impianti).

Paragrafo 7.4.5.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni:

"...negli elementi prefabbricati e i loro collegamenti si deve tener conto del possibile degrado a seguito delle deformazioni in campo plastico. Quando necessario, la resistenza di progetto dei collegamenti prefabbricati valutata per carichi non ciclici deve essere opportunamente ridotta per le verifiche sotto azioni sismiche.

In caso si collegamenti tra elementi prefabbricati di natura non monolitica, che influenzano in modo sostanziale il comportamento statico dell'organismo strutturale, e quindi anche la sua risposta sotto azioni sismiche, sono possibili le tre situazioni seguenti, a ciascuna delle quali deve corrispondere un opportuno criterio di dimensionamento:

- a) Collegamenti situati al di fuori delle previste zone dissipative, che quindi influiscono sulle capacità dissipative della struttura;*
- b) Collegamenti situati in prossimità delle previste zone dissipative alle estremità degli elementi prefabbricati, ma sovradimensionati, in modo tale da non pregiudicare la plasticizzazione delle zone dissipative stesse;*
- c) Collegamenti situati nelle previste zone dissipative alle estremità degli elementi prefabbricati, dotati delle necessarie caratteristiche in termini di duttilità e di quantità di energia dissipabile."*



Connessione di tipo rigido, sovrar resistente

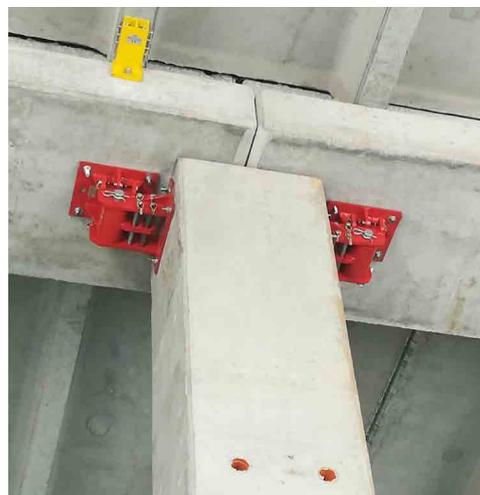
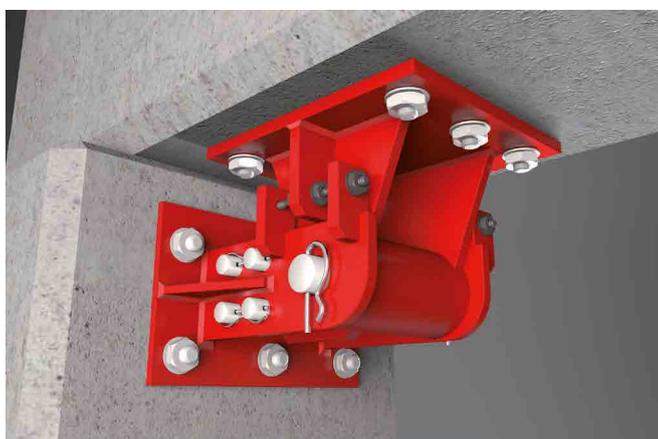


Immagine di un dissipatore sismico

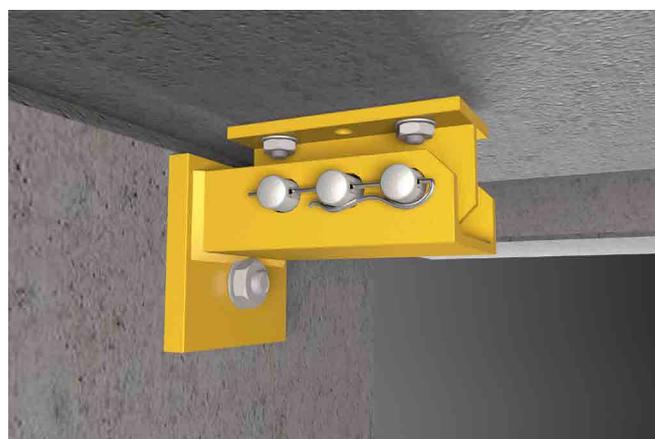
DESCRIZIONE DEI DISPOSITIVI ANTISISMICI FIBRE NET

Dallo studio della vulnerabilità delle strutture prefabbricate, Fibre Net, a partire da un'idea del professionista Ing. Giovanni Bulferetti e in collaborazione con l'Università di Bergamo, ha sviluppato e ingegnerizzato due famiglie di dispositivi antisismici SAFE+ in conformità a quanto previsto sia nelle NTC 2018 sia nella Normativa EN 15129 (Dispositivi antisismici), ottenendo la relativa marcatura CE.

I sistemi SAFE+ hanno la doppia funzione di collegamento meccanico tra gli elementi strutturali e non, oltre che di dissipazione dell'energia sismica; in particolare è stato sviluppato il dispositivo SAFE+ Model A per la ritenuta delle Travi-Pilastri e il dispositivo SAFE+ Model B, utilizzabile sia per il collegamento dei tegoli alle travi principali sia per l'unione delle tamponature alla struttura portante evitandone così il ribaltamento.



Dispositivo SAFE+ Model A



Dispositivo SAFE+ Model B

DISPOSITIVO SAFE+ MODEL A E SUO FUNZIONAMENTO

Il dispositivo SAFE+ MODEL A è studiato per garantire a piccoli valori di spostamenti (azioni sismiche di bassa entità) un funzionamento a fusibile e successivamente la sua rottura, per spostamenti maggiori (azioni sismiche di entità maggiore) un comportamento a dissipatore.

Il giunto di collegamento antisismico per travi e pilastri chiamato Model A ripropone una cerniera elastica costituita da:

- **due piastre in acciaio** da fissare con tasselli meccanici o chimici rispettivamente al pilastro ed alla corrispondente trave;
- **un involucro metallico cilindrico** esterno sul quale sono saldate delle flange in acciaio;
- **un perno centrale** con interposta una molla ammortizzante in gomma (Shore A SH445);
- **un piatto in acciaio** sul quale sono saldate due flange collegate al perno;
- **due fusibili** costituiti ciascuno da una barra filettata, funzionanti a semplice trazione, collegati al dispositivo da tre piatti in acciaio;
- **un sistema dissipativo** costituito da 4 barre, che si deformano a flessione.



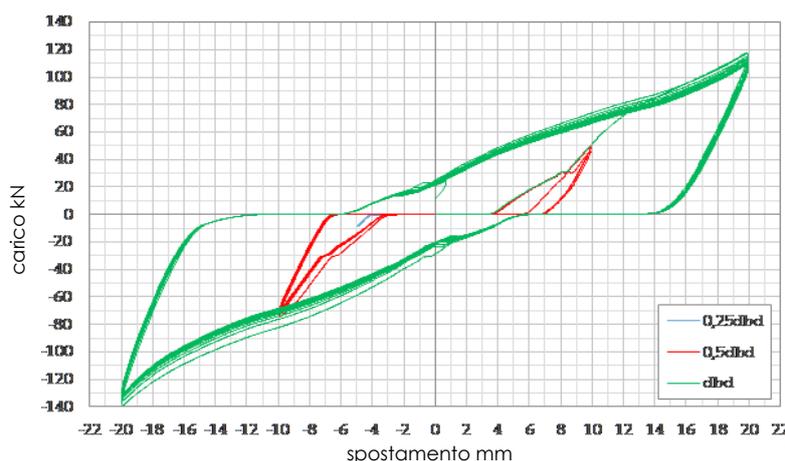
Immagine 3D del dispositivo trave-pilastro. Due modalità di applicazione

Il dispositivo di collegamento ha la funzione di tagliare le forze sismiche in ingresso al nodo e oltre un certo valore di spostamento, introdurre un comportamento dissipativo. Questo comporta una diminuzione delle sollecitazioni che impegnano i pilastri e le travi.

Il dispositivo permette di realizzare, in modo semplice ed efficace, un adeguato collegamento trave-pilastro ed assicura nel contempo i seguenti vantaggi:

1. evita la caduta delle travi o dei tegoli per "perdita d'appoggio" dai rispettivi pilastri/travi sia per effetti di forze sismiche longitudinali che trasversali;
2. la presenza di due barre in acciaio, con funzione di vincoli sacrificali, garantisce la piena stabilità dell'immobile in fase di esercizio in quanto, sotto una certa soglia prestabilita di forza (forza di rottura), consente i movimenti relativi tra le parti dovuti ad azioni esterne non definite né come sismiche e né eccezionali (paragrafo 2.5.3 Combinazioni di carico del D.M. del 17 gennaio 2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni") come ad esempio le dilatazioni termiche;
3. il giunto di collegamento antisismico, una volta esaurito l'effetto a "fusibile", si comporta come dispositivo dipendente dallo spostamento (dissipatore di tipo isteretico) che consente spostamenti relativi fra le parti collegate, di entità predefinita compatibile con le caratteristiche dimensionali dei vari componenti strutturali interessati;
4. riduce l'effetto dell'azione sismica sia longitudinale che trasversale sulle strutture principali che compongono l'edificio;
5. non modifica lo schema statico della struttura originaria;
6. le caratteristiche costruttive del giunto di collegamento antisismico ne permettono il facile smontaggio per l'ispezione di tutti i componenti interni e l'eventuale loro sostituzione a seguito di eventi sismici o a scadenza programmata sulla base di un piano di manutenzione.

Si riporta un diagramma forza-spostamento che descrive il comportamento del dispositivo.

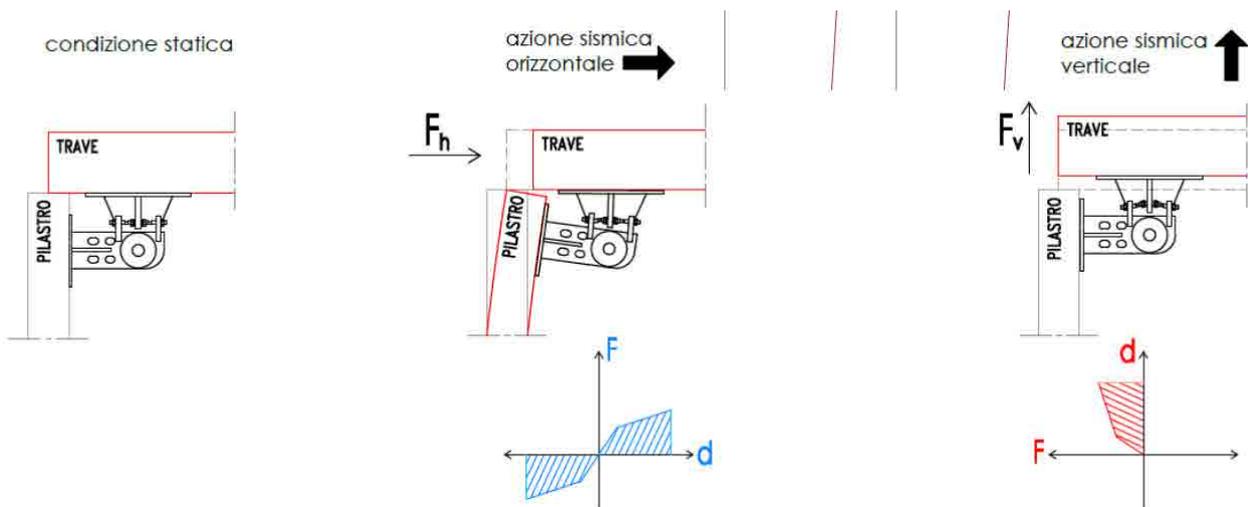




Raggiunta la rottura dei fusibili, la dissipazione si attiva sfruttando la deformazione delle barre in acciaio dovuta alle rotazioni che si sviluppano tra il nodo trave-pilastro.



Nelle tre immagini sottostanti si dimostra in modo schematico come il dispositivo SAFE+ Model A sia in grado di mantenere il collegamento tra la trave e il pilastro sia per l'azione sismica orizzontale sia per quella verticale.



Schematizzazione del comportamento del dispositivo alle azioni sismiche.

Facendo riferimento alla normativa EN 15129 (dispositivi antisismici) il dispositivo appena descritto è stato classificato come dispositivo combinato, ottenuto dall'unione di un dispositivo di vincolo rigido (MFR) e di un dispositivo dipendente dallo spostamento (DDD) a comportamento non lineare (NLD).

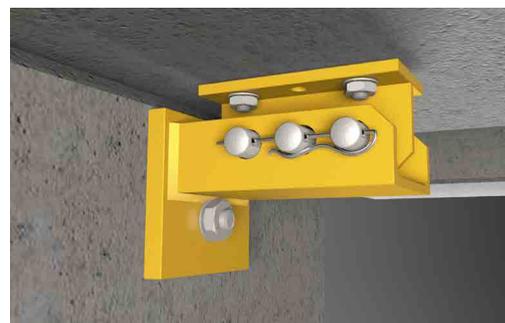


DISPOSITIVO SAFE+ MODEL B E SUO FUNZIONAMENTO

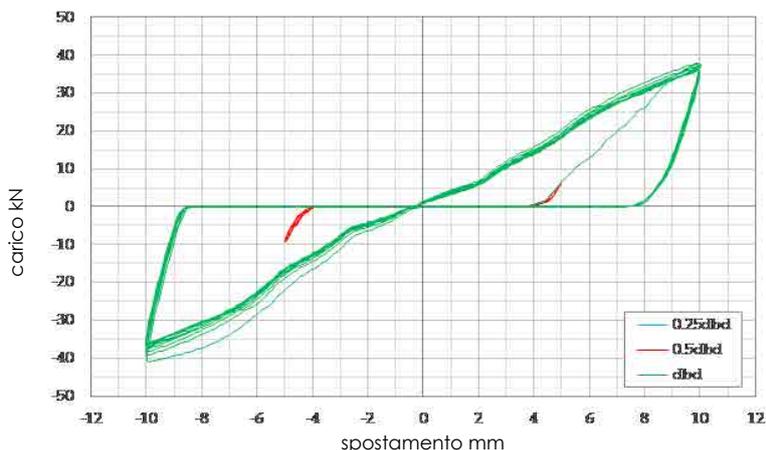
Il sistema di collegamento SAFE+ Model B è pensato per risolvere il collegamento delle connessioni delle orditure secondarie negli edifici prefabbricati in C.A.P..

Il dispositivo ha la funzione di tagliare le forze sismiche in ingresso al nodo e oltre un certo valore di spostamento introdurre un comportamento dissipativo.

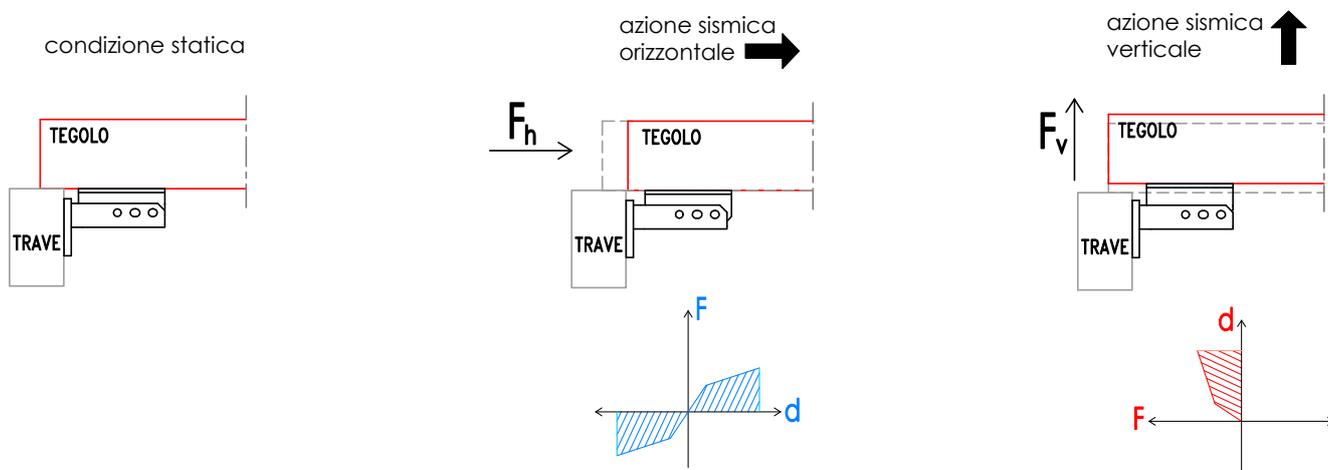
A differenza del dispositivo descritto precedentemente, questo presenta un meccanismo resistente fornito dalla flessione di tre barre in acciaio.



Si riporto un diagramma forza-spostamento che descrive il comportamento del dispositivo.



Nelle tre immagini sottostanti si dimostra in modo schematico come anche il dispositivo SAFE+ Model B sia in grado di mantenere il collegamento tra la trave e il pilastro sia per l'azione sismica orizzontale sia per quella verticale.



Schematizzazione del comportamento del dispositivo alle azioni sismiche.

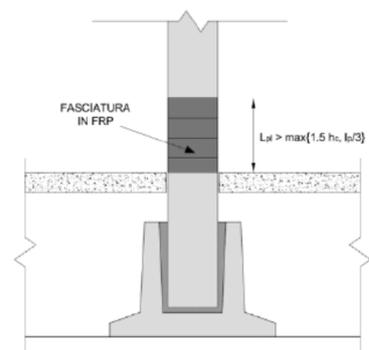
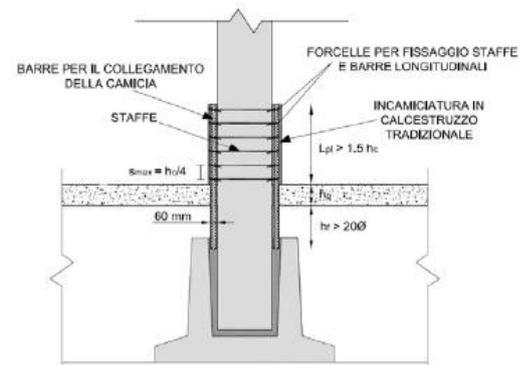
Secondo la normativa EN 15129 il dispositivo è stato qualificato come dispositivo elastico non lineare (NLED).

RINFORZO DEI PILASTRI

Risolto il problema legato all'assenza di collegamento tra gli elementi che compongono la struttura prefabbricata, è opportuno verificare che le sezioni alla base dei pilastri siano in grado di assorbire le forze di progetto generate dal sisma.

Al riguardo Fibre Net propone l'utilizzo di due sistemi di rinforzo, utilizzabili alternativamente:

- Sistema CRM (Composite Reinforced Mortar) che consiste nell'applicare delle reti preformate in fibra di vetro o in fibra di carbonio inglobate in una matrice cementizia in modo tale da incrementare la resistenza a flessione e a taglio della sezione;
- Sistema FRP BETONTEX EPOXY dove si utilizzano delle fasce in fibra di carbonio applicate in orizzontale e se necessario anche in verticale, al fine di aumentare la resistenza e la capacità in curvatura della sezione del pilastro.



Fasciatura orizzontale dei pilastri

Fasciatura verticale e orizzontale dei pilastri.

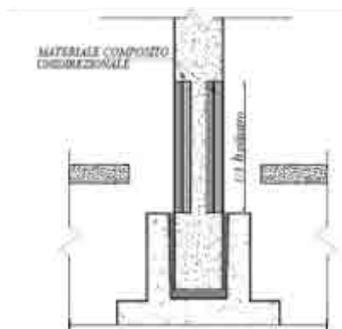


Figura 105 - Applicazione del tessuto metallico. Sezione verticale

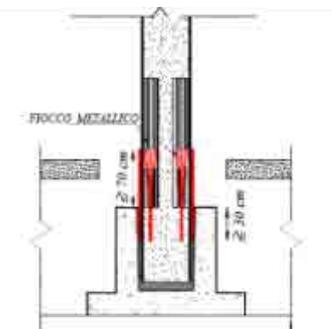


Figura 106 - Applicazione del tessuto metallico. Sezione orizzontale



Figura 107 - Applicazione del tessuto quadri axiale

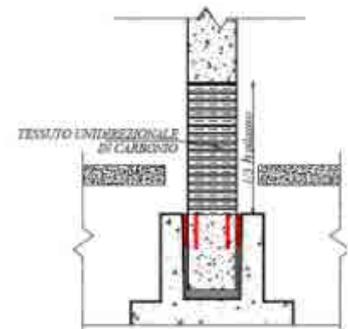


Figura 108 - Applicazione del tessuto unidirezionale

Autore: **Ing. Enrico Zanello** Responsabile ufficio Tecnico Fibre Net

Dopo la laurea in Ingegneria Civile si è occupato di progettazione di infrastrutture. Parallelamente alla libera professione, dal 2012 collabora con Fibre Net nello sviluppo di sistemi per il rinforzo strutturale in materiale composito nonché della linea dei dissipatori sismici.