



## DISPOSITIVI DI VINCOLO

Gli appoggi hanno normative armonizzate di riferimento ossia sono coperti da marchio CE in accordo con le relative parti della normativa europea EN 1337.

### Tipologie di sistema di vincolo

I dispositivi di appoggio sono necessari per realizzare il sistema di vincolo ottimale per l'impalcato, che possa trasferire alle sottostrutture (spalle e pile) le azioni di progetto (carichi verticali e orizzontali) e al contempo permetta la dilatazione termica delle travi ed eventuali spostamenti rigidi di natura sismica in direzione longitudinale e trasversale.

Tutti gli appoggi devono inoltre consentire le rotazioni di progetto delle travi.

Le possibili tipologie di sistema di vincolo che il progettista dell'opera può prevedere sono sostanzialmente due: il vincolo orizzontalmente rigido (rigidezza orizzontale infinita) ed il vincolo orizzontalmente cedevole (rigidezza orizzontale non infinita).

#### Vincoli orizzontalmente rigidi

Il primo sistema di vincolo consiste nel garantire l'ancoraggio rigido delle travi alle sottostrutture, in modo che le forze orizzontali possano essere trasmesse da impalcato al baggiolo senza generare spostamenti.

Al contempo il sistema deve comunque garantire la possibilità delle travi di sviluppare le deformazioni irreversibili (fluage, ritiro) e reversibili (dilatazioni termiche) in ogni direzione orizzontale: per tale motivo

questo sistema di vincolo necessita di un'opportuna disposizione di appoggi fissi, unidirezionali e multidirezionali.

- Gli appoggi fissi possono resistere e trasmettere alla struttura sottostante il carico verticale e il carico orizzontale in qualsiasi direzione nel piano. Gli unici gradi di libertà permessi sono la rotazione attorno all'asse verticale e quelle attorno agli assi orizzontali: sono quindi modellabili come cerniere.
- Gli appoggi unidirezionali trasmettono alla struttura inferiore il carico verticale e il carico orizzontale lungo una sola direzione, mentre consentono il movimento lungo la direzione ortogonale e tutte le rotazioni: sono quindi modellabili come carrelli monodirezionali.
- Gli appoggi multidirezionali trasmettono esclusivamente il carico verticale, mentre permettono lo scorrimento in qualsiasi direzione orizzontale: sono quindi modellabili come carrelli mobili sul piano orizzontale.

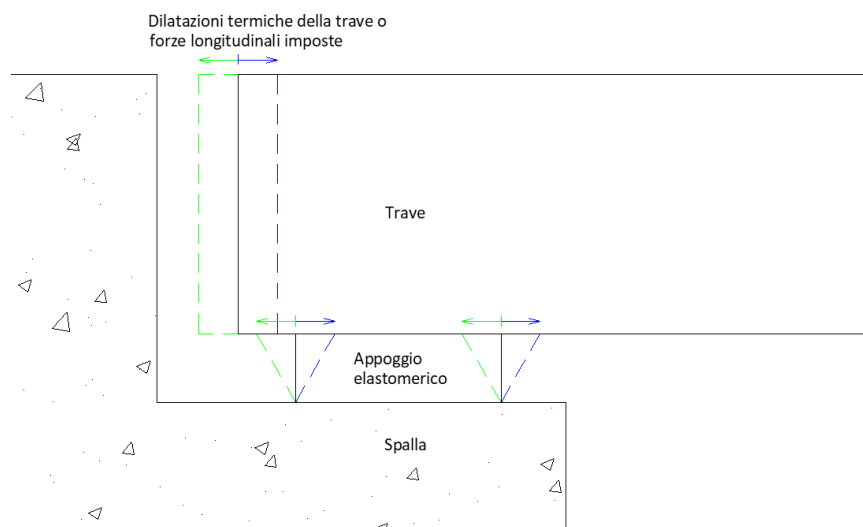
#### Vincoli orizzontalmente cedevoli

La seconda tipologia di vincolo consiste nel garantire un ancoraggio delle travi alle sottostrutture che abbia una determinata rigidità orizzontale finita (generalmente nell'ordine di  $0.5 \div 5$  kN/mm per ogni appoggio): in questo modo le forze orizzontali sono trasmesse da impalcato a baggiolo generando uno spostamento rigido dell'impalcato stesso, funzione della rigidità orizzontale degli appoggi. Allo stesso modo ogni movimento o deformazione imposta all'appoggio provoca un carico orizzontale di risposta elastica.

In conclusione, il progettista può prevedere tale tipologia di vincolo solo se accetta che i carichi laterali imposti all'impalcato (azione del vento, sisma, frenatura) possano causare uno spostamento rigido dello stesso.

Per la realizzazione di questo sistema di vincolo sono necessari appoggi cedevoli lateralmente (appoggi elastomerici o appoggi multidirezionali accoppiati a ritegni cedevoli, entrambi modellabili come carrelli accoppiati a molle orizzontali), per i quali non vi è dunque distinzione tra appoggi fissi e scorrevoli: questo porta alla definizione del primo vantaggio di questo sistema, ossia la possibilità di utilizzare, per una determinata opera, lo stesso modello di appoggio sotto ogni trave senza doverne differenziare la disposizione, con evidenti benefici economici e di gestione.

Il secondo vantaggio riguarda la risposta sismica dell'impalcato: realizzare un piano di appoggio con rigidità non infinita significa garantire un periodo proprio della struttura di valore medio-alto (inversamente proporzionale alla rigidità) e quindi un valore di accelerazione orizzontale (ordinata dello spettro di risposta) relativamente basso, principio sul quale si basa l'isolamento sismico delle strutture.

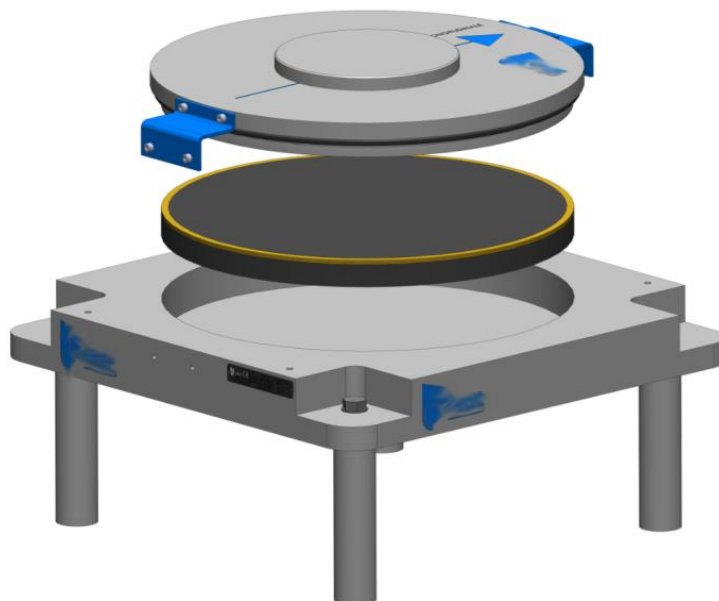


**Comportamento schematico di una trave da ponte su di un vincolo cedevole (appoggio elastomerico) soggetta a dilatazioni o carichi orizzontali**

## Tipologie di appoggi per sistema di vincolo rigido

Per quanto riguarda il primo sistema di vincolo (vincolo rigido), tra le più comuni tipologie di appoggi strutturali che possono essere utilizzate per realizzarlo troviamo gli appoggi a disco elastomerico confinato (o "appoggi pot"), per i quali la normativa di riferimento è la UNI EN 1337-5 - *Appoggi strutturali - Parte 5: Appoggi a disco elastomerico confinato* (la norma specifica i requisiti per la progettazione e la fabbricazione di appoggi a disco elastomerico confinato destinati ad essere impiegati con temperature di esercizio comprese tra - 40° e 50 °C).

Questi appoggi sono composti da un disco elastomerico incapsulato in una piastra metallica di base (basamento). Una piastra superiore (pistone) funge da coperchio andando a coprire il disco di gomma trasferendo il carico verticale. La rotazione è permessa per mezzo della deformazione per schiacciamento del disco di gomma.



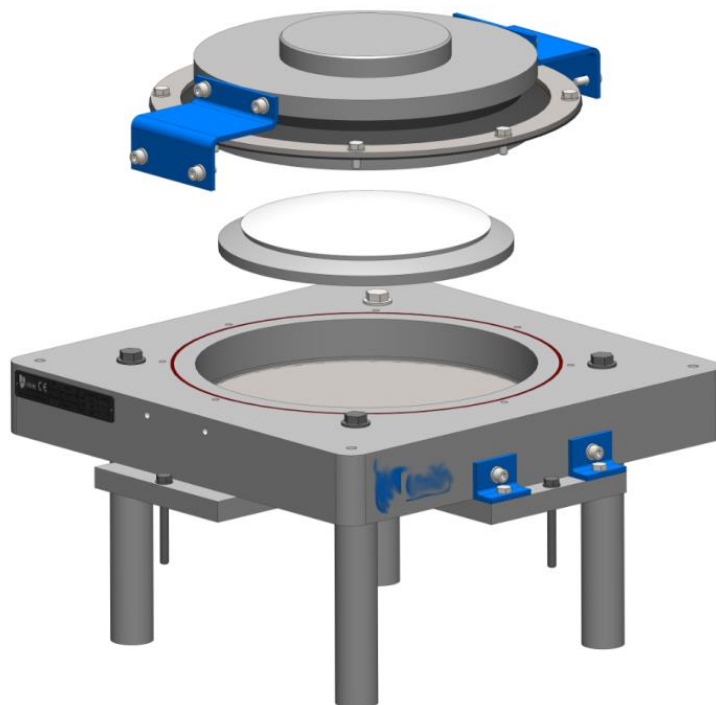
***Appoggio a disco elastomerico confinato***

Come già citato in precedenza, gli appoggi fissi possono essere unidirezionali o multidirezionali: per gli appoggi scorrevoli il movimento è permesso attraverso lo scorrimento della piastra superiore (con superficie in acciaio inox lucidato a specchio) su di una superficie di PTFE lubrificato incassata nel pistone.

La progettazione e la produzione delle superfici di scorrimento (acciaio inox – PTFE) è normata dalla EN 1337-2 - *Appoggi strutturali - Parte 2: Superfici di scorrimento*.

Se l'appoggio deve garantire il movimento lungo una sola direzione (appoggi unidirezionali), esso può essere "guidato" per mezzo di una barra di guida ancorata al pistone e incassata nella piastra superiore di scorrimento.

Un'altra tipologia di appoggi che può essere utilizzata per realizzare un sistema di vincolo rigido riguarda gli appoggi a calotta sferica. La normativa di riferimento per questi appoggi è la UNI EN 1337-7 - *Appoggi strutturali - Parte 7: Appoggi a calotta sferica*.



***Appoggio a calotta sferica***

Il funzionamento di questa tipologia di appoggi si basa sulla rotazione per scorrimento tra una superficie curva di PTFE nicchiata e lubrificata (incassata all'intradosso di una piastra di supporto) e l'estradosso di una calotta sferica realizzata in modo da minimizzare l'attrito di contatto (alluminio, acciaio con ricoprimento di lamina in acciaio inox o acciaio cromato). Questo meccanismo di rotazione garantisce agli appoggi a calotta sferica una capacità di rotazione di gran lunga superiore rispetto a quella degli appoggi convenzionali (elastomerici o a disco elastomerico confinato).

Anche per quanto riguarda la massima capacità di carico verticale, questi appoggi garantiscono prestazioni superiori. Le migliori prestazioni rendono questa tipologia di appoggi particolarmente indicata per impalcati ferroviari. Anche questa tipologia di appoggio prevede la distinzione in appoggi fissi, unidirezionali e multidirezionali.

La progettazione e la produzione delle superfici di scorrimento (acciaio inox – PTFE) e di rotazione è normata dalla EN 1337-2 - *Appoggi strutturali - Parte 2: Superfici di scorrimento*.

## Tipologie di appoggi per sistema di vincolo cedevole

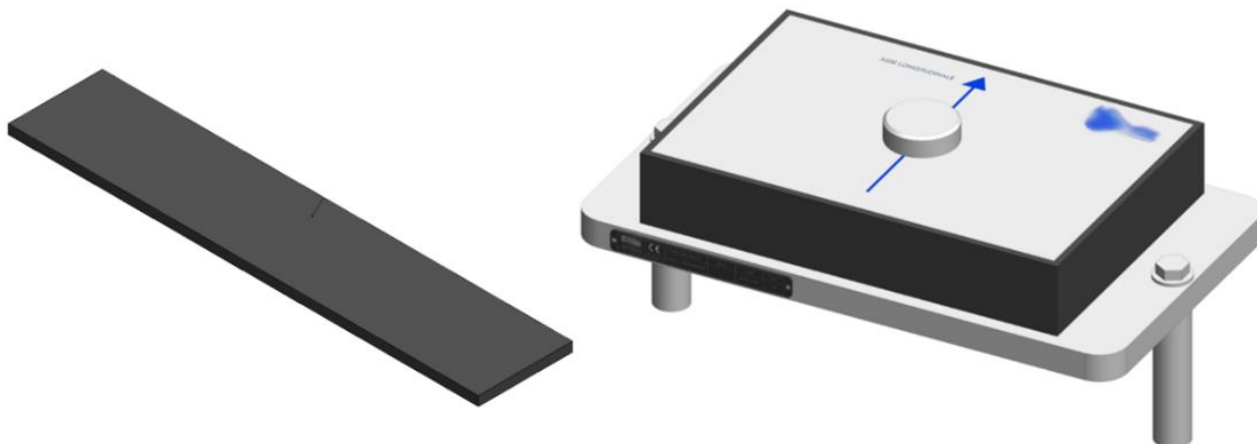
Per la realizzazione di sistemi di vincolo cedevoli orizzontalmente, la più comune tipologia di appoggi strutturali utilizzati riguarda gli appoggi elastomerici (appoggi in gomma armata), per i quali la normativa di riferimento è la UNI EN 1337-3 - *Appoggi strutturali - Parte 3: Appoggi elastomerici*. La norma stabilisce le caratteristiche degli appoggi elastomerici, provvisti o meno di dispositivi di supporto complementari, impiegati nelle strutture di ponti o in altre strutture aventi condizioni di supporto comparabili. Gli appoggi elastomerici sono costituiti da una serie di strati di gomma vulcanizzati a piastrine di acciaio che hanno la funzione di aumentare la resistenza dell'appoggio all'instabilità a fronte di carichi verticali elevati.

La capacità di movimento orizzontale è garantita dalla deformazione a taglio degli strati di gomma: per tale ragione ogni movimento imposto all'appoggio provoca un carico orizzontale di risposta elastica, conseguenza della rigidità orizzontale del dispositivo. Allo stesso modo, ogni carico orizzontale imposto all'appoggio (vento, forze sismiche, frenatura, ecc) genera una deformazione orizzontale degli strati di gomma e quindi uno spostamento dell'impalcato. La rigidità orizzontale è direttamente proporzionale all'area in pianta dell'appoggio e inversamente proporzionale all'altezza totale di gomma (somma degli spessori degli strati).

La rotazione è permessa per la deformazione a schiacciamento dell'appoggio.

La tipologia più semplice di appoggi in gomma armata consiste in un panetto di gomma rinforzato da lamierini vulcanizzati interni, senza piastre esterne di ancoraggio (in questo caso per la trasmissione dei carichi orizzontali alle strutture adiacenti avviene per attrito, che deve quindi essere verificato). In alternativa, è possibile dotare l'appoggio di piastre esterne vulcanizzate alla gomma che hanno la funzione di accogliere gli ancoraggi meccanici (viti, zanche, perni).

La normativa prescrive che non si possa fare affidamento all'attrito per la trasmissione dei carichi orizzontali nel caso di strutture sottoposte a sollecitazioni dinamiche con possibili fluttuazioni estreme dei carichi (per esempio impalcato ferroviario o strutture soggette a carichi sismici): in questi casi bisogna dunque prevedere l'utilizzo di appoggi dotati di ancoraggi meccanici.



*Appoggi elastomerici senza e con ancoraggi meccanici*

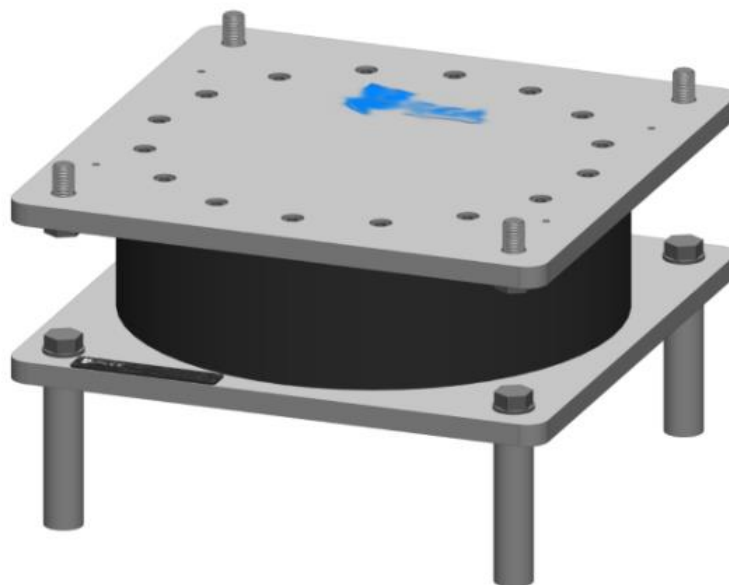
## **Isolatori sismici**

Gli isolatori sismici sono dispositivi di vincolo cedevoli orizzontalmente che, oltre ad assolvere le funzioni classiche degli appoggi da ponte (resistere ai carichi verticali e orizzontali, consentire spostamenti e rotazioni) sono dotati di una limitata rigidità orizzontale che consente di poter aumentare il periodo proprio della struttura e, di conseguenza, abbatterne la forzante sismica. In questo modo è possibile, durante l'evento sismico, fare in modo che l'opera risulti svincolata rispetto alle strutture di base (spalle e pile) che si muovono solidalmente al terreno, diminuendo così la forza orizzontale di inerzia trasmessa.

Gli isolatori sismici garantiscono inoltre un determinato livello di dissipazione dell'energia trasmessa dal terremoto: in questo modo è possibile aumentare lo smorzamento equivalente della struttura abbattendone lo spettro di risposta.

I dispositivi devono infine avere capacità di ricentraggio, ossia devono garantire il vincolo continuo tra impalcato e sottostruttura (nonostante lo spostamento relativo) e assicurare che, una volta terminato l'evento sismico, possa essere riconfigurata la disposizione iniziale degli elementi permettendo il proseguo dell'utilizzo della struttura (in base al livello del sisma occorso).

La tipologia più nota di isolatore sismico è l'isolatore sismico elastomerico (isolatore *HDRB*, *High Damping Rubber Bearing*), che si presenta simile ad un normale appoggio elastomerico (realizzato con sequenza di strati in gomma e lamierini di rinforzo) con piastre metalliche esterne vulcanizzate che ospitano i mezzi di ancoraggio alle strutture (viti, zanche, perni).



*Isolatore sismico elastomerico HDRB*

La capacità di movimento orizzontale è garantita dalla deformazione a taglio degli strati di gomma: per tale ragione, esattamente come per gli appoggi elastomerici, ogni movimento imposto all'isolatore provoca un carico orizzontale di risposta elastica, conseguenza della rigidità orizzontale del dispositivo.

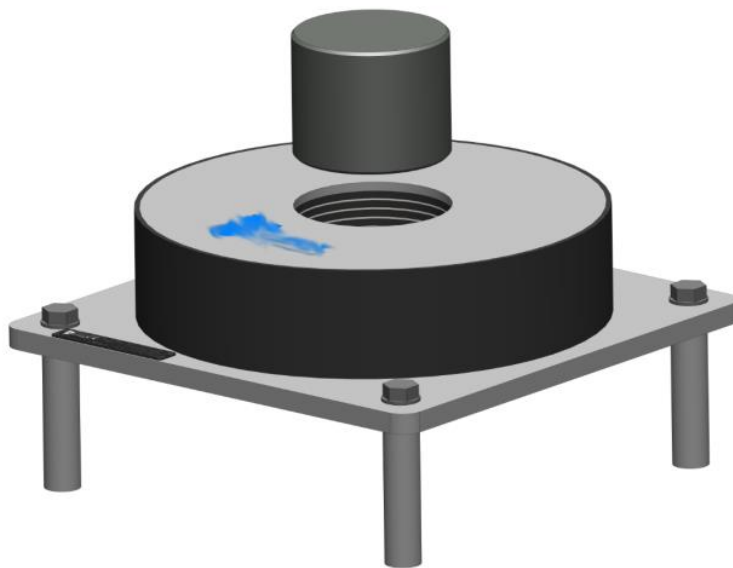
Allo stesso modo, ogni carico orizzontale imposto all'appoggio genera una deformazione orizzontale degli strati di gomma e quindi uno spostamento della struttura.

La gomma utilizzata è realizzata con mescole dotate di proprietà dissipative che forniscono al dispositivo la capacità di smorzamento dell'energia sismica durante i cicli di deformazione a taglio (le mescole utilizzate forniscono un coefficiente di smorzamento equivalente minimo pari al 12%).

La rigidità orizzontale è direttamente proporzionale all'area in pianta dell'appoggio, alla durezza della mescola utilizzata e inversamente proporzionale all'altezza totale di gomma (somma degli spessori degli strati in gomma).

Sono inoltre disponibili isolatori elastomerici con capacità dissipativa aumentata (isolatori *LRB*, *Lead-Rubber Bearing*): isolatori in gomma-acciaio dotati di uno o più nuclei in piombo puro inseriti all'interno del dispositivo con la funzione di aumentare sensibilmente la capacità dissipativa del dispositivo (che può raggiungere in questo modo il 40%) e fornire una notevole rigidità iniziale che può essere utile per limitare gli spostamenti della struttura sotto forze di esercizio.





*Isolatore sismico elastomerico con nucleo in piombo LRB*

La normativa che regola la progettazione e la produzione dei dispositivi antisismici è la EN 15129, che prescrive inoltre le prove di qualifica e di collaudo per le varie tipologie di prodotto.

## **Dissipatori sismici**

Per aumentare la capacità dissipativa di un'opera, sia essa di nuova costruzione oppure esistente (in questo caso si parla di *retrofitting sismico*) è possibile installare dispositivi agenti in regime dinamico e atti alla dissipazione dell'energia sismica: si tratta dei dissipatori sismici, la cui progettazione e produzione è normata dalla EN 15129, che ne prescrive le prove di qualifica e di collaudo.

Le tipologie maggiormente utilizzate sono due: i dissipatori sismici isteretici e i dissipatori sismici fluidodinamici.

I dissipatori sismici isteretici sfruttano la capacità dissipativa di elementi in acciaio ad alta duttilità opportunamente sagomati: questi elementi dissipativi possono essere accoppiati ad un appoggio mobile o essere disposti in un sistema di ritenuta (ritegni smorzanti per ponti o controventi dissipativi), per fornire smorzamento lungo una o più direzioni di movimento. Gli elementi smorzanti sono sagomati a "falce" e agiscono in apertura-chiusura garantendo in questo modo la completa plasticizzazione della sezione per il momento flettente applicato; il conseguente comportamento dinamico elasto-plastico permette di esibire il massimo spostamento sismico e fornire la dissipazione dell'energia sismica richiesta.

Le grandezze che governano il comportamento dinamico (valori di spostamento, carico, rigidità, smorzamento) dipendono dalle dimensioni dell'elemento (spessore, angolo di apertura, variazione del

raggio di curvatura, variazione di larghezza del profilo) che vengono dunque scelte appositamente per soddisfare i requisiti di progettazione.

Ogni estremità del dispositivo è ancorata alla struttura esterna per mezzo di un perno inserito in un anello di ancoraggio dotato di cerniera sferica.

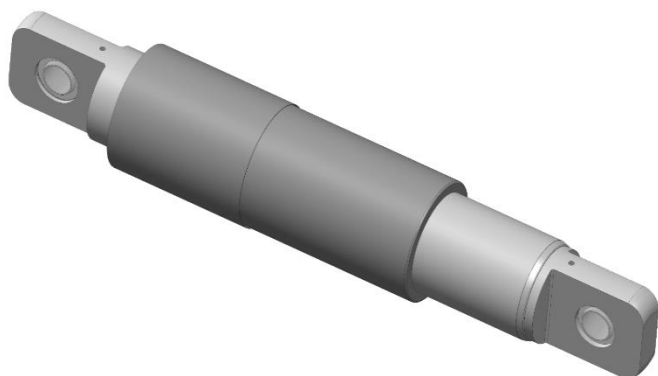
L'elevata rigidità iniziale dell'elemento (a bassi spostamenti) è utile per garantire un comportamento rigido in servizio. L'intero comportamento ciclico è indipendente dalla velocità di carico e può fornire una capacità di smorzamento superiore al 40%.



***Dissipatore sismico isteretico***

I dissipatori sismici fluidodinamici sono cilindri oleodinamici a movimento assiale con fluido silconico viscoso che, grazie ad un sistema di valvole interne, riescono a garantire un comportamento dinamico governato da una legge secondo la quale la risposta (carico assiale) e la conseguente capacità dissipativa sono fortemente dipendenti dalla velocità di applicazione del carico.

Questa tipologia di dissipatori viene utilizzata quando è richiesta una dissipazione di energia sismica molto elevata (fino al 60%) e quando è utile limitare al massimo la reazione a fronte di spostamenti lenti (essendo il sistema viscoso, la reazione data dagli spostamenti lenti di servizio è trascurabile).



*Dissipatore sismico fluidodinamico*

Anche questa tipologia di dissipatori presenta due estremità dotate di anello di ancoraggio con cerniera sferica, una da ancorare alla struttura per la quale è richiesta la dissipazione e l'altra da ancorare alla struttura esterna solidale al terreno.

## **Ritegni sismici**

Utili ai fini della protezione sismica delle strutture, sia esistenti che di nuova realizzazione, i ritegni sismici sono dispositivi di collegamento rigido progettati per resistere e trasmettere il carico orizzontale generato dall'azione sismica di progetto e possono essere sostanzialmente di due tipi: ritegni permanenti o ritegni dinamici.

I ritegni permanenti sono tutti quei dispositivi di vincolo (ancoraggi meccanici, chiavi di taglio, controventi, ritegni di fine-corsa, dispositivi di accoppiamento trave-pilastro, ecc.) che sono sempre attivi sia in fase dinamica (condizione sismica) che in fase statica (condizione di servizio) e il loro comportamento non dipende dalla velocità di applicazione del carico.

I ritegni dinamici sono invece dispositivi a comportamento viscoso che garantiscono resistenza solo a fronte di azioni impulsive (condizione sismica), mentre consentono gli spostamenti lenti (condizione di servizio) opponendo reazioni limitate o completamente trascurabili.

I più utilizzati ritegni dinamici sono i dispositivi shock transmitters: cilindri oleodinamici a doppio effetto che, sfruttando la sola capacità viscosa dell'olio, garantiscono un ritegno rigido tra le due strutture connesse agente solo in presenza di azioni impulsive (dinamiche).

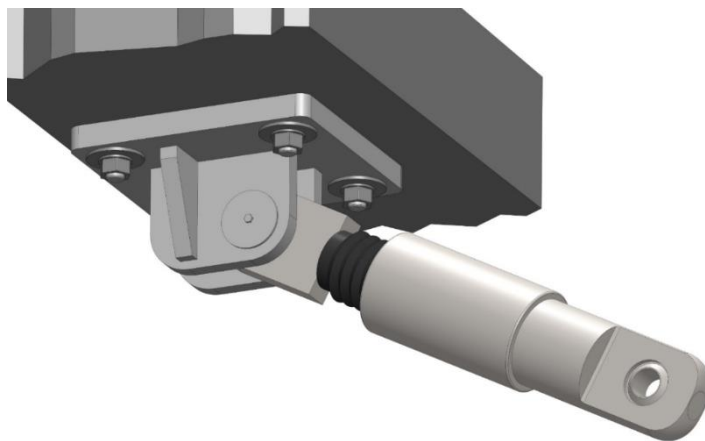
Tali dispositivi sono da utilizzare quando si ha la necessità di creare un collegamento rigido non dissipativo tra due strutture diverse o due elementi strutturali della stessa costruzione (trave-pilastro, pila-impalcato, ecc...) che venga attivato solamente in fase dinamica (a fronte della forzante sismica o del carico da vento) e che renda comunque possibili gli spostamenti lenti di servizio (spostamenti irreversibili e deformazioni termiche).

Tutte le componenti del dispositivo (cilindro, stelo, perni di estremità, ancoraggi alle strutture esterne) sono quindi dimensionate in base alla forza massima assiale alla quale il dispositivo deve resistere e allo spostamento massimo che deve garantire a fronte delle azioni lente.

Ogni estremità del dispositivo è ancorata alla struttura esterna per mezzo di un perno inserito in un anello di ancoraggio provvisto di cerniera sferica, che garantisce al dispositivo la capacità di rotazione attorno ad ogni asse.

Il comportamento tipico forza-spostamento è molto semplice, dato che il dispositivo è progettato in modo da essere un ritegno rigido (per alte velocità di carico) e non fornire dissipazione.

Anche in questo la normativa di riferimento è la EN 15129.



***Ritegno sismico dinamico shock-transmitters***

*Contenuti a cura di Fondazione Promozione Acciaio. Riproduzione riservata.*

*Materiale tratto dal Quaderno Tecnico: Norme Tecniche ANAS, Manutenzione dei ponti in acciaio e sostituzione di impalcati esistenti in c.a.p. con nuovi manufatti in carpenteria metallica.  
(pubblicazione settembre 2019).*