



ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI NUOVI ED ESISTENTI

Principi, modalità d'impiego e confronti con strutture tradizionali

PARTE PRIMA

Principi di base dell'isolamento sismico. Confronto tra strutture isolate ed a base fissa. Dispositivi di isolamento e dissipazione.

Criteri di progettazione delle strutture isolate. Definizione delle caratteristiche dei dispositivi e verifiche normative.

Progettare strutture protette dai terremoti con dispositivi antisismici

1. Isolamento e dissipazione: cenni teorici
2. Normativa
 1. Classificazione
 2. procedure di qualificazione
 3. procedure di accettazione
3. Classificazione dei dispositivi:
 1. definizione e modellazione
 2. prove di qualificazione e accettazione

Progettare strutture protette dai terremoti con dispositivi antisismici



Isolamento sismico e dissipazione

Approcci non convenzionali ad affidabilità superiore garantita

L'isolamento sismico svolge un ruolo chiave nella modellazione strutturale solo se per il sistema di isolamento sismico è garantita una

AFFIDABILITA' SUPERIORE

rispetto alle soluzioni progettuali convenzionali.

Le NTC 2018 vi dedicano:

- **§ 7.10 – Costruzioni con isolamento sismico e/o dissipazione**
- **§ 11.9 – Dispositivi antisismici e di controllo delle vibrazioni**

Isolamento sismico - § 7.10 NTC 2018

- 7.10. COSTRUZIONI CON ISOLAMENTO E/O DISSIPAZIONE**
- 7.10.1. SCOPO**
- 7.10.2. REQUISITI GENERALI E CRITERI PER IL LORO SODDISFACIMENTO**
- 7.10.3. CARATTERISTICHE E CRITERI DI ACCETTAZIONE DEI DISPOSITIVI**
- 7.10.4. INDICAZIONI PROGETTUALI**
 - 7.10.4.1 INDICAZIONI RIGUARDANTI I DISPOSITIVI
 - 7.10.4.2 CONTROLLO DI MOVIMENTI INDESIDERATI
 - 7.10.4.3 CONTROLLO DEGLI SPOSTAMENTI SISMICI DIFFERENZIALI DEL TERRENO
 - 7.10.4.4 CONTROLLO DEGLI SPOSTAMENTI RELATIVI AL TERRENO E ALLE COSTRUZIONI CIRCOSTANTI
- 7.10.5. MODELLAZIONE E ANALISI STRUTTURALE**
 - 7.10.5.1 PROPRIETÀ DEL SISTEMA DI ISOLAMENTO
 - 7.10.5.2 MODELLAZIONE
 - 7.10.5.3 ANALISI
 - 7.10.5.3.1 Analisi lineare statica
 - 7.10.5.3.2 Analisi lineare dinamica
- 7.10.6. VERIFICHE**
 - 7.10.6.1 VERIFICHE DEGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO
 - 7.10.6.2 VERIFICHE DEGLI STATI LIMITE ULTIMI
 - 7.10.6.2.1 Verifiche dello SLV
 - 7.10.6.2.2 Verifiche dello SLC
- 7.10.7. ASPETTI COSTRUTTIVI, MANUTENZIONE, SOSTITUIBILITÀ**
- 7.10.8. ACCORGIMENTI SPECIFICI IN FASE DI COLLAUDO**

Isolamento sismico - § 11.9 NTC 2018

- 11.9. DISPOSITIVI ANTISISMICI E DI CONTROLLO DELLE VIBRAZIONI**
- 11.9.1. TIPOLOGIE DI DISPOSITIVI**
- 11.9.2. PROCEDURA DI QUALIFICAZIONE**
- 11.9.3. PROCEDURA DI ACCETTAZIONE**
- 11.9.4. DISPOSITIVI A COMPORTAMENTO LINEARE**
 - 11.9.4.1 PROVE DI ACCETTAZIONE SUI DISPOSITIVI
- 11.9.5. DISPOSITIVI A COMPORTAMENTO NON LINEARE**
 - 11.9.5.1 PROVE DI ACCETTAZIONE SUI DISPOSITIVI
- 11.9.6. DISPOSITIVI A COMPORTAMENTO VISCOSO**
 - 11.9.6.1 PROVE DI ACCETTAZIONE SUI DISPOSITIVI
- 11.9.7. ISOLATORI ELASTOMERICI**
 - 11.9.7.1 PROVE DI ACCETTAZIONE SUI DISPOSITIVI
- 11.9.8. ISOLATORI A SCORRIMENTO**
 - 11.9.8.1 PROVE DI ACCETTAZIONE SUI DISPOSITIVI
- 11.9.9. DISPOSITIVI A VINCOLO RIGIDO DEL TIPO A “FUSIBILE”**
 - 11.9.9.1 PROVE DI ACCETTAZIONE SUI DISPOSITIVI
- 11.9.10. DISPOSITIVI (DINAMICI) DI VINCOLO PROVVISORIO**
 - 11.9.10.1 PROVE DI ACCETTAZIONE SUI DISPOSITIVI

Metodi di analisi strutturale per stimare gli effetti di un sisma

Per la valutazione della risposta strutturale conseguente ad un evento sismico è possibile utilizzare i seguenti metodi di analisi:

- **analisi statica lineare (LSA - Linear Static Analysis);**
- **analisi dinamica lineare (LDA - Linear Dynamic Analysis);**
- **analisi statica non lineare (NLSA - Non Linear Static Analysis-PUSHOVER);**
- **analisi dinamica non lineare (NLDA - Non Linear Dynamic Analysis)**

Analisi Lineari (statica e dinamica)

Le tipologie di **analisi lineare**, LSA e LDA, adottano un'**analisi elastica** per la determinazione delle deformazioni e delle sollecitazioni di ogni componente strutturale. In questo caso, le **non linearità** vengono convenzionalmente considerate tramite **opportuni parametri**.

Le procedure lineari, però, offrono **risultati poco realistici** nel caso in cui il **comportamento** della struttura si discosti da quello elastico.

Ciò è particolarmente importante nel caso di:

- **edifici irregolari**, nel caso in cui vi siano **richieste localizzate di duttilità**
- in **edifici alti** che, generalmente, sono caratterizzati da un marcato comportamento elasto-plastico.

Metodi di analisi strutturale per stimare gli effetti di un sisma - q_{factor}

Tab. 7.3.I – Limiti su q e modalità di modellazione dell'azione sismica

STATI LIMITE		Lineare (Dinamica e Statica)		Non Lineare	
		Dissipativo	Non Dissipativo	Dinamica	Statica
SLE	SLO	$q = 1.0$ § 3.2.3.4	$q = 1.0$ § 3.2.3.4	§ 7.3.4.1	§ 7.3.4.2
	SLD	$q \leq 1,5$ § 3.2.3.5	$q \leq 1,5$ § 3.2.3.5		
SLU	SLV	$q \geq 1,5$ § 3.2.3.5	$q \leq 1,5$ § 3.2.3.5		
	SLC	---	---		

Il limite superiore di q allo **SLV** è specificato, per le tipologie strutturali, nel § 7.3.1, richiamandolo poi per i diversi materiali, nei successivi §.

Metodi di analisi strutturale per stimare gli effetti di un sisma - q_{factor}

Valori MASSIMI !

Tab. 7.3.II – Valori massimi del valore di base q_0 del fattore di comportamento allo SLV per diverse tecniche costruttive ed in funzione della tipologia strutturale e della classe di duttilità CD

Tipologia strutturale	q_0	
	CD“A”	CD“B”
Costruzioni di calcestruzzo (§ 7.4.3.2)		
Strutture a telaio, a pareti accoppiate, miste (v. § 7.4.3.1)	4,5 α_w/α_1	3,0 α_w/α_1
Strutture a pareti non accoppiate (v. § 7.4.3.1)	4,0 α_w/α_1	3,0
Strutture deformabili torsionalmente (v. § 7.4.3.1)	3,0	2,0
Strutture a pendolo inverso (v. § 7.4.3.1)	2,0	1,5
Strutture a pendolo inverso intelaiate monopiano (v. § 7.4.3.1)	3,5	2,5
Costruzioni con struttura prefabbricata (§ 7.4.5.1)		
Strutture a pannelli	4,0 α_w/α_1	3,0
Strutture monolitiche a cella	3,0	2,0
Strutture con pilastri incastrati e orizzontamenti incernierati	3,5	2,5
Costruzioni d'acciaio (§ 7.5.2.2) e composte di acciaio-calcestruzzo (§ 7.6.2.2)		
Strutture intelaiate	5,0 α_w/α_1	4,0
Strutture con controventi eccentrici		
Strutture con controventi concentrici a diagonale tesa attiva	4,0	4,0
Strutture con controventi concentrici a V	2,5	2,0
Strutture a mensola o a pendolo inverso	2,0 α_w/α_1	2,0
Strutture intelaiate con controventi concentrici	4,0 α_w/α_1	4,0
Strutture intelaiate con tamponature in murature	2,0	2,0
Costruzioni di legno (§ 7.7.3)		
Pannelli di parete a telaio leggero chiodati con diaframmi incollati, collegati mediante chiodi, viti e bulloni	3,0	2,0
Strutture reticolari iperstatiche con giunti chiodati		
Portali iperstatici con mezzi di unione a gambo cilindrico	4,0	2,5
Pannelli di parete a telaio leggero chiodati con diaframmi chiodati, collegati mediante chiodi, viti e bulloni.	5,0	3,0
Pannelli di tavole incollate a strati incrociati, collegati mediante chiodi, viti, bulloni		2,5
Strutture reticolari con collegamenti a mezzo di chiodi, viti, bulloni o spinotti		

$$Q_{lim} = Q_0 \cdot K_R$$

Metodi di analisi strutturale per stimare gli effetti di un sisma - q_{factor}

$$Q_{\text{lim}} = Q_0 \cdot K_R$$

Strutture cosiddette miste, con intelaiatura (sismo-resistente) in legno e tamponature non portanti		
Strutture isostatiche in genere, compresi portali isostatici con mezzi di unione a gambo cilindrico, e altre tipologie strutturali		1,5
Costruzioni di muratura (§ 7.8.1.3)		
Costruzioni di muratura ordinaria		$1,75 \alpha_w / \alpha_1$
Costruzioni di muratura armata		$2,5 \alpha_w / \alpha_1$
Costruzioni di muratura armata con progettazione in capacità		$3,0 \alpha_w / \alpha_1$
Costruzioni di muratura confinata		$2,0 \alpha_w / \alpha_1$
Costruzioni di muratura confinata con progettazione in capacità		$3,0 \alpha_w / \alpha_1$
Ponti (§ 7.9.2.1)		
Pile in calcestruzzo armato		
Pile verticali inflesse	$3,5 \lambda$	1,5
Elementi di sostegno inclinati inflessi	$2,1 \lambda$	1,2
Pile in acciaio:		
Pile verticali inflesse	3,5	1,5
Elementi di sostegno inclinati inflessi	2,0	1,2
Pile con controventi concentrici	2,5	1,5
Pile con controventi eccentrici	3,5	-
Spalle		
In genere	1,5	1,5
Se si muovono col terreno	1,0	1,0

Valori MASSIMI !

Analisi Non Lineari (statica e dinamica)

Le tipologie di **analisi non lineari**, **NLSA** e **NLDA**, si svolgono a mezzo di:

- **analisi dinamiche al passo**, con l'integrazione diretta dell'equazione del moto
- **analisi statiche al passo** (cd pushover), applicando alla struttura **forze orizzontali monotone crescenti fino ad un limite prestabilito**.

Queste procedure consentono una **modellazione elasto-plastica della struttura** con la possibilità di mettere in conto, durante l'analisi stessa, le **capacità dissipative** della struttura che non si possono considerare in una procedura lineare.

Le analisi non lineari consentono una valutazione più rigorosa della risposta strutturale nei confronti dell'azione sismica, e di conseguenza rappresentano per il Progettista un indispensabile strumento nel caso della verifica di **edifici esistenti**.

Analisi Lineare Statica

L'**analisi lineare statica** è basata sulla rappresentazione della **struttura** come di un **sistema elastico lineare** e dell'**azione sismica** come di un **sistema di forze statiche applicate in prossimità dei singoli impalcati**, dove si ammettono **concentrate le masse dell'edificio**, per poi procedere con la risoluzione del modello e la valutazione delle sollecitazioni agenti sui vari componenti strutturali.

Questo metodo consente di **applicare al modello strutturale un sistema di forze** che approssimano il **primo modo di vibrare** della struttura stessa.

L'analisi lineare statica restituisce risultati affidabili solo nel caso in cui la **risposta sismica della struttura** in esame risulti significativamente influenzata, in ogni direzione principale, dal primo modo di vibrare (vd **NTC 2018 p.to 7.3.2 e Circ. 619 p.to C7.3.3.2**).

Analisi Lineare Dinamica (C7.3.3.1)

⁸ L'analisi lineare dinamica, così come presentata nelle NTC, avviene in tre passi fondamentali:

- 1) determinazione dei modi di vibrare "naturali" della struttura (analisi modale);
- 2) calcolo degli effetti dell'azione sismica, rappresentati dallo spettro di risposta di progetto, per ciascuno dei modi di vibrare individuati;
- 3) combinazione degli effetti relativi a ciascun modo di vibrare per valutare la risposta complessiva.

L'analisi modale consiste nella soluzione delle equazioni del moto della struttura, considerata elastica, in condizioni di oscillazioni libere (assenza di forzante esterna) e nella individuazione di particolari configurazioni deformate che costituiscono i modi naturali di vibrare di una costruzione. Questi modi di vibrare sono una caratteristica propria della struttura, in quanto sono individuati in assenza di forzante, e sono caratterizzati da un periodo proprio di oscillazione T e da un fattore di smorzamento convenzionale ξ , nonché da una forma. Tranne che per casi particolari, quali ad esempio quelli di costruzioni dotate di sistemi di isolamento e di dissipazione, si assume che i modi di vibrare abbiano tutti lo stesso valore del fattore di smorzamento convenzionale ξ ossia $\xi = 5\%$. Qualunque configurazione deformata di una struttura (e lo stato di sollecitazione a tale deformata connesso), può essere ottenuta come combinazione di deformate elementari, ciascuna con la forma di un modo di vibrare.

Ovviamente, in funzione dell'azione che agisce sulla costruzione, alcuni modi di vibrare avranno parte più significativa di altri nella descrizione della configurazione deformata. La massa partecipante di un modo di vibrare esprime la quota parte delle forze sismiche di trascinamento ad esso associate, da cui dipendono, unitamente alla corrispondente amplificazione, gli effetti che il singolo modo è in grado di descrivere. Per poter cogliere con sufficiente approssimazione gli effetti dell'azione sismica sulla costruzione, è opportuno considerare tutti i modi con massa partecipante superiore al 5% e comunque un numero di modi la cui massa partecipante totale sia superiore all'85%, trascurando solo i modi di vibrare meno significativi in termini di massa partecipante. L'utilizzo dello spettro di risposta consente di calcolare gli effetti massimi del terremoto sulla costruzione associati a ciascun modo di vibrare. Tuttavia, poiché durante il terremoto gli effetti massimi associati ad un modo di vibrare non si verificano generalmente nello stesso istante in cui sono massimi quelli associati ad un altro modo di vibrare, tali effetti non possono essere combinati tra di loro mediante una semplice somma ma con specifiche regole di combinazione, di natura probabilistica, che tengono conto di questo sfasamento temporale. La regola di combinazione imposta dalla norma è la regola di combinazione quadratica completa CQC (Complete Quadratic Combination); tale regola porta in conto anche l'eventuale correlazione tra i modi, attraverso il fattore ρ_{ij} . Essa degenera nella più semplice regola SRSS (Square Root of Sum of Squares), valida nell'ipotesi in cui i contributi massimi dei singoli modi non siano correlati e non si verificano contemporaneamente. La SRSS può essere utilizzata, ove ritenuto necessario, come riferimento per il controllo dei risultati, tenendo presente che, in assenza di correlazione, la CQC degenera nella SRSS e che, in generale, quando il periodo di vibrazione di ciascun modo differisce di più del 10% da quello degli altri modi, le differenze tra le due regole diventano trascurabili.

Metodo d'analisi lineare di riferimento

7.3.2. ANALISI DINAMICA O STATICA

Oltre che in relazione al fatto che l'analisi sia lineare o non lineare, i metodi d'analisi sono articolati anche in relazione al fatto che l'equilibrio sia trattato dinamicamente o staticamente.

Il metodo d'analisi lineare di riferimento per determinare gli effetti dell'azione sismica, per comportamenti strutturali sia dissipativi sia non dissipativi, è l'analisi modale con spettro di risposta o "analisi lineare dinamica". In essa l'equilibrio è trattato dinamicamente e l'azione sismica è modellata attraverso lo spettro di progetto definito al § 3.2.3.5.

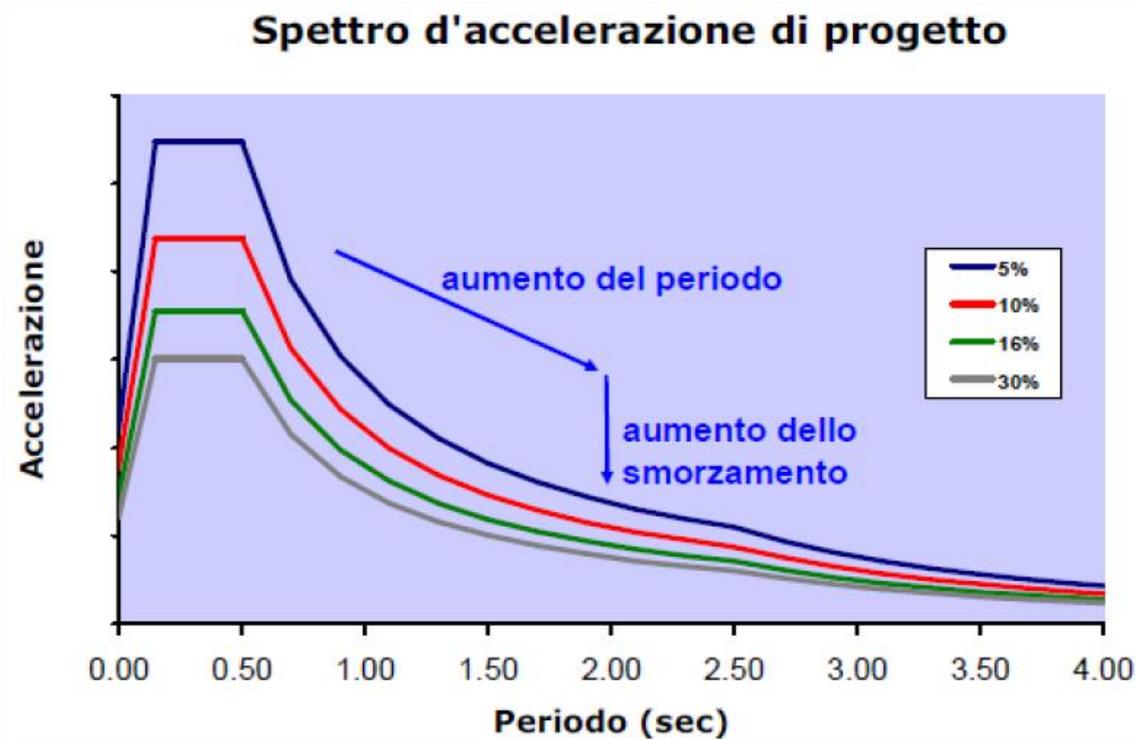
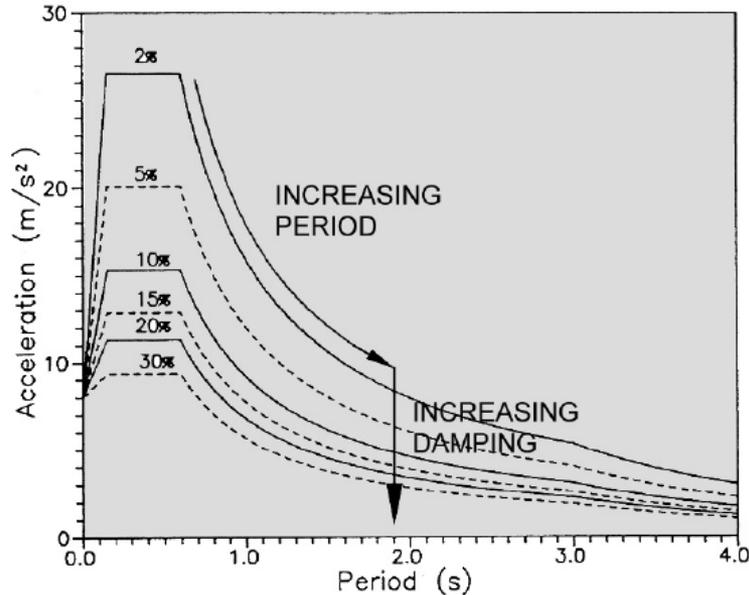
In alternativa all'analisi modale si possono adottare tecniche di analisi più raffinate, quali l'integrazione al passo, modellando l'azione sismica attraverso storie temporali del moto del terreno.

3.2.3.5 SPETTRI DI RISPOSTA DI PROGETTO PER GLI STATI LIMITE DI DANNO (SLD), DI SALVAGUARDIA DELLA VITA (SLV) E DI PREVENZIONE DEL COLLASSO (SLC)

Qualora le verifiche agli stati limite di danno, di salvaguardia della vita e di prevenzione al collasso non vengano effettuate tramite l'uso di opportune storie temporali del moto del terreno ed analisi non lineari dinamiche al passo, ai fini del progetto o della verifica delle costruzioni le capacità dissipative delle strutture possono essere considerate attraverso una riduzione delle forze elastiche, che tenga conto in modo semplificato della capacità dissipativa anelastica della struttura, della sua sovraresistenza, dell'incremento del suo periodo proprio di vibrazione a seguito delle plasticizzazioni. In tal caso, lo spettro di risposta di progetto $S_d(T)$ da utilizzare, sia per le componenti orizzontali, sia per la componente verticale, è lo spettro di risposta elastico corrispondente riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{v_R} considerata (v. §§ 2.4 e 3.2.1). Per valutare la domanda verrà utilizzato tale spettro, nel caso di analisi non lineare statica ponendo $\eta = 1$, nel caso di analisi lineare, statica o dinamica con le ordinate ridotte sostituendo nelle formule [3.2.2] (per le componenti orizzontali) e nelle formule [3.2.8] (per le componenti verticali) η con $1/q$, dove q è il fattore di comportamento definito nel Capitolo 7 (Tabella 7.3.I).

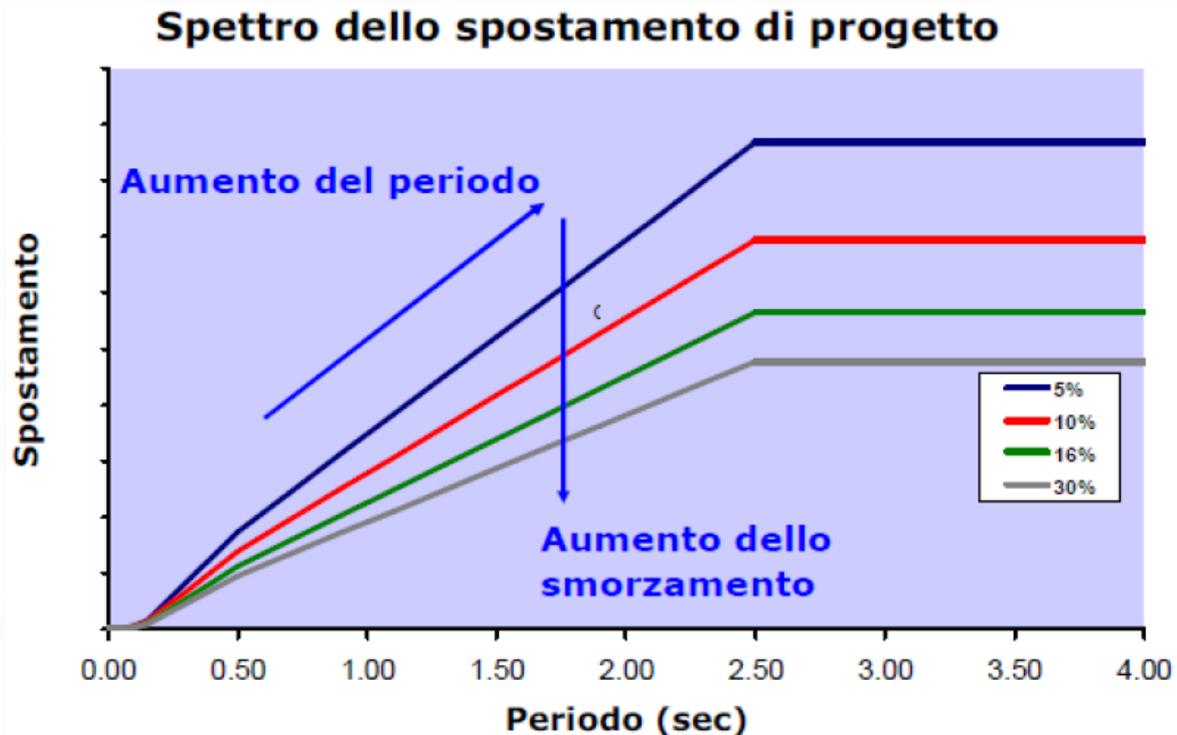
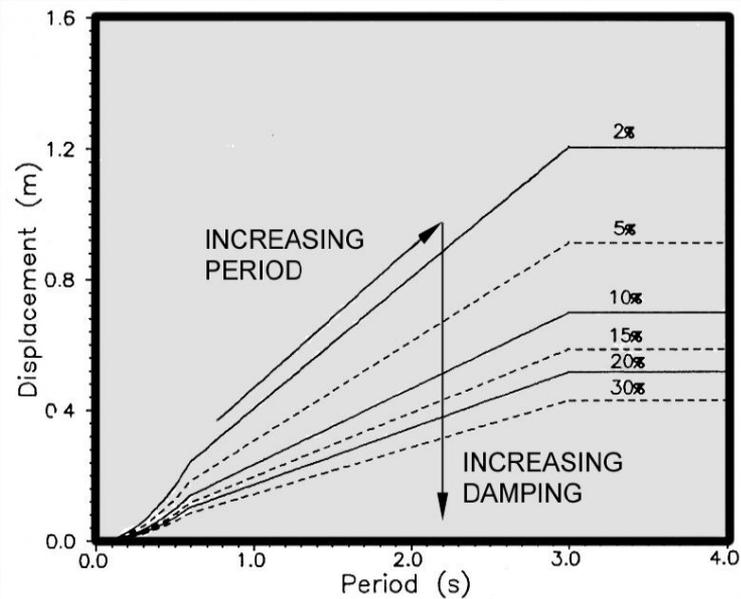
Si assumerà comunque $S_d(T) \geq 0,2a_g$.

Protezione sismica con approcci non tradizionali



- Aumento periodo proprio struttura
- Aumento capacità dissipativa
- Combinazione entrambe le strategie

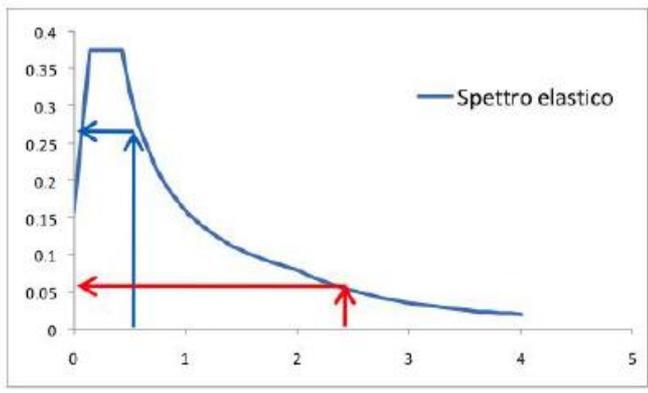
Protezione sismica con approccio non tradizionale



- Aumento periodo proprio struttura
- Aumento capacità dissipativa
- Combinazione entrambe le strategie

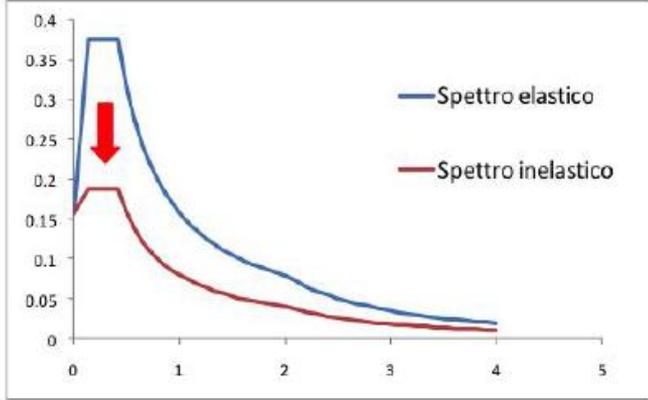
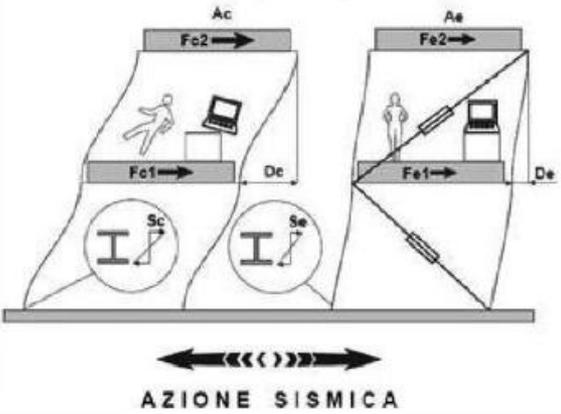
Protezione sismica con approcci non tradizionali

→ Aumentando il periodo proprio della struttura



ISOLAMENTO SISMICO

→ Aumentando la capacità dissipativa



SISTEMI DISSIPATIVI

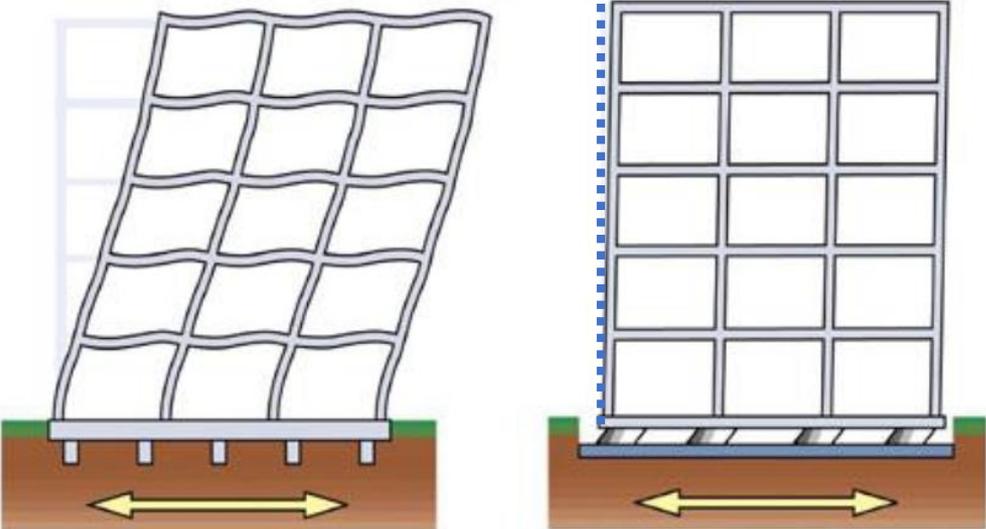
Protezione sismica con approccio non tradizionale:

1) Riduzione energia in ingresso

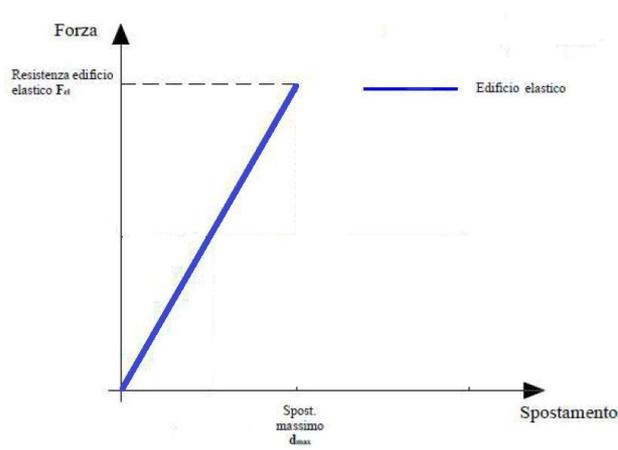
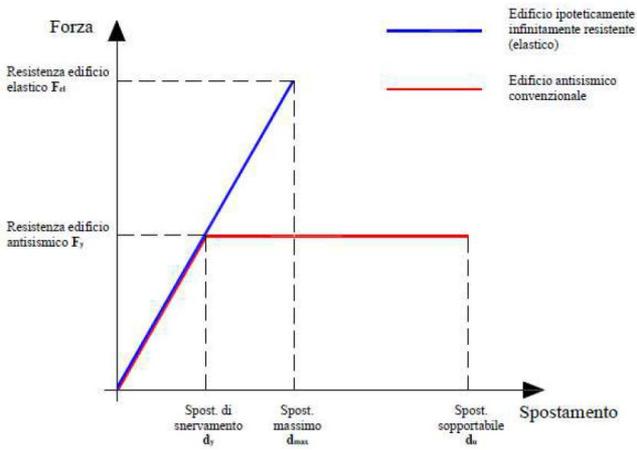
2) Assorbimento energia in ingresso

- 1** • **Dispositivi di isolamento alla base** (*base isolation system*), o **isolatori**, che realizzano un disaccoppiamento dei moti della sovrastruttura e del terreno, così da ridurre l'energia trasmessa dal sisma alla costruzione e conseguentemente l'entità delle sollecitazioni e delle deformazioni strutturali.
- 2** • **Dispositivi di controllo passivo** (*passive energy dissipation system*), o **dissipatori**, che assorbono parte dell'energia trasmessa e limitano l'escursione in campo elastico della struttura

Protezione sismica con isolamento di base



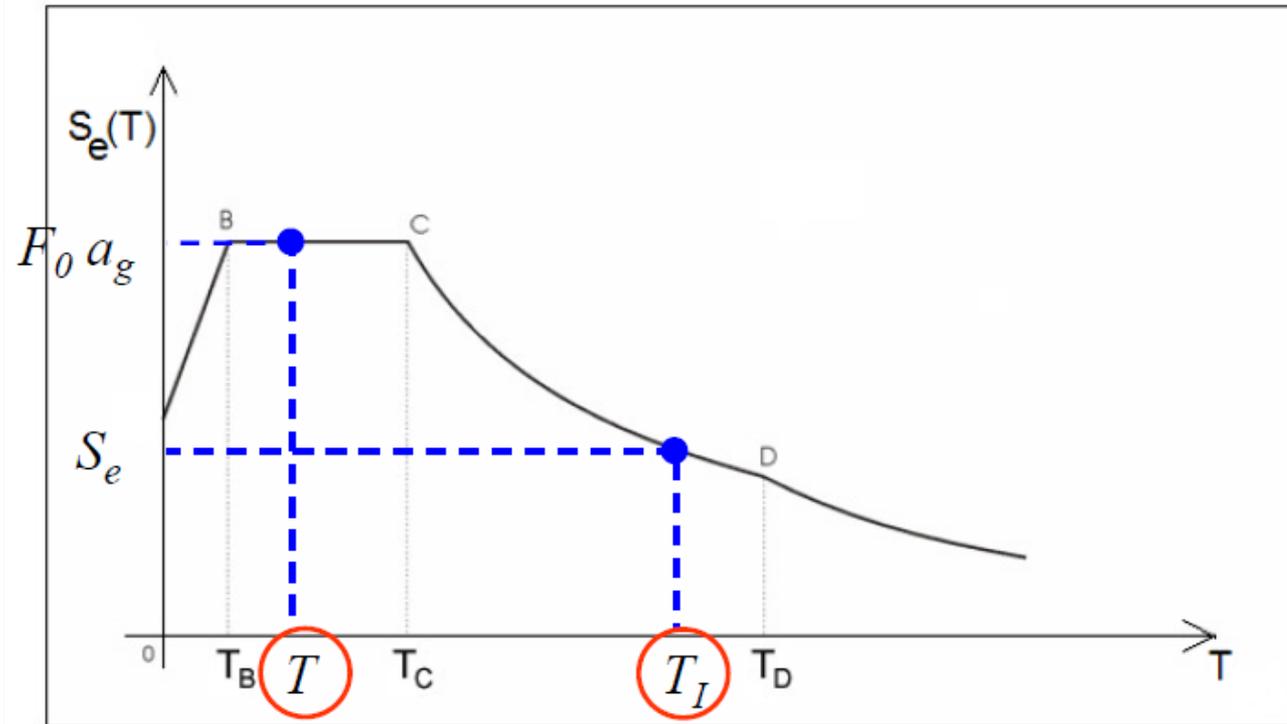
Il **concetto base** sotteso all'impiego dell'isolamento sismico è quello di **ridurre gli effetti della componente orizzontale dell'accelerazione del terreno**, interponendo elementi strutturali a **bassa rigidità orizzontale** tra l'edificio e la sua fondazione, **disaccoppiando** di fatto il moto della struttura da quello del terreno.



$$\frac{q_{max,fissa}}{q_{isolata}} = \frac{5,85}{1,5} = 3,9$$

La struttura isolata subirà deformazioni plastiche 3.9 minori di quella a base fissa

Protezione sismica con isolamento di base



“Disaccoppiamento del moto” quando risulta $T_{IS} \geq 3 \cdot T_{BF}$.

Maggiore è l'incremento di periodo (generalmente $T_{IS} > 2,0$ s) maggiore è la riduzione delle accelerazioni sulla sovrastruttura (spettro in accelerazioni) e l'incremento degli spostamenti (spettro in spostamenti), che si concentrano essenzialmente nel sistema di isolamento.

Protezione sismica con **BIS: OBIETTIVI**

- 1) Disaccoppiare il moto della sovrastruttura e della sottostruttura, consentendo il moto orizzontale della sovrastruttura in tutte le direzioni, con un innalzamento significativo del periodo e con una conseguente sensibile riduzione delle forze sismiche trasmesse alla sovrastruttura;
- 2) assenza di danno a livello del piano isolato e della sottostruttura con funzionalità totale ed immediata delle strutture nello scenario post-evento;
- 3) totale assenza di danneggiamento dei dispositivi in caso di evento sismico di intensità elevata (pari a quella dello Stato Limite di Collasso), con un abbattimento pressoché totale dei costi di riparazione post-evento sismico;
- 4) capacità di dissipazione energetica;
- 5) capacità autocentrante della struttura, che pertanto presenta deformazione residua ridotta nello scenario post-sismico.

Protezione sismica con isolamento di base

Quando è poco efficace

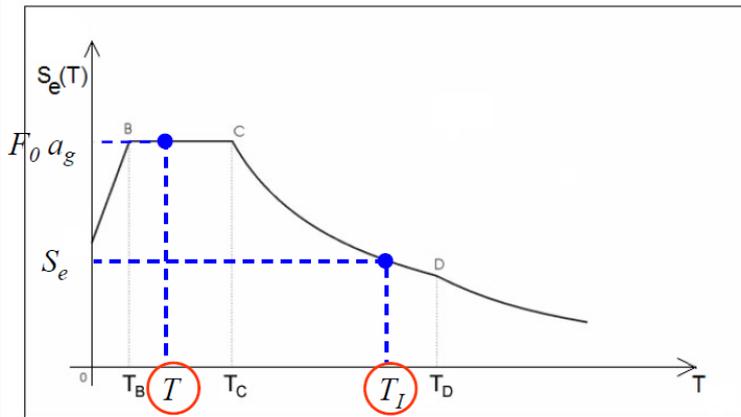
Strutture molto alte o dotate di **massa modesta** hanno periodo elevato e di conseguenza non traggono grossi vantaggi dall'isolamento in termini di riduzione dell'accelerazione spettrale. A fronte di una riduzione modesta dell'accelerazione spettrale, c'è il problema degli spostamenti che, risulterebbero troppo elevati.

Con **periodi superiori ai 3 secondi** si potrebbero avere spostamenti tali da rendere inagibile il fabbricato; inoltre, i collegamenti verticali, scale e ascensori, condotte idriche, telefoniche, impianti in genere, diventerebbero ingestibili per fabbricati ad uso civile.

Per **suoli soffici** (categorie **D - E**) gli spettri presentano amplificazioni particolarmente rilevanti per gli alti periodi. Come conseguenza per questi terreni la riduzione di accelerazione, e quindi il beneficio dell'isolamento, è molto minore

Protezione sismica con BIS

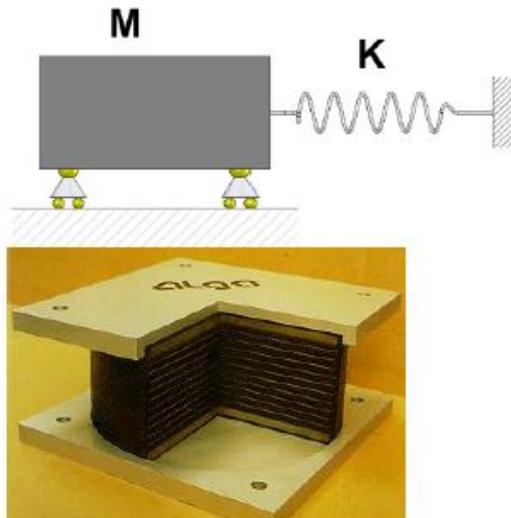
PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO



Aumento periodo proprio struttura:

inserisco tra struttura e fondazioni un **oscillatore a bassa rigidezza** che forza la struttura ad **oscillare prevalentemente secondo il periodo proprio dell'oscillatore stesso**

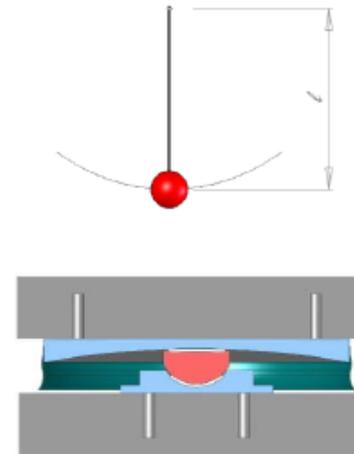
Molla di costante K



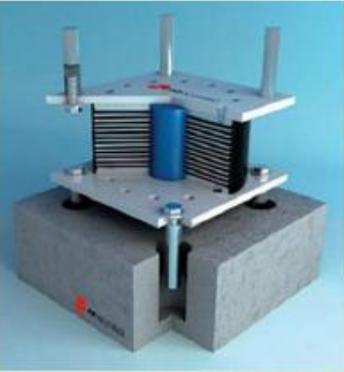
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K}}$$

Pendolo con raggio di curvatura ℓ

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

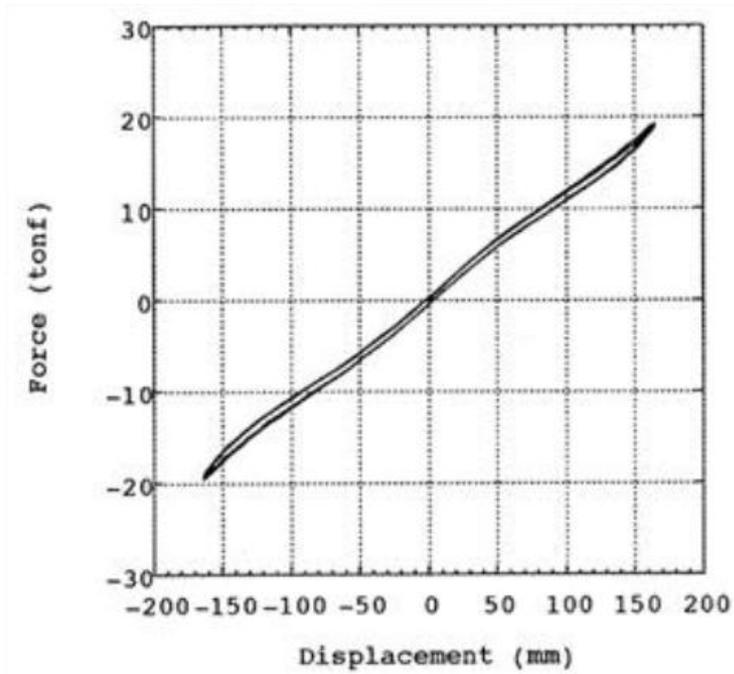
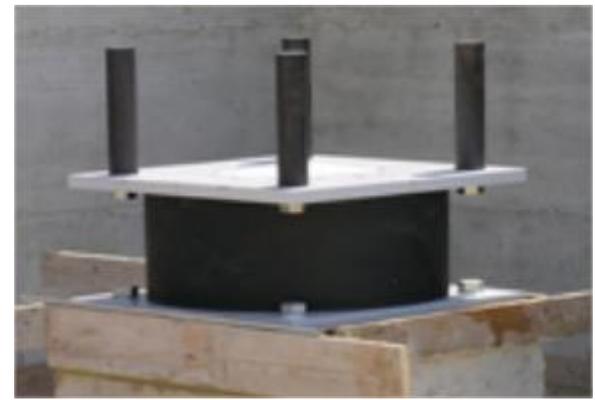


Isolatori Elastomerici

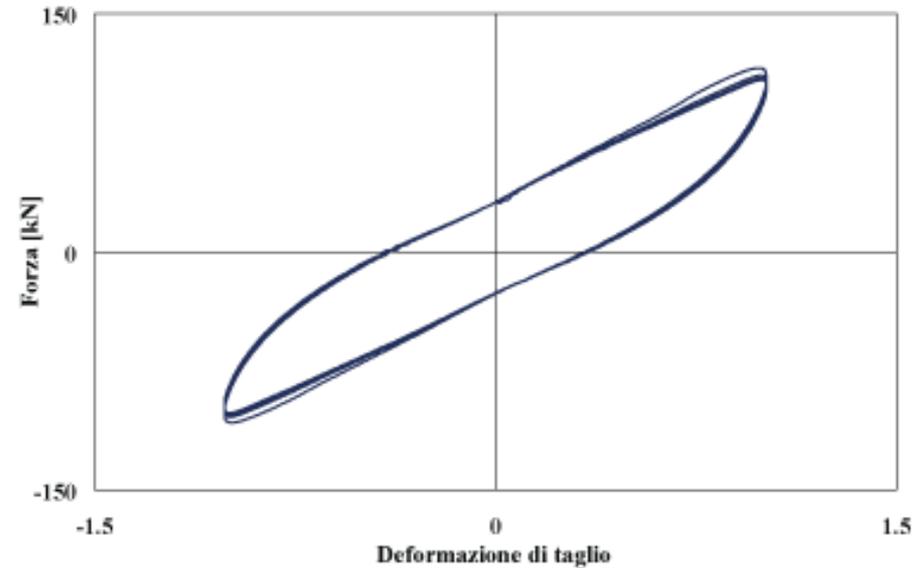
	LRB Lead core Rubber Bearings	HDRB High Damping Rubber Bearings	MLRB Multi layer Low damping Rubber Bearings
			
Coeff. di smorzamento viscoso equivalente	25 – 30%	10 – 16%	4%
Rigidezza orizzontale	Alta	Medio – Bassa	Medio - Bassa
Carico verticale	Alta	Alta	Alta
Oscillazione orizzontale	Medio - Alta	Alta	Media
Capacità di ricentraggio	Media	Alta	Alta

Protezione sismica con BIS

Ciclo isteretico isolatore elastomerico MLRB



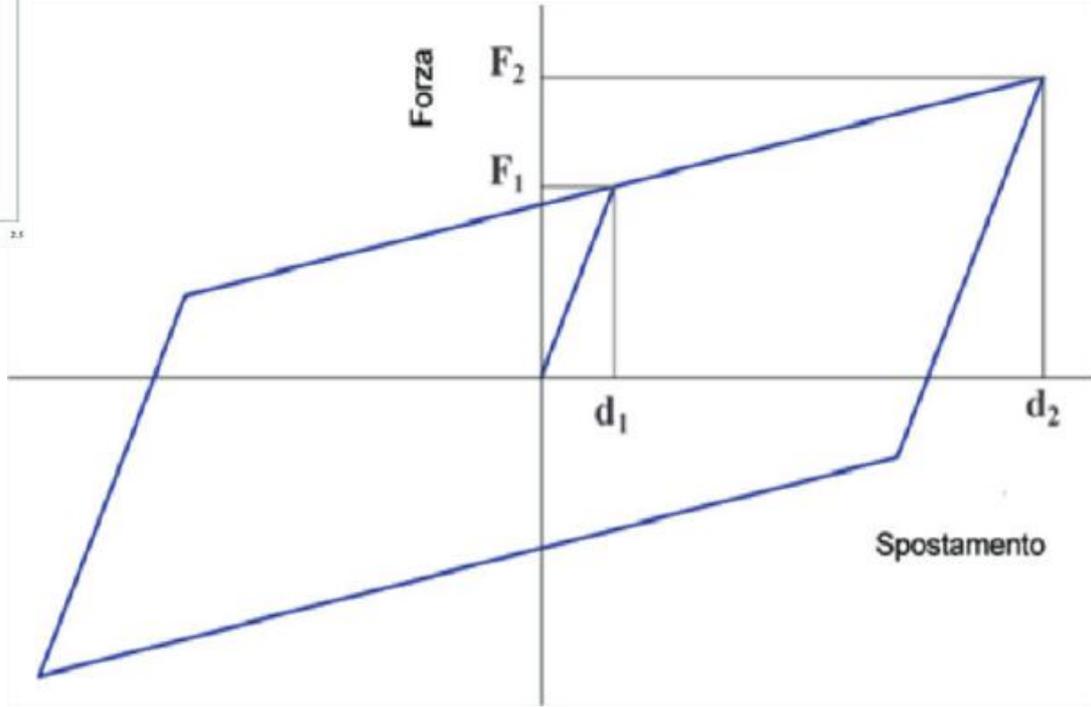
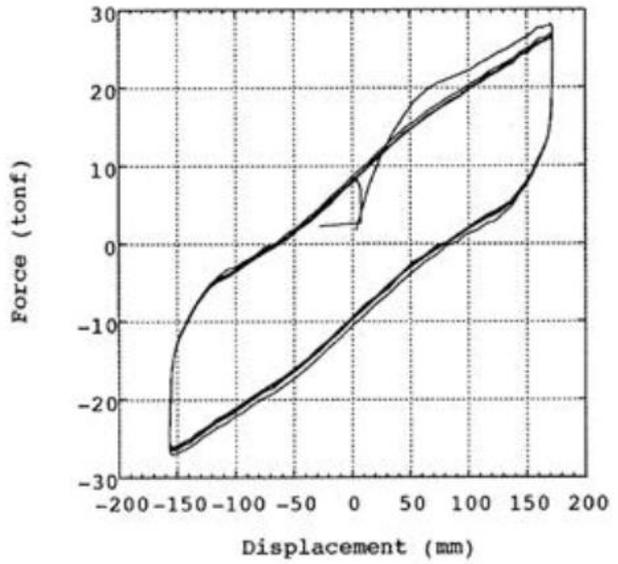
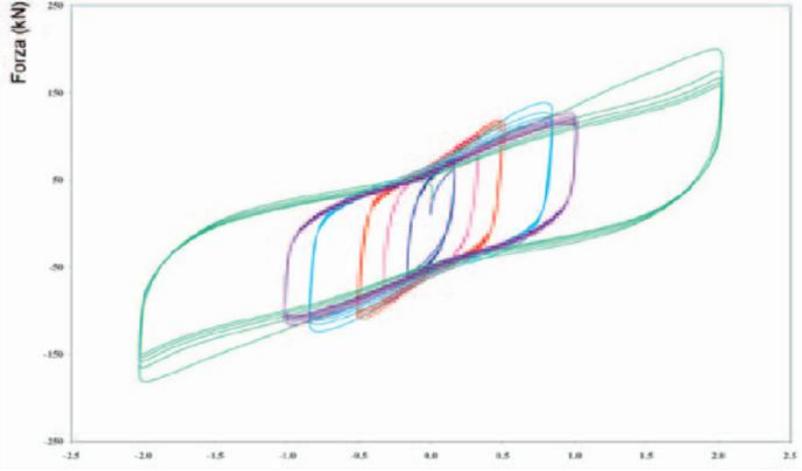
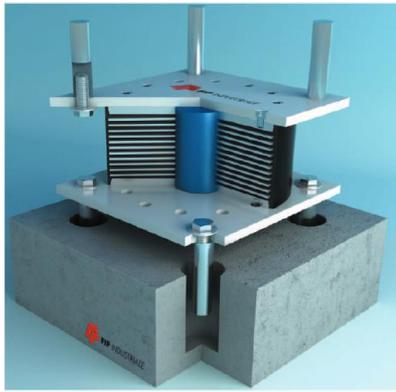
Sperimentazione



Modellazione

Protezione sismica con BIS

Ciclo isteretico HDRB o LRB



Sperimentazione

Modellazione

Protezione sismica con BIS

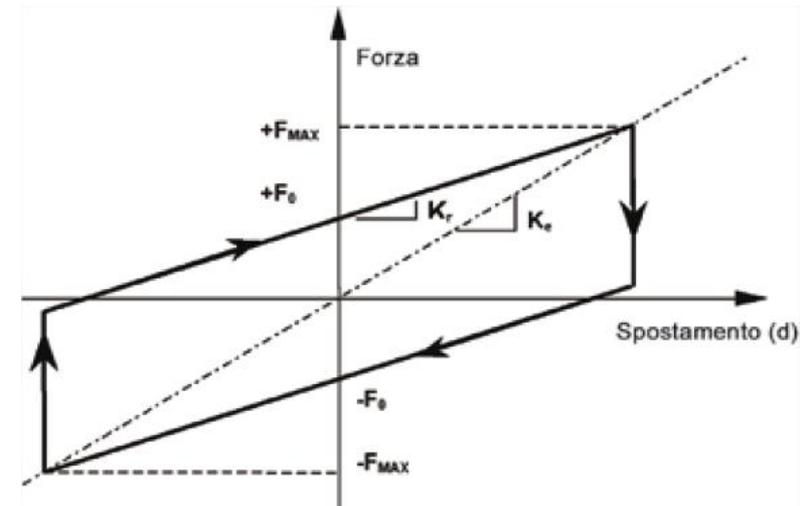
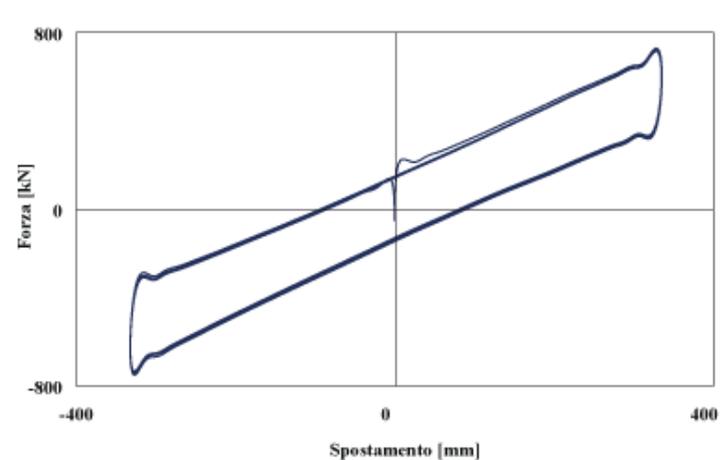
Ciclo isteretico isolatori a superficie curva



Il funzionamento degli isolatori a scorrimento a superficie curva o isolatori a pendolo scorrevole è riconducibile a quello del pendolo semplice, in cui il periodo di oscillazione non dipende dalla massa ma solo dalla **lunghezza del pendolo** stesso.

Il periodo proprio di vibrazione di una struttura sismicamente isolata con isolatori a scorrimento a superficie curva dipende principalmente dal **raggio di curvatura della superficie di scorrimento**, ed è invece **quasi indipendente dalla massa della struttura**. La dissipazione di energia è fornita dall'attrito che si sviluppa durante lo scorrimento, e la capacità di ricentraggio è fornita dalla curvatura della superficie di scorrimento.

Sono disponibili due tipologie con una o due superfici di scorrimento primarie che consentono lo spostamento orizzontale.

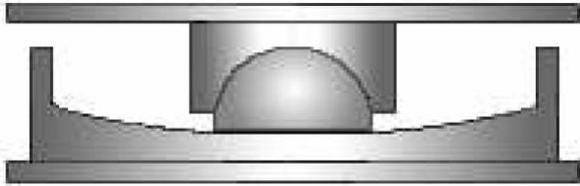


Sperimentazione

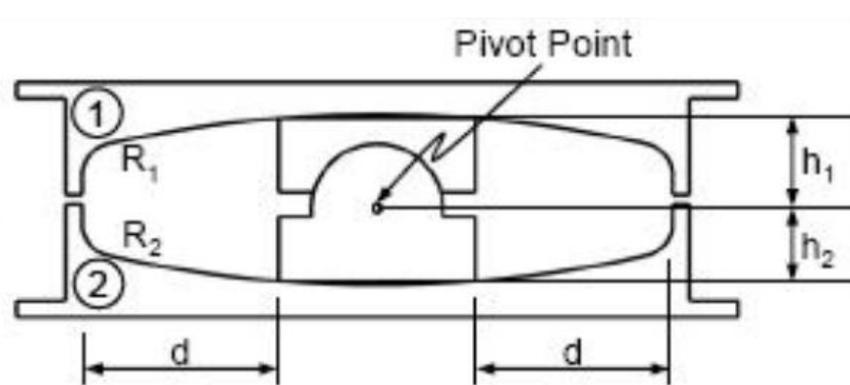
Modellazione

Protezione sismica con BIS

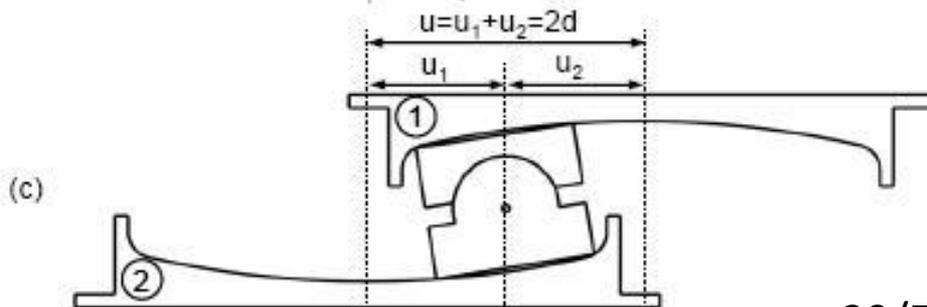
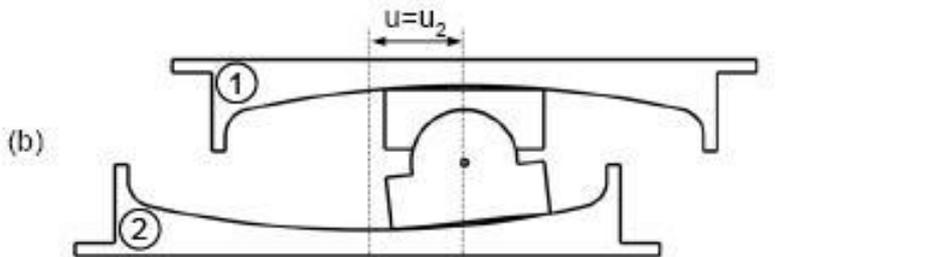
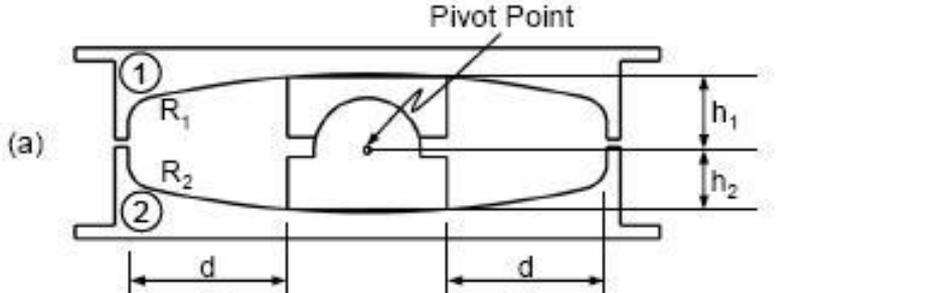
Isolatori a superficie curva



Isolatore a curvatura semplice



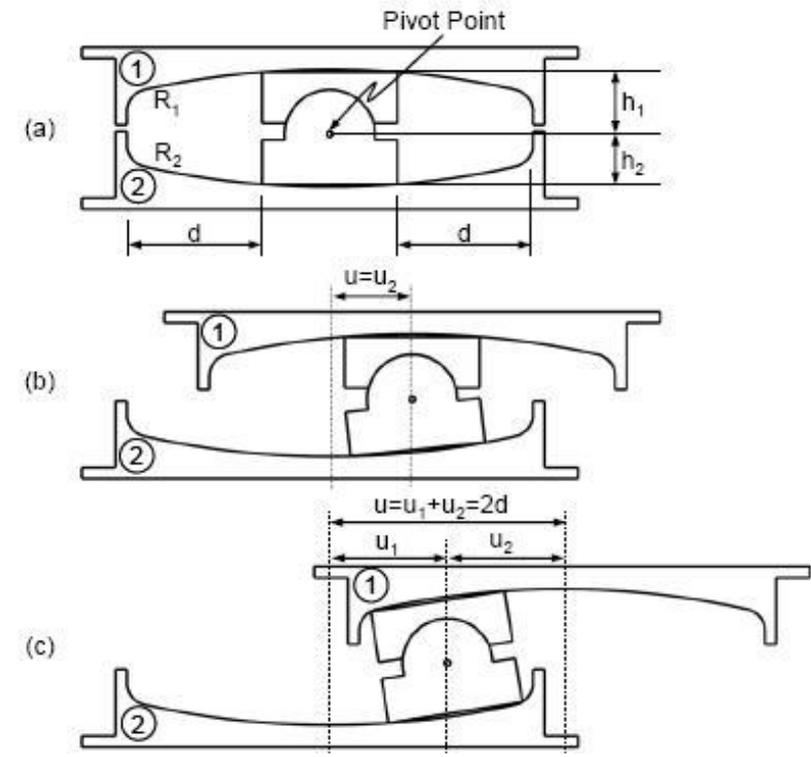
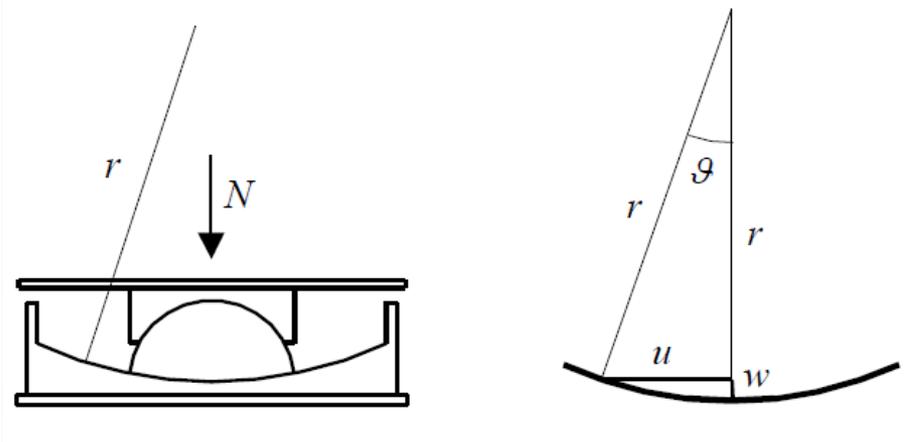
Isolatore a curvatura doppia



Protezione sismica con BIS

Isolatori a superficie curva doppia

Sfruttano la legge fisica del moto del pendolo per allungare il periodo naturale della struttura isolata

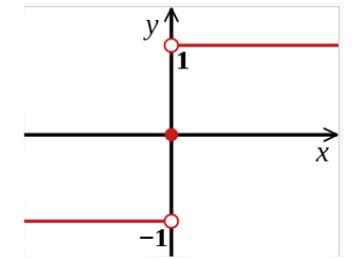


$$T = 2\pi \sqrt{\frac{r}{g}}$$

Il periodo è indipendente dalla massa della struttura, con vantaggio notevole nell'isolamento di edifici leggeri.

Protezione sismica con BIS

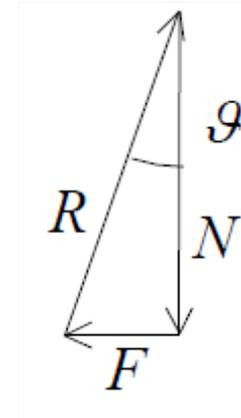
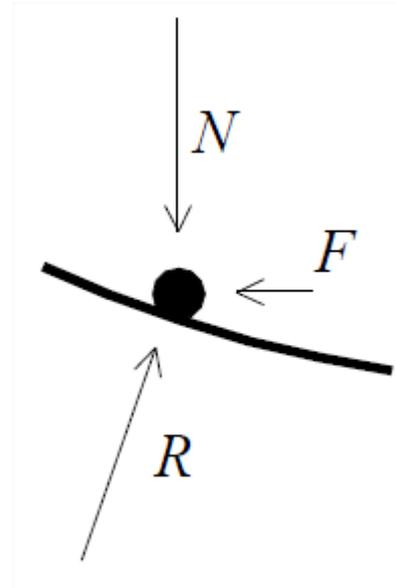
Isolatori a superficie curva doppia



Funzione segno (sgn)

$$F = \frac{N}{r}u + \mu N \operatorname{sgn}(\dot{u}) = k(u)u$$

$$k(u) = N \left(\frac{1}{r} + \mu \frac{\operatorname{sgn}(\dot{u})}{u} \right)$$

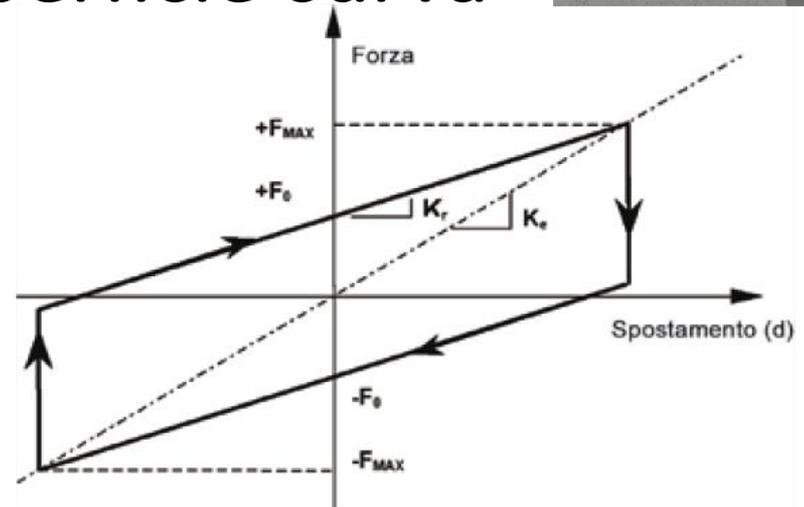


La **forza di richiamo**, quindi la **rigidezza orizzontale**, dipende **linearmente** dallo **sforzo assiale**, e cioè dalla **massa** che compete al **singolo isolatore**.

Ne segue che i **centri di massa** e **rigidezza** di piano risultano sempre **coincidenti**.

Protezione sismica con BIS

Modellazione isolatori a superficie curva



Modello matematico: curva bilineare **Forza-Spostamento**

- $F_0 = \mu \times N_{SD}$
- $F_{MAX} = F_0 + K_r \times d = \mu \times N_{SD} + (N_{SD}/R) * d$
- $K_r = N_{SD}/R$
- μ
- N_{SD}
- R
- d

forza di attrito che l'isolatore può sviluppare;
forza orizzontale massima;
rigidezza di richiamo;
coefficiente di attrito;
carico verticale agente sull'isolatore;
raggio di curvatura equivalente;
spostamento.

Protezione sismica con BIS

Per una corretta modellazione del sistema

Il comportamento di un sistema di isolamento può essere modellato come lineare equivalente se sono soddisfatte TUTTE le seguenti condizioni:

1. la **rigidezza equivalente** del **sistema d'isolamento** è **almeno** pari al **50%** della **rigidezza secante** per **cicli** con **spostamento** pari al **20%** dello **spostamento di riferimento**;
2. lo **smorzamento lineare equivalente** del **sistema di isolamento**, come definito in precedenza, è **inferiore al 30%**;
3. le **caratteristiche forza-spostamento** del **sistema d'isolamento** non variano di più del **10%** per effetto di variazioni della **velocità di deformazione**, in un campo del **±30% intorno al valore di progetto**, e dell'**azione verticale sui dispositivi**, nel campo di variabilità di progetto;
4. l'**incremento** della **forza** nel **sistema d'isolamento** per **spostamenti** tra **0,5ddc** e **ddc** è almeno pari al 2,5% del peso totale della sovrastruttura (**ddc** è lo **spostamento del centro di rigidezza** dovuto all'**azione sismica**).

Se si adotta un **modello non lineare**, il legame costitutivo dei singoli dispositivi del sistema d'isolamento deve riprodurre adeguatamente il loro comportamento nel campo di deformazioni e velocità che si verificano durante l'azione sismica, anche in relazione alla corretta rappresentazione dell'energia dissipata nei cicli di isteresi.

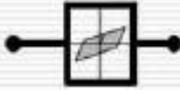
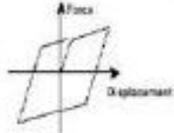
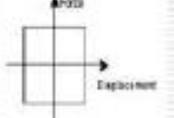
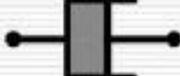
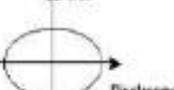
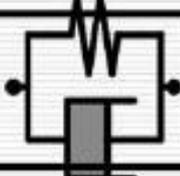
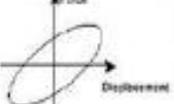
Protezione sismica con BIS

Per un corretto funzionamento del sistema

1. **Garantire rigidità strutturale** nel piano orizzontale dei piani immediatamente al di sotto e al di sopra del sistema di isolamento, per:
 1. avere una distribuzione regolare degli sforzi tra i diversi isolatori
 2. distribuire correttamente le forze degli eventuali dispositivi ausiliari, le cd SLITTE (in genere in numero limitato) tra gli elementi strutturali che debbono assorbirli.
2. La **massa isolata**, ossia quella della **sovrastuttura**, **deve potersi muovere liberamente** in tutte le direzioni orizzontali per spostamenti almeno pari a quelli di progetto. Questa condizione deve essere continuamente verificata in tutte le fasi progettuali, realizzative e di collaudo. Controllare che elementi non strutturali e/o impianti non riducano o annullino le possibilità di movimento della struttura previste nella progettazione strutturale: è richiesta la sensibilizzazione e consapevolezza delle modalità di funzionamento di una struttura con isolamento sismico, da parte di tutti i progettisti, inclusi quelli architettonici e impiantistici. Al riguardo occorre prestare molta attenzione ai dettagli delle condutture, in corrispondenza dell'attraversamento dei giunti, adottando delle giunzioni flessibili e comunque che possano subire gli spostamenti relativi di progetto senza determinare danni e perdite. Controllare i coprigiunti e gli elementi di attraversamento orizzontale (dispositivi di giunto) e verticale (scale, ascensori), affinché siano concepiti e realizzati in modo da non creare impedimento al libero movimento della sovrastuttura.
3. Prevedere **ispezione/manutenzione e ricentraggio** (quando non insito nel sistema).

Protezione sismica con DISSIPAZIONE $f(spost)$

Snervamento dei metalli – Dissipatori Elasto-Plastici

Tipo	Dissipatore	Parametri meccanici	Modello reologico
dispositivi a dissipazione "dipendente dallo spostamento"	Elasto-plastico (EP)	k_1 Rigidezza elastica α Fattore d'incrudimento μ duttilità	 
	Attritivo (FR)	F_s Forza di scorrimento	 
dispositivi a dissipazione "dipendente dalla velocità"	Viscoso lineare (VL)	c_d Coefficiente di viscosità	 
	Elasto-viscoso lineare (VE)	k_d Rigidezza elastica η Fattore di perdita "loss factor"	 

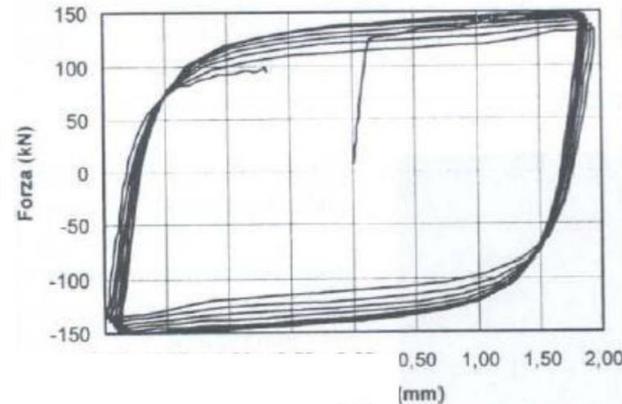
Ritegni sismici a comportamento elasto-plastico capaci di:

1. controllare il valore della forza orizzontale;
2. dissipare una quantità notevole di energia durante il terremoto.

Protezione sismica con DISSIPAZIONE $f(\text{spost})$

Snervamento dei metalli

Dissipatori Elasto-Plastici



Requisiti:

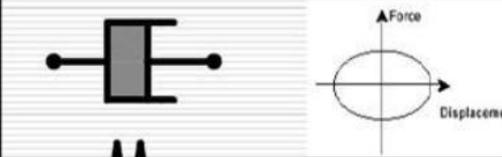
1. garantire vincolo struttura per carichi orizzontali di servizio con un comportamento elastico;
2. Per terremoti di significativa intensità limitare la forza orizzontale trasmessa e dissipare energia con una risposta di tipo elasto-plastica;
3. garantire curva di risposta stabile durante la risposta dinamica senza degrado ciclo di isteresi.

Vantaggi:

1. Manutenzione semplice essendo tutte le parti strutturali fabbricate in acciaio;
2. Possibilità di controllare la forza orizzontale che si trasmette dalla sovrastruttura alla sottostruttura;
3. Curva di risposta molto semplice (bilineare), stabile, insensibile alla temperatura;
4. Dopo un terremoto di intensità eccezionale solo gli elementi che dissipano l'energia plasticizzandosi devono essere sostituiti mentre tutti gli altri componenti sono progettati per non subire danni.

Protezione sismica con **DISSIPAZIONE $f(\text{spost})$**

ATTRITO – Dissipatori **ATTRITIVI**

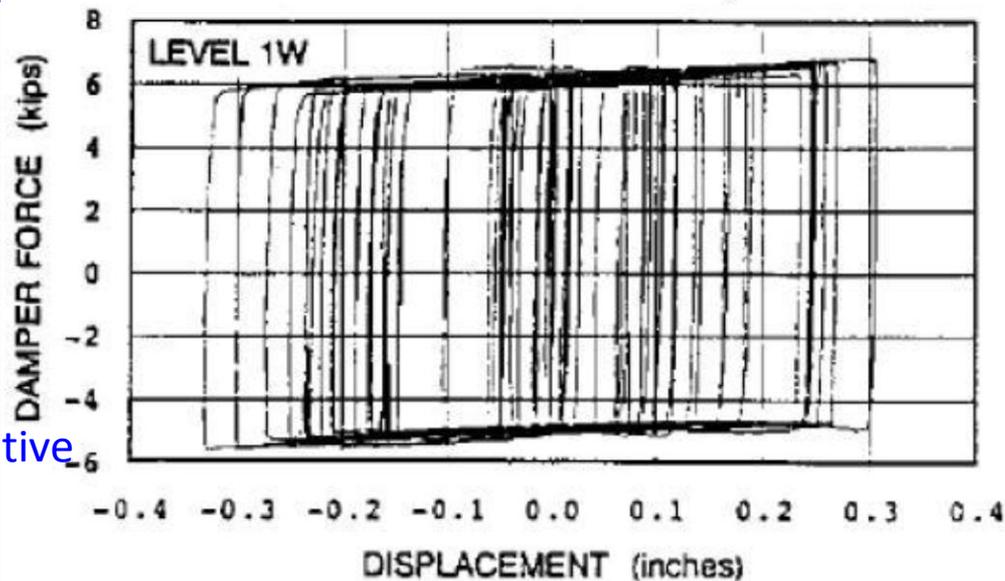
Tipo	Dissipatore	Parametri meccanici	Modello reologico
dispositivi a dissipazione "dipendente dallo spostamento"	Elasto-plastico (EP)	k_1 Rigidezza elastica α Fattore d'incrudimento μ duttilità	
	Attritivo (FR)	F_s Forza di scorrimento	
dispositivi a dissipazione "dipendente dalla velocità"	Viscoso lineare (VL)	c_d Coefficiente di viscosità	
	Elasto-viscoso lineare (VE)	k_d Rigidezza elastica η Fattore di perdita "loss factor"	

Si sfruttano gli spostamenti imposti dalla sollecitazione sismica per attivare lo scorrimento relativo tra due componenti di un dispositivo.

Protezione sismica con **DISSIPAZIONE $f(\text{spost})$**

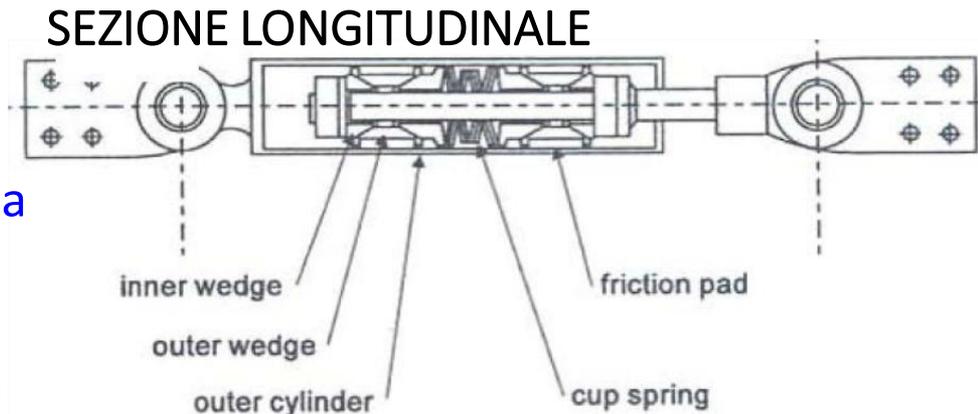
ATTRITO – Dissipatori **ATTRITIVI**

Tipo	Dissipatore	Parametri meccanici	Modello reologico
dispositivi a dissipazione "dipendente dallo spostamento"	Elasto-plastico (EP)	k_1 Rigidezza elastica α Fattore d'incrudimento μ duttilità	
	Attritivo (FR)	F_s Forza di scorrimento	
dispositivi a dissipazione "dipendente dalla velocità"	Viscoso lineare (VL)	c_d Coefficiente di viscosità	
	Elasto-viscoso lineare (VE)	k_d Rigidezza elastica η Fattore di perdita "loss factor"	



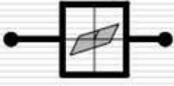
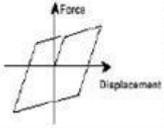
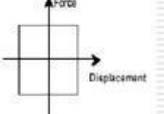
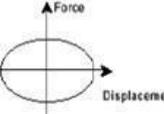
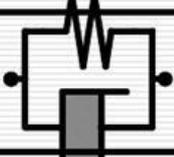
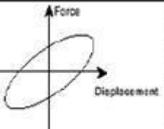
Si prevede la sostituzione delle zone dissipative con **dissipatori ad attrito** collocati in corrispondenza dei **collegamenti trave-colonna e colonna-fondazione**.

La progettazione mira a **garantire** che le **colonne** restino in **campo elastico**, massimizzando la capacita dissipativa della struttura sotto azioni sismiche a seguito del completo sviluppo di un **meccanismo di tipo globale** in cui le **cerniere plastiche** sono **sostituite** da **dissipatori ad attrito**.



Protezione sismica con DISSIPAZIONE $f(\text{veloc.})$

Viscosità di fluidi o gomme – Dissipatori VISCOSI-LINEARI

Tipo	Dissipatore	Parametri meccanici	Modello reologico
dispositivi a dissipazione "dipendente dallo spostamento"	Elasto-plastico (EP)	k_1 Rigidezza elastica α Fattore d'incrudimento μ duttilità	 
	Attritivo (FR)	F_s Forza di scorrimento	 
dispositivi a dissipazione "dipendente dalla velocità"	Viscoso lineare (VL)	c_d Coefficiente di viscosità	 
	Elasto-viscoso lineare (VE)	k_d Rigidezza elastica η Fattore di perdita "loss factor"	 



Si sfrutta la **conversione in calore** dell'energia meccanica fornita da un **pistone** che **costringe** un **fluido viscoso** a **trafilare** attraverso degli **orifizi**.



Protezione sismica con **DISSIPAZIONE $f(\text{veloc.})$**

Viscosità di fluidi o gomme – Dissipatori **VISCOSI-LINEARI**

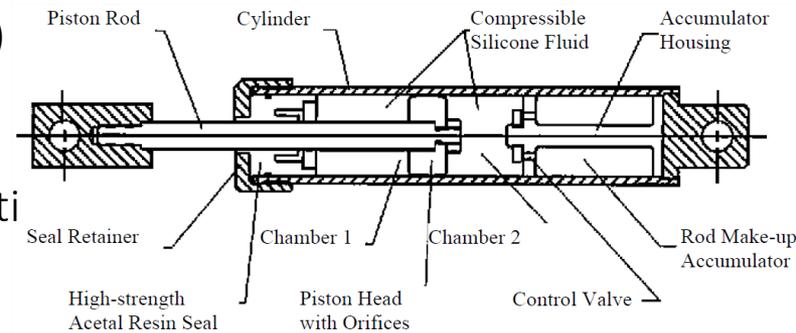
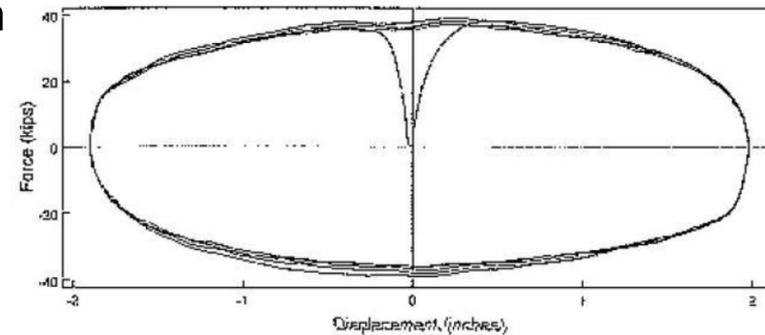
Un **dissipatore fluido viscoso** è un ritegno caratterizzato da una legge di risposta funzione della **velocità** e con **alta dissipazione** di energia.

Il dispositivo applica una forza modesta per velocità basse (movimenti termici, ecc.) mentre reagisce con la forza di progetto per velocità elevate (carichi dinamici, terremoto, ecc.).

Vantaggi:

1. Manutenzione molto limitata (le parti del circuito idraulico sono interne al dispositivo quindi protette)
2. Adattabilità a qualunque valore di carico o spostamento richiesto dal progetto
3. Risposta immediata, anche con spostamenti modesti
4. Stabilità della risposta con la temperatura
5. Alto livello di smorzamento

Tipo	Dissipatore	Parametri meccanici	Modello reologico
dispositivi a dissipazione "dipendente dallo spostamento"	Elasto-plastico (EP)	k_1 Rigidezza elastica α Fattore d'incrudimento μ duttilità	
	Attritivo (FR)	F_s Forza di scorrimento	
dispositivi a dissipazione "dipendente dalla velocità"	Viscoso lineare (VL)	c_d Coefficiente di viscosità	
	Elasto-viscoso lineare (VE)	k_w Rigidezza elastica η Fattore di perdita "loss factor"	



Protezione sismica con DISSIPAZIONE $f(\text{veloc.})$

Deformazione a taglio – Dissipatori VISCO-ELASTICI

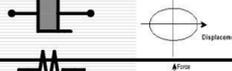
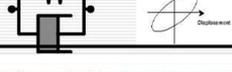
Tipo	Dissipatore	Parametri meccanici	Modello reologico
dispositivi a dissipazione "dipendente dallo spostamento"	Elasto-plastico (EP)	k_1 Rigidezza elastica α Fattore d'incrudimento μ duttilità	
	Attritivo (FR)	F_s Forza di scorrimento	
dispositivi a dissipazione "dipendente dalla velocità"	Viscoso lineare (VL)	c_d Coefficiente di viscosità	
	Elasto-viscoso lineare (VE)	k_d Rigidezza elastica η Fattore di perdita "loss factor"	

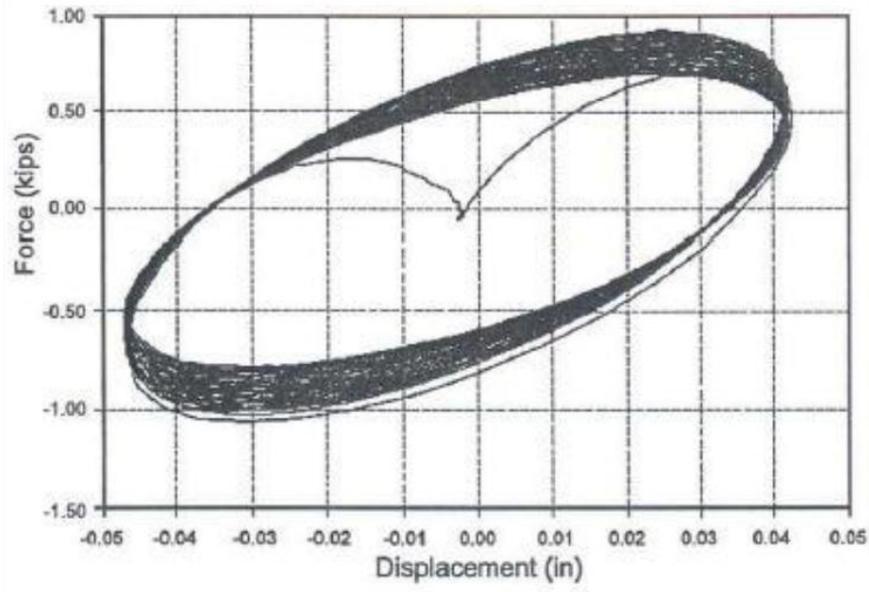
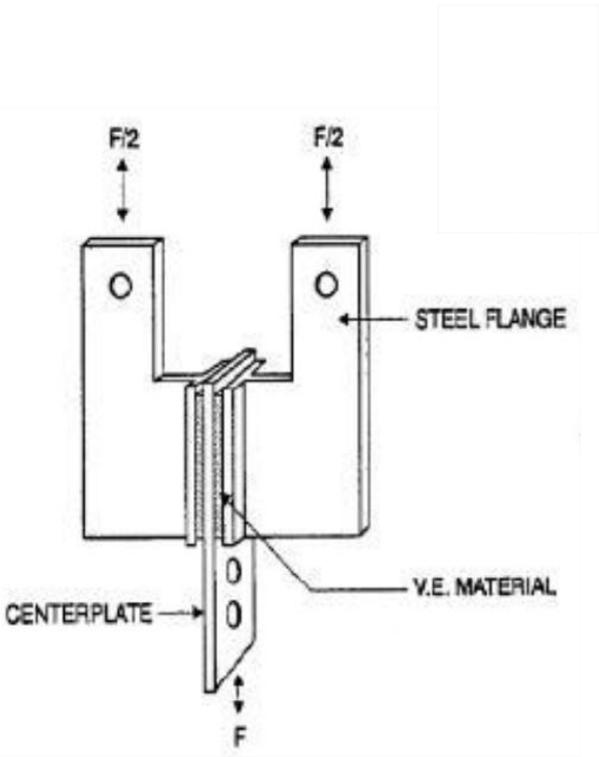
La dissipazione sfrutta la deformazione a taglio di strati di materiali polimerici o vetrosi

Protezione sismica con DISSIPAZIONE $f(\text{veloc.})$

Deformazione a taglio – Dissipatori VISCO-ELASTICI

La dissipazione sfrutta la deformazione a taglio di strati di materiali polimerici o vetrosi

Tipo	Dissipatore	Parametri meccanici	Modello reologico
dispositivi a dissipazione "dipendente dallo spostamento"	Elasto-plastico (EP)	k_1 Rigidezza elastica α Fattore d'incrudimento μ duttilità	
	Attritivo (FR)	F_s Forza di scorrimento	
dispositivi a dissipazione "dipendente dalla velocità"	Viscoso lineare (VL)	c_d Coefficiente di viscosità	
	Elasto-viscoso lineare (VE)	k_d Rigidezza elastica η Fattore di perdita "loss factor"	



Richiami Normativi - § 7.10 NTC 2018

7.10.	COSTRUZIONI CON ISOLAMENTO E/O DISSIPAZIONE
7.10.1.	SCOPO
7.10.2.	REQUISITI GENERALI E CRITERI PER IL LORO SODDISFACIMENTO
7.10.3.	CARATTERISTICHE E CRITERI DI ACCETTAZIONE DEI DISPOSITIVI
7.10.4.	INDICAZIONI PROGETTUALI
7.10.4.1	INDICAZIONI RIGUARDANTI I DISPOSITIVI
7.10.4.2	CONTROLLO DI MOVIMENTI INDESIDERATI
7.10.4.3	CONTROLLO DEGLI SPOSTAMENTI SISMICI DIFFERENZIALI DEL TERRENO
7.10.4.4	CONTROLLO DEGLI SPOSTAMENTI RELATIVI AL TERRENO E ALLE COSTRUZIONI CIRCOSTANTI
7.10.5.	MODELLAZIONE E ANALISI STRUTTURALE
7.10.5.1	PROPRIETÀ DEL SISTEMA DI ISOLAMENTO
7.10.5.2	MODELLAZIONE
7.10.5.3	ANALISI
7.10.5.3.1	Analisi lineare statica
7.10.5.3.2	Analisi lineare dinamica
7.10.6.	VERIFICHE
7.10.6.1	VERIFICHE DEGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO
7.10.6.2	VERIFICHE DEGLI STATI LIMITE ULTIMI
7.10.6.2.1	Verifiche dello SLV
7.10.6.2.2	Verifiche dello SLC
7.10.7.	ASPETTI COSTRUTTIVI, MANUTENZIONE, SOSTITUIBILITÀ
7.10.8.	ACCORGIMENTI SPECIFICI IN FASE DI COLLAUDO

Richiami Normativi - § 7.10 NTC 2018

Proprietà del sistema di isolamento (§ 7.10.5.1)

Per l'adozione delle caratteristiche meccaniche dei dispositivi di isolamento non si fa più riferimento alla vita utile ma al parametro V_R (periodo di riferimento).

[§ 7.10.5.1 – NTC2018 – c.1] “Le proprietà meccaniche del sistema di isolamento da adottare nelle analisi di progetto, derivanti dalla combinazione delle proprietà meccaniche dei singoli dispositivi che lo costituiscono, sono le più sfavorevoli che si possono verificare durante il periodo di riferimento V_R considerato.[...]”

Viene introdotta l'importante considerazione che tiene conto dell'eventuale variazione nel tempo delle caratteristiche meccaniche durante la vita utile del dispositivo di isolamento.

[§ 7.10.5.1 – NTC2018 – c.2] [...] Inoltre, si deve tener conto dell'eventuale variazione nel tempo delle caratteristiche meccaniche durante la vita utile del dispositivo. [...]

Inoltre è possibile adottare valori medi delle proprietà meccaniche del sistema di isolamento per tutte le classi d'uso (le NTC 2008 limitavano questa scelta alle classi d'uso I e II).

[§ 7.10.5.1 – NTC2018 – c.4] [...] Nel caso in cui i valori estremi (massimo oppure minimo) differiscano di non più del 20% dal valor medio, si potranno adottare i valori medi delle proprietà meccaniche del sistema di isolamento.”

Richiami Normativi - § 7.10 NTC 2018

Modellazione (§ 7.10.5.2)

Viene specificato che la rigidezza del sistema a comportamento lineare con cui vengono modellate la sottostruttura e la sovrastruttura, che sono oggetto di isolamento sismico, deve essere quella corrispondente al comportamento strutturale non dissipativo.

[§ 7.10.5.2 – NTC2018 – c.1] “La sovrastruttura e la sottostruttura devono essere modellate come sistemi a comportamento elastico lineare aventi rigidezza corrispondente al comportamento strutturale non dissipativo. Il sistema di isolamento può essere modellato, in relazione alle sue caratteristiche meccaniche, come avente comportamento visco-elastico lineare oppure con legame costitutivo non lineare. La deformabilità verticale degli isolatori dovrà essere messa in conto quando il rapporto tra la rigidezza verticale del sistema di isolamento K_v e la rigidezza equivalente orizzontale K_{esi} è inferiore a 800.”[...]

Si introduce l'eventuale interferenza nella risposta sismica del sistema isolato con l'interazione terreno-struttura.

[§ 7.10.5.2 – NTC2018 – c.6] “Se ritenuta rilevante ai fini della risposta sismica della struttura isolata, è opportuno tenere in conto l'eventuale interazione terreno-struttura come indicato al § 7.9.3.1.”

Richiami Normativi - § 7.10 NTC 2018

Analisi (§ 7.10.5.3)

Sono sempre previste le tre tipologie di analisi statica lineare, analisi dinamica lineare e analisi dinamica non lineare. Come la precedente norma (NTC 2008) non può essere utilizzata l'analisi statica non lineare.

Per l'analisi dinamica viene introdotta una specificità per i sistemi di isolamento che non sono ubicati subito dopo le fondazioni (per esempio un sistema di isolamento che parte dalla sommità dei pilastri del piano interrato di un garage dove le fondazioni sono situate sotto il livello della pavimentazione carrabile e non ci sono muri di contenimento con funzione scatolare). In questo caso il modello strutturale da analizzare deve comprendere sia la sottostruttura che la sovrastruttura.

[§ 7.10.5.3.2 – NTC2018 – c.1] [...] Qualora il sistema di isolamento non sia immediatamente al di sopra delle fondazioni, il modello deve comprendere sia la sovrastruttura sia la sottostruttura, a meno che la sottostruttura non sia assimilabile ad una struttura scatolare rigida come definita al § 7.2.1 [...]

La sottostruttura ha comportamento assimilabile ad una struttura scatolare rigida quando la sua rigidità rispetto alle azioni orizzontali è significativamente maggiore di quella della sovrastruttura. Si riporta per completezza di informazione il punto § 7.2.1 della normativa.

[§ 7.2.1 – NTC2018 – c.4] [...] Qualora, immediatamente al di sopra della fondazione, sia presente una struttura scatolare rigida, purché progettata con comportamento non dissipativo, i controlli sulla regolarità in altezza possono essere riferiti alla sola struttura soprastante la scatolare, a condizione che quest'ultima abbia rigidità rispetto alle azioni orizzontali significativamente maggiore di quella della struttura ad essa soprastante. Tale condizione si può ritenere soddisfatta se gli spostamenti della struttura soprastante la scatolare, valutati su un modello con incastri al piede, e gli spostamenti della struttura soprastante, valutati tenendo conto anche della deformabilità della struttura scatolare, sono sostanzialmente coincidenti [...]

Richiami Normativi - § 7.10 NTC 2018

Verifiche (§ 7.10.6)

Verifiche degli stati limite ultimi (§ 7.10.6.2)

Sono introdotte verifiche SLU per sistemi esposti particolarmente al vento e per i ponti.

[§ 7.10.6.2 – NTC2018] Per le costruzioni particolarmente esposte all'azione del vento e per i ponti in generale sarà condotta la verifica dello SLU dei dispositivi di isolamento e/o dissipazione di energia sottoposti alle combinazioni inerenti le azioni variabili orizzontali.

Per le verifiche SLV sulla sottostruttura viene modificato il riferimento specifico alle “accelerazioni del terreno” in “accelerazioni di risposta” e nel caso di sottostruttura infinitamente rigida ($T < 0,05s$) si considera anche il fattore di amplificazione locale (S). Le vecchie NTC consideravano solo l'accelerazione a_g adesso invece si prende $a_g S$ dove con S si considera l'amplificazione sismica locale.

[§ 7.10.6.2.1 – NTC2018 - c.2] [...] Gli elementi della sottostruttura devono essere verificati rispetto alle sollecitazioni ottenute direttamente dall'analisi quando il modello include anche la sottostruttura. In caso contrario, essi devono essere verificati rispetto alle sollecitazioni prodotte dalle forze trasmesse dal sistema d'isolamento combinate con le sollecitazioni prodotte dalle accelerazioni di risposta direttamente applicate alla sottostruttura. Nel caso in cui la sottostruttura possa essere assunta infinitamente rigida (periodo proprio inferiore a 0,05s) le forze d'inerzia direttamente applicate ad essa possono essere assunte pari al prodotto delle masse della sottostruttura per l'accelerazione del terreno $a_g S$. [...]

Richiami Normativi - § 7.10 NTC 2018

Non è più possibile ridurre, indipendentemente dal tipo di analisi, il fattore di comportamento a $q=1,5$ ma adesso la norma specifica i valori di q per l'analisi lineare per gli elementi strutturali e per il terreno nel caso di edifici ($q \leq 1,50$) e dei ponti ($q=1$).

[§ 7.10.6.2.1 – NTC2018 - c.3] [...] La domanda sugli elementi strutturali della sovrastruttura e della sottostruttura e sul terreno deve essere valutata, nel caso di analisi lineare, considerando un fattore di comportamento $q \leq 1,50$ nel caso degli edifici e $q=1$ nel caso dei ponti ed adottando le regole di combinazione di cui al § 2.5.3 [...]

Si introducono criteri per evitare il martellamento di parti contigue o strutture adiacenti in riferimento agli spostamenti allo SLV.

[§ 7.10.6.2.1 – NTC2018 - c.6] [...] Al fine di evitare il martellamento tra diverse parti tra loro contigue si dovranno rispettare i criteri enunciati al § 7.2.1, nella sezione "Distanza tra costruzioni contigue", e, per i ponti, al § 7.9.5.2.

Essendo il martellamento un fenomeno molto delicato in questo caso è consigliabile a vantaggio di sicurezza prendere in considerazione direttamente gli spostamenti massimi allo SLC. Si riporta per completezza di informazione il punto § 7.2.1 della normativa.

[§ 7.2.1 – NTC2018 – Distanza tra costruzioni contigue – c.1 e c.4] La distanza tra costruzioni contigue deve essere tale da evitare fenomeni di martellamento e comunque non può essere inferiore alla somma degli spostamenti massimi determinati per lo SLV, calcolati per ciascuna costruzione secondo il § 7.3.3 (analisi lineare) o il § 7.3.4 (analisi non lineare) e tenendo conto, laddove significativo, dello spostamento relativo delle fondazioni delle due costruzioni contigue, secondo quanto indicato ai §§ 3.2.4.1, 3.2.4.2 e 7.3.5; [...] Se le costruzioni hanno dispositivi d'isolamento sismico e/o dissipazione, particolare attenzione va posta al dimensionamento dei distacchi e/o giunti, tenendo in conto le indicazioni riportate nel § 7.10.4 e nel § 7.10.6.

Richiami Normativi - § 7.10 NTC 2018

Per le verifiche allo SLC e gli spostamenti d_2 dei sistemi di isolamento sono state introdotte indicazioni per gli appoggi mobili e i dispositivi di fine corsa.

[§ 7.10.6.2.2 – NTC2018 - c.1] Per i ponti e le costruzioni dotate anche di appoggi mobili devono essere rispettati i requisiti enunciati rispettivamente nei §§ 7.9.5.3.2 e 7.2.1.

[§ 7.10.6.2.1 – NTC2018 - c.6] I dispositivi di fine corsa, se previsti, devono permettere liberamente gli spostamenti massimi dei dispositivi di isolamento e/o dissipazione di energia e devono essere dimensionati secondo i criteri indicati nel § 7.9.5.3.3. [...]

Per gli aspetti costruttivi, manutenzione e sostituibilità cambia la parte iniziale del primo paragrafo e scompare il riferimento alla durabilità specifica nel caso della gomma e del teflon.

[§ 7.10.7 – NTC2018 – c.6] Il progetto deve contenere la descrizione delle modalità di messa in opera dei dispositivi ed il relativo piano di manutenzione. I documenti di progetto devono indicare i dettagli, le dimensioni e le prescrizioni sulla qualità, come pure eventuali dispositivi di tipo speciale e le tolleranze concernenti la messa in opera.

Richiami Normativi - § 11.9 NTC 2018

11.9.	DISPOSITIVI ANTISISMICI E DI CONTROLLO DELLE VIBRAZIONI
11.9.1.	TIPOLOGIE DI DISPOSITIVI
11.9.2.	PROCEDURA DI QUALIFICAZIONE
11.9.3.	PROCEDURA DI ACCETTAZIONE
11.9.4.	DISPOSITIVI A COMPORTAMENTO LINEARE
11.9.4.1	PROVE DI ACCETTAZIONE SUI DISPOSITIVI
11.9.5.	DISPOSITIVI A COMPORTAMENTO NON LINEARE
11.9.5.1	PROVE DI ACCETTAZIONE SUI DISPOSITIVI
11.9.6.	DISPOSITIVI A COMPORTAMENTO VISCOSO
11.9.6.1	PROVE DI ACCETTAZIONE SUI DISPOSITIVI
11.9.7.	ISOLATORI ELASTOMERICI
11.9.7.1	PROVE DI ACCETTAZIONE SUI DISPOSITIVI
11.9.8.	ISOLATORI A SCORRIMENTO
11.9.8.1	PROVE DI ACCETTAZIONE SUI DISPOSITIVI
11.9.9.	DISPOSITIVI A VINCOLO RIGIDO DEL TIPO A “FUSIBILE”
11.9.9.1	PROVE DI ACCETTAZIONE SUI DISPOSITIVI
11.9.10.	DISPOSITIVI (DINAMICI) DI VINCOLO PROVVISORIO
11.9.10.1	PROVE DI ACCETTAZIONE SUI DISPOSITIVI

Richiami Normativi - § 11.9 NTC 2018

Dispositivi antisismici e di controllo di vibrazioni (§ 11.9)

Nella definizione generale oltre i dispositivi antisismici viene aggiunta la dicitura “e di controllo delle vibrazioni” e viene aggiunta “dinamica” al termine del paragrafo con “risposta sismica o dinamica” a marcare la generalizzazione.

[§ 11.9 – NTC2018 – c.1] “Per dispositivi antisismici e di controllo delle vibrazioni si intendono gli elementi che contribuiscono a modificare la risposta sismica, o in generale dinamica, di una struttura, ad esempio incrementandone il periodo fondamentale, modificando la forma dei modi di vibrare fondamentali, incrementando la dissipazione di energia, limitando la forza trasmessa alla struttura e/o introducendo vincoli permanenti o temporanei che migliorano la risposta sismica o dinamica.”

Viene aggiunta la sezione sulla vita di servizio in relazione ai parametri termici dove si specifica che per i dispositivi deve essere maggiore di 10 anni. Questo non vuol dire che i dispositivi devono essere sostituiti ogni 10 anni ma è un valore che solleva qualche dubbio sui costi di sostituzione perché non è in linea con la vita nominale di un edificio ordinario pari almeno a 50 anni.

[§ 11.9 – NTC2018 – c.2] Tutti i dispositivi devono avere una vita di servizio maggiore di 10 anni nel campo di temperatura di riferimento indicato nelle specifiche tecniche applicabili a ciascun dispositivo. In assenza di indicazioni riportate nelle suddette specifiche tecniche il campo di temperatura di riferimento deve essere almeno compreso fra – 15 °C e +45 °C. Per opere particolari, per le quali le temperature prevedibili non rientrano nel suddetto intervallo, potrà farsi riferimento a campi di temperatura diversi da quello sopra citato; per dispositivi operanti in luoghi protetti, si può assumere un campo di temperatura ridotto in relazione ai valori estremi di temperatura ambientale.

Richiami Normativi - § 11.9 NTC 2018

Si parla di piano di manutenzione e sostituzione. Si ricorda che nella maggior parte dei casi la manutenzione è molto semplice e principalmente limitata a periodiche ispezioni visuali per l'intera vita utile dei dispositivi.

[§ 11.9 – NTC2018 – c.3] Devono essere previsti piani di manutenzione e di sostituzione allo scadere della vita di servizio, senza significativi effetti sull'uso delle strutture in cui sono installati.

Viene integrata nelle NTC 2018 la parte della norma armonizzata UNI EN 15129

[§ 11.9 – NTC2018 – c.4] Nei casi in cui si applica la norma europea armonizzata UNI EN 15129, le grandezze di riferimento ivi citate andranno desunte da quanto prescritto nelle presenti Norme Tecniche per le Costruzioni; in particolare si intende per d_{bd} lo spostamento valutato per un terremoto riferito allo SLV, e per $\gamma_x d_{bd}$ lo spostamento valutato per un terremoto riferito allo SLC (d_{bd} e γ_x sono i simboli utilizzati nella UNI EN 15129 rispettivamente per lo spostamento di progetto di un dispositivo e per il fattore di amplificazione di al § 4.1.2 della stessa UNI EN 15129).

Richiami Normativi - § 11.9 NTC 2018

Procedura di qualificazione (§ 11.9.2)

Paragrafo completamente rivisto dove è stata integrata la parte della norma europea armonizzata UNI EN 15129.

[§ 11.9.2 – NTC2018] I dispositivi antisismici, per i quali si applica quanto specificato al punto A) del § 11.1, devono essere conformi alla norma europea armonizzata UNI EN 15129 e recare la Marcatura CE. Si applica il sistema di valutazione e verifica della costanza della prestazione previsto nella suddetta norma europea armonizzata per le applicazioni critiche.

Nel caso di dispositivi antisismici non ricadenti, o non completamente ricadenti, nel campo di applicazione della norma europea armonizzata UNI EN 15129, si applica il caso C) del §11.1.

In aggiunta a quanto previsto ai punti A) o C) del § 11.1, ogni fornitura deve essere accompagnata da un manuale contenente le specifiche tecniche per la posa in opera e la manutenzione.

Le procedure di qualificazione hanno lo scopo di dimostrare che il dispositivo è in grado di mantenere la propria funzionalità nelle condizioni d'uso previste durante tutta la vita di progetto.

Si riportano per completezza di informazioni i punti (A) e (C) del capitolo § 11.1

[Punto (A) § 11.1 – NTC2018] A) materiali e prodotti per i quali sia disponibile, per l'uso strutturale previsto, una norma europea armonizzata il cui riferimento sia pubblicato su GUUE. Al termine del periodo di coesistenza il loro impiego nelle opere è possibile soltanto se corredati della "Dichiarazione di Prestazione" e della Marcatura CE, prevista al Capo II del Regolamento UE 305/2011;

[Punto (C) § 11.1 – NTC2018] C) materiali e prodotti per uso strutturale non ricadenti in una delle tipologie A) o B. In tali casi il fabbricante dovrà pervenire alla Marcatura CE sulla base della pertinente "Valutazione Tecnica Europea" (ETA), oppure dovrà ottenere un "Certificato di Valutazione Tecnica" rilasciato dal Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, previa istruttoria del Servizio Tecnico Centrale, anche sulla base di Linee Guida approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ove disponibili; con decreto del Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, su conforme parere della competente Sezione, sono approvate Linee Guida relative alle specifiche procedure per il rilascio del "Certificato di Valutazione Tecnica".

Richiami Normativi - § 11.9 NTC 2018

Procedura di accettazione (§ 11.9.3)

Paragrafo completamente rivisto dove è stata integrata la parte della norma europea armonizzata UNI EN 15129.

[§ 11.9.3 – NTC2018] I controlli di accettazione in cantiere sono obbligatori per tutte le tipologie di dispositivi e sono demandati al Direttore dei Lavori il quale, prima della messa in opera, è tenuto ad accertare e a verificare la prescritta documentazione di qualificazione, e a rifiutare le eventuali forniture non conformi. Il Direttore dei Lavori dovrà inoltre effettuare la verifica geometrica e delle tolleranze dimensionali, nonché le prove di accettazione di seguito specificate.

Le prove di accettazione devono essere eseguite e certificate da un laboratorio di cui all'articolo 59 del DPR 380/2001, dotato di adeguata competenza, attrezzatura ed organizzazione.

Per i dispositivi rientranti nel campo di applicazione della norma europea armonizzata UNI EN 15129, le metodologie per le prove di accettazione ed i relativi criteri di valutazione, ove non diversamente specificato nel seguito, sono quelli indicati, per ciascun tipo di dispositivo, nella suddetta norma europea armonizzata con riferimento alle prove di Controllo di Produzione in Fabbrica (Factory Production Control tests). Il numero dei dispositivi da sottoporre a prove di accettazione è di seguito specificato per ciascun tipo di dispositivo

E' possibile impiegare, ai fini delle prove di accettazione, le prove di Controllo di Produzione in Fabbrica effettuate nell'ambito del mantenimento della qualificazione dei dispositivi stessi ai sensi della norma europea sopra detta, nel numero che la stessa norma prevede, a condizione che:

- il campionamento dei dispositivi sia stato effettuato, sui lotti destinati allo specifico cantiere, dal Direttore dei Lavori del cantiere stesso;*
- le prove siano eseguite e certificate da un laboratorio di cui all'articolo 59 del DPR 380/2001, dotato di adeguata competenza, attrezzatura ed organizzazione.*
- I suddetti certificati riportino esplicitamente l'indicazione del o dei cantieri ove viene utilizzata la fornitura.*

Per dispositivi non ricadenti nel campo di applicazione della norma europea armonizzata UNI EN 15129 le prove di accettazione, che rimangono obbligatorie, saranno eseguite secondo le modalità e con i criteri di valutazione riportate nelle specifiche tecniche europee, oppure nella Certificazione di valutazione tecnica, di riferimento.

Qualora i risultati dei controlli di accettazione non risultassero soddisfacenti, il Direttore dei lavori rifiuta la fornitura.

I dispositivi sottoposti a prove di qualificazione o di accettazione potranno essere utilizzati nella costruzione solo se gli elementi sollecitati in campo non lineare vengono sostituiti o se la loro resistenza alla fatica oligociclica è almeno di un ordine di grandezza superiore al numero dei cicli delle prove, e comunque previo accertamento della loro perfetta integrità e piena funzionalità a seguito delle prove, da accertare attraverso la successiva effettuazione delle prove di accettazione ed il controllo dei relativi parametri di verifica.

Bibliografia di approfondimento

- Clemente, Saitta, Buffarini, Bongiovanni, ***Isolamento Sismico di Edifici Esistenti***, Grafill, 2019
- Charleson A, Guisasola A., ***Seismic Isolation for Architects***, Routledge, 2017
- Kelly J., Konstantinidis D., ***Mechanics of Rubber Bearings for Seismic and Vibration Isolation***, Wiley & Sons, 2011
- Foti D., Mongelli M., ***Isolatori sismici per edifici esistenti e di nuova costruzione***, Flaccovio, 2011
- Cicchiello P., ***Metodi di Protezione Sismica***, Maggioli, 2011
- Higashino M., Okamoto S., ***Response Control and Seismic Isolation of Buildings***, Taylor & Francis, 2006
- Christopoulos, C. Filiatrault, A., ***Principles of Supplemental Damping and Seismic Isolation***, IUSS Press, 2006.
- Naeim F., Kelly J., ***Design of seismic isolated structures***, Wiley & Sons, 1999

Grazie per l'attenzione !