

ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 2

Progettazione con isolatori a scorrimento a superficie curva

ISOLATORI A SCORRIMENTO A SUPERFICIE CURVA

M.Gabriella Castellano

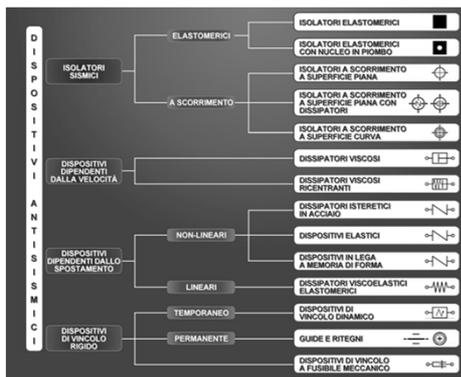
FIP MEC Academy



Sommario

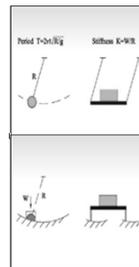
- principio di funzionamento degli isolatori a scorrimento a superficie curva (o a pendolo)
- predimensionamento del sistema di isolamento con isolatori a scorrimento a superficie curva
- prove di accettazione sugli isolatori a scorrimento a superficie curva
- installazione
- esempi di edifici nuovi ed esistenti con isolatori a scorrimento a superficie curva

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD



Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

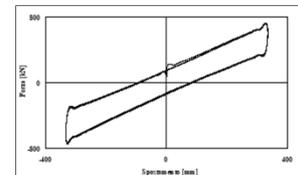
Isolatori a scorrimento a superficie curva



Funzionamento riconducibile a quello del pendolo: usano la forza di gravità come forza di ricentraggio

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

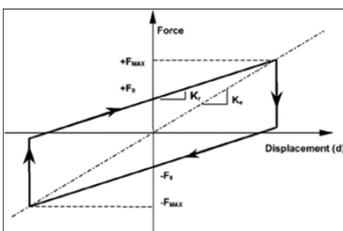
$$T_e = 2\pi \sqrt{\frac{1}{g \cdot \left(\frac{1}{R} + \frac{\mu}{d}\right)}}$$



Il periodo T non dipende dalla massa

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Isolatori a scorrimento a superficie curva



$$F_0 = \mu \cdot N_{sd}$$

$$K_r = \frac{N_{sd}}{R}$$

$$F_{max} = \mu \cdot N_{sd} + \frac{N_{sd}}{R} \cdot d$$

$$K_e = N_{sd} \left(\frac{1}{R} + \frac{\mu}{d} \right)$$

$$\xi_e = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{\frac{d}{\mu R} + 1}$$

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Isolatori a scorrimento a superficie curva

DOPPIA SUPERFICIE CURVA (SERIE FIP-D)

SINGOLA SUPERFICIE CURVA (SERIE FIP)



- Doppia superficie di scorrimento
- Minima eccentricità trasmessa alle strutture superiori ed inferiori
- Minimo ingombro dell'isolatore
- Forma compatta

- Singola superficie di scorrimento
- Massima eccentricità trasmessa sulla singola superficie di scorrimento e nulla sul lato opposto
- Massimo ingombro dell'isolatore

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Ing. Maria Gabriella Castellano, PhD
FIP MEC Academy

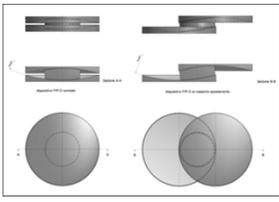


ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 2

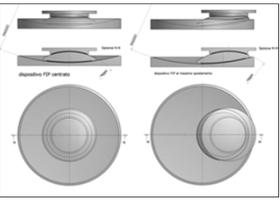
Progettazione con isolatori a scorrimento a superficie curva

Isolatori a scorrimento a superficie curva

**DOPPIA SUPERFICIE CURVA
(SERIE FIP-D)**



**SINGOLA SUPERFICIE CURVA
(SERIE FIP)**



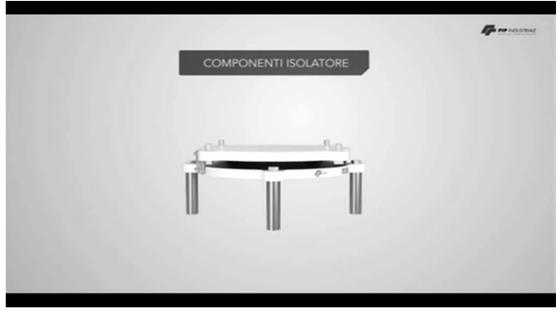
- Doppia superficie di scorrimento
- Minima eccentricità trasmessa alle strutture superiori ed inferiori
- Minimo ingombro dell'isolatore
- Forma compatta

- Singola superficie di scorrimento
- Massima eccentricità trasmessa sulla singola superficie di scorrimento e nulla sul lato opposto
- Massimo ingombro dell'isolatore

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Isolatori a scorrimento a superficie curva

COMPONENTI ISOLATORE



Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Prove di qualifica su isolatori a scorrimento a superficie curva (EN 15129:2009)

Devono essere eseguite su 2 isolatori in scala reale

Table 15 – Test Matrix to verify the sliding isolation behaviour

Type of Test	Test run	Compression Load N_{Ed} [kN]	Displacement d_s [m]	Peak velocity v_s [mm/s]	Number of complete cycles
Service	S	N_{Ed}	maximum non seismic movement	5	20
Benchmark	P1	N_{Ed}	$1.0 \cdot d_{Ed}$	50	3
Dynamic 1	D1	N_{Ed}	$0.25 \cdot d_{Ed}$	v_{Ed}	3
Dynamic 2	D2	N_{Ed}	$0.5 \cdot d_{Ed}$	v_{Ed}	3
Dynamic 3	D3	N_{Ed}	$1.0 \cdot d_{Ed}$	v_{Ed}	3
Integrity of overlay	O	N_{Ed}	$1.0 \cdot d_{Ed}$	v_{Ed}	3
Seismic	E	$N_{Ed,max}$ and $N_{Ed,min}$	d_{Ed}	v_{Ed}	3
Bi-directional	B	N_{Ed}	$1.0 \cdot d_{Ed}$	v_{Ed}	3
Property verification	P2	N_{Ed}	$1.0 \cdot d_{Ed}$	v_{Ed}	3
Ageing	P3	N_{Ed}	$1.0 \cdot d_{Ed}$	50	3

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Prove di qualifica su isolatori a scorrimento a superficie curva (EN 15129:2009)

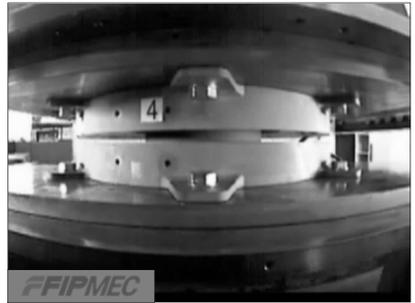
- Prove precedenti possono essere estese a dispositivi simili

Experimental results obtained from tests on similar bearings (reference devices) that satisfy all the requirements of this clause may be used for new devices provided:

- 1) design displacement of the new device is within $\pm 20\%$ of the reference design value;
- 2) bearing capacity of the new device is within $\pm 20\%$ of the reference design value;
- 3) design coefficients of friction are identical for new and reference device;
- 4) basic materials for sliding elements are identical for new and reference device;
- 5) the radius of curvature of both primary and secondary curved surfaces is within $\pm 20\%$ of the reference design value;

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Isolatori a scorrimento a superficie curva



$V = 7000 \text{ kN}$
 $f = 0.31 \text{ Hz}$
 $V_{max} = 0.67 \text{ m/s}$
 $d = \pm 340 \text{ mm}$

Prove di qualifica c/o EUCENTRE, Pavia, su FIP e FIP-D, Normativa Europea EN15129- Carico verticale 7000 kN÷10000 kN

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Isolatori a scorrimento a superficie curva



$V = 1800 \text{ kN}$
 $f = 0.25 \text{ Hz}$
 $V_{max} = 0.235 \text{ m/s}$
 $d = \pm 150 \text{ mm}$

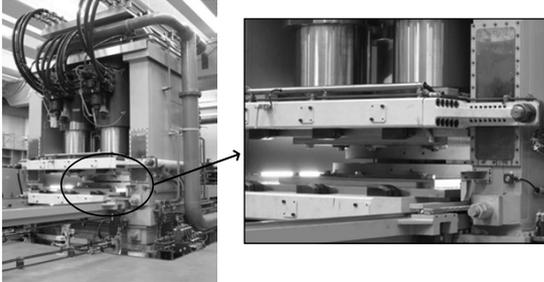
Prove di qualifica c/o SisLab, Università della Basilicata, Potenza, su FIP, Normativa Europea EN 15129

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 2

Progettazione con isolatori a scorrimento a superficie curva

Prove di qualifica su isolatori a scorrimento a superficie curva



Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Laboratorio FIP

Nuova attrezzatura per prove dinamiche



- Dynamic Vertical Load: 200 kN + 20000 kN
- Maximum Static Vertical Load: 30000 kN
- Dynamic Horizontal Load: 3000 kN
- Dynamic Horizontal Displacement: ±500 mm
- Horizontal Velocity Actuator: ±1570 mm/s
- Dynamic Vertical Displacement: 0 + 65 mm
- Static Vertical Displacement: 0 + 700 mm

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Prove di qualifica su isolatori a scorrimento a superficie curva



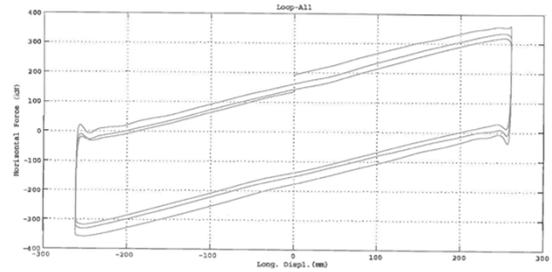
Type test at FIP laboratory according to EN 15129:2009

FIP-D L 470/400(3100)

$N_{Ed,max} = 2000$ kN
 $d = \pm 167$ mm

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Prove di qualifica su isolatori a scorrimento a superficie curva



Peak velocity 260 mm/s
Vertical load 3000 kN

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Prove di qualifica su isolatori a scorrimento a superficie curva

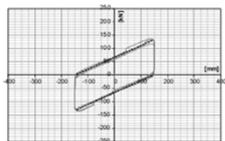


Figure 9 - Test 9 Seismic: Leggere forza di scorrimento - spostamento orizzontale
Figure 9 - Test 9 Seismic: Vertical load vs displacement relationship

Order / Ordine	0000010
Order / Ordine	11.04
N°	1000
N°	1000
Q _{max} (kN)	1500.00
Q _{min} (kN)	-1500.00
Force / Forza	1.131000
Force / Forza	-1352.07
Force / Forza	0.22863
N°	1000
N°	1000
N _{max} (kN)	4442.1
N _{min} (kN)	4442.1
N _{max} (kN)	4442.1
N _{min} (kN)	4442.1
Load / Carico	3.0%
Load / Carico	3.0%

N = 1790 kN

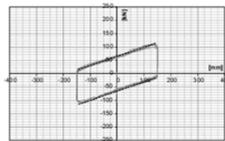


Figure 10 - Test 10 Seismic: Leggere forza di scorrimento - spostamento orizzontale
Figure 10 - Test 10 Seismic: Vertical load vs displacement relationship

Order / Ordine	0000010
Order / Ordine	11.10
N°	1000
N°	1000
Q _{max} (kN)	1500.00
Q _{min} (kN)	-1500.00
Force / Forza	1.131000
Force / Forza	-1000.00
Force / Forza	0.22863
N°	1000
N°	1000
N _{max} (kN)	3000.0
N _{min} (kN)	3000.0
N _{max} (kN)	3000.0
N _{min} (kN)	3000.0
Load / Carico	4.2%
Load / Carico	4.2%

N = 1401 kN

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Prove di qualificazione multidirezionali c/o UCSD



Prove di qualificazione multidirezionali c/o Università della California a San Diego, laboratorio Caltrans SRMD

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

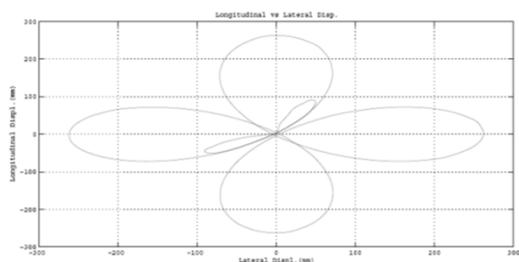
Ing. Maria Gabriella Castellano, PhD
FIP MEC Academy



ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 2

Progettazione con isolatori a scorrimento a superficie curva

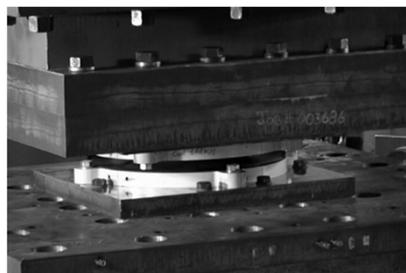
Prove di qualificazione multidirezionali c/o UCSD



Spostamento imposto
(clover leaf path)

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

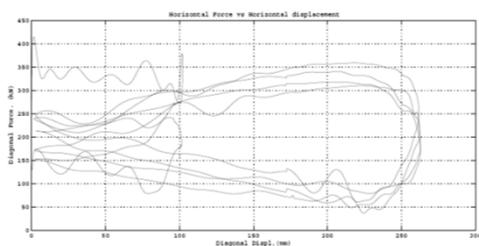
Prove di qualificazione multidirezionali c/o UCSD



clover leaf path test

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Prove di qualificazione multidirezionali c/o UCSD

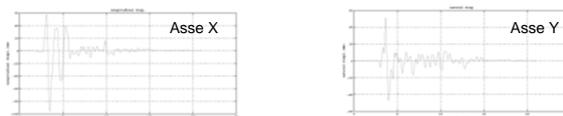


Measured diagonal force vs
diagonal displacement

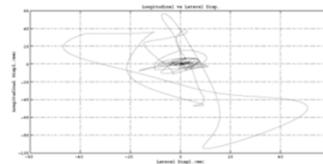
Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Prove di qualificazione multidirezionali c/o UCSD

Time-histories dello spostamento (da registrazioni a L'Aquila usate come input nel modello dell'edificio)



Traiettoria sul piano X-Y



Prove di qualificazione multidirezionali c/o UCSD

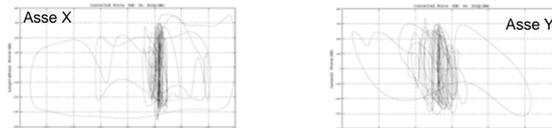


Time history test

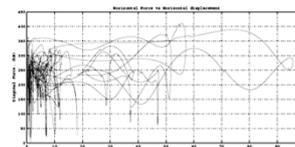
Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Prove di qualificazione multidirezionali c/o UCSD

Diagrammi forza-spostamento misurati lungo gli assi x ed y



Forza-spostamento "diagonale"

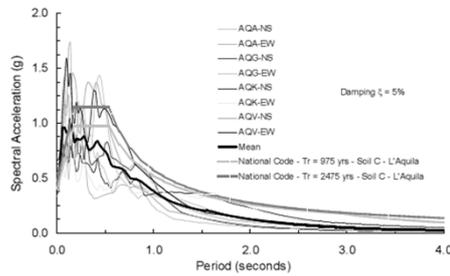


Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 2

Progettazione con isolatori a scorrimento a superficie curva

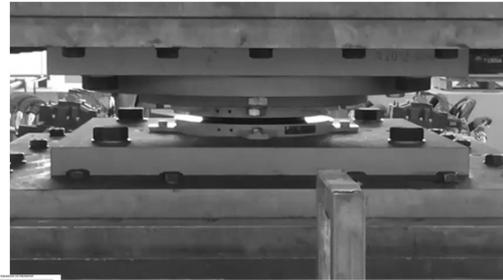
Spettri registrati in diverse stazioni dell'Aquila 6/04/2009 a confronto con gli spettri di progetto di normativa



Confronto spettri di risposta delle registrazioni effettuate il 6 aprile 2009 in diverse stazioni epicentrali a L'Aquila rispetto agli spettri NTC con $T_r=975$ anni e $T_r=2475$ anni.
(estratta da Di Sarno, L., Elnashai, A.S. and Manfredi, G. (2010).
Seismic Response of RC Members Subjected to the 2009 L'Aquila (Italy) Near-Field Earthquake Ground Motions. Report No.01-2010. Mid-America Earthquake Center, University of Illinois at Urbana-Champaign, USA.)

Clover leaf test

su isolatori a scorrimento a superficie curva



Prove presso il laboratorio CERISI, Messina

CERISI
Centre of Excellence for Research and Innovation
on large Structures and Infrastructures
University of Messina - Italy
Ing. M. Gabriella Castellano, PhD

Prova sismica (time-history)
su isolatori a scorrimento a superficie curva



spostamento indotto dal sisma di Norcia (30/10/2016) su un isolatore FIP-D di un ponte isolato con FIP-D a disassatura assiale

Sommario

- principio di funzionamento degli isolatori a scorrimento a superficie curva (o a pendolo)
- predimensionamento del sistema di isolamento con isolatori a scorrimento a superficie curva
- prove di accettazione sugli isolatori a scorrimento a superficie curva
- installazione
- esempi di edifici nuovi ed esistenti con isolatori a scorrimento a superficie curva

Ing. M. Gabriella Castellano, PhD

Dati necessari per predimensionamento sistema di isolamento

Latitudine e longitudine del sito di riferimento:

Tipo di terreno di fondazione (a, b, c, ...):

Profilo topografico (t1, t2, ...):

Vita nominale della costruzione:

Classe d'uso della costruzione:

Massa sismica della sovrastruttura:

Periodo di vibrazione della struttura a base fissa (1°Modo):

Periodo di vibrazione desiderato per la sovrastruttura (se già individuato):

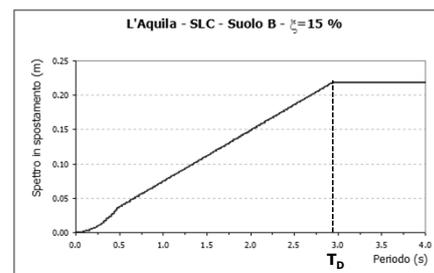
File excel contenente i carichi verticali agenti sugli isolatori nelle seguenti combinazioni:

- quasi permanenti (formula 3.2.17 del DM 14/01/2008)
- in fase sismica allo SLC (al massimo due valori per ogni isolatore, pari al massimo tra tutte le combinazioni ed eventualmente al minimo tra tutte le combinazioni solo se di trazione)
- in fase non sismica allo SLU (un valore per ogni isolatore, pari al massimo tra tutte le combinazioni)

Ing. M. Gabriella Castellano, PhD

Predimensionamento del sistema di isolamento
(isolatori a scorrimento a superficie curva)

- Scelta del "periodo obiettivo" (solitamente $\geq T_D$)



Ing. M. Gabriella Castellano, PhD

Ing. Maria Gabriella Castellano, PhD
FIP MEC Academy

FIPMEC

ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 2

Progettazione con isolatori a scorrimento a superficie curva

Predimensionamento del sistema di isolamento (isolatori a scorrimento a superficie curva)

- Con questi isolatori, il periodo non dipende dalla massa, ma solo da raggio di curvatura ed attrito, per un dato spostamento

$$T_e = 2\pi \sqrt{\frac{1}{g \cdot \left(\frac{1}{R} + \frac{\mu}{d}\right)}}$$

- Scelta dello smorzamento viscoso equivalente (solitamente ~15 % per rispettare le condizioni per la modellazione lineare equivalente)

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Predimensionamento del sistema di isolamento (isolatori a scorrimento a superficie curva)

- sia periodo che smorzamento viscoso equivalente dipendono da coefficiente di attrito μ e raggio di curvatura R ; quindi si tratta di scegliere μ e R

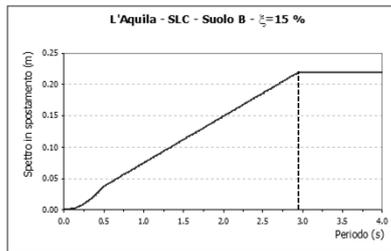
$$T_e = 2\pi \sqrt{\frac{1}{g \cdot \left(\frac{1}{R} + \frac{\mu}{d}\right)}}$$

$$\xi_e = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{\frac{d}{\mu R} + 1}$$

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Predimensionamento del sistema di isolamento (isolatori a scorrimento a superficie curva)

- Calcolo dello spostamento corrispondente al periodo scelto ed allo smorzamento scelto (dallo spettro di spostamento)



Per $T \geq T_D$ S_{De} (SLC) ≈ 220 mm
Per tener conto degli effetti torsionali, assumere $d_2 = 300$ mm

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Predimensionamento del sistema di isolamento (isolatori a scorrimento a superficie curva)

- Progettazione degli isolatori sulla base del periodo, dello smorzamento viscoso equivalente, dello spostamento, del carico verticale, del coefficiente di attrito

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Ottimizzazione dei costi

- Attenzione a non utilizzare troppe diverse tipologie di isolatori in una stessa struttura!

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Isolatori a scorrimento a superficie curva

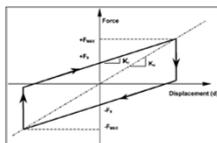
- Se sono stati già scelti tutti i parametri di progetto (attrito, raggio) comunicarli al produttore per verificare la fattibilità e per l'ottimizzazione economica.

Tabella dati per isolatori a scorrimento a superficie curva (a pendolo) per edifici			
secondo EN1328:2009			
Nome completo opera:			
Data:			
Materiale a contatto con estradosso isolatore (Acciaio, C15 girato, c.a. a):			
Materiale a contatto con intradosso isolatore (Acciaio, C15 girato, c.a. a):			
Definizione	Simbolo [UM]	Isolatore 1	Isolatore 2
Posti posti su la struttura	[n°]		
Quanti			
Condizione sismica	Simbolo [UM]		
Coeficiente attrito medio ed il sistema di isolamento (per tutti i dispositivi) di carico Quasi Permanente	[a(%)]		
Raggio di curvatura equivalente del sistema di isolamento (per tutti di spostivi)	[R(mm)]		
Forza verticale massima in condizioni sismiche allo SLC (Nota 1)	$N_{v,max}$ [kN]		Allegare file excel (non PDF) con i valori su ciascun isolatore con relativa posizione
Spostamento orizzontale massimo dovuto solo al sisma allo SLC (Nota 2)	$d_{h,s}$ [m/mm]		
Spostamento orizzontale massimo dovuto solo al sisma allo SLC (Nota 2)	$T_{h,s}$ [m/mm]		
Spostamento massimo totale $T_{h,s} + d_{h,s} \approx 20\%$ spostamento totale + sisma, il quale cioè	$d_{h,t}$ [m/mm]		
Rotazione massima in condizioni sismiche	θ_{s} [1/rad]		
Nota 1: Il livello di sovraccarico sismico relativo dalle azioni sismiche combinate nelle due direzioni principali X e Y , per analisi base 10% (dalle X - 100% in Y) e viceversa			
Condizione non sismica	Simbolo [UM]		
Carico quasi permanente	$N_{q,1}$ [kN]		Allegare file excel (non PDF) con i valori su ciascun isolatore con relativa posizione
Forza verticale massima in condizioni non sismiche allo SLC	$N_{v,1}$ [kN]		

ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 2

Progettazione con isolatori a scorrimento a superficie curva

Isolatori a scorrimento a superficie curva MODELLAZIONE LINEARE EQUIVALENTE



Il legame costitutivo in direzione orizzontale dipende dal carico verticale.

Se sono verificate le condizioni di linearità imposte dalla normativa, ciascun isolatore si modella con la rigidità equivalente calcolata con il suo carico ed il suo spostamento.

Come carico verticale N_{Sdi} si considera il carico quasi-permanente, ossia il valore medio del carico agente durante il sisma, per ciascun isolatore.

$$F_{max,i} = F_0 + K_R \cdot d_i$$

$$= \mu_i \cdot N_{Sdi} + \frac{N_{Sdi}}{R} \cdot d_i$$

$$K_{ei} = N_{Sdi} \cdot \left(\frac{1}{R} + \frac{\mu_i}{d_i} \right)$$

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Isolatori a scorrimento a superficie curva MODELLAZIONE

L'attrito medio (globale) μ_{av} è la media pesata – sul carico verticale agente N_{Sdi} – degli attriti dei singoli isolatori.

Lo smorzamento viscoso equivalente ξ_e , che viene considerato nello spettro, è calcolato sull'attrito medio di tutto il sistema di isolamento.

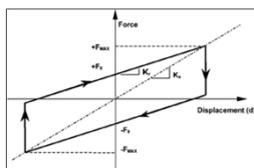
Non ha senso calcolare lo smorzamento viscoso equivalente per ciascun isolatore, come fanno alcuni software

$$\mu_{av} = \frac{\sum_i \mu_i \cdot N_{Sdi}}{\sum_i N_{Sdi}}$$

$$\xi_e = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{\frac{d}{\mu_{av} R} + 1}$$

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Isolatori a scorrimento a superficie curva MODELLAZIONE



Il comportamento degli isolatori a scorrimento a superficie curva è tipicamente non lineare.

Non è facile rispettare tutte le condizioni imposte dalla NTC 2008 e dall'EC8 (identiche) per la linearità del sistema di isolamento, ma è possibile se si usano coefficienti di attrito bassi.

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Analisi lineare dinamica (§ 7.10.5.3.2)

È ammessa se il sistema di isolamento è lineare, ossia se sono soddisfatte tutte le seguenti condizioni (§ 7.10.5.2) :

- la rigidità equivalente del sistema d'isolamento è almeno pari al 50% della rigidità secante per cicli con spostamento pari al 20% dello spostamento di riferimento;
- lo smorzamento lineare equivalente del sistema di isolamento, come definito in precedenza, è inferiore al 30%;
- 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;
- l'incremento della forza nel sistema d'isolamento per spostamenti tra 0,5 d_e e $d_{0,5}$, essendo $d_{0,5}$ lo spostamento del centro di rigidità dovuto all'azione sismica, è almeno pari al 2,5% del peso totale della sovrastruttura.

Le quattro condizioni di linearità per gli isolatori a scorrimento a superficie curva corrispondono ad uno smorzamento viscoso equivalente $\xi_e < 15.9\%$

$$\xi_e = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{\frac{d}{\mu_{av} R} + 1}$$

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Isolatori a scorrimento a superficie curva MODELLAZIONE

- se si vuole evitare l'analisi non lineare, si può cercare di «linearizzare» il comportamento del sistema di isolamento diminuendo l'attrito medio e/o il raggio di curvatura
- solitamente ci si accontenta che le condizioni di linearità siano soddisfatte ad SLC

$$\xi_e = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{\frac{d}{\mu_{av} R} + 1}$$

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Isolatori a scorrimento a superficie curva MODELLAZIONE

NTC 2018, § 7.10.5.2 - Modellazione

Il sistema di isolamento può essere modellato [...] come avente comportamento visco-elastico lineare oppure con legame costitutivo non lineare. [...] Se è utilizzato un modello lineare, si deve adottare una rigidità equivalente riferita allo spostamento totale di progetto per lo stato limite in esame di ciascun dispositivo facente parte del sistema di isolamento. [...]

Quando la rigidità e/o lo smorzamento equivalenti del sistema di isolamento dipendono significativamente dallo spostamento di progetto, deve applicarsi una procedura iterativa fino a che la differenza tra il valore assunto e quello calcolato non sia inferiore al 5%”

$$K_{ei} = N_{Sdi} \cdot \left(\frac{1}{R} + \frac{\mu_i}{d_i} \right)$$

$$\xi_e = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{\frac{d}{\mu_{av} R} + 1}$$

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 2

Progettazione con isolatori a scorrimento a superficie curva

Isolatori a scorrimento a superficie curva MODELLAZIONE

Alcuni software eseguono in automatico la procedura iterativa di calcolo delle rigidzze equivalenti e dello smorzamento viscoso equivalente fino a convergenza (differenza tra il valore assunto dello spostamento e quello calcolato inferiore al 5%), e controllano se le condizioni di linearità sono rispettate oppure no.

$$K_{el} = N_{Sdb} \cdot \left(\frac{1}{R} + \frac{\mu_s}{d} \right)$$

$$\xi_e = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{\frac{d}{\mu_{cr} R} + 1}$$

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Isolatori a scorrimento a superficie curva MODELLAZIONE

- nel caso di analisi DINAMICHE NON LINEARI (in time-history), i principali software includono l'elemento isolatore denominato «friction pendulum»

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Isolatori a scorrimento a superficie curva MODELLAZIONE NON LINEARE

MODELLING PARAMETERS FOR FIP-D SERIES ISOLATORS BY MEANS OF MIDAS SOFTWARE

Double concave curved surface sliders (FIP-D series) can be modelled in MIDAS by using Non-Linear Link type "Friction pendulum system isolator".

Activate/check the degrees of freedom Dx Dy Dz and theirs Non-Linear option.

The input properties for the vertical direction are the followings:

Properties Used For Linear Analysis Cases

Effective Stiffness: $N_{Is} / 1 \text{ mm}$
Effective Damping: (zero)

where N_{Is} is the maximum vertical load capacity of the isolator under earthquake load combinations. If the isolator has not yet been finalized, the expected maximum vertical load can be used.

Properties Used For Nonlinear Analysis Cases

Stiffness: $N_{Is} / 1 \text{ mm}$
Damping coefficient: (zero)

Isolatori a scorrimento a superficie curva MODELLAZIONE NON LINEARE

The input properties for the horizontal directions are the following:

Properties Used For Linear Analysis Cases

Effective Stiffness: $N_{Is} \cdot (1/R + u/d)$
Effective Damping: (zero)

where R is the equivalent radius of curvature, N_{Is} is the quasi-permanent load acting on the isolator, d is the displacement, u (frictional coefficient, fast) is the design average friction coefficient at high velocity, i.e. under the design earthquake. Typical value of u are in the range 3% - 7%.

NOTE: when linear analyses are performed, the damping of the isolators is taken into account in the design spectrum, for periods larger than 80% of the fundamental period of the isolated structure, according to Eurocode 8.

Properties Used For Non-linear Analysis Cases

Stiffness: $u \cdot N_{Is} / 1 \text{ mm}$
Friction Coeff. Slow: $u_s - 0.7 \cdot u_f$
Friction Coeff. Fast: u_f
Rate Parameter: 50 sec/m
Hysteretic Loop parameters: $a = b = 0.5$

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Sommario

- principio di funzionamento degli isolatori a scorrimento a superficie curva (o a pendolo)
- predimensionamento del sistema di isolamento con isolatori a scorrimento a superficie curva
- prove di accettazione sugli isolatori a scorrimento a superficie curva**
- installazione
- esempi di edifici nuovi ed esistenti con isolatori a scorrimento a superficie curva

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Prove di accettazione (factory production control tests) secondo EN 15129:2009 sugli isolatori a scorrimento a superficie curva

- Isolatori a scorrimento a superficie curva: su 1 dispositivo ogni lotto di 20 pezzi

One full-size unit per production lot shall be subjected to factory production control tests comprising the following:

For the purpose of the factory production control tests, a production lot shall be a set of no more than 20 identical units. Curved Surface Sliders with different design movements due to non-seismic inputs are considered to be identical for this purpose, if all the other design parameters are equal.

If the load bearing capacity of a unit exceeds 20% of the overall weight of the supported structure the number of production units subjected to production tests, for that set, shall be doubled.

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Ing. Maria Gabriella Castellano, PhD
FIP MEC Academy

FIPMEC

ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 2

Progettazione con isolatori a scorrimento a superficie curva

Prove di accettazione (factory production control tests) secondo EN 15129:2009 sugli isolatori a scorrimento a superficie curva

8.3.4.2 Factory production control tests

8.3.4.2.1 Property verification test

One full-size unit per production lot shall be subjected to factory production control tests comprising the following:

- Vertical load bearing capacity (see 8.3.1.2.2 and 8.3.4.1.2);
- Frictional resistance force under service conditions (see 8.3.1.2.5 and 8.3.4.1.3);
- Test run P1 (see 8.3.1.2.6 and 8.3.4.1.5).

For the purpose of the factory production control tests, a production lot shall be a set of no more than 20 identical units. Curved Surface Sliders with different design movements due to non-seismic inputs are considered to be identical for this purpose, if all the other design parameters are equal.

If the load bearing capacity of a unit exceeds 20 % of the overall weight of the supported structure the number of production units subjected to production tests, for that set, shall be doubled.

The same requirement as indicated for Type Testing shall apply.

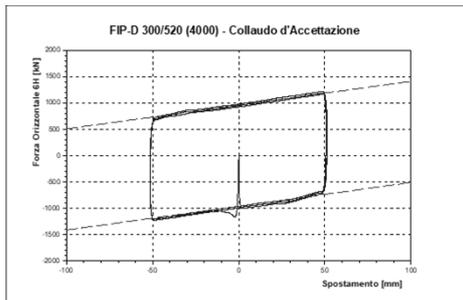
Prove di accettazione su isolatori a scorrimento a superficie curva

Table 15 – Test Matrix to verify the sliding isolation behaviour

Type of Test	Test run	Compression Load N_{Ed} [kN]	Displacement d_s [m]	Peak velocity v_s [mm/s]	Number of complete cycles
Service	S	N_{Ed}	maximum non seismic movement	5	20
Benchmark	P1	N_{Ed}	1,0 d_{Ed}	50	3
Dynamic 1	D1	N_{Ed}	0,25 d_{Ed}	v_{Ed}	3
Dynamic 2	D2	N_{Ed}	0,5 d_{Ed}	v_{Ed}	3
Dynamic 3	D3	N_{Ed}	1,0 d_{Ed}	v_{Ed}	3
Integrity of casting	O	N_{Ed}	1,0 d_{Ed}	v_{Ed}	3
Seismic	E	$N_{Ed, max}$ and $N_{Ed, min}$	d_{Ed}	v_{Ed}	3
Bi-directional	B	N_{Ed}	1,0 d_{Ed}	v_{Ed}	3
Property verification	P2	N_{Ed}	1,0 d_{Ed}	v_{Ed}	3
Ageing	P3	N_{Ed}	1,0 d_{Ed}	50	3

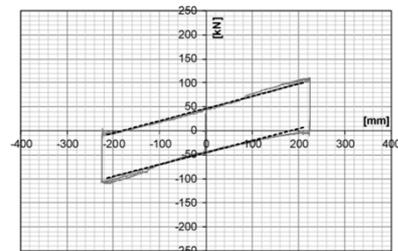
Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Prove di accettazione su isolatori a scorrimento a superficie curva



Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

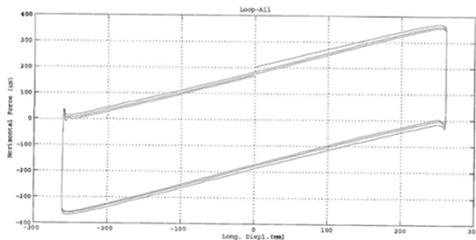
Prove di accettazione su isolatori a scorrimento a superficie curva



Example of Factory Production Control Test (Benchmark test) according to European Standard EN15129, on a FIP-D isolator ($N_{sd}=988$ kN, $R=4000$ mm) at SisLab, Basilicata University, Potenza, Italy

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

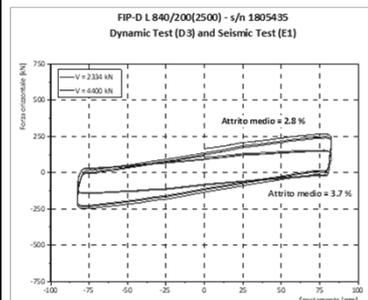
Prove di accettazione su isolatori a scorrimento a superficie curva



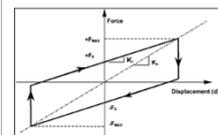
Example of Factory Production Control Test (Benchmark test) according to European Standard EN15129, on a FIP-D isolator at UCSD, Caltrans SRMD Laboratory, California, USA

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Isolatori a scorrimento a superficie curva INFLUENZA DEL CARICO VERTICALE



Prove dinamiche a 2 diversi valori del carico verticale



La rigidezza K_f varia con il carico verticale

$$K_f = \frac{N_{Sd}}{R}$$

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Ing. Maria Gabriella Castellano, PhD
FIP MEC Academy

FIPMEC

ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 2

Progettazione con isolatori a scorrimento a superficie curva

Isolatori a scorrimento a superficie curva

valori tipici dei coefficienti di attrito medi μ_{av} (ad $N_{sd,av}$):

$$\mu_{av} \sim 2\% \div 3\%$$

questi valori di μ_{av} quasi sempre consentono analisi lineari equivalenti, e per la sismicità italiana sono solitamente ottimali.

Coefficienti di attrito più alti (es. 5%) possono essere utili per limitare lo spostamento, in caso di sismicità molto alta o per i ponti. Ma in tal caso sono necessarie analisi dinamiche non lineari.

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

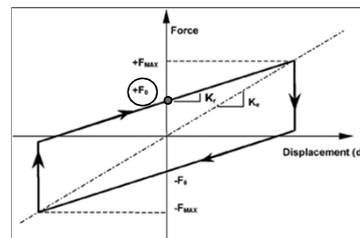
Isolatori a scorrimento a superficie curva

$$F_{max} = (F_0) K_r \cdot d$$

$$= (\mu \cdot N_{sd}) + \frac{N_{sd}}{R} \cdot d$$

$$K_e = N_{sd} \cdot \left(\frac{1}{R} + \frac{\mu}{d} \right)$$

$$\xi_e = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{\frac{d}{\mu R} + 1}$$



NB. maggiore è il coefficiente di attrito, maggiore è l'intensità del sisma a cui il sistema di isolamento si attiva, e maggiore è la non linearità.

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Isolatori a scorrimento a superficie curva

- per la serie FIP-D i valori tipici del raggio di curvatura equivalente sono nel range 2.5 m ÷ 4.5 m

- minore è il raggio, maggiore è la capacità di ricentraggio

$$K_r = \frac{N_{sd}}{R}$$

- maggiore è il raggio, maggiore è la capacità dissipativa (per lo stesso coefficiente di attrito) e la non linearità del ciclo isteretico, e minore la capacità di ricentraggio

$$\xi_e = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{\frac{d}{\mu R} + 1}$$

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Isolatori a scorrimento a superficie curva

attenzione!

il raggio di curvatura deve essere uguale per tutti gli isolatori installati nella stessa struttura

altrimenti durante il sisma ci saranno sollevamenti diversi, e quindi spostamenti verticali differenziali, tra i diversi punti di appoggio, e di conseguenza una distribuzione del carico verticale sugli isolatori diversa da quella di calcolo

NO slitte piane insieme agli isolatori a pendolo!

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Sommario

- principio di funzionamento degli isolatori a scorrimento a superficie curva (o a pendolo)
- predimensionamento del sistema di isolamento con isolatori a scorrimento a superficie curva
- prove di accettazione sugli isolatori a scorrimento a superficie curva
- installazione
- esempi di edifici nuovi ed esistenti con isolatori a scorrimento a superficie curva

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Installazione

- il fornitore fornisce il manuale di installazione e talora offre supervisione all'installazione

11.9.2. PROCEDURA DI QUALIFICAZIONE

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.

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 2

Progettazione con isolatori a scorrimento a superficie curva

Installazione

- per edifici nuovi, l'installazione può essere eseguita dall'impresa generale, seguendo le raccomandazioni fornite nel manuale

[manuale installazione](#)

- nel caso di edifici esistenti, l'installazione è più complessa e solitamente eseguita da imprese specialistiche, dotate di opportuna attrezzatura e personale esperto

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Ispezione/manutenzione

- il fornitore fornisce i manuali di ispezione e manutenzione, che però vanno integrati, per spiegare ad esempio i percorsi di accesso agli isolatori, l'eventuale necessità di rimozione di protezioni (es. protezioni dal fuoco per gli isolatori elastomerici), il posizionamento dei martinetti in caso di necessità di sostituzione, ecc.

[manuale ispezione/manutenzione](#)

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Sommario

- *principio di funzionamento degli isolatori a scorrimento a superficie curva*
- *predimensionamento del sistema di isolamento*
- *prove di accettazione sugli isolatori a scorrimento a superficie curva*
- *installazione*
- **esempi di edifici nuovi ed esistenti con isolatori a scorrimento a superficie curva**

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Complesso edilizio per 26 alloggi di Edilizia Residenziale Pubblica – CASA SPA Sesto Fiorentino (FI) - 2011

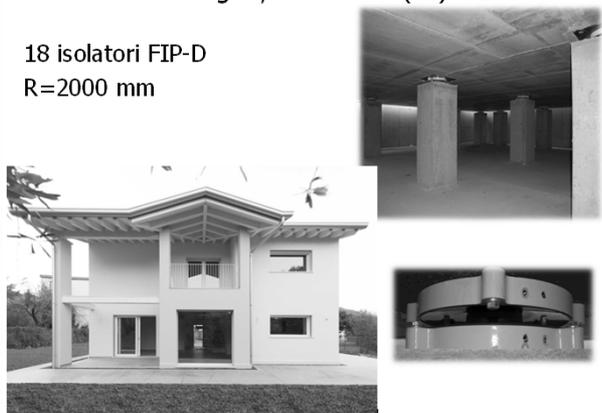


n° 59 isolatori serie FIP-D (isolatori a scorrimento a doppia superficie curva o a pendolo)

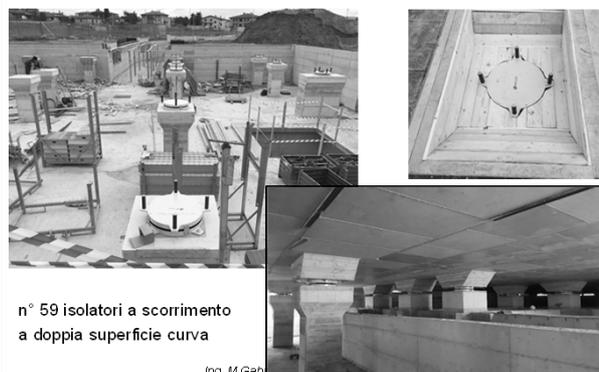
Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Villetta in legno, Marostica (VI) - 2016

18 isolatori FIP-D
R=2000 mm



Scuola dell'infanzia XXV Aprile, Bastia Umbra (PG) - 2017



n° 59 isolatori a scorrimento a doppia superficie curva

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Ing. Maria Gabriella Castellano, PhD
FIP MEC Academy

FIPMEC

ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 2

Progettazione con isolatori a scorrimento a superficie curva

Edificio residenziale CE9-CP 24 e 25, Melfi (PZ)



20 FIP-D 140/500 (3125)

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Van Medical Campus, Turchia

512 isolatori a pendolo di 6 tipi
2013-2014



Devices 512 nos. Pendulum Isolators
N_{is} 3500+6000 kN
R 6000 mm
d_{is} ± 500 mm
TT 12 nos. units tested in U.S.A. at UCSD
FPCT 95 nos. units tested in Italy at SISLAB

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Van Medical Campus, Turchia



Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Van Medical Campus
Turchia



Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Mugla Bodrum Hospital, Turkey

245 isolatori a pendolo (a doppia
superficie curva)

2017-2018



Devices 245 nos. Pendulum Isolators
N_{is} 5000+14250 kN
R 4500 mm
d_{is} ± 330 mm
TT 4 nos. units tested in Italy at FIP laboratory and witnessed by Padua University
FPCT 10 nos. units tested in Italy at FIP laboratory

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Nuova palazzina direzionale Ferriere Nord – Osoppo (UD)

Nessun costo aggiuntivo dovuto all'isolamento sismico



Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

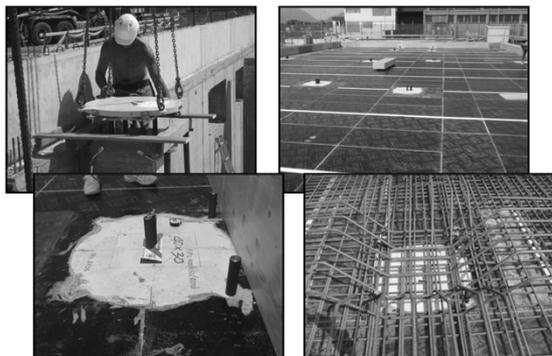
Ing. Maria Gabriella Castellano, PhD
FIP MEC Academy

FIPMEC

ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 2

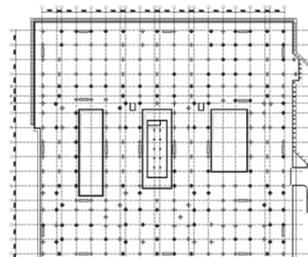
Progettazione con isolatori a scorrimento a superficie curva

Nuova palazzina direzionale Ferriere Nord – Osoppo (UD)



Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Ospedale di Ancona Sud



- 279 isolatori a pendolo
 $N = 3500 \div 12500 \text{ kN}$
 $d = \pm 250 \text{ mm}$
 $R = 4000 \text{ mm}$
 $\mu \sim 1\%$

- 20 dissipatori viscosi
 $F_{\max} = 2200 \text{ kN}$
 $\alpha = 0.15$
 $d = \pm 250 \text{ mm}$

combinazione di isolatori a pendolo a bassissimo attrito e dissipatori viscosi non lineari

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Condominio Leonardo, L'Aquila



- Danni alle tamponature ai piani terra ed interrato; martellamento (giunti insufficienti); limitate lesioni capillari nei nodi del telaio in c.a.
- $T_{bf} = 0.75 \text{ s}$ $T_i = 2.75 \text{ s}$
- Isolatori in testa ai pilastri dell'interrato, opportunamente ringrossati

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Condominio Leonardo, L'Aquila



- Ringrosso pilastro con predisposizione fori per zanche isolatore, inserimento boccole per fissaggio mensole inferiori e superiori
- Installazione mensole metalliche e messa in carico dei martinetti
- Taglio porzione pilastro con filo diamantato e rasatura superficie inferiore
- Inserimento collare metallico per l'ancoraggio superiore dell'isolatore
- Inserimento e fissaggio dell'isolatore, e successivo inghisaggio mediante malta antiritiro
- Rimozione dei martinetti con conseguente messa in carico dell'isolatore

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Condominio Leonardo, L'Aquila

44 isolatori a scorrimento a doppia superficie curva



Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Istituti Biologici – Università degli Studi di Verona



Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 2

Progettazione con isolatori a scorrimento a superficie curva

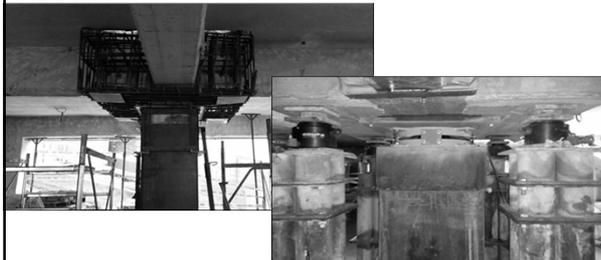


Ing. Maria Gabriella Castellano, PhD
FIP MEC Academy

ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 2

Progettazione con isolatori a scorrimento a superficie curva

Edifici via Moscardelli n.28 e 42, L'Aquila



- nuovo baggiolo superiore in c.a. che fa da contrasto ai martinetti, e che include la contropiastra superiore per il collegamento dell'isolatore

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Edifici via Moscardelli n.28 e 42, L'Aquila



- 6 FIP-D L 290/600 (2535)
- 32 FIP-D L 390/600 (2535)
- 22 FIP-D XL 110/600 (2535)

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Edifici via Moscardelli n.28 e 42, L'Aquila



Dettagli scala

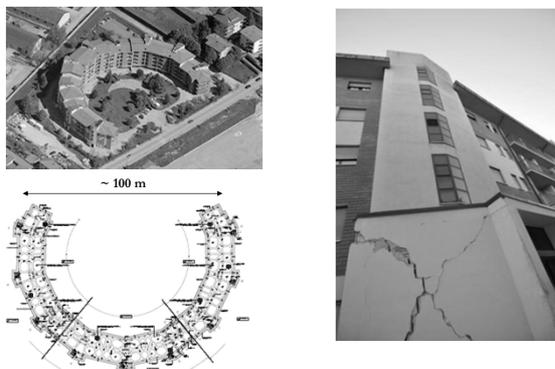
Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Edifici via Moscardelli n.28 e 42, L'Aquila



Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Condominio Habitat, L'Aquila



Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Condominio Habitat, L'Aquila



Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Ing. Maria Gabriella Castellano, PhD
FIP MEC Academy

FIPMEC

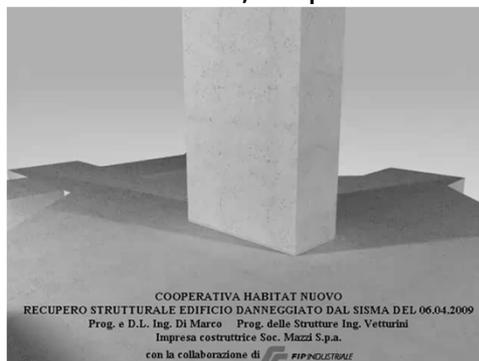
ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 2

Progettazione con isolatori a scorrimento a superficie curva

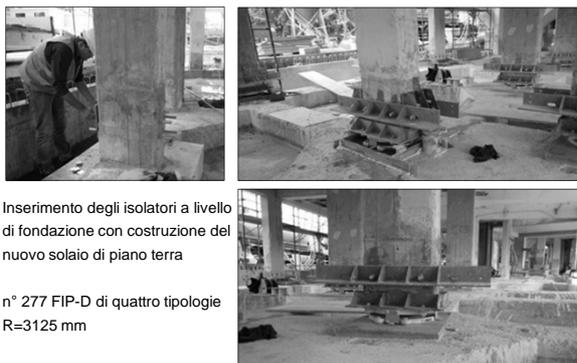
Condominio Habitat, L'Aquila



Condominio Habitat, L'Aquila



Condominio Habitat, L'Aquila



Inserimento degli isolatori a livello di fondazione con costruzione del nuovo solaio di piano terra

n° 277 FIP-D di quattro tipologie R=3125 mm

Edificio B1 ESA-ESRIN, Frascati



Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Edificio B1 ESA-ESRIN, Frascati



Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Edificio B1 ESA-ESRIN, Frascati



Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Ing. Maria Gabriella Castellano, PhD
FIP MEC Academy

FIPMEC

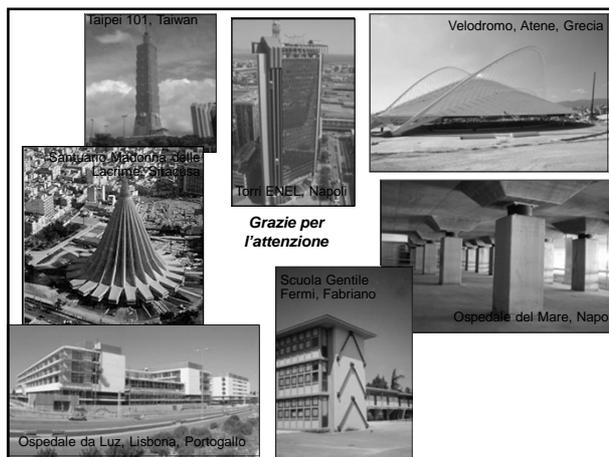
ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 2

Progettazione con isolatori a scorrimento a superficie curva

Edificio B1 ESA-ESRIN, Frascati



Ing. M.Gabriella Castellano, PhD



gabriella.castellano@fipmec.it

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD