

Ordine Ingegneri di Macerata – 14 gennaio 2021
ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 1
Progettazione con isolatori elastomerici

**DISPOSITIVI
PER L'ISOLAMENTO SISMICO**

M.Gabriella Castellano

*Ufficio Ricerca e Sviluppo
FIP mec srl*



Sommarrio

- l'approccio energetico alla protezione sismica delle strutture
- cenni normativi e certificazioni
- isolatori elastomerici ad alto smorzamento e con nucleo in piombo
- prove di accettazione sugli isolatori elastomerici
- esempi di edifici nuovi ed esistenti con isolatori elastomerici

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

L'approccio energetico alla progettazione sismica

$$E_i = E_E + E_K + E_H + E_V$$

E_i è l'energia in ingresso, che rappresenta il lavoro compiuto dalla forza di inerzia agente sulla struttura (=taglio alla base) a causa dello spostamento del suo punto di applicazione

E_E è l'energia di deformazione elastica

E_K è l'energia cinetica

E_d è l'energia dissipata (attraverso distinti meccanismi, ad es. isteretico E_H e viscoso E_V)

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

L'approccio energetico alla progettazione sismica

domanda \leq offerta

$$E_i \leq E_E + E_K + \underbrace{E_H + E_V}_{E_d}$$

**La protezione sismica si può realizzare
riducendo la domanda
e/o aumentando l'offerta**

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

L'approccio energetico alla progettazione sismica

Capacity design (gerarchia delle resistenze)=
aumento dell'offerta (aumento di E_d)

La struttura deve essere progettata con sufficiente duttilità globale e locale, in modo che si formino il maggior numero possibile di cerniere plastiche prima del collasso; la struttura cioè deve essere in grado di dissipare la maggior quantità possibile di energia. Questa dissipazione avviene attraverso il **danneggiamento degli elementi strutturali (oltre che di quelli non strutturali)**.

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

L'approccio energetico alla progettazione sismica

$$E_i \leq E_E + E_K + E_H + E_V$$

Dissipazione di energia mediante dissipatori = aumento dell'offerta, ossia aumento di E_d

Se si utilizzano dispositivi progettati ad hoc (dissipatori) per dissipare energia, *non si ha danno negli elementi strutturali*, come invece si ha con il capacity design.

Tuttavia, con la strategia della dissipazione di energia, a differenza che con l'isolamento sismico, si possono avere danni agli elementi non strutturali. Ad esempio, gli spostamenti di interpiano vengono ridotti rispetto ad una struttura tradizionale, ma non tanto quanto con l'isolamento sismico. Lo stesso per le accelerazioni.

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Ing. Maria Gabriella Castellano, PhD
FIP MEC Academy



ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 1

Progettazione con isolatori elastomerici

L'approccio energetico alla progettazione sismica

$$E_i \leq E_E + E_K + E_H + E_V$$

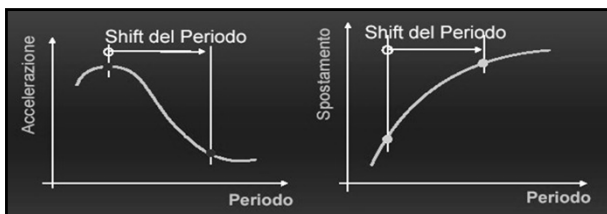
Isolamento sismico = riduzione della domanda

ossia riduzione di $E_i = \int_{v(0)}^{v(t)} m \dot{v}_i dv_g$

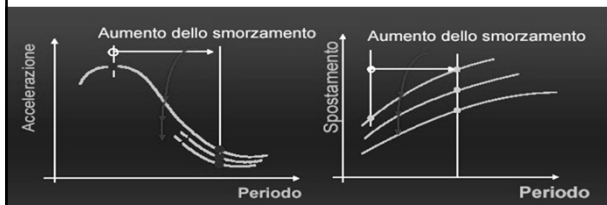
N.B. l'energia in ingresso non è una proprietà intrinseca del terremoto, in quanto oltre che dallo spostamento del terreno dipende dalla risposta strutturale.

Essa dipende principalmente dal periodo fondamentale di vibrazione, oltre che dall'accelerogramma applicato.

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

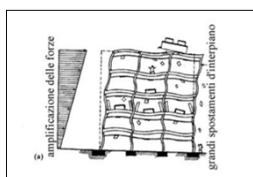


EFFETTI DELL'ISOLAMENTO E DELLO SMORZAMENTO

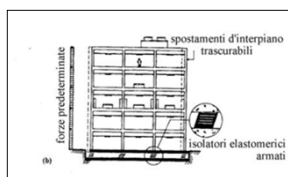


L'isolamento sismico degli edifici

Aumento del periodo proprio, ottenuto con l'interposizione di dispositivi a bassa rigidità orizzontale (isolatori) alla base dell'edificio



edificio tradizionale



edificio isolato alla base

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Isolamento sismico: il concetto

Il disaccoppiamento,

ottenuto attraverso gli ISOLATORI

consente di ridurre le accelerazioni trasmesse alla sovrastruttura, che si comporta come un corpo rigido al di sopra degli isolatori.

Di conseguenza l'isolamento sismico consente di:

- evitare il danneggiamento degli elementi strutturali e non strutturali
- evitare anche il danneggiamento o la perdita di funzionalità delle apparecchiature contenute all'interno dell'edificio

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Confronto tra edificio convenzionale e sismicamente isolato

- un edificio isolato non è semplicemente «a norma», ha prestazioni molto superiori ad un edificio convenzionale
- un edificio «antisismico» convenzionale rispetta le normative, ma è progettato per danneggiarsi anche pesantemente, senza crollare
- infatti dopo i recenti terremoti forti, molti edifici moderni – anche appena terminati – sono stati dichiarati inagibili perché danneggiati

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Confronto tra edificio convenzionale e sismicamente isolato

- invece dentro ad un edificio isolato il terremoto (l'accelerazione) è meno intenso che fuori, perché gli isolatori «filtrano» l'energia trasmessa dal terremoto: isolare l'edificio equivale a spostarlo in una zona a minore sismicità

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Ordine Ingegneri di Macerata – 14 gennaio 2021
ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 1
Progettazione con isolatori elastomerici

Confronto tra edificio convenzionale e sismicamente isolato



Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

L'isolamento sismico degli edifici: vantaggi

Riduzione delle accelerazioni a tutti i piani

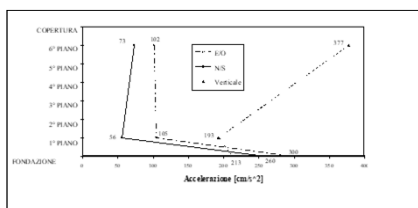


- miglioramento/adequamento sismico (protezione delle strutture)
- protezione del contenuto, ossia NO ribaltamento mobili/oggetti, mantenimento della funzionalità
- no panico

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Comportamento sismico di edifici isolati

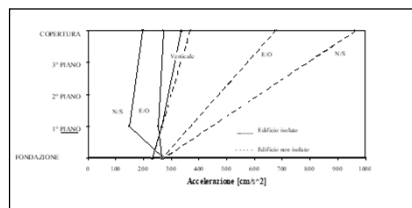
Accelerazioni di picco registrate nel Centro Computer del Ministero delle Poste e Telecomunicazioni durante il terremoto di Great Hanshin-Awaji, Giappone (17/1/1995, $M_R=7.2$, edificio distante 37 km dall'epicentro)



Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

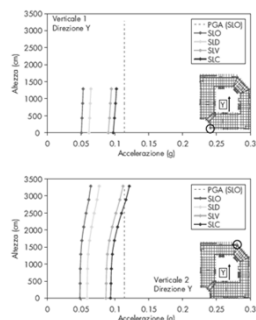
Comportamento sismico di edifici isolati

Accelerazioni di picco registrate nel Laboratorio della Matsumura-Gumi Corporation (isolato alla base) e nell'adiacente edificio per uffici (non isolato) durante il terremoto di Great Hanshin-Awaji, Giappone (17/1/1995, $M_R=7.2$, edifici distanti 37 km dall'epicentro)



Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Comportamento sismico di edifici isolati



- Ospedale del Mare, Napoli
- $a_g=0.25$ g (SLV), suolo B, $\gamma_f=1.4$
- distribuzione accelerazioni nella sovrastruttura a diverse altezze ed a diversi SL

grafici gentilmente forniti dal prof. Cosenza, collaudatore dell'Ospedale del Mare di Napoli

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

L'isolamento sismico degli edifici: vantaggi

Riduzione dello spostamento di interpiano



- protezione anche delle tamponature, oltre che degli elementi strutturali

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Ing. Maria Gabriella Castellano, PhD
FIP MEC Academy



ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 1

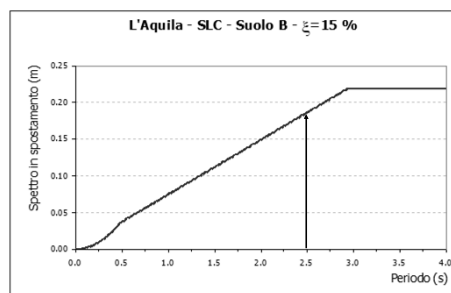
Progettazione con isolatori elastomerici

L'isolamento sismico degli edifici: svantaggio

- L'unico svantaggio (?) dell'isolamento sismico è l'aumento dello spostamento orizzontale. Ma tale spostamento è concentrato al piano degli isolatori, mentre lo spostamento della sovrastruttura è pressoché nullo.
- In rari casi questo limita l'applicabilità dell'isolamento sismico

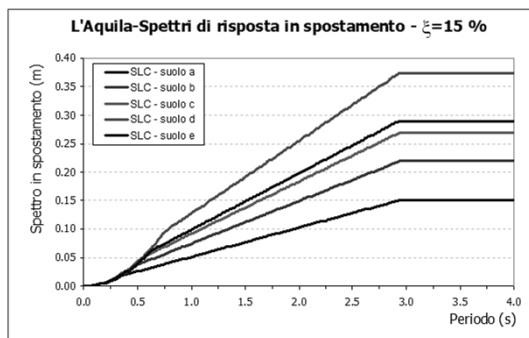
Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

L'isolamento sismico degli edifici: spostamento



Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

L'isolamento sismico degli edifici: spostamento



Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Sommario

- *l'approccio energetico alla protezione sismica delle strutture*
- **cenni normativi e certificazioni**
- isolatori elastomerici ad alto smorzamento e con nucleo in piombo
- prove di accettazione sugli isolatori elastomerici
- esempi di edifici nuovi ed esistenti con isolatori elastomerici

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Premessa: funzioni di un isolatore sismico

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Funzioni di un isolatore sismico (o di un sistema di isolamento sismico)

- aumentare il periodo proprio della struttura in cui sono installati, grazie alla loro bassa rigidezza (o resistenza) orizzontale
- sostenere i carichi verticali, sia in condizioni di servizio che durante il sisma
- consentire lo spostamento orizzontale di progetto
- dissipare una certa quantità di energia, per controllare lo spostamento orizzontale
- garantire il ricentraggio durante e dopo il sisma

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Ordine Ingegneri di Macerata – 14 gennaio 2021
ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 1
Progettazione con isolatori elastomerici

**Funzioni di un isolatore sismico
(o di un sistema di isolamento sismico)**

- le suddette funzioni possono essere inglobate in un unico dispositivo, detto isolatore sismico, oppure essere suddivise tra diversi dispositivi sismici che lavorano in parallelo
- ad esempio la funzione dissipativa anziché essere integrata negli isolatori, può essere demandata – parzialmente o totalmente – a dissipatori aggiuntivi

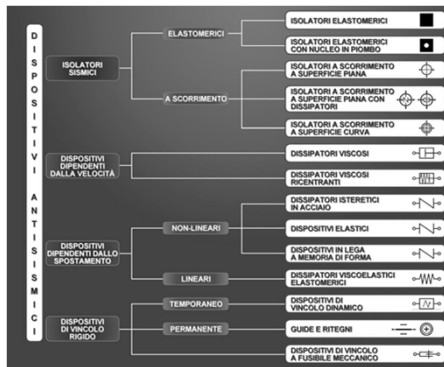
Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

**Funzioni di un isolatore sismico
(o di un sistema di isolamento sismico)**

- tipici esempi di sistemi di isolamento costituiti da diversi dispositivi sono la combinazione di isolatori a basso smorzamento e dissipatori viscosi o isteretici, molto usata in passato in Italia nei ponti
- nelle zone ad altissima sismicità spesso si combinano anche isolatori ad alto smorzamento con dissipatori aggiuntivi
- in Italia negli edifici è più frequente affidare tutte le funzioni agli isolatori sismici

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

DISPOSITIVI ANTISISMICI – CLASSIFICAZIONE SECONDO EN 15129



Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

**Aspetti normativi
(per le strutture isolate
e per gli isolatori)**

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Eurocodice 8 – parte 1

- EN 1998-1: 2004 + corrigendum July 2009

EUROPEAN STANDARD **EN 1998-1**
 NORME EUROPÉENNE
 EUROPÄISCHE NORM

ICS 91.120.25

Supersedes ENV 1998-1-1:1994, ENV 1998-1-2:1994,
 ENV 1998-1-3:1995

English version

Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance -
 Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

EC8 Parte 1

Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance -
 Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings



EN 1998-1:2004 (E)		
9.2.1	Types of masonry units.....	194
9.2.2	Minimum strength of masonry units.....	194
9.2.3	Mortar.....	194
9.2.4	Masonry wall.....	194
9.3	Types of construction and behaviour factors.....	195
9.4	Structural analysis.....	196
9.5	Design criteria and construction rules.....	197
9.5.1	General.....	197
9.5.2	Additional requirements for unreinforced masonry satisfying EN 1998-1.....	198
9.5.3	Additional requirements for reinforced masonry.....	199
9.5.4	Additional requirements for reinforced masonry.....	199
9.6	Safety verification.....	200
9.7	Rules for "simple masonry buildings".....	200
9.7.1	General.....	200
9.7.2	Rules.....	200
10	BASE ISOLATION.....	203
10.1	Scope.....	203
10.2	Definitions.....	203
10.3	Performance requirements.....	204
10.4	Other design criteria.....	204
10.5	General design provisions.....	205
10.5.1	General provisions concerning the devices.....	205
10.5.2	Control of differential movements.....	206
10.5.3	Control of differential seismic ground motions.....	206
10.5.4	Control of displacements relative to surrounding ground and constructions.....	206
10.5.5	Conceptual design of base isolated buildings.....	206
10.6	Seismic action.....	207
10.7	Reliability factor.....	207
10.8	Performance of the isolation system.....	207
10.9	Structural analysis.....	208
10.9.1	General.....	208
10.9.2	Eigenvalue linear analysis.....	208
10.9.3	Simplified linear analysis.....	209
10.9.4	Modal simplified linear analysis.....	211
10.9.5	Theoretical analysis.....	211
10.9.6	Non structural elements.....	211
10.10	Safety verification at ultimate limit state.....	211
ANNEX A (INFORMATIVE) ELASTIC DISPLACEMENT RESPONSE SPECTRUM.....		213
ANNEX B (INFORMATIVE) DETERMINATION OF THE TARGET DISPLACEMENT FOR NON-LINEAR STATIC (PUSHOVER) ANALYSIS.....		215
ANNEX C (NORMATIVE) DESIGN OF THE SLAB OF STEEL CONCRETE COMPOSITE BEAMS AT BEAM COLUMN JOINTS IN MOMENT RESISTING FRAMES.....		219

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Ing. Maria Gabriella Castellano, PhD
FIP MEC Academy



Ordine Ingegneri di Macerata – 14 gennaio 2021
ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 1
Progettazione con isolatori elastomerici

Eurocode 8 – Parte 1 – Cap. 10

10.1 Scope

- (1)P This section covers the design of seismically isolated structures in which the isolation system, located below the main mass of the structure, aims at reducing the seismic response of the lateral-force resisting system.
- (2) The reduction of the seismic response of the lateral-force resisting system may be obtained by increasing the fundamental period of the seismically isolated structure, by modifying the shape of the fundamental mode and by increasing the damping, or by a combination of these effects. The isolation system may consist of linear or non-linear springs and/or dampers.
- (3) Specific rules concerning base isolation of buildings are given in this section.
- (4) This section does not cover passive energy dissipation systems that are not arranged on a single interface, but are distributed over several storeys or levels of the structure.

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

EC8 Parte 1 – Cap. 10 Base Isolation

10.3 Fundamental requirements

- (2)P Increased reliability is required for the isolating devices. This shall be effected by applying a magnification factor γ_k on seismic displacements of each unit.
- NOTE The value to be ascribed to γ_k for use in a country may be found in its National Annex of this document, depending on the type of isolating device used. For buildings the recommended value is $\gamma_k = 1.2$.

- Introduce il concetto di **INCREASED RELIABILITY** per gli isolatori, ossia chiede che gli isolatori siano progettati con un livello di sicurezza superiore a quello con cui si progetta la struttura in cui sono installati

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

10.4 Compliance criteria

Eurocodice 8 – Parte 1

- (6) Although it may be acceptable that, in certain cases, the substructure has inelastic behaviour, it is considered in the present section that it remains in the elastic range.
- (7) At the Ultimate limit state, the isolating devices may attain their ultimate capacity, while the superstructure and the substructure remain in the elastic range. Then there is no need for capacity design and ductile detailing in either the superstructure or the substructure.
- (8)P At the Ultimate limit state, gas lines and other hazardous lifelines crossing the joints separating the superstructure from the surrounding ground or constructions shall be designed to accommodate safely the relative displacement between the isolated superstructure and the surrounding ground or constructions, taking into account the γ_k factor defined in 10.3(2)P.

10.7 Behaviour factor

- (1)P Except as provided in 10.10(5), the value of the behaviour factor shall be taken as being equal to $q = 1$.

10.10 Safety verifications at Ultimate Limit State

- (5) In buildings, the resistance condition of the structural elements of the superstructure may be satisfied taking into account seismic action effects divided by a behaviour factor not greater than 1.5.

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

**Eurocodice 8 – parte 1 –
Cap. 10.5 General design provisions**

10.5.1

- (1)P Sufficient space between the superstructure and substructure shall be provided, together with other necessary arrangements, to allow inspection, maintenance and replacement of the devices during the lifetime of the structure.

10.5.2

- (1) To minimise torsional effects, the effective stiffness centre and the centre of damping of the isolation system should be as close as possible to the projection of the centre of mass on the isolation interface.

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

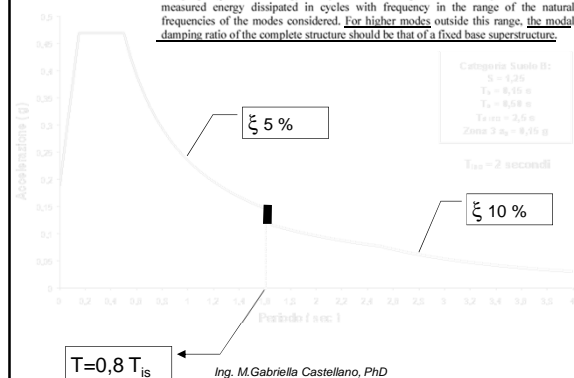
**Eurocodice 8 – parte 1
Cap. 10.9.2 Equivalent linear analysis**

- (5) The behaviour of the isolation system may be considered as being equivalent to linear if all the following conditions are met:
- the effective stiffness of the isolation system, as defined in (2) of this subclause, is not less than 50% of the effective stiffness at a displacement of $0,2d_{d,c}$;
 - the effective damping ratio of the isolation system, as defined in (3) of this subclause, does not exceed 30%;
 - the force-displacement characteristics of the isolation system do not vary by more than 10% due to the rate of loading or due to the vertical loads;
 - the increase of the restoring force in the isolation system for displacements between $0,5d_{d,c}$ and $d_{d,c}$ is not less than 2,5% of the total gravity load above the isolation system.

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Eurocode 8 – Clause 10.9.2 Equivalent linear analysis

- (3) If an equivalent linear model is used, the energy dissipation of the isolation system should be expressed in terms of an equivalent viscous damping, as the "effective damping" (ξ_{eff}). The energy dissipation in bearings should be expressed from the measured energy dissipated in cycles with frequency in the range of the natural frequencies of the modes considered. For higher modes outside this range, the modal damping ratio of the complete structure should be that of a fixed base superstructure.



Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Ordine Ingegneri di Macerata – 14 gennaio 2021
ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 1
Progettazione con isolatori elastomerici

NTC 2018 – D.M. 17/01/2018

- Cap. 7.10 Costruzioni con isolamento e/o dissipazione
(requisiti generali, indicazioni progettuali, modellazione e analisi strutturale, verifiche, aspetti costruttivi, ecc.)
- Cap. 11.9 Dispositivi antisismici e di controllo delle vibrazioni

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

NTC – D.M. 17/01/2018

- D.M. 17/01/2018, § 7.10.2 (Requisiti generali...):
"la sovrastruttura e la sottostruttura si devono mantenere in campo sostanzialmente elastico. Per questo la struttura può essere progettata con riferimento ai particolari costruttivi richiesti per le costruzioni caratterizzate, allo SLV, da $a_g S \leq 0.075g$, con deroga, per le strutture in c.a., a quanto previsto al § 7.4.6 e al § 7.9.6".

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

NTC – D.M. 17/01/2018

- D.M. 17/01/2018, § 7.10.6.2.1 (Verifiche dello SLV):
"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 [..]".

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Spostamento di progetto-un po' di storia

OPCM 3274, Cap. 10.8.2 (edifici):

- "I dispositivi del sistema di isolamento devono essere in grado di sostenere, senza rotture, gli spostamenti d_2 , valutati per un terremoto avente probabilità di arrivo inferiori a quello di progetto allo SLU, ottenuto amplificando quest'ultimo del 20%. Nel caso di sistemi di isolamento a comportamento modellabile come lineare, è sufficiente maggiorare del 20 % lo spostamento ottenuto con il terremoto di progetto. Nel caso di sistemi a comportamento non lineare, occorre ripetere le analisi per l'azione sismica maggiorata."

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Spostamento di progetto

DM 17/01/2018:

- § 7.10.2 (Requisiti generali [...]):
"Un'**affidabilità superiore** è richiesta al sistema di isolamento per il ruolo critico che esso svolge. Tale affidabilità si ritiene conseguita se il sistema d'isolamento è progettato e verificato sperimentalmente secondo quanto stabilito nel § 11.9."
- § 7.10.6.2.2 (Verifiche dello SLC):
"I dispositivi del sistema d'isolamento debbono essere in grado di sostenere, senza rotture, gli spostamenti d_2 , valutati per una azione sismica riferita allo SLC."

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

**Modellazione e analisi strutturale
(DM 17/1/2018, § 7.10.5)**

§ 7.10.5.2 Modellazione

- "La s sovrastruttura e la s 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 [...] come avente comportamento visco-elastico lineare oppure con legame costitutivo non lineare. [...] Se è utilizzato un modello lineare, si deve adottare una rigidezza equivalente riferita allo spostamento totale di progetto per lo stato limite in esame di ciascun dispositivo facente parte del sistema di isolamento. [...] Quando la rigidezza 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%"

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Ing. Maria Gabriella Castellano, PhD
FIP MEC Academy

FIPMEC

Ordine Ingegneri di Macerata – 14 gennaio 2021
ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 1
Progettazione con isolatori elastomerici

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) :

- a) 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;
- b) lo smorzamento lineare equivalente del sistema di isolamento, come definito in precedenza, è inferiore al 30%;
- c) 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 $\pm 30\%$ intorno al valore di progetto, e dell'azione verticale sui dispositivi, nel campo di variabilità di progetto;
- d) l'incremento della forza nel sistema d'isolamento per spostamenti tra $0,5 d_{0,2}$ e $d_{0,2}$, essendo $d_{0,2}$ lo spostamento del centro di rigidezza dovuto all'azione sismica, è almeno pari al 2,5% del peso totale della sovrastruttura.

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Analisi lineare dinamica (§ 7.10.5.3.2)

N.B. L'analisi lineare equivalente è SEMPRE a favore di sicurezza per la determinazione dello spostamento del sistema di isolamento.

Invece potrebbe non essere a favore di sicurezza per la verifica della sovrastruttura, perché l'elevata non linearità del sistema di isolamento può modificare la distribuzione delle forze di taglio ai piani, rispetto all'analisi lineare. Non è sufficiente confrontare solo i tagli alla base ottenuti con le analisi lineare equivalente e non lineare (al passo).

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Miglioramento/adequamento sismico

DM 17/01/2018 § 8.4.2 *Intervento di miglioramento:*

"Nel caso di interventi che prevedano l'impiego di sistemi di isolamento, **per la verifica del sistema di isolamento**, si deve avere almeno $\zeta_E = 1,0$ ".

dove ζ_E è il rapporto tra l'azione sismica massima sopportabile dalla struttura e l'azione sismica massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Miglioramento/adequamento sismico

Quindi non è corretto pretendere l'adequamento sismico (al 100%, cioè $\zeta_E = 1,0$) per un edificio esistente oggetto di intervento con isolamento sismico !

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Tipologie dispositivi antisismici

§ 11.9.1 (NTC – DM 17/01/2018)

Dispositivi di vincolo temporaneo:

- Dispositivi di vincolo del tipo "a fusibile"
- Dispositivi (dinamici) di vincolo provvisorio

Dispositivi dipendenti dallo spostamento:

- dispositivi a comportamento lineare o "lineari"
- dispositivi a comportamento non lineare o "non lineari"

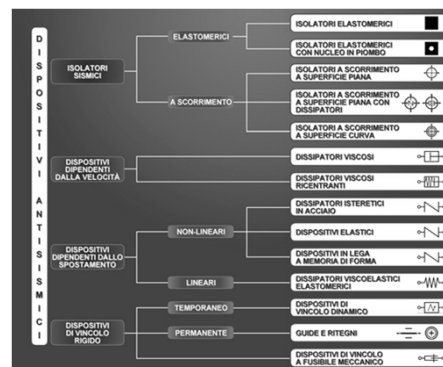
Dispositivi dipendenti dalla velocità o "Viscosi"

Dispositivi di isolamento o "Isolatori":

- Isolatori elastomerici
- Isolatori a scorrimento

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

DISPOSITIVI ANTISISMICI – CLASSIFICAZIONE SECONDO EN 15129



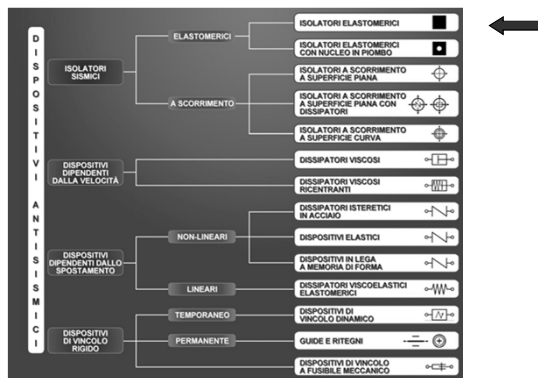
Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Ordine Ingegneri di Macerata – 14 gennaio 2021
ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 1
Progettazione con isolatori elastomerici

Sommaro

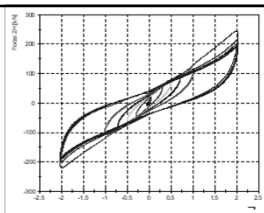
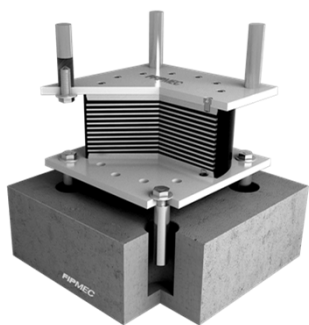
- *l'approccio energetico alla protezione sismica delle strutture*
- *cenni normativi e certificazioni*
- **isolatori elastomerici (ad alto smorzamento o con nucleo in piombo)**
- prove di accettazione sugli isolatori elastomerici
- esempi di edifici nuovi ed esistenti con isolatori elastomerici

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD



Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Isolatori elastomerici ad alto smorzamento



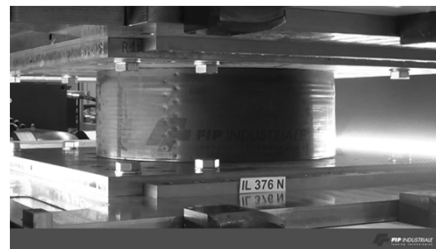
$\xi = 15\%$
 a shear strain 100 %
 e $f=0.5$ Hz

Strati alternati di gomma e lamierini d'acciaio, vulcanizzati

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Isolatori elastomerici

Prova di qualifica a s.s. 200 % presso il Laboratorio FIP su un isolatore SI-H 950/195



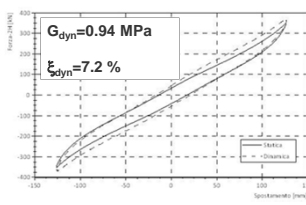
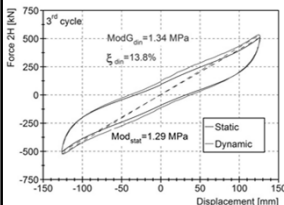
diametro 950 mm
 $t_e = 195$ mm
 Spost. ± 390 mm
 Max. carico verticale 12875 kN
 Max. velocità 1225 mm/s

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Isolatori elastomerici

Alto smorzamento

Basso smorzamento



Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Isolatori elastomerici ad alto smorzamento serie SI

3 mescole ad alto smorzamento

	S	N	H
MODULO G a shear strain 100 % (MPa)	0.4	0.8	1.4

smorzamento 15 % a shear strain 100 %

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

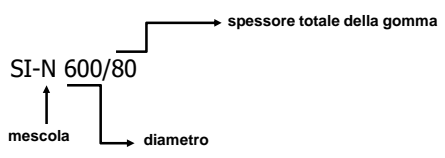
Ing. Maria Gabriella Castellano, PhD
FIP MEC Academy



Ordine Ingegneri di Macerata – 14 gennaio 2021
ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 1
Progettazione con isolatori elastomerici

Isolatori elastomerici ad alto smorzamento serie SI

- la sigla identifica la geometria e la mescola:



- il vecchio catalogo FIP Industriale (implementato in alcuni software) è molto cautelativo, ma può essere un riferimento per capire il range di rigidezze realizzabili

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

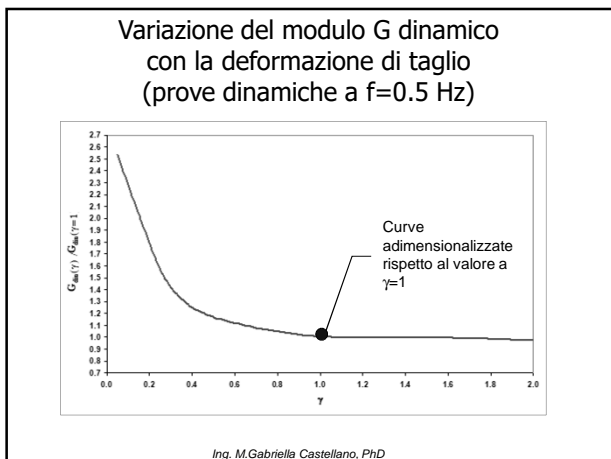
Isolatori elastomerici ad alto smorzamento serie SI MODELLAZIONE LINEARE

- possono essere modellati con molle orizzontali, con rigidezza pari alla rigidezza efficace K_e

7.10.5.2 MODELLAZIONE

Se è utilizzato un modello lineare, si deve adottare una rigidezza equivalente riferita allo spostamento totale di progetto per lo stato limite in esame di ciascun dispositivo facente parte del sistema di isolamento. La rigidezza totale equivalente del sistema di isolamento, K_{eq} , è pari alla somma delle rigidezze equivalenti dei singoli dispositivi. L'energia dissipata dal sistema d'isolamento deve essere espressa in termini di coefficiente di smorzamento viscoso equivalente del sistema d'isolamento ζ_{iso} , valutato con riferimento all'energia dissipata dal sistema di isolamento in cicli con frequenza nell'intervallo delle frequenze naturali dei modi considerati. Per i modi superiori della struttura, al di fuori di tale intervallo, il rapporto di smorzamento del modello completo deve essere quello della sovrastruttura nella condizione di base fissa.

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

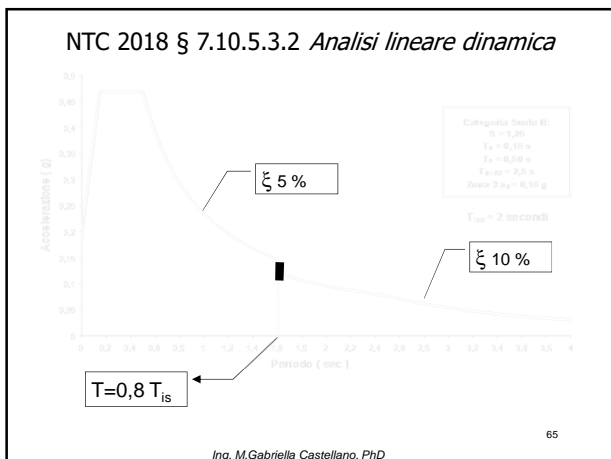


Isolatori elastomerici ad alto smorzamento serie SI MODELLAZIONE

si tiene conto dello smorzamento nello spettro;
 NTC 2018 § 7.10.5.3.2 *Analisi lineare dinamica*:

Lo spettro elastico definito in § 3.2.3.2 va ridotto per tutto il campo di periodi $T \geq 0.8 T_{iso}$, assumendo per il coefficiente riduttivo η il valore corrispondente al coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ζ_{iso} del sistema di isolamento.

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD



Isolatori elastomerici ad alto smorzamento serie SI MODELLAZIONE

- la rigidezza verticale K_V solitamente è molto alta. Ma attenzione alla richiesta della normativa di considerare il sisma verticale se $K_V / K_e < 800$

7.10.5.2 MODELLAZIONE

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_e è inferiore a 800.

7.10.5.3.2 Analisi lineare dinamica

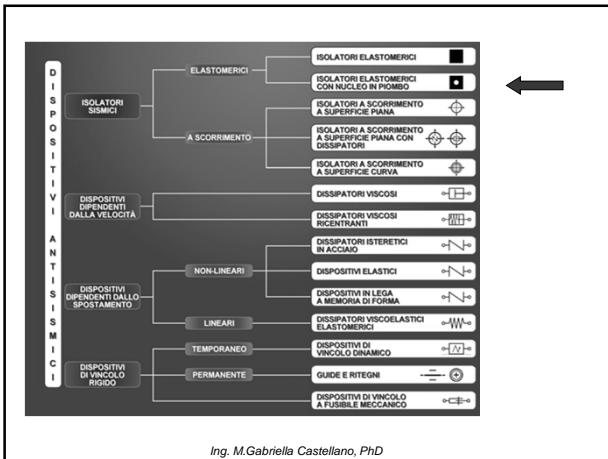
Nel caso si adotti l'analisi modale con spettro di risposta, questa deve essere svolta secondo quanto specificato in § 7.3.3.1, salvo diverse indicazioni fornite nel presente paragrafo. Le due componenti orizzontali dell'azione sismica si considerano in generale agenti simultaneamente, adottando, ai fini della combinazione degli effetti, le regole riportate in § 7.3.3.1. La componente verticale deve essere messa in conto nei casi previsti in § 7.2.2 e, in ogni caso, quando il rapporto tra la rigidezza verticale del sistema di isolamento K_v e la rigidezza equivalente orizzontale K_e risulti inferiore a 800. In tali casi si avrà cura che la massa eccitata dai modi in direzione verticale considerati nell'analisi sia significativa.

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Ing. Maria Gabriella Castellano, PhD
FIP MEC Academy

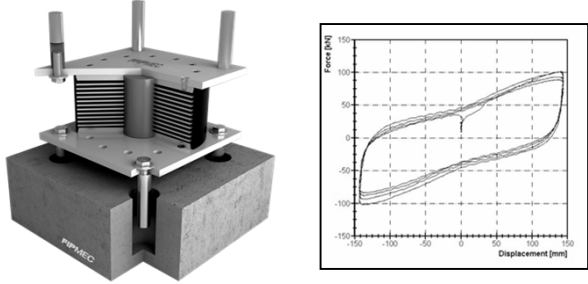


Ordine Ingegneri di Macerata – 14 gennaio 2021
ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 1
Progettazione con isolatori elastomerici



Isolatori elastomerici con nucleo in piombo

- ξ fino a $\approx 30\%$ grazie alla plasticizzazione del nucleo in Pb
- Comportamento NON LINEARE



Sommario

- *l'approccio energetico alla protezione sismica delle strutture*
- *cenni normativi e certificazioni*
- *isolatori elastomerici ad alto smorzamento e con nucleo in piombo*
- **prove di accettazione sugli isolatori elastomerici**
- *esempi di edifici nuovi ed esistenti con isolatori elastomerici*

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Prove di qualifica e di accettazione secondo EN 15129 su isolatori elastomerici

Table 11 – Isolator testing and requirements

Test	Type test requirements	Factory production control test requirements
Capacity in compression under vertical displacement	Report R_v . No defects visible. See 8.2.1.2.6.	N/A
Compression stiffness	Report value. See 8.2.1.2.6.	Within 100% of type test value. No defects visible. See 8.2.1.2.6.
*Horizontal characteristics K_x and Q_x (or K_y and Q_y) under static conditions	Report strain dependence. At design displacement, Q_x values within 100% of design value. See 8.2.1.2.2.	Values within 100% of nominal values. See 8.2.1.2.2.
*Horizontal stiffness under one-sided ramp loading (flexural) of cyclic horizontal stiffness and damping from production control test not measured at shear strain amplitude close to value $\gamma_{lim}(0.0010)$ (8.1.1)	Report value at design displacement, Q_x . See 8.2.1.2.2.	Within +20% of adjusted type test value. See 8.2.1.2.2.
*Variation of horizontal characteristics K_x and Q_x (or K_y and Q_y) with frequency	Report variation. Maximum variation +20%. See 8.2.1.2.3.	N/A
*Variation of horizontal characteristics K_x and Q_x (or K_y and Q_y) with temperature	Report variation. Maximum variation within limits set in 8.2.1.2.4.	N/A
Dependence of horizontal characteristics K_x and Q_x (or K_y and Q_y) on repeated cycling	Dependence within limits specified in 8.2.1.2.5.	N/A
*Lateral capacity under maximum and minimum vertical loads	Force/displacement curves (encompassing both sides). No defects. See 8.2.1.2.7.	N/A
Change of horizontal characteristics K_x and Q_x of the isolator (or K_y only for LRB manufactured using low damping elastomer) due to ageing	Change $\pm 20\%$.	N/A
Crimp test under vertical load*	Total Crimp rate = 20% per month. See 8.2.1.2.10.	N/A

*Optional test. ¹For low damping bridge isolators subjected to small seismic actions, only the second method can be used. See 8.2.1.2.11 for more information.

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Prove di qualifica su isolatori elastomerici (EN 15129)

- Devono essere eseguite su 2 isolatori in scala reale
- Prove precedenti possono essere estese a dispositivi simili:

The following modifications to an isolator shall require a new set of type tests:

- different elastomer compound;
- variation of the shape factor of the elastomer layers of more than 10 % with respect to that of a device already tested;
- increase of any external dimension of the isolator or of the plan dimension of the internal reinforcing plates of more than 10 %;
- decrease of any external dimension of the isolator or of the plan dimension of the internal reinforcing plates of more than 50 %;
- a different type of attachment system is used;
- different moulding conditions are used.

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Procedura di qualificazione § 11.9.2. NTC 2018

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.

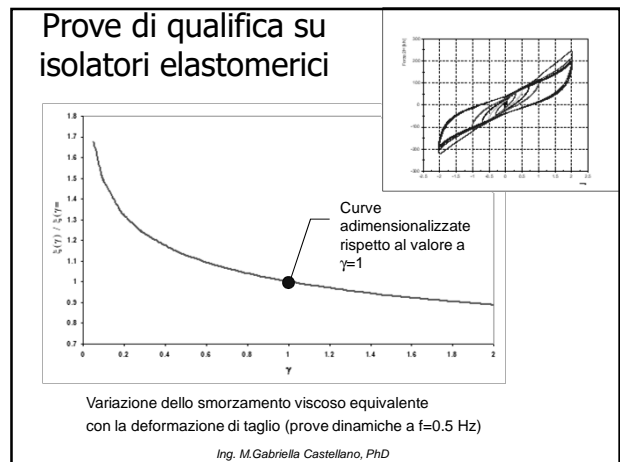
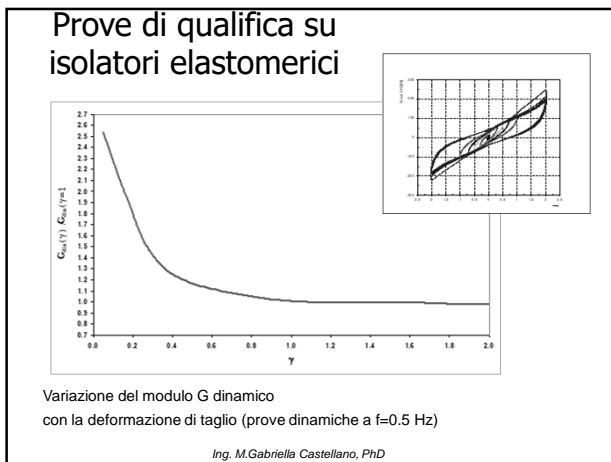
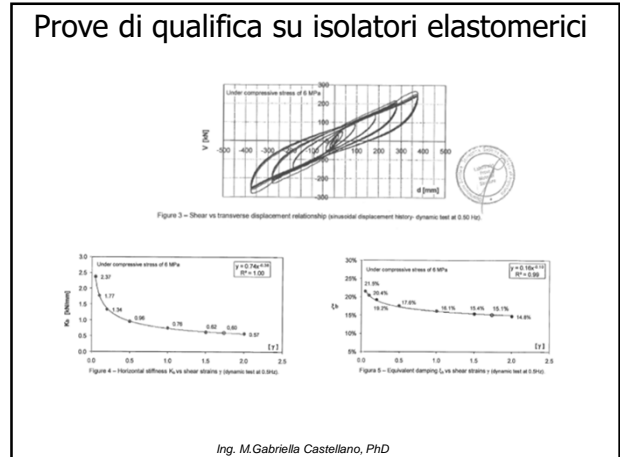
Le procedure di qualificazione hanno lo scopo di dimostrare che il dispositivo è in grado di mantenere la propria funzionalità nelle condizioni d'uso previste durante tutta la vita di progetto.

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Ing. Maria Gabriella Castellano, PhD
FIP MEC Academy



Ordine Ingegneri di Macerata – 14 gennaio 2021
ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 1
Progettazione con isolatori elastomerici



Prove di accettazione (factory production control tests) secondo EN 15129

Nella norma armonizzata EN 15129 la % di dispositivi da sottoporre a prove di accettazione non è uguale per tutti i dispositivi antisismici come nel DM 2018 (20%), ma dipende dalla tipologia di dispositivo, e varia in genere dal 2 % al 20 % circa, con qualche caso specifico al 100 % (es. struttura con solo 4 isolatori elastomerici).

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

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

- Isolatori elastomerici:
 sul primo pezzo prodotto + 20 %

For each type of isolator, the factory production control compression test and compression and shear test (see Table 11) shall be carried out on the first production isolator. Subsequently, at least 20 % of the production isolators of each type, chosen randomly, shall be subjected to both factory production control tests. For projects involving a structure supported by four or fewer isolators, all the production isolators for that structure shall be tested unless otherwise agreed with the Structural Engineer.

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

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

Ordine Ingegneri di Macerata – 14 gennaio 2021
ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 1
Progettazione con isolatori elastomerici

**Prove di accettazione
secondo NTC 2018 sugli isolatori (1/2)**

11.9.3. PROCEDURA DI ACCETTAZIONE

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.

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

**Prove di accettazione
secondo NTC 2018 sugli isolatori (2/2)**

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.

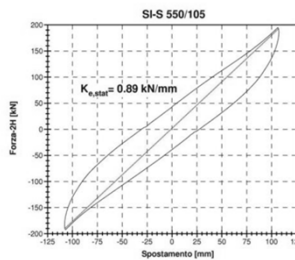
Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

**Prove di accettazione
(factory production control tests)
secondo EN 15129 sugli isolatori elastomerici**

- Sono ammesse prove sia sul singolo isolatore che su una coppia di isolatori
- Sono preferite le prove cicliche, ma sono ammesse anche prove in un solo verso (one-sided ramp test) in assenza (o indisponibilità) di apparecchiatura di prova adatta alle prove cicliche: può succedere solo in caso di grandissimi spostamenti
- Sono ammesse prove quasi-statiche

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

**Prove di accettazione
quasi-statiche su
isolatori elastomerici**



PhD

**Prove di accettazione dinamiche su
isolatori elastomerici**



SI-H 800/144
V=5734 kN
d = ± 200 mm
f=0.5 Hz

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Sommario

- *l'approccio energetico alla protezione sismica delle strutture*
- *cenni normativi e certificazioni*
- *isolatori elastomerici ad alto smorzamento e con nucleo in piombo*
- *prove di accettazione sugli isolatori elastomerici*
- *esempi di edifici nuovi ed esistenti con isolatori elastomerici*

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD


Ing. Maria Gabriella Castellano, PhD
FIP MEC Academy



Ordine Ingegneri di Macerata – 14 gennaio 2021
ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 1
Progettazione con isolatori elastomerici

Edificio con isolatori elastomerici

- In fase di predimensionamento, l'edificio può essere considerato come un sistema ad 1 g.d.l., dove k è la rigidità complessiva degli isolatori elastomerici, ed m è la massa dell'edificio:

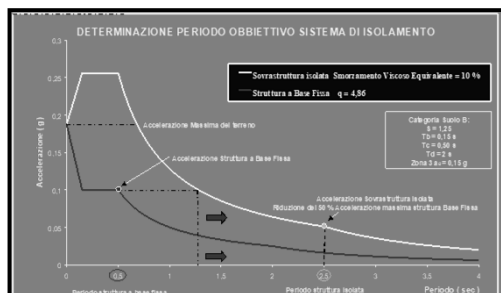


$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Predimensionamento del sistema di isolamento (1/4) (isolatori elastomerici)

- scelta del "periodo obiettivo"



Predimensionamento del sistema di isolamento (2/4) (isolatori elastomerici)

- una volta scelto il "periodo obiettivo" della struttura isolata, nota la massa, è individuata la rigidità complessiva del sistema di isolamento
- noto il numero di pilastri e quindi di isolatori, è individuata anche la rigidità del singolo isolatore (nell'ipotesi che siano tutti uguali)

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Predimensionamento del sistema di isolamento (3/4) (isolatori elastomerici)

- il carico verticale per isolatore che serve per la scelta dell'isolatore è quello in condizioni sismiche
- lo spostamento corrispondente al periodo scelto ed allo smorzamento degli isolatori selezionati (15 % se elastomerici in mescola dissipativa) viene calcolato dallo spettro di spostamento

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Predimensionamento del sistema di isolamento (4/4) (isolatori elastomerici)

Gli isolatori vengono quindi dimensionati ad hoc, o scelti tra gli isolatori standard elencati in catalogo, sulla base di:

- * **rigidezza orizzontale**
- * **spostamento orizzontale**
- * **carico verticale**
- * **rotazione**

NB: Nei **ponti** le verifiche degli isolatori elastomerici per azioni non sismiche, secondo la norma europea degli appoggi EN 1337, spesso sono più gravose di quelle per azioni sismiche

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Isolatori elastomerici (serie SI)

- Se non si trova nel catalogo un isolatore adatto, consultare il produttore, inviando tutti i dati di progetto:

Tabella dati per isolatori elastomerici SI per edifici			
Secondo EN 15129:2009 e EN 1337			
Nome completo opera:			
Data:			
Materiale a contatto con estradosso isolatore (Acciaio, CLS gettato, c.a.p.):			
Materiale a contatto con intradosso isolatore (Acciaio, CLS gettato, c.a.p.):			
Definizione	Simbolo (U.M.)	Isolatore 1	Isolatore 2
Posizioni nella struttura			
Quantità	[n]		
Condizione sismica			
Rigidità orizzontale equivalente	K_H [kN/m]		
Forza verticale massima in condizioni sismiche alla SIC	N_{max} [kN]		
Forza verticale minima in condizioni sismiche alla SIC (solo se di trazione, con segno meno)	N_{min} [kN]		
Spostamento orizzontale massimo dovuto solo al sisma alla SIL (Nota 1)	d_{01} [mm]		
Spostamento orizzontale massimo dovuto solo al sisma alla SIL (Nota 1)	$\% d_{01}$ [mm]		
Spostamento massimo totale (1° - d_{01} = 50% spostamento termico + ritiro, flange ass.)	d_{02} [mm]		
Rotazione massima in condizioni sismiche	θ_0 [rad]		
Nota 1) Si intende lo spostamento orizzontale indotto dalle azioni sismiche combinate nelle due direzioni principali X e Y, da per analisi lineari 30% in dir. X + 100% in dir. Y o al contrario.			
Condizione non sismica			
Carico quasi permanente	N_q [kN]		
Forza verticale massima in condizioni non sismiche alla SIL	N_s [kN]		

Ordine Ingegneri di Macerata – 14 gennaio 2021
ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 1
Progettazione con isolatori elastomerici

Isolatori elastomerici (serie LRB)

- Se non si trova nel catalogo un isolatore adatto, consultare il produttore, inviando tutti i dati di progetto:

Tabella dati per isolatori elastomerici LRB per edifici
 secondo BN 321/2001 + UNI 11377
 No me completo opera:

Data			
Materiale a contatto con estradoso isolatore (Acciaio, CLS gettato, c.a.p.)			
Materiale a contatto con intradoso isolatore (Acciaio, CLS gettato, c.a.p.)			
Definizione	Simbolo [kN]	Isolatore 1	Isolatore 2
Posizione nella struttura			
Quantità	[n°]		
Logica costruttiva dell'isolatore in condizioni statiche			
Rigidezza in direzione di spostamento nulla			
Rigidezza in direzione di spostamento	K_e [kN/mm]		
Rigidezza secondaria	K_s [kN/mm]		
In presenza di K_e e K_s , indicare			
Rigidezza orizzontale in equivalente all'isolamento	K_{eq} [kN/mm]		
Spostamento orizzontale equivalente all'isolamento d_{eq}			
Condizione statica	Simbolo [kN]		
Carico verticale massimo in condizioni statiche allo SLC			
Porta verticale massima in condizioni statiche allo SLC	N_{max} [kN]		
Spostamento orizzontale massimo dovuto solo al sistema all'isola 1			
Spostamento orizzontale massimo dovuto solo al sistema all'isola 2	d_{h1} [mm]		
Spostamento massimo totale ($d_{h1} + d_{h2} + 50\%$ spostamento termico + fessure, fessure)	$d_{h,tot}$ [mm]		
Rotazione massima in condizioni statiche			
	α_{max} [m]		

Condizione non statica

Simbolo [kN]			
Carico quasi permanente			
N_{qp} [kN]			

Nota 1: Per determinazioni come nel diagramma si intende il spostamento statico e dinamico della sezione che combinate nella due direzioni principali in 1/4 per analisi lineari (dove da 4/4) e 1/8 per analisi non lineari.

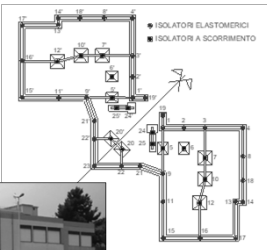
Accoppiamento di isolatori elastomerici ed appoggi scorrevoli multidirezionali (slitte)

- E' molto frequente negli edifici di pochi piani e luci limitate, ed è finalizzato soprattutto ad aumentare il periodo di isolamento
- Spesso è utile anche a correggere i problemi torsionali (ossia ridurre il più possibile l'eccentricità tra centro di rigidezza degli isolatori e centro di massa dell'edificio)
- Può anche ridurre i costi
- Attenzione a non esagerare con la quantità di appoggi: è bene mantenere una buona ridondanza degli isolatori elastomerici: si consiglia n° appoggi $\leq 50\%$ n° isolatori elastomerici

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

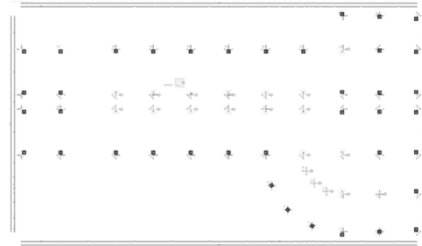
Scuola elementare "Quasimodo" Riposto (CT)

Miglioramento sismico (95%) - 2007
 Nessun intervento sulla sovrastruttura
 n° 33 isolatori elastomerici SI-N 400/108
 N° 16 appoggi VM 175/500/500
 Sistema di isolamento nel piano interrato



Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

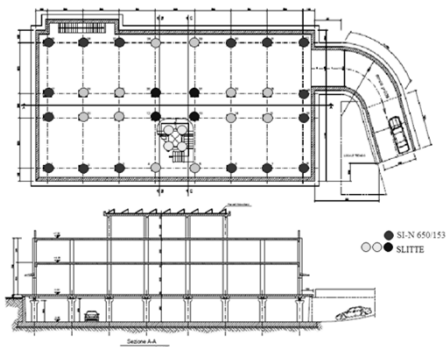
Scuola in loc. Casal Monastero, Roma



39 isolatori elastomerici SI-S 550/105 ($K_e=0.91$ kN/mm), $\xi > 10\%$
 21 appoggi multidirezionali, suddivisi in due tipi:
 6 VM 100/400/400 • 15 VM 200/400/400

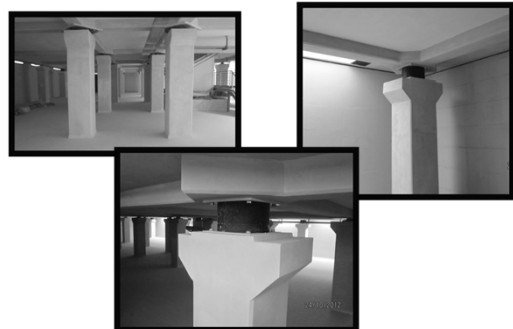
Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Fabbricato C.da Fontana Filoero – Augusta (SR)



Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Fabbricato C.da Fontana Filoero – Augusta (SR)



Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

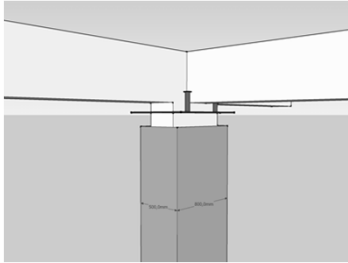
Ing. Maria Gabriella Castellano, PhD
FIP MEC Academy



Ordine Ingegneri di Macerata – 14 gennaio 2021
ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 1
Progettazione con isolatori elastomerici

Condominio Borgo dei Tigli, 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

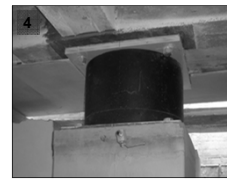


Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Condominio Borgo dei Tigli, L'Aquila



- $T_{eff} = 0.5$ s $T_1 = 2.30$ s
- 41 isolatori elastomerici + 40 appoggi scorrevoli
- Messa in carico degli isolatori mediante martinetti piatti a perdere



Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Condominio Andromeda, L'Aquila



**EDIFICIO INAGIBILE
A SEGUITO DEL SISMA DEL
6/04/2009**

**INTERVENTI
STRUTTURALI SOLO AL
PIANO CANTINATO**



- nuovi baggioli superiore ed inferiore in c.a., tra cui si inseriscono i martinetti per il trasferimento del carico

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Condominio Andromeda, L'Aquila



**RINGROSSO DEI
PILASTRI
CON
PREDISPOSIZIONE
PER L'ANCORAGGIO
DEI DISPOSITIVI**

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Condominio Andromeda, L'Aquila



**GETTO DEI DADI
ALL'INCROCIO DELLE
TRAVI A FORMARE
PULVINI**



**CONTROPIASTRA/DIMA
SUPERIORE CON
FUNZIONE
DI FONDOCASSERO
PER IL DADO E
ANCORAGGIO PER
L'ISOLATORE**

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Condominio Andromeda, L'Aquila



**PRESA IN CARICO MEDIANTE
MARTINETTI IDRAULICI**

**TAGLIO DEL PILASTRO CON
SEGA A FILO DIAMANTATO**



**INSERIMENTO DISPOSITIVI E
INGHISAGGIO ANCORAGGI INFERIORI**

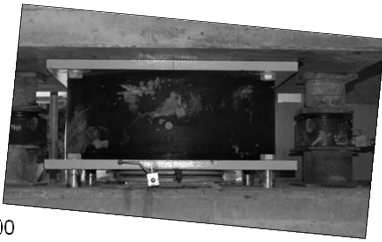
Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Ing. Maria Gabriella Castellano, PhD
FIP MEC Academy



Ordine Ingegneri di Macerata – 14 gennaio 2021
ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 1
Progettazione con isolatori elastomerici

Condominio Andromeda, L'Aquila



- 8 SI-S 700/200
 - 11 SI-S 800/200
 - 15 VM 250/700/700
- installati con martinetti piatti a perdere

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Condominio Andromeda, L'Aquila



Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Condominio Andromeda, L'Aquila



Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Condominio Andromeda, L'Aquila



Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Edifici isolati
alla prova del sisma

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Edificio residenziale – Corridonia (MC)



progettazione
strutturale
ALL INGEGNERIA,
Ancona

Ing. M.Gabriella Castellano, PhD

Ing. Maria Gabriella Castellano, PhD
FIP MEC Academy

FIPMEC

Ordine Ingegneri di Macerata – 14 gennaio 2021
ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 1
Progettazione con isolatori elastomerici

Edificio residenziale – Corridonia (MC)



11 Isolatori elastomerici SI
 23 appoggi multidirezionali VM

Ing. M. Gabriella Castellano, PhD

ottimo
comportamento
nei recenti sismi

Spettri registrati in 4 stazioni epicentrali 24/08/2016 a confronto con gli spettri di progetto di normativa

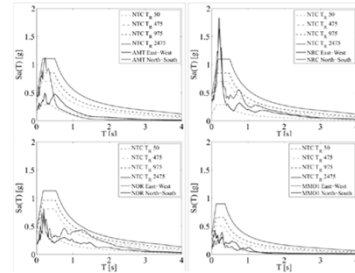
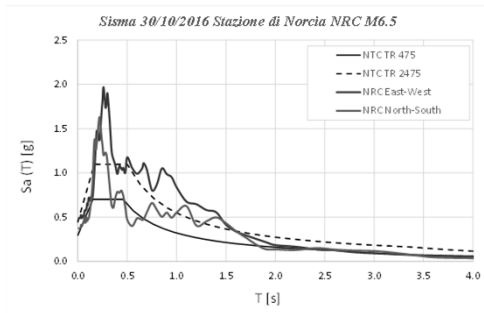


Figure 9.1. Comparison of four epicentral stations' response spectra (horizontal components) with respect to the Italian code elastic response spectra at various return periods.

(Estratta da "ReLUIS-INGV Workgroup (2016), Preliminary study on strong motion data of the 2016 central Italy seismic sequence V6, available at <http://www.reluis.it>)

Spettri registrati nella stazione di Norcia 30/10/2016 a confronto con gli spettri di progetto di normativa



Condominio Del Vecchio - L'Aquila



demolizione e
 ricostruzione
 post-sisma

n. 14 isolatori SI-S 700/160
 n. 7 appoggi scorrevoli VM 300/600/600

Condominio Del Vecchio - L'Aquila – 24/08/2016



Condominio Del Vecchio - L'Aquila – 30/10/2016

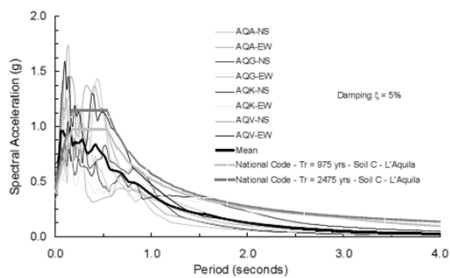


Ing. Maria Gabriella Castellano, PhD
FIP MEC Academy



Ordine Ingegneri di Macerata – 14 gennaio 2021
ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI – Parte 1
Progettazione con isolatori elastomerici

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.)

