

## ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI Parte 1

### Progettazione con isolatori elastomerici


**Ordine degli Ingegneri della Provincia di Macerata**  
 Commissione Strutture e Geotecnica

# ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI

## Progettazione con isolatori elastomerici

Macerata, 14 gennaio 2021

**Alberto Dusi**

Numeria Consulting Engineers S.r.l. – Cremona, Italy

www.numeria-eng.it dusi@numeria-eng.it

1

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

- Progetto di un edificio isolato con isolatori elastomerici
- Analisi numerica lineare di edifici sismicamente isolati
- Cenni all'isolamento sismico di edifici esistenti

2

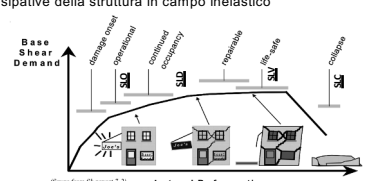
A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

### APPROCCIO CONVENZIONALE ALLA PROGETTAZIONE SISMICA

- La normativa si propone di fornire delle indicazioni progettuali e di verifica con un'impostazione "prestazionale"
- Le prestazioni della struttura sono collegate a degli "stati limite": stato limite è la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata
- Viene proposto un approccio progettuale che si prefigge di assegnare una resistenza differenziata ai diversi elementi strutturali (gerarchia delle resistenze), sfruttando le capacità dissipative della struttura in campo inelastico

STRUTTURE CONVENZIONALI



(Figure from [8] report 7-2)

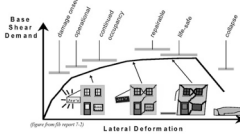
3

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

### FILOSOFIA NORMATIVA: progettare un sistema strutturale che sopporti un predefinito livello di danno sotto un prestabilito livello di intensità sismica

STRUTTURE CONVENZIONALI



Correlazione fra livelli di prestazione degli elementi strutturali e non strutturali

- stato limite ultimo:** considera un evento sismico che ha periodo di ritorno elevato rispetto alla vita di servizio della struttura (SLV, SLC) per tale evento si ammette che la struttura possa sostenere danni di grave entità, conservando però la capacità di sopportare i carichi verticali e quindi non crollare → **comportamento inelastico**
- stato limite di esercizio:** considera un evento con periodo di ritorno molto più piccolo e paragonabile con la vita di servizio della struttura (SLD, SLO); la struttura deve rimanere in servizio dopo l'evento sismico → **comportamento elastico**

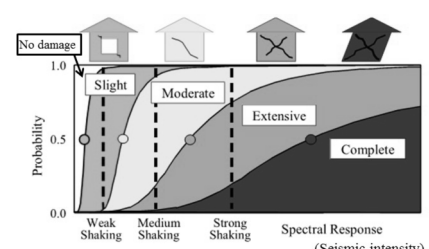
4

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

### FILOSOFIA NORMATIVA: progettare un sistema strutturale che sopporti un predefinito livello di danno sotto un prestabilito livello di intensità sismica

STRUTTURE CONVENZIONALI



Fragility curves for each damage state (Hazus-MH 2.1 AEBM, 2001)

5

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

### FILOSOFIA NORMATIVA: progettare un sistema strutturale che sopporti un predefinito livello di danno sotto un prestabilito livello di intensità sismica

STRUTTURE CONVENZIONALI



Damage to post-1980s RC moment-resisting frames and walls  
Courtesy of Prof. S. Pampani

6





## ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI Parte 1

### Progettazione con isolatori elastomerici

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici



Christchurch (New Zealand): beam plastic hinges in a 22 - storey moment frame building. The damage was consistent with the prevalent capacity – design philosophy  
Courtesy of Prof. S. Pampani

7

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici



Quale capacità residua?  
Riparabili? Come?

RISULTATO:  
DEMOLIZIONE

8

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

IL SISTEMA "ANTI-SISMICO" DA CODICE



9

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

RISPOSTA SISMICA DEGLI EDIFICI A BASE FISSA



**DANNI STRUTTURALI**  
scorrimenti di piano rilevanti  
forti accelerazioni di piano

10

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

DANNI STRUTTURALI NEGLI EDIFICI A BASE FISSA



The 1971 San Fernando, California, earthquake (magnitude 6.7) severely damaged the recently built Olive View Hospital

11

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

DANNI STRUTTURALI NEGLI EDIFICI A BASE FISSA



The 1971 San Fernando, California, earthquake (magnitude 6.7) severely damaged the recently built Olive View Hospital

12



**ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI Parte 1**

**Progettazione con isolatori elastomerici**

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**DANNI STRUTTURALI NEGLI EDIFICI A BASE FISSA**

San Salvatore Hospital after the L'Aquila 2009 earthquake

13

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**DANNI STRUTTURALI NEGLI EDIFICI A BASE FISSA**

Evacuated patients lie on their hospital beds shaded by a tree, in the aftermath of the 2017 earthquake, in Juchitan, Oaxaca state, Mexico

14

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**DANNI NON STRUTTURALI NEGLI EDIFICI A BASE FISSA**

Building Type	Contents (%)	Nonstructural (%)	Structural (%)
Office	20.0%	62.0%	18.0%
Hotel	17.0%	70.0%	13.0%
Hospital	44.0%	48.0%	8.0%

*Investments in building construction (Miranda 2003)*

Gli elementi non strutturali rappresentano una percentuale importante del costo di un edificio.

15

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**DANNI NON STRUTTURALI NEGLI EDIFICI A BASE FISSA**

16

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**DANNI NON STRUTTURALI NEGLI EDIFICI A BASE FISSA**

17

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**DANNI NON STRUTTURALI NEGLI EDIFICI A BASE FISSA**

18



## ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI Parte 1

### Progettazione con isolatori elastomerici

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**LA SFIDA / OPPORTUNITA' PER IL FUTURO:  
TECNOLOGIE A ZERO / BASSO DANNEGGIAMENTO**

Isolamento alla base



Christchurch Women Hospital

Tecnologie Rocking/Dissipative



Southern Cross Hospital Endoscopy Building

19

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**CHRISTCHURCH WOMEN'S HOSPITAL**




Specifically built Base Isolated structure  
Only 1-2 km from centre of CHCH

20

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021


Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**CHRISTCHURCH WOMEN'S HOSPITAL**



<http://www.cofoh.health.nz/hospitals-services/hospitals/Christchurch-Womens-Hospital/Pages/default.aspx>

Irregular structure  
Little or no damage (one ceiling tile dislodged)  
Did not close during any seismic event

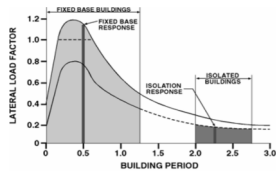
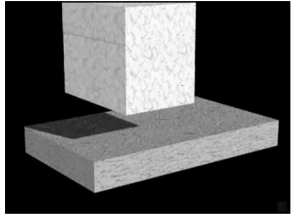


21

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**ISOLAMENTO SISMICO ALLA BASE DI EDIFICI**

22

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**ISOLAMENTO SISMICO: BENEFICI**

La riduzione delle accelerazioni sulla struttura, rispetto alla configurazione a base fissa, determina:

- l'abbattimento delle forze di inerzia, e quindi delle sollecitazioni, prodotte dal sisma sulla struttura, tale da evitare il danneggiamento anche sotto un violento terremoto
- una drastica riduzione degli spostamenti di interpiano, tale da eliminare il danno agli elementi non strutturali e garantire la piena funzionalità dell'edificio anche a seguito di terremoti violenti
- un'elevata protezione del contenuto strutturale
- una percezione molto minore delle scosse sismiche da parte degli occupanti
- il calcolo e il progetto dei dettagli strutturali delle costruzioni isolate è più semplice rispetto a quello di una struttura convenzionale fissa alla base

23

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**ISOLAMENTO SISMICO: BENEFICI**

I benefici si traducono in una drastica riduzione (o nel totale azzeramento) dei costi di riparazione dell'edificio a seguito di un evento sismico. Rispetto ad una normale struttura antisismica, i **costi** iniziali possono essere leggermente superiori (dell'ordine di qualche % del costo strutturale) ma possono anche risultare inferiori in funzione di numerosi parametri, quali:

- le dimensioni dell'edificio e, soprattutto, il numero di piani
- la configurazione dell'edificio, in relazione alla facilità di individuare il piano di isolamento
- la maglia strutturale, in relazione al numero di dispositivi necessari per realizzare il sistema di isolamento
- il contenuto in frequenze dell'azione di progetto, in relazione all'entità dell'abbattimento delle accelerazioni
- il tipo di dispositivi del sistema di isolamento

24





## ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI Parte 1


### Progettazione con isolatori elastomerici

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

#### POSSIBILITA' DELL'ISOLAMENTO SISMICO

- Migliori prestazioni
- Miglioramento di situazioni esistenti inadatte o pericolose
- Sviluppo di nuove configurazioni ammesse, o richieste, dalle nuove prestazioni
- Semplicità di controllo delle azioni torcenti
- Maggiore libertà formale
- Possibilità di usare in zone ad alta sismicità sistemi sviluppati per zone di media/bassa sismicità
- Utilizzabile per sistemi costruttivi industrializzati
- Utilizzabile per la protezione sismica di impianti e componenti industriali



25

25


A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

#### POSSIBILITA' DELL'ISOLAMENTO SISMICO

Negli interventi di adeguamento/miglioramento, la strategia dell'isolamento sismico risulta spesso vincente rispetto a soluzioni convenzionali, in quanto:

- consente di ridurre gli interventi di rinforzo sulla (sovra)struttura
- consente, durante le operazioni di retrofit, di limitare l'interferenza con il normale utilizzo della struttura
- l'edificio può rimanere "in funzione" durante le operazioni di retrofit



26

26

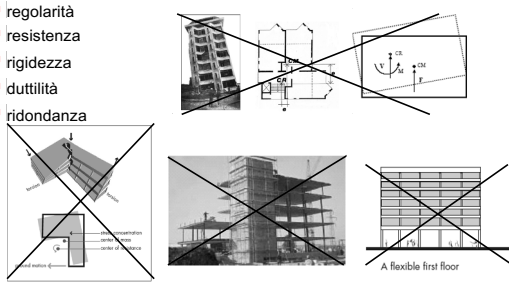
A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

#### STADIO CONCETTUALE NEL PROGETTO CONVENZIONALE

... è (dovrebbe essere) guidato dai criteri di:

- regolarità
- resistenza
- rigidità
- duttilità
- ridondanza



27

27

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

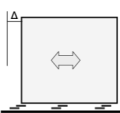
#### STADIO CONCETTUALE NEL PROGETTO CON ISOLAMENTO

deve essere guidato da "nuovi concetti":

- deformazione
- movimento
- discontinuità
- visibilità (dei dispositivi)
- forma (correlata ai dispositivi)

aspetti che devono essere considerati fin dai primi stadi della progettazione

anche un edificio caratterizzato da forme irregolari può avere una risposta "regolare" se viene disposto un sistema di isolamento caratterizzato da un centro di rigidità coincidente con il centro di massa dell'edificio



28

28


A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

#### ISOLAMENTO SISMICO ALLA BASE DI EDIFICI

##### CARATTERISTICHE FONDAMENTALI PER L'OTTENIMENTO DI PRESTAZIONI OTTIMALI

- ✓ Il periodo di oscillazione deve essere abbastanza alto ( $> 2$  s) per raggiungere il campo della risposta sismica ridotta
- ✓ L'edificio al di sopra degli isolatori deve essere sufficientemente rigido e compatto
- ✓ Il rapporto tra il periodo "isolato" e quello "a base fissa" deve essere abbastanza elevato ( $> 3$ ) per ottenere un effettivo disaccoppiamento dal moto sismico.

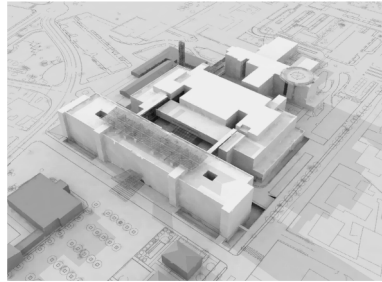


29

29

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici



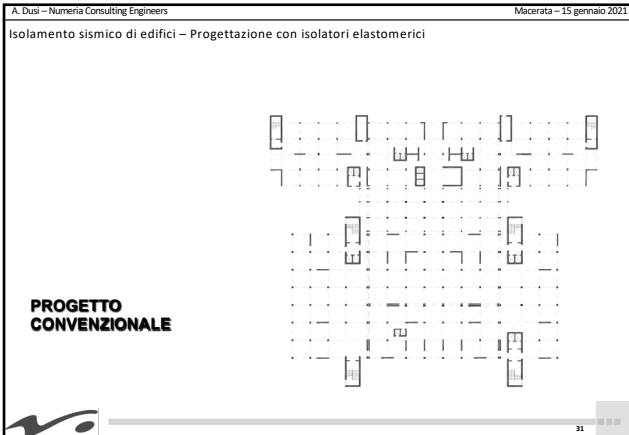
30

30



## ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI Parte 1

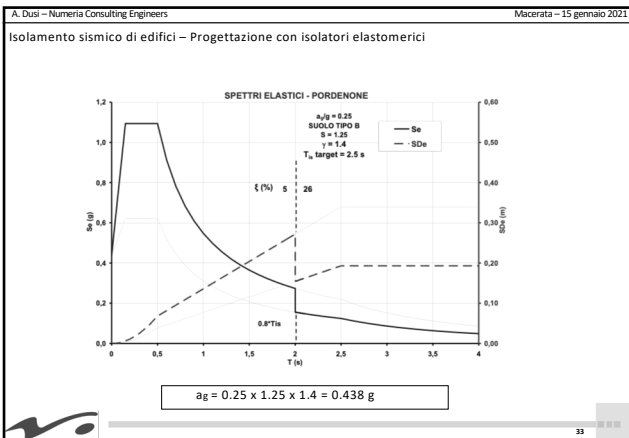
### Progettazione con isolatori elastomerici



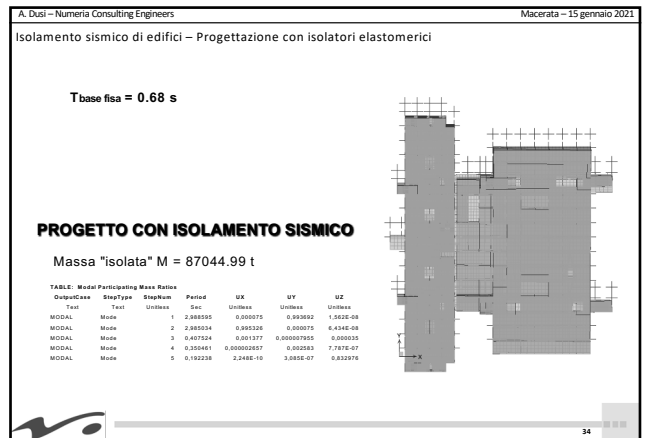
31



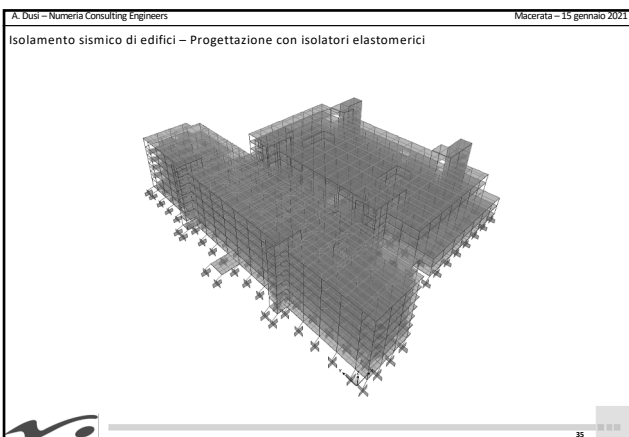
32



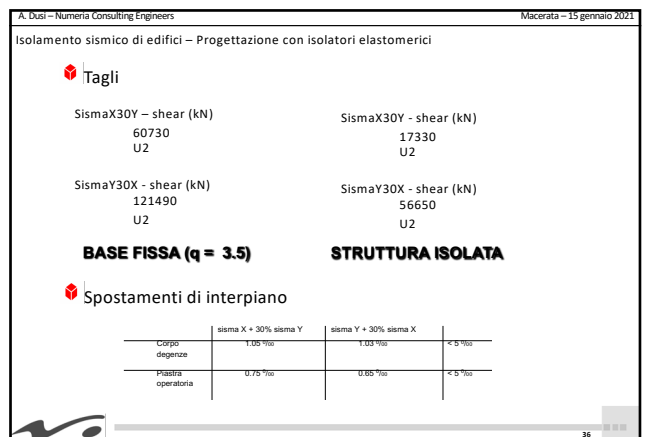
33



34



35

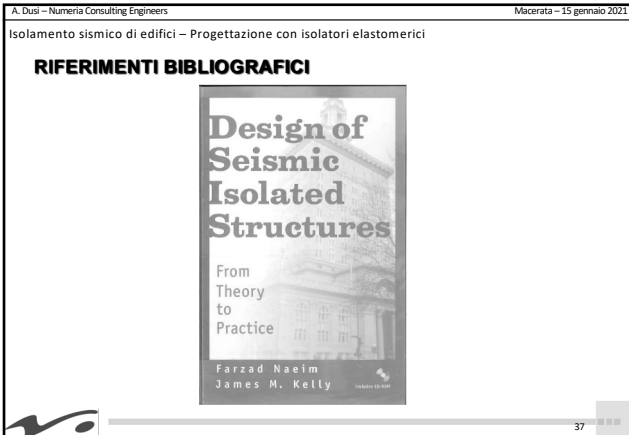


36

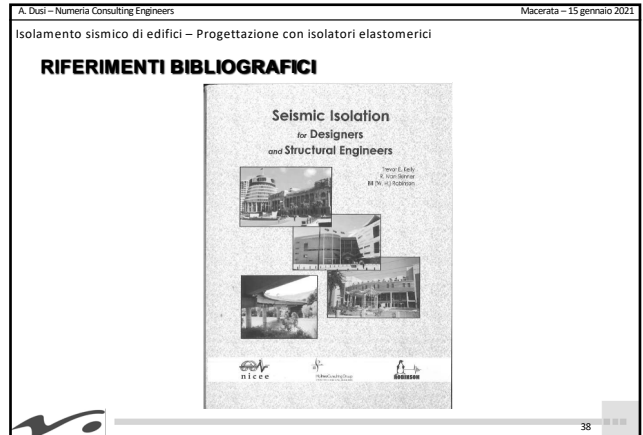


## ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI Parte 1

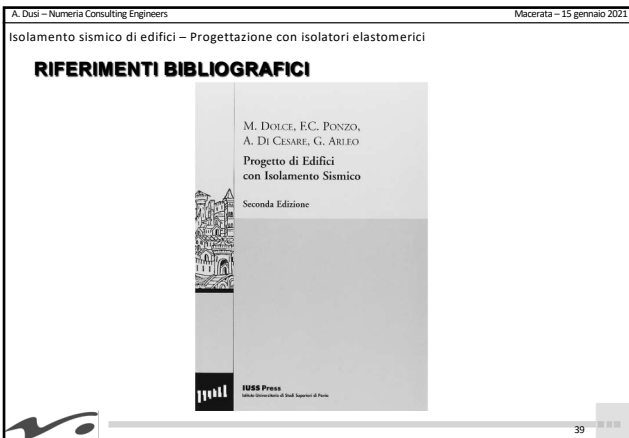
### Progettazione con isolatori elastomerici



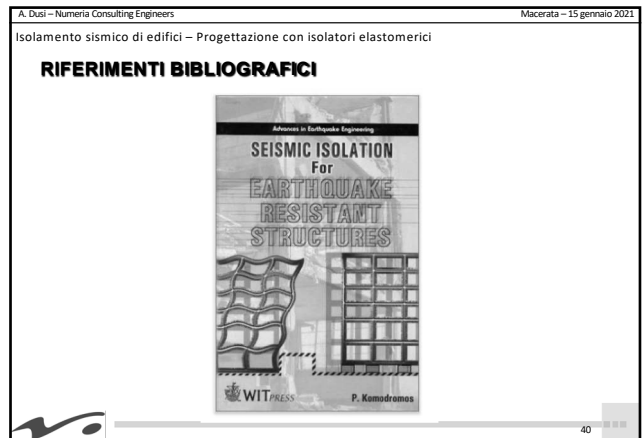
37



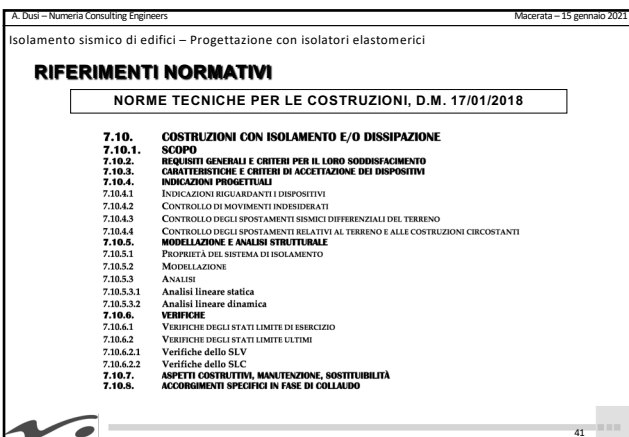
38



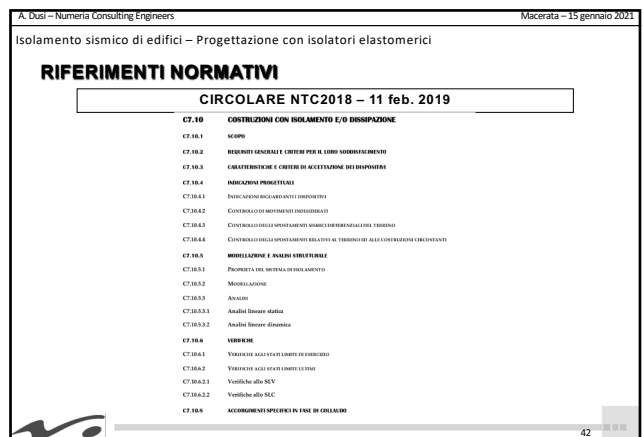
39



40



41



42



## ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI Parte 1

### Progettazione con isolatori elastomerici

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**PRINCIPI DI PROGETTAZIONE DI EDIFICI ISOLATI**

Grazie all'inserimento dei dispositivi di isolamento la struttura risulta divisa in 2 parti:

Il sistema d'isolamento è composto dai dispositivi d'isolamento, ciascuno dei quali espleta una o più delle seguenti funzioni:

- sostegno dei carichi verticali con elevata rigidezza in direzione verticale e bassa rigidezza o resistenza in direzione orizzontale, permettendo notevoli spostamenti orizzontali;
- dissipazione di energia, con meccanismi isteretici e/o viscosi;
- ricentraggio del sistema;
- vincolo laterale, con adeguata rigidezza, sotto carichi orizzontali di servizio (non sismici).

43

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**PRINCIPI DI PROGETTAZIONE DI EDIFICI ISOLATI**

**La sottostruttura e la sovrastruttura devono rimanere sostanzialmente in campo elastico.**

44

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**PRINCIPI DI PROGETTAZIONE DI EDIFICI ISOLATI**

**NTC2018 – 7.10.2**

**7.10.2. REQUISITI GENERALI E CRITERI PER IL LORO SODDISFACIMENTO**

Il sistema d'isolamento è composto dai dispositivi d'isolamento e, eventualmente, di dissipazione, ciascuno dei quali espleta una o più delle seguenti funzioni:

- sostegno dei carichi verticali con elevata rigidezza in direzione verticale e bassa rigidezza o resistenza in direzione orizzontale, permettendo notevoli spostamenti orizzontali;
- dissipazione di energia con meccanismi isteretici e/o viscosi;
- ricentraggio del sistema;
- vincolo laterale, con adeguata rigidezza sotto carichi orizzontali di servizio (non sismici).

Fanno parte integrante del sistema d'isolamento gli elementi di connessione, nonché eventuali vincoli supplementari disposti per limitare gli spostamenti orizzontali dovuti ad azioni non sismiche (ad es. vento).

Detta "interfaccia d'isolamento" la superficie di separazione sulla quale è attivo il sistema d'isolamento, si definiscono:

- "sottostruttura", la parte della struttura posta al di sotto dell'interfaccia del sistema d'isolamento e che include le fondazioni, avente in genere deformabilità orizzontale trascurabile e soggetta direttamente agli spostamenti imposti dal movimento sismico del terreno;
- "sovrastuttura", la parte della struttura posta al di sopra dell'interfaccia d'isolamento e, perciò, isolata.

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 SIV, da  $a_S < 0,075a$ , con deroghe per le strutture in c.a., a quanto previsto al §7.4.6 e al §7.9.6.

Un'affidabilità superiore è richiesta al sistema d'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.

**La sottostruttura e la sovrastruttura devono rimanere sostanzialmente in campo elastico.**

45

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**PRINCIPI DI PROGETTAZIONE DI EDIFICI ISOLATI**

1. Determinazione dei carichi - Statici, sismici dall'analisi
2. Scelta del tipo di isolatore/posizione
3. Limiti di Forze / Spostamenti  
Periodo di isolamento  
Smorzamento dei dispositivi
4. Progettazione dei dispositivi
5. Ri-analisi dell'edificio con gli isolatori
6. Verifica delle prestazioni
7. Ricalcolo e raffinamento (nuovi carichi/spostamenti dall'analisi)

46

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**QUALCHE DOMANDA / ASPETTI DA CONSIDERARE**

- ❖ L'edificio può essere efficacemente isolato?  
Comportamento dinamico, sismicità, tipo di terreno, edifici limitrofi, ecc
- ❖ Scelta del posizionamento ottimale del sistema d'isolamento  
a livello di fondazione o al primo livello. Implicazioni sul progetto architettonico e sui costi
- ❖ Come trattare le scale, gli ascensori, ecc
- ❖ Impianti: connessioni flessibili
- ❖ Protezione al fuoco
- ❖ Ispezionabilità, sostituibilità dei dispositivi
- ❖ Progettazione, produzione e procedure di accettazione e qualifica dei dispositivi

47

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**QUALCHE DOMANDA / ASPETTI DA CONSIDERARE**

- ❖ L'edificio può essere efficacemente isolato?  
Comportamento dinamico, sismicità, tipo di terreno, edifici limitrofi, ecc

STRUTTURA	STRUTTURE	PERIODO DI VIBRAZIONE
1	2	3
T	T	T
1	2	3
0.400000	1.00	0.20
0.400000	1.00	0.20

48



**ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI Parte 1**

**Progettazione con isolatori elastomerici**

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**QUALCHE DOMANDA / ASPETTI DA CONSIDERARE**

- L'edificio può essere efficacemente isolato?

Comportamento dinamico, sismicità, tipo di terreno, edifici limitrofi, ecc

49

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**QUALCHE DOMANDA / ASPETTI DA CONSIDERARE**

- Scelta del posizionamento ottimale del sistema d'isolamento a livello di fondazione o al primo livello. Implicazioni sul progetto architettonico e sui costi

50

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**QUALCHE DOMANDA / ASPETTI DA CONSIDERARE**

- Come trattare le scale, gli ascensori, ecc
- Impianti: connessioni flessibili

51

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**QUALCHE DOMANDA / ASPETTI DA CONSIDERARE**

- Protezione al fuoco

52

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**QUALCHE DOMANDA / ASPETTI DA CONSIDERARE**

- Ispezionabilità, sostituibilità dei dispositivi

53

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**QUALCHE DOMANDA / ASPETTI DA CONSIDERARE**

- Progettazione, produzione e procedure di accettazione e qualifica dei dispositivi

54



## ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI Parte 1

### Progettazione con isolatori elastomerici

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021


Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**NTC 2018**

**7.10.4.1 INDICAZIONI RIGUARDANTI I DISPOSITIVI**

L'alloggiamento dei dispositivi d'isolamento e di dissipazione ed il loro collegamento alla struttura devono essere concepiti in modo da assicurarne l'accesso e rendere i dispositivi stessi ispezionabili e sostituibili. È necessario anche prevedere adeguati sistemi di contrasto, idonei a consentire l'eventuale ricentraggio dei dispositivi qualora, a seguito di un sisma, si possano avere spostamenti residui incompatibili con la funzionalità della costruzione e/o con il corretto comportamento del sistema d'isolamento.

Ove necessario, i dispositivi devono essere protetti da possibili effetti derivanti da attacchi del fuoco, chimici o biologici. In alternativa, occorre prevedere dispositivi che, in caso di distruzione degli isolatori, siano idonei a trasferire il carico verticale alla sottostruttura.



55

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**NTC 2018**

**7.10.4.2 CONTROLLO DI MOVIMENTI INDESIDERATI**

Per minimizzare gli effetti torsionali, la proiezione del centro di massa della sovrastruttura sul piano degli isolatori ed il centro di rigidità dei dispositivi o, nel caso di sottostruttura flessibile, il centro di rigidità del sistema sovrastruttura-isolamento devono essere, per quanto possibile, coincidenti. Inoltre, nei casi in cui il sistema di isolamento affidi a pochi dispositivi le sue capacità dissipative e ricentranti rispetto alle azioni orizzontali, occorre che tali dispositivi siano, per quanto possibile, disposti in maniera da minimizzare gli effetti torsionali (ad esempio perimetralmente) e siano in numero staticamente ridondante. Nel caso dei ponti, si potranno trascurare gli effetti dell'eccentricità accidentale delle masse.

Per minimizzare le differenze di comportamento dei dispositivi, le tensioni di compressione a cui lavorano devono essere per quanto possibile uniformi. Nel caso di sistemi d'isolamento che utilizzino dispositivi di diverso tipo, particolare attenzione deve essere posta sui possibili effetti della differente deformabilità verticale sotto le azioni sia statiche che sismiche.

Per evitare o limitare azioni di trazione nei dispositivi, gli interassi della maglia strutturale devono essere scelti in modo tale che il carico verticale "V" di progetto agente sul singolo isolatore sotto le azioni sismiche e quelle concomitanti risulti essere di compressione o, al più, nullo ( $V \geq 0$ ). Nel caso in cui dall'analisi risultasse  $V < 0$ , occorre che la tensione di trazione sia in modulo inferiore al minore tra  $2C$  ( $C$  modulo di taglio del materiale elastomerico) e  $1 \text{ MPa}$ , negli isolatori elastomerici, oppure, per i dispositivi di altro tipo, dimostrare, attraverso adeguate prove sperimentali, che il dispositivo è in grado di sostenere tale condizione, oppure predisporre opportuni vincoli in grado di assorbire integralmente la trazione.

56

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**NTC 2018**

**7.10.4.3 CONTROLLO DEGLI SPOSTAMENTI SISMICI DIFFERENZIALI DEL TERRENO**

Negli edifici, sia le strutture del piano di posa dei dispositivi sia le strutture del piano da cui spicca la sovrastruttura devono essere dimensionate in modo da assicurare un comportamento rigido nel piano suddetto, così da limitare gli effetti di spostamenti sismici differenziali. Altrimenti la variabilità spaziale del moto del terreno deve essere messa in conto secondo quanto specificato nel § 3.2.4.

La condizione precedente si considera soddisfatta se un diaframma rigido costituito da un solaio in c.a., oppure da una griglia di travi progettata tenendo conto di possibili fenomeni di instabilità, è presente sia al di sopra sia al di sotto del sistema di isolamento e se i dispositivi del sistema di isolamento sono fissati ad entrambi i diaframmi o direttamente o attraverso elementi verticali il cui spostamento orizzontale in condizioni sismiche sia minore di  $1/20$  dello spostamento relativo del sistema di isolamento. Tali elementi devono essere progettati per rispondere in campo rigorosamente elastico, tenendo anche conto della maggiore affidabilità richiesta ai dispositivi di isolamento e dissipazione.



57

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**PROGETTO DI EDIFICI ISOLATI: METODI DI ANALISI**

In relazione alle caratteristiche dell'edificio e del sistema di isolamento possono essere utilizzati i seguenti metodi di analisi (rif. § 7.10.5.3 NTC2018):

1. analisi statica lineare
2. analisi dinamica lineare (analisi modale con spettro di risposta)
3. analisi dinamica non lineare

**NO ANALISI STATICA NON LINEARE**

58

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**PROGETTO DI EDIFICI ISOLATI: METODI DI ANALISI (NTC 2018)**

**7.10.5.3 ANALISI**

Per le costruzioni isolate alla base si applicano le prescrizioni di cui ai §§ 7.3.3 e 7.3.4 integrate o, se del caso, sostituite da quelle contenute nei successivi punti. Per esse non può essere usata l'analisi statica non lineare.

**7.10.5.3.1 Analisi lineare statica**

Per le costruzioni dotate di isolamento alla base, il metodo dell'analisi statica lineare può essere applicato se la struttura isolata soddisfa i requisiti seguenti:

- a) il sistema d'isolamento può essere modellato come lineare, in accordo con il precedente § 7.10.5.2;
- b) il periodo equivalente  $T_{eq}$  della costruzione isolata ha un valore compreso fra  $3 \cdot T_{el}$  e  $3,0 s$ , in cui  $T_{el}$  è il periodo della sovrastruttura assunta a base fissa, stimato con un'espressione approssimata;
- c) la rigidità verticale del sistema di isolamento  $K_v$  è almeno 800 volte più grande della rigidità equivalente orizzontale del sistema di isolamento  $K_{eq}$ ;
- d) il periodo in direzione verticale  $T_v$ , calcolato come  $T_v = 2\pi\sqrt{M/K_v}$ , è inferiore a  $0,1 s$ ;
- e) nessun isolatore risulta in trazione per l'effetto combinato dell'azione sismica e dei carichi verticali;
- f) il sistema resistente all'azione sismica possiede una configurazione strutturale regolare in pianta, come è definita al § 7.2.1.

59

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**PROGETTO DI EDIFICI ISOLATI: METODI DI ANALISI (NTC 2018)**

Ai requisiti da a) ad f) si aggiungono, per gli edifici civili ed industriali, i seguenti:

- la sovrastruttura ha altezza non maggiore di 20 m e non più di 5 piani
- la sottostruttura può essere considerata infinitamente rigida, per cui il suo periodo proprio è non maggiore di 0,05s.
- la dimensione maggiore in pianta della sovrastruttura è inferiore a 50 m;
- in ciascuna delle direzioni principali orizzontali, l'eccentricità totale tra il centro di rigidità del sistema di isolamento e la proiezione verticale del centro di massa non è superiore al 3% della dimensione della sovrastruttura trasversale alla direzione orizzontale considerata.

Ai requisiti da a) ad f) si aggiungono, per i ponti, i seguenti:

- lo schema statico è ad impalcati semplicemente appoggiati, oppure lo schema statico è a impalcati continui con geometria regolare, caratterizzata da: sostanziale rettilineità dell'impalcato, luci uguali, rapporto massimo tra le rigidità delle pile inferiore a 2, lunghezza totale dell'impalcato continuo inferiore a 150 m;
- la massa della metà superiore delle pile è inferiore a 1/5 della massa dell'impalcato;
- le pile hanno altezza inferiore a 20 m;
- in direzione trasversale la distanza tra il centro di rigidità del sistema di isolamento e il centro di massa dell'impalcato non è superiore al 5% della dimensione trasversale della sovrastruttura.

60





# ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI Parte 1

## Progettazione con isolatori elastomerici

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

### PROGETTO DELL' EDIFICIO ISOLATO: ANALISI DINAMICA LINEARE (NTC 2018)

7.10.5.3.2 **Analisi lineare dinamica**

Per le costruzioni con isolamento alla base l'analisi dinamica lineare è ammessa quando risulta possibile modellare elasticamente il comportamento del sistema di isolamento, nel rispetto delle condizioni di cui al § 7.10.5.2. Per il sistema complessivo, formato dalla sottostruttura, dal sistema d'isolamento e dalla sovrastruttura, si assume un comportamento elastico lineare. Qualora il sistema di isolamento non sia immediatamente al di sopra delle fondazioni, il modello deve comprendere sia la sovrastruttura sia la sottostruttura, a meno che la sottostruttura non sia assimilabile ad una struttura scatolare rigida come definita al § 7.2.1. L'analisi può essere svolta mediante analisi modale con spettro di risposta o mediante integrazione al passo delle equazioni del moto, eventualmente previo disaccoppiamento modale, considerando un numero di modi tale da portare in conto anche un'aliquota significativa della massa della sottostruttura, se inclusa nel modello.

Nel caso si adottino 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 rigidità verticale del sistema di isolamento  $K_v$  e la rigidità equivalente orizzontale  $K_{eq}$  risulti inferiore a 800. In tali casi si avrà cura che la massa eccitata dai modi in direzione verticale considerati nell'analisi sia significativa.

Lo spettro elastico definito in § 3.2.3.2 va ridotto per tutto il campo di periodi  $T \geq 0,8 T_{isol}$ , assumendo per il coefficiente riduttivo  $r$  il valore corrispondente al coefficiente di smorzamento viscoso equivalente  $\xi_{eq}$  del sistema di isolamento.

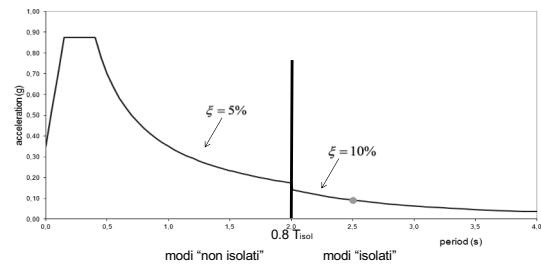


61

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

### PROGETTO DELL' EDIFICIO ISOLATO: ANALISI DINAMICA LINEARE



62

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

### PROGETTO DELL' EDIFICIO ISOLATO: ANALISI DINAMICA LINEARE (NTC 2018)

7.10.5.2 **MODELLAZIONE**

La sovrastruttura e la sottostruttura devono essere modellate come sistemi a comportamento elastico lineare aventi rigidità 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 rigidità verticale del sistema di isolamento  $K_v$  e la rigidità equivalente orizzontale  $K_{eq}$  è inferiore a 800.

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. La rigidità totale equivalente del sistema di isolamento,  $K_{tot}$ , è pari alla somma delle rigidità 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  $\xi_{eq}$ , 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.

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%.



63

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

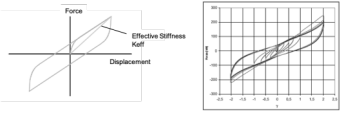

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

### PROGETTO DELL' EDIFICIO ISOLATO: ANALISI DINAMICA LINEARE (NTC 2018)

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

- 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  $\pm 30\%$  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  $0,5 d_{is}$  e  $d_{is}$ , essendo  $d_{is}$  lo spostamento del centro di rigidità dovuto all'azione sismica, è almeno pari al 2,5% del peso totale della sovrastruttura.

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

64

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

### PROGETTO DELL' EDIFICIO ISOLATO: VERIFICHE

**NTC2018 – 7.10.6.1**

**SLD**


7.10.6.1 **VERIFICHE DEGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO**

Il livello di protezione richiesto per la sottostruttura e le fondazioni nei confronti dello SLD è da ritenere conseguito se sono soddisfatte le relative verifiche nei confronti dello SLV, di cui al § 7.10.6.2.

La verifica dello SLD della sovrastruttura deve essere effettuata controllando che gli spostamenti d'interpiano ottenuti dall'analisi siano inferiori ai 2/3 dei limiti indicati per lo SLD nel § 7.3.6.1.

I dispositivi del sistema d'isolamento non devono subire danni che possano comprometterne il funzionamento nelle condizioni di servizio. Tale requisito si ritiene normalmente soddisfatto se sono soddisfatte le verifiche dello SLV dei dispositivi. In caso di sistemi a comportamento non lineare, eventuali spostamenti residui al termine dell'azione sismica allo SLD devono essere compatibili con la funzionalità della costruzione.

Le eventuali connessioni, strutturali e non, particolarmente quelle degli impianti, fra la struttura isolata e il terreno o le parti di strutture non isolate, devono assorbire gli spostamenti relativi corrispondenti allo SLD senza subire alcun danno o limitazione d'uso.



65

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

### PROGETTO DELL' EDIFICIO ISOLATO: VERIFICHE

**NTC2018 – 7.10.6.2.1**

**SLV**

7.10.6.2.1 **Verifiche dello SLV**

La capacità della sottostruttura e della sovrastruttura deve essere valutata adottando i valori di  $\gamma_{is}$  utilizzati per le costruzioni non isolate.


Gli elementi della sottostruttura devono essere verificati rispetto alle sollecitazioni ottenute direttamente dall'analisi quando il modello include anche la sottostruttura. In caso contrario, essi devono essere verificati rispetto alle sollecitazioni prodotte dalle forze trasmesse dal sistema d'isolamento combinate con le sollecitazioni prodotte dalle accelerazioni di risposta direttamente applicate alla sottostruttura. Nel caso in cui la sottostruttura possa essere assunta infinitamente rigida (periodo proprio inferiore a 0,05s) le forze d'inerzia direttamente applicate ad essa possono essere assunte pari al prodotto delle masse della sottostruttura per l'accelerazione del terreno  $a_{is}$ . La combinazione delle sollecitazioni deve essere eseguita adottando le regole riportate in § 7.3.5, tenendo in conto gli effetti pseudo-statici indotti dagli spostamenti relativi prodotti dalla variabilità spaziale del moto unicamente nei casi previsti ai §§ 3.2.4.1 e 3.2.4.2.

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

Nelle condizioni di massima sollecitazione, le parti dei dispositivi non impegnate nella funzione dissipativa devono rimanere in campo elastico, nel rispetto delle norme relative ai materiali di cui sono costituite, e comunque con un coefficiente di sicurezza almeno pari a 1,5.

Nelle costruzioni di classe d'uso IV, le eventuali connessioni, strutturali e non strutturali, particolarmente quelle degli impianti, fra la struttura isolata e il terreno o le parti di strutture non isolate devono assorbire gli spostamenti relativi previsti dal calcolo senza danni.

Al fine di evitare il martellamento tra diverse parti tra loro contigue si dovranno rispettare i criteri enunciati al § 7.2.1, nella sezione "Distanza tra costruzioni contigue", e, per i ponti, al § 7.9.5.2.



66



# ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI Parte 1

## Progettazione con isolatori elastomerici

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

### PROGETTO DELL' EDIFICIO ISOLATO: VERIFICHE

**SLC** **NTC2018 – 7.10.6.2.2**

**7.10.6.2.2 Verifiche dello SLC**  
 I dispositivi del sistema d'isolamento devono essere in grado di sostenere, senza rotture, gli spostamenti  $d_2$ , valutati per una azione sismica riferita allo SLC. Nel caso di sistemi a comportamento non lineare, allo spostamento ottenuto con l'azione sismica detta occorre aggiungere il maggiore tra lo spostamento residuo allo SLD e il 50% dello spostamento corrispondente all'annullamento della forza, seguendo il ramo di scarico a partire dal punto di massimo spostamento raggiunto allo SLD.

In tutte le costruzioni, le connessioni del gas e di altri impianti pericolosi che attraversano i giunti di separazione devono essere progettate per consentire gli spostamenti relativi della sovrastruttura isolata, con lo stesso livello di sicurezza adottato per il progetto del sistema d'isolamento.

Per i ponti e le costruzioni dotate anche di appoggi mobili devono essere rispettati i requisiti enunciati rispettivamente nei §§ 7.9.5.3.2 e 7.2.1.

**NTC2018** I dispositivi di line corsa, se previsti, devono permettere liberamente gli spostamenti massimi dei dispositivi di isolamento e/o dissipazione di energia e devono essere dimensionati secondo i criteri indicati nel § 7.9.5.3.3. Gli spostamenti massimi sono definiti al primo capoverso del presente paragrafo.



67

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici






### ANALISI NUMERICA LINEARE DI STRUTTURE ISOLATE ALLA BASE

68

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

### COMPONENTI DI UN SISTEMA D'ISOLAMENTO


-  **HDRB**
-  **HDRB + isolatori a scorrimento a superficie piana (sliders)**
-  **LRB**
-  **LRB + isolatori a scorrimento a superficie piana (sliders)**
-  **isolatori a scorrimento a superficie curva**

69

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**Layout del sistema di isolamento**



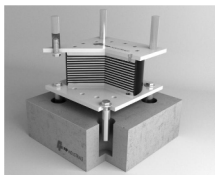
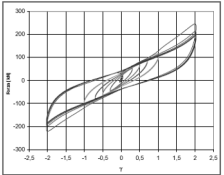
- **45** Slab (piani) HDRB tipo **SLC 450/2500** indicati nel modello ad Elementi Finiti come isolatori tipo "SLC05", aventi le seguenti caratteristiche:
  - rigidità equivalente orizzontale  $k_h = 0,83 \text{ MN/mm}$
  - rigidità verticale  $k_v = 119,9 \text{ MN/mm}$
  - smorzamento  $\xi = 10\%$  (allo spostamento di progetto)
  - diametro isolatore = 450 mm
  - spessore totale della gomma = 160 mm
  - $G_c = 2,54 \text{ MPa}$
  - spostamento SLC = 303 mm
  - carico verticale massimo in fase sismica = 2000 kN
  - carico verticale massimo statico = 3400 kN
- **4** Isolatori a scorrimento tipo **SM 500/500/200** indicati nel modello ad Elementi Finiti come isolatori tipo "SLC05".
- **2** Isolatori a scorrimento tipo **SM 450/500/200** indicati nel modello ad Elementi Finiti come isolatori tipo "SLC05".
- **2** Isolatori a scorrimento tipo **SM 400/500/200** indicati nel modello ad Elementi Finiti come isolatori tipo "SLC05".

70

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

### ISOLATORI ELASTOMERICI (HDRB)

Typical hysteretic curve of an elastomeric isolator obtained from dynamic tests with increasing shear strain amplitude ( $\gamma = 0.5 \text{ Hz}$ ).

Coeff. di smorzamento viscoso equivalente (a una deformazione di taglio pari al 100%)  
 $\xi = 10 \pm 15 \%$

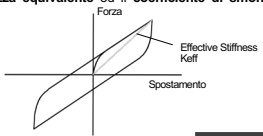
71

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

### ISOLATORI ELASTOMERICI (HDRB)

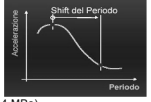
PARAMETRI FONDAMENTALI (importanti per la progettazione di strutture isolate):  
 In genere comportamento degli HDRB può essere modellato come **lineare** mediante la **rigidezza equivalente** ed il **coefficiente di smorzamento viscoso equivalente**.



• **RIGIDEZZA**

$$K = \frac{GA_c}{h_g}$$

$G$  = modulo dinamico equivalente a taglio (0.4 + 1.4 MPa)  
 $A$  = area in pianta dello strato di elastomero  
 $h_g$  = spessore totale della gomma ( $\Sigma$  altezze strati di gomma)



72





## ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI Parte 1

### Progettazione con isolatori elastomerici

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

#### ISOLATORI ELASTOMERICI (HDRB)

- SMORZAMENTO VISCOSO EQUIVALENTE

$$\xi = \frac{W_d}{2\pi Fd}$$

$d$  = spostamento massimo raggiunto dal dispositivo in un ciclo di carico;  
 $F$  = forza massima raggiunta dal dispositivo in un ciclo di carico;  
 $W_d$  = energia dissipata da un dispositivo in un ciclo completo di carico, ossia l'area racchiusa dal ciclo di carico in un diagramma forza-spostamento

73

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

#### ANALISI SEMPLIFICATA DI UN EDIFICIO ISOLATO CON HDRB

Ipotesi:

- la sovrastruttura e la sottostruttura, incluse le fondazioni, possono essere assunte come rigide se confrontate con il sistema di isolamento.
- la rigidità verticale del sistema di isolamento è alta rispetto a quella orizzontale.

Sotto queste ipotesi, la flessibilità della struttura è concentrata a livello del sistema di isolamento e il moto è completamente descritto da 3 G.d.L.: 2 traslazioni orizzontali e una rotazione attorno all'asse verticale. Quest'ultimo G.d.L. è dovuto all'eccentricità del centro di massa della struttura rispetto al centro di rigidità del sistema di isolamento e all'eccentricità accidentale.

Si può assumere che il comportamento della struttura isolata sia descritto da un sistema a 1 G.d.L., avente massa coincidente con la massa totale della (sovra)struttura (M) e rigidità uguale a quella del sistema di isolamento (K).

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

74

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

#### DIMENSIONAMENTO PRELIMINARE DEL SISTEMA DI ISOLAMENTO (HDRB)

- Scelta del periodo di isolamento "target", T**
- Calcolo della rigidità orizzontale totale del sistema di isolamento,  $K_{h,t}$** 

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K}} \longrightarrow K_{h,t} = M \frac{4\pi^2}{T^2}$$
- Calcolo della rigidità orizzontale del singolo isolatore**  
 dato il numero di pilastri (e quindi il numero di isolatori), la rigidità orizzontale di ogni isolatore è data dalla rigidità totale del sistema di isolamento diviso per il numero di isolatori (hp: tutti gli isolatori hanno le stesse caratteristiche in termini di rigidità orizzontale).

75

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

#### DIMENSIONAMENTO PRELIMINARE DEL SISTEMA DI ISOLAMENTO (HDRB)

- Dallo spettro in spostamento, per il dato periodo di isolamento e per lo smorzamento viscoso equivalente assunto per i dispositivi di isolamento, **determinare lo spostamento degli isolatori**
- Scegliere dal catalogo, o progettare, il tipo di HDRB, considerando:**
  - la richiesta in termini di **rigidità orizzontale**
  - lo **spostamento** in condizioni sismiche
  - il **carico** verticale che agisce sull'isolatore (in condizioni statiche e sismiche)
  - rotazioni

76

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

#### ESEMPIO 1 (HDRB)

Edificio a telaio in c.a. di 4 piani

- Gli isolatori sono posti alla base dell'edificio
- L'edificio ha comportamento elastico lineare
- L'esempio non rispetta completamente le prescrizioni normative

Zona sismica "1" (PGA = 0.35 g)  
 Suolo tipo A  
 Periodo «target» di isolamento = 2,5 s  
 Smorzamento viscoso equivalente del sistema di isolamento = 10%

77

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

#### ESEMPIO 1 (HDRB)

Massa totale della struttura isolata = 1473 ton

78



# ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI Parte 1

## Progettazione con isolatori elastomerici

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**ESEMPIO 1 (HDRB)**

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{M}{K}} \Rightarrow K_{h,t} = M \frac{4\pi^2}{T^2}$$

$K_{h,t}$  = rigidezza orizzontale totale del sistema di isolamento = 9304 kN / m

- PGA = 0,35g – Suolo tipo A
- Spettro di risposta (accelerazione) HDRB con  $\xi = 10\%$

$$S_e(T) = 2.5a_g S_{\eta} \left( \frac{T_c T_D}{T^2} \right)$$

$$S_e(T) = 2.5 \times 0.35g \times 1 \times 0.816 \times \left( \frac{0.4 \times 2}{2.5^2} \right) = 0.897 \frac{m}{s^2}$$

- Spettro di risposta (spostamento)

$$S_d(T) = S_e(T) \left( \frac{T}{2\pi} \right)^2$$

$$S_d(T) = 0.897 \times \left( \frac{2.5}{2\pi} \right)^2 = 0.141m$$

79

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**ESEMPIO 1 (HDRB)**

Calcolo centro di massa e di rigidezza

Se supponiamo di utilizzare isolatori aventi tutti la stessa rigidezza orizzontale ( $K_h = 516.9 \text{ kN/m}$ ), otteniamo:

$X_{gm} = 12.50 \text{ m}$        $X_{gk} = 12.50 \text{ m}$        $\Delta x = 0.0$   
 $Y_{gm} = 5.50 \text{ m}$        $Y_{gk} = 5.50 \text{ m}$        $\Delta y = 0.0$

80

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**ESEMPIO 1 (HDRB)**

RISULTATI DA FEM:

$K_h = 516.9 \text{ kN/m}$ ;  
 $Fz_{max} = 1150 \text{ kN}$ ;  
 Spostamento = 0.141;

81

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**ESEMPIO 1 (HDRB)**

FEM

OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	SumUX	SumUY
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	2.512673	0.99016	0	0.99016	0
MODAL	Mode	2	2.505641	0	0.99154	0.99154	0.99154
MODAL	Mode	3	2.303124	0	0	0.99016	0.99154
MODAL	Mode	4	0.677703	0.00261	0	0.99977	0.99154
MODAL	Mode	5	0.626132	0	0.00828	0.99977	0.99982
MODAL	Mode	6	0.553683	0	0	0.99977	0.99982
MODAL	Mode	7	0.274273	0.00023	0	0.99999	0.99982
MODAL	Mode	8	0.256487	0	0.00018	0.99999	0.99999
MODAL	Mode	9	0.231267	0	0	0.99999	0.99999
MODAL	Mode	10	0.131476	0.000006139	0	1	0.99999
MODAL	Mode	11	0.128005	0	0.00000521	1	1

$K_h = 516.9 \text{ kN/m}$

82

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**ESEMPIO 1 (HDRB)**

Link	OutputCase	StepType	U1	U2	U3	Utot H
Text	Text	Text	m	m	m	m
01	EQK_BI_SLU_y3Dv	Max	-0.0004	0.0360	0.1366	0.1413
02	EQK_BI_SLU_y3Dv	Max	-0.0008	0.0360	0.1366	0.1413
03	EQK_BI_SLU_y3Dv	Max	-0.0004	0.0360	0.1366	0.1413
04	EQK_BI_SLU_y3Dv	Max	-0.0006	0.0360	0.1366	0.1413
05	EQK_BI_SLU_y3Dv	Max	-0.0011	0.0360	0.1366	0.1413
06	EQK_BI_SLU_y3Dv	Max	-0.0006	0.0360	0.1366	0.1413
07	EQK_BI_SLU_y3Dv	Max	-0.0006	0.0360	0.1366	0.1413
08	EQK_BI_SLU_y3Dv	Max	-0.0011	0.0360	0.1366	0.1413
09	EQK_BI_SLU_y3Dv	Max	-0.0006	0.0360	0.1366	0.1413
10	EQK_BI_SLU_y3Dv	Max	-0.0006	0.0360	0.1366	0.1413
11	EQK_BI_SLU_y3Dv	Max	-0.0011	0.0360	0.1366	0.1413
12	EQK_BI_SLU_y3Dv	Max	-0.0006	0.0360	0.1366	0.1413
13	EQK_BI_SLU_y3Dv	Max	-0.0006	0.0360	0.1366	0.1413
14	EQK_BI_SLU_y3Dv	Max	-0.0011	0.0360	0.1366	0.1413
15	EQK_BI_SLU_y3Dv	Max	-0.0006	0.0360	0.1366	0.1413
16	EQK_BI_SLU_y3Dv	Max	-0.0004	0.0360	0.1366	0.1413
17	EQK_BI_SLU_y3Dv	Max	-0.0008	0.0360	0.1366	0.1413
18	EQK_BI_SLU_y3Dv	Max	-0.0004	0.0360	0.1366	0.1413

**Fzmax = 1150 kN**

83

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**ESEMPIO 1 (HDRB)**

RISULTATI DA FEM:  $K_h = 516.9 \text{ kN/m}$ ;  $Fz_{max} = 1150 \text{ kN}$ ; Spostamento = 0.141

**DISPLACEMENT 150 mm**

SI-S	V	F <sub>1st</sub>	K <sub>e</sub>	K <sub>v</sub>	D <sub>g</sub>	t <sub>e</sub>	h	H	Z	W
	kN		kN/mm	kN/mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg
SI-S 300/76	270	1270	0.37	400	300	76	152	202	350	92
SI-S 300/76	490	2000	0.51	510	350	75	143	190	400	118
SI-S 300/76	1200	4600	0.85	940	450	75	154	204	600	202
SI-S 400/78	1200	4600	1.04	1000	450	78	154	204	600	202
SI-S 500/77	2100	8300	1.23	1550	600	77	147	197	800	287
SI-S 600/80	2900	10100	1.41	1770	600	80	147	197	950	335
SI-S 650/81	3000	10700	1.64	1850	650	81	145	195	700	384
SI-S 700/80	3710	11500	1.62	2150	700	80	151	211	750	508
SI-S 800/80	5870	14900	2.51	3280	800	80	151	211	850	658
SI-S 900/84	7490	21200	2.73	3780	900	84	159	219	950	848
SI-S 1000/84	9110	22900	3.26	4420	1000	84	164	244	1050	1152
SI-S 1100/84	12470	27460	4.23	6100	1100	84	164	244	1150	1509
SI-S 1200/96	15490	28700	4.71	6550	1200	96	178	258	1250	1807

Ok      No (troppo rigido)

84

# ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI Parte 1

## Progettazione con isolatori elastomerici

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**ESEMPIO 1 (HDRB)**

RISULTATI DA FEM:  
 $K_n = 516.9 \text{ kN/m}$ ;  $F_{\text{max}} = 1150 \text{ kN}$ ; Spostamento = 0.141

**DISPLACEMENT 200 mm**

SI-S	V	F <sub>at</sub>	K <sub>e</sub>	K <sub>r</sub>	D <sub>5</sub>	I <sub>e</sub>	h	H	Z	W
mm	kN	kN	M/mm	M/mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg
SI-S 300/100	105	960	0.28	304	300	100	188	238	350	100
SI-S 300/100	250	1500	0.39	389	350	100	178	228	400	128
SI-S 300/100	500	2950	0.52	492	400	100	178	228	450	156
SI-S 400/102	600	3570	0.62	720	450	100	180	240	500	220
SI-S 400/102	1200	7150	0.84	1440	500	100	180	240	550	248
SI-S 500/104	2230	1740	1.09	125	600	104	180	230	650	362
SI-S 500/108	2780	2160	1.23	1420	650	108	181	231	700	418
SI-S 700/100	3110	1120	1.54	1720	700	100	177	237	750	526
SI-S 800/100	5040	14990	1.01	2711	800	100	177	237	850	694
SI-S 900/108	6670	21220	0.88	3954	900	108	190	250	900	905
SI-S 1000/112	8390	22980	0.81	3322	1000	112	200	280	1050	1327
SI-S 1100/112	11990	27460	0.59	4577	1100	112	200	280	1150	1600
SI-S 1200/112	13570	28700	0.44	5160	1200	112	198	278	1250	1865

Legend:  
 V: Maximum vertical load of each component including the applied action  
 F<sub>at</sub>: Maximum vertical load of an element (not component, SI-S, component with condition and SI-S boundary conditions)  
 K<sub>e</sub>: Horizontal stiffness  
 K<sub>r</sub>: Vertical stiffness  
 D<sub>5</sub>: Diameter  
 I<sub>e</sub>: Height including cast steel plates  
 h: Height including cast steel plates  
 H: Total height including cast steel plates  
 Z: Height including cast steel plates  
 W: Weight

No Ok

85

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**ESEMPIO 1 (HDRB)**

**CONTATTARE IL PRODUTTORE**

86

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**ESEMPIO 1 (HDRB)**

RISULTATI DA FEM:  
 $K_n = 516.9 \text{ kN/m}$ ;  $F_{\text{max}} = 1150 \text{ kN}$ ; Spostamento = 0.141

**DISPLACEMENT 200 mm**

SI-S	V	F <sub>at</sub>	K <sub>e</sub>	K <sub>r</sub>	D <sub>5</sub>	I <sub>e</sub>	h	H	Z	W
mm	kN	kN	M/mm	M/mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg
SI-S 300/100	105	960	0.28	304	300	100	188	238	350	100
SI-S 300/100	250	1500	0.39	389	350	100	178	228	400	128
SI-S 300/100	500	2950	0.52	492	400	100	178	228	450	156
SI-S 400/102	600	3570	0.62	720	450	100	180	240	500	220
SI-S 400/102	1200	7150	0.84	1440	500	100	180	240	550	248
SI-S 500/104	2230	1740	1.09	125	600	104	180	230	650	362
SI-S 500/108	2780	2160	1.23	1420	650	108	181	231	700	418
SI-S 700/100	3110	1120	1.54	1720	700	100	177	237	750	526
SI-S 800/100	5040	14990	1.01	2711	800	100	177	237	850	694
SI-S 900/108	6670	21220	0.88	3954	900	108	190	250	900	905
SI-S 1000/112	8390	22980	0.81	3322	1000	112	200	280	1050	1327
SI-S 1100/112	11990	27460	0.59	4577	1100	112	200	280	1150	1600
SI-S 1200/112	13570	28700	0.44	5160	1200	112	198	278	1250	1865

87

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**ESEMPIO 1 (HDRB)**

$X_{gm} = 12.50 \text{ m}$        $X_{gk} = 12.50 \text{ m}$        $\Delta x = 0.0$   
 $Y_{gm} = 5.50 \text{ m}$        $Y_{gk} = 5.50 \text{ m}$        $\Delta y = 0.0$

Legend:  
 □ APPOGGIO SCORREVOLE MULTI  
 ● HDRB  
 ▲ gm  
 ■ gk

88

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**ESEMPIO 1 (HDRB)**

$k_t = K_n \times n = 770 \times 14 = 10780 \text{ kN/m}$

M = massa della (sovra)struttura = 1473 ton

TABLE: Link Property Assignments	TABLE: Modal Participating Mass Ratios
Text	Text
LinkType	LinkType
Text	Text
0.01 Rubber Isolator SI-S 500/102	MODAL Mode 1 2.326037 0.99016 0 0.99016 0
0.02 Rubber Isolator SI-S 500/102	MODAL Mode 2 2.32506 0 0.99154 0.99016 0.99154
0.03 Rubber Isolator SI-S 500/102	MODAL Mode 3 2.187305 0 0 0.99016 0.99154
0.04 Rubber Isolator SI-S 500/102	MODAL Mode 4 0.669243 0.00981 0 0.99977 0.99154
0.05 Linear SLID	MODAL Mode 5 0.619499 0 0.00828 0.99977 0.99982
0.06 Rubber Isolator SI-S 500/102	MODAL Mode 6 0.541515 0 0 0.99977 0.99982
0.07 Rubber Isolator SI-S 500/102	MODAL Mode 7 0.271247 0.00023 0 0.99999 0.99982
0.08 Linear SLID	MODAL Mode 8 0.23613 0 0.00218 0.99999 0.99999
0.09 Rubber Isolator SI-S 500/102	MODAL Mode 9 0.230574 0 0 0.99999 0.99999
0.10 Rubber Isolator SI-S 500/102	MODAL Mode 10 0.131452 0.00006139 0 1 0.99999
0.11 Linear SLID	MODAL Mode 11 0.12798 0 0.00005521 0 1 1
0.12 Rubber Isolator SI-S 500/102	
0.13 Rubber Isolator SI-S 500/102	
0.14 Linear SLID	
0.15 Rubber Isolator SI-S 500/102	
0.16 Rubber Isolator SI-S 500/102	
0.17 Rubber Isolator SI-S 500/102	
0.18 Rubber Isolator SI-S 500/102	

89

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**ESEMPIO 2 (HDRB)**

Edificio a telaio in c.a. di 4 piani – **IRREGOLARE IN PIANTA**

Legend:  
 □ Gli isolatori sono posti alla base dell'edificio  
 □ L'edificio ha comportamento elastico lineare

PGA = 0.35 g  
 Suolo tipo A  
 Periodo «target» di isolamento = 2,5 s  
 Smorzamento viscoso equivalente del sistema di isolamento = 10%

90



# ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI Parte 1

## Progettazione con isolatori elastomerici

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**ESEMPIO 2 (HDRB)**

Massa totale = 1364 ton

91

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**ESEMPIO 2 (HDRB)**

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{M}{K}} \Rightarrow K_{h,t} = M \frac{4\pi^2}{T^2}$$

dove: M = massa della (sovr)struttura = 1364 ton  
T = periodo target di isolamento = 2.5 s

$$K_{h,t} = \text{rigidezza orizzontale totale del sistema di isolamento} = 8609 \text{ KN / m}$$

$$S_d(T) = 2.5 \times 0.35 \times g \times 1 \times 0.816 \times \left(\frac{0.4 \times 2}{2.5^2}\right) = 0.897 \frac{m}{s^2}$$

$$S_{De}(T) = 0.897 \times \left(\frac{2.5}{2\pi}\right)^2 = 0.141 m$$

92

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**ESEMPIO 2 (HDRB)**

Se utilizziamo isolatori aventi tutti la stessa rigidezza orizzontale ( $K_h = 430.5 \text{ kN/m}$ ), otteniamo:

$X_{gm} = 9.25 \text{ m}$        $X_{gk} = 8.70 \text{ m}$        $\Delta x = -0.55$   
 $Y_{gm} = 8.12 \text{ m}$        $Y_{gk} = 7.40 \text{ m}$        $\Delta y = -0.72$

93

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**ESEMPIO 2 (HDRB)**

OrderCase	Structure	Isolation	Period	UX	UY	SumUX	SumUY
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL Mode 1	1	7.508	0.41164	0.32492	0.4116	0.3249	
MODAL Mode 2	2	2.500	0.48448	0.52771	0.8726	0.8325	
MODAL Mode 3	3	2.460	0.13263	0.14375	0.9931	0.9844	
MODAL Mode 4	4	0.581	0.00001	0.00243	0.9931	0.9988	
MODAL Mode 5	5	0.584	0.00612	0.00003	0.9998	0.9987	
MODAL Mode 6	6	0.526	0.00002	0.00010	0.9998	0.9999	
MODAL Mode 7	7	0.231	0.00008	0.00005	0.9999	0.9999	
MODAL Mode 8	8	0.246	0.00008	0.00006	1.0000	1.0000	

94

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**ESEMPIO 2 (HDRB)**

**ISOLATORI CON DIVERSE CARATTERISTICHE**

$K_i = [K_{h,1} \times n] + [K_{h,2} \times n] = 10130 \text{ kN/m}$

**HDRB & SLIDERS**

95

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**ESEMPIO 2 (HDRB)**

**DISPLACEMENT 200 mm**

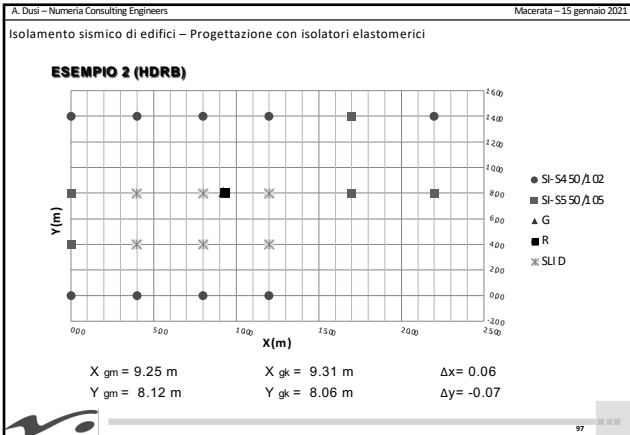
SI-S	V	F <sub>st</sub>	K <sub>c</sub>	K <sub>v</sub>	D <sub>2</sub>	t <sub>e</sub>	h	H	Z	W
	kN	kN	kN/mm	kN/mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg
SI-S 300/100	105	980	0.20	304	300	100	188	208	350	100
SI-S 350/100	250	1500	0.39	389	350	100	178	228	400	128
SI-S 400/100	400	2000	0.58	484	400	100	168	248	450	156
SI-S 450/102	550	2500	0.85	589	450	100	158	268	500	184
SI-S 500/102	700	3000	1.14	700	500	100	148	288	550	212
SI-S 600/108	1300	6850	0.91	1148	550	100	187	237	600	316
SI-S 650/108	1450	7500	1.14	1312	600	100	182	242	650	344
SI-S 700/100	1600	8200	1.37	1486	650	100	177	247	700	372
SI-S 800/100	2040	14900	2.01	2111	800	100	177	247	800	694
SI-S 800/108	6670	21220	2.38	2954	900	108	190	250	850	905
SI-S 1000/112	8380	25980	2.81	3522	1000	112	200	280	1050	1367
SI-S 1100/112	11590	27460	3.38	4571	1100	112	200	280	1150	1800
SI-S 1200/112	13070	28700	4.04	5160	1200	112	196	276	1250	1865

96

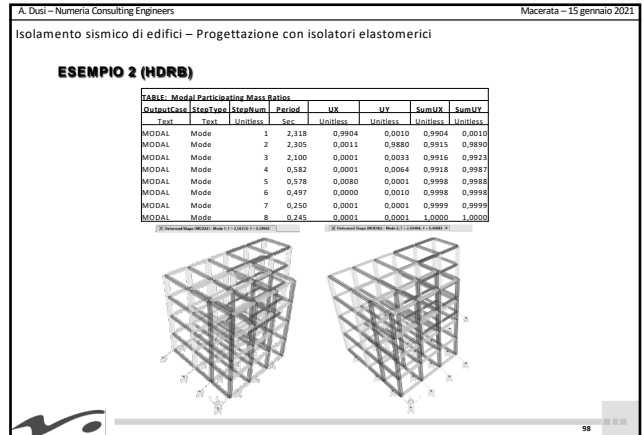


**ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI Parte 1**

**Progettazione con isolatori elastomerici**



97



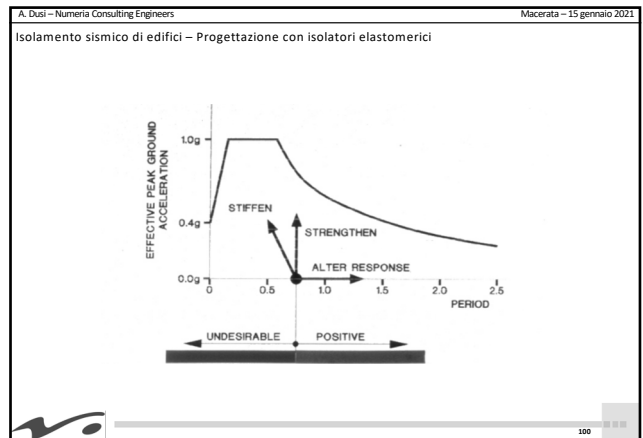
98

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

CENNI ALL'ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI ESISTENTI

99



100

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.**

Negli interventi di adeguamento/miglioramento, la strategia dell'isolamento sismico risulta spesso **vincente** rispetto a soluzioni convenzionali, in quanto:

- ♦ consente di ridurre gli interventi di rinforzo sulla (sovr)struttura
- ♦ consente, durante le operazioni di retrofit, di limitare l'interferenza con il normale utilizzo della struttura
- ♦ l'edificio può rimanere "in funzione" durante le operazioni di retrofit

101

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.**

Grazie all'isolamento, una struttura con un'opportuna resistenza alle azioni orizzontali (anche significativamente inferiore a quella richiesta a una struttura a base fissa) può essere in grado di sostenere terremoti violenti mantenendosi sostanzialmente in **campo elastico**, senza dover ricorrere per evitare il collasso alle sue capacità di deformazione inelastica.

Quasi sempre l'aspetto critico di una struttura esistente, anche se progettata con le vecchie norme sismiche, è l'**inadeguatezza dei dettagli costruttivi** e la mancanza di controllo dei meccanismi di danneggiamento (capacity design) e dunque l'incapacità di sostenere grandi deformazioni inelastiche.

102




**ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI Parte 1**

**Progettazione con isolatori elastomerici**

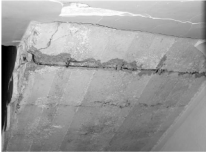
A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.**



Evidenze dell'inadeguatezza delle disposizioni e degli ancoraggi delle armature



Danni che evidenziano la inadeguatezza delle disposizioni costruttive nelle rampe

103

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.**

**Se:**

- l'edificio può essere isolato
- la struttura possiede una non trascurabile resistenza alle azioni orizzontali;
- le caratteristiche dei materiali sono accettabili;
- la struttura risulta adeguata a sostenere i carichi verticali di progetto
- la geometria delle strutture di fondazione è tale da consentire l'inserimento dei dispositivi di isolamento o esiste un livello "garage"

**allora**

**l'adozione dell'isolamento sismico risulta semplice, efficace e economicamente conveniente in quanto si prefigura una condizione in cui gli interventi sono limitati a pochi elementi strutturali**

104

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.**

Per la costruzione isolata non è prescritto il rispetto delle regole riguardanti le disposizioni costruttive di dettaglio in zona sismica, la sola verifica di resistenza è sufficiente all'accertamento della sicurezza.

Ciò risulta particolarmente vantaggioso nell'intervento di adeguamento/miglioramento di una struttura esistente, nella quale ogni intervento volto a rimediare all'inadeguatezza dei dettagli costruttivi è complicato e costoso.




**Esempi di interventi convenzionali**

105

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.**

Occorre inoltre ricordare che la presenza di irregolarità strutturali e non strutturali in pianta e/o in elevazione, che tipicamente comportano concentrazione di richieste di duttilità in pochi elementi strutturali non in grado di sostenerle, risulta decisamente meno pericolosa in una struttura con isolamento sismico, grazie al mantenimento in campo sostanzialmente elastico della struttura.



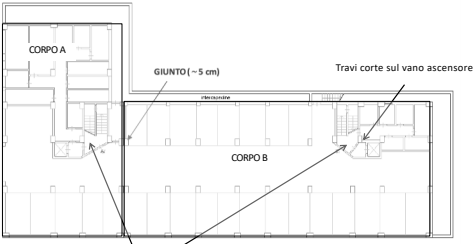
106

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.**

VULNERABILITA' SPECIFICHE



GIUNTO (~5 cm)

Travi corte sul vano ascensore

Posizionamento vani scale e ascensore

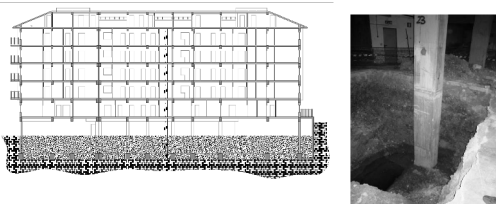
107

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

**ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.**

VULNERABILITA' SPECIFICHE



average cubic strength of concrete  $R_{cm} = 12.5 \text{ MPa}$   
yield strength  $f_{yk}$  of steel = 380 MPa

108



# ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI Parte 1

## Progettazione con isolatori elastomerici

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

### ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

ANALISI DELL'EDIFICIO NELLO STATO DI FATTO

109

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

### ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

STATO DI FATTO: VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA SISMICA

Rappresentazione grafica dei risultati delle verifiche

Indice di vulnerabilità\* = 0,37

\* rapporto Capacità/Domanda (C/D)

110

109

110

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

### ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

BASE ISOLATION LEVEL

111

111

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

### INSTALLAZIONE DEGLI ISOLATORI – EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

RETROFIT CON ISOLAMENTO SISMICO

ELIMINAZIONE GIUNTI ESTERTE

DISPOSITIVI DI ISOLAMENTO

NUOVO GATTOIO TRAPI

112

112

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

### INSTALLAZIONE DEGLI ISOLATORI – EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

RETROFIT CON ISOLAMENTO SISMICO

Layout del sistema di isolamento

- 55 isolatori tipo **SOLO** (da **SA-3.000.000**) indicati nel modello ad Elementi Finiti come isolatori tipo "SOLO" (specifiche e caratteristiche):
  - rigidità equivalente orizzontale  $k_h = 0,83 \text{ kN/mm}$
  - rigidità verticale  $k_v = 1.128 \text{ kN/mm}$
  - sporcamento  $L = 12\%$  (allo spostamento di progetto)
  - diámetro isolatore = 650 mm
  - spessore totale della gomma = 160 mm
  - $F_u = 574 \text{ kN}$
  - spostamento SL = 50 mm
  - carico verticale massimo in fase comica = 2000 kN
  - carico verticale massimo (SDS) = 3400 kN
- 6 isolatori a scorrimento tipo **SM-500.000.000** indicati nel modello ad Elementi Finiti come isolatore tipo "SLDSD"
- 7 isolatori a scorrimento tipo **SM-250.000.000** indicati nel modello ad Elementi Finiti come isolatore tipo "SLDSD"
- 2 isolatori a scorrimento tipo **SM-100.000.000** indicati nel modello ad Elementi Finiti come isolatore tipo "SLDSD"

113

113

A. Dusi – Numeria Consulting Engineers Macerata – 15 gennaio 2021

Isolamento sismico di edifici – Progettazione con isolatori elastomerici

### INSTALLAZIONE DEGLI ISOLATORI – EDIFICI ESISTENTI IN C.A.

RETROFIT CON ISOLAMENTO SISMICO

MODO	FREQ. (Hz)	PERCENTUALE DI PARTICIPAZIONE
1	2,284	99,6%
2	2,285	0,4%
3	2,311	0,0002%
4	2,312	0,0004%
5	2,347	0,0011%
6	2,348	0,0022%
7	2,377	0,0033%
8	46,140	0,0004%
9	92,280	0,0007%
10	184,560	0,0004%
11	369,120	0,0007%
12	454,400	0,0010%

Primo modo della struttura isolata (99.6% massa in X)

Secondo modo della struttura isolata (99.9% massa in Y)

Terzo modo della struttura isolata (no massa partecipante)

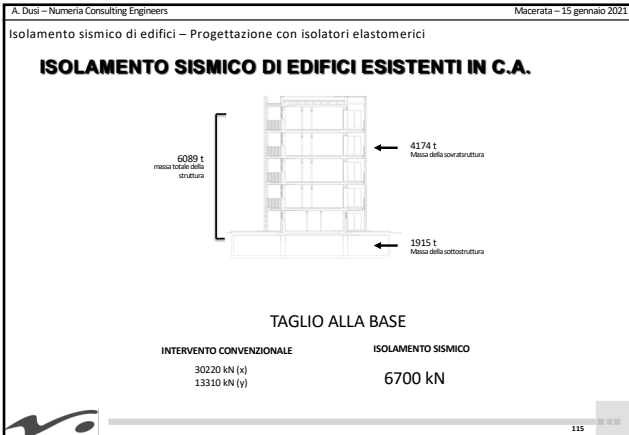
114

114

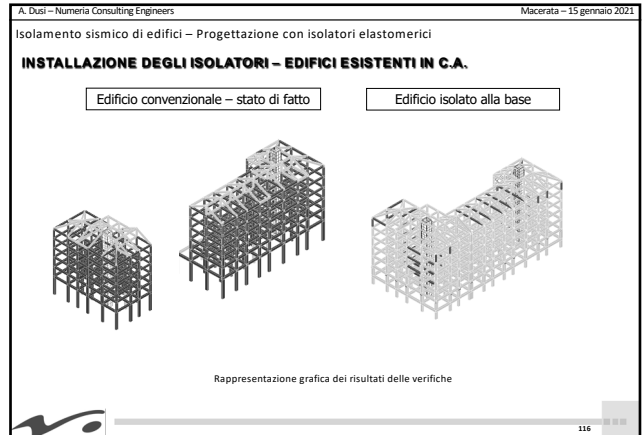


## ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI Parte 1

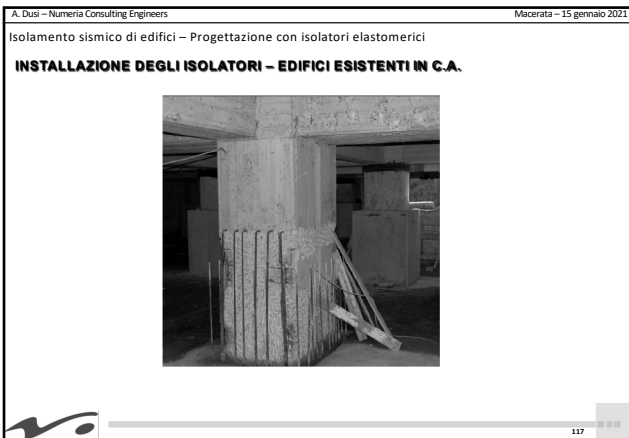
### Progettazione con isolatori elastomerici



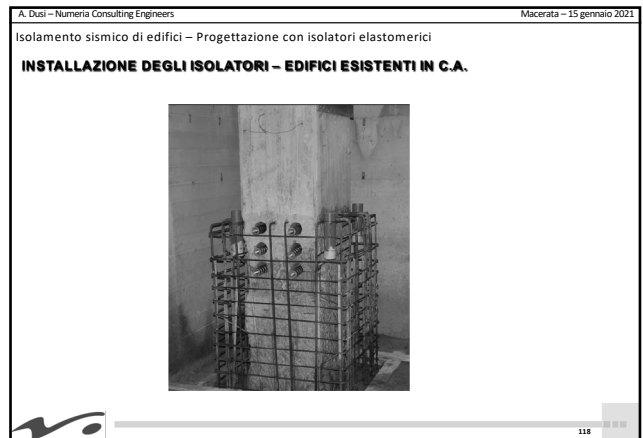
115



116



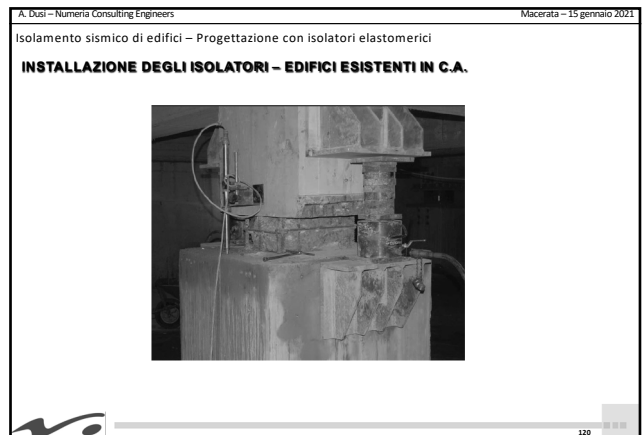
117



118



119



120





## ISOLAMENTO SISMICO DI EDIFICI Parte 1

### Progettazione con isolatori elastomerici

