

Corsi di aggiornamento
**Progettazione strutturale e
Norme Tecniche per le Costruzioni**

San Ponziano, Spoleto
aprile - settembre 2015

Organizzati da Aurelio Ghersi e APICE s.r.l.

Con il patrocinio di:
Ordini degli ingegneri delle province di
Perugia, Roma

Corso di aggiornamento
**Progettazione strutturale e
Norme Tecniche per le Costruzioni**

**L'isolamento alla base nella progettazione sismica
e nell'intervento sull'esistente**

Spoleto
5-6 giugno 2015

Aurelio Ghersi, Pier Paolo Rossi

Corso di aggiornamento
**Progettazione strutturale e
Norme Tecniche per le Costruzioni**

**L'isolamento alla base nella progettazione sismica
e nell'intervento sull'esistente**

Spoleto
5-6 giugno 2015

01 - Introduzione

**STRATEGIE INNOVATIVE
DI PROGETTO
DELLE STRUTTURE**

**Tecniche convenzionali di
progettazione**

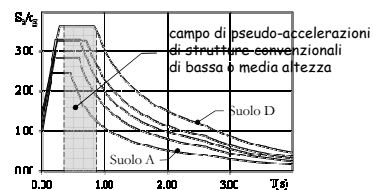
LA PRATICA CONVENZIONALE DI COSTRUZIONE
ASSUME CHE LE STRUTTURE SIANO FISSE ALLA BASE

- Le caratteristiche dinamiche delle strutture fisse alla base sono determinate dalle caratteristiche generali del sistema strutturale (materiali strutturali, tipologia strutturale, distribuzione degli spazi interni, ecc)

5

**Tecniche convenzionali di
progettazione**

La pratica convenzionale di costruzione fa sì che la maggior parte delle strutture per edifici abbiano caratteristiche dinamiche che danno luogo ad elevate risposte sismiche



Spettri di normativa in termini di pseudo-accelerazione normalizzata

6

Tecniche convenzionali di progettazione

LA PRATICA CONVENZIONALE DI COSTRUZIONE ASSUME CHE LE STRUTTURE SIANO FISSE ALLA BASE

- Le strutture fisse alla base non possono essere realisticamente progettate per rimanere elastiche durante eventi sismici di notevole intensità
- La comune pratica tecnica prevede che esse siano progettate in modo tale da sviluppare danni controllati in occorrenza di eventi sismici

7

Tecniche convenzionali di progettazione

Danni ad elementi strutturali



8

Tecniche convenzionali di progettazione

Danni ad elementi non strutturali



9

Tecniche innovative di progettazione

Obiettivi

Migliorare la prestazione delle strutture a tutti i livelli di rischio :

- riducendo l'interruzione d'uso delle attività
- riducendo le accelerazioni al fine di minimizzare i danni agli oggetti contenuti nelle costruzioni
- riducendo il danno agli elementi strutturali e non-strutturali

10

Controllo delle vibrazioni

Il miglioramento delle prestazioni sismiche delle strutture può essere ottenuto attraverso il controllo della risposta :

- ➡ **CONTROLLO PASSIVO**
- ➡ **CONTROLLO SEMI-ATTIVO**
- ➡ **CONTROLLO ATTIVO**

11

Controllo delle vibrazioni

CONTROLLO ATTIVO

Un sistema di controllo attivo è progettato per monitorare lo stato di una struttura ad un determinato istante, per processare questa informazione e per applicare, in breve tempo, un insieme di azioni tali da modificare questo stato nel modo desiderato.

Un sistema di controllo attivo è pertanto costituito da tre componenti:

- Un sistema di monitoraggio in grado di rilevare lo stato di risposta della struttura e di registrare le informazioni mediante un sistema di acquisizione;
- Un sistema di controllo che riceve i dati dal sistema di monitoraggio e decide sulle contromisure da applicare;
- Un sistema attuatore che fisicamente applica le contromisure alla struttura.

12

Controllo delle vibrazioni

CONTROLLO PASSIVO

Un sistema di controllo passivo è progettato per influenzare la risposta strutturale senza che le proprie caratteristiche siano modificate nel corso dell'evento sismico.

(ovvero il sistema passivo subisce la risposta sismica e non modifica le proprie caratteristiche al variare della risposta sismica della struttura)

Attenzione !

Differentemente dai sistemi di controllo attivi, quelli passivi non richiedono alcuna fonte di energia esterna per il loro funzionamento.

13

Controllo delle vibrazioni

CONTROLLO SEMIATTIVO

I dispositivi semiattivi possono essere visti come dispositivi passivi controllabili

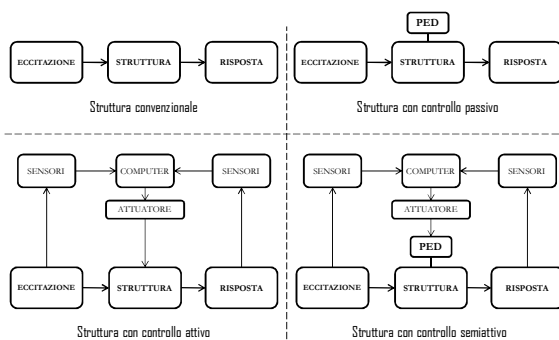
(Si citano dissipatori oleodinamici con fluido magneto-reologico, in grado cioè di variare le proprie caratteristiche meccaniche, in particolare la viscosità, al variare del campo magnetico in cui si trovano immersi. Il campo magnetico può essere agevolmente modificato controllando una corrente di bassa potenza che passa in circuiti elettrici opportunamente collocati attorno al dispositivo. Altri esempi sono dispositivi controllabili ad attrito e dispositivi a rigidità variabile)

Attenzione !

I dispositivi semiattivi richiedono quantità di energia che sono di ordini di grandezza inferiori a quelle necessarie per dispositivi pienamente attivi.

14

Controllo delle vibrazioni



15

Controllo delle vibrazioni

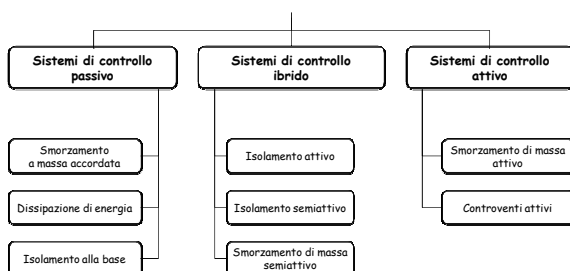
E' possibile avere anche un controllo ibrido, ovvero un controllo che utilizza dispositivi sia passivi che attivi.

CONTROLLO IBRIDO

Questo tipo di controllo si giova dei vantaggi delle tipologie di controllo passivo ed attivo e ne limita gli svantaggi

16

Controllo delle vibrazioni

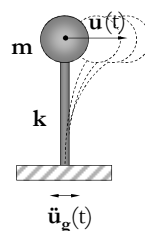


L'isolamento alla base è il sistema più comune

17

Equazione di bilancio energetico

Formulazione assoluta



L'equazione del moto dell'oscillatore si può scrivere:

$$m\ddot{u}_t + c\dot{u} + f_s = 0$$

Integrando rispetto allo spostamento si ha:

$$\int m\ddot{u}_t du + \int c\dot{u} du + \int f_s du = 0$$

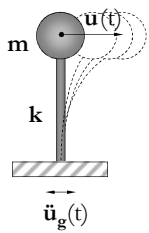
dove:

$$\int m\ddot{u}_t du = \int m\ddot{u}_t (du_t - du_g) = \int m \frac{du_t}{dt} du_t - \int m\ddot{u}_t du_g = \frac{m\dot{u}_t^2}{2} - \int m\ddot{u}_t du_g$$

18

Equazione di bilancio energetico

Formulazione assoluta



Nell'equazione così ottenuta:

$$\frac{m\dot{u}_t^2}{2} + \int c\dot{u} du + \int f_s du = -\int m\ddot{u}_t du_g$$

①

②

③

④

E_k
energia cinetica assoluta

E_v
energia viscosa

E_s
energia di richiamo

E_i
energia di ingresso assoluta

19

Equazione di bilancio energetico

Formulazione assoluta

L'energia di ingresso assoluta E_i può essere espressa come somma delle seguenti aliquote:

$$E_i = E_s + E_k + E_v + E_h$$

E_s energia di richiamo elastico

E_k energia cinetica assoluta

E_v energia viscosa

E_h energia isteretica

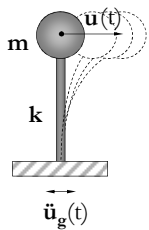
reversibili

irreversibili

20

Equazione di bilancio energetico

Formulazione relativa



L'equazione del moto dell'oscillatore si può scrivere:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + f_s = -m\ddot{u}_g$$

Integrando rispetto allo spostamento si ha:

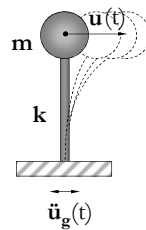
$$\int m\ddot{u} du + \int c\dot{u} du + \int f_s du = -\int m\ddot{u}_g du$$

dove: $\int m\ddot{u} du = \int m \frac{du}{dt} du = \int m \dot{u} d\dot{u} = \frac{m\dot{u}^2}{2}$

21

Equazione di bilancio energetico

Formulazione relativa



Nell'equazione così ottenuta:

$$\frac{m\dot{u}^2}{2} + \int c\dot{u} du + \int f_s du = -\int m\ddot{u}_g du$$

①

②

③

④

E_k'
energia cinetica relativa

E_v
energia viscosa

E_s
energia di richiamo

E_i'
energia di ingresso relativa

22

Equazione di bilancio energetico

Formulazione relativa

L'energia di ingresso relativa E_i' può essere espressa come somma delle seguenti aliquote:

$$E_i' = E_s + E_k' + E_v + E_h$$

E_s energia di richiamo elastico

E_k' energia cinetica relativa

E_v energia viscosa

E_h energia isteretica

reversibili

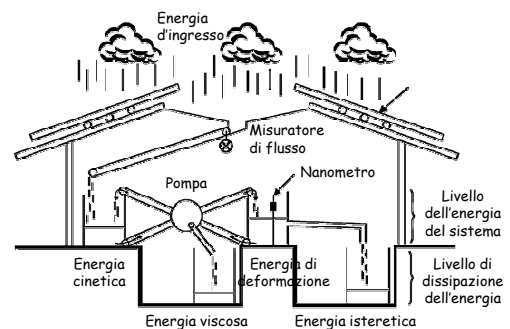
irreversibili

23

Equazione di bilancio energetico

Rappresentazione pratica

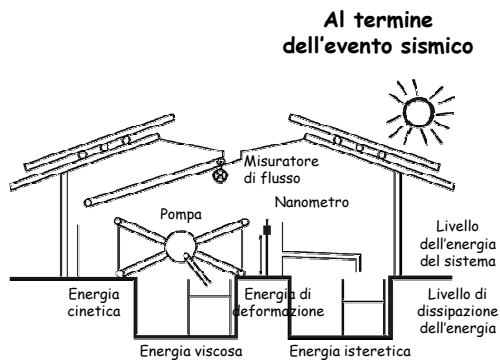
Durante l'evento sismico



24

Equazione di bilancio energetico

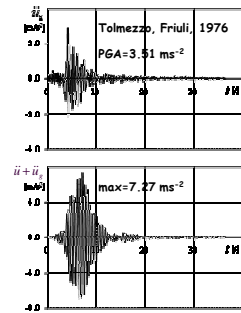
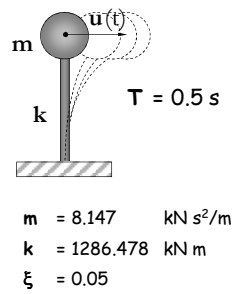
Rappresentazione pratica



25

Esempio - Oscillatore 1

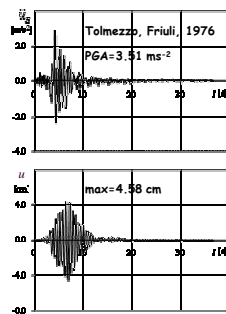
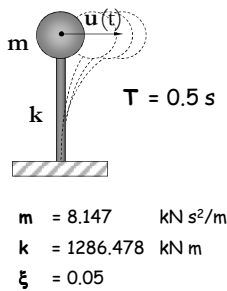
Accelerazioni



26

Esempio - Oscillatore 1

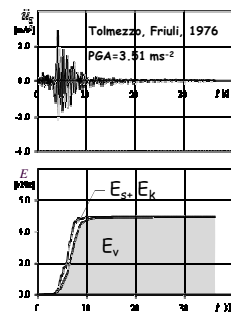
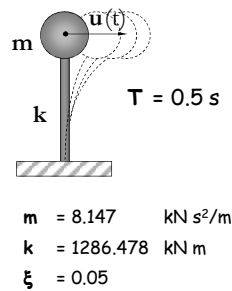
Spostamenti



27

Esempio - Oscillatore 1

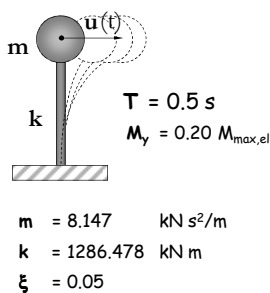
Energie



28

Esempio - Oscillatore 2

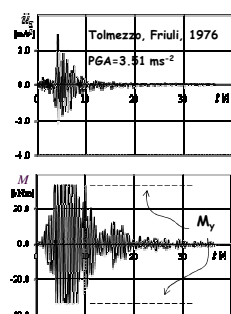
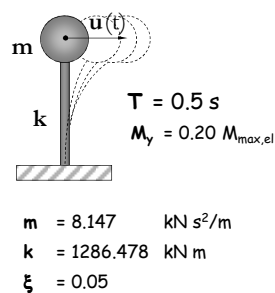
progettiamo secondo l'approccio convenzionale ...



29

Esempio - Oscillatore 2

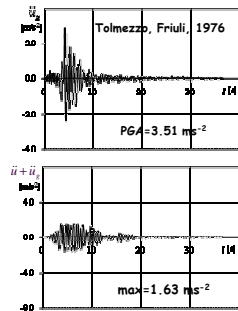
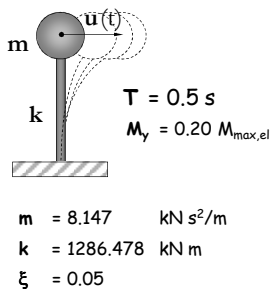
Sollecitazioni



30

Esempio - Oscillatore 2

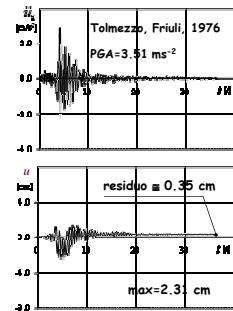
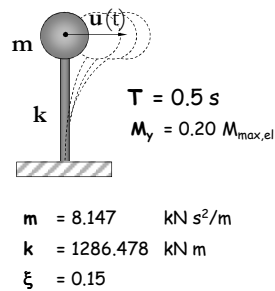
Accelerazioni



31

Esempio - Oscillatore 2

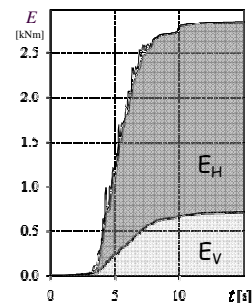
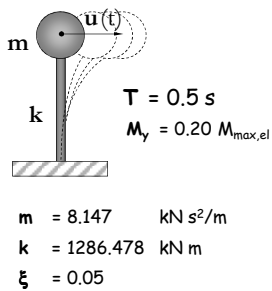
Spostamenti



32

Esempio - Oscillatore 2

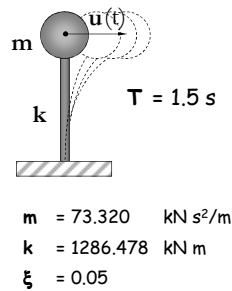
Energie



33

Esempio - Oscillatore 3

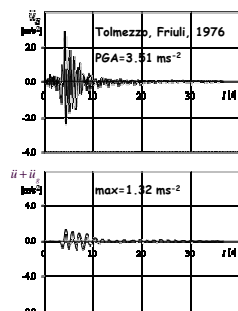
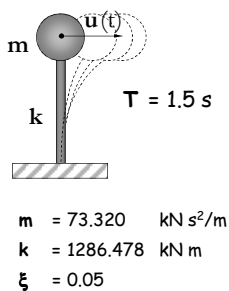
oppure supponiamo il comportamento elastico ma aumentiamo il periodo dell'oscillatore ...



34

Esempio - Oscillatore 3

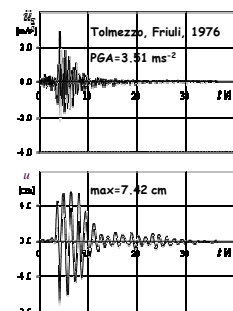
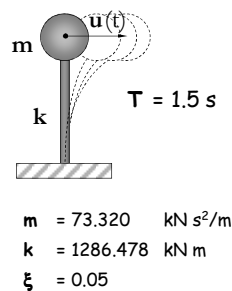
Accelerazioni



35

Esempio - Oscillatore 3

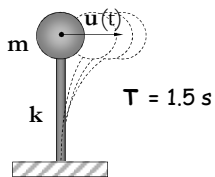
Spostamenti



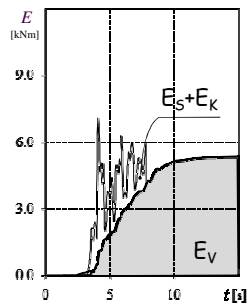
36

Esempio - Oscillatore 3

Energie

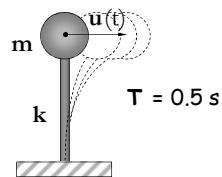


$$\begin{aligned} m &= 73.320 \text{ kN s}^2/\text{m} \\ k &= 1286.478 \text{ kN/m} \\ \xi &= 0.05 \end{aligned}$$



37

Esempio - Oscillatore 4



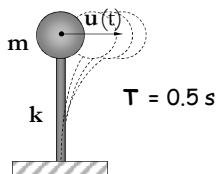
$$\begin{aligned} m &= 8.147 \text{ kN s}^2/\text{m} \\ k &= 1286.478 \text{ kN/m} \\ \xi &= 0.15 \end{aligned}$$

oppure supponiamo il comportamento elastico ma aumentiamo lo smorzamento ...

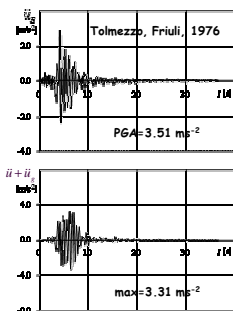
38

Esempio - Oscillatore 4

Accelerazioni



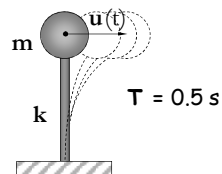
$$\begin{aligned} m &= 8.147 \text{ kN s}^2/\text{m} \\ k &= 1286.478 \text{ kN/m} \\ \xi &= 0.15 \end{aligned}$$



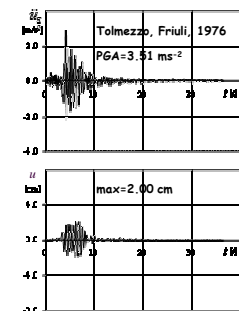
39

Esempio - Oscillatore 4

Spostamenti



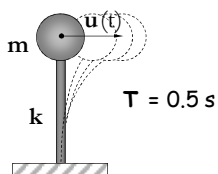
$$\begin{aligned} m &= 8.147 \text{ kN s}^2/\text{m} \\ k &= 1286.478 \text{ kN/m} \\ \xi &= 0.15 \end{aligned}$$



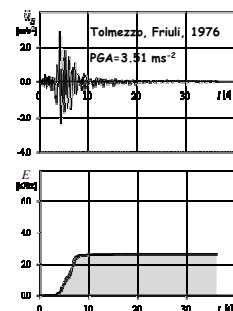
40

Esempio - Oscillatore 4

Energie



$$\begin{aligned} m &= 8.147 \text{ kN s}^2/\text{m} \\ k &= 1286.478 \text{ kN/m} \\ \xi &= 0.15 \end{aligned}$$

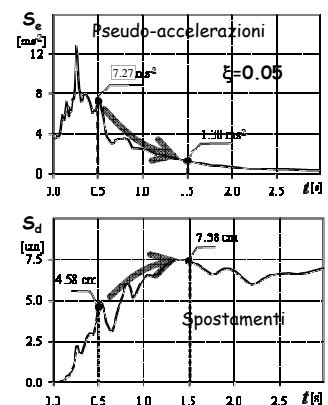


41

Esempio

Spettri elastici

aumento del periodo di vibrazione

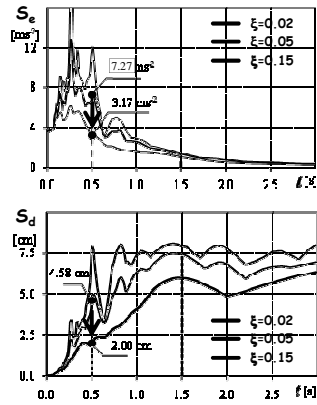


42

Esempio

Spettri elastici

aumento
dello
smorzamento

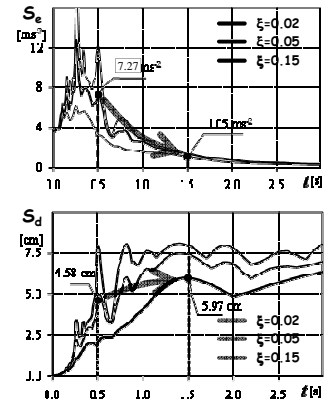


43

Esempio

Spettri elastici

aumento
del periodo
di vibrazione
+
aumento
dello
smorzamento



44

Sistemi isolati alla base

Prime considerazioni

Al fine di abbattere le sollecitazioni nella struttura (isolata),

- un progetto secondo la strategia dell'isolamento alla base prevede l'allungamento del periodo fondamentale di vibrazione della struttura isolata mediante l'inserimento alla base di sistemi con bassa rigidità laterale.

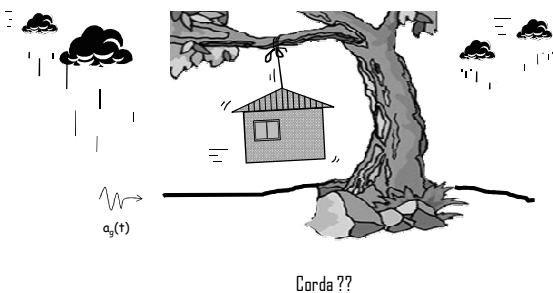
45

Ma come
allungare il periodo fondamentale
isolando alla base ??

46

Isolamento alla base

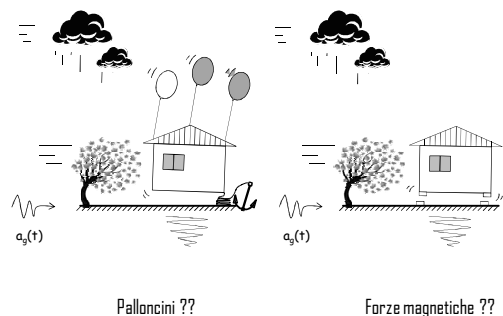
Concorso di idee



47

Isolamento alla base

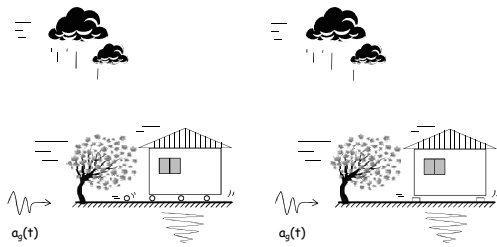
Concorso di idee



48

Isolamento alla base

Concorso di idee



Dispositivi di rotolamento ??

richiederebbe un blocco !

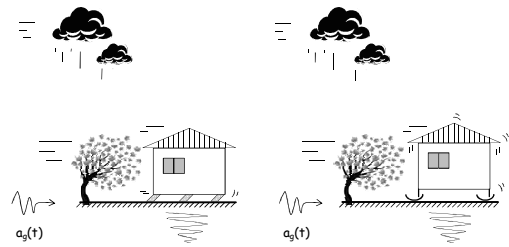
Dispositivi di scivolamento ??

richiederebbe attrito !

49

Isolamento alla base

Concorso di idee



Dispositivi elastici ??

Dispositivi di scivolamento
su superficie curva ??

50

Applicazioni storiche
riconducibili a tale filosofia di progetto ?

51

Isolamento alla base

Prime applicazioni



Tempio di Diana a Efeso

"Graecae magnificentiae vera admiratio extat templum Ephesiae Dianae CXX annis factum a tota Asia. In solo id palustri fecere, ne terrae motus sentiret aut hiatus timeret, rursus ne in lubrico atque instabili fundamenta tantae molis locarentur, calcatis ea substravere carbonibus, dein velleribus lanae"

Gaio Plinio Secondo, Naturalis Historia, Libro XXXVI, §95

52

Isolamento alla base

Prime applicazioni

Secondo Diogene Laerzio (III secolo d.C.), l'idea di poggiare le fondamenta del tempio di Artemide su strati alterni di carbone e velli di lana fu suggerita da Theodoros di Samo, un grande architetto dell'epoca, che applicò la stessa tecnica per l'edificazione del tempio di Heraion a Samo (VI secolo a.C.), crollato dopo 10 anni dalla costruzione probabilmente per un terremoto.



Tempio di Heraion - Samo

53

Isolamento alla base

Prime applicazioni



Mura di Troia (1500 a.c.)

fondate su uno strato di terra compatta lasciato volutamente tra la roccia e il pieno di posa

54

Isolamento alla base

Prime applicazioni



Poseidonia (Paestum - 273 a.c.)
dominata dalla presenza di tre templi dorici le cui fondazioni sono separate dalla roccia di base da uno strato di sabbia

55

Isolamento alla base

Prime applicazioni



Monastero di Santa Catalina ad Arequipa (XVI secolo) circa 1000 km a sud di Lima.
fondazioni realizzate con uno strato isolante di sabbia e sassi profondo all'incirca 1 m, che permetteva alla struttura di assestarsi senza subire danni

56

Isolamento alla base

Prime applicazioni

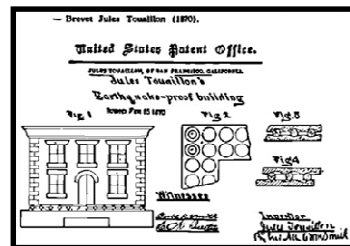


Cittadella della Casbah, Algeri

57

Isolamento alla base

Prime applicazioni



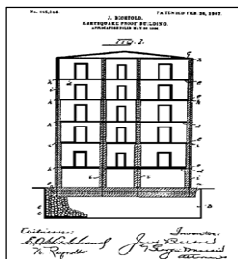
Touaillon (1870)
Primo brevetto per un sistema d'isolamento

Rulli in apposite nicchie sferiche tra sovrastruttura e fondazione
Ritorno alla posizione iniziale garantito dalla geometria del sistema di alloggiamento

58

Isolamento alla base

Prime applicazioni



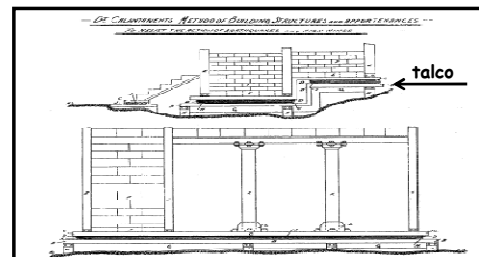
Bechtold (1906)
Brevetto per un sistema d'isolamento

Brevetto per struttura sismoresistente con piastra poggiata su corpi sferici di materiale rigido

59

Isolamento alla base

Prime applicazioni

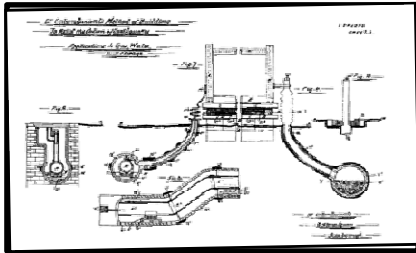


Calantariantes (1909)
Brevetto per un sistema d'isolamento

60

Isolamento alla base

Prime applicazioni



Calantarientes (1909)
Brevetto per un sistema d'isolamento

61

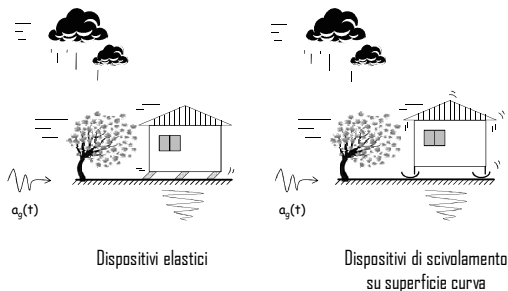
Applicazioni attuali
di tale filosofia di progetto ?

62

Isolamento alla base

Applicazioni attuali

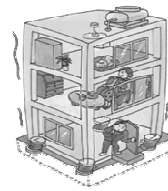
Principalmente ...



63

Sistemi isolati alla base

Definizioni generali



Interfaccia d'isolamento è la superficie di separazione sulla quale è attivo il sistema d'isolamento.

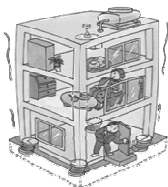
Sottostruttura è la parte della struttura che è posta al di sotto dell'interfaccia d'isolamento e che include le fondazioni

ha in genere deformabilità orizzontale trascurabile ed è soggetta direttamente agli spostamenti imposti dal movimento sismico del terreno

64

Sistemi isolati alla base

Definizioni generali

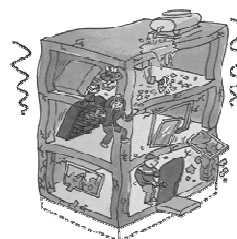


Sovrastruttura è la parte della struttura posta al di sopra dell'interfaccia d'isolamento e, perciò, isolata

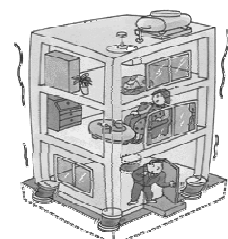
65

Sistemi isolati alla base

Aspetto principale del comportamento sismico



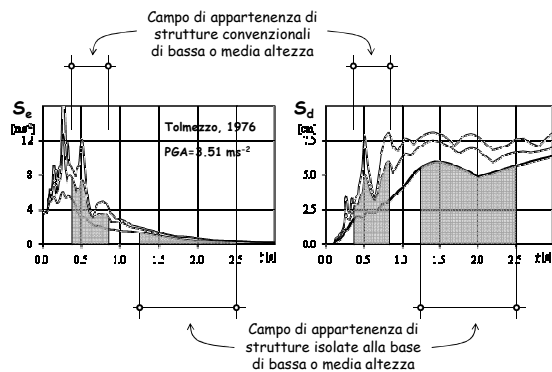
Senza isolamento alla base



Con isolamento alla base

66

Sistemi isolati e non isolati



67

Ma è sempre conveniente isolare alla base

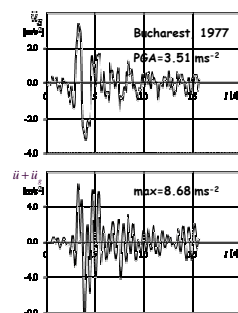
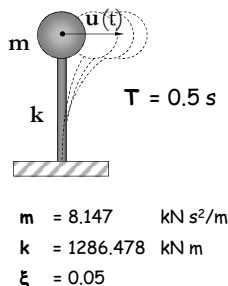
oppure

esistono situazioni in cui l'isolamento alla base è sconsigliato ??

68

Esempio - Oscillatore 5

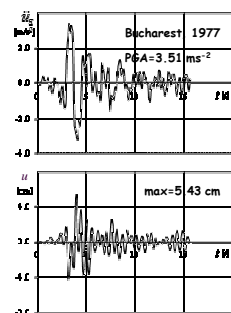
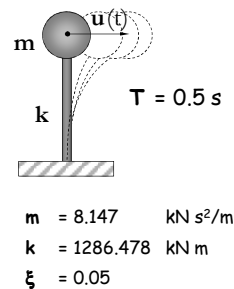
Accelerazioni



69

Esempio - Oscillatore 5

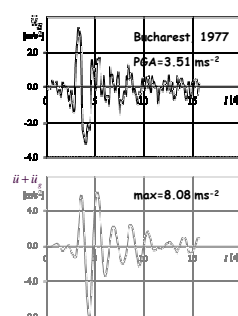
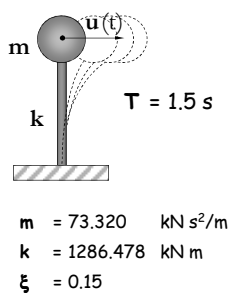
Spostamenti



70

Esempio - Oscillatore 5

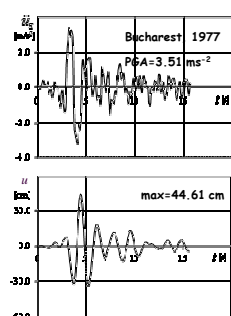
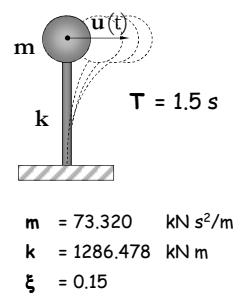
Accelerazioni



71

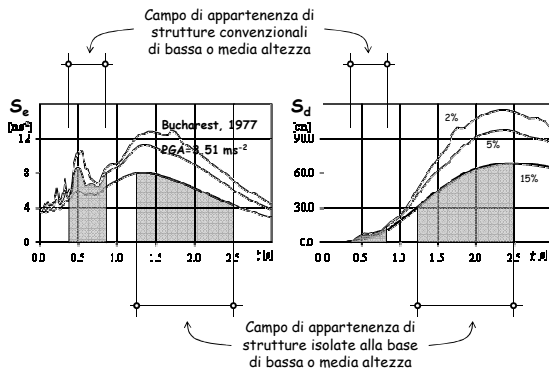
Esempio - Oscillatore 5

Spostamenti



72

Sistemi isolati e non isolati



73

Applicabilità dei sistemi isolati alla base

Maggiormente efficace

- Strutture su suolo rigido
- Strutture con basso periodo fondamentale di vibrazione (edifici di bassa altezza)

Meno efficace

- Strutture su suolo soffice (o in prossimità di faglie attive)
- Strutture con alto periodo fondamentale di vibrazione (edifici di elevata altezza)

74

Applicabilità dei sistemi isolati alla base

Come vengono ridotti/eliminati i danni nelle strutture sismicamente isolate?

- Comportamento essenzialmente elastico delle sovrastrutture
- Riduzione delle accelerazioni sismiche nelle sovrastrutture
- Riduzione delle forze sismiche nelle sovrastrutture
- Riduzione degli spostamenti di interpiano nelle sovrastrutture

Benefici a breve termine

- Possibile riduzione sezioni resistenti
- Risparmio in strutture con geometria irregolare

Benefici a lungo termine

- Sicurezza globale maggiore
- Riduzione costi riparazione
- Operatività continua

75

Quali sono le fonti di smorzamento da utilizzare nell'isolamento alla base ??

76

Isolamento alla base

Importanza dello smorzamento

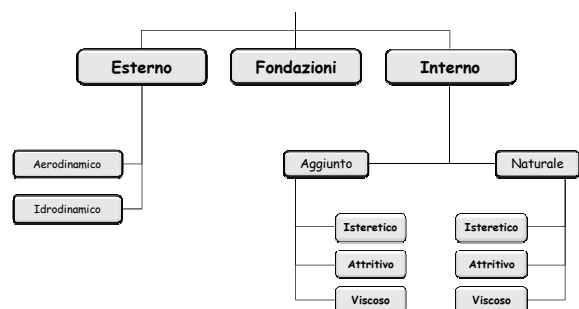
Al fine di ridurre gli spostamenti in corrispondenza dell'interfaccia d'isolamento è opportuno disporre di una o più fonti importanti di

SMORZAMENTO

Nota ! Tale principio è indipendente dalla modalità di realizzazione dell'isolamento alla base

77

Fonti di smorzamento della risposta sismica



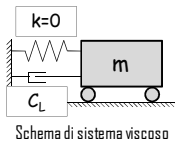
78

Dispositivi di dissipazione viscosa lineare

Nei dispositivi di dissipazione viscosa lineare la forza sviluppata dal dispositivo è legata alla velocità relativa tra gli estremi del dispositivo dalla seguente relazione:

$$F(t) = C_L \dot{x}(t)$$

La costante C_L è detta costante di smorzamento viscoso lineare.



79

Dispositivi di dissipazione viscosa lineare

Se si imprime un moto relativo di tipo sinusoidale agli estremi del dispositivo:

$$x(t) = X_0 \sin \omega t$$

la forza sviluppata dal dispositivo è:

$$F(t) = C_L \omega X_0 \cos \omega t$$

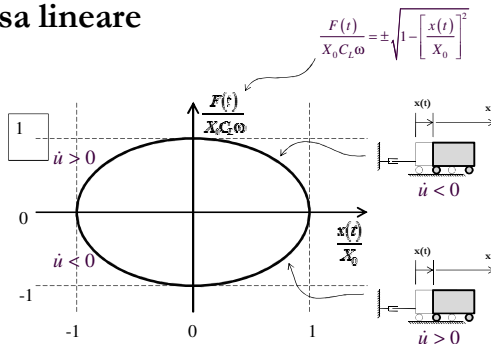
ovvero,

$$\text{ricordando che } \cos \omega t = \pm \sqrt{1 - \sin^2 \omega t}$$

$$F(t) = \pm C_L \omega \sqrt{X_0^2 - x^2(t)}$$

80

Dispositivi di dissipazione viscosa lineare



81

Dispositivi di dissipazione viscosa lineare

La forza sviluppata dal dissipatore viscoso

- ✦ è massima quando lo spostamento relativo tra le estremità del dispositivo è nullo
- ✦ è nulla quando lo spostamento relativo tra le estremità del dispositivo è massimo

Inoltre, la forza sviluppata dal dissipatore viscoso è direttamente proporzionale:

- + allo spostamento massimo impresso
- + alla pulsazione dell'onda di spostamento
- + alla costante di smorzamento viscoso

82

Dispositivi di dissipazione viscosa lineare

L'energia dissipata dal dissipatore viscoso lineare in un ciclo di spostamento è pari a:

$$E_{vd} = \int_0^{2\pi/\omega} F(t) \dot{x}(t) dt = C_L \omega^2 X_0^2 \int_0^{2\pi/\omega} \cos^2 \omega t dt$$

ovvero:

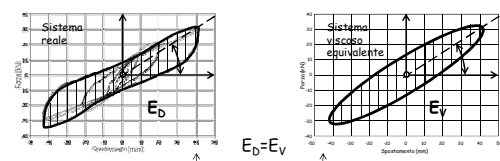
$$E_{vd} = C_L \omega^2 X_0^2 \left[\frac{t}{2} + \frac{1}{4\omega} \sin 2\omega t \right]_0^{2\pi/\omega} = C_L \pi \omega X_0^2$$

83

Smorzamento viscoso equivalente

Definizione

Si definisce smorzamento viscoso equivalente il valore dello smorzamento che un sistema con smorzamento di tipo viscoso lineare dovrebbe avere per dissipare in un ciclo e muovendosi con pulsazione pari alla pulsazione del sistema reale la quantità di energia dissipata dal sistema reale nello stesso ciclo:



84

Smorzamento viscoso equivalente

Definizione

A tal fine, si può riscrivere la formula dell'energia dissipata dal sistema con smorzamento viscoso lineare:

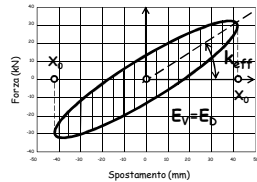
$$E_D = C_L \pi \omega X_0^2$$

In particolare, ricordando che

$$C_L = 2\xi_{eq} \omega m$$

si ha:

$$\begin{aligned} E_D &= 2\pi\xi_{eq} \omega^2 m X_0^2 \\ &= 2\pi\xi_{eq} k_{eff} X_0^2 \end{aligned}$$



85

Smorzamento viscoso equivalente

Definizione

Pertanto, possiamo calcolare lo smorzamento viscoso equivalente mediante le relazioni:

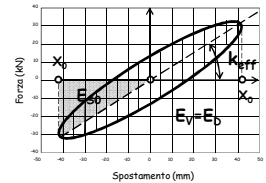
$$\xi_{eq} = \frac{E_D}{2\pi k_{eff} X_0^2}$$

ovvero:

$$\xi_{eq} = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{S0}}$$

dove

E_{S0} ($1/2 k_{eff} X_0^2$) è l'energia elastica corrispondente allo spostamento massimo considerato



86

Smorzamento viscoso equivalente

Valori convenzionali

Materiale	Smorzamento (%)
Cemento Armato	
Piccola ampiezza (non fessurato)	0.7-1.0
Media ampiezza (fessurato)	1.0-4.0
Grande ampiezza (fessurato no snervamento acciaio)	4.0-8.0
Acciaio	1.0-2.0
Isolatori elastomerici	10-30

87

Corso di aggiornamento
Progettazione strutturale e
Norme Tecniche per le Costruzioni

**L'isolamento alla base nella progettazione sismica
e nell'intervento sull'esistente**

Spoletto
5-6 giugno 2015

02 - Impostazione della carpenteria, dimensionamento
e verifica di massima

Definizioni

- **Interfaccia d'isolamento**
la superficie di separazione sulla quale è attivo il sistema di isolamento
- **Sottostruttura**
la parte della struttura posta al di sotto dell'interfaccia del sistema d'isolamento
 - include le fondazioni
 - ha in genere deformabilità orizzontale trascurabile
 - È soggetta direttamente agli spostamenti imposti dal movimento sismico del terreno
- **Sovrastruttura**
la parte della struttura posta al di sopra dell'interfaccia d'isolamento e, perciò, isolata

Posizione del sistema di isolamento

Possibilità (per edificio senza piano interrato):

- Tra fondazione e solaio di base
Problemi: difficoltà di accesso
- Tra solaio di base e parte inferiore delle colonne del primo ordine
- A metà altezza dei pilastri del primo ordine
- In testa ai pilastri del primo ordine
Problemi: dettagli per scale, ascensori, tamponature primo livello

Posizione del sistema di isolamento

Possibilità (per edificio con piano seminterrato):

- In testa ai pilastri del primo ordine
Problemi: dettagli per scale, ascensori, tamponature primo livello
- È la soluzione ottimale, specie se il seminterrato ha pareti che costituiscono una scatola rigida

Principi generali da seguire nella progettazione

- La sottostruttura deve essere dimensionata in modo da assicurare un comportamento rigido, in modo da limitare gli effetti di spostamenti sismici differenziali
 - Lo spostamento orizzontale in condizioni sismiche deve essere minore di $1/20$ dello spostamento relativo del sistema di isolamento
- Questo è facilmente garantito se gli isolatori sono posti al di sopra di un seminterrato con pareti scatolari e pilastri interni molto rigidi
- L'impalcato sovrastante deve essere un diaframma rigido

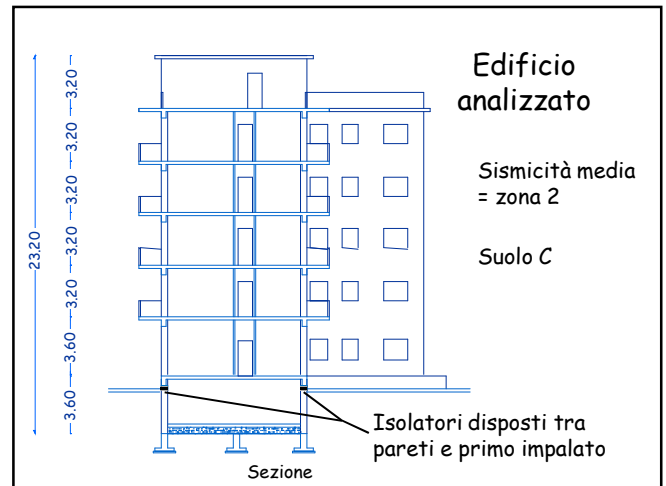
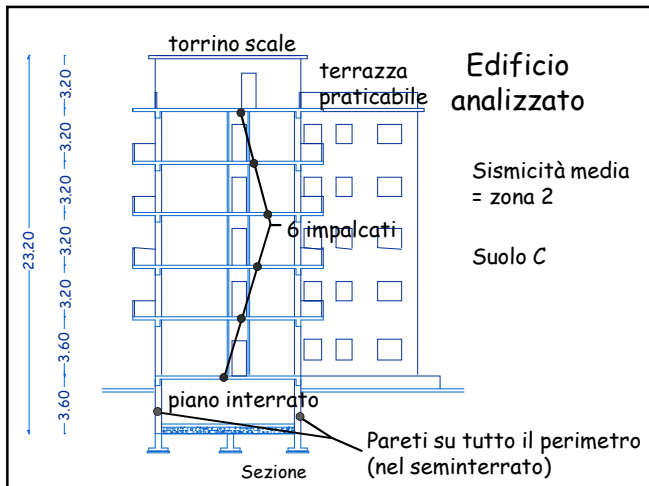
Principi generali da seguire nella progettazione

- La sottostruttura e la sovrastruttura devono rimanere sostanzialmente in campo elastico
 - Il danneggiamento di elementi strutturali aumenta il periodo proprio della struttura e riduce l'efficacia dell'isolamento
- La sottostruttura deve rimanere preferibilmente in campo elastico
- La sovrastruttura deve essere progettata con riferimento alle prescrizioni relative alle strutture con bassa duttilità (DC "B"), con fattore di struttura $q=1.5$

Principi generali da seguire nella progettazione

- La struttura isolata deve avere un periodo fondamentale nettamente maggiore rispetto a quello della corrispondente struttura a base fissa
- Nel progetto occorre tener conto della differenza di smorzamento del sistema di isolamento rispetto a quello della sovrastruttura
 - Per la sovrastruttura si usa di solito uno smorzamento del 5%
 - Il sistema di isolamento ha smorzamento nettamente maggiore (10-15%)

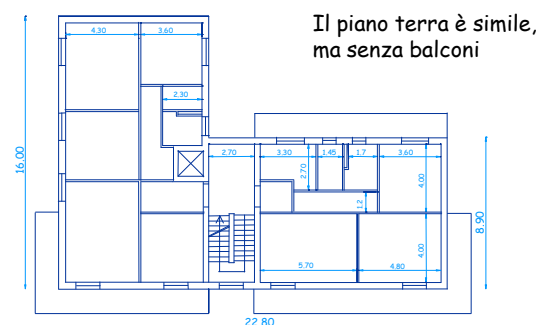
Esempio



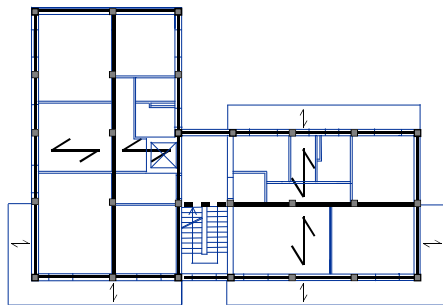
Impostazione della carpenteria

- Carpenteria pensata principalmente per carichi verticali
- Orientamento dei pilastri e aggiunta di travi emergenti per sopportare azioni orizzontali e conferire:
 - una buona rigidezza in entrambe le direzioni
 - una buona rigidezza rotazionale
- Cercare di realizzare in ogni caso una struttura rotazionalmente bilanciata

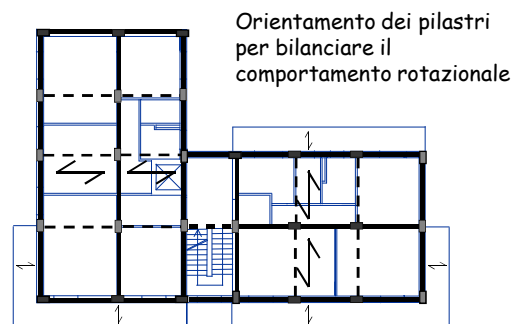
Piano tipo



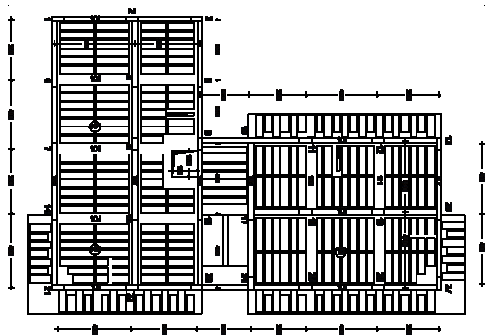
Impostazione della carpenteria pensando ai carichi verticali



Impostazione della carpenteria pensando alle azioni orizzontali



Carpenteria del piano tipo



Dimensionamento

1. Stima carichi unitari, carichi verticali su travi e pilastri, sollecitazioni da carichi verticali in condizioni sismiche e non sismiche
2. Valutazione delle masse sismiche
3. Spettro di risposta elastica, fattore di struttura e spettro di progetto
4. Stima preliminare del periodo della struttura a base fissa e scelta del periodo della struttura isolata alla base
5. Previsione delle caratteristiche di sollecitazione nella struttura
6. Dimensionamento delle sezioni e controllo periodo

1. Carichi verticali

Si procede come ben noto

- Dimensionamento spessore solaio
Nell'esempio: $s = 22 \text{ cm}$
- Definizione carichi unitari
- Analisi dei carichi sulle travi
- Stima del momento flettente nelle travi ($q l^2 / 12$ o simile)
Nell'esempio, in assenza di sisma:
travi emergenti $M=100 \text{ kNm}$
travi a spessore $M=36 \text{ kNm}$
In presenza di sisma circa il 60% di questi valori

1. Carichi verticali

Si procede come ben noto

- Stima dello sforzo normale nei pilastri
Nell'esempio,
in assenza di sisma:
2° ordine $N=560 \div 1570 \text{ kN}$
1° ordine $N=660 \div 1850 \text{ kN}$
in presenza di sisma:
2° ordine $N=385 \div 1045 \text{ kN}$
1° ordine $N=455 \div 1225 \text{ kN}$

2. Masse

- In un edificio in cemento armato il peso delle masse di piano corrisponde in genere ad una incidenza media di $8 \div 11 \text{ kN/m}^2$
 - Nell'esempio, una stima di prima approssimazione del peso delle masse a ciascun piano è stata ottenuta moltiplicando la superficie totale dell'impalcato per 10 kN/m^2 (9 kN/m^2 in copertura, per la minore incidenza delle tamponature)

Impalcato	Superficie [m ²]	Incidenza [kN/m ²]	Peso [kN]
Torrino + VI	379.9	9.0	3419
V, IV, III, II	323.5	10.0	3235
I	263.2	10.0	2632

3. Spettro di risposta

- Lo spettro si ricava a partire dai dati relativi al sito

Nell'esempio

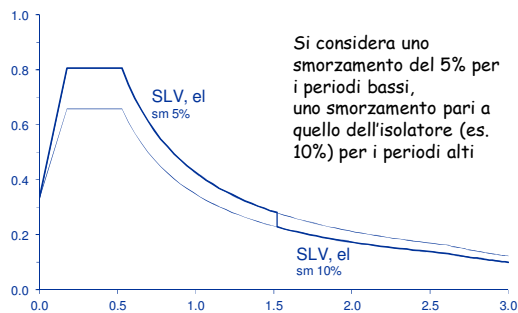
stato limite	SLO	SLD	SLV	SLC
T_p	30	50	475	975
a_g	0.061	0.082	0.250	0.339
F_o	2.360	2.316	2.410	2.445
T_c^*	0.280	0.292	0.360	0.383

Per suolo C e stato limite SLV si ha:

$$S = 1.335 \quad T_B = 0.177 \text{ s} \quad T_c = 0.53 \text{ s} \quad T_D = 2.60 \text{ s}$$

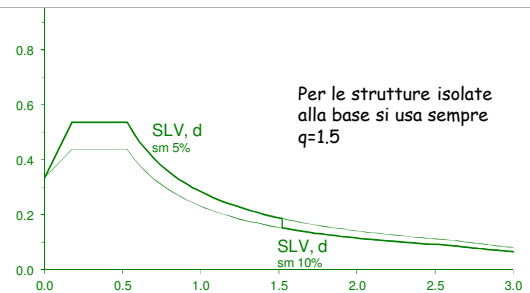
3. Spettro di risposta

- Lo spettro dipende anche dallo smorzamento



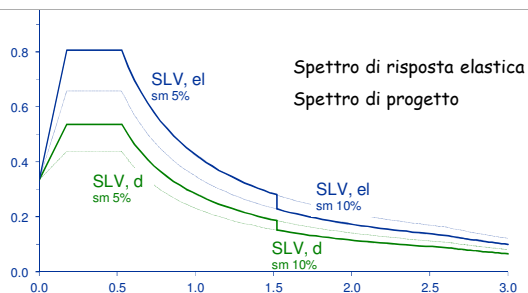
3. Spettro di risposta

- Nel progetto della struttura si considera lo spettro ridotto in funzione del fattore di struttura q



3. Spettro di risposta

- Nel progetto della struttura si considera lo spettro ridotto in funzione del fattore di struttura q



4. Periodi

- Occorre preliminarmente stimare il periodo fondamentale della struttura a base fissa
- In mancanza di altre indicazioni si può utilizzare la formula di normativa

$$T_1 = C_1 H^{3/4}$$

con $C_1 = 0.075$ per strutture intelaiate in c.a.

Per la presenza delle pareti del cantinato, userò

$H = 16.00 \text{ m}$

altezza dell'edificio dall'estradosso delle pareti del cantinato

$$T_1 = 0.60 \text{ s}$$

4. Periodi

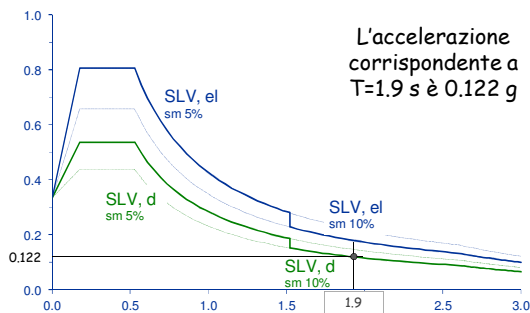
- Occorre preliminarmente stimare il periodo fondamentale della struttura a base fissa
 $T_1 = 0.60 \text{ s}$
- Il periodo della struttura isolata deve essere almeno 3 volte quello della struttura a base fissa
- Assumo $T_{iso} = 1.9 \text{ s}$

5. Sollecitazioni nella struttura per effetto del sisma

- Il procedimento è analogo a quello che si usa per nuova progettazione
- La distribuzione delle forze è diversa (accelerazione costante, anziché variabile linearmente)

5. Sollecitazioni nella struttura per effetto del sisma

- Ordinata dello spettro di progetto



5. Sollecitazioni nella struttura per effetto del sisma

- Forze e tagli di piano con $S_d = 0.122 \text{ g}$ (nota: $\lambda=1$)

piano	W	F [kN]	V [kN]
6 + torrino	3419	418.3	418.3
5	3235	395.8	814.1
4	3235	395.8	1209.9
3	3235	395.8	1605.7
2	3235	395.8	2001.5
1	2632	322.0	2323.5
Totale	18991		

5. Sollecitazioni nella struttura per effetto del sisma

- Taglio e momento flettente nei pilastri considero 13 pilastri

piano	V [kN]	V_{pil} [kN]	M_{pil} [kNm]
6 + torrino	418.3	32.2	51.5
5	814.1	62.6	100.2
4	1209.9	93.1	148.9
3	1605.7	123.5	197.6
2	2001.5	154.0	277.1
1	2323.5		

Incrementare per tener conto di eccentricità accidentale

$$V_{pil} = \frac{V}{n_{pil}}$$

$$M_{pil} = V_{pil} \frac{h}{2}$$

5. Sollecitazioni nella struttura per effetto del sisma

- Momento flettente nelle travi dall'equilibrio nel nodo

piano	V [kN]	M_{pil} [kNm]	M_{tra} [kNm]
6 + torrino	418.3	51.5	25.7
5	814.1	100.2	75.8
4	1209.9	148.9	124.6
3	1605.7	197.6	173.3
2	2001.5	277.1	237.4
1	2323.5		138.6

Incrementare per tener conto di eccentricità accidentale

$$M_{tra,j} = \frac{M_{pil,j+1} + M_{pil,j}}{2}$$

6. Dimensionamento sezioni e controllo periodo

- In base ai momenti stimati
(da incrementare di 1.1÷1.2 per eccentricità accidentale)

piano	M_{pil} [kNm]	pilastro	M_{tra} [kNm]	trave
6 + torrino	51.5	30x70	25.7	30x50
5	100.2	30x70	75.8	30x50
4	148.9	30x70	124.6	30x50
3	197.6	30x70	173.3	30x60
2	277.1	30x70	237.4	30x60
1			138.6	30x60

tenendo conto che per carichi verticali $M_{tra}=58.2$ kNm

6. Dimensionamento sezioni e controllo periodo

- Per valutare il periodo della struttura a base fissa occorre stimare la rigidezza
- Ho usato l'approccio "per singola tipologia di elemento"

$$rigidezza = \frac{12 E I_p}{L_p^3} \frac{1}{1 + \frac{1}{2} \left(\frac{E I_p / L_p}{E I_{t, sup} / L_t} + \frac{E I_p / L_p}{E I_{t, inf} / L_t} \right)}$$

Esempio:

pilastro 30x70 con 2 travi emergenti 30x60 sup e 30x60 inf $k=33.14$ kN/mm
(con $h_{pil} = 3.20$ m, $l_{tra} = 4.00$ m)

6. Dimensionamento sezioni e controllo periodo

- Per valutare il periodo della struttura a base fissa occorre stimare la rigidezza
- Riepilogo rigidezze singole tipologie, ai vari piani

	1	2	3	4
	pilastro di coltello	pilastro di coltello	pilastro di coltello	pilastro di coltello
ordine	2 travi eme. sup/inf	1 trave eme. sup/inf	2 travi sp. sup/inf	1 trave sp. sup/inf
6	22.33	12.59	4.68	2.40
5	22.33	12.59	4.68	2.40
4	27.35	16.04	4.68	2.40
3	33.14	19.90	4.68	2.40
2	33.14	19.90	4.68	2.40

	6	7	8	9
	pilastro di piatto	pilastro di piatto	pilastro di piatto	pilastro di piatto
ordine	2 travi eme. sup/inf	1 trave eme. sup/inf	2 travi sp. sup/inf	1 trave sp. sup/inf
6	11.15	8.04	3.87	2.16
5	11.15	8.04	3.87	2.16
4	12.18	9.19	3.87	2.16
3	13.31	10.51	3.87	2.16
2	13.31	10.51	3.87	2.16

6. Dimensionamento sezioni e controllo periodo

- Per valutare il periodo della struttura a base fissa occorre stimare la rigidezza
- Rigidezze singoli telai, ai vari piani

telai	1	y =	0.15	m				
ordine	6							
tipologia pilastri	2	1	1	6	1	1	7	k tot
rigidezza	12.59	22.33	22.33	11.15	22.33	22.33	8.94	121.99
ordine	5							
tipologia pilastri	2	1	1	6	1	1	7	k tot
rigidezza	12.59	22.33	22.33	11.15	22.33	22.33	8.94	121.99
ordine	4							
tipologia pilastri	2	1	1	6	1	1	7	k tot
rigidezza	16.04	27.36	27.36	12.18	27.36	27.36	9.19	146.83
ordine	3							
tipologia pilastri	2	1	1	6	1	1	7	k tot
rigidezza	19.90	33.14	33.14	13.31	33.14	33.14	10.51	176.28
ordine	2							
tipologia pilastri	2	1	1	6	1	1	7	k tot
rigidezza	19.90	33.14	33.14	13.31	33.14	33.14	10.51	176.28

eccetera

6. Dimensionamento sezioni e controllo periodo

- Per valutare il periodo della struttura a base fissa occorre stimare la rigidezza
- Rigidezze totali, ai vari piani

Telai in direzione x						
complessivo						
ordine	6	pol. eme.	k tot	k tot y	y CM	y CM
rigidezza	10.07	336.51	1972.4	5.86	5.76	
ordine	5					
rigidezza	15.07	336.51	1972.4	5.86	5.76	
ordine	4					
rigidezza	14.77	483.93	2313.8	5.88	5.68	
ordine	3					
rigidezza	14.52	481.08	2831.8	5.89	5.67	
ordine	2					
rigidezza	14.52	481.08	2831.8	5.89	5.67	

Per sisma in direzione x la struttura è bilanciata

6. Dimensionamento sezioni e controllo periodo

- Per valutare il periodo della struttura a base fissa occorre stimare la rigidezza
- Rigidezze totali, ai vari piani

Telai in direzione y						
complessivo						
ordine	6	pol. eme.	k tot	k tot x	x CM	x CM
rigidezza	15.55	356.04	2987.9	8.39	10.14	
ordine	5					
rigidezza	15.95	356.04	2987.9	8.39	10.24	
ordine	4					
rigidezza	15.11	425.16	3807.8	8.39	10.28	
ordine	3					
rigidezza	15.52	514.18	4314.3	8.39	10.30	
ordine	2					
rigidezza	15.52	514.18	4314.3	8.39	10.31	

Per sisma in direzione y la struttura è fortemente sbilanciata (2 m)

Questo è meno importante per strutture isolate, ma comunque conta

6. Dimensionamento sezioni e controllo periodo

- Dalle rigidezze si ricavano gli spostamenti e quindi il periodo, con la formula di Rayleigh

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N m_i u_i^2}{\sum_{i=1}^N F_i u_i}}$$

Rigidezze con approccio per singolo pilastro				direzione x		distribuzione costante			
Forze orizzontali				Sd	0.122	(valore arbitrario)		Fh	1927.7
piano	W	Fi	Vi [kN]	k [kN/mm]	dr [mm]	u [mm]	m [t]	m u ²	F u
6 + torione	3419	418.3	418.3	336.51	1.24	14.00	348.5	68.3	6857
5	3235	395.8	814.1	336.51	2.42	12.76	329.8	53.7	5050
4	3235	395.8	1209.9	403.93	3.00	10.34	329.8	35.3	4093
3	3235	395.8	1605.7	481.08	3.34	7.34	329.8	17.8	2907
2	2632	322.0	1927.7	481.08	4.01	4.01	298.3	4.5	1250
Totale	15756	1927.7						179.4	19197
								T	0.607 s

6. Dimensionamento sezioni e controllo periodo

- Dalle rigidezze si ricavano gli spostamenti e quindi il periodo, con la formula di Rayleigh

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N m_i u_i^2}{\sum_{i=1}^N F_i u_i}}$$

Rigidezze con approccio per singolo pilastro				direzione y		distribuzione costante			
Forze orizzontali				Sd	0.122			Fh	1638.6
piano	W	Fi	Vi [kN]	k [kN/mm]	dr [mm]	u [mm]	m [t]	m u ²	F u
6 + torione	3419	418.3	418.3	356.04	1.17	13.15	349.5	60.3	5609
5	3235	395.8	814.1	356.04	2.29	11.91	329.8	47.3	4739
4	3235	395.8	1209.9	429.76	2.82	9.69	329.8	30.6	3634
3	3235	395.8	1605.7	514.18	3.12	5.87	329.8	15.6	2729
2	2632	322.0	1927.7	514.18	3.75	3.75	298.3	3.8	1201
Totale	15756	1927.7						157.8	18001
								T	0.589 s

6. Dimensionamento sezioni e controllo periodo

- Il periodo della struttura a base fissa è effettivamente prossimo a 0.6 s
- Di conseguenza va bene un periodo della struttura isolata pari a 1.9 s

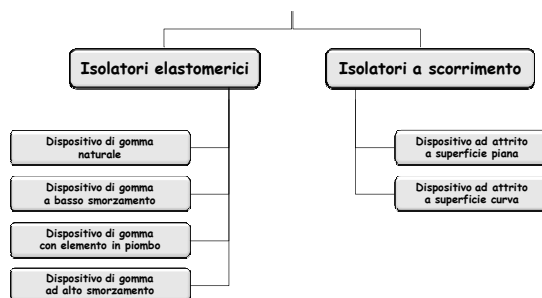
Corso di aggiornamento
Progettazione strutturale e
Norme Tecniche per le Costruzioni

L'isolamento alla base nella progettazione sismica
e nell'intervento sull'esistente

Spoletto
5-6 giugno 2015

03 - Dispositivi di isolamento

Dispositivi di isolamento



2

Isolatori elastomerici

Gli isolatori elastomerici sono costituiti da strati alterni di acciaio e elastomero collegati mediante vulcanizzazione.

3

Isolatori elastomerici

Caratteristiche fisico-meccaniche dell'elastomero

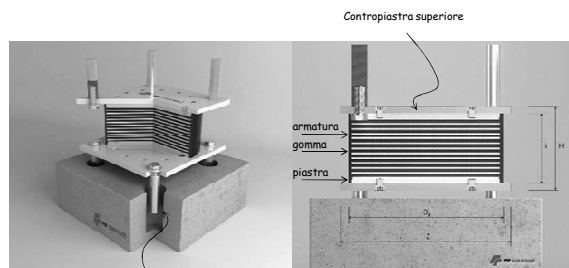
		Mescola			
		Normale	Morbida	Normale	Dura
Durezza	Shore A3	50±3	40±3	60±3	75±3
Resistenza a rottura (trazione)	MPa	20	20	20	18
Allungamento a rottura	%	600	750	600	500
Modulo di elasticità'	MPa	0.9	0.4	0.8	1.4
Smorzamento viscoso equivalente del solo elastomero	%	4	10	10	16

Tratto dal catalogo ALGAPEND

4

Isolatori elastomerici

Caratteristiche fisiche

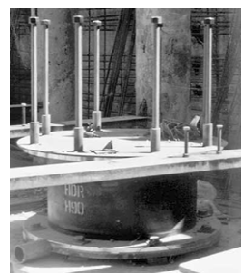


Caratteristiche fisiche dei dispositivi di isolamento

5

Isolatori elastomerici

Caratteristiche fisiche



Dispositivo di isolamento

6

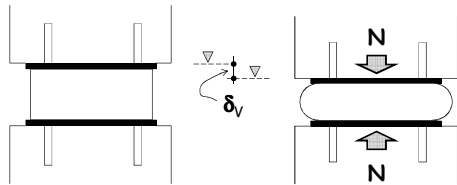
Isolatori elastomerici

Effetto delle piastre d'armatura

In assenza di piastre di confinamento

Prima che sia trasmesso lo sforzo normale

Allorche' e' trasmesso lo sforzo normale



Effetto di vincolo esercitato dalle piastre in acciaio sulla gomma dei dispositivi di isolamento

7

Isolatori elastomerici

Effetto delle piastre d'armatura

In assenza di piastre di confinamento

1. Sono possibili importanti spostamenti verticali differenziali tra le basi dei pilastri (con notevoli rispercussioni sulle travi in elevazione)
2. Sono possibili moti di "rocking" durante l'evento sismico o in occorrenza di venti di forte intensita' (con notevole fastidio per gli occupanti e aumento di sollecitazioni sugli elementi strutturali)

8

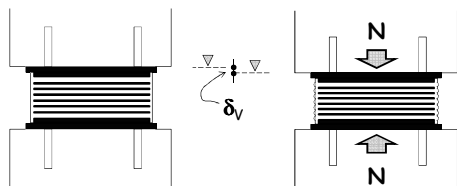
Isolatori elastomerici

Effetto delle piastre d'armatura

In presenza di piastre di confinamento

Prima che sia trasmesso lo sforzo normale

Allorche' e' trasmesso lo sforzo normale



Risultato: Le piastre di confinamento aumentano notevolmente la rigidità verticale degli isolatori

9

Isolatori elastomerici

Effetto delle piastre in acciaio



Effetto di vincolo esercitato dalle piastre in acciaio sulla gomma dei dispositivi di isolamento

10

Isolatori elastomerici

Ipotesi di calcolo

La modellazione analitica della risposta di uno strato di gomma confinato da piastre rigide, soggetto ad un carico verticale presenta delle difficoltà a causa della forte non linearità del fenomeno e della non omogeneità dello stato deformativo.

L'assunzione di base considera il campo di spostamenti totali derivanti dalla sovrapposizione di :

- campo di spostamenti provenienti dalla compressione omogenea dello strato di gomma libera;
- campo distorsionale necessario a ristabilire la condizione di confinamento e di incompressibilità media.

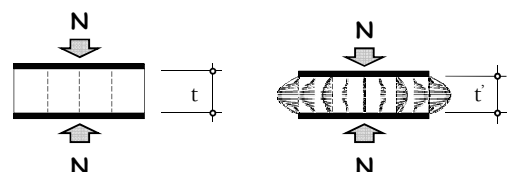
11

Isolatori elastomerici

Ipotesi di calcolo

Ipotesi della modellazione analitica :

- le sezioni orizzontali rimangono piane dopo la deformazione;
- le superfici cilindriche, inizialmente verticali, diventano paraboliche;
- elastomero incompressibile, cioè $\epsilon_{xx} + \epsilon_{yy} + \epsilon_{zz} = 0$;



12

Isolatori elastomerici

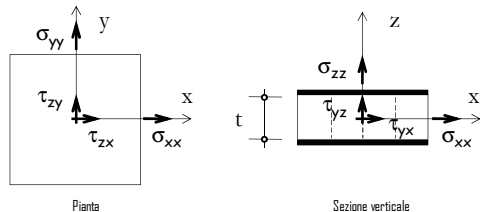
Stato tensionale

$$\sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \sigma_{zz} = p$$

$$\tau_{xy}=0 \quad \tau_{xz} \neq 0 \quad \tau_{yz} \neq 0$$

pressione idrostatica

tensioni tangenziali generate dal confinamento delle piastre in acciaio



13

Isolatori elastomerici

Rigidezza verticale

La rigidezza verticale dell'isolatore è calcolata mediante la relazione

$$K_v = \frac{N}{\delta_v} = \frac{E A}{t_r}$$

dove :

- E è il modulo istantaneo a compressione dell'insieme elastomero + piastre d'acciaio
- A è l'area trasversale totale dell'elastomero (normalmente al limite della piastra)
- t_r è lo spessore totale dell'elastomero

14

Isolatori elastomerici

Modulo elastico a compressione

Il modulo E_c dell'isolatore può essere ricavato nell'ipotesi che il campo di forze sia fornito dalla sovrapposizione di due campi di forze semplici:

- la forza F₁ associata allo stato di deformazione verticale e applicato al blocco di gomma considerato libero di deformarsi (ovvero in assenza del confinamento determinato dalla presenza dei piatti metallici);
- la forza F₂ associata allo spostamento radiale che si deve imporre per ristabilire la congruenza tra blocco elastomerico e piatti metallici, cioè per annullare gli spostamenti orizzontali dei punti appartenenti alle superfici di attacco gomma-acciaio.

15

Isolatori elastomerici

Modulo elastico a compressione

In ogni caso :

$$F_1 = E_0 A \epsilon$$

dove :

- E₀ è il modulo di Young della gomma;
- A è l'area della sezione dell'appoggio;
- ε è pari a Δt/t e rappresenta la deformazione verticale della gomma;

16

Isolatori elastomerici

Modulo elastico a compressione

Nel caso di isolatore circolare :

$$F_2 = \frac{\pi E_0 \delta R^4}{2t^3} = p_m A \quad \text{e quindi} \quad E_c = \frac{(F_1 + F_2)}{A \epsilon} = E_0 \left(1 + \frac{p_m A}{\epsilon E_0 A} \right)$$

Poichè

$$p_m A = \frac{3G\pi R^4}{2t^2} \epsilon_c$$

si ha (materiale comprimibile) :

$$E_c = 6G S_1^2 \left(1 - \frac{8G S_1^2}{K} \right) \quad \text{dove K è il modulo di modulo di comprimibilità volumetrica}$$

17

Isolatori elastomerici

Modulo elastico a compressione

Nell'ipotesi di materiale incompressibile il modulo istantaneo a compressione dell'insieme elastomero + piastre d'acciaio vale

$$E = 6G S_1^2 \quad \text{Dispositivo a sezione circolare}$$

$$E = 6.73G S_1^2 \quad \text{Dispositivo a sezione quadrata}$$

$$E = 6\lambda G S_1^2 \quad \text{Dispositivo a sezione circolare con foro centrale}$$

dove :

$$\lambda = \frac{b^2 + a^2 - [(b^2 - a^2) / (\ln b/a)]}{(b-a)^2} \quad \text{essendo a e b i raggi interni e esterni dell'elastomero}$$

18

Isolatori elastomerici

Fattore di forma primario

Il fattore di forma S_1 del singolo strato di gomma è definito dalla relazione :

$$S_1 = \frac{\text{area caricata}}{\text{area libera}}$$

Esso controlla il confinamento della gomma e quindi la rigidità verticale

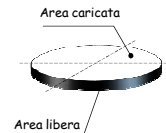
19

Isolatori elastomerici

Fattore di forma primario

Nel caso di un isolatore elastomerico a sezione circolare

$$S_1 = \frac{\text{area caricata}}{\text{area libera}}$$



$$\Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow S_1 = \frac{\pi R^2}{2\pi R t} = \frac{R}{2t}$$

dove :

R è il raggio del singolo strato di elastomero

t è lo spessore del singolo strato di elastomero

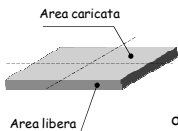
20

Isolatori elastomerici

Fattore di forma primario

Nel caso di un isolatore elastomerico a sezione rettangolare

$$S_1 = \frac{\text{area caricata}}{\text{area libera}}$$



$$\Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow S_1 = \frac{a^2}{4at} = \frac{a}{4t}$$

dove :

a è il lato del singolo strato di elastomero

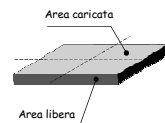
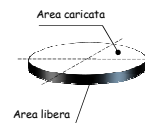
t è lo spessore del singolo strato di elastomero

21

Isolatori elastomerici

Fattore di forma primario

$$K_v = \frac{EA}{t_r}$$



$$E = 6G S_1^2$$

$$E = 6.73 G S_1^2$$

Al fine di ottenere una elevata rigidità verticale è opportuno avere il fattore di forma $S_1 > 12$

22

Isolatori elastomerici

Fattore di forma primario

In funzione dell'altezza degli strati di elastomero e di acciaio

$$S_1 = \frac{\text{area caricata}}{\text{area libera}}$$



S1 basso



S1 alto

23

Isolatori elastomerici

Deformazione a taglio per compressione

Sotto compressione diretta il vincolo fornito dalle piastre di confinamento produce una deformazione massima da taglio nell'elastomero:

$$\gamma_c = 6 S_1 \epsilon_c$$

dove :

$\epsilon_c = \delta_v / t_r$ è la deformazione normale indotta dai carichi verticali

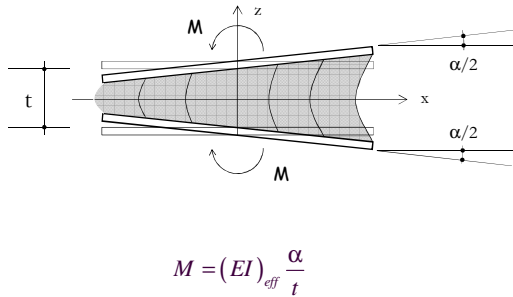
δ_v è lo spostamento verticale indotto dai carichi verticali

t_r è lo spessore totale dell'elastomero

24

Isolatori elastomerici

Rigidezza flessionale



25

Isolatori elastomerici

Rigidezza flessionale

La rigidità flessionale dello strato può essere valutata come :

$$(EI)_{eff} = \frac{3G \pi R^6}{2t^2 \cdot 12} \quad \text{Dispositivo a sezione circolare}$$

$$(EI)_{eff} = 6G S_1^2 (0.329 I) \quad \text{Dispositivo a sezione quadrata}$$

$$(EI)_{eff} = 2G S_1^2 I \frac{(b+a)}{(b^2 - a^2)} \quad \text{Dispositivo a sezione circolare con foro centrale}$$

dove :

a, b sono i raggi interni ed esterni dello strato
t è lo spessore del singolo strato di elastomero

26

Isolatori elastomerici

Deformazione a taglio per flessione

Le deformazioni da taglio indotte da momento flettente sono valutate mediante la relazione :

$$\gamma_\alpha = 6 S_1 \epsilon_\alpha$$

dove :

$\epsilon_\alpha = R\alpha/t$ è la def. normale max indotta da momento flettente
 α è la rotazione relativa tra le due facce dello strato di elastomero
R è il raggio dello strato di elastomero
t è lo spessore del singolo strato di elastomero

27

Isolatori elastomerici

Deformazione a taglio per flessione

Isolatore elastomerico con sezione circolare :

$$\gamma_\alpha = 6 \frac{R}{2t} \frac{R\alpha}{t_e} = \frac{3D^2\alpha}{4tt_e}$$

dove :

α è la rotazione relativa tra le due facce dello strato di elastomero
R è il raggio dello strato di elastomero
D è il diametro dello strato di elastomero
t è lo spessore del singolo strato di elastomero
 t_e è lo spessore totale degli strati di elastomero

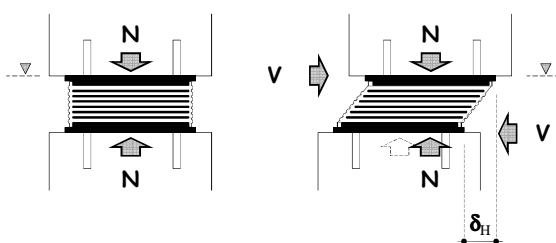
28

Isolatori elastomerici

Comportamento a taglio

Prima che sia trasmesso il taglio

Allorché è trasmesso il taglio



29

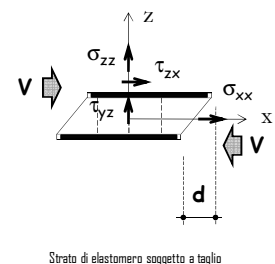
Isolatori elastomerici

Comportamento a taglio

La forza V induce nell'elastomero tensioni tangenziali τ_{xz} e τ_{yz} .

Il campo delle τ_{yz} avrà risultante nulla, mentre la risultante delle τ_{xz} sarà uguale in modulo ma di verso contrario alla forza V.

Nelle ipotesi che le sezioni orizzontali rimangano piane e di gomma incompressibile, le tensioni normali risultano essere nulle essendo nulla la pressione media verticale p_m .



Strato di elastomero soggetto a taglio

30

Isolatori elastomerici

Rigidezza laterale

La rigidezza laterale dell'isolatore è calcolata mediante la relazione

$$K_H = \frac{V}{\delta} = \frac{GA}{t_r}$$

dove :

G è il modulo a taglio dell'elastomero

A è l'area trasversale totale dell'elastomero

t_r è lo spessore totale dell'elastomero

La deformazione a taglio dell'elastomero è' $\gamma = \frac{\delta}{t_r}$

31

Isolatori elastomerici

Smorzamento

Nei dispositivi di isolamento elastomerici lo smorzamento è in parte viscoso e in parte isteretico.

Esso e':

- variabile in funzione della tipologia di isolatore
- utilizzato per tener conto di fonti di smorzamento diverse dalla viscosa nell'ambito di modellazioni ed analisi lineari

32

Quali sono
i dispositivi di isolamento
sul mercato ?

33

Isolatori elastomerici a basso smorzamento

Comportamento

Lineare a taglio
fino a deform. non superiori al 100%

Smorzamento viscoso equivalente

2 - 3%

Vantaggi:

- Semplice da fabbricare
- Facile da modellare
- Risposta non molto sensibile alla velocità di carico, alla storia di carico, alla temperatura e all'invecchiamento

Svantaggi:

Necessità di un sistema di smorzamento supplementare

34

Isolatori elastomerici a basso smorzamento

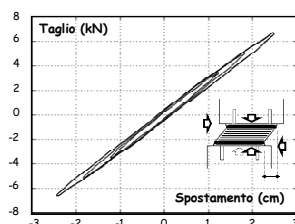


Diagramma taglio-spostamento
di un dispositivo di isolamento in gomma a basso smorzamento

35

Isolatori elastomerici ad elevato smorzamento

Lo smorzamento è incrementato aggiungendo nerofumo, oli, resine e altri filler.

Comportamento

Non Lineare
con max def. a taglio = 200 - 350%

Smorzamento viscoso equivalente

10 - 15%
per deformazioni a taglio del 100%

Modulo a taglio

0.4-1.4 MPa

Nota!

Rigidezza e smorzamento efficaci dipendono da:

- Elastomero e filler
- Velocità di carico
- Temperatura
- Pressione di contatto
- Storia di carico

36

Isolatori elastomerici ad elevato smorzamento

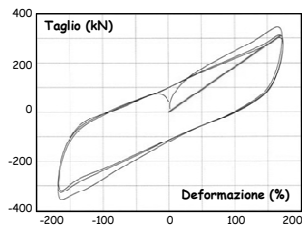
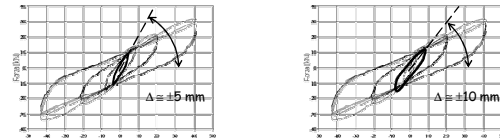


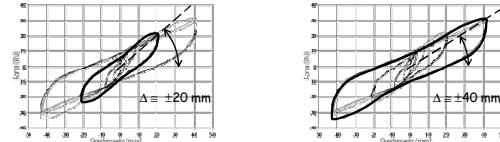
Diagramma taglio-deformazione di un dispositivo di isolamento in gomma ad alto smorzamento

37

Isolatori elastomerici ad elevato smorzamento

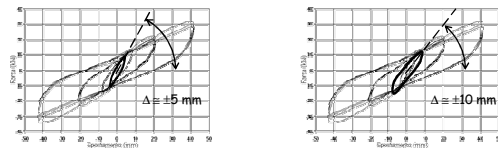


La rigidità efficace dipende dall'entità dello spostamento max



38

Isolatori elastomerici ad elevato smorzamento



La rigidità è elevata in corrispondenza di piccole deformazioni a taglio dell'isolatore



Ciò consente di ridurre l'ampiezza delle vibrazioni in presenza di forze di taglio di moderata intensità (ad es. vento)

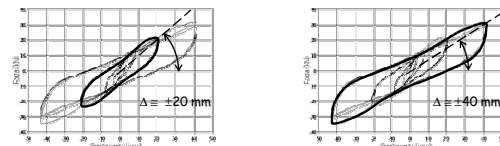
39

Isolatori elastomerici ad elevato smorzamento

La rigidità è bassa in corrispondenza di grandi deformazioni a taglio dell'isolatore



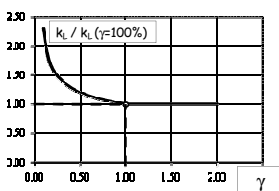
Ciò consente di ridurre le azioni da sisma sulla sovrastruttura



40

Isolatori elastomerici ad elevato smorzamento

Variazione delle rigidità laterale con la deformazione a taglio



- La rigidità laterale è quasi costante per deformazioni da taglio comprese tra il 100 e il 150-200%.
- Per piccoli valori della deform. da taglio, la rigidità laterale assume valori anche tripli rispetto a quelli in corrispondenza del 100 % di deform. da taglio

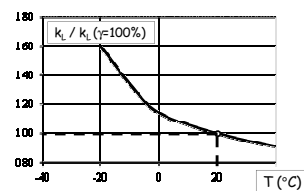
- Per deformazioni da taglio superiori al 200% si osserva un incremento della rigidità laterale conseguente alla cristallizzazione della gomma

Riprodotta a partire da dati del catalogo ALGA HDRB

41

Isolatori elastomerici ad elevato smorzamento

Variazione delle rigidità laterale con la temperatura



Variazione relativa di rigidità di un dispositivo di isolamento in gomma ad alto smorzamento in funzione della temperatura

Tratto dal catalogo ALGA HDRB

42

Isolatori elastomerici ad elevato smorzamento

Si è visto sperimentalmente che

- la rigidezza equivalente K_{eff} non dipende fortemente dalla pressione verticale agente,
- lo smorzamento equivalente ξ cresce notevolmente al crescere del carico assiale:
al raddoppiarsi del carico lo smorzamento ξ può aumentare dal 50% al 100%.

43

Isolatori elastomerici

D 450 B 500 Z 370

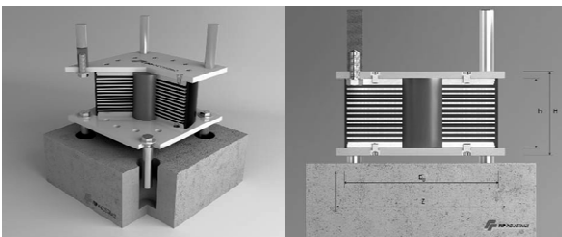
- ① Spessore elastomero
- ② Altezza totale isolatore
- ③ Spostamento di progetto
- ④ Carico verticale massimo allo SLU con spostamento nullo
- ⑤ Carico verticale in condizione sismica
- ⑥ Rigidezza verticale dinamica
- ⑦ Rigidezza laterale

		G=0.4 MPa ($\xi=10\%$)						G=0.8 MPa ($\xi=10\%$)						G=1.4 MPa ($\xi=16\%$)					
①	②	③	④	⑤	⑥	⑦		③	④	⑤	⑥	⑦		③	④	⑤	⑥	⑦	
t_e	H	S_{min}	V_{min}	V_{max}	K_v	K_h	mm	S_{min}	V_{min}	V_{max}	K_v	K_h	mm	S_{min}	V_{min}	V_{max}	K_v	K_h	mm
mm	mm	mm	kN	kN	kN/mm	kN/mm		mm	kN	kN	kN/mm	kN/mm		mm	kN	kN	kN/mm	kN/mm	
48	138	100	1300	1300	1.05	1287	100	2650	2650	2.09	2280	100	4650	4650	3.67	3405			
56	150	120	1400	1400	0.90	1104	120	2850	2850	1.80	1954	120	5000	5000	3.14	2919			
64	162	130	1500	1300	0.79	966	130	3050	2650	1.57	1710	130	5350	4650	2.75	2554			
72	174	150	1550	1100	0.70	858	150	3150	2200	1.40	1520	150	5500	3850	2.44	2270			
80	195	160	1600	950	0.63	772	160	3250	1900	1.26	1368	160	5650	3350	2.20	2043			
88	198	180	1450	800	0.57	702	180	2900	1600	1.14	1244	180	5100	2800	2.00	1857			
96	219	200	1300	650	0.52	644	200	2600	1350	1.05	1140	200	4600	2400	1.83	1703			
104	222	210	1200	600	0.48	594	210	2400	1200	0.97	1052	210	4200	2150	1.69	1572			
112	221	230	1051	500	0.45	552	230	2150	1050	0.90	977	230	3800	1850	1.57	1459			
120	232	240	1000	450	0.42	515	240	2000	950	0.84	912	240	3550	1650	1.47	1362			
128	243	260	900	400	0.39	483	260	1850	800	0.79	855	250	3250	1400	1.37	1277			

Tratto dal catalogo ALGA HDRB

44

Isolatori elastomerici con elemento in piombo

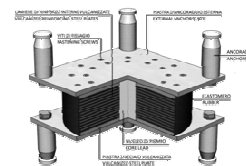


Caratteristiche fisiche dei dispositivi di isolamento
con elemento centrale in piombo

45

Isolatori elastomerici con elemento in piombo

L'isolatore e' in gomma a basso smorzamento
con un elemento centrale in piombo



Piombo

- La tensione di snervamento e' circa 10MPa
- La tensione di snervamento si riduce con cicli ripetuti di carico in virtu' dell'aumento di temperatura

46

Isolatori elastomerici con elemento in piombo

L'isolatore e' in gomma a basso smorzamento con un elemento centrale in piombo

Comportamento

Fortemente Non Lineare
con max def. a taglio = 125 - 200%

Smorzamento viscoso equivalente

≈30%
per deformazioni a taglio del 100%

Nota!

Rigidezza e smorzamento efficaci
sono meno variabili che negli isolatori
ad elevato smorzamento

47

Isolatori elastomerici con elemento in piombo

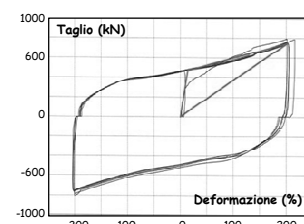


Diagramma taglio-deformazione
di un dispositivo di isolamento in gomma con elemento centrale in piombo

48

Isolatori elastomerici con piombo

D 450 B 500 Z 370

- ① Rigidezza laterale contr. piombo ③ Rigidezza orizzontale efficace
② Carico snerv. piombo ④ Smorzamento efficace

		$\text{G}=0.4\text{ MPa } (\xi=10\%)$										$\text{G}=0.9\text{ MPa } (\xi=4\%)$									
t_c	H	S_{max}	V_{max}	V_{min}	K_c	K_{piombo}	F_T	k_{eff}	β_{eff}	K_V	S_{max}	V_{max}	V_{min}	K_c	K_{piombo}	F_T	k_{eff}	β_{eff}	K_V		
mm	mm	mm	kN	kN	kN/mm	kN/mm	kN	kN/mm	%	kN/mm	mm	kN	kN	kN/mm	kN/mm	kN	kN/mm	%	kN/mm		
48	138	100	1450	1450	1.28	13.61	55	1.79	28.88	1840	100	2750	2750	2.65	47.86	187	4.42	29.88	2793		
56	150	120	1650	1650	1.10	13.17	61	1.57	30.04	1559	120	3100	3100	2.227	41.02	187	3.74	29.47	2394		
64	169	130	1800	1800	0.96	10.21	55	1.35	29.21	1380	130	3500	3500	2.00	33.54	175	3.27	29.18	2140		
72	182	150	1900	1900	0.86	9.08	55	1.19	28.88	1227	150	3600	3350	1.77	31.91	187	2.95	29.88	1862		
80	195	160	2000	1450	0.77	8.17	55	1.08	29.41	1104	160	3850	2950	1.60	26.83	175	2.64	29.49	1712		
88	218	180	2050	1300	0.70	7.43	55	0.98	29.12	1004	180	3950	2550	1.46	24.39	175	2.38	29.08	1556		
96	221	200	2000	1150	0.64	6.81	55	0.89	28.88	920	200	3800	2150	1.33	23.93	187	2.21	29.88	1396		
104	234	210	1850	1000	0.59	6.28	55	0.83	29.28	849	210	3550	1950	1.23	20.64	175	2.02	29.27	1317		
112	247	230	1700	850	0.55	5.83	55	0.77	29.07	789	230	3250	1700	1.15	19.17	175	1.86	29.02	1223		
120	260	240	1550	800	0.51	5.45	55	0.72	29.41	736	240	3000	1500	1.07	17.89	175	1.76	29.40	1141		
128	258	260	1450	700	0.48	5.11	55	0.67	29.21	690	260	2750	1300	1.00	16.77	175	1.64	29.18	1070		

Tratto dal catalogo ALGA HDRB

49

Isolatori elastomerici

Resistenza a trazione

In passato, gli sforzi di trazione nei dispositivi elastomerici non erano ammessi. Questa regola era dettata dalla scarsa conoscenza che si aveva delle proprietà dei dispositivi elastomerici.

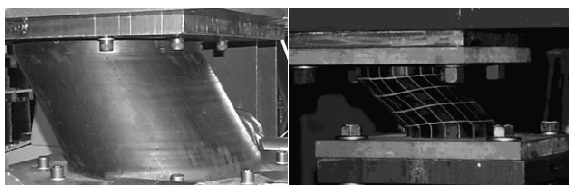
Da prove sperimentali su dispositivi elastomerici con G pari a 1MPa si è notato che la deformazione di rottura a trazione dei dispositivi risulta essere circa pari al 150%. La rigidezza a trazione risulta essere elastica fino ad una tensione di trazione pari a circa 40MPa e deformazione circa pari al 15%. Dopo il campo elastico la rigidezza si riduce per cavitazione della gomma.

Oggi si ammette una tensione di trazione pari al minimo tra $2G$ e 1MPa.

50

Isolatori elastomerici

Prove di laboratorio

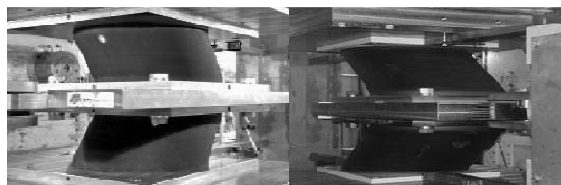


Prove di laboratorio
di isolatore elastomerico

51

Isolatori elastomerici

Prove di laboratorio



Prove di laboratorio
di isolatore elastomerico

52

Isolatori a scorrimento a superficie piana



Foto di isolatori a scorrimento a superficie piana

53

Isolatori a scorrimento a superficie piana

Gli isolatori a scorrimento a superficie piana sono apparecchi di appoggio multidirezionali con superficie di scorrimento a basso attrito.

Comportamento

Rigido plastico

Non ricentrante

Coefficiente di attrito

circa 1-2%

Per questo motivo, il contributo delle forze attrittive alle forze orizzontali è quasi sempre trascurato.



Sono sempre utilizzati in combinazione con altri dispositivi antisismici (isolatori e/o dissipatori).

54

Isolatori a scorrimento a superficie piana con dissipatori

Gli isolatori a scorrimento a superficie piana con dissipatori costituiscono la combinazione di un apparecchio d'appoggio e di dissipatori isteretici in acciaio o viscosi.

Possono essere multidirezionali o monodirezionali e possono comprendere anche dispositivi di vincolo dinamico o dispositivi di vincolo fusibile meccanico.

55

Isolatori a scorrimento a superficie piana con dissipatori

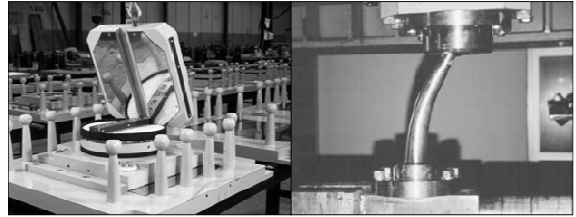


Foto di isolatori a scorrimento a superficie piana con pioli a comportamento isteretico

56

Isolatori a scorrimento a superficie piana con dissipatori



Foto di isolatori a scorrimento a superficie piana con elementi a C a comportamento isteretico

57

Isolatori a scorrimento a superficie piana con dissipatori



Foto di isolatori a scorrimento a superficie piana con dissipatori viscosi

58

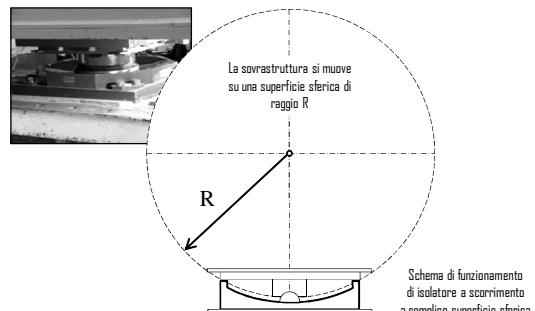
Isolatori a scorrimento a superficie curva semplice



Foto di isolatori a scorrimento a superficie curva semplice

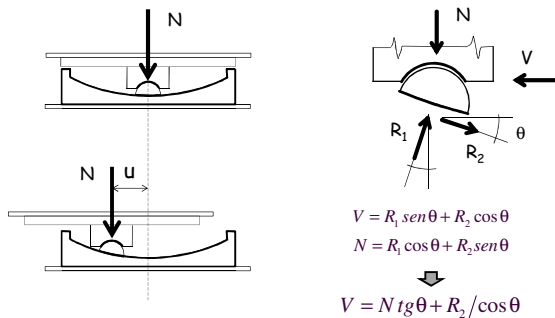
59

Isolatori a scorrimento a superficie curva semplice



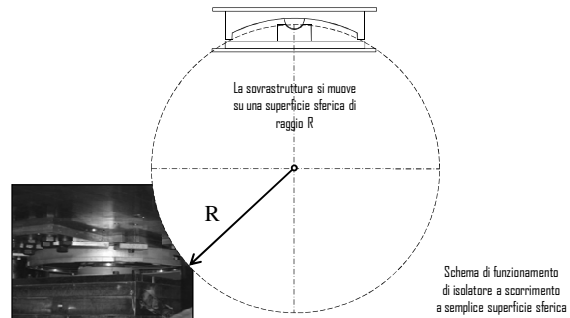
60

Isolatori a scorrimento a superficie curva semplice



61

Isolatori a scorrimento a superficie curva semplice



62

Isolatori a scorrimento a superficie curva semplice

Gli isolatori a scorrimento a superficie curva semplice sono apparecchi di appoggio multidirezionali con superficie di scorrimento ad attrito.

Comportamento

Rigido incrudente

Ricentrante

In particolare, la gravità determina la forza di ricentraggio

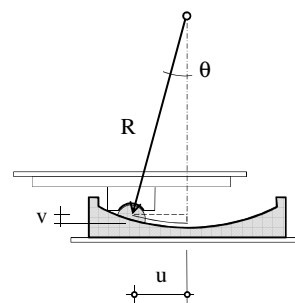
Coefficiente di attrito

Variabile (2-10%)

Il contributo delle forze di attrito non può essere trascurato.

63

Isolatori a scorrimento a superficie curva semplice



Per $u < 0,2R$, si può confondere il seno dell'angolo θ con l'angolo θ , ovvero:

$$\sin \theta = \theta - \frac{\theta^3}{3!} + \dots \approx \theta$$

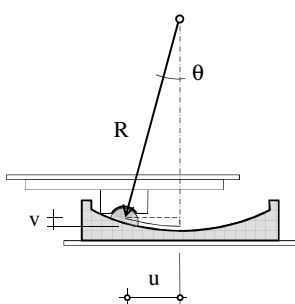
Pertanto, si ha:

$$u \approx \theta R$$

(l'errore nella valutazione di u è inferiore al 2%)

64

Isolatori a scorrimento a superficie curva semplice



Per poter valutare gli spostamenti verticali consideriamo la seguente approssimazione:

$$\cos \theta = 1 - \frac{\theta^2}{2!} + \dots \approx 1 - \frac{\theta^2}{2!}$$

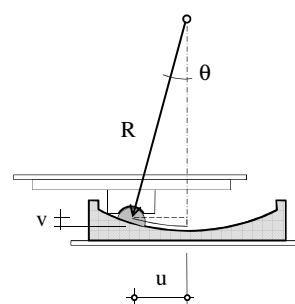
Pertanto, si ha:

$$v \approx R \frac{\theta^2}{2} \approx \frac{u^2}{2R}$$

Nota! La frequenza verticale è il doppio di quella laterale.

65

Isolatori a scorrimento a superficie curva semplice



Il taglio nell'isolatore

$$V = N \operatorname{tg} \theta + R_2 / \cos \theta$$

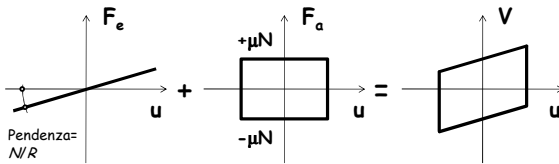
può essere valutato, pertanto, anche mediante la relazione:

$$V = \frac{N}{R} u + \mu N \operatorname{sgn}(\dot{u})$$

66

Isolatori a scorrimento a superficie curva semplice

$$V = \frac{N}{R}u + \mu N \operatorname{sgn}(\dot{u}) = F_e + F_a$$

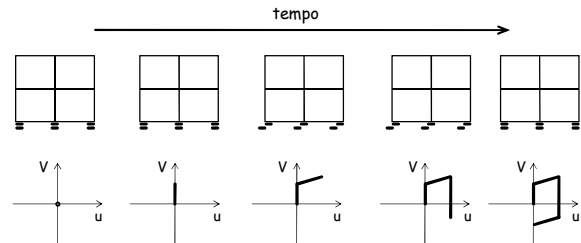


Nota! Il dispositivo non ricentra se $F_e < F_a$ (ovvero $\mu < R$)
Ciò può essere importante in caso di lunghi periodi T e dunque grandi raggi di curvatura R

67

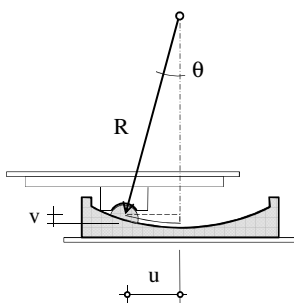
Isolatori a scorrimento a superficie curva semplice

$$V = \frac{N}{R}u + \mu N \operatorname{sgn}(\dot{u}) = F_e + F_a$$



68

Isolatori a scorrimento a superficie curva semplice



La rigidità laterale
in assenza di attrito vale

$$k = \frac{V}{u} = \frac{N}{R}$$

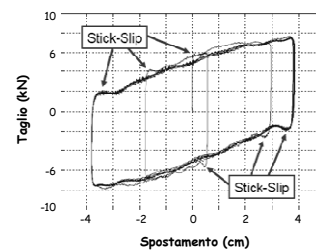
e il periodo

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

Nota! Il periodo e' indipendente
dal peso della struttura e dipende
unicamente dal raggio di curvatura
del dispositivo di scorrimento

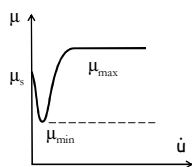
69

Isolatori a scorrimento a superficie curva semplice

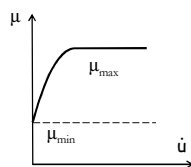


70

Isolatori a scorrimento a superficie curva semplice



Dipendenza reale
dalla velocità



Dipendenza approssimata
dalla velocità

$$\mu = \mu_{\max} - (\mu_{\max} - \mu_{\min}) \exp(-a|\dot{u}|)$$

La resistenza dei dispositivi a scorrimento
dipende dalla velocità di carico

71

Isolatori a scorrimento a superficie curva semplice



Termografia
di isolatore a scorrimento
a semplice superficie sferica

Tratto dal catalogo ALGAPEND

72

Isolatori a scorrimento a superficie curva semplice

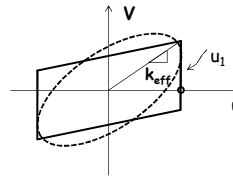
	V_k	V_d	A				B	H_T
			D	D	D	D		
			±100	±200	±300	±400		
	kN	kN	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Legenda :	1000	1400	440	640	840	1040	240	130
V_k = Carico verticale caratteristico	2000	2800	520	720	920	1120	320	140
V_d = Carico verticale di progetto (USL)	3000	4200	580	780	980	1180	380	150
D = Spostamento orizzontale longitudinale	4000	5600	630	830	1030	1230	430	160
A = Diametro piastra superiore	5000	7000	675	875	1075	1275	475	170
B = Diametro piastra inferiore	...	...	...	...	...	...	...	...
H_T = Altezza totale	50000	70000	1590	1790	1990	2190	1390	379
	60000	84000	1715	1915	2115	2315	1515	401

Treato dal catalogo ALGAPEND

73

Isolatori a scorrimento a superficie curva semplice

Modello linearizzato



Rigidezza secante efficace
allo spostamento u_1

$$k_{eff} = \frac{V}{u} = \frac{W}{R} + \frac{\mu W}{u}$$

Smorzamento efficace
allo spostamento u_1

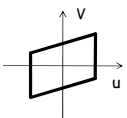
$$\xi_{eff} = \frac{E_d}{4\pi E_{so}} = \frac{4\mu W u}{4\pi (0.5 k_{eff} u^2)} = \frac{2\mu R}{\pi(\mu R + u)}$$

Le proprietà efficaci sono dipendenti dallo spostamento considerato. Pertanto, un progetto che utilizzi le proprietà lineari efficaci e' un progetto iterativo.

74

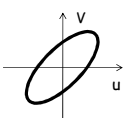
Analisi lineare e nonlineare

Analisi nonlineare



$$V(t) = \frac{N}{R} u(t) + \mu N \operatorname{sgn}[\dot{u}(t)]$$

Analisi lineare

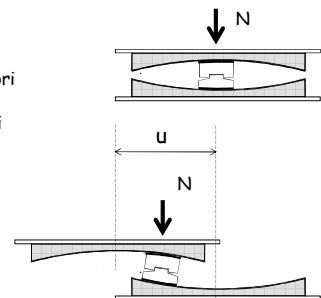


$$V(t) = k_{eff} u(t) + c_{eff} \dot{u}(t)$$

75

Isolatori a scorrimento a doppia superficie curva

Nel caso di spostamenti molto grandi è conveniente l'uso di isolatori a doppia superficie curva perché questi consentono di ridurre l'ingombro in pianta.



76

Isolatori a scorrimento a superficie curva doppia



Foto di isolatori a scorrimento
a doppia superficie sferica

77

Isolatori a scorrimento a superficie curva doppia



Configurazione spostata di un isolatore a scorrimento
a doppia superficie sferica

78

Isolatori a scorrimento a superficie curva doppia

	V_k	V_d	A				B	H_r
			D	D	D	D		
			±300	±400	±500	±600		
	kN	kN	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Legenda :	1000	1400	540	640	740	840	2340	200
V_k = Carico verticale caratteristico	2000	2800	620	720	820	920	420	210
V_d = Carico verticale di progetto (USL)	3000	4200	680	780	880	980	480	220
D = Spostamento orizzontale longitudinale	4000	5600	730	830	930	1030	530	225
A = Diametro piastra superiore	5000	7000	775	875	975	1075	575	230
B = Diametro piastra inferiore	...	...	...	...	...	...	...	...
H_r = Altezza totale	50000	70000	1690	1790	1890	1990	1490	565
	60000	84000	1815	1915	2015	2115	1615	610

Treato dal catalogo ALGAPEND

79

Dispositivi di isolamento

Confronto

Tipo isolatore	Vantaggi	Svantaggi
Con gomma a basso smorzamento	<ul style="list-style-type: none"> Basse accelerazioni Costo ridotto 	<ul style="list-style-type: none"> Spostamenti elevati Basso smorzamento Bassa resistenza a carico servizio Instabilità
Con gomma ad alto smorzamento	<ul style="list-style-type: none"> Moderate accelerazioni di piano Resistenza al carico di servizio Smorzamento moderato-alto 	<ul style="list-style-type: none"> Rigidità e smorzamento dipendente dalle deformazioni Analisi complessa Limitata scelta di rigidità e smorzamento Instabilità
Con gomma e elemento in piombo	<ul style="list-style-type: none"> Moderate accelerazioni di piano Ampia scelta per rigidità e smorzamento 	<ul style="list-style-type: none"> Instabilità

80

Dispositivi di isolamento

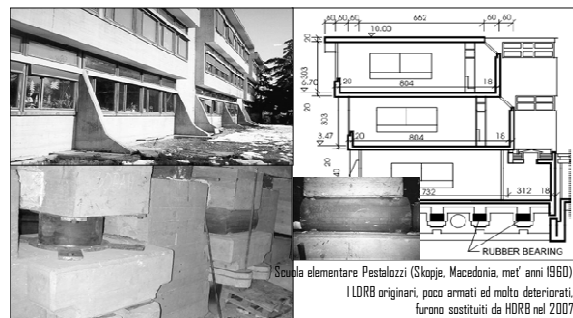
Confronto

Tipo isolatore	Vantaggi	Svantaggi
A scorrimento a superficie piana	<ul style="list-style-type: none"> Resistenza al carico di servizio Elevato smorzamento 	<ul style="list-style-type: none"> Elevate accelerazioni di piano Proprietà funzione della pressione e velocità Assenza di forze di ricentraggio
A scorrimento a superficie curva	<ul style="list-style-type: none"> Resistenza a carico di servizio Smorzamento moderato-alto Riduzione della risposta torsionale 	<ul style="list-style-type: none"> Elevate accelerazioni di piano Proprietà funzione della pressione e velocità

81

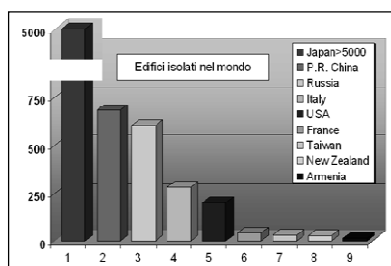
Applicazione moderna dell'isolamento

Prime applicazioni



82

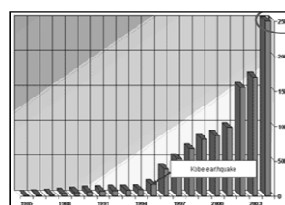
Applicazione moderna dell'isolamento



Edifici isolati nel mondo

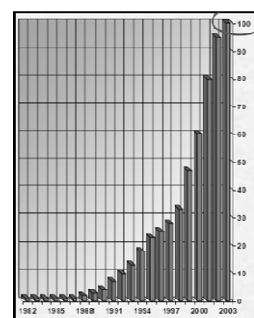
83

Applicazione moderna dell'isolamento



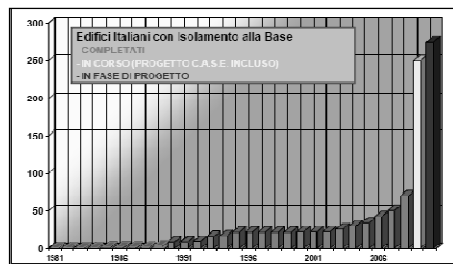
Edifici isolati in Giappone

Edifici isolati negli USA



84

Applicazione moderna dell'isolamento



Edifici isolati in Italia

85

Applicazione moderna dell'isolamento

A quali strutture applicare l'isolamento alla base ?

- Strutture ad alto rischio (centrali nucleari, impianti chimici ecc)
- Infrastrutture (ponti e viadotti)
- Edifici pubblici (ospedali, centri di emergenza, scuole, ecc.)
- Strutture adibite alla difesa
- Strutture che contengono componenti di elevato valore
- Monumenti artistici e storici

86

Corso di aggiornamento
Progettazione strutturale e
Norme Tecniche per le Costruzioni

**L'isolamento alla base nella progettazione sismica
e nell'intervento sull'esistente**

Spoletto
5-6 giugno 2015

04 - Dimensionamento degli isolatori

Principi generali

da seguire nella progettazione degli isolatori

- I dispositivi del sistema d'isolamento devono essere in grado di sostenere, senza rotture, gli spostamenti valutati per un terremoto avente probabilità di superamento pari a quella prevista per lo SLC
 - Per gli isolatori elastomerici si ammette in genere uno spostamento pari al doppio dell'altezza totale degli strati di gomma
 - Per i sistemi a comportamento non lineare occorre tener conto anche dello spostamento residuo allo SLD

Principi generali

da seguire nella progettazione degli isolatori

- Il carico massimo verticale agente su un isolatore elastomerico dovrà essere inferiore al carico critico N_{cr} diviso per un coefficiente di sicurezza 2

Questa prescrizione (ed altre indicazioni analoghe) sono in genere garantite dal produttore degli isolatori e riportate nelle schede tecniche fornite

Principi generali

da seguire nella progettazione degli isolatori

- Per minimizzare le differenze di comportamento degli isolatori, le tensioni di compressione a cui lavorano devono essere, per quanto possibile, uniformi

Se questo non è possibile, occorre valutare l'effetto di cedimenti differenziati sulla sovrastruttura
- Occorre evitare o limitare azioni di trazione negli isolatori

Scegliere la posizione degli isolatori (e gli interassi della maglia strutturale) in modo tale che il carico verticale di progetto agente sul singolo isolatore sotto le azioni sismiche risulti essere di compressione o, al più, nullo

Principi generali

da seguire nella progettazione degli isolatori

- Posizione isolatori:

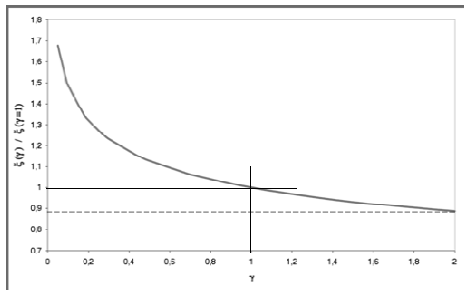
Per minimizzare gli effetti torsionali le proiezioni del centro di massa della sovrastruttura sul piano degli isolatori del centro di rigidità dei dispositivi di isolamento devono essere, per quanto possibile, coincidenti.

Parametri di progetto

- Smorzamento viscoso equivalente
è un dato progettuale iniziale
- Spostamento massimo richiesto dal sisma di progetto (SLC)
deve tener conto dell'incremento dovuto a possibili eccentricità proprie del sistema e dalla eccentricità accidentale
- Rigidità orizzontale totale
necessaria per ottenere il periodo proprio voluto
- Carico verticale sopportabile
sia in presenza di sisma (SLV) che in assenza di sisma (SLU)

Parametri di progetto smorzamento viscoso equivalente

- Il valore dipende dal tipo di isolatore prescelto, ma anche dall'entità della deformazione



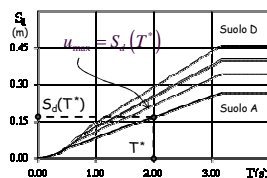
Parametri di progetto smorzamento viscoso equivalente

- Il valore dipende dal tipo di isolatore prescelto, ma anche dall'entità della deformazione
- Lo smorzamento varia in genere dal 10% al 15% e oltre
- Nelle analisi svolte si è immaginato di avere uno smorzamento del 10% per $\gamma=2$ (spostamenti doppi dell'altezza degli strati di gomma)

Parametri di progetto spostamento massimo

- Spostamento laterale massimo e smorzamento viscoso equivalente

Lo spostamento laterale max richiesto all'isolatore si ricava dallo spettro in termini di spostamento in corrispondenza del periodo desiderato per la struttura isolata

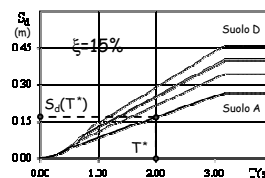
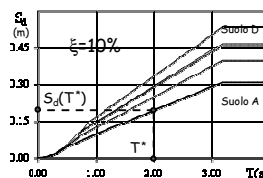


Lo spettro da utilizzare è

- riferito allo SLC della struttura
- definito per lo smorzamento viscoso equivalente corrispondente al primo modo di vibrazione della struttura (sostanzialmente quello dei dispositivi di isolamento e di eventuali dispositivi ausiliari)

Parametri di progetto spostamento massimo

- La scelta di un determinato periodo della struttura isolata e del livello di smorzamento viscoso equivalente governano, su un predeterminato suolo di fondazione, l'entità dello spostamento max richiesto al dispositivo di isolamento

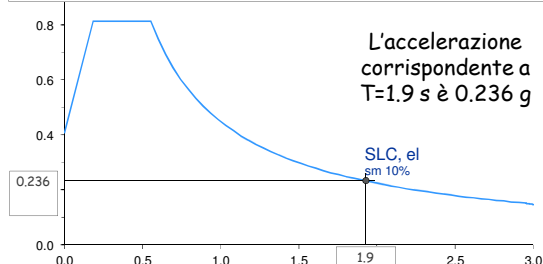


Parametri di progetto spostamento massimo

- Gli isolatori devono essere in grado di sostenere, senza rotture, gli spostamenti valutati per il terremoto corrispondente allo SLC
- Ho preferito determinare lo spostamento a partire dallo spettro di risposta in termini di accelerazioni, più comunemente usato, anziché direttamente da quello in termini di spostamento

Parametri di progetto spostamento massimo

- Gli isolatori devono essere in grado di sostenere, senza rotture, gli spostamenti valutati per il terremoto corrispondente allo SLC



Parametri di progetto spostamento massimo

- Gli isolatori devono essere in grado di sostenere, senza rotture, gli spostamenti valutati per il terremoto corrispondente allo SLC
- L'accelerazione corrispondente a $T=1.9$ s è 0.236 g
- Lo spostamento è legato all'accelerazione

$$u_{\max} = \ddot{u}_{\max} \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2 = 0.236 \times 9.81 \left(\frac{1.9}{2 \times 3.14} \right)^2 \times 10^3 = 212.1 \text{ mm}$$

Questo valore deve essere incrementato almeno di un 10% per tener conto della rotazione dovuta all'eccentricità accidentale

Parametri di progetto rigidezza totale degli isolatori

- La rigidezza totale degli isolatori deve essere tale da fornire (per la massa prevista) il periodo prescelto

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \Rightarrow k = \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 m$$

- Il peso totale dei 6 impalcati è 18991 kN
- La massa è quindi 1935.9 t

$$k = \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 m = \left(\frac{2 \times 3.14}{1.9} \right)^2 \times 1935.9 \times 10^{-3} = 21.17 \text{ kN/mm}$$

Parametri di progetto sforzo normale

- Dalle analisi preliminari svolte, si vede che lo sforzo normale dovuto a carichi verticali arriva al massimo a:
1844 kN in assenza di sisma
1225 kN in presenza di sisma

Parametri di progetto

- Spostamento massimo = circa 230 mm
- Rigidezza totale = 21.17 kN/mm
- Carico verticale sopportabile:
1225 kN in presenza di sisma
1844 kN in assenza di sisma
- Sulla base di questi dati si deve scegliere la tipologia ed il numero di isolatori
Nota: conviene usare isolatori tutti uguali tra loro

Parametri di progetto

- Spostamento massimo = circa 230 mm
- Rigidezza totale = 21.17 kN/mm
- Carico verticale sopportabile:
1225 kN in presenza di sisma
1844 kN in assenza di sisma
- Rigidezza totale ≤ 21.17 kN/mm
- Numero pilastri 27
- Vorrei mettere isolatori almeno sotto il 50% dei pilastri
- Rigidezza singolo isolatore = $0.78 \div 1.56$ kN/mm

Dati relativi agli isolatori

- Sono forniti dalle ditte che li producono

Tipologie:

- Isolatori elastomerici
- Isolatori a scorrimento

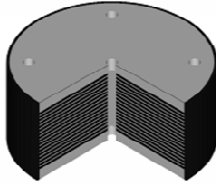
← Userò questi

Gli isolatori elastomerici basano il loro comportamento sulla deformazione della gomma impiegata. Sono caratterizzati dall'alternanza di strati di elastomero e lamierini di acciaio solidarizzati mediante processi di vulcanizzazione a caldo.

La presenza dei lamierini è fondamentale, in quanto consente di confinare l'elastomero limitandone la deformabilità verticale a pochi millimetri (1-3 mm). Gli spessori sono molto piccoli, in genere:

- strati di elastomeri: 5-20 mm;
- lamierini: 2-3 mm.

- lamierini: 2-3 mm.



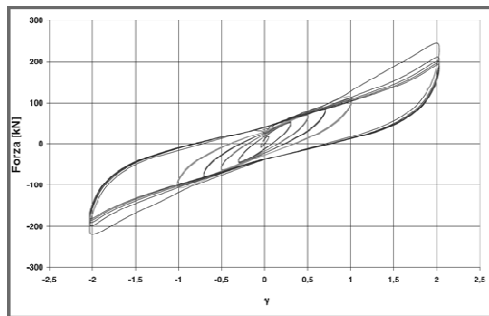
Caratteristiche

- Dati generali

PROPRIETÀ	MESCOLA		
	MORBIDA (SOFT - S)	NORMALE (NORMAL - N)	DURA (HARD - H)
Durezza (Shore A)	40	60	75
Modulo di elasticità tangenziale G_{90} a $\gamma = 1$ (MPa)	0.4	0.8	1.4
Coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ a $\gamma = 1$ (%)	10 / 15	10 / 15	10 / 15

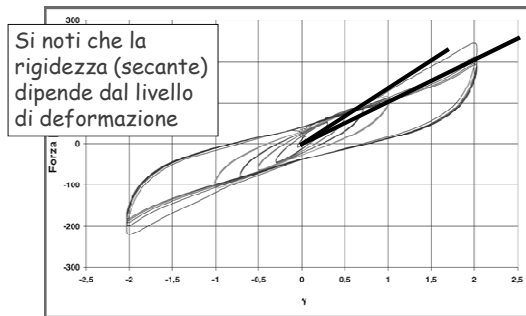
Caratteristiche

- Diagramma isteretico



Caratteristiche

- Diagramma isteretico



Caratteristiche

[illegible]

Caratteristiche scheda (in dettaglio)

SI-S	V kN	F _{sd} kN	K _v kN/mm	K _h kN/mm	D _g mm	t _a mm	h mm	H mm	Z mm	W kg
------	---------	-----------------------	-------------------------	-------------------------	----------------------	----------------------	---------	---------	---------	---------

Rigidità verticale

Rigidità orizzontale

Caratteristiche scheda (in dettaglio)

SI-S	V kN	F _{sd} kN	K _v kN/mm	K _h kN/mm	D _g mm	t _a mm	h mm	H mm	Z mm	W kg
------	---------	-----------------------	-------------------------	-------------------------	----------------------	----------------------	---------	---------	---------	---------

Diametro

Spessore totale
gomma

Altezza (escluse
piastre ancoraggio)

Altezza (incluse
piastre ancoraggio)

Lato piastre
ancoraggio

Caratteristiche scheda (in dettaglio) - spostamento 250 mm

SI-S	V kN	F _{sd} kN	K _v kN/mm	K _h kN/mm	D _g mm	t _a mm	h mm	H mm	Z mm	W kg
SI-S 300/125	15	750	0.22	227	300	125	230	260	350	110
SI-S 350/125	100	1200	0.31	311	350	125	213	263	400	138
SI-S 400/125	230	2120	0.40	458	400	125	213	263	450	179
SI-S 450/125	530	2850	0.51	587	450	125	228	278	500	239
SI-S 500/125	1010	4520	0.62	641	500	125	225	275	550	284
SI-S 550/125	1410	5740	0.75	787	550	125	217	267	600	338
SI-S 600/125	1820	7100	0.88	1067	600	125	213	263	650	389
SI-S 650/125	2230	8610	1.05	1320	650	125	205	255	700	440
SI-S 700/130	2740	10630	1.18	1525	700	130	215	275	750	575
SI-S 800/130	4570	14590	1.55	2005	800	130	210	270	850	747
SI-S 900/132	5940	21220	1.90	2417	900	132	222	282	950	963
SI-S 1000/140	7610	29580	2.24	2958	1000	140	236	316	1050	1407
SI-S 1100/140	10730	27480	2.72	3822	1100	140	236	316	1150	1691
SI-S 1200/144	13850	28700	3.14	4512	1200	144	236	316	1250	1979

- ✓ Spostamento massimo = circa 230 mm
- Rigidità totale = 21.17 kN/mm
- Carico verticale sopportabile:
1225 kN in presenza di sisma
1844 kN in assenza di sisma

Caratteristiche scheda (in dettaglio) - spostamento 250 mm

SI-N	V kN	F _{sd} kN	K _v kN/mm	K _h kN/mm	D _g mm	t _a mm	h mm	H mm	Z mm	W kg
SI-N 300/25	35	1050	0.44	357	300	125	230	260	350	110
SI-N 350/25	200	1680	0.62	478	350	125	213	263	400	138
SI-N 400/25	550	2570	0.80	779	400	125	213	263	450	179
SI-N 450/25	1070	4040	0.91	876	450	125	228	278	500	239
SI-N 500/25	2030	5500	1.25	1209	500	125	225	275	550	284
SI-N 550/25	2830	6940	1.61	1409	550	125	217	267	600	338
SI-N 600/25	3640	9550	1.77	1537	600	125	213	263	650	389
SI-N 650/25	4450	10830	2.11	1837	650	125	205	255	700	440
SI-N 700/30	5490	11570	2.37	2013	700	130	215	275	750	575
SI-N 800/30	9090	14000	3.00	2028	800	130	210	270	850	747
SI-N 900/32	11880	21220	3.86	2552	900	132	222	282	950	963
SI-N 1000/40	15350	22580	4.49	4000	1000	140	236	316	1050	1407
SI-N 1100/40	19580	27480	5.43	5334	1100	140	236	316	1150	1691
SI-N 1200/44	24170	28700	6.28	5885	1200	144	236	316	1250	1979

- ✓ Spostamento massimo = circa 230 mm
- Rigidità totale = 21.17 kN/mm
- Carico verticale sopportabile:
1225 kN in presenza di sisma
1844 kN in assenza di sisma

Caratteristiche scheda (in dettaglio) - spostamento 250 mm

SI-H	V kN	F _{sd} kN	K _v kN/mm	K _h kN/mm	D _g mm	t _a mm	h mm	H mm	Z mm	W kg
SI-H 300/125	15	1810	0.77	455	300	125	230	260	350	110
SI-H 350/125	350	2890	1.08	820	350	125	213	263	400	138
SI-H 400/125	1040	4630	1.41	911	400	125	213	263	450	179
SI-H 450/125	1920	6620	1.77	1111	450	125	225	275	500	239
SI-H 500/125	3520	9030	2.10	1409	500	125	220	270	550	284
SI-H 550/125	4220	9820	2.64	1763	550	125	217	267	600	338
SI-H 600/125	4910	10310	3.09	2025	600	125	213	263	650	389
SI-H 650/125	5680	10830	3.69	2344	650	125	205	255	700	440
SI-H 700/130	6250	11370	4.14	2560	700	130	215	275	750	575
SI-H 800/130	10300	14590	5.41	2762	800	130	210	270	850	747
SI-H 900/132	13790	21220	6.75	4514	900	132	222	282	950	963
SI-H 1000/140	15470	22580	7.85	5105	1000	140	236	316	1050	1407
SI-H 1100/140	19580	27480	9.50	6821	1100	140	236	316	1150	1691
SI-H 1200/144	24170	28700	11.00	7488	1200	144	236	316	1250	1979

- ✓ Spostamento massimo = circa 230 mm
- Rigidità totale = 21.17 kN/mm
- Carico verticale sopportabile:
1225 kN in presenza di sisma
1844 kN in assenza di sisma

Scelta isolatori scheda (in dettaglio) - spostamento 250 mm

SI-N	V kN	F _{sd} kN	K _v kN/mm	K _h kN/mm	D _g mm	t _a mm	h mm	H mm	Z mm	W kg
SI-N 300/25	35	1050	0.44	357	300	125	230	260	350	110
SI-N 350/25	200	1680	0.62	478	350	125	213	263	400	138
SI-N 400/25	550	2570	0.80	779	400	125	213	263	450	179
SI-N 450/25	1070	4040	0.91	876	450	125	228	278	500	239
SI-N 500/25	2030	5500	1.25	1209	500	125	225	275	550	284
SI-N 550/25	2830	6940	1.61	1409	550	125	217	267	600	338
SI-N 600/25	3640	9550	1.77	1537	600	125	213	263	650	389
SI-N 650/25	4450	10830	2.11	1837	650	125	205	255	700	440
SI-N 700/30	5490	11570	2.37	2013	700	130	215	275	750	575
SI-N 800/30	9090	14000	3.00	2028	800	130	210	270	850	747
SI-N 900/32	11880	21220	3.86	2552	900	132	222	282	950	963
SI-N 1000/40	15350	22580	4.49	4000	1000	140	236	316	1050	1407
SI-N 1100/40	19580	27480	5.43	5334	1100	140	236	316	1150	1691
SI-N 1200/44	24170	28700	6.28	5885	1200	144	236	316	1250	1979

- Scelgo isolatori SI-N 500/126:
- Spostamento ammissibile 250 mm
- Rigidità 1.25 kN/mm
- Se ne devono usare al massimo 16 → $k_{tot} = 20 \text{ kN/mm}$

Posizione isolatori

- Gli isolatori si mettono (usualmente) sotto i pilastri
- Vi sono 27 pilastri e dobbiamo disporre 16 isolatori
- Sotto 11 pilastri metteremo slitte

mettere x per indicare isolatori

altro simbolo = slitta

Posizione (schematica) dei pilastri

Posizione isolatori

- La posizione deve essere tale da avere il baricentro delle rigidzze degli isolatori il più possibile vicina al centro di massa (totale)

pilastro	x	y
	[m]	[m]
1	0.15	15.85
2	4.85	15.85
3	8.65	15.85
4	0.15	12.25
5	4.85	12.25
6	8.65	12.25
7	0.15	8.75
8	4.85	8.75
9	8.65	8.75
10	11.65	8.75
11	14.85	8.75
12	18.05	8.75

k iso [kN/mm]	kx	ky
0.00	0.0	0.0
0.00	0.0	0.0
0.00	0.0	0.0
0.00	0.0	0.0
0.00	0.0	0.0
0.00	0.0	0.0
0.00	0.0	0.0
0.00	0.0	0.0
0.00	0.0	0.0
0.00	0.0	0.0
0.00	0.0	0.0

Assegnando in corrispondenza del pilastro la rigidezza degli isolatori è possibile calcolarne il baricentro

continua...		
26	18.05	0.15
27	22.65	0.15

0.00	0.0	0.0
0.00	0.0	0.0
0	0.0	0.0

Coordinate dei pilastri

Posizione isolatori

- Scelta della posizione:
con Excel è facile disporre gli isolatori e calcolare automaticamente il loro baricentro

pilastro	x [m]	y [m]	k x [kN/mm]	k y
1	0.15	15.85	1.25	0.2
2	4.35	15.85	1.25	6.1
3	8.55	15.85	1.25	10.8
4	0.15	12.25	0.00	0.0
5	4.35	12.25	0.00	0.0
6	8.55	12.25	0.00	0.0
7	0.15	8.75	1.25	0.2
8	4.35	8.75	0.00	0.0
9	8.55	8.75	1.25	10.8
10	11.65	8.75	0.00	0.0
11	14.85	8.75	1.25	18.6
12	19.05	8.75	0.00	0.0

mettere x per indicare isolatori

altro s.mooio = slitta

continua ...

26	19.05	0.15	1.25	23.8	0.2
27	22.65	0.15	1.25	26.3	0.2
			20	205.8	115.3

Posizione isolatori

- Scelta della posizione:
con Excel è facile disporre gli isolatori e calcolare automaticamente il loro baricentro

pilastro	x [m]	y [m]	k iso [kN/mm]	K X	K Y
1	0.15	15.85	1.25	0.2	19.8
2	4.85	15.85	1.25	5.1	19.8
3	8.65	15.85	1.25	10.8	19.8
4	0.15	12.25	0.00	0.0	0.0
5	4.85	12.25	0.00	0.0	0.0
6	8.65	12.25	0.00	0.0	0.0
7	0.15	8.75	1.25	0.2	10.9
8	4.85	8.75	0.00	0.0	0.0
9	8.65	8.75	1.25	10.8	10.9
10	11.65	8.75	0.00	0.0	0.0
11	14.85	8.75	1.25	18.5	10.9
12	15.05	8.75	0.00	0.0	0.0

Operando per tentativi ho ottenuto una buona soluzione (eccentricità inferiore a 10 cm)

Struttura		x CM	y CM
		13.23	6.76
Δ		0.00	0.04

Isolatori	k tot	x	y
	20	13.23	5.79

continua ...

26	16.05	0.15	1.26	23.8	0.2
27	22.65	0.15	1.25	28.3	0.2
			20	235.8	115.9

Parametri della struttura con gli isolatori scelti

- 16 isolatori con $k=1.25 \text{ kN/mm} \rightarrow k_{\text{tot}} = 20 \text{ kN/mm}$
- Periodo della struttura isolata

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{m}{k}} = 2 \times 3.14 \times \sqrt{\frac{1935.9}{20 \times 10^3}} = 1.95 \text{ s}$$

- Ordinata spettrale per SLC: $0.230 g$
- Spostamento isolatori per SLC: 218.2 mm
- Ordinata spettro di progetto per SLV: $0.119 g$

Corso di aggiornamento
Progettazione strutturale e
Norme Tecniche per le Costruzioni

L'isolamento alla base nella progettazione sismica
e nell'intervento sull'esistente

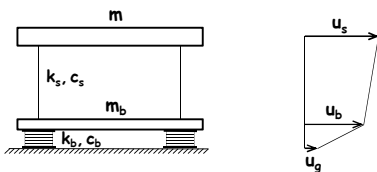
Spoleto
5-6 giugno 2015

05 - Fondamenti teorici dell'isolamento

Quali sono i fondamenti teorici
dell'isolamento alla base ?

2

Teoria lineare
dell'isolamento alla base



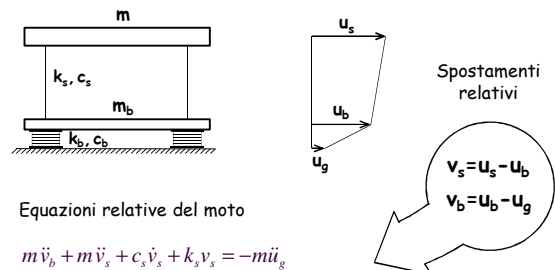
Equazioni assolute del moto

$$m\ddot{u}_s = -c_s(\dot{u}_s - \dot{u}_b) - k_s(u_s - u_b)$$

$$m\ddot{u}_s + m_b\ddot{u}_b = -c_b(\dot{u}_b - \dot{u}_g) - k_b(u_b - u_g)$$

3

Teoria lineare
dell'isolamento alla base



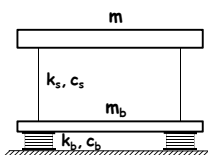
Equazioni relative del moto

$$m\ddot{v}_b + m\ddot{v}_s + c_s\dot{v}_s + k_s v_s = -m\ddot{u}_g$$

$$(m + m_b)\ddot{v}_b + m\ddot{v}_s + c_b\dot{v}_b + k_b v_b = -(m + m_b)\ddot{u}_g$$

4

Teoria lineare
dell'isolamento alla base



Posto:

$$\gamma = \frac{m}{m + m_b} = \frac{m}{M}$$

$$\omega_b^2 = \frac{k_b}{m + m_b} \quad \omega_s^2 = \frac{k_s}{m}$$

$$2\xi_b\omega_b = \frac{c_b}{m + m_b} \quad 2\xi_s\omega_s = \frac{c_s}{m}$$

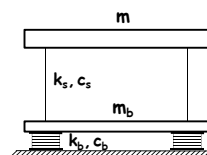
Equazioni relative del moto

$$\gamma\ddot{v}_s + \ddot{v}_b + 2\xi_b\omega_b\dot{v}_b + \omega_b^2 v_b = -\ddot{u}_g$$

$$\ddot{v}_s + \ddot{v}_b + 2\xi_s\omega_s\dot{v}_s + \omega_s^2 v_s = -\ddot{u}_g$$

5

Teoria lineare
dell'isolamento alla base



$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} M & m \\ m & m \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ 0 & c_s \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} k_b & 0 \\ 0 & k_s \end{bmatrix}$$

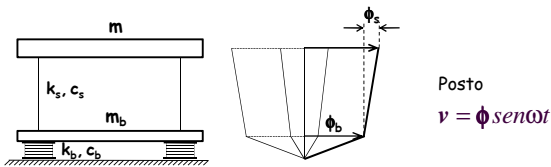
Equazione del moto in forma matriciale
(coordinate nodali)

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{v}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{v}} + \mathbf{K}\mathbf{v} = -\mathbf{M}\mathbf{I}\ddot{u}_g \quad \text{dove: } \mathbf{I} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad \mathbf{v} = \begin{bmatrix} v_b \\ v_s \end{bmatrix}$$

6

Isolamento alla base

Modi di vibrazione



derivando e sostituendo nell'eq. del moto $M\ddot{v} + K\dot{v} = 0$

si ha: $(-\omega^2 M + K)\phi = 0$

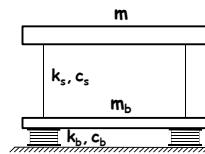
Imponendo che il determinante della matrice in parentesi sia nullo si ottiene l'equazione caratteristica delle pulsazioni

$$(1-\gamma)\omega^4 + (\omega_s^2 + \omega_b^2)\omega^2 + \omega_s^2\omega_b^2 = 0$$

7

Isolamento alla base

Modi di vibrazione



Se si ricercano le radici dell'equazione caratteristica:

$$(1-\gamma)\omega^4 + (\omega_s^2 + \omega_b^2)\omega^2 + \omega_s^2\omega_b^2 = 0$$

si ottengono

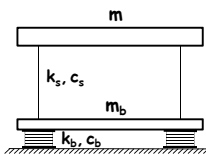
le pulsazioni naturali di vibrazione del sistema isolato

$$\omega_{1,2}^2 = \frac{1}{2(1-\gamma)} \left\{ \omega_b^2 + \omega_s^2 \pm \left[(\omega_b^2 - \omega_s^2)^2 + 4\gamma\omega_b^2\omega_s^2 \right]^{1/2} \right\}$$

8

Isolamento alla base

Modi di vibrazione



Se si ricercano le radici dell'equazione caratteristica

$$(1-\gamma)\omega^4 + (\omega_s^2 + \omega_b^2)\omega^2 + \omega_s^2\omega_b^2 = 0$$

e si effettuano alcune approssimazioni si ottengono le pulsazioni naturali di vibrazione approssimate

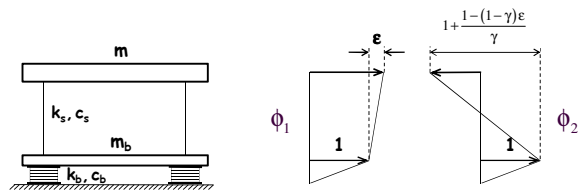
$$\omega_1^2 = \omega_b^2 (1-\gamma\epsilon)$$

$$\omega_2^2 = \frac{\omega_s^2}{1-\gamma} (1+\gamma\epsilon) \quad \text{dove: } \epsilon = \frac{\omega_b^2}{\omega_s^2} \ll 1$$

9

Isolamento alla base

Modi di vibrazione



Con riferimento ad ogni pulsazione naturale di vibrazione

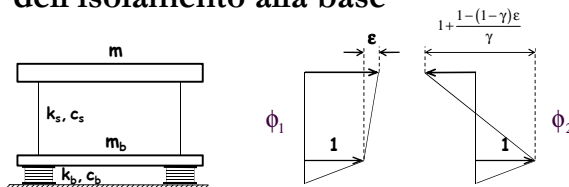
si ottengono dall'equazione $(-\omega^2 M + K)\phi = 0$

le forme naturali di vibrazione

$$\phi_1^T = (1, \epsilon) \quad \text{dove: } \epsilon = \frac{\omega_b^2}{\omega_s^2} \ll 1 \quad \phi_2^T = \left\{ 1, -\frac{1}{\gamma} [1 - (1-\gamma)\epsilon] \right\}$$

10

Teoria lineare dell'isolamento alla base



Operiamo un cambiamento di base, ovvero esprimiamo gli spostamenti dei due livelli non in termini di variabili nodali ma modali, ovvero come

$$v = q_1 \phi_1 + q_2 \phi_2 = q \Phi \quad \text{dove: } q = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \end{bmatrix} \quad \Phi = \begin{bmatrix} \phi_{1,b} & \phi_{2,b} \\ \phi_{1,s} & \phi_{2,s} \end{bmatrix}$$

11

Teoria lineare dell'isolamento alla base

Sostituendo la relazione $v = q \Phi$, e le sue derivate, nell'equazione del moto

$$M\ddot{v} + C\dot{v} + Kv = -M\ddot{u}_g$$

e premoltiplicando per Φ^T si ottiene

$$\Phi^T M \Phi \ddot{q} + \Phi^T C \Phi \dot{q} + \Phi^T K \Phi q = -\Phi^T M \ddot{u}_g$$

ovvero

$$\ddot{q} + \frac{\Phi^T C \Phi}{\Phi^T M \Phi} \dot{q} + \frac{\Phi^T K \Phi}{\Phi^T M \Phi} q = -\frac{\Phi^T M}{\Phi^T M \Phi} \ddot{u}_g$$

12

Teoria lineare dell'isolamento alla base

La singola equazione del sistema

$$\ddot{\mathbf{q}} + \frac{\Phi^T \mathbf{C} \Phi}{\Phi^T \mathbf{M} \Phi} \dot{\mathbf{q}} + \frac{\Phi^T \mathbf{K} \Phi}{\Phi^T \mathbf{M} \Phi} \mathbf{q} = - \frac{\Phi^T \mathbf{M} \mathbf{I}}{\Phi^T \mathbf{M} \Phi} \ddot{u}_g$$

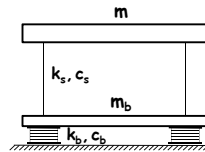
presenta la seguente forma

$$\ddot{q}_j + 2\xi_j \omega_j \dot{q}_j + \omega_j^2 q_j = -\Gamma_j \ddot{u}_g$$

dove: $2\xi_j \omega_j = \frac{\Phi_j^T \mathbf{C} \Phi_j}{\Phi_j^T \mathbf{M} \Phi_j}$, $\omega_j^2 = \frac{\Phi_j^T \mathbf{K} \Phi_j}{\Phi_j^T \mathbf{M} \Phi_j}$, $\Gamma_j = \frac{\Phi_j^T \mathbf{M} \mathbf{I}}{\Phi_j^T \mathbf{M} \Phi_j}$

13

Teoria lineare dell'isolamento alla base



Equazioni del moto (coordinate modali)

$$\ddot{q}_1 + 2\xi_1 \omega_1 \dot{q}_1 + \omega_1^2 q_1 = -\Gamma_1 \ddot{u}_g$$

$$\ddot{q}_2 + 2\xi_2 \omega_2 \dot{q}_2 + \omega_2^2 q_2 = -\Gamma_2 \ddot{u}_g$$

Coeff. di partecipazione modale

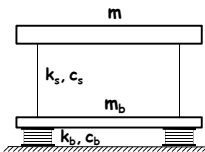
$$\Gamma_j = \frac{\Phi_j^T \mathbf{M} \mathbf{I}}{\Phi_j^T \mathbf{M} \Phi_j}$$

$$\Gamma_1 = 1 - \gamma \epsilon$$

$$\Gamma_2 = \gamma \epsilon$$

14

Teoria lineare dell'isolamento alla base



Equazioni del moto (coordinate modali)

$$\ddot{q}_1 + 2\xi_1 \omega_1 \dot{q}_1 + \omega_1^2 q_1 = -\Gamma_1 \ddot{u}_g$$

$$\ddot{q}_2 + 2\xi_2 \omega_2 \dot{q}_2 + \omega_2^2 q_2 = -\Gamma_2 \ddot{u}_g$$

Massa modale

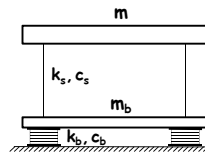
$$M_j^{\text{eff}} = \frac{(\Phi_j^T \mathbf{M} \mathbf{I})^2}{\Phi_j^T \mathbf{M} \Phi_j}$$

$$M_1^{\text{eff}} = M[1 - \gamma(1 - \gamma)\epsilon^2]$$

$$M_2^{\text{eff}} = M[\gamma(1 - \gamma)\epsilon^2]$$

15

Teoria lineare dell'isolamento alla base



Equazioni del moto (coordinate modali)

$$\ddot{q}_1 + 2\xi_1 \omega_1 \dot{q}_1 + \omega_1^2 q_1 = -\Gamma_1 \ddot{u}_g$$

$$\ddot{q}_2 + 2\xi_2 \omega_2 \dot{q}_2 + \omega_2^2 q_2 = -\Gamma_2 \ddot{u}_g$$

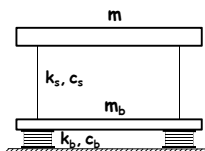
Termine

$$2\xi_j \omega_j = \frac{\Phi_j^T \mathbf{C} \Phi_j}{\Phi_j^T \mathbf{M} \Phi_j}$$

$$2\xi_1 \omega_1 = 2\xi_b \omega_b (1 - 2\gamma \epsilon) \quad 2\xi_2 \omega_2 = \frac{1}{1 - \gamma} (2\omega_s \xi_s + 2\gamma \omega_b \xi_b)$$

16

Teoria lineare dell'isolamento alla base



Equazioni del moto (coordinate modali)

$$\ddot{q}_1 + 2\xi_1 \omega_1 \dot{q}_1 + \omega_1^2 q_1 = -\Gamma_1 \ddot{u}_g$$

$$\ddot{q}_2 + 2\xi_2 \omega_2 \dot{q}_2 + \omega_2^2 q_2 = -\Gamma_2 \ddot{u}_g$$

Rapporto di smorzamento viscoso equivalente

$$\xi_j = \frac{1}{2\omega_j} \frac{\Phi_j^T \mathbf{C} \Phi_j}{\Phi_j^T \mathbf{M} \Phi_j}$$

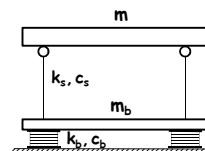
$$\xi_1 = \xi_b (1 - 1.5 \gamma \epsilon)$$

$$\xi_2 = \frac{\xi_s}{(1 - \gamma)^{1/2}} + \frac{\gamma \xi_b \epsilon^{1/2}}{(1 - \gamma)^{1/2}}$$

17

Sistema isolato alla base

Esempio



$$m = 16.29 \text{ kN s}^2/\text{m}$$

$$m_b = 3.25 \text{ kN s}^2/\text{m}$$

$$k_s = 2 \times 1286.478 \text{ kN/m}$$

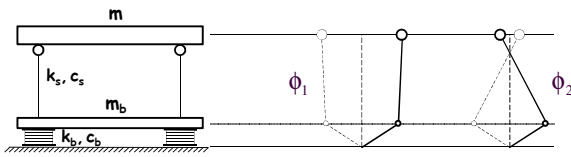
$$T_{bf} = 0.50 \text{ s}$$

	$T_{1-\text{iso}}$ (s)	$T_{2-\text{iso}}$ (s)	ω_b (rad/s)	k_b (kN/m)
Soluzione 1. Blocco rigido isolato	1.56905		4.19	343.06
Soluzione 2. Approssimata	1.49331	0.19416	4.42	382.56
Soluzione 3. Rigorosa	1.50000	0.19426	4.40	378.80

18

Sistema isolato alla base

Esempio



$$T_{1-iso} = 1.50 \text{ s} \quad T_{2-iso} = 0.19 \text{ s}$$

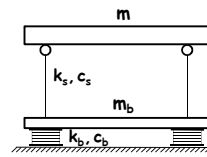
(componenti in termini assoluti)	Modo 1	Modo 2
ϕ	0.20464	-0.51478
$\dot{\phi}$	0.23022	0.09152

	Modo 1	Modo 2
Fattore di partecipazione modale	-4.41785	0.186391
Rapporto di massa partecipante modale	0.99822	0.00178

19

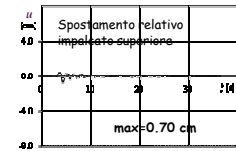
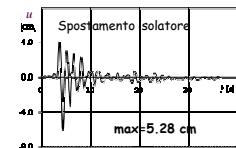
Sistema isolato alla base

Esempio



$$\xi_{1-iso} = 0.15$$

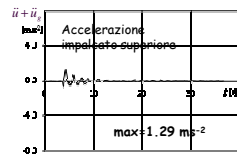
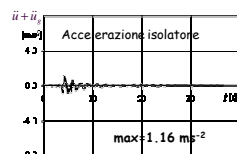
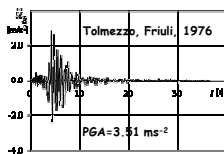
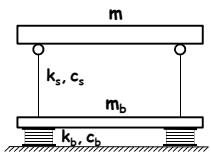
$$\xi_{2-iso} = 0.05$$



20

Sistema isolato alla base

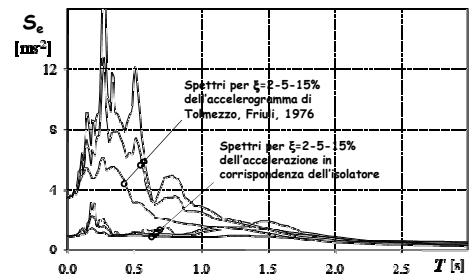
Esempio



21

Sistema isolato alla base

Esempio



22

Corso di aggiornamento
Progettazione strutturale e
Norme Tecniche per le Costruzioni

**L'isolamento alla base nella progettazione sismica
e nell'intervento sull'esistente**

Spoletto
5-6 giugno 2015

06 - Modellazione. Esame dei risultati

**Modellazione
di struttura e sistema di isolamento**

**Modellazione
dei sistemi isolati alla base**

- **Modellazione della sovrastruttura:**
Deve essere schematizzata come sistema a comportamento elastico lineare
- **Modellazione del sistema di isolamento:**
Può essere modellato come elemento lineare oppure con legame costitutivo non lineare
In sostanza, è equivalente ad una molla orizzontale (se lineare, con rigidità definita in funzione dello spostamento massimo)
Nota: La deformabilità verticale deve essere messa in conto solo se il rapporto tra la rigidità verticale del sistema di isolamento K_v e la rigidità equivalente orizzontale K_{eH} è inferiore a 800

**Modellazione
dei sistemi isolati alla base**

- Il comportamento del sistema di isolamento può essere modellato come lineare equivalente se sono soddisfatte tutte le seguenti condizioni:
 - a) 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;
 - b) lo smorzamento lineare equivalente del sistema di isolamento 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 spostamento tra $0.5d_{jk}$ e d_{jk} , essendo d_{jk} lo spostamento del centro di rigidità dovuto all'azione sismica, è almeno pari al 2.5% del peso totale della sovrastruttura.

**Modellazione
dei sistemi isolati alla base**

- Le proprietà meccaniche del sistema di isolamento da adottare nelle analisi sono le più sfavorevoli che si possono verificare durante la sua vita utile. Esse devono tener conto, ove pertinente, di:
 - entità delle deformazioni subite, in relazione allo stato limite per la verifica del quale si svolge l'analisi;
 - variabilità delle caratteristiche meccaniche dei dispositivi, nell'ambito della fornitura;
 - velocità massima di deformazione (frequenza), in un intervallo di variabilità di $\pm 30\%$ del valore di progetto;
 - entità dei carichi verticali agenti simultaneamente al sisma;
 - entità dei carichi e delle deformazioni in direzione trasversale a quella considerata;
 - temperatura, per i valori massimo e minimo di progetto;
 - cambiamento delle caratteristiche nel tempo (invecchiamento).

Analisi strutturale

Possono essere eseguite le seguenti analisi strutturali:

- Analisi statica lineare
- Analisi dinamica lineare (modale con spettro di risposta)
- Analisi dinamica non-lineare

Analisi statica lineare

- Può essere applicata se la struttura isolata soddisfa i requisiti:
 - il sistema d'isolamento può essere modellato come lineare
 - il periodo equivalente T_{is} della costruzione isolata ha un valore compreso fra $3T_{bf}$ e 3.0 s, in cui T_{bf} è il periodo della sovrastruttura assunta a base fissa, stimato con un'espressione approssimata

continua ...

Analisi statica lineare

- Può essere applicata se la struttura isolata soddisfa i requisiti:
 - la rigidezza verticale del sistema di isolamento K_v è almeno 800 volte più grande della rigidezza equivalente orizzontale del sistema di isolamento K_{esi}
 - il periodo in direzione verticale T_v , calcolato come $T_v = 2\pi M / K_v$, è inferiore a 0.1 s
 - nessun isolatore risulta in trazione per l'effetto combinato dell'azione sismica e dei carichi verticali
 - il sistema resistente all'azione sismica possiede una configurazione strutturale regolare in pianta

Analisi statica lineare

- Può essere applicata se la struttura isolata soddisfa i requisiti (specifici per le costruzioni civili e industriali):
 - la sovrastruttura ha altezza non maggiore di 20 metri e non più di 5 piani.
 - la sottostruttura può essere considerata infinitamente rigida ovvero 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 (esclusa quella accidentale) tra il centro di rigidezza 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.

Analisi statica lineare

Il calcolo può essere svolto su due modelli separati, per ciascuno dei quali si assume un valore diverso dello smorzamento:

- Sovrastruttura più sistema d'isolamento
- Sottostruttura
(Su questa agiscono le forze ricavate dal primo modello e le forze d'inerzia prodotte direttamente dal moto del terreno)

Analisi statica lineare

- Con riferimento al comportamento traslazionale, si assume che la sovrastruttura sia un solido rigido che trasla al di sopra del sistema di isolamento, con un periodo equivalente di traslazione

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

Analisi dinamica lineare

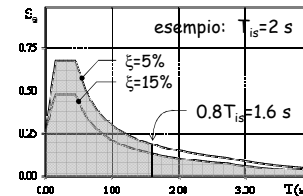
- L'analisi dinamica lineare è ammessa quando risulta possibile modellare elasticamente il comportamento del sistema di isolamento
- L'analisi può essere svolta mediante
 - analisi modale con spettro di risposta, considerando un numero di modi tale da portare in conto anche un'aliquota significativa della massa della sottostruttura, se inclusa nel modello.
 - integrazione al passo delle equazioni del moto, eventualmente previo disaccoppiamento modale

Analisi dinamica lineare

- Le componenti orizzontali dell'azione sismica si considerano in generale agenti simultaneamente
- La componente verticale dell'azione sismica deve essere messa in conto nei casi previsti già per gli edifici a base fissa
e, in ogni caso, quando il rapporto tra la rigidità verticale del sistema di isolamento K_v e la rigidità equivalente orizzontale K_{esi} risulti inferiore a 800. In tali casi si avrà cura che la massa eccitata dai modi in direzione verticale considerati nell'analisi sia significativa
- Le regole di combinazione degli effetti sono le stesse riportate per gli edifici a base fissa

Analisi dinamica lineare

- Lo spettro elastico va ridotto per tutto il campo di periodi $T \geq 0.8T_{is}$, assumendo per il coefficiente riduttivo η il valore corrispondente al coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ del sistema di isolamento



Discussione dei risultati: analisi modale

Un mare di numeri. Come non perdersi? Analisi modale

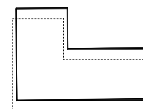
- Esaminare le deformate modali (indipendentemente dalla direzione del sisma)
 - sono disaccoppiate oppure accoppiate?
- Esaminare le masse partecipanti (per ciascuna direzione del sisma) per vedere quali modi danno maggior contributo
 - prevale un solo modo, o più di uno?
- Esaminare i periodi dei modi predominanti
 - corrispondono alle previsioni o no?

Un mare di numeri. Come non perdersi? Analisi modale

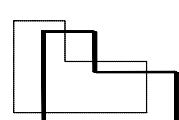
- Esaminare l'involuppo delle deformate modali, per le due direzioni del sisma
 - spostamenti analoghi nelle due direzioni o molto diversi?
 - solo traslazione, rotazione dell'impalcato modesta oppure forte?
- Esaminare i momenti massimi nei pilastri e nelle travi
 - rispettano le previsioni o no?

Deformate modali

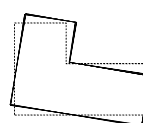
Modo 1 $T = 2.022$ s



Modo 2 $T = 2.021$ s



Modo 3 $T = 1.669$ s

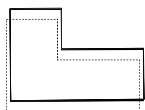


I modi 1 e 2 sono in direzione inclinata, tra loro ortogonali

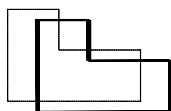
Il modo 3 è rotazionale,

Deformate modali

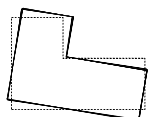
Modo 1 $T = 2.022 \text{ s}$



Modo 2 $T = 2.021 \text{ s}$



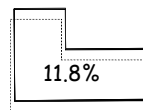
Modo 3 $T = 1.669 \text{ s}$



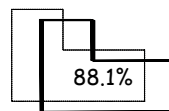
La struttura è torsionalmente rigida perché il rapporto tra periodo traslazionale e rotazionale è maggiore di 1

Masse partecipanti, sisma x

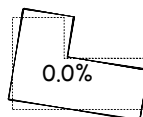
Modo 1 $T = 2.022 \text{ s}$



Modo 2 $T = 2.021 \text{ s}$

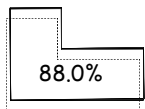


Modo 3 $T = 1.669 \text{ s}$

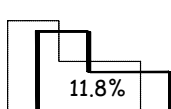


Masse partecipanti, sisma y

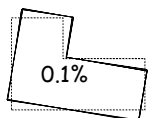
Modo 1 $T = 2.022 \text{ s}$



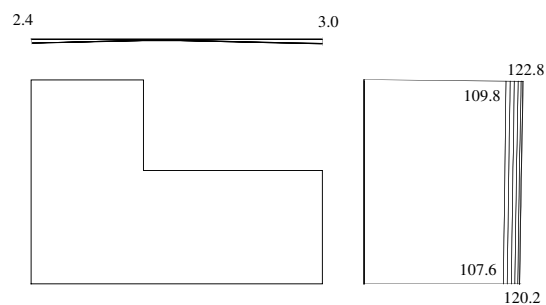
Modo 2 $T = 2.021 \text{ s}$



Modo 3 $T = 1.669 \text{ s}$



Inviluppo modale - sisma x



Inviluppo modale - sisma y

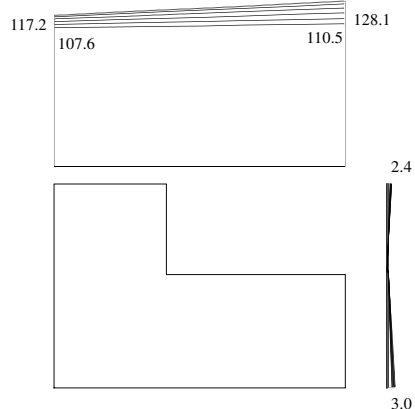


Diagramma del momento

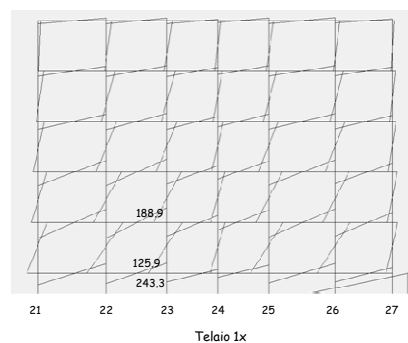
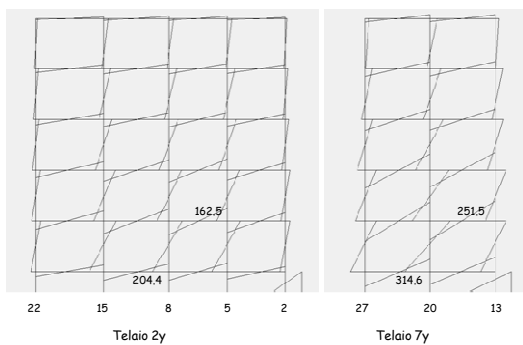
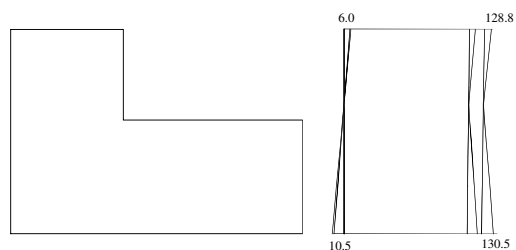


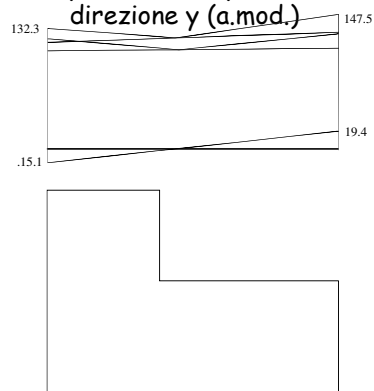
Diagramma del momento



Spostamenti per forze e coppie direzione x (analisi modale)



Spostamenti per forze e coppie direzione y (a.mod.)



Corso di aggiornamento
**Progettazione strutturale e
Norme Tecniche per le Costruzioni**

**L'isolamento alla base nella progettazione sismica
e nell'intervento sull'esistente**

**Spoletto
5-6 giugno 2015**

07 - Controlli su materiali e dispositivi

**La normativa
e
i controlli su materiali e dispositivi**

2

Isolatori elastomerici

Prescrizioni di normativa

Gli isolatori devono avere pianta con due assi di simmetria ortogonali, così da presentare un comportamento il più possibile indipendente dalla direzione dell'azione orizzontale agente.

Ai fini della determinazione degli effetti di azioni perpendicolari agli strati, le loro dimensioni utili debbono essere riferite alle dimensioni delle piastre in acciaio, depurate di eventuali fori, mentre per gli effetti delle azioni parallele alla giacitura degli strati si considererà la sezione intera dello strato di gomma.

Le piastre di acciaio devono essere conformi a quanto previsto nelle norme per gli apparecchi di appoggio, ovvero

allungamento minimo a rottura	18%
spessore minimo pari a	2 mm per le piastre interne 20 mm per le piastre esterne

3

Isolatori elastomerici

Prescrizioni di normativa

	Fornitura	Invecchiamento	Temperatura	Frequenza di prova
k_{eff}	$\pm 20\%$	$\pm 20\%$	$\pm 20\%$	$\pm 20\%$
k_V	-30%	-	-	-
ξ_{eff}	$\pm 20\%$	$\pm 20\%$	$\pm 20\%$	$\pm 20\%$

Le variazioni devono essere valutate con riferimento al 3° ciclo di prova. Le frequenze di prova per valutare le variazioni delle caratteristiche meccaniche sono 0.1Hz e 0.5Hz.

Le variazioni dovute al carico verticale, valutate come differenza tra i valori corrispondenti al carico verticale massimo ed a quello minimo, non dovranno superare il 15% del valore di progetto.

4

Prove su materiali e dispositivi

Prescrizioni di normativa

- Prove di accettazione sui materiali
- Prove di qualificazione dei dispositivi
- Prove di accettazione dei dispositivi

5

Prove di accettazione sui materiali elastomerici

Le prove di accettazione sui materiali sono quelle previste dalle norme sugli apparecchi di appoggio, con le seguenti variazioni ed aggiunte:

- le prove di invecchiamento vanno effettuate per 21 giorni a 70°C; la variazione del modulo G deve essere contenuta entro il 20% del valore iniziale;
- il modulo G deve essere determinato anche per una deformazione tangenziale pari a $\pm 100\%$.

6

Prove di qualificazione sui dispositivi elastomerici

Le prove di qualificazione sui dispositivi, possono essere estese a tutti i dispositivi geometricamente simili (rapporti di scala geometrica compresi tra 0.5 e 2, fattore di forma primario S_1 uguale, con tolleranza del $\pm 10\%$, fattore di forma secondario S_2 uguale o maggiore) e prodotti con gli stessi materiali di quelli provati.

Nota !

Le prove devono essere effettuate nell'ordine e con le modalità specificate a non meno di

- due giorni di distanza dalla vulcanizzazione per dispositivi di dimensioni inferiori ai 700 mm
- quattro giorni per dispositivi più grandi

così da avere una temperatura uniforme sull'intero dispositivo.

7

Prove di qualificazione sui dispositivi elastomerici

Prove di qualificazione

- Determinazione statica della rigidità a compressione
- Determinazione statica del modulo di taglio
- Determinazione dinamica del modulo di taglio e dello smorzamento
- Determinazione delle curve $G-\gamma$ e $\xi-\gamma$ mediante prove dinamiche cicliche
- Valutazione della stabilità
- Valutazione della capacità di spostamento ciclico sotto carico verticale di progetto
- Valutazione dell'efficacia dell'aderenza elastomero-acciaio
- Determinazione delle caratteristiche di creep

8

Prove di qualificazione sui dispositivi elastomerici

Determinazione statica della rigidità a compressione

tra il 30% e il 100% del carico verticale N di progetto, opportunamente scalato, in presenza di sisma, somma dei carichi verticali dovuti a permanenti ed accidentali moltiplicati per opportuni coefficienti ed alle eventuali azioni concomitanti (forze orizzontali, spostamenti e rotazioni);

9

Prove di qualificazione sui dispositivi elastomerici

Determinazione statica del modulo di taglio

sotto compressione costante e pari a 6 MPa, o al valore della tensione di compressione di progetto (con una tolleranza del $\pm 20\%$) se questa è superiore a 8 MPa.

Il modulo statico di taglio G e' convenzionalmente definito come il modulo secante tra le deformazioni di taglio corrispondenti agli spostamenti $0.27t_e$ e $0.58t_e$ ottenuti mediante prove di carico-scarico fino a uno spostamento massimo pari a t_e e in corrispondenza del 3° ciclo;

10

Prove di qualificazione sui dispositivi elastomerici

Determinazione dinamica del modulo di taglio e dello smorzamento

sotto compressione costante e pari a 6 MPa, o al valore della tensione di compressione di progetto (con una tolleranza del $\pm 20\%$) se questa è superiore a 8 MPa.

Il modulo dinamico di taglio G_{din} e lo smorzamento ξ sono valutati mediante prove cicliche sinusoidali alla frequenza di 0.5 Hz e $\gamma=1$ ed in corrispondenza del 3° ciclo.

In particolare, il modulo a taglio $G_{din} = Ft_e/(Ad)$ e' valutato come modulo secante in corrispondenza di $d/t_e=1$, con l'obbligo per G_{din} di ricadere nell'intervallo 0.35-1.50 MPa;

11

Prove di qualificazione sui dispositivi elastomerici

Determinazione delle curve $G-\gamma$ e $\xi-\gamma$ mediante prove dinamiche cicliche

per i seguenti valori di γ : 0.05, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0 γ_{max} e, comunque, per deformazioni corrispondenti, nel dispositivo reale, a spostamenti non inferiori a $\pm 0.1 d_2$, $\pm 0.2 d_2$, $\pm 0.3 d_2$, $\pm 0.5 d_2$, $\pm 0.7 d_2$, $\pm d_2$, effettuando almeno 5 cicli per ciascuna ampiezza;

γ_{max} sarà preso pari a

1.5 se in corrispondenza di d_2 risulta $\gamma < 1.5$,
2 se $1.5 < \gamma < 2$.

12

Prove di qualificazione sui dispositivi elastomerici

Valutazione della stabilità

sotto compressione e taglio. La valutazione è effettuata accertandosi che il dispositivo rimanga stabile se assoggettato ad uno spostamento orizzontale pari ad $1.8 t_e$ in presenza di un carico verticale pari sia ad $1.5 N_{max}$ che a $0.5 N_{min}$ (indicando con N_{max} e N_{min} rispettivamente i valori massimo e minimo di N)

Valutazione della capacità di spostamento ciclico sotto carico verticale di progetto

sotto compressione costante e pari a 6 MPa, o al valore della tensione di compressione di progetto (con una tolleranza del $\pm 20\%$) se questa è superiore a 8 MPa. Il dispositivo deve sopportare almeno 10 cicli con spostamento massimo impresso almeno pari a d_2 .

13

Prove di qualificazione sui dispositivi elastomerici

Valutazione dell'efficacia dell'aderenza elastomero-acciaio

sotto compressione costante e pari a 6 MPa, o al valore della tensione di compressione di progetto (con una tolleranza del $\pm 20\%$) se questa è superiore a 8 MPa, a una deformazione $\gamma \geq 2.5$ senza che si verifichino danni.

Qualora in corrispondenza dello spostamento di progetto, il dispositivo subisca una deformazione $\gamma < 1.5$ il dispositivo può essere caratterizzato per una deformazione $\gamma = 2.0$.

14

Prove di qualificazione sui dispositivi elastomerici

Determinazione delle caratteristiche di creep

sotto compressione costante e pari al valore della tensione di compressione di progetto, con una tolleranza del $\pm 20\%$, della durata di almeno 7 giorni.

La deformazione verticale per creep deve essere inferiore al 20% della deformazione statica sotto il carico N;

Il valore di riferimento della deformazione statica sarà assunto pari a quello misurato dopo 10 minuti dall'inizio dell'applicazione del carico.

15

Prove di qualificazione sui dispositivi elastomerici

Le prove di qualificazione devono essere effettuate su almeno 4 dispositivi,

due per le prove senza invecchiamento e due per le prove dopo invecchiamento artificiale, ottenuto mantenendo i dispositivi di prova per 21 giorni a 70°C.

L'invecchiamento dovrà comunque essere preceduto dalla determinazione statica della rigidità a compressione e del modulo statico di taglio G , per valutare le caratteristiche dei dispositivi sottoposti a invecchiamento prima dell'invecchiamento stesso. I valori di G dopo l'invecchiamento non devono superare di 1.15 volte i valori di G prima dell'invecchiamento.

16

Prove di qualificazione sui dispositivi elastomerici

I dispositivi sottoposti a prove di qualificazione non potranno essere utilizzati nella costruzione.

I dispositivi sottoposti a prove di qualificazione potranno essere utilizzati nella costruzione previa verifica della loro perfetta integrità a seguito delle prove, da accertare attraverso la successiva effettuazione delle prove di accettazione ed il controllo dei relativi parametri di verifica.

17

Prove di qualificazione sui dispositivi elastomerici

La validità delle prove di invecchiamento potrà essere estesa a tutti i dispositivi realizzati con la stessa miscela, indipendentemente dai rapporti di forma.

Per qualificare lo stesso dispositivo per diversi valori della tensione di compressione le prove possono essere ripetute in sequenza sugli stessi dispositivi da qualificare, verificando che tra una prova e la successiva non si siano verificati danni ai dispositivi.

18

Prove di accettazione sui dispositivi elastomerici

Attenzione !

Le prove di accettazione devono essere effettuate su :

- almeno il 20% dei dispositivi
- almeno 4 dispositivi
- non più del numero di dispositivi da mettere in opera.

Le prove di accettazione si riterranno superate se :

1. il modulo statico di taglio G non differisce di oltre il $\pm 10\%$ da quello delle prove di qualificazione
2. i risultati delle prove di seguito elencate soddisfano i limiti stabiliti per esse.

19

Prove di accettazione sui dispositivi elastomerici

Prove di accettazione

- misura della geometria esterna, che dovrà rispettare le tolleranze prescritte per gli apparecchi di appoggio, con la deroga dei dispositivi di altezza > 100 mm per i quali la tolleranza sulle altezze è di 6mm;
- determinazione statica della rigidità verticale tra il 30% e il 100% del carico verticale N ;
- determinazione del modulo statico di taglio G o del modulo dinamico di taglio G_{din} , con le modalità specificate per le prove di qualificazione; il modulo dinamico è da preferire poiché riduce le incertezze sul controllo del reale comportamento dinamico.
- valutazione di efficacia dell'aderenza elastomero-acciaio, con le modalità specificate per le prove di qualificazione, ma adottando per la deformazione γ il valore corrispondente allo spostamento d_2 .

20

Isolatori a scorrimento

Prescrizioni di normativa

Le superfici di scorrimento in acciaio e PTFE devono essere conformi alla normativa vigente per gli apparecchi di appoggio.

Gli isolatori a scorrimento devono essere in grado di sopportare, sotto spostamento massimo impresso pari a $1,2 d_2$, almeno 10 cicli di carico e scarico.

I cicli si riterranno favorevolmente sopportati se il coefficiente d'attrito (f), nei cicli successivi al primo, non varierà di più del 25% rispetto alle caratteristiche riscontrate durante il terzo ciclo, ossia

$$|f(i) - f(3)| / f(3) < 0,25$$

avendo indicato con

il pedice "(i)" le caratteristiche valutate all' i -esimo ciclo
il pedice "(3)" le caratteristiche valutate al terzo ciclo.

21

Isolatori a scorrimento

Prescrizioni di normativa

Detto d_{dc} lo spostamento massimo di progetto del centro di rigidità del sistema d'isolamento, corrispondente allo SLC,

qualora l'incremento della forza nel sistema di isolamento per spostamenti tra $0,5 d_{dc}$ e d_{dc} sia inferiore all'1,25% del peso totale della sovrastruttura, gli isolatori a scorrimento debbono essere in grado di garantire la loro funzione di appoggio fino a spostamenti pari ad $1,25 d_2$.

Si deve verificare che il coefficiente d'attrito sia sempre inferiore al valore di progetto per variazioni nell'ambito della fornitura, della temperatura e della frequenza di prova.

22

Prove di accettazione sui materiali

Prescrizioni di normativa

Le prove di accettazione sulle superfici di scorrimento sono quelle previste dalle norme per gli apparecchi di appoggio.

23

Prove di qualificazione sui dispositivi a scorrimento

Le prove di qualificazione sui dispositivi, che possono essere estese a tutti i dispositivi geometricamente simili (rapporti di scala geometrica compresi tra 0,5 e 2) e prodotti con gli stessi materiali di quelli provati sono le seguenti:

Prove di accettazione

- Determinazione statica del coefficiente d'attrito
- Determinazione dinamica del coefficiente d'attrito
- Valutazione della capacità di spostamento ciclico sotto carico verticale di progetto

24

Prove di qualificazione sui dispositivi a scorrimento

Determinazione statica del coefficiente d'attrito

per almeno tre valori della compressione, costanti durante la prova, pari a

- carico verticale N di esercizio
- carico di progetto sotto azioni sismiche N_{max} e N_{min} , opportunamente scalati;

25

Prove di qualificazione sui dispositivi a scorrimento

Determinazione dinamica del coefficiente d'attrito

per almeno tre valori della compressione, costanti durante la prova, pari a

- carico verticale N di esercizio,
- carico di progetto sotto azioni sismiche N_{max} e N_{min} , opportunamente scalati,

per tre valori della velocità (frequenza), pari a

- velocità di progetto
- velocità di progetto variata del $\pm 30\%$.

26

Prove di qualificazione sui dispositivi a scorrimento

Valutazione della capacità di spostamento ciclico sotto carico verticale di progetto

sotto compressione costante e pari al valore della tensione di compressione di progetto, con una tolleranza del $\pm 20\%$. Il dispositivo deve sopportare almeno 10 cicli con spostamento massimo impresso almeno pari a d_2 .

27

Prove di accettazione sui dispositivi a scorrimento

Attenzione !

Le prove di accettazione devono essere effettuate su :

- almeno il 20% dei dispositivi
- almeno 4 dispositivi
- non più del numero di dispositivi da mettere in opera.

Qualora gli isolatori fossero dotati di elementi o meccanismi supplementari atti a migliorarne le prestazioni sismiche, su almeno un dispositivo completo di tali parti supplementari verrà anche condotta una prova "quasi statica", imponendo almeno 5 cicli completi di deformazioni alternate, con ampiezza massima pari a $\pm d_2$.

Il dispositivo non potrà essere utilizzato nella costruzione, a meno che il suo perfetto funzionamento non sia ripristinabile con la sostituzione degli elementi base.

28

Sistemi isolati alla base

Collaudo

Il collaudo statico deve essere effettuato in corso d'opera; al riguardo si segnala che di fondamentale importanza è il controllo della posa in opera dei dispositivi, nel rispetto delle tolleranze e delle modalità di posa prescritte dal progetto, nonché la verifica della completa separazione tra sottostruttura e sovrastruttura e tra quest'ultima ed altre strutture adiacenti, con il rigoroso rispetto delle distanze di separazione previste in progetto.

Il collaudatore può disporre l'esecuzione di speciali prove per la caratterizzazione dinamica del sistema di isolamento atte a verificare, nei riguardi di azioni di tipo sismico, che le caratteristiche della costruzione corrispondano a quelle attese.

29

Corso di aggiornamento
**Progettazione strutturale e
Norme Tecniche per le Costruzioni**

**L'isolamento alla base nella progettazione sismica
e nell'intervento sull'esistente**

**Spoleto
5-6 giugno 2015**

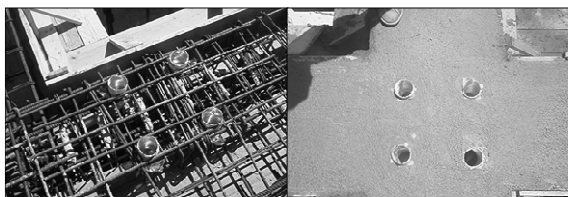
08 - Dettagli costruttivi

**... particolari di progetto
dell'interfaccia d'isolamento**

2

Isolamento alla base

Messa in opera dei dispositivi elastomerici



Messa in opera di isolatori elastomerici

3

Isolamento alla base

Messa in opera dei dispositivi elastomerici



Messa in opera di isolatori elastomerici

4

Isolamento alla base

Messa in opera dei dispositivi elastomerici



Messa in opera di isolatori elastomerici
(scuola di Mazabotto - Bologna)

5

Isolamento alla base

Ispezione e sostituzione dei dispositivi di isolamento

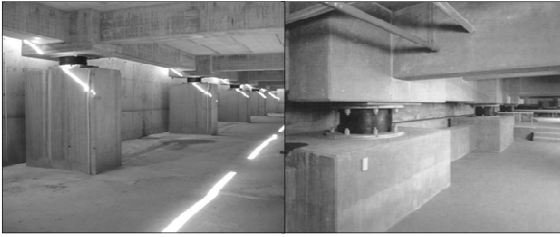
L'alloggiamento dei dispositivi d'isolamento ed il loro collegamento alla struttura devono essere concepiti in modo da assicurarne l'accesso e rendere i dispositivi stessi ispezionabili e sostituibili.

**Attenzione quindi a concepire l'operazione
di sostituzione dei dispositivi nella fase di progetto
e
a lasciare gli spazi necessari
al posizionamento dei martinetti !**

6

Isolamento alla base

Ispezione e sostituzione dei dispositivi di isolamento



Diversi posizionamenti di dispositivi elastomerici

7

Isolamento alla base

Ispezione e sostituzione dei dispositivi di isolamento



Isolatori elastomerici tra travi di fondazione e travi di elevazione



8

Isolamento alla base

Progetto dei sistemi di contrasto per il ricentraggio dei dispositivi

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.

Ma quali sono gli spostamenti residui prevedibili per la struttura isolata e quali le forze necessarie a ripristinare la configurazione iniziale ?

9

Isolamento alla base

Protezione dei dispositivi di isolamento

Ove necessario, gli isolatori devono essere protetti da possibili effetti derivanti da attacchi del fuoco, chimici o biologici

**ovvero anche ratti,
polvere per isolatori a scorrimento ..**

In alternativa, occorre prevedere dispositivi che, in caso di distruzione degli isolatori, siano idonei a trasferire il carico verticale alla sottostruttura.

10

Isolamento alla base

Protezione dal fuoco di dispositivi elastomerici

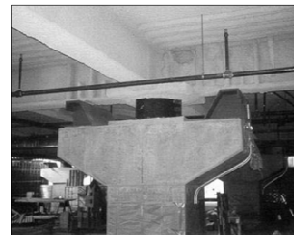


Protezione dal fuoco (Università della Basilicata - Potenza)

11

Isolamento alla base

Percorso alternativo per il trasferimento dei carichi verticali



Dispositivi alternativi per il trasferimento dei carichi verticali alla sottostruttura

12

Isolamento alla base

Protezione dell'intercapedine

Deve essere previsto adeguato spazio tra la sovrastruttura e le costruzioni circostanti per consentire liberamente gli spostamenti sismici in tutte le direzioni.

Occorre porre attenzione per proteggere, ovvero coprire, tale intercapedine.



13

Isolamento alla base

Protezione dell'intercapedine



Palazzina residenziale isolata sismicamente con HDRB a Shantou nel 1994, prima applicazione cinese di moderni sistemi d'isolamento: si noti la scala d'accesso vincolata alla sovrastruttura ed il gap verticale che essa presenta rispetto al terreno circostante

14

Isolamento alla base

Elementi d'interfaccia

Occorre far sì che gli elementi d'interfaccia (tubazioni del gas, acqua e fognatura) non si rompano durante il moto della struttura isolata.

Per evitare la loro rottura occorre inserire elementi flessibili

15

Isolamento alla base

Elementi d'interfaccia

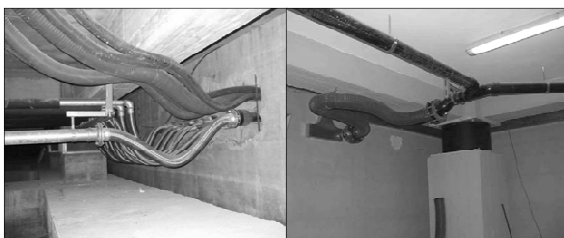


Elementi di interfaccia

16

Isolamento alla base

Elementi d'interfaccia

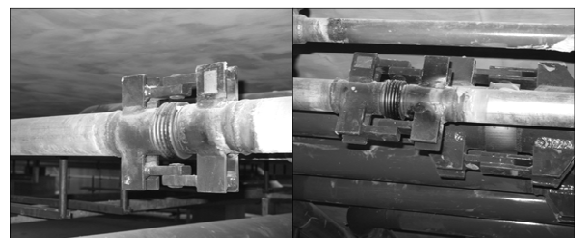


Elementi di interfaccia

17

Isolamento alla base

Elementi d'interfaccia

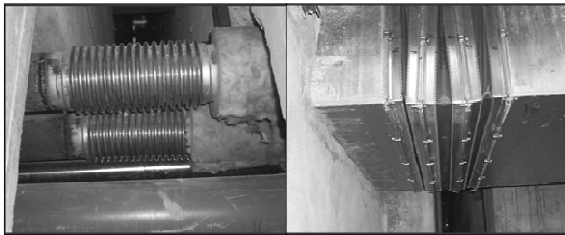


Elementi di interfaccia

18

Isolamento alla base

Elementi d'interfaccia



Elementi di interfaccia

19

Sistemi isolati alla base

Aspetti costruttivi

Nell'ambito del progetto si deve redigere un piano di qualità riguardante

- la progettazione dei dispositivi
- la costruzione
- la messa in opera
- la manutenzione
- Le verifiche analitiche

20

Sistemi isolati alla base

Aspetti costruttivi

I documenti di progetto devono indicare

- i dettagli,
- le dimensioni
- le prescrizioni sulla qualità,
- eventuali dispositivi di tipo speciale
- le tolleranze concernenti la messa in opera.

Elementi che richiedano particolari controlli durante le fasi di costruzione e messa in opera devono essere indicati negli elaborati grafici di progetto, insieme alle procedure di controllo da adottare.

21

Sistemi isolati alla base

Aspetti costruttivi

Il piano di qualità deve prevedere anche

- le modalità di installazione dei dispositivi durante la fase di costruzione dell'opera da isolare,
- i controlli periodici,
- gli interventi di manutenzione
- gli interventi di sostituzione, durante la vita nominale della struttura, la cui durata deve essere specificata nei documenti di progetto.,

22

Sistemi isolati alla base

Aspetti costruttivi

Ai fini della qualità della posa in opera, gli isolatori devono essere installati da personale specializzato, sulla base di un disegno planimetrico recante

- le coordinate di ciascun dispositivo
- la quota di ciascun dispositivo
- l'entità e la preregolazione degli eventuali dispositivi mobili a rotolamento,
- le dimensioni delle eventuali nicchie predisposte nei getti di calcestruzzo per accogliere staffe o perni di ancoraggio,
- le caratteristiche delle malte di spianamento e di sigillatura.

23

Sistemi isolati alla base

Sostituzione dei dispositivi di isolamento

Ai fini della sostituzione degli isolatori, il progetto delle strutture deve prevedere la possibilità di trasferire temporaneamente i carichi verticali dalla sovrastruttura alla sottostruttura per il tramite di martinetti oleodinamici, adiacenti all'isolatore da sostituire.

A tale scopo il progetto delle strutture può prevedere nicchie per l'inserimento dei martinetti tra la sottostruttura e la sovrastruttura ovvero altre disposizioni costruttive equivalenti.

24

Sistemi isolati alla base

Manutenzione

I percorsi, che consentono al personale addetto di raggiungere e di ispezionare gli isolatori, devono essere previsti e riportati sul progetto esecutivo delle strutture portanti e su quello delle eventuali murature di tamponamento, in modo da garantire l'accessibilità al dispositivo da tutti i lati.

Le risultanze delle visite periodiche di controllo devono essere annotate su un apposito documento, che deve essere conservato con il progetto della struttura isolata durante l'intera vita di utilizzazione della costruzione.

Corso di aggiornamento
**Progettazione strutturale e
Norme Tecniche per le Costruzioni**

**L'isolamento alla base nella progettazione sismica
e nell'intervento sull'esistente**

**Spoletto
5-6 giugno 2015**

09 - Dispositivi di dissipazione

**Quali sono le funzione che devono
essere espletate
da un sistema di isolamento?**

2

Dispositivi di isolamento

Funzioni

I dispositivi di isolamento devono essere in grado di espletare le funzioni:

- resistenza ai carichi verticali, con elevata rigidità verticale;
- resistenza alle forze di inerzia orizzontali, con bassa rigidità orizzontale;
- dissipazione di energia;
- ricentraggio del sistema;
- vincolo laterale, sotto carichi orizzontali di servizio non sismici;

OBBLIGATORI

OPZIONALI

3

Dispositivi ausiliari

Funzioni

I dispositivi ausiliari espletano una o più delle seguenti funzioni:

- dissipazione di energia;
- ricentraggio del sistema;
- vincolo laterale, sotto carichi orizzontali di servizio non sismici;

Pertanto, essi espletano le funzioni che non sono necessariamente svolte dai dispositivi di isolamento.

4

Sistemi di isolamento

Tipologie

Un sistema di isolamento può essere costituito:

- Unicamente da isolatori elastomerici, eventualmente realizzati con elastomeri ad alta dissipazione o comprendenti inserti di materiali dissipativi (ad es. piombo);
- Unicamente da isolatori a scorrimento o rotolamento, che inglobano funzioni dissipative o ricentranti per la presenza di elementi capaci di svolgere tali funzioni;
- Da un'opportuna combinazione di isolatori e dispositivi ausiliari.

5

Dispositivi ausiliari

Classificazione

Dispositivi dipendenti dallo spostamento

in cui la forza trasmessa dipende dallo spostamento relativo delle sue estremità (dissipatori isteretici, in lega a memoria di forma, viscoelastici elastomerici)

Dispositivi dipendenti dalla velocità

in cui la forza trasmessa dipende dalla velocità relativa delle sue estremità (dissipatori viscosi e viscosi ricentranti)

Dispositivi di vincolo rigido

6

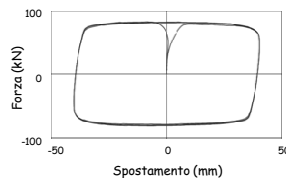
Dispositivi ausiliari

Classificazione

DISPOSITIVI DIPENDENTI DALLA VELOCITA'

VISCOSI

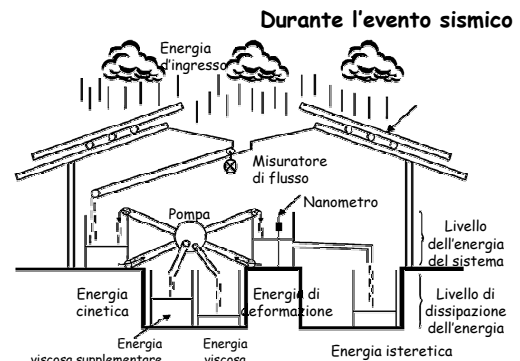
I dispositivi viscosi sono dispositivi cilindro/pistone in cui la laminazione di un fluido silconico attraverso un idoneo circuito idraulico permette la dissipazione di energia.



7

Equazione di bilancio energetico

Rappresentazione pratica



8

Dispositivi di dissipazione viscosa nonlineare

Nei dispositivi di dissipazione viscosa nonlineare la forza sviluppata dal dispositivo è legata alla velocità relativa tra gli estremi del dispositivo dalla seguente relazione:

$$F(t) = C_{NL} \operatorname{sgn}[\dot{x}(t)] |\dot{x}(t)|^{\alpha_{vd}}$$

La costante C_{NL} è detta costante di smorzamento viscoso nonlineare.

Nota!

Il coefficiente α_{vd} può essere uguale ad uno, inferiore ad uno o superiore ad uno.

9

Dispositivi di dissipazione viscosa nonlineare

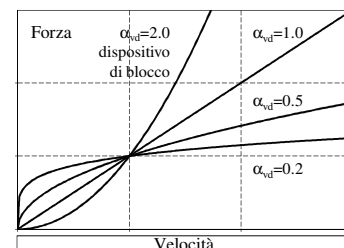


Diagramma Forza/velocità di dissipatori viscosi lineari e non lineari

10

Dispositivi di dissipazione viscosa nonlineare

Se si imprime un moto relativo di tipo sinusoidale agli estremi del dispositivo:

$$x(t) = X_0 \sin \omega t$$

la forza sviluppata dal dispositivo è:

$$F(t) = C_{NL} \operatorname{sgn}(\cos \omega t) |\omega X_0 \cos \omega t|^{\alpha_{vd}}$$

ovvero,

ricordando che $\cos \omega t = \pm \sqrt{1 - \sin^2 \omega t}$

$$\frac{F(t)}{C_{NL} (X_0 \omega)^{\alpha_{vd}}} = \pm \left\{ 1 - \left[\frac{x(t)}{X_0} \right]^2 \right\}^{\frac{\alpha_{vd}}{2}}$$

11

Dispositivi di dissipazione viscosa nonlineare

L'energia dissipata dal dissipatore viscoso lineare in un ciclo di spostamento è pari a:

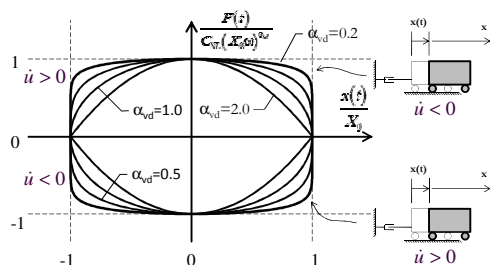
$$E_{vd} = \int_0^{2\pi/\omega} F(t) \dot{x}(t) dt = 4 C_{NL} (X_0 \omega)^{\alpha_{vd}+1} \int_0^{\pi/2} \cos^{\alpha_{vd}+1} \omega t dt$$

ovvero:

$$E_{vd} = 2\sqrt{\pi} C_{NL} (X_0)^{\alpha_{vd}+1} \omega^{\alpha_{vd}} \frac{\Gamma(1 + \alpha_{vd}/2)}{\Gamma(1.5 + \alpha_{vd}/2)}$$

12

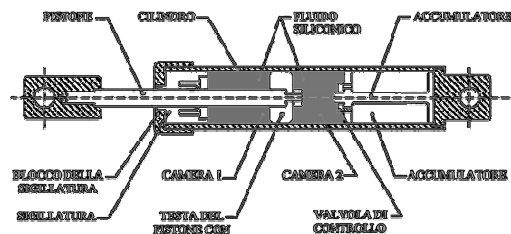
Dispositivi di dissipazione viscosa lineare e nonlineare



13

Dispositivi di dissipazione fluidodinamici

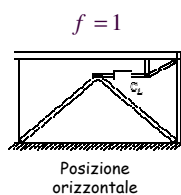
Schema generale



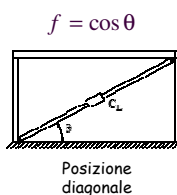
14

Dispositivi di dissipazione viscosa

Posizionamento



Posizione orizzontale



Posizione diagonale

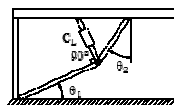
$$\xi = \frac{C_L f^2 g T}{4\pi W}$$

15

Dispositivi di dissipazione viscosa

Posizionamento

$$f = \frac{\sin \theta_2}{\cos(\theta_1 + \theta_2)} + \sin \theta_1$$

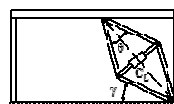


Ginocchio superiore

$$f = \frac{a \cos \theta_1}{\cos(\theta_1 + \theta_2)} - \cos \theta_2$$



Ginocchio inverso



$$f = \frac{\cos \gamma}{\tan \theta}$$

Scissor-jack

16

Dispositivi di dissipazione viscosa

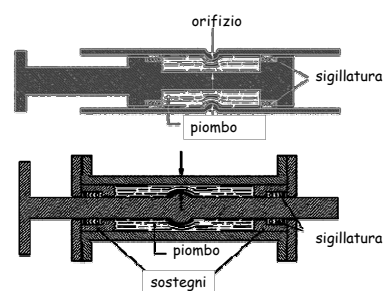
Posizionamento



Configurazione	Parametri geometrici	f	ξ
Orizzontale	-	1.00	0.05
Diagonale	$\theta=37^\circ$	0.80	0.03
Ginocchio superiore	$\theta_1=31.9^\circ, \theta_2=43.2^\circ$	3.19	0.51
Ginocchio inverso	$\theta_1=30^\circ, \theta_2=49^\circ, a=0.7$	2.52	0.32
Scissor-jack	$\theta=9^\circ, \gamma=70^\circ$	2.16	0.23

17

Dispositivi di dissipazione ad estrusione di piombo



Dissipatore ad estrusione di piombo

18

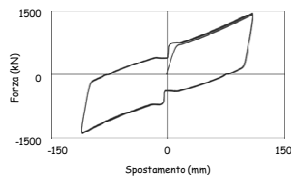
Dispositivi ausiliari

Classificazione

DISPOSITIVI DIPENDENTI DALLA VELOCITA'

VISCOSI RICENTRANTI

I dispositivi viscosi ricentranti sono dispositivi cilindro/pistone caratterizzati da un legame costitutivo in cui la forza di reazione dipende sia dalla velocità che dallo spostamento



19

Dispositivi ausiliari

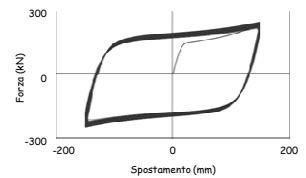
Classificazione

DISPOSITIVI DIPENDENTI DALLO SPOSTAMENTO

NON-LINEARI

ISTERETICI

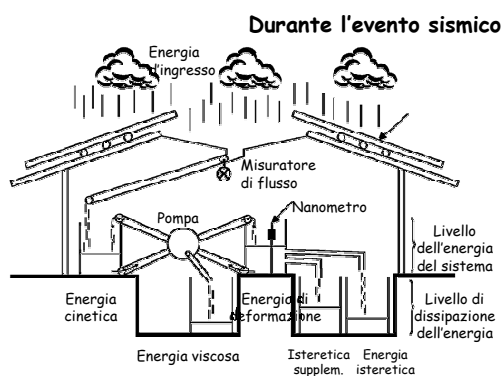
I dissipatori isteretici in acciaio sfruttano la plasticizzazione di elementi in acciaio di forma opportuna, progettata per garantire un comportamento ciclico stabile.



20

Equazione di bilancio energetico

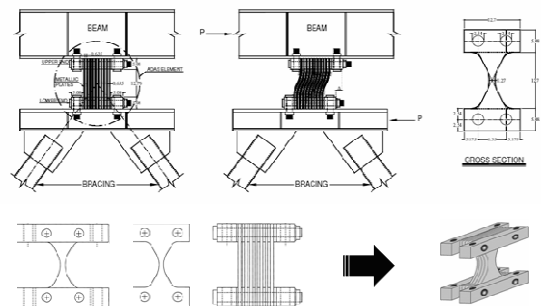
Rappresentazione pratica



21

Dispositivi di dissipazione isteretica

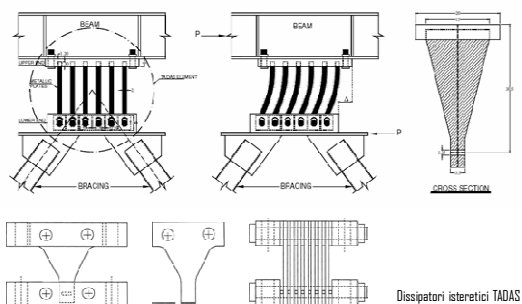
Dissipatori ADAS



22

Dispositivi di dissipazione isteretica

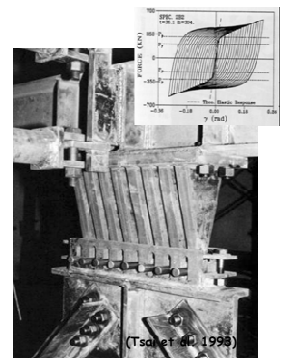
Dissipatori TADAS



23

Dispositivi di dissipazione isteretica

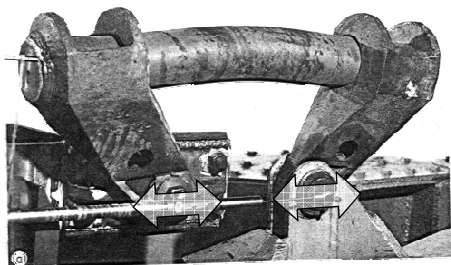
Dissipatori ADAS-TADAS



24

Dispositivi di dissipazione isteretica

Dissipatore a momento flettente uniforme (Tipo U)

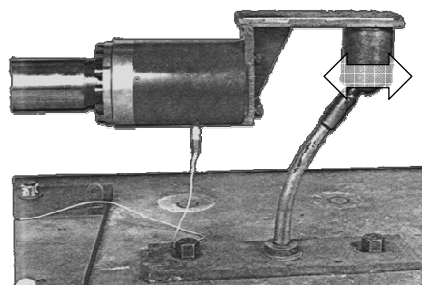


Dissipatore isteretico a momento flettente uniforme

25

Dispositivi di dissipazione isteretica

Dissipatore a momento flettente variabile (Tipo T)

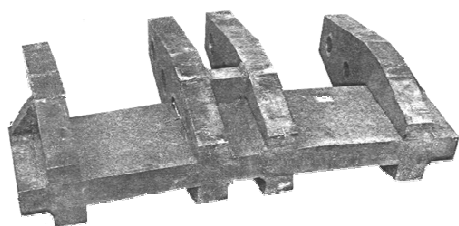


Dissipatore isteretico a momento flettente variabile

26

Dispositivi di dissipazione isteretica

Dissipatore a torsione (Tipo E)



Dissipatore isteretico a torsione

27

Dispositivi di dissipazione isteretica



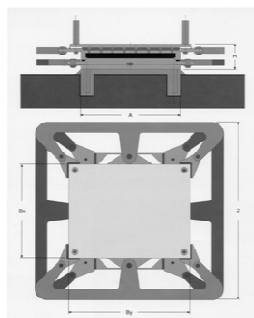
Dissipatore isteretico (tipo E)

28

Dispositivi di dissipazione isteretica

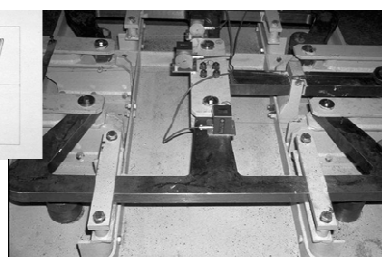
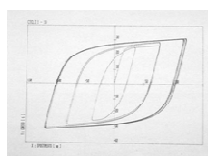


Dissipatore isteretico (tipo E)



29

Dispositivi di dissipazione isteretica



Dissipatore isteretico (tipo E)

30

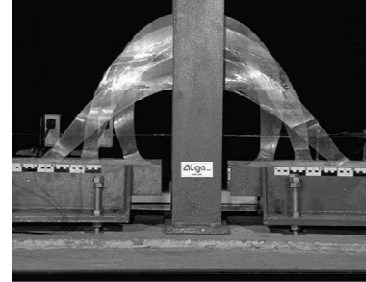
Dispositivi di dissipazione isteretica



Dissipatore isteretico (tipo E)

31

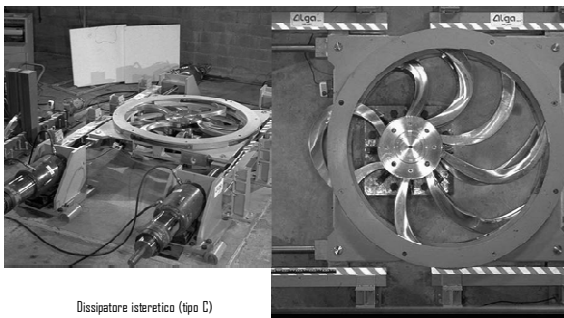
Dispositivi di dissipazione isteretica



Dissipatore isteretico (tipo C)

32

Dispositivi di dissipazione isteretica



Dissipatore isteretico (tipo D)

33

Dispositivi ausiliari

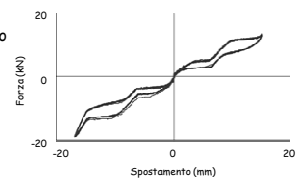
Classificazione

DISPOSITIVI DIPENDENTI DALLO SPOSTAMENTO

NON-LINEARI

MEMORIA DI FORMA

I dispositivi in lega a memoria di forma sono dispositivi che sfruttano le proprietà superelastiche delle leghe a memoria di forma. La curva forza-spostamento, caratterizzata da plateaux, consente di limitare la forza trasmessa alla struttura. Tali dispositivi possiedono anche un'elevata capacità ricentrante.



34

Dispositivi ausiliari

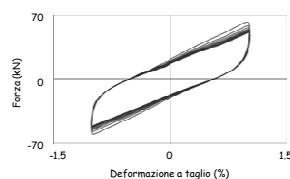
Classificazione

DISPOSITIVI DIPENDENTI DALLO SPOSTAMENTO

LINEARI

VISCOELASTICI

I dispositivi viscoelastici elastomerici sono costituiti da uno o più strati in mescola elastomerica ad alto smorzamento. Solitamente sono utilizzati come componenti di controventi dissipativi in edifici intelaiati. Possono essere disposti sia sul piano verticale che orizzontale.



35

Dispositivi viscoelastici

Comportamento

Equilibrio

$$\tau_E(t) + \tau_c(t) = \tau_s(t)$$

Compatibilità

$$\gamma_E(t) + \gamma_c(t) = \gamma_s(t)$$

$$\frac{\dot{\tau}_E(t)}{G_E} + \frac{\dot{\tau}_c(t)}{G_C} = \dot{\gamma}_s(t)$$

$$\dot{\gamma}_E(t) + \dot{\gamma}_c(t) = \dot{\gamma}_s(t)$$

ovvero

$$\tau_E(t) = G_E \gamma_s(t)$$

$$\tau_c(t) = G_C \dot{\gamma}_s(t)$$

$$\tau_s(t) = G_E \gamma_s(t) + G_C \dot{\gamma}_s(t)$$

$$F(t) = \bar{k} x(t) + \bar{c} \dot{x}(t)$$

36

Dispositivi di dissipazione viscosa lineare

Se si imprime un moto relativo di tipo sinusoidale agli estremi del dispositivo:

$$x(t) = X_0 \sin \omega t$$

la forza sviluppata dal dispositivo è:

$$F(t) = \bar{k} X_0 \sin \omega t + \bar{c} X_0 \omega \cos \omega t$$

ovvero,

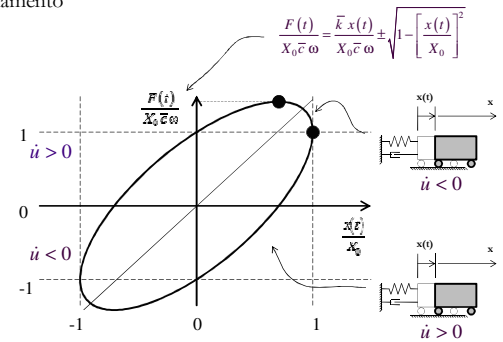
ricordando che $\cos \omega t = \pm \sqrt{1 - \sin^2 \omega t}$

$$F(t) = \bar{k} x(t) \pm \bar{c} \omega \sqrt{X_0^2 - x^2(t)}$$

37

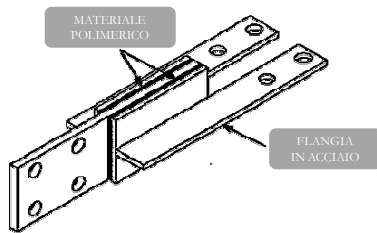
Dispositivi viscoelastici

Comportamento



38

Dispositivi viscoelastici



Dissipatore viscoelastico

39

Dispositivi di dissipazione viscoelastici

Il rapporto di smorzamento viscoso equivalente dei dispositivi viscoelastici

$$\xi = \frac{\bar{c}}{2 \bar{\omega} m}$$

può essere scritto nella forma:

$$\xi = \frac{\bar{c} \bar{\omega}^2}{2 \bar{\omega} \bar{k}} = \frac{\bar{c} \bar{\omega}}{2 \bar{k}} = \frac{G_c \bar{\omega}}{2 G_E} = \frac{\eta}{2}$$

essendo

G_E il modulo di carico del taglio

G_c il modulo di perdita del taglio

η il modulo di perdita totale

40

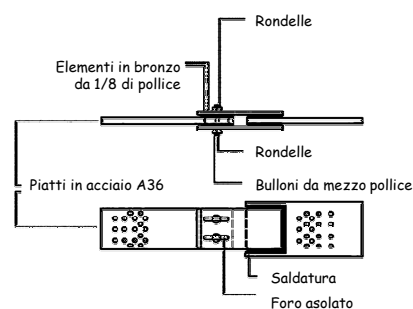
Dispositivi viscoelastici



scuola Gentile Fermi, Fabriano (AN)

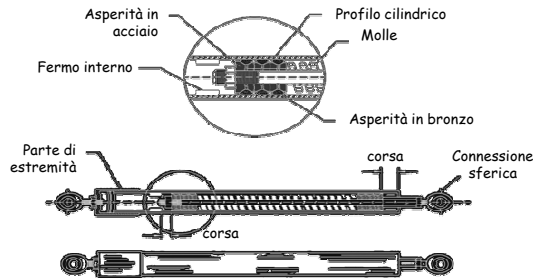
41

Dispositivi di dissipazione ad attrito



42

Dispositivi di dissipazione ad attrito



43

Dispositivi ausiliari

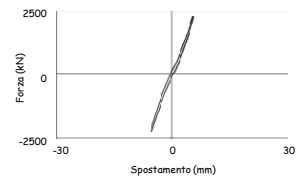
Classificazione

DISPOSITIVI DI VINCOLO RIGIDO

TEMPORANEO

VINCOLO DINAMICO

I dispositivi di vincolo dinamico, noti anche con il nome di shock transmitters, costituiscono un vincolo molto rigido a fronte di un'azione dinamica, mentre consentono i movimenti lenti delle strutture (ad esempio quelli prodotti dalle variazioni termiche)



44

Dispositivi ausiliari

Classificazione

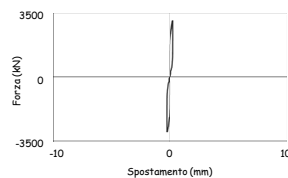
DISPOSITIVI DI VINCOLO RIGIDO

PERMANENTE

Guide e ritegni

Le guide sono dispositivi meccanici che consentono lo scorrimento in una direzione del piano orizzontale, trasmettendo la forza nella direzione ortogonale.

I ritegni sono dispositivi meccanici fissi, che bloccano gli spostamenti nel piano trasmettendo la forza in ogni direzione. Entrambi non trasferiscono carichi verticali.



45

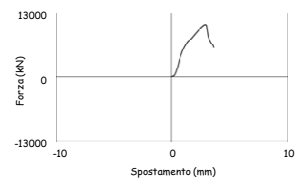
Dispositivi ausiliari

Classificazione

DISPOSITIVI DI VINCOLO RIGIDO

A fusibile meccanico

Impediscono i movimenti relativi fra le parti collegate sino al raggiungimento di una soglia di forza. Al superamento di tale forza, grazie alla rottura di un elemento sacrificale, consentono i movimenti prima bloccati. Sono utilizzati per escludere il sistema di protezione sismica nelle condizioni di servizio.



46

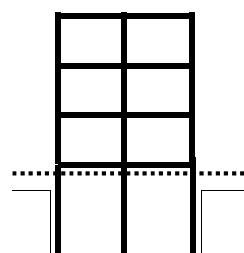
Corso di aggiornamento
Progettazione strutturale e
Norme Tecniche per le Costruzioni

L'isolamento alla base nella progettazione sismica e nell'intervento sull'esistente

Spoleto
5-6 giugno 2015

10 - Isolamento alla base di edifici esistenti

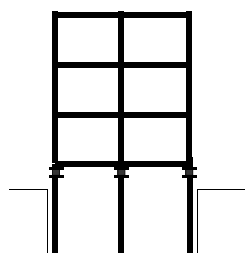
Possibilità di applicazione (condizionamenti tecnologici)



Struttura a base fissa



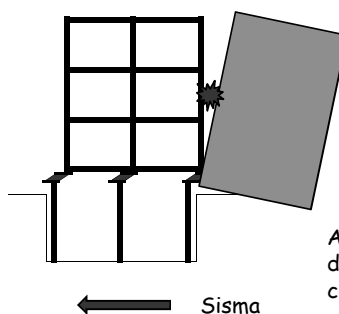
Possibilità di applicazione (condizionamenti tecnologici)



Inserimento isolatori



Possibilità di applicazione (condizionamenti tecnologici)



ATTENZIONE: Non
devono esserci edifici
costruiti in aderenza.

← Sisma

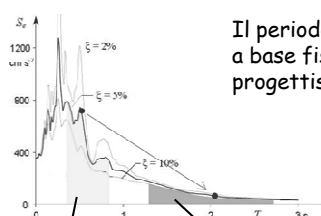
Edifici con struttura in c.a. a Catania



Spesso sono
molto alti



Possibilità di applicazione (caratteristiche dinamiche)

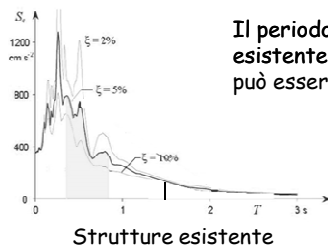


Strutture a base
fissa nuove

Strutture
isolate alla base

Il periodo della struttura
a base fissa è fissato dal
progettista

Possibilità di applicazione (caratteristiche dinamiche)



Il periodo di una struttura esistente è già definito, e può essere troppo grande

Necessità di interventi ulteriori sulla struttura esistente

Isolamento alla base di edifici esistenti

Tesi di Laurea di Luca Lombardo

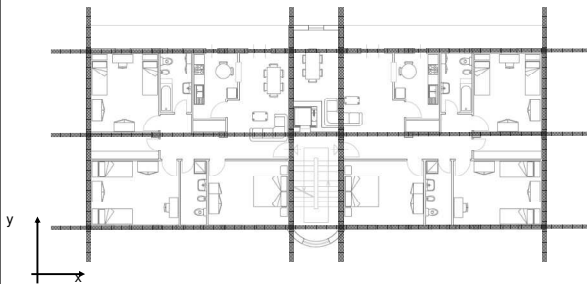
Vulnerabilità di edifici in c.a. e loro adeguamento sismico con isolamento alla base



- Definire interventi complementari all'isolamento alla base
- Individuare limiti di applicabilità dell'isolamento alla base

Pianta degli edifici analizzati

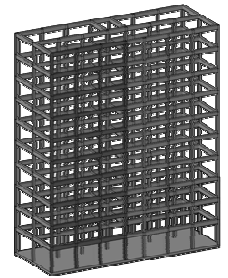
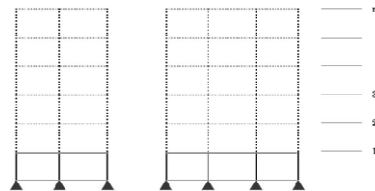
- Pianta rettangolare 10-12 m x 25-30 m
- Telai orditi principalmente in direzione x
- Limitate aperture sui lati corti e concentrate sui lati lunghi
- Numero di piani variabile tra 3 e 12



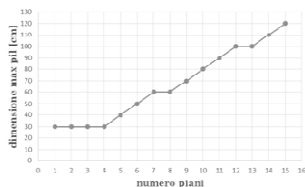
Analisi parametrica

1. Progetto simulato
A soli carichi verticali, con il metodo delle tensioni ammissibili
2. Vulnerabilità sismica
2.1 - Analisi modale
2.2 - Confronto M_{Ed}/M_{Rd}
2.3 - Confronto V_{Ed}/V_{Rd}
3. Interventi di adeguamento sismico

Telai direzione y Telai direzione x



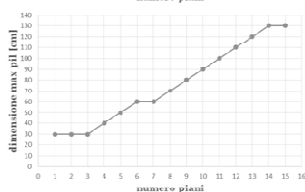
Progetto simulato



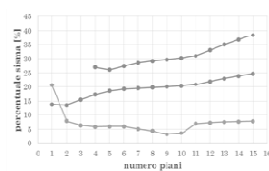
Travi 30x50

Pilastri 30x30 per le ultime tre elevazioni

Armature minime nei pilastri



Vulnerabilità sismica (Accelerazione di picco del sisma $a_g = 0.25 g$)

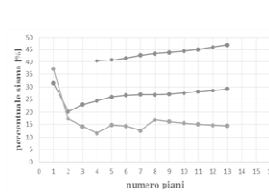


M_{Ed}/M_{Rd}
Plasticizzazioni

- Travi: 6 % a_g
- Pilastri: 20 % a_g

V_{Ed}/V_{Rd}
Rotture fragili

- Pilastri: 30 % a_g



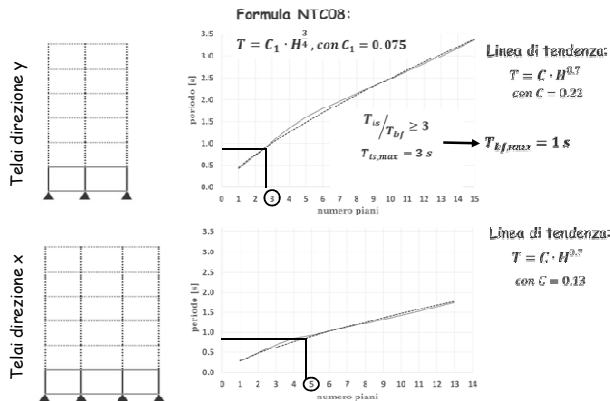
Plasticizzazioni

- Travi: 15 % a_g
- Pilastri: 27 % a_g

Rotture fragili

- Pilastri: 40 % a_g

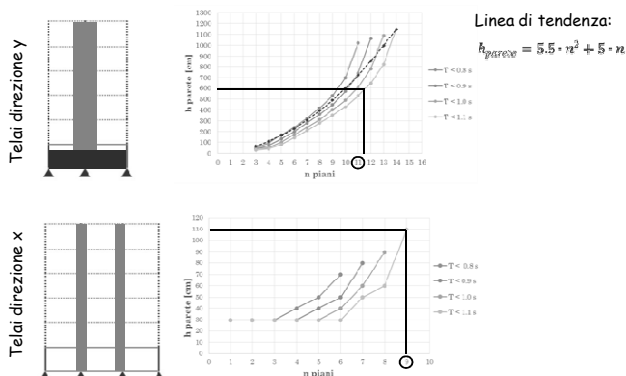
Periodo delle strutture



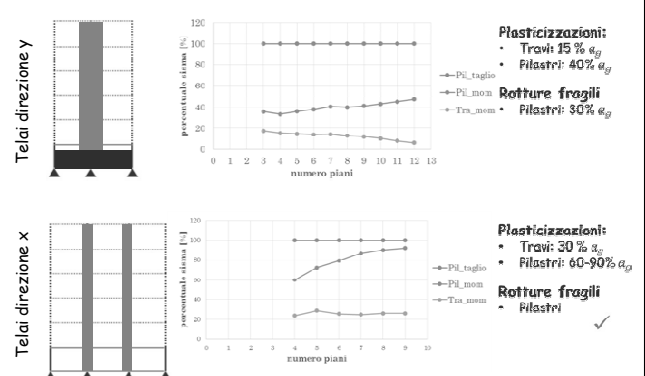
Vulnerabilità della struttura

1. Le strutture presentano una vulnerabilità elevata ...
... necessità di interventi di adeguamento
2. Il periodo delle strutture analizzate è generalmente molto alto ...
... necessità di irrigidimento della struttura per poter isolare alla base

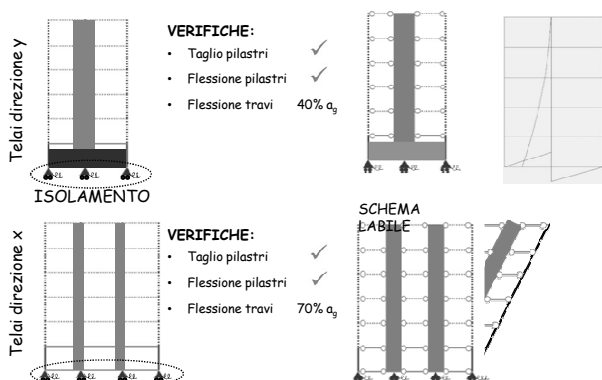
Interventi di adeguamento



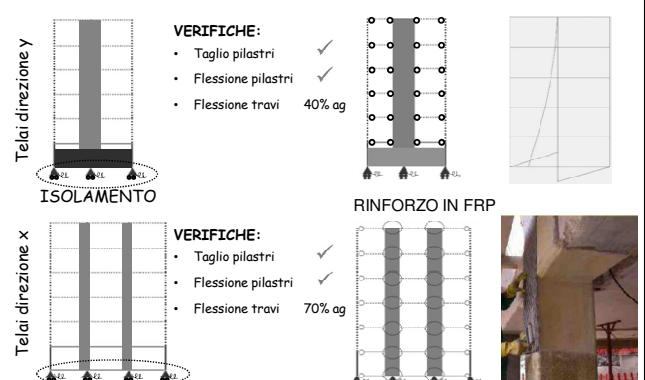
Interventi di adeguamento



Interventi di adeguamento

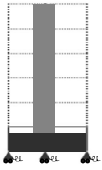


Interventi di adeguamento



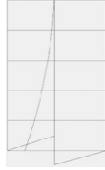
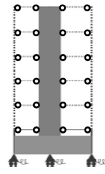
Interventi di adeguamento

Telai direzione y



VERIFICHE:

- Taglio pilastri ✓
- Flessione pilastri ✓
- Flessione travi 40% ag



Telai direzione x

