

OSSERVATORIO APPALTI PROVINCIA DI MODENA

**"MIGLIORAMENTO SISMICO DI EDIFICI:
NUOVE TENDENZE DI INTERVENTO E
INTRODUZIONE ALLA RISPOSTA SISMICA"**

MODENA
22 novembre 2018

Antonio Perretti

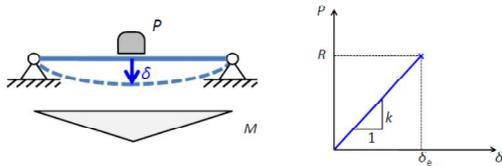
PARTE II

1

Glossario minimo di ingegneria sismica
-Interventi esterni non convenzionali
Isolamento sismico

2

Glossario minimo di ingegneria sismica

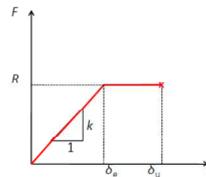


Il progetto è basato solo sulla resistenza

R	Resistenza
k	Rigidezza
μ	Duttilità

Glossario minimo di ingegneria sismica

Rigidezza-Resistenza-Duttilità

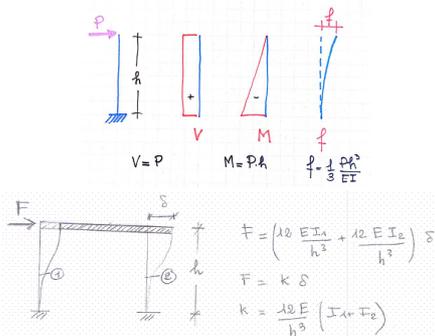


Fattore di duttilità
 $\mu = \delta_u / \delta_e \geq 1$

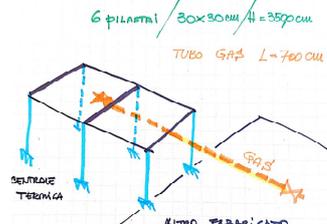
Elementi di progettazione sismica

Resistenza	R
Rigidezza	k
Duttilità	μ

Glossario minimo di ingegneria sismica



Glossario minimo di ingegneria sismica



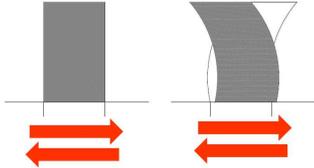
CENTRALE TERMICA	E	I	H	K	PIL n.	TOTALE K
	30000	675000000	3500	5667,638	6	34005,83
	N/mm ²	mm ⁴	mm	N/mm	n.	N/mm
TUBO GAS	E	A	L	K	TUBI N.	TOTALE K
	210000	4320	7000	39600	1	39600
	N/mm ²	mm ²	mm	N/mm	n.	N/mm

K=EA/L

Glossario minimo di ingegneria sismica

AZIONE SISMICA

Lo scuotimento del terreno (traslazioni orizzontali e verticali) attraverso le fondazioni imprime agli edifici degli spostamenti con conseguenti deformazioni.



Il sisma non è una forza, la sua entità sugli edifici varia in funzione di alcuni parametri da cui gli edifici sono caratterizzati.

Glossario minimo di ingegneria sismica

Caratterizzazione dell'azione sismica:
Il movimento del terreno può danneggiare un edificio a causa di **forze d'inerzia che nascono per effetto della vibrazione della massa dell'edificio stesso**.

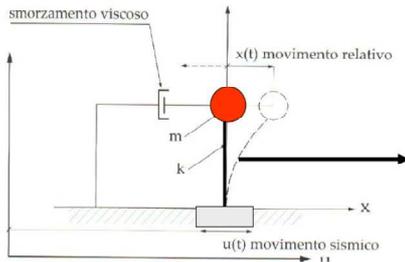
Forza d'inerzia: $F = m \cdot a$

L'entità delle forze a cui è sottoposto l'oggetto sono funzione dell'accelerazione impressa dal sisma e dalla massa dell'oggetto stesso.

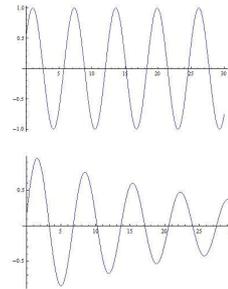


Glossario minimo di ingegneria sismica

Rappresentazione semplificata dell'azione e della risposta sismica



Glossario minimo di ingegneria sismica

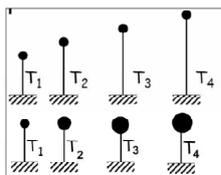


Smorzamento del 5% di quello critico

Glossario minimo di ingegneria sismica

Spettro di risposta

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \text{ [sec]}$$

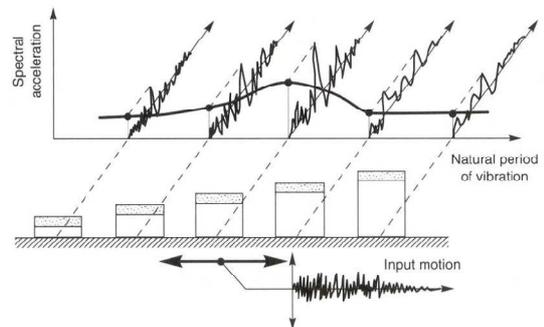


m costante, k diminuisce

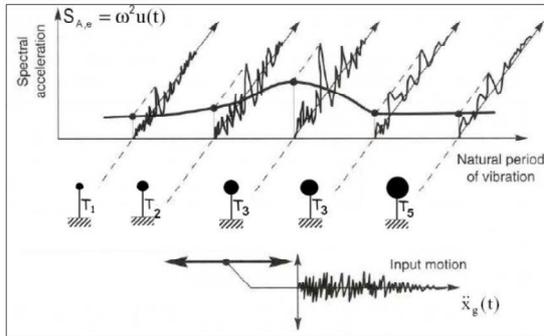
k costante, m aumenta

Fenomeno della **risonanza**: anche il terreno è caratterizzato da un periodo proprio di oscillazione. Quando il periodo proprio di oscillazione del terreno coincide o è molto prossimo a quello dell'edificio, vengono incrementate le sollecitazioni a cui l'edificio è sottoposto.

Glossario minimo di ingegneria sismica



Glossario minimo di ingegneria sismica



Esempi video:

1- spettro elastico

2- senso fisico del fattore di comportamento

3 - risposta dinamica strutture

14

Glossario minimo di ingegneria sismica

CENTRALE	E	I	H	K	PIL.n.	TOTALE K	
TERMICA	30000	675000000	3500	5667,638	6	34005,83	
	N/mm ²	mm ⁴	mm	N/mm	n.	N/mm	K=12EI/L
TUBO GAS	E	A	L	K	TUBI N.	TOTALE K	
	210000	1320	7000	39600	1	39600	
	N/mm ²	mm ²	mm	N/mm	n.	N/mm	K=EA/L

periodo telaio vano tecnico	
superficie solaio A	24 m ²
peso solaio al	10 KN/m ²
peso totale	240 KN
MASSA	10 KN/m ² /g (9,81m/s ²)*A= 24,46483 t
rigidezza telaio	34006 N/mm
periodo T	0,168524 s

Glossario minimo di ingegneria sismica

Lo spettro di risposta elastica

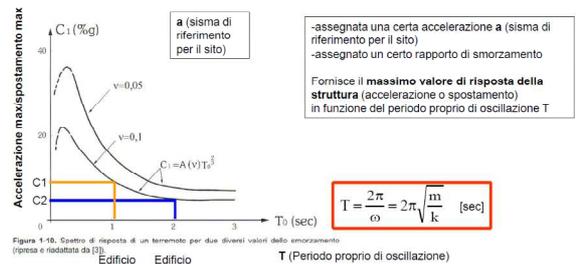


Figura 1-19. Spettro di risposta di un terremoto per due diversi valori dello smorzamento (ipotesi e normalizzata da [1]).

Glossario minimo di ingegneria sismica



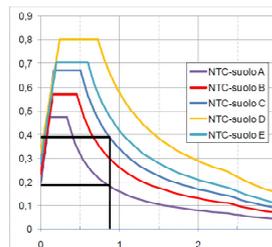
Amplificazione locale S



Influenza dell'altezza del fabbricato Z

Glossario minimo di ingegneria sismica

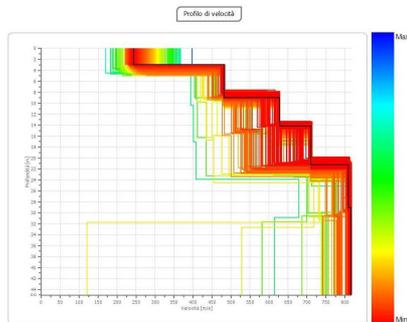
$$V_{S,30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$



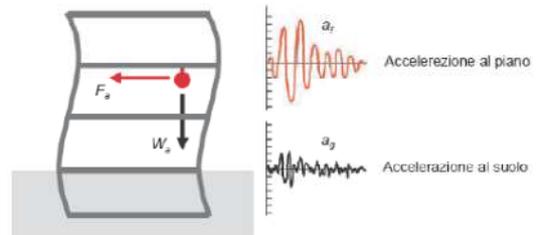
- A terreni molto rigidi
- B Depositi molto addensati (sabbie, ghiaie molto addensate, argille molto consistenti)
- C Depositi mediamente addensati (sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille mediamente consistenti)
- D Depositi scarsamente addensati (granulari sciolti o poco addensati o coesivi da poco a mediamente consistenti)
- E terreni costituiti da strati superficiali alluvionali o dei tipi C o D (sp < 20m), su substrato rigido

Glossario minimo di ingegneria sismica

Caratterizzazione del suolo secondo le NTC2018

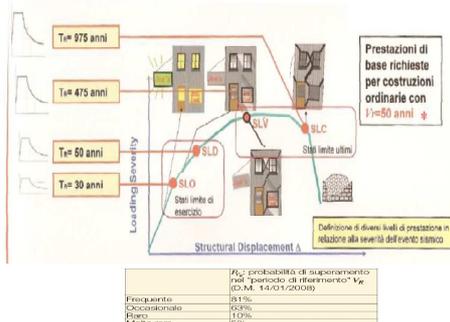


Glossario minimo di ingegneria sismica

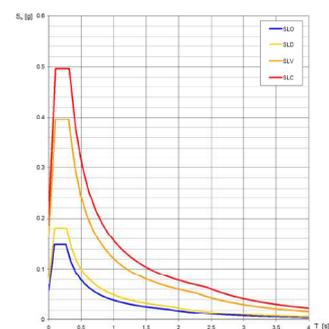


Glossario minimo di ingegneria sismica

Definizione dell'evento sismico di riferimento: es.1

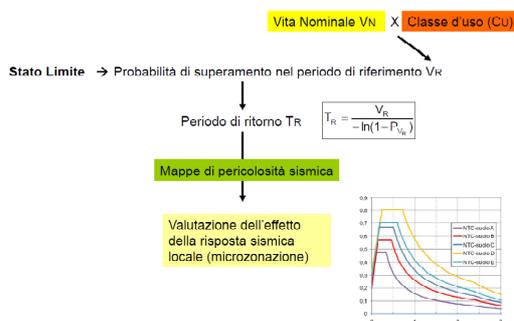


Glossario minimo di ingegneria sismica



Glossario minimo di ingegneria sismica

NTC 2008: Verifica agli Stati Limite



Glossario minimo di ingegneria sismica

Definizione dell'input sismico

- Sisma ⇒ accelerazione nella struttura ⇒ forze d'inerzia sulla struttura ($F = ma$)
- Il modello di riferimento per l'azione sismica è dato dallo spettro di risposta elastico (diagramma che riporta, in funzione del periodo proprio, l'accelerazione assoluta massima su una struttura elastica lineare ad un GDL soggetta a sisma)

Forza d'inerzia su una struttura elastica lineare dovuta al sisma: $F = mS_d(T)$

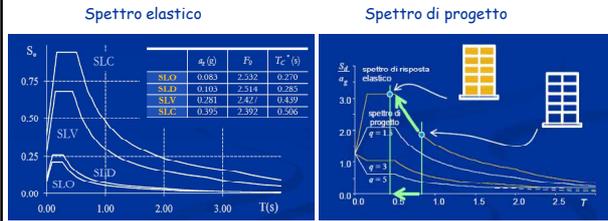
Spettro di risposta elastico

Periodo proprio: $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{W}{gk}}$

Parametri che definiscono lo spettro

- a_g = accelerazione massima del terreno (dipende da sito, stato limite, classe d'uso)
- F_0 = massima amplificazione dello spettro
- T_c = periodo di inizio del tratto a velocità costante
- S = fattore dipendente dal tipo di suolo

Glossario minimo di ingegneria sismica



Tecniche "non convenzionali" di progettazione

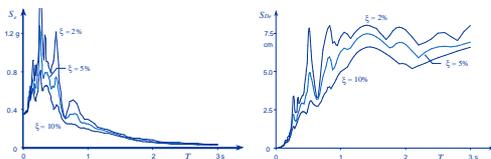
Obiettivo - migliorare la prestazione delle strutture a tutti i livelli di rischio:

- 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

26

Tecniche "non convenzionali" di progettazione

Si può discutere il problema a partire dagli spettri di risposta (in termini di accelerazione o di spostamento)



Accelerazioni:
ridurre per limitare la resistenza necessaria, ma anche i danni al contenuto

Spostamenti:
ridurre per limitare i danni agli elementi non strutturali

27

Tecniche "non convenzionali" di progettazione

Se ne può discutere anche in termini energetici

- Il terremoto è trasmissione di energia
- Quanta energia "entra" nella struttura? (dipende dalle sue caratteristiche dinamiche)
- In che modo viene dissipata questa energia?

28

Equazione del moto (equilibrio dinamico)



Equilibrio dinamico:

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

forza d'inerzia smorzamento viscoso forza di richiamo

29

Equazione di bilancio energetico (in termini assoluti)

- Energia = lavoro = forza per spostamento

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

$$\int_0^{t_0} m \ddot{u}_t \, du + \int_0^{t_0} c \dot{u} \, du + \int_0^{t_0} f_s \, du = 0$$

$$du = du_t - du_g$$

$$\int_0^{t_0} m \ddot{u}_t \, du = \int_0^{t_0} m \ddot{u}_t (du_t - du_g) = \int_0^{t_0} m \ddot{u}_t \, du_t - \int_0^{t_0} m \ddot{u}_t \, du_g$$

$$\int_0^{t_0} m \ddot{u}_t \, du_t = \int_0^{t_0} m \frac{d\dot{u}_t}{dt} \, du_t = \int_0^{t_0} m \dot{u}_t \, d\dot{u}_t = \frac{1}{2} m \dot{u}_t^2 (t_0)$$

30

Equazione di bilancio energetico (in termini assoluti)

- Energia = lavoro = forza per spostamento

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

$$\int_0^{t_0} m \ddot{u}_t du + \int_0^{t_0} c \dot{u} du + \int_0^{t_0} f_s du = 0$$

$$\frac{1}{2} m \dot{u}_t^2 - \int_0^{t_0} m \ddot{u}_t du + \int_0^{t_0} c \dot{u} du + \int_0^{t_0} f_s du = 0$$

$$\int_0^{t_0} m \ddot{u}_t du_g = \frac{1}{2} m \dot{u}_t^2 + \int_0^{t_0} c \dot{u} du + \int_0^{t_0} f_s du$$

31

Equazione di bilancio energetico (in termini assoluti)

- Energia = lavoro = forza per spostamento

$$\int_0^{t_0} m \ddot{u}_t du_g = \frac{1}{2} m \dot{u}_t^2 + \int_0^{t_0} c \dot{u} du + \int_0^{t_0} f_s du$$

$E_{i,a}$ energia di ingresso assoluta
lavoro della forza d'inerzia per lo spostamento del terreno

32

Equazione di bilancio energetico (in termini assoluti)

- Energia = lavoro = forza per spostamento

$$\int_0^{t_0} m \ddot{u}_t du_g = \frac{1}{2} m \dot{u}_t^2 + \int_0^{t_0} c \dot{u} du + \int_0^{t_0} f_s du$$

$E_{k,a}$ energia cinetica assoluta
al termine dell'evento sismico la struttura si ferma e la sua energia cinetica si annulla

33

Equazione di bilancio energetico (in termini assoluti)

- Energia = lavoro = forza per spostamento

$$\int_0^{t_0} m \ddot{u}_t du_g = \frac{1}{2} m \dot{u}_t^2 + \int_0^{t_0} c \dot{u} du + \int_0^{t_0} f_s du$$

E_v energia viscosa

34

Equazione di bilancio energetico (in termini assoluti)

- Energia = lavoro = forza per spostamento

$$\int_0^{t_0} m \ddot{u}_t du_g = \frac{1}{2} m \dot{u}_t^2 + \int_0^{t_0} c \dot{u} du + \int_0^{t_0} f_s du$$

E_s energia di richiamo

se il comportamento della struttura è elastico lineare ($f_s = k u$) al termine dell'evento sismico lo spostamento è nullo e l'energia di richiamo si annulla

se il comportamento non è lineare questa energia è dissipata per comportamento isteretico (si indica con E_h)

35

Equazione di bilancio energetico (in termini assoluti)

- Energia = lavoro = forza per spostamento

$$\int_0^{t_0} m \ddot{u}_t du_g = \frac{1}{2} m \dot{u}_t^2 + \int_0^{t_0} c \dot{u} du + \int_0^{t_0} f_s du$$

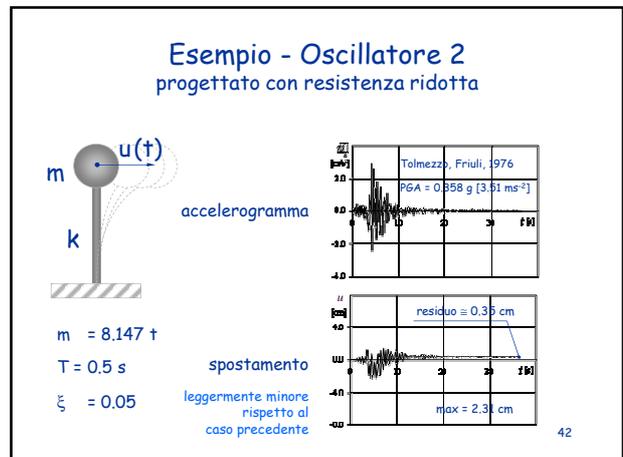
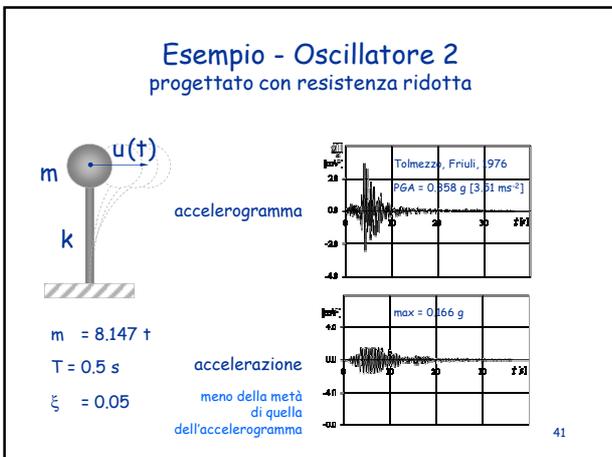
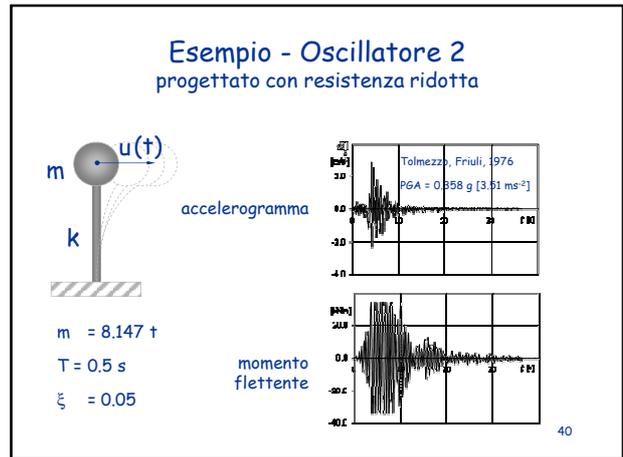
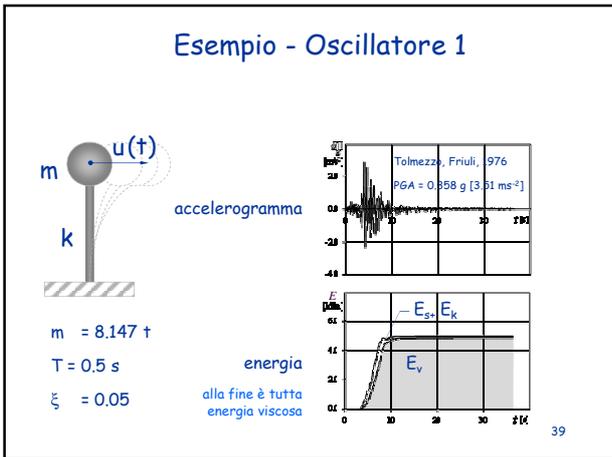
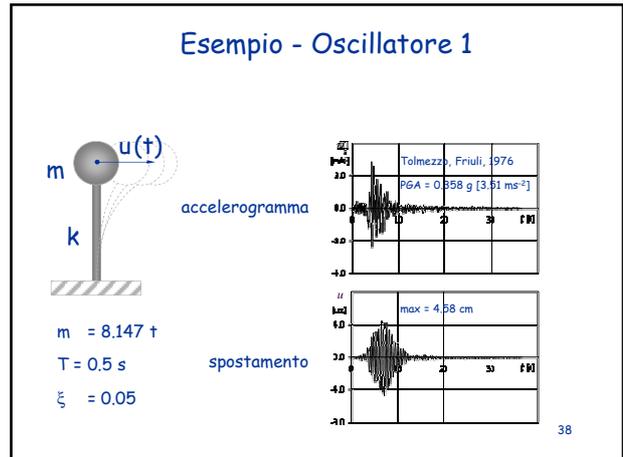
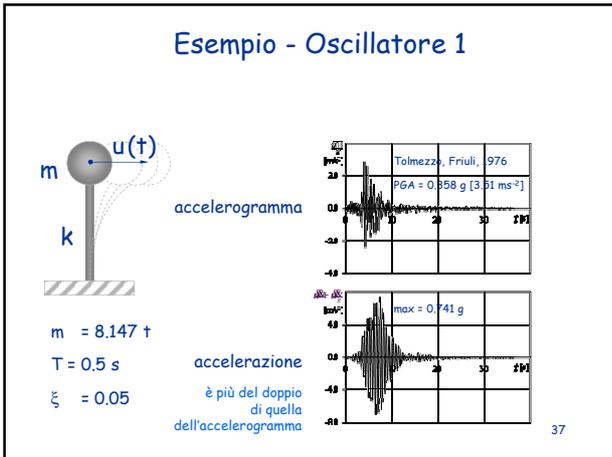
$$E_{i,a} = E_{k,a} + E_v + E_s$$

- Al termine dell'evento sismico:

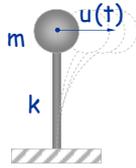
$$E_{i,a} = E_v + E_h$$

L'energia in ingresso è dissipata come energia viscosa o energia isteretica

36

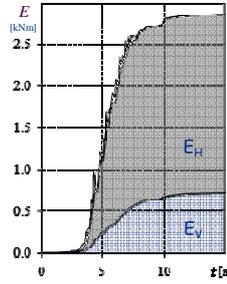


Esempio - Oscillatore 2 progettato con resistenza ridotta



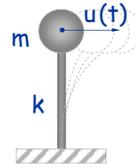
$m = 8.147 \text{ t}$
 $T = 0.5 \text{ s}$
 $\xi = 0.05$

energia
 è prevalentemente
 energia isteretica



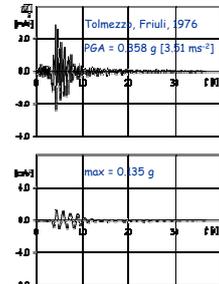
43

Esempio - Oscillatore 3 elastico, ma con periodo più alto



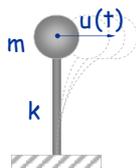
$m = 73.32 \text{ t}$
 $T = 1.5 \text{ s}$
 $\xi = 0.05$

accelerogramma
 accelerazione
 meno della metà
 di quella
 dell'accelerogramma



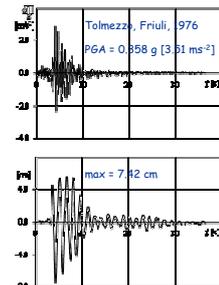
44

Esempio - Oscillatore 3 elastico, ma con periodo più alto



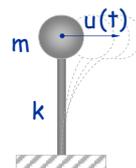
$m = 73.32 \text{ t}$
 $T = 1.5 \text{ s}$
 $\xi = 0.05$

spostamento
 aumentato rispetto
 al caso $T=0.5 \text{ s}$



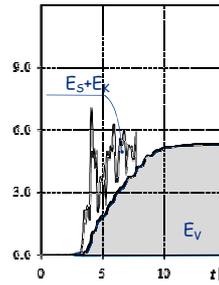
45

Esempio - Oscillatore 3 elastico, ma con periodo più alto



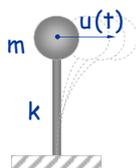
$m = 73.32 \text{ t}$
 $T = 1.5 \text{ s}$
 $\xi = 0.05$

energia
 alla fine è tutta
 energia viscosa



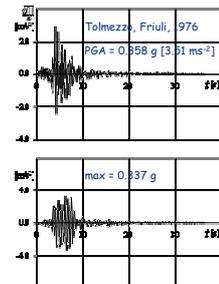
46

Esempio - Oscillatore 3 periodo 0.5 s ma smorzamento più alto



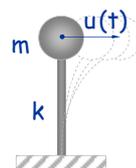
$m = 8.417 \text{ t}$
 $T = 0.5 \text{ s}$
 $\xi = 0.15$

accelerazione
 leggermente minore
 di quella
 dell'accelerogramma



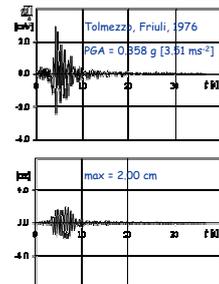
47

Esempio - Oscillatore 3 periodo 0.5 s ma smorzamento più alto



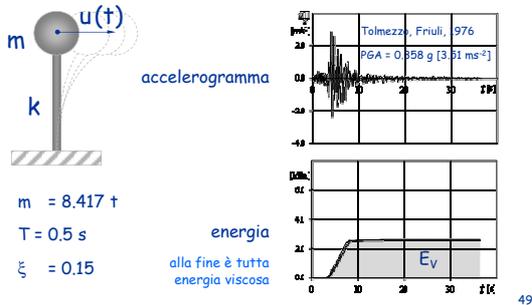
$m = 8.417 \text{ t}$
 $T = 0.5 \text{ s}$
 $\xi = 0.15$

spostamento
 leggermente minore
 rispetto al
 caso $\xi=0.05$



48

Esempio - Oscillatore 3 periodo 0.5 s ma smorzamento più alto



49

Quali interventi possibili?

Progettazione tradizionale:

- Forze ridotte mediante q , ma questo comporta forte danneggiamento

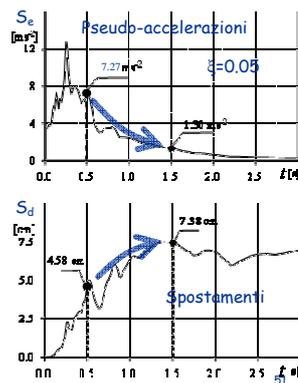
Possibili alternative "innovative":

- Usare elementi che si danneggino, molto duttili, ma sostituibili
- Aumentare il periodo proprio della struttura
- Aumentare lo smorzamento

50

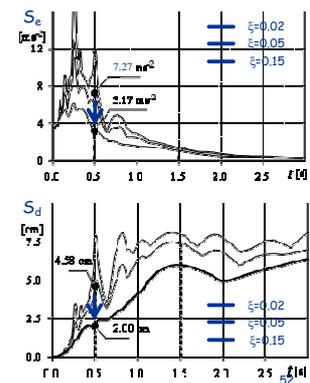
alternative?

aumento
del periodo
di vibrazione



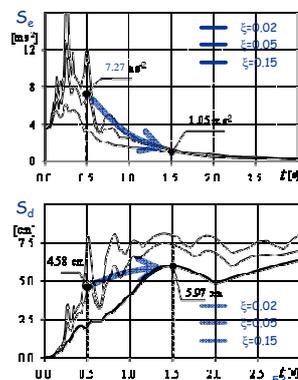
alternative?

aumento
dello
smorzamento



alternative?

aumento
del periodo
di vibrazione
+
aumento
dello
smorzamento



Modi per intervenire

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

1. ➔ CONTROLLO PASSIVO
2. ➔ CONTROLLO ATTIVO
3. ➔ CONTROLLO SEMI-ATTIVO

54

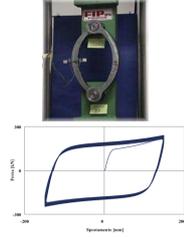
Dissipatori isteretici in acciaio

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

Gli elementi a falce di luna e a piolo sono i più usati per i ponti, mentre i dissipatori isteretici assiali ad instabilità impedita (BRAD®) sono i più usati come controventi dissipativi negli edifici.

Per i ponti, i dissipatori isteretici in acciaio possono essere combinati con dispositivi di vincolo dinamico.

Cicli isteretici sperimentali di un dissipatore isteretico in acciaio con elementi a falce di luna.



ISOLAMENTO ALLA BASE

- È un sistema di controllo passivo, che interviene principalmente aumentando il periodo proprio della struttura, ma anche aumentando lo smorzamento
 - L'aumento del periodo riduce notevolmente le sollecitazioni nella struttura, ma aumenta di molto gli spostamenti
 - L'aumento di smorzamento riduce ulteriormente le sollecitazioni ma soprattutto limita l'aumento degli spostamenti

62

Isolamento alla base (intuitivo)



Monastero di Santa Catalina ad Arequipa (XVI secolo) - 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

63

Isolamento alla base (intuitivo)



Cittadella della Casbah, Algeri

64

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

- Riduzione delle forze sismiche nella sovrastruttura
- ↓
- Comportamento essenzialmente elastico della sovrastruttura (assenza di danno strutturale)

Inoltre:

- Riduzione delle accelerazioni sismiche nella sovrastruttura (e quindi dei danni al contenuto)
- Riduzione degli spostamenti di interpiano nella sovrastruttura (e quindi dei danni agli elementi non strutturali)

65

Convenienza nell'adozione dell'isolamento alla base

Maggiormente efficace:

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

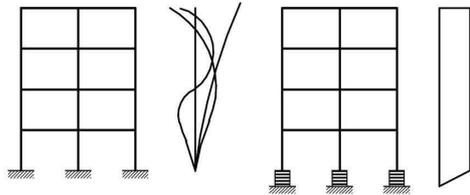
Meno efficace:

- Strutture su suolo soffice (o in prossimità di faglie attive)
- Strutture con alto periodo fondamentale di vibrazione (edifici di elevata altezza, ma anche edifici di altezza media ma con struttura debole)

66

L'isolamento sismico

Il principio dell'isolamento sismico è tanto più vantaggioso quanto più, agendo sulla differenza di rigidezza tra la struttura e il sistema di isolamento (conci di gomma armata), rende la risposta dinamica del sistema generico $M-DOF$ affine a quella di un oscillatore semplice $S-DOF$. Questo vale a dire che i fattori di partecipazione dei modi superiori sono trascurabili e il moto della struttura soprastante il sistema di isolamento può essere considerato quasi traslatorio.

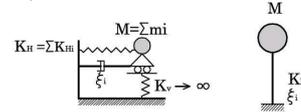


Edificio a base fissa e a base mobile - deformate modali

67

L'isolamento sismico

Il principio dell'isolamento sismico è tanto più vantaggioso quanto più, agendo sulla differenza di rigidezza tra la struttura e il sistema di isolamento (conci di gomma armata), rende la risposta dinamica del sistema generico $M-DOF$ affine a quella di un oscillatore semplice $S-DOF$. Questo vale a dire che i fattori di partecipazione dei modi superiori sono trascurabili e il moto della struttura soprastante il sistema di isolamento può essere considerato quasi traslatorio.



Altra verifica da effettuare per poter applicare il calcolo lineare è quella del rapporto tra rigidezza verticale e orizzontale degli isolatori che deve risultare $K_V/K_H > 800$.

68

L'isolamento sismico

Lo smorzamento

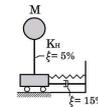
La verifica del sistema di isolamento deve essere condotta utilizzando lo spettro di risposta elastico e considerando il valore corrispondente al coefficiente di smorzamento viscoso del sistema di isolamento. Gli isolatori elastomerici più diffusi sono realizzati con 3 tipi di mescole: morbida, media, dura; in genere per mescole morbide e medie si ha uno smorzamento del 10% mentre per mescole dure del 15%.

Ma quale sia lo smorzamento ottimale è difficile definirlo; al crescere dello smorzamento si riducono le accelerazioni trasmesse, ma se questo valore diventa troppo elevato significa che l'azione frenante trasmessa dai dispositivi aumenta e, di conseguenza, si rischia di perdere l'ipotesi di corpo rigido e quindi l'ipotesi di base, che assimila l'edificio multipiano ad un oscillatore semplice, rischia di non essere più veritiera.

69

L'isolamento sismico

Attenzione alla differenziazione dello smorzamento tra sovrastruttura e sistema di isolamento. Un telaio in c.a. ordinario (MRF) ha uno smorzamento del 5% di quello critico, mentre il sistema di isolamento può superare anche il 15%.



Modello elementare - isolatori e massa edificio

L'interferenza tra i due sistemi e i relativi smorzamenti cresce al diminuire del rapporto di rigidezza del telaio e del sistema di isolamento e questa è un'altra ragione per avere la sovrastruttura molto rigida rispetto agli isolatori e tendere al moto del corpo rigido.

70

L'isolamento sismico

La verifica della sovrastruttura deve essere condotta utilizzando lo spettro di progetto allo SLU che si ottiene, come detto in precedenza, introducendo il fattore di struttura $q \sim 1.15$; inoltre per tener conto della riduzione delle accelerazioni spettrali dovute allo smorzamento prodotto dal sistema di isolamento, le norme, in analogia all'EC8, per $T \geq 0.8T_{is}$, consente di ridurre le ordinate spettrali mediante un fattore (con $\eta \geq 0.55$)

Poiché lo smorzamento varia in base alla mescola si ha:

Per $\xi=10\%$	$\eta=0.816$	(mescola morbida)
Per $\xi=15\%$	$\eta=0.690$	(mescola normale)
Per $\xi=20\%$	$\eta=0.632$	(mescola dura)

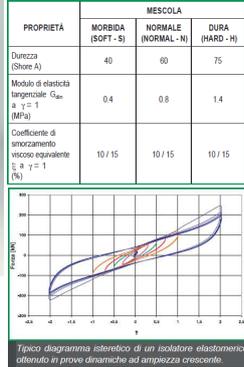
Avere a disposizione un elevato smorzamento è un vantaggio se visto solo dal punto di vista dinamico, ma da quello ingegneristico applicato si perde l'essenza del principio dell'isolamento, quello di trasformare una struttura dinamicamente complessa in un oscillatore semplice. In funzione della distribuzione delle rigidità della struttura, l'incremento eccessivo dello smorzamento può avere un duplice effetto: diminuisce le accelerazioni spettrali ma al contempo può provocare un incremento dei fattori di partecipazione dei modi elevati. Quest'ultimo effetto è quello meno desiderato in quanto anche le considerazioni fatte circa il predimensionamento sono inficiate dal peso dei modi superiori.

71

Esempi di applicazioni (progetto di massima approccio quasi manuale)

72

ISOLATORI ELASTOMERICI serie SI



L'isolamento sismico

Estratto dal catalogo FIP

SPOSTAMENTO 250 mm

SI-S	V	F _{el}	K _{el}	K _{el}	D _{el}	h _{el}	h	H	Z	W
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
SI-S 000103	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
SI-S 000104	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
SI-S 000105	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
SI-S 000106	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
SI-S 000107	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
SI-S 000108	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
SI-S 000109	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
SI-S 000110	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450
SI-S 000111	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
SI-S 000112	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550
SI-S 000113	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
SI-S 000114	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650
SI-S 000115	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
SI-S 000116	750	750	750	750	750	750	750	750	750	750
SI-S 000117	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
SI-S 000118	850	850	850	850	850	850	850	850	850	850
SI-S 000119	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900
SI-S 000120	950	950	950	950	950	950	950	950	950	950
SI-S 000121	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
SI-S 000122	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050
SI-S 000123	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
SI-S 000124	1150	1150	1150	1150	1150	1150	1150	1150	1150	1150
SI-S 000125	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
SI-S 000126	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250
SI-S 000127	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300
SI-S 000128	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350	1350
SI-S 000129	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400
SI-S 000130	1450	1450	1450	1450	1450	1450	1450	1450	1450	1450
SI-S 000131	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
SI-S 000132	1550	1550	1550	1550	1550	1550	1550	1550	1550	1550
SI-S 000133	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
SI-S 000134	1650	1650	1650	1650	1650	1650	1650	1650	1650	1650
SI-S 000135	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700	1700
SI-S 000136	1750	1750	1750	1750	1750	1750	1750	1750	1750	1750
SI-S 000137	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800
SI-S 000138	1850	1850	1850	1850	1850	1850	1850	1850	1850	1850
SI-S 000139	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900
SI-S 000140	1950	1950	1950	1950	1950	1950	1950	1950	1950	1950
SI-S 000141	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
SI-S 000142	2050	2050	2050	2050	2050	2050	2050	2050	2050	2050
SI-S 000143	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100
SI-S 000144	2150	2150	2150	2150	2150	2150	2150	2150	2150	2150
SI-S 000145	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200
SI-S 000146	2250	2250	2250	2250	2250	2250	2250	2250	2250	2250
SI-S 000147	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300
SI-S 000148	2350	2350	2350	2350	2350	2350	2350	2350	2350	2350
SI-S 000149	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400	2400
SI-S 000150	2450	2450	2450	2450	2450	2450	2450	2450	2450	2450
SI-S 000151	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500
SI-S 000152	2550	2550	2550	2550	2550	2550	2550	2550	2550	2550
SI-S 000153	2600	2600	2600	2600	2600	2600	2600	2600	2600	2600
SI-S 000154	2650	2650	2650	2650	2650	2650	2650	2650	2650	2650
SI-S 000155	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700	2700
SI-S 000156	2750	2750	2750	2750	2750	2750	2750	2750	2750	2750
SI-S 000157	2800	2800	2800	2800	2800	2800	2800	2800	2800	2800
SI-S 000158	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850	2850
SI-S 000159	2900	2900	2900	2900	2900	2900	2900	2900	2900	2900
SI-S 000160	2950	2950	2950	2950	2950	2950	2950	2950	2950	2950
SI-S 000161	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
SI-S 000162	3050	3050	3050	3050	3050	3050	3050	3050	3050	3050
SI-S 000163	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3100
SI-S 000164	3150	3150	3150	3150	3150	3150	3150	3150	3150	3150
SI-S 000165	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200	3200
SI-S 000166	3250	3250	3250	3250	3250	3250	3250	3250	3250	3250
SI-S 000167	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300	3300
SI-S 000168	3350	3350	3350	3350	3350	3350	3350	3350	3350	3350
SI-S 000169	3400	3400	3400	3400	3400	3400	3400	3400	3400	3400
SI-S 000170	3450	3450	3450	3450	3450	3450	3450	3450	3450	3450
SI-S 000171	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500
SI-S 000172	3550	3550	3550	3550	3550	3550	3550	3550	3550	3550
SI-S 000173	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600	3600
SI-S 000174	3650	3650	3650	3650	3650	3650	3650	3650	3650	3650
SI-S 000175	3700	3700	3700	3700	3700	3700	3700	3700	3700	3700
SI-S 000176	3750	3750	3750	3750	3750	3750	3750	3750	3750	3750
SI-S 000177	3800	3800	3800	3800	3800	3800	3800	3800	3800	3800
SI-S 000178	3850	3850	3850	3850	3850	3850	3850	3850	3850	3850
SI-S 000179	3900	3900	3900	3900	3900	3900	3900	3900	3900	3900
SI-S 000180	3950	3950	3950	3950	3950	3950	3950	3950	3950	3950
SI-S 000181	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
SI-S 000182	4050	4050	4050	4050	4050	4050	4050	4050	4050	4050
SI-S 000183	4100	4100	4100	4100	4100	4100	4100	4100	4100	4100
SI-S 000184	4150	4150	4150	4150	4150	4150	4150	4150	4150	4150
SI-S 000185	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200
SI-S 000186	4250	4250	4250	4250	4250	4250	4250	4250	4250	4250
SI-S 000187	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300	4300
SI-S 000188	4350	4350	4350	4350	4350	4350	4350	4350	4350	4350
SI-S 000189	4400	4400	4400	4400	4400	4400	4400	4400	4400	4400
SI-S 000190	4450	4450	4450	4450	4450	4450	4450	4450	4450	4450
SI-S 000191	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500	4500
SI-S 000192	4550	4550	4550	4550	4550	4550	4550	4550	4550	4550
SI-S 000193	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600	4600
SI-S 000194	4650	4650	4650	4650	4650	4650	4650	4650	4650	4650
SI-S 000195	4700	4700	4700	4700	4700	4700	4700	4700	4700	4700
SI-S 000196	4750	4750	4750	4750	4750	4750	4750	4750	4750	4750
SI-S 000197	4800	4800	4800	4800	4800	4800	4800	4800	4800	4800
SI-S 000198	4850	4850	4850	4850	4850	4850	4850	4850	4850	4850
SI-S 000199	4900	4900	4900	4900	4900	4900	4900	4900	4900	4900
SI-S 000200	4950	4950	4950	4950	4950	4950	4950	4950	4950	4950

Legenda:
 - SI: Sistema Isolamento Sismico
 - V: Altezza di riferimento (mm)
 - F_{el}: Forza elastica (kN)
 - K_{el}: Rigidezza elastica (kN/mm)
 - D_{el}: Spessore elastico (mm)
 - h_{el}: Altezza elastica (mm)
 - h: Altezza totale (mm)
 - H: Altezza di riferimento (mm)
 - Z: Zona sismica
 - W: Classe di resistenza

Esempio - 1

Contratto di quartiere - Alloggi - parcheggio di via Lazzaretto - ACIREALE (CT)

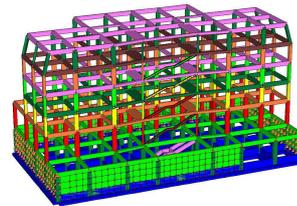


75

L'isolamento sismico

ACIREALE

Contratto di quartiere - Alloggi - parcheggio di via Lazzaretto



L'edificio è ubicato nel comune di Acireale, in provincia di Catania, che è zona sismica Z = 2; dal punto di vista geologico il terreno di fondazione è classificato come suolo B.

Il fabbricato è costituito da 5 piani fuori terra e un piano cantinato. La struttura è realizzata in c.a. ed è provvisto di un sistema di Isolamento Alla Base realizzato mediante isolatori elastomerici disposti tra il piano cantinato, denominato sottostruttura, e il piano terra che, insieme agli altri impalcati, costituisce la sovrastruttura.

76

L'isolamento sismico

Calcolo delle masse strutturali

L'isolamento sismico

Scelta dell'isolatore

La scelta del tipo o dei tipi di isolatori da disporre è condizionata sia dal carico verticale agente che dalla necessità di ridurre al minimo l'eccentricità tra il baricentro delle masse della struttura e il baricentro delle rigidità del sistema di isolamento al fine di eliminare fastidiosi momenti torcenti che potrebbero compromettere l'efficacia del sistema di protezione sismica. Anche per ragioni economiche, anziché disporre due tipi di isolatori, vengono disposti sia isolatori elastomerici che dispositivi a scorrimento caratterizzati da rigidità orizzontale trascurabile, detti slitte.

- Caso 1: 8 isolatori + 37 slitte:

La rigidità orizzontale di ciascun isolatore deve essere superiore a $K_i = 2.24 \text{ KN/mm}$

	V kN	F _{sd} kN	K _o kN/mm	K _v kN/mm	D _o mm	t _o mm	h mm	H mm	Z mm	W kg
SI-S 1000/140	7670	22590	2.24	2658	1000	140	236	316	1050	1402
SI-N 700/130	5490	11370	2.37	2013	700	130	216	276	750	575
SI-H 550/126	4220	9820	2.64	1753	550	126	217	267	600	338

Supponendo di scegliere l'isolatore SI-N 700/130
 $K_e = 2.37 \text{ KN/mm} \times 8 \text{ isolatori} = 18.96 \text{ KN/mm}$
 $T_b = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K}} = 2.43 \text{ s} \Rightarrow Se(T) = 0.16g$
 $S_{Dv}(T) = \frac{S_v(T) \cdot M}{K_{tot}} = \frac{0.16 \cdot 9.81 \cdot 2840}{18960} \cdot 10^{-2} = 23.5 \text{ cm}$ 79

L'isolamento sismico

Calcolo della rigidità verticale dell'isolatore

La rigidità verticale deve essere elevata per sostenere i carichi verticali, in particolare il rapporto $K_v/K_e > 800$.

Modulo di elasticità tangenziale	G =	1.4	Mpa
Diámetro	D =	700	mm
Area dello strato di gomma	A =	384845	mm ²
Fattore di forma primario	S =	12	
Spessore totale degli strati di gomma	T _e =	130	mm
Modulo elastico	E _c =	6x6x5 ² = 1209.6	N/mm ²
Rigidità verticale	$K_v = \frac{E_c \cdot A}{t_e}$	3580.84	KN/mm

S è il fattore di forma primario $S = \frac{R}{2r}$

Per limitare la deformabilità verticale degli isolatori S non deve essere minore di 12

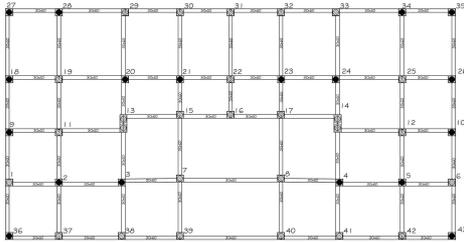
$$\frac{K_v}{K_e} = \frac{3580.84}{2.37} = 1510.90s$$

80

L'isolamento sismico

Scelta dell'isolatore per l'edificio di Acireale

Sono stati disposti 18 isolatori e 27 slitte.
 La disposizione dei dispositivi è la seguente:



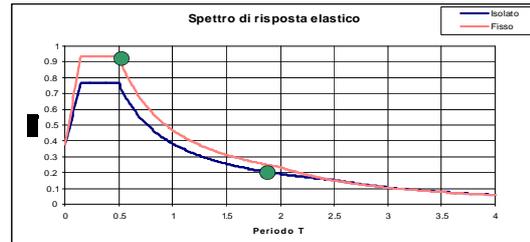
● Isolatore SI-H 500/126

○ Slitta

81

L'isolamento sismico

Risultati dell'analisi dinamica (spettro molto semplificato)



Isolata	T ₁ = 1.81s	M _x = 0.00%	M _y = 100.0%
	T ₂ = 1.80s	M _x = 100.0%	M _y = 0.00%
Fissa	T ₁ = 0.54s	M _x = 0.00%	M _y = 58.0%
	T ₂ = 0.51s	M _x = 68.0%	M _y = 0.00%

82

L'isolamento sismico

Acireale - Contratto di quartiere - Alloggi parcheggio di via Lazzaretto



83

L'isolamento sismico

Contratto di quartiere - Alloggi parcheggio di via Lazzaretto



ESEMPIO 2

Chiesa B.V.M. del Carmelo a Catania



85

L'isolamento sismico

Chiesa B.V.M. del Carmelo a Catania

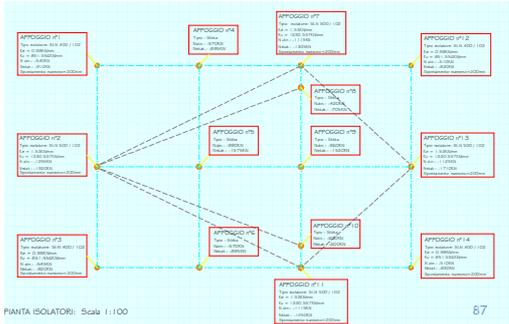


86

L'isolamento sismico

Il sistema di isolamento - posizionamento isolatori e slitte

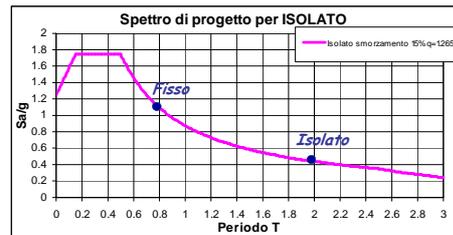
- Si dispongono:
- 4 isolatori SI-N 500/102
 - 4 isolatori SI-N 400/102
 - 6 Slitte



87

L'isolamento sismico (spettro molto semplificato)

Periodo struttura a base fissa $T_f \approx 0.80s$ \rightarrow Periodo struttura isolata $T_{is} = 2.00s$



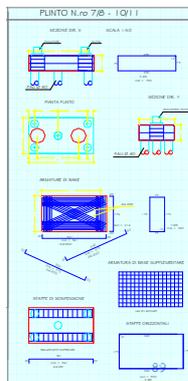
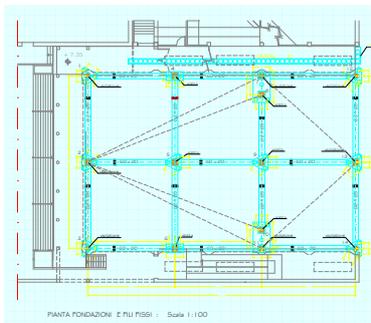
$S_e(T) = 0.11g$ accelerazione spettrale
 $K_{is} = 10.04 \text{ KN/mm}$ rigidezza del sistema di isolamento

Calcolo dello spostamento di progetto $S_{dis}(T) = \frac{S_e(T) \cdot M}{K_{is}} = 10.9 \text{ cm}$

88

L'isolamento sismico

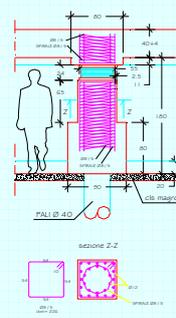
Chiesa B.V.M. del Carmelo a Catania



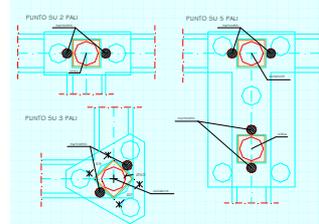
L'isolamento sismico

Chiesa B.V.M. del Carmelo a Catania

ARMATURA DI FRETTAGGIO
Scala 1:20



POSIZIONAMENTO MARTINETTI PER IL SOLLEVAMENTO: Scala 1:20



90

L'isolamento sismico

Chiesa B.V.M. del Carmelo a Catania



L'isolamento sismico

Chiesa B.V.M. del Carmelo a Catania



92

ESEMPIO 3 (caso studio)

Edificio in c.a. costruito a Catania nel 1962
Progetto di adeguamento sismico mediante Isolamento alla base

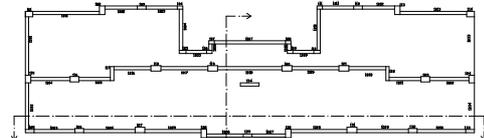


93

L'isolamento sismico

Edificio in c.a. costruito a Catania nel 1962
Progetto di adeguamento sismico mediante Isolamento alla base

Il fabbricato presenta una pianta rettangolare allungata con un asse di simmetria nella direzione trasversale, anche se tra le due parti ci sono lievissime differenze strutturali; le dimensioni in pianta sono di 40,65 x 10,9 E' costituito da 8 piani di cui uno scantinato.

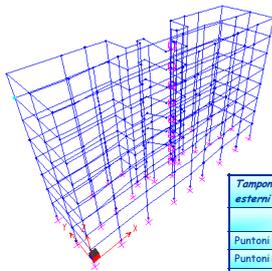


Carpenteria 1° impalcato

94

L'isolamento sismico

Edificio in c.a. costruito a Catania nel 1962
Progetto di adeguamento sismico mediante Isolamento alla base

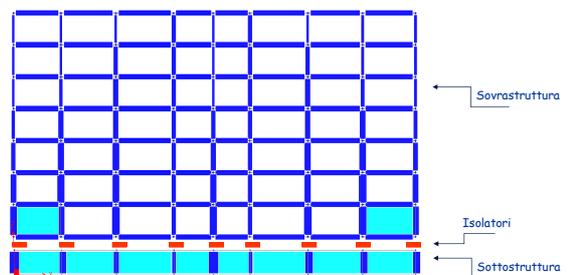


Studiati 5 modelli:
Telaio MRF
Puntoni Forati
Puntoni Pieni
Pannelli Forati
Pannelli Pieni

Tamponamenti esterni	Tramezzi interni	T_1^* (s)	T_1^* (s)	T_1^{*m} (s)
		1.90	0.78	1.18
Puntoni Forati	Puntoni Forati	1.27	0.74	0.90
Puntoni Pieni	Puntoni Pieni	0.97	0.53	0.67
Pannelli Forati	Pannelli Forati	0.95	0.54	0.66
Pannelli Pieni	Pannelli Pieni	0.78	0.38	0.56
Pannelli Pieni	Puntoni Forati	0.77	0.69	0.52

L'isolamento sismico

Edificio in c.a. costruito a Catania nel 1962
Progetto di adeguamento sismico mediante Isolamento alla base



96

L'isolamento sismico

Edificio in c.a. costruito a Catania nel 1962
Progetto di adeguamento sismico mediante Isolamento alla base

Confronto tra la struttura isolata e a base fissa

	$T_1^f (s)$	Partecipazione	$T_1^i (s)$	Partecipazione
Base Fissa	0.69	76%	0.77	66.2%
Isolato	2.20	92%	2.20	99.6%

$$T_{10}/T_1 = 3.2$$

$$T_{10}/T_1 = 2.8$$

Elevati rapporti T_{10}/T_1

Partecipazione quasi totale delle masse



La struttura si comporta come un corpo rigido