

(estratto da)

GUIDA ALL'ISOLAMENTO SISMICO

MODELLAZIONI FEM E CALCOLO DI STRUTTURE SISMICAMENTE ISOLATE CON ISOLATORI A PENDOLO E IN GOMMA ARMATA, SECONDO LE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI NTC 2008 (DM 14 01 08, CIRCOLARE 02 02 09 N°617)

ESEMPI DI CALCOLO:

**STRUTTURA ISOLATA CON ISOLATORI A PENDOLO E IN GOMMA ARMATA
PROGETTO DELLE ARMATURE E VERIFICA DEI CA PER STRUTTURE ISOLATE
CONFRONTO CON PROGETTO DI ARMATURE E SEZIONI DI STRUTTURE NON ISOLATE**

Milano, 20/04/2010
Ing. Marcello Merlino

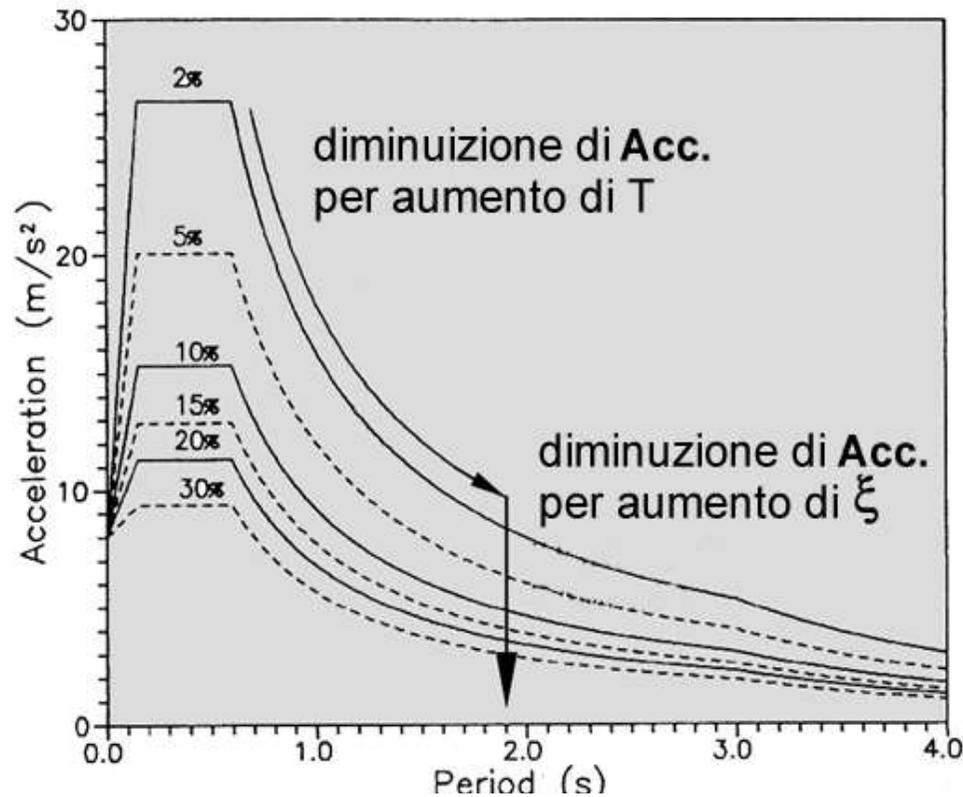
QUESTO DOCUMENTO E' DI PROPRIETA' DI MARCELLO MERLINO - A TERMINI DI LEGGE NON PUO' ESSERE RIPRODOTTO O RESO NOTO A TERZI SE NON PREVIA AUTORIZZAZIONE - All rights reserved - © copyright 06 07 2010 - MARCELLO MERLINO



STUDIO MERLINO
MECCANICA CIVILE
DIAGNOSTICA
OPERE STRUTTURALI

| www.studiomerlino.com | info@studiomerlino.com |

effetti dell'isolamento alla base



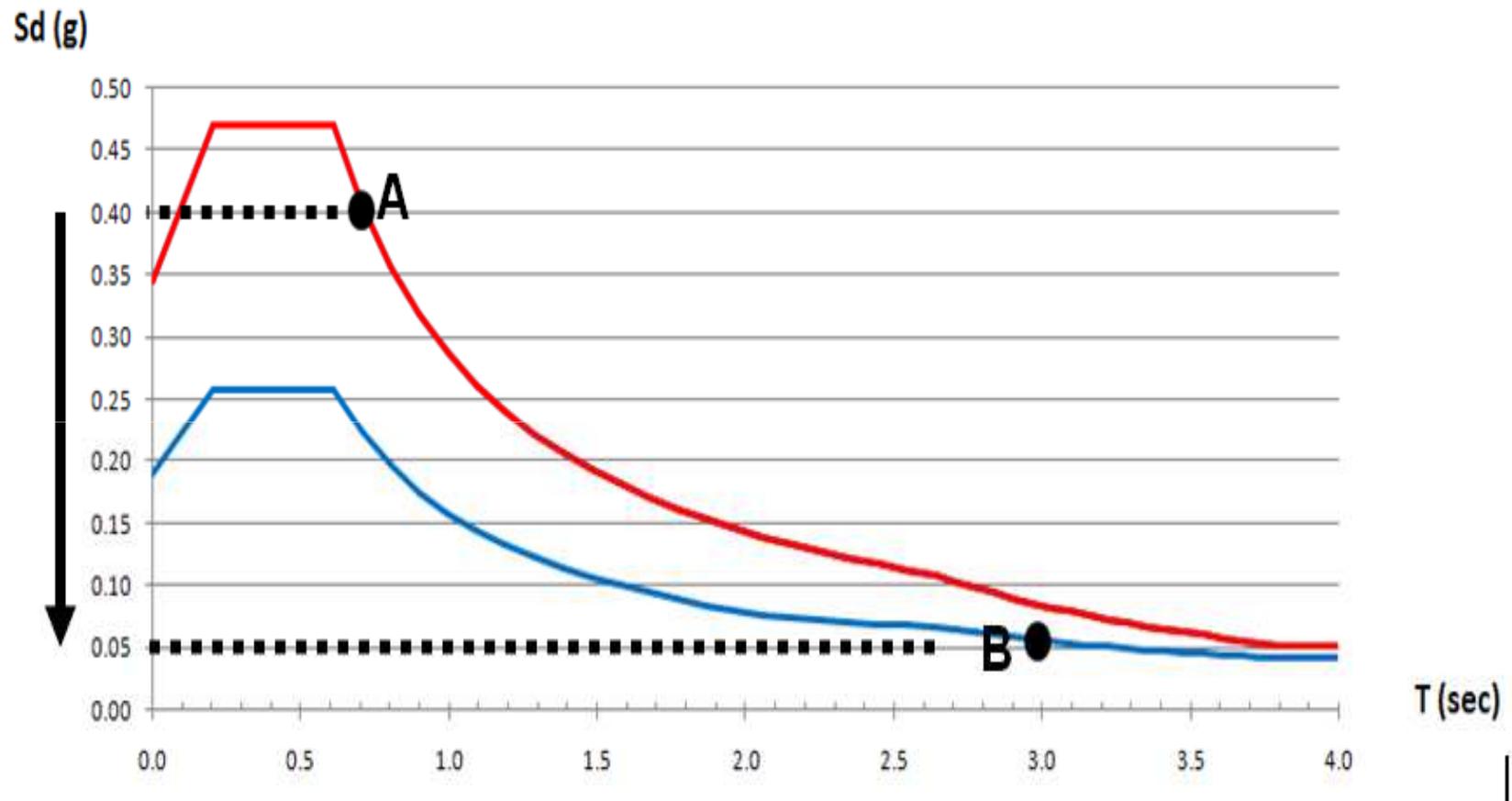
DUPLICE EFFETTO:

innalzamento del periodo proprio della struttura T

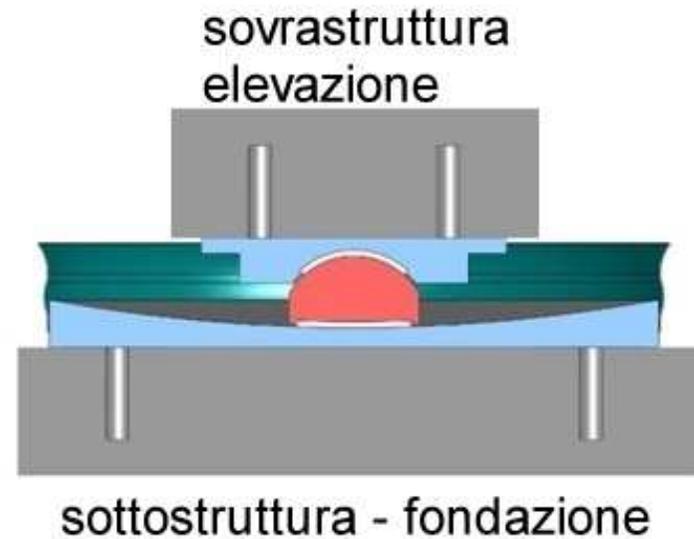
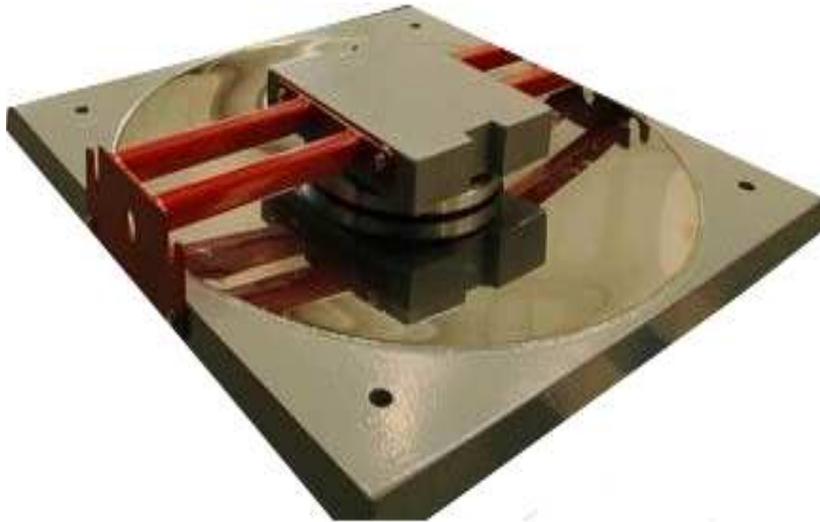
aumento dello smorzamento a valori maggiori del 5%



valori dell'accelerazione



isolatori a pendolo

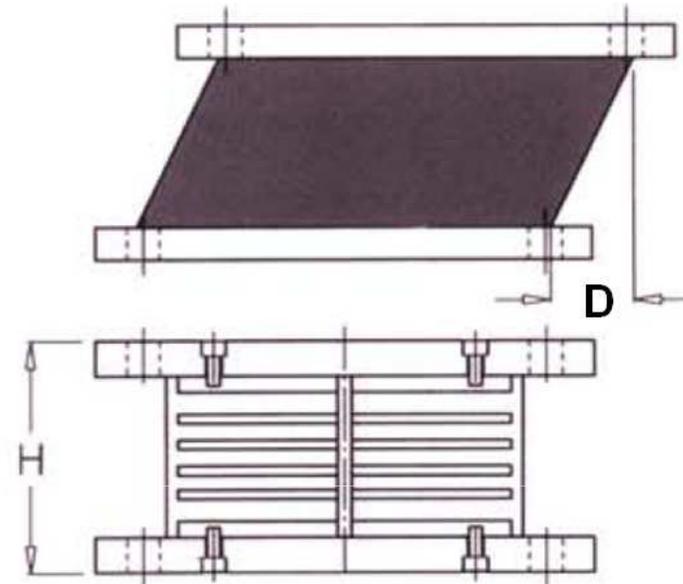
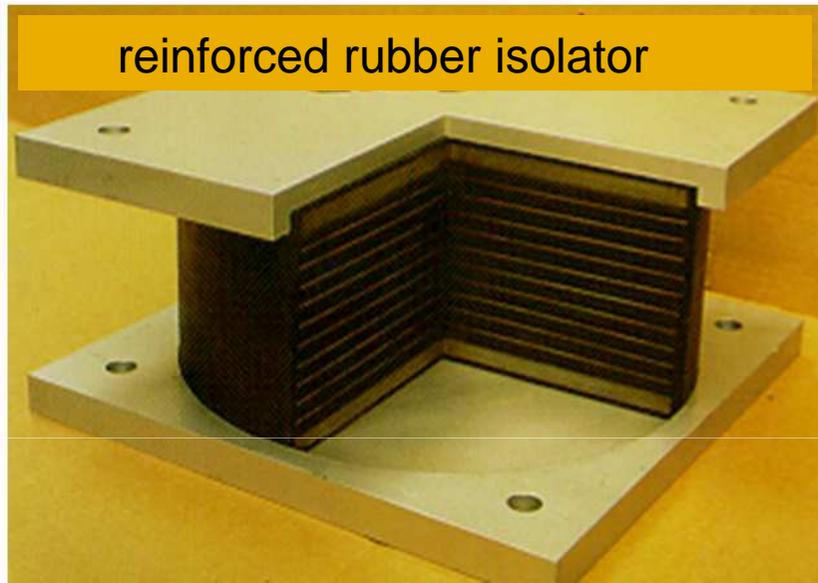


aumento del periodo T per cedevolezza orizzontale del dispositivo

dissipazione di energia per attrito interno alle superfici di scorrimento



isolatori in gomma armata

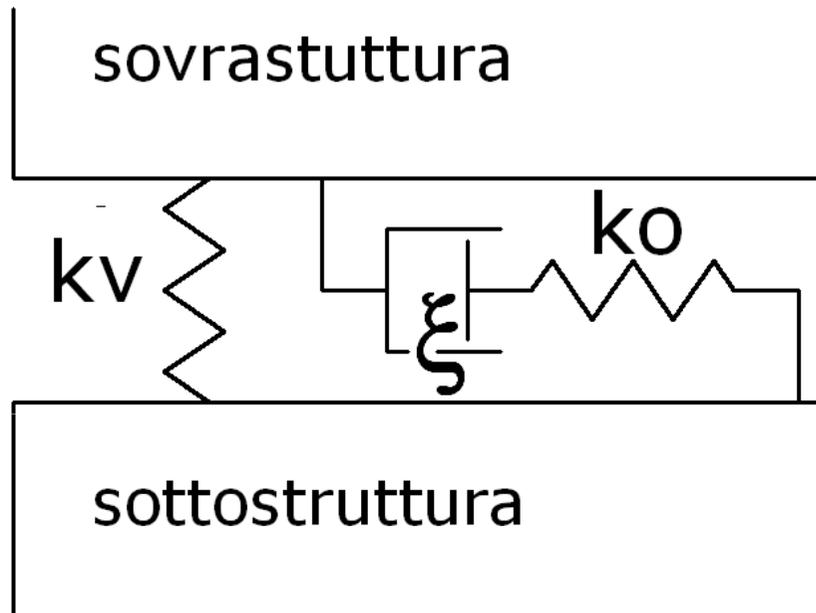


aumento del periodo T per cedevolezza orizzontale del dispositivo

dissipazione di energia per “attriti” interni alla gomma



modellazione numerica dell'isolatore



1) molla orizzontale:

2) biella rigida verticale

3) smorzatore

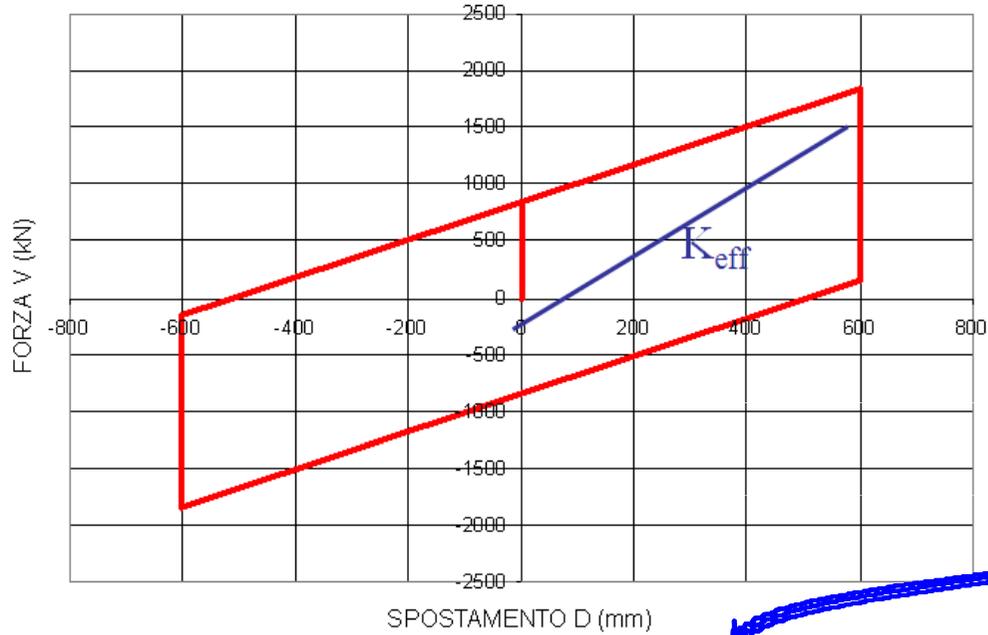
ξ = smorzamento equivalente

k_o = rigidità orizzontale

k_v = rigidità verticale



rigidezza orizzontale ko



valore di calcolo

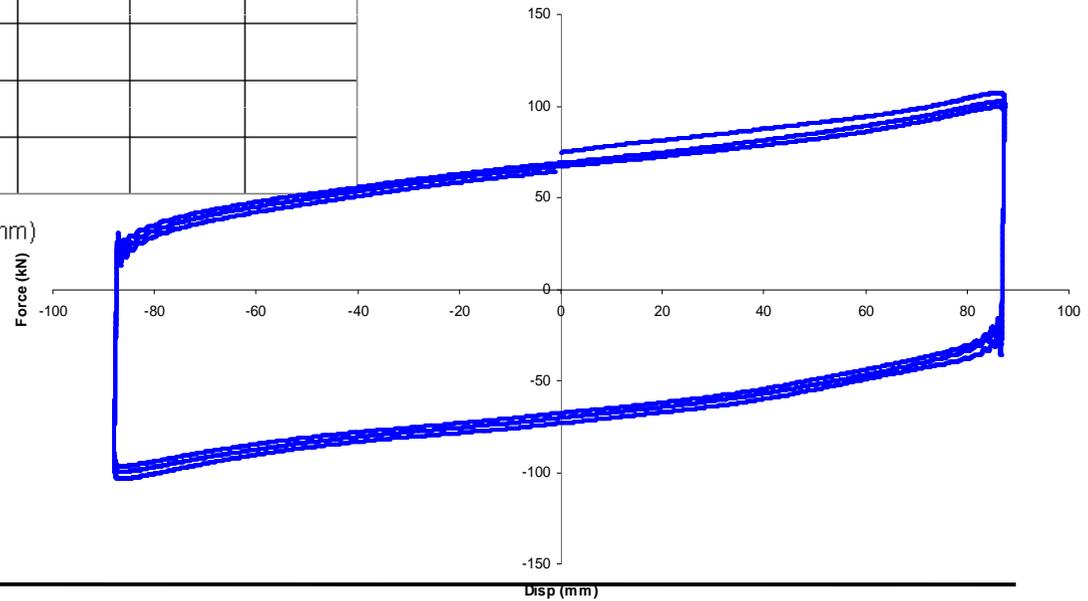


diagramma
sperimentale



smorzamento equivalente

Per isolatori in gomma 10% o 16%

Per isolatori a pendolo valore di calcolo (valori normalmente in uso ~30%)

rigidezza verticale

k_v = rigidezza verticale

generalmente trascurabile; se $k_v > 800 k_o$ (NTC§7.10.5.2)

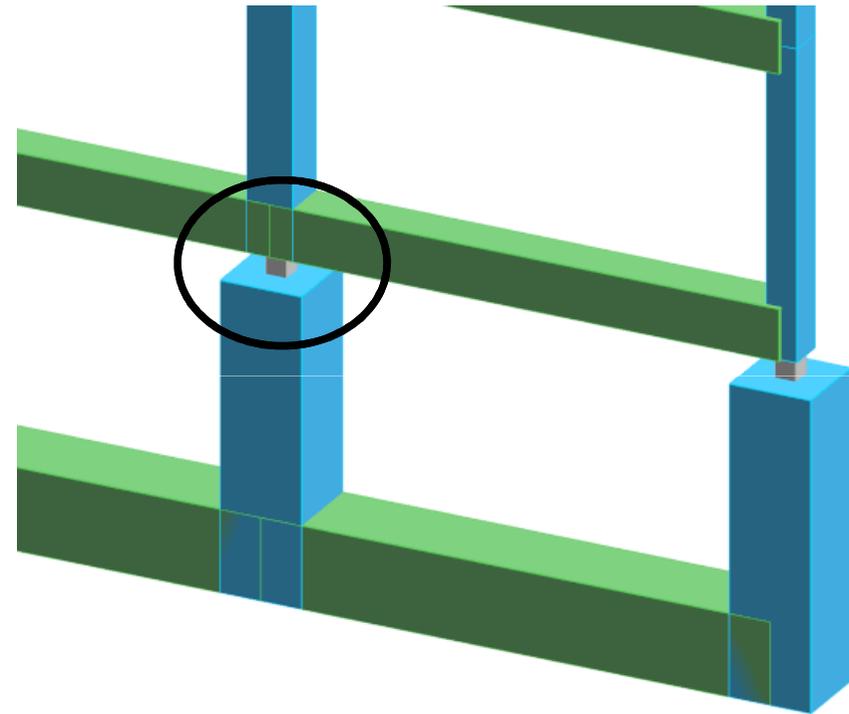


parametri per la modellazione FEM

per implementare il modello
FEM si necessita dunque di
conoscere

ξ → SPETTRO DI CALCOLO

K_0 → RIGIDEZZA MOLLA



valori di k_0 e ξ per isolatori a pendolo

$$K = \left(\frac{V}{R} + \frac{\mu V}{D} \right)$$

$$\xi = \frac{2}{\pi} \left[\frac{\mu}{\mu + \frac{D}{R}} \right]$$

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{V}{K \times g}}$$

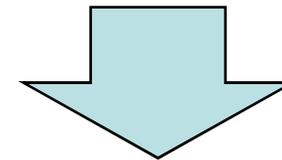
R = raggio di curvatura R della superficie inferiore di scorrimento degli isolatori

μ = attrito interno della superficie di scorrimento degli isolatori a pendolo

V = peso totale della struttura

D = spostamento sismico

LA RIGIDEZZA DIPENDE DALLA MASSA



CENTRO DI MASSA E DI RIGIDEZZA COINCIDONO

calcolo di k_0 e ξ per isolatori a pendolo

R = raggio di curvatura = **3979 mm**

μ = attrito interno = **3% = 0,03**

V = carico verticale totale = dato di progetto

D = spostamento sismico = **INCOGNITA**

noto D sono noti tutti i parametri per il calcolo FEM



calcolo iterativo dello spostamento D

si ipotizza uno spostamento pari a

$$D = 15 \text{ cm}$$

si calcola la rigidezza

$$K = V/R + \mu V/D$$

si calcola lo smorzamento

$$\xi = (2/\pi) [\mu / (\mu + D/R)]$$

si calcola la riduzione spettro

$$\eta = [10 / (5 + \xi)]^{0,5}$$

se $\eta < 0,55$

$$\eta = 0,55$$

si calcola il periodo

$$T = 2\pi [V / (K g)]^{0,5}$$

se $T \leq T_D$ si calcola l'accelerazione

$$a = a_0 \cdot g \cdot S \cdot F_0 \cdot \eta \cdot (T_C / T)$$

altrimenti si calcola l'accelerazione

$$a = a_0 \cdot g \cdot S \cdot F_0 \cdot \eta \cdot (T_C \cdot T_D / T^2)$$

si calcola lo spostamento

$$D' = a \cdot [T / (2\pi)]^2$$

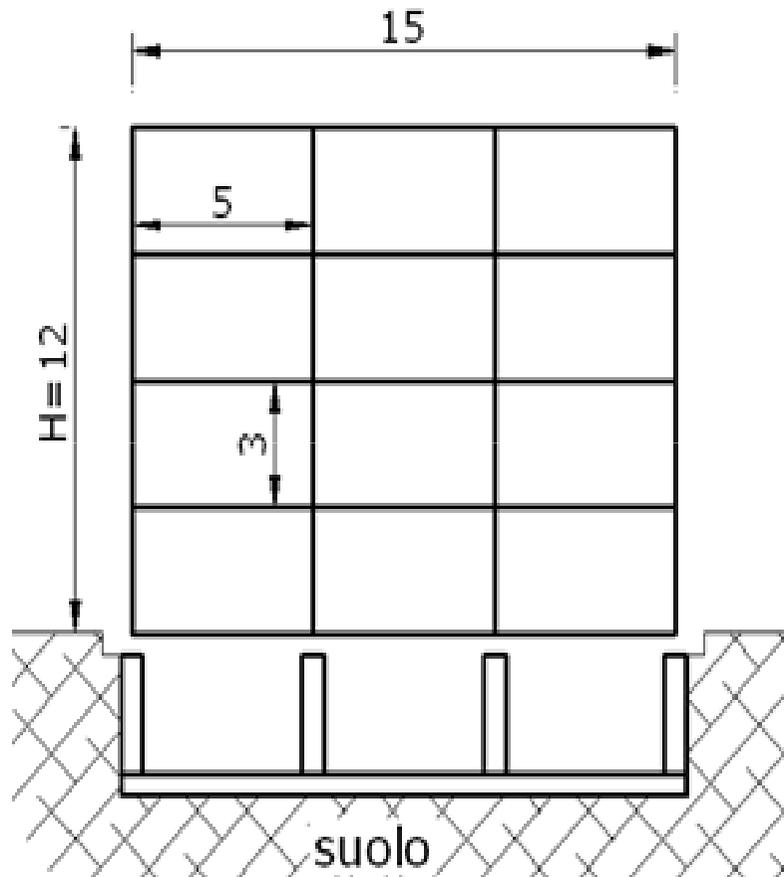
se $D' \cong D$ ci si ferma, altrimenti

$D = D'$ e si ripete l'iterazione

..... fino a convergenza



ESEMPIO DI CALCOLO



maglia in pianta = 5x5 metri

numero di campate trasversali = 3

piani fuori terra = 4

altezza di interpiano = 3 metri

sito di costruzione = L'Aquila

con classe d'uso = II

vita nominale = 50 anni

peso totale sismico = 300 Ton



1) calcolo dei parametri

a) calcolo lo spostamento
(procedimento iterativo)

D

b) calcolo la rigidezza totale

K

$$K = \left(\frac{V}{R} + \frac{\mu V}{D} \right)$$

si ricorda

$$\mu = 0,03 \quad R = 3979 \text{ mm}$$

V = peso struttura

c) calcolo le singole rigidezze

$$K_i = (V_i / V) \times K$$

d) calcolo la forza totale del sisma

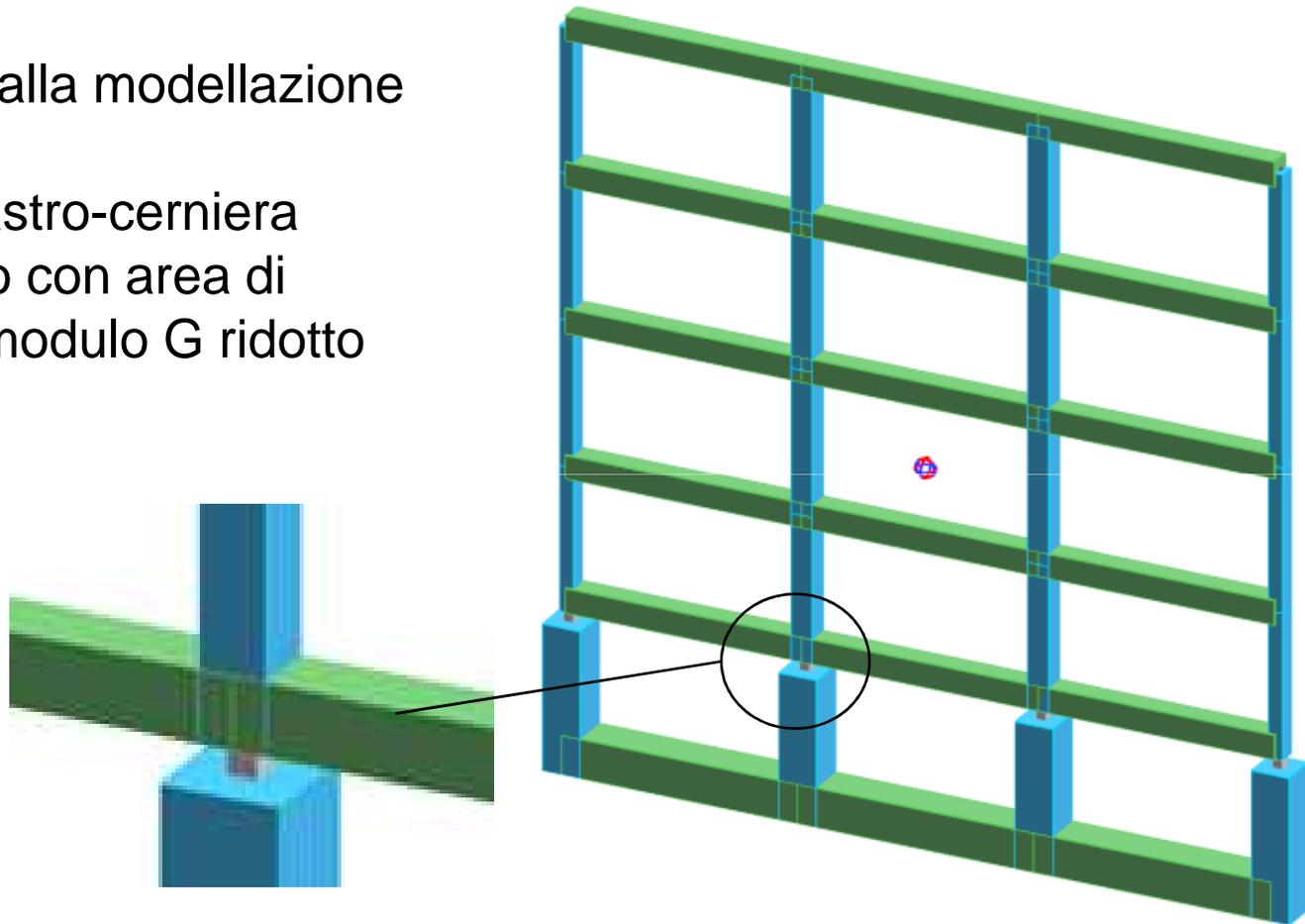
$$F = K \times D$$



2) modellazione

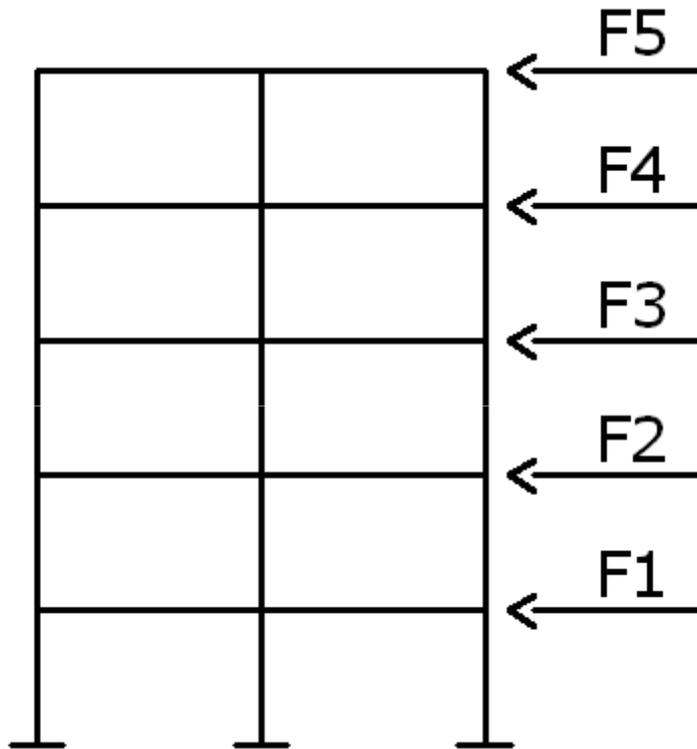
procedo alla modellazione

asta incastro-cerniera
in acciaio con area di
taglio o modulo G ridotto



3) applicazione delle forze per ripartizione

(analisi per forze statiche, edificio regolare, NTC 7.10.5.3.1)



$$F_i = (V_i / V) \times F$$

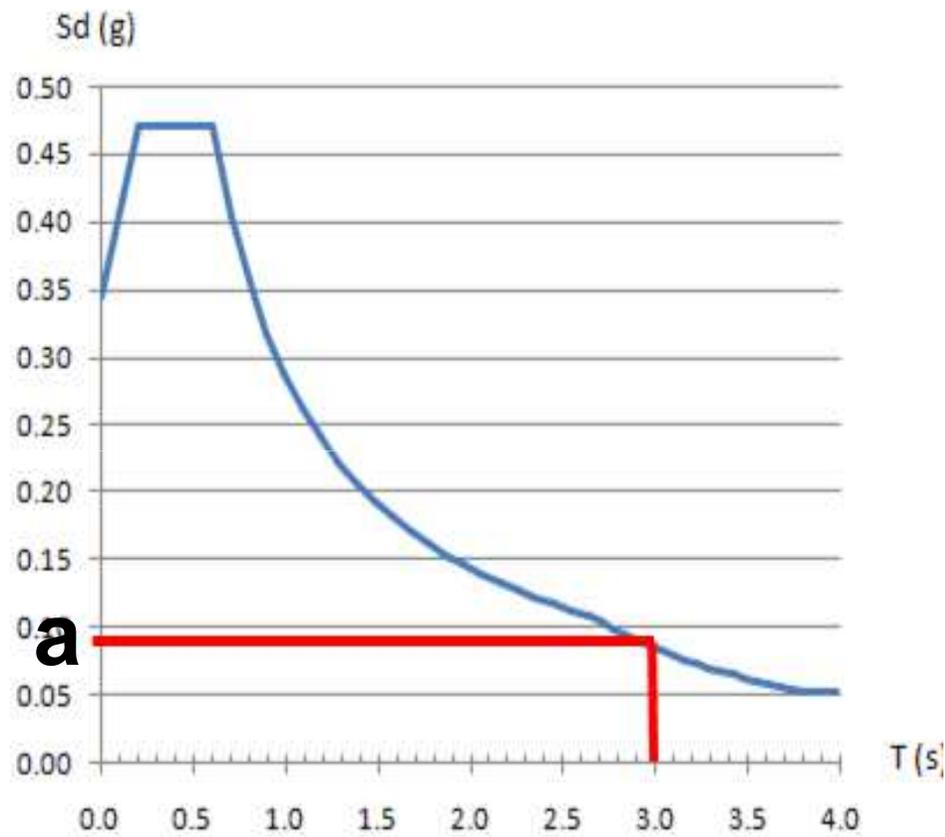
oppure

$$F_i = V_i \times a$$

dove



3) applicazione delle forze per masse



spettro **SLV**

con

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{V}{K \times g}}$$



4) eseguo le verifiche sulla sovrastruttura

Le verifiche agli spostamenti

vanno condotte con lo con spettro allo stato limite di danno, SLD (NTC 7.10.6.1)

Le verifiche di resistenza

vanno condotte con valori della forza sismica allo stato limite di vita, SLV, ridotte di un coefficiente 1,5



5) scelgo l'isolatore

Carico verticale massimo - fra tutte le combinazioni

Spostamento massimo - spostamento allo stato limite di collasso **SLC** (NTC 7.10.6.2.2);
(SLV x 1,2 negli edifici, SLV x 1,5 nelle grandi strutture)

APS / CARICO VERTICALE MASSIMO SLU / CORSA

ad esempio l'isolatore **APS 1000/400**

è un isolatore a pendolo -> **APS 1000/400**

con carico verticale massimo SLU di 100 Ton -> APS **1000/400**

con corsa sismica ± 200 mm -> APS 1000/**400**



6) Calcolo la sottostruttura

EFFETTI NON LINEARI DEL SECONDO ORDINE

l'eccentricità di carico $e = D$
le variazioni di sforzo normale ΔV

MOMENTI AGGIUNTIVI

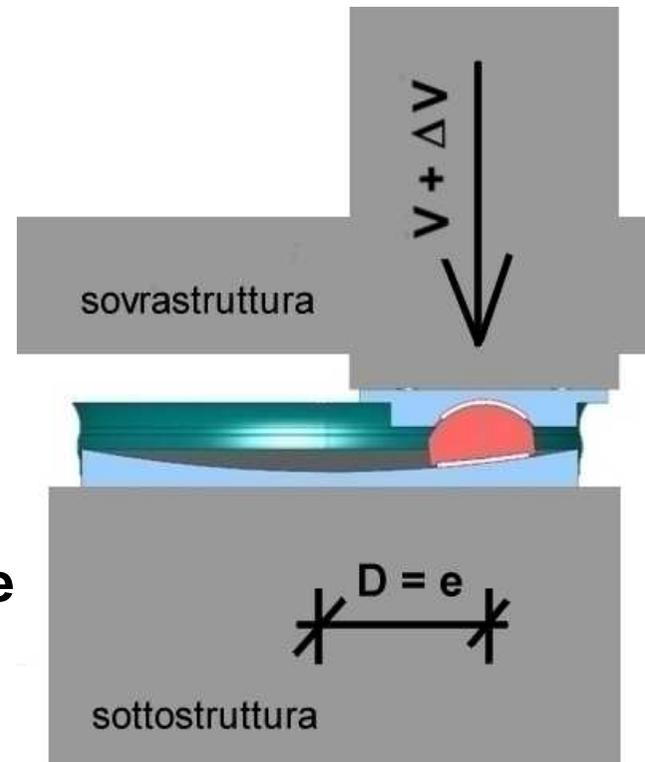
$$M_i = e V_i$$

TAGLI AGGIUNTIVI

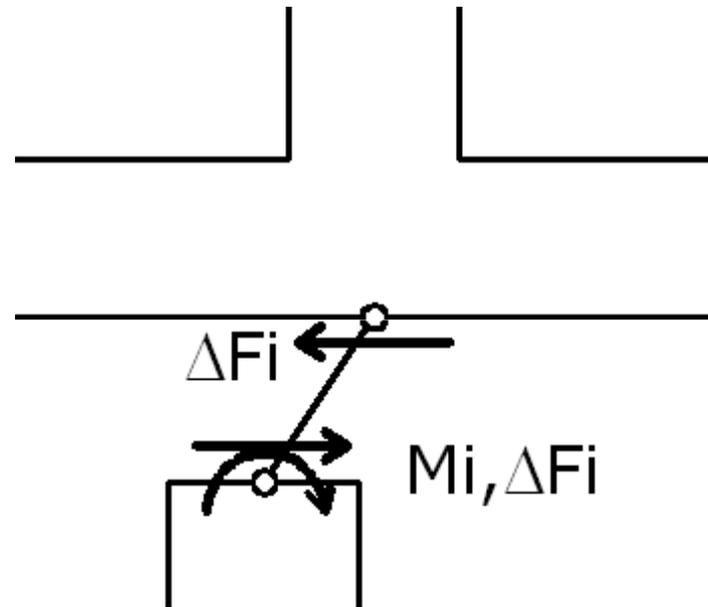
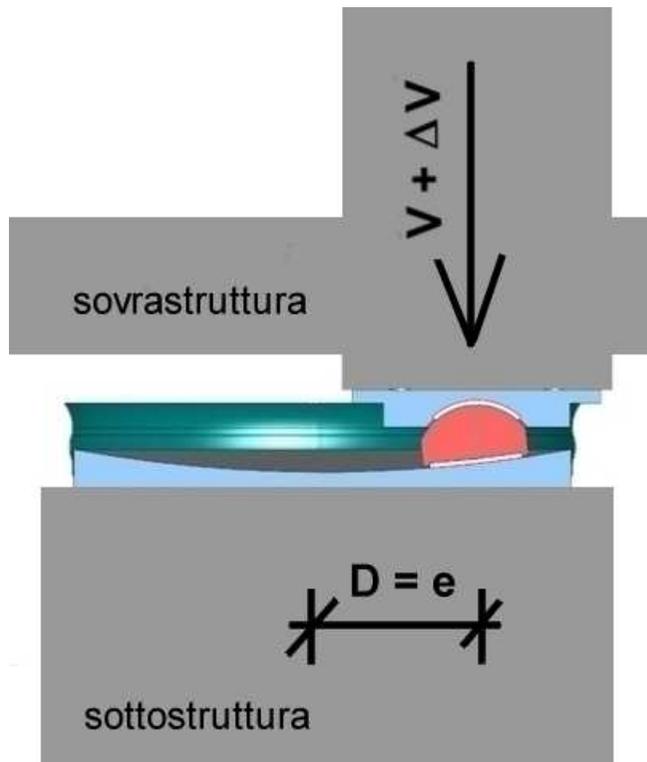
$$\Delta F_i = (\Delta V_i / V) F$$

$$\Delta V_i = V_i \text{ sismico} - V_i \text{ permanente}$$

$F =$ taglio sismico totale



7) Inserimento nel modello di tagli e coppie del secondo ordine



condizione di carico " sx_2° "



8) Calcolo della sottostruttura

si esegue l'analisi con tutte le combinazioni di carico

abbinando sempre al **sisma in x positivo**

la condizione di carico “ sx_2° ”

L'effetto dell'eccentricità di carico è dimensionante per la sottostruttura

L'effetto di migrazione del taglio da contributi modesti per la sottostruttura

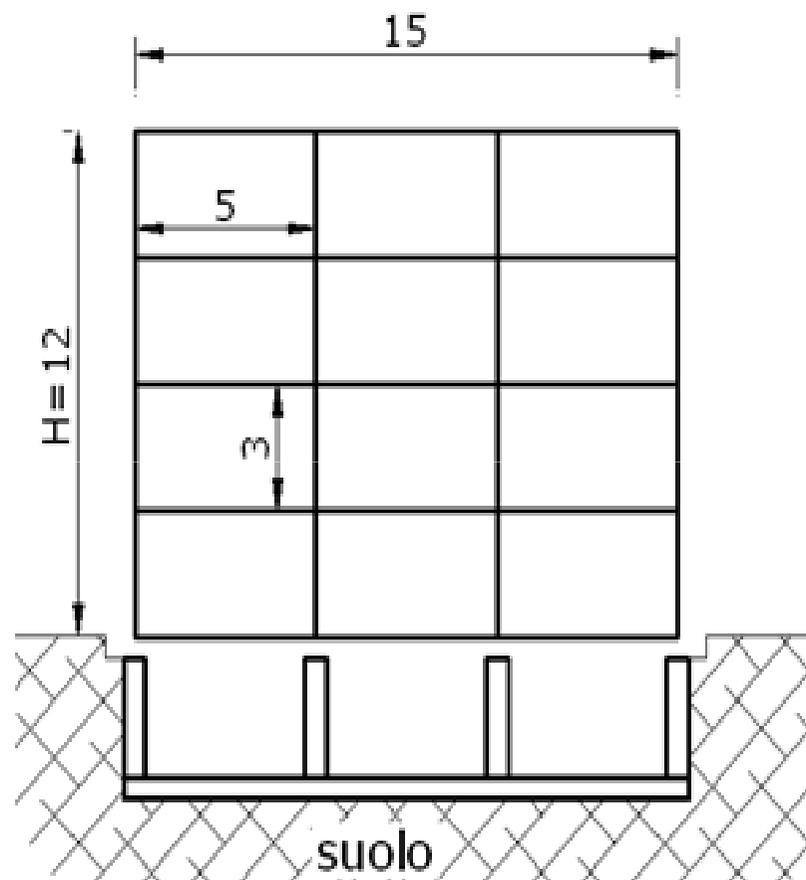
risultati e confronti con isolatori in gomma

Per il caso in esame
L'Aquila - suolo E

STRUTTURA NON ISOLATA
 $a/g = 40\%$

ISOLAMENTO A PENDOLO
 $a/g = 8\%$; $D = 19$ cm

ISOLAMENTO IN GOMMA
 $a/g = 20\%$; $D = 20$ cm



efficienza dell'isolamento sismico a pendolo

l'isolamento sismico con dispositivi di tipo a pendolo, risulta avere un'**efficienza molto superiore alla gomma**

DA STUDI SU EDIFICI CON PENDOLI:

Taglio sismico **MASSIMO IN ITALIA**

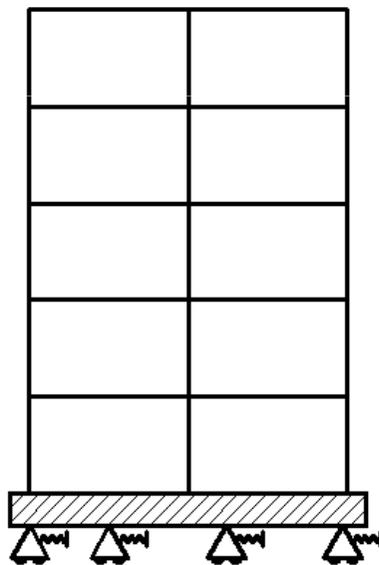
**10% del peso per edifici non strategici,
15% per quelli strategici.**

coincidenza in pianta fra **centro** di masse e centro delle rigidezze, **durata** maggiore e **costi** più contenuti della gomma.

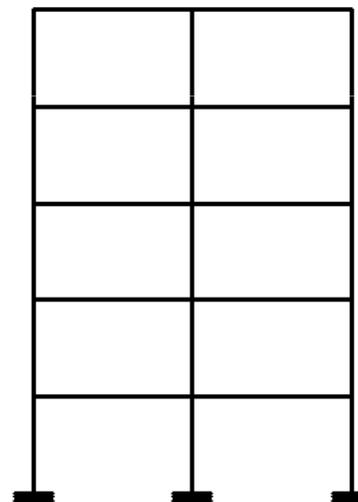
ESEMPI DI DIMENSIONAMENTO IN CA

STRUTTURA ISOLATA A CONFRONTO CON STRUTTURA TRADIZIONALE

FORZANTE SIMICA MEDIA località Firenze, sottosuolo tipo C
FORZANTE SIMICA ALTA località L'Aquila, sottosuolo tipo E.



struttura
isolata

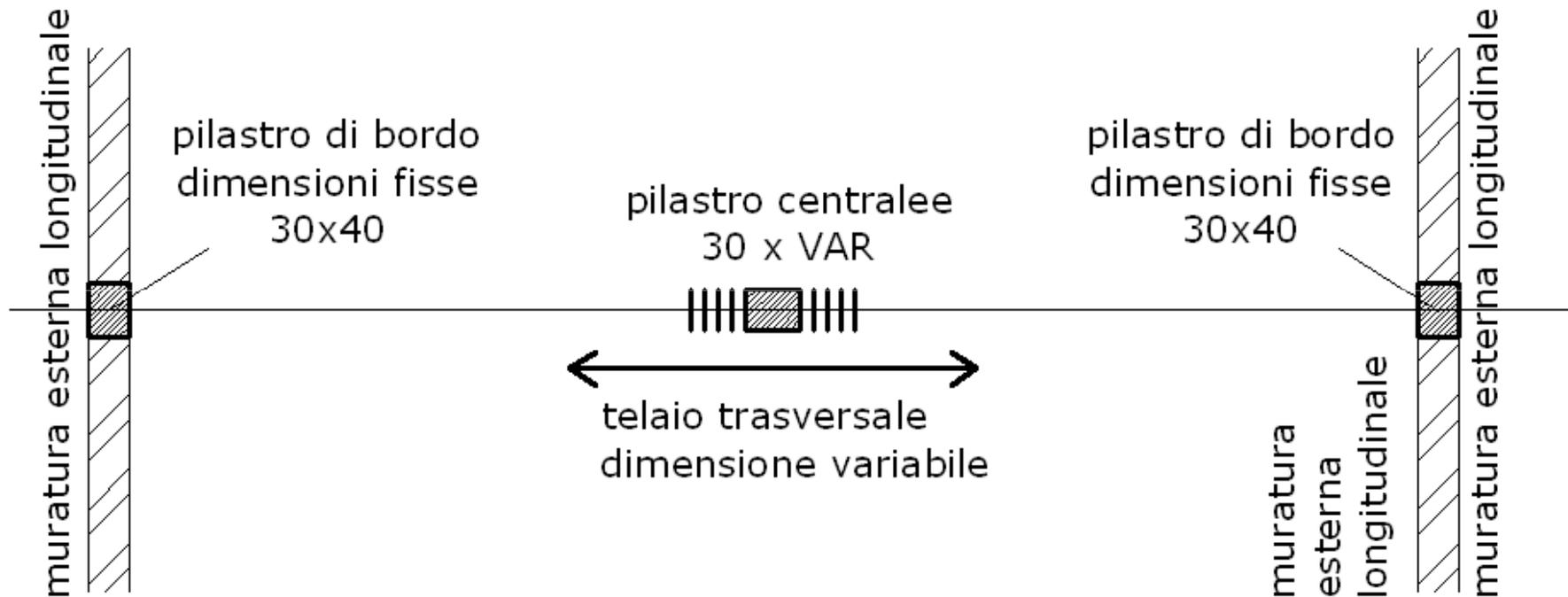


struttura
non isolata



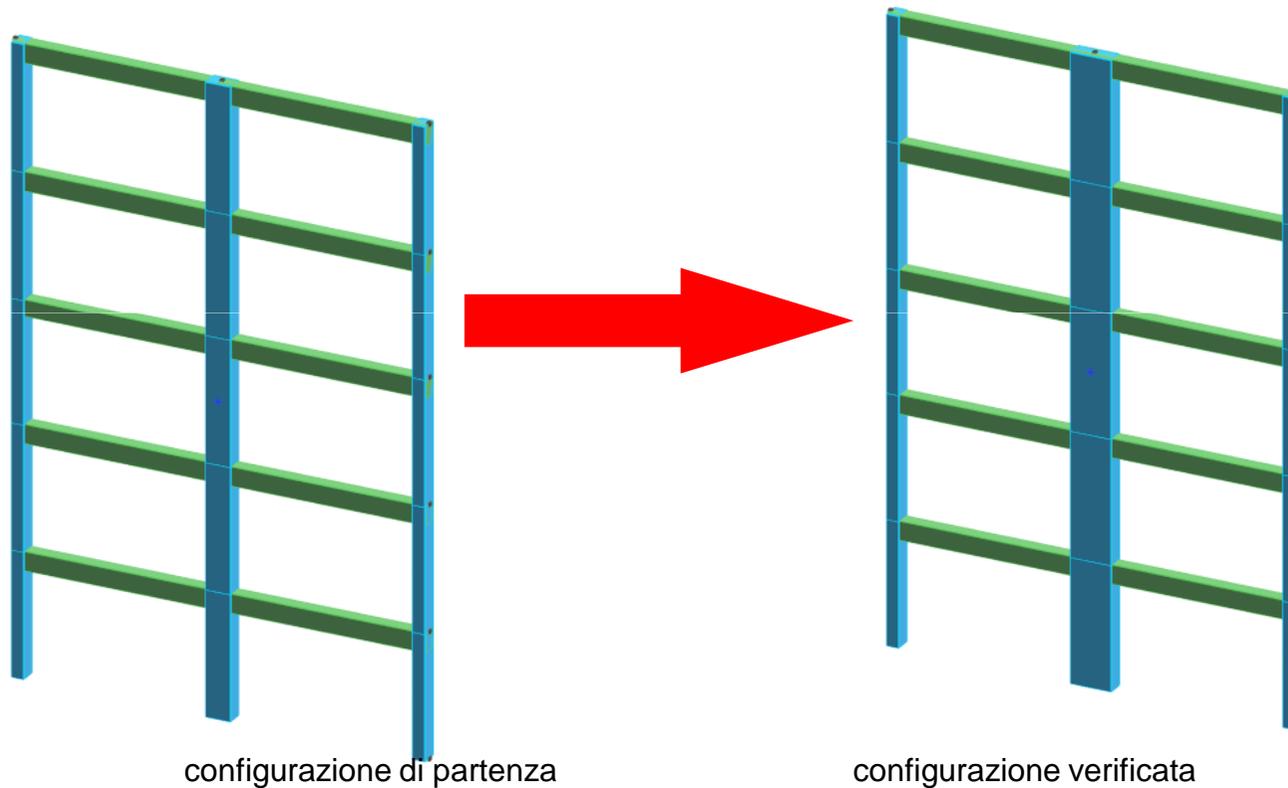
criterio di calcolo

Resistenza sismica affidata al solo pilastro centrale



Iterazioni successive

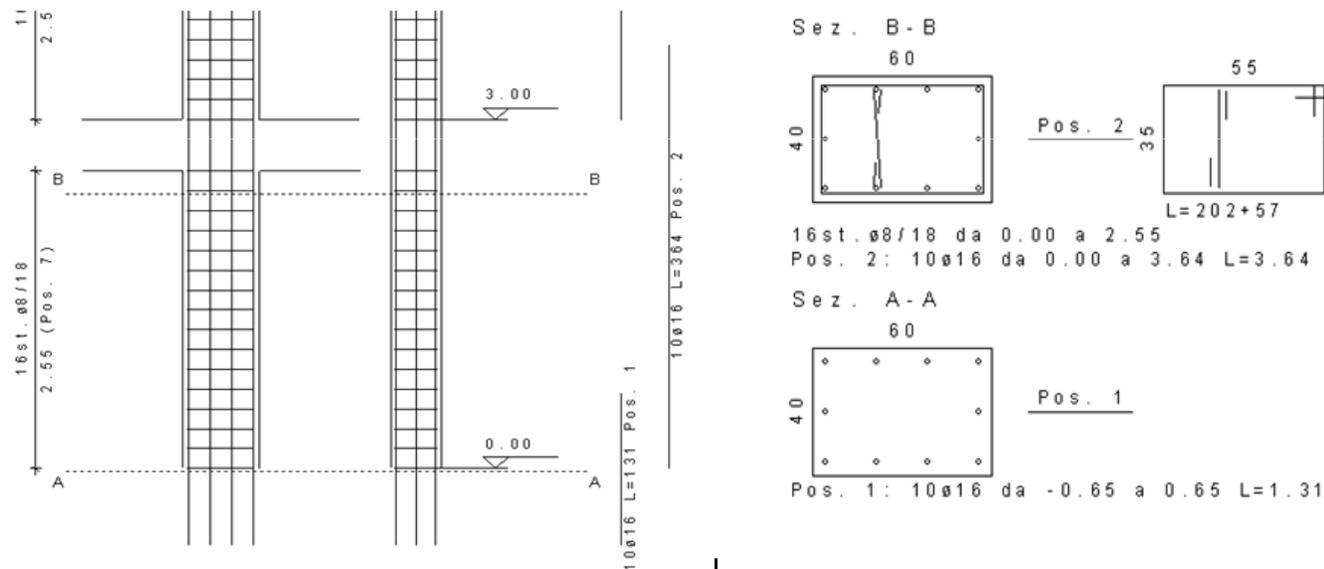
Per iterazioni successive si aumenta la dimensione trasversale e l'armatura del pilastro centrale fino ad ottenere sezioni verificate.



Armature ottenute per strutture isolate

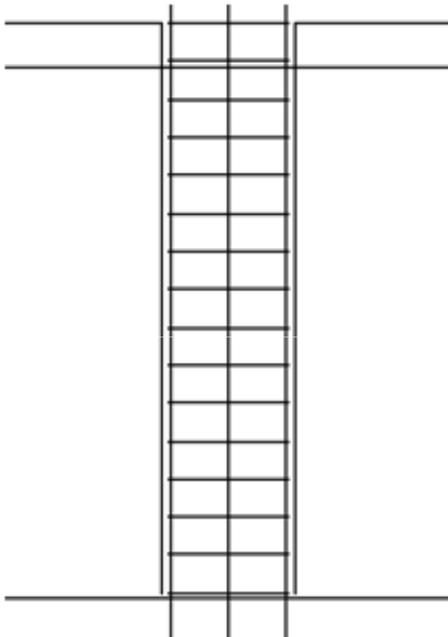
IL CARICO DIMENSIONANTE È QUELLO VERTICALE E NON IL SISMA

INDIPENDENTEMENTE DALLA ZONA SISMICA LE ARMATURE RISULTANO LE STESS

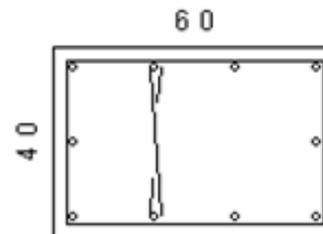


risultati sul pilastro di struttura isolata

Per le strutture isolate

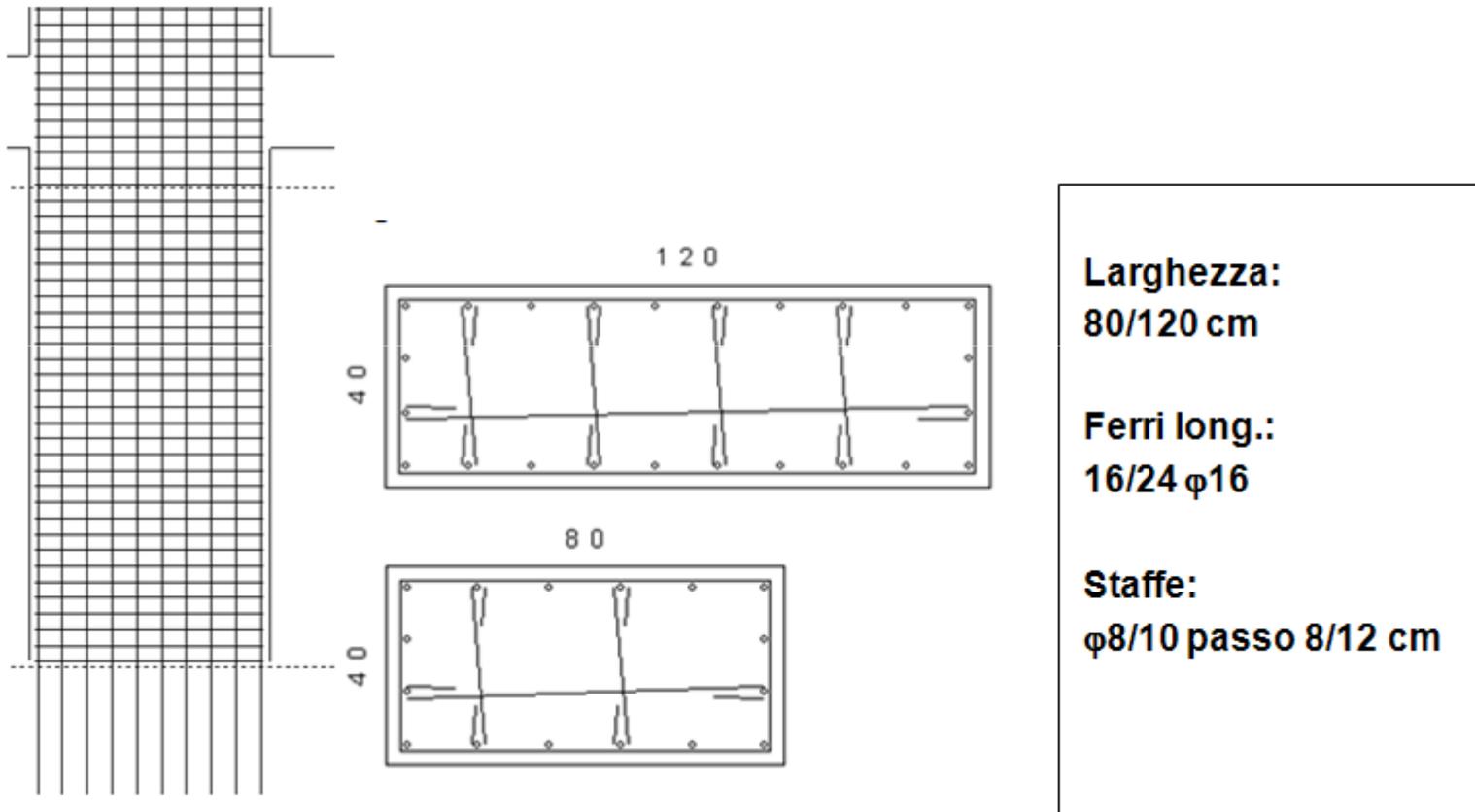


Larghezza:	60 cm
Ferri long.:	8ϕ16
Staffe:	ϕ8 passo18 cm



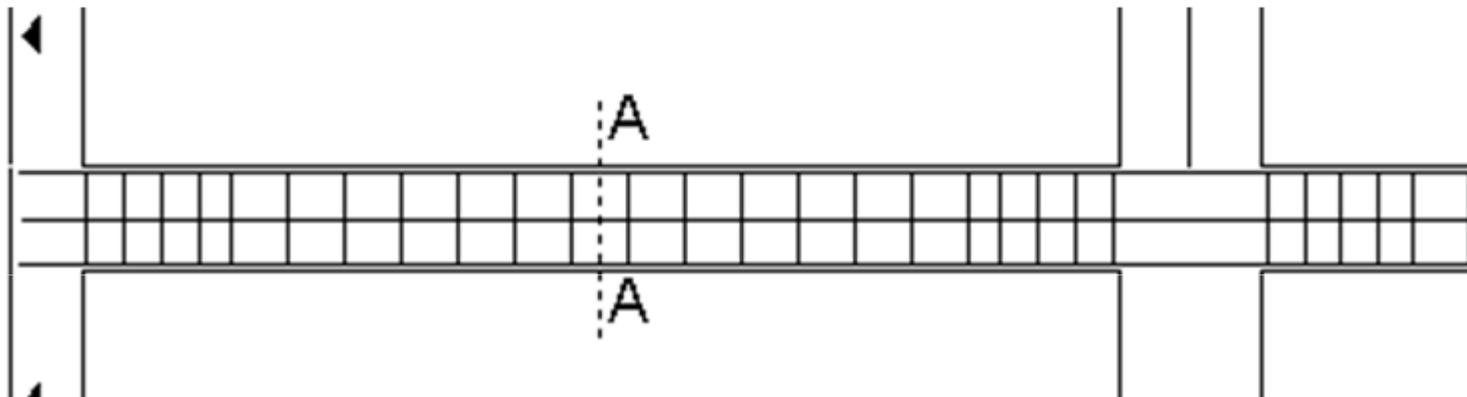
risultati sul pilastro di struttura non isolata

Per le strutture non isolate



risultati sulle travi di struttura isolata

Per le strutture isolate



Staffe appoggi: $\phi 8$ passo 16 cm

Staffe campata: $\phi 8$ passo 24 cm

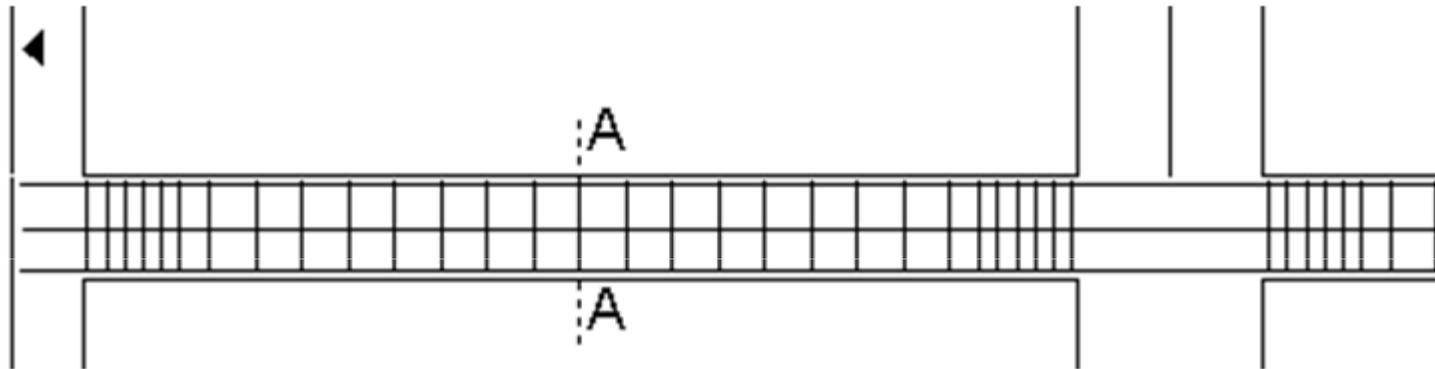


STUDIO MERLINO
MECCANICA CIVILE
DIAGNOSTICA
OPERE STRUTTURALI

Ing. Marcello Merlino

risultati sulle travi di struttura non isolata

Per le strutture non isolate



Staffe appoggi: $\phi 8$ passo 8 cm

Staffe campata: $\phi 8$ passo 20 cm



STUDIO MERLINO
MECCANICA CIVILE
DIAGNOSTICA
OPERE STRUTTURALI

Ing. Marcello Merlino

Conclusioni: L'isolamento sismico

- 1) Semplifica enormemente il calcolo sismico della struttura**
- 2) permette di armare i telai a solo carico verticale**
- 3) riduce notevolmente volumi dei getti**
- 4) riduce i tempi di esecuzione e posa delle armature**
- 5) Semplifica il calcolo da gerarchia di resistenze a verifiche locali**
- 6) Permette una progettazione con dettagli di armatura (NTC08 §4.1.6)
semplici, praticamente identici a quelli già prescritti nel DM96**