Odine degli Ingegneri della Provincia di Pistoia
Corso sulla Vulnerabilità Sismica

Modelli evolutivi per la verifica del rischio di edifici esistenti

Quaderno 3
Esempi applicativi

Prof. Enrico Spacone
Dipartimento di Ingegneria e Geologia
Università degli Studi "G. D'Annunzio" Chieti-Pescara

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA E GEOLOGIA

31 Maggio 2012

Ud'A

SOMMARIO

- **Edificio di Bonefro**
- **Ponte di Humbolt Bay**
- **Modellazione Taglio (Per ponti ed edifici)**
- **Esempio di modellazione ed analisi in MidasGen**
- **E-ELT Telescope**

SOMMARIO

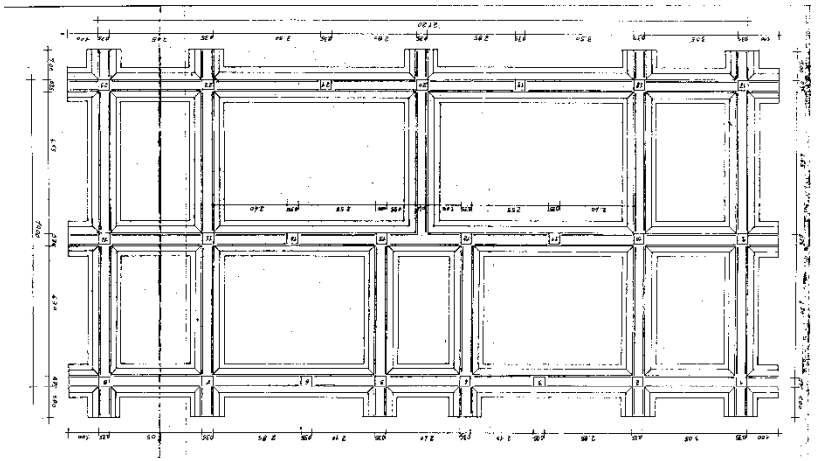
- **Edificio di Bonefro**
- **Ponte di Humbolt Bay**
- **Modellazione Taglio (Per ponti ed edifici)**
- **Esempio di modellazione ed analisi in MidasGen**
- **E-ELT Telescope**

APPLICAZIONE 1: EDIFICIO DI BONEFRO

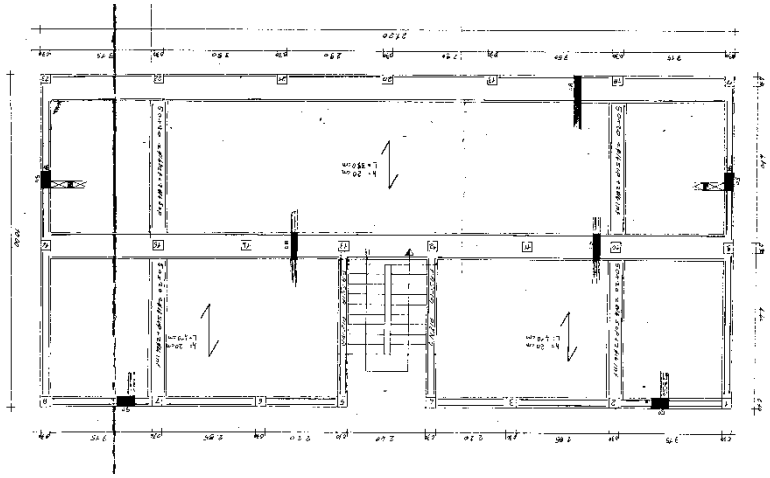
Edificio danneggiato dal sisma del Molise 2002

APPLICAZIONE 1: EDIFICIO DI BONEFRO

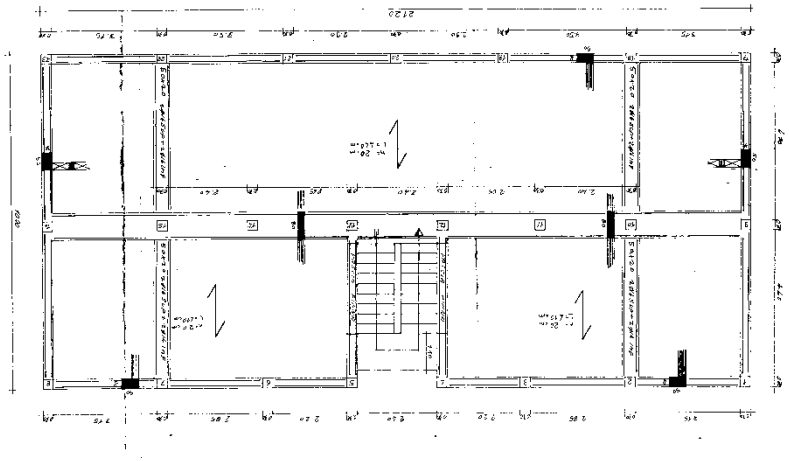
Pianta delle fondazioni



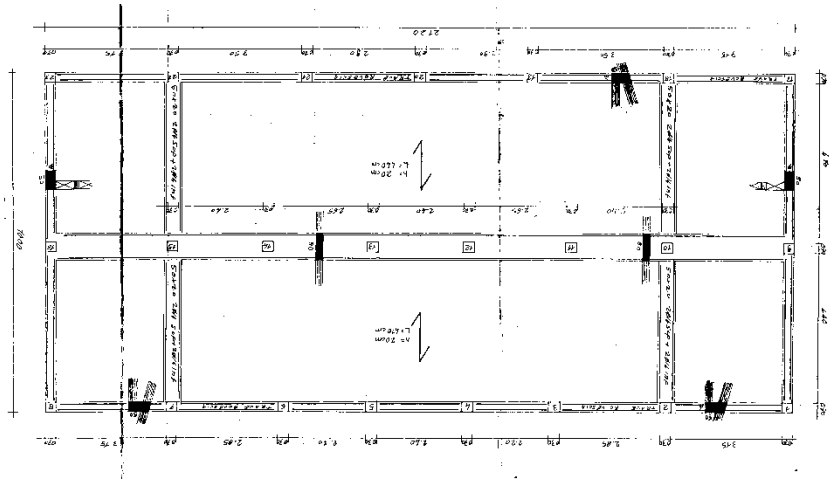
Pianta piano tipo



Pianta primo impalcato

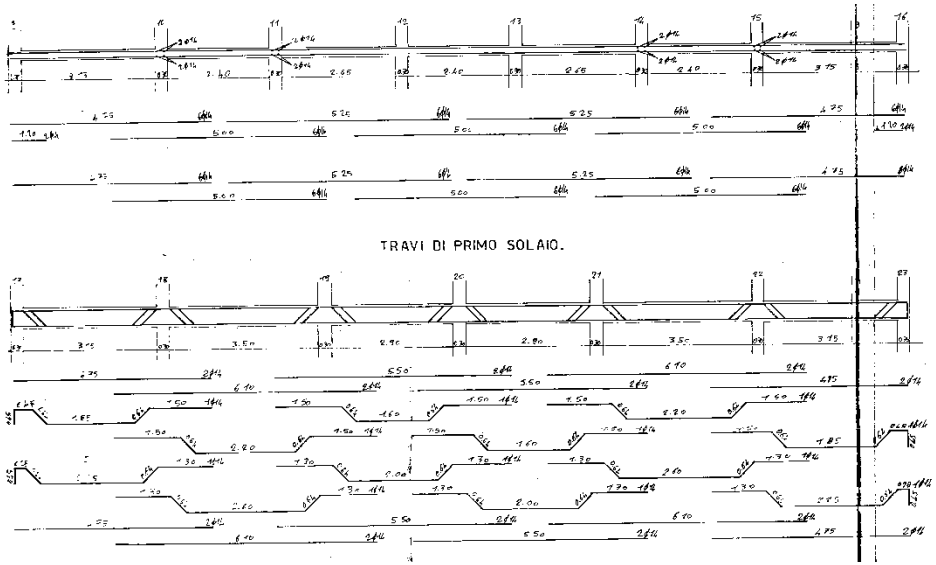


Pianta sottotetto

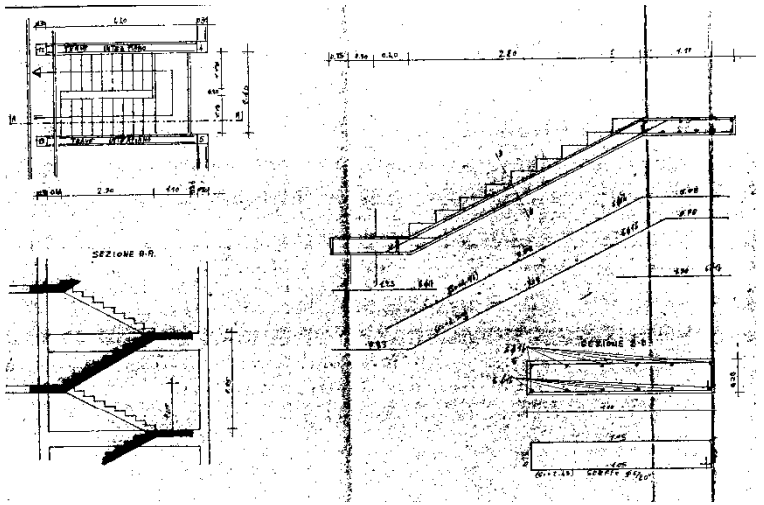


APPLICAZIONE 1: EDIFICIO DI BONEFRO

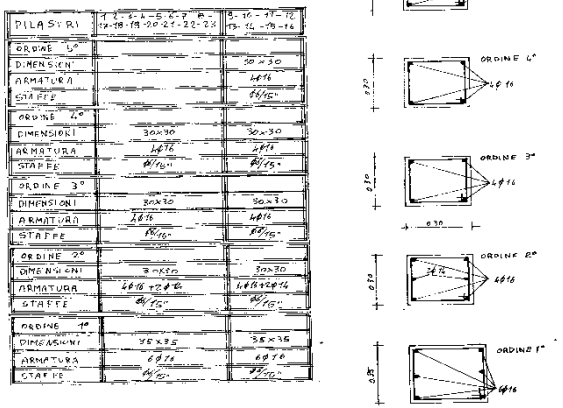
travi



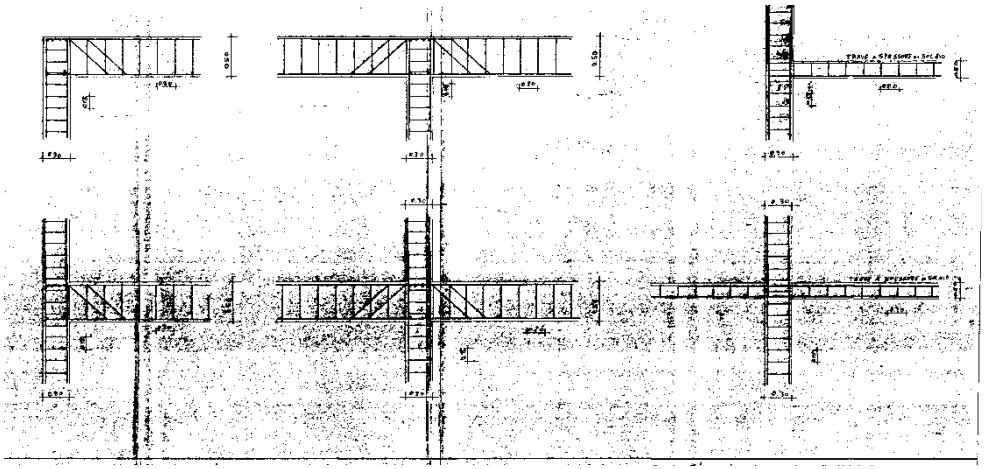
scala



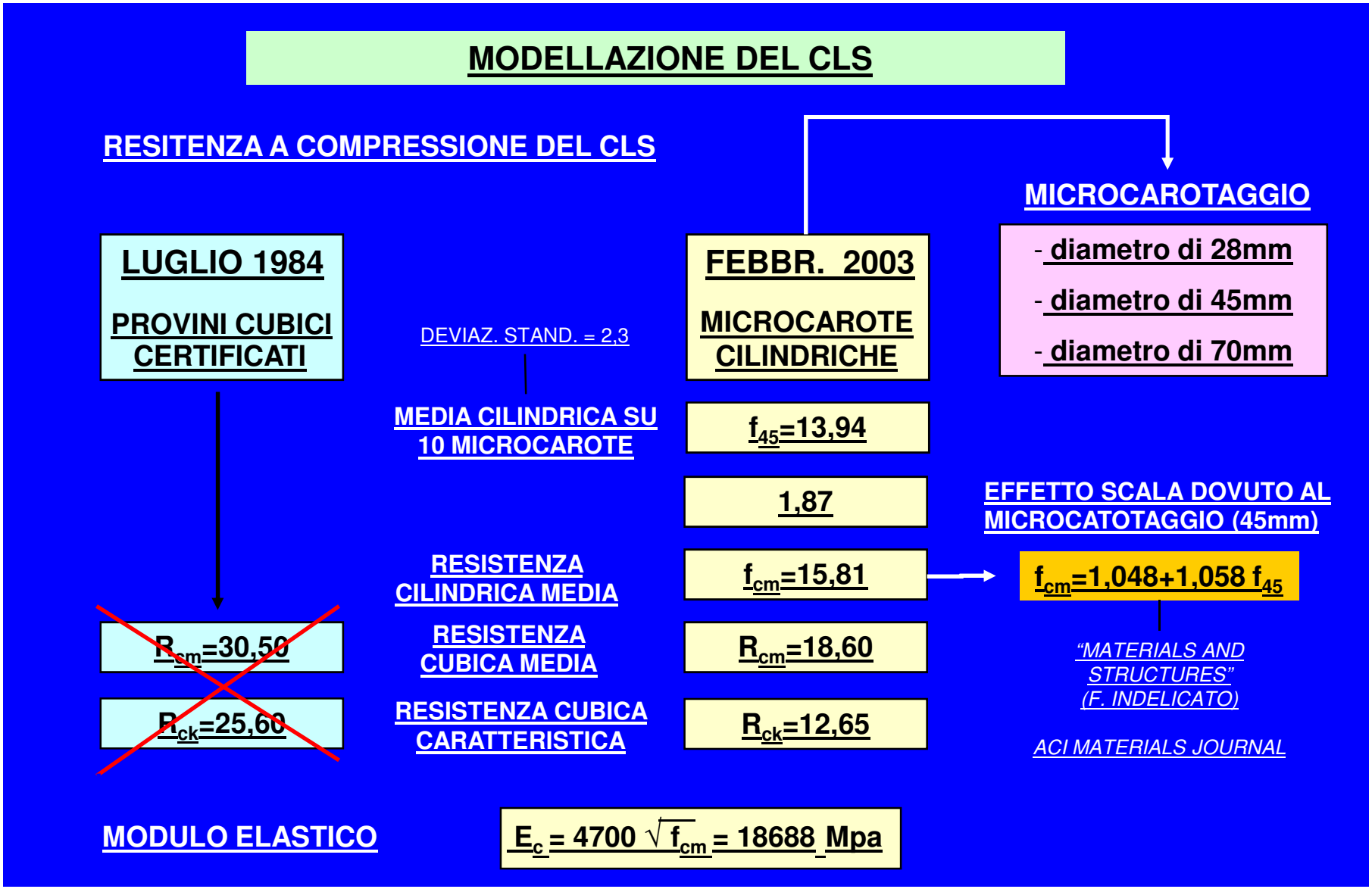
pilastri



nodi



APPLICAZIONE 1: EDIFICIO DI BONEFRO



APPLICAZIONE 1: EDIFICIO DI BONEFRO

Piani 1-2-3	
Peso Proprio soletta	2.82 KN/m^2
Carichi Permanenti	2.80 KN/m^2
Carichi Variabili	2.00 KN/m^2 4.00 KN/m^2 (balcone)

Piano 4 (sottotetto)	
Peso Proprio soletta	2.82 KN/m^2
Carichi Permanenti	0.3 KN/m^2
Carichi Variabili	2.00 KN/m^2 4.00 KN/m^2 (balcone)

Copertura	
Peso Proprio soletta	3.25 KN/m^2
Carichi Permanenti	2.07 KN/m^2

APPLICAZIONE 1: EDIFICIO DI BONEFRO

$$\sum G_{k,j} + \sum \Psi_{Ej} Q_{Kj}$$

Ψ_{Ei} = coeff. di combinazione dell'azione variabile (EC8)

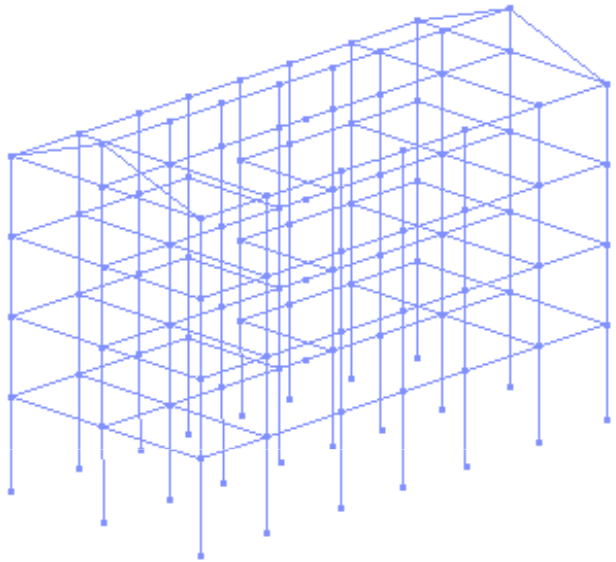
$$\Psi_{Ej} = \varphi \cdot \Psi_{2j} \left(SLU \right)$$

	Ψ_{2i}
abitazioni, uffici	0.30
Tetti e coperture con neve	0.20

Carichi indipendenti	φ
Ultimo piano	1.00
Altri piani	0.50

APPLICAZIONE 1: EDIFICIO DI BONEFRO

	M = W/g (t)
Piano 1	164
Piano 2	175
Piano 3	175
Piano 4	107
Copertura	69



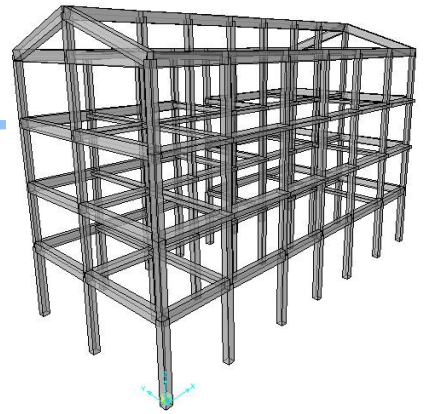
$$M_{tot} = 692\ t$$

Le masse di piano vengono ripartite ai nodi

(diaframma infinitamente rigido)

N.B. non e' stato incluso il carico neve

ANALISI MODALE 1



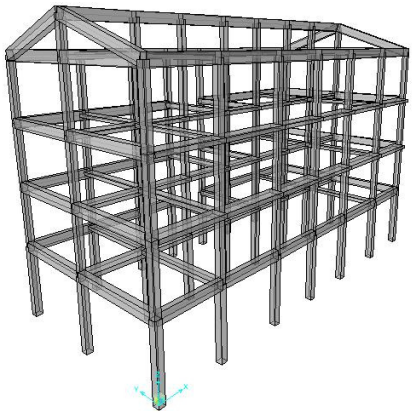
EDIFICIO DI BONEFRO:
SOLAIO “RIGIDO”
SENZA TAMPONEMENTI E SCALE (EI intero)

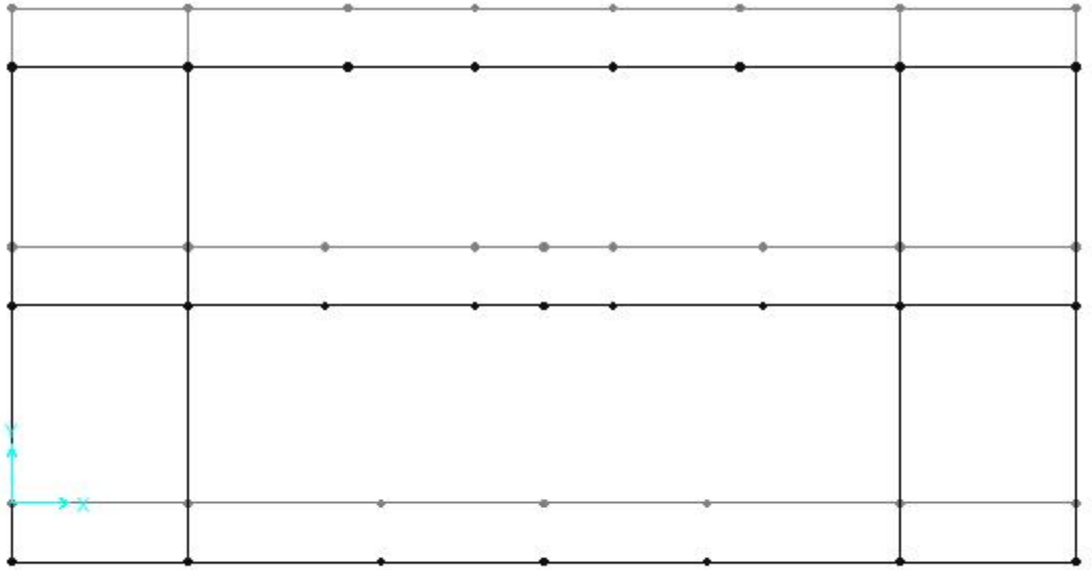
Modo	Periodo (Sec)	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
1	0,902	0,00000	0,83935	0,00000	0,00000	0,83935	0,00000
2	0,685	0,27868	0,00000	0,57195	0,27868	0,83935	0,57195
3	0,642	0,57923	0,00000	0,29194	0,85791	0,83935	0,86389
4	0,299	0,00000	0,09731	0,00000	0,85791	0,93666	0,86389
5	0,228	0,04963	0,00000	0,05925	0,90753	0,93666	0,92314
6	0,214	0,05334	0,00000	0,03701	0,96087	0,93666	0,96015
7	0,176	0,00000	0,03990	0,00000	0,96087	0,97656	0,96015
8	0,139	0,01032	0,00000	0,02018	0,97119	0,97656	0,98033
9	0,134	0,01947	0,00000	0,00762	0,99066	0,97656	0,98795
10	0,119	0,00000	0,02071	0,00000	0,99066	0,99727	0,98795
11	0,108	1.86E-02	0,00000	0,01169	0,99068	0,99727	0,99964
12	0,106	0,00932	0,00000	3.18E-02	100,000	0,99727	0,99967

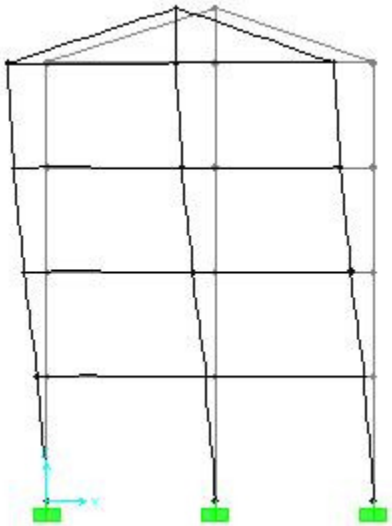
E’ FORTEMENTE CONSIGLIABILE FARE UN’ANALISI MODALE PRIMA DI UNA QUALUNQUE ANALISI NONLINEARE

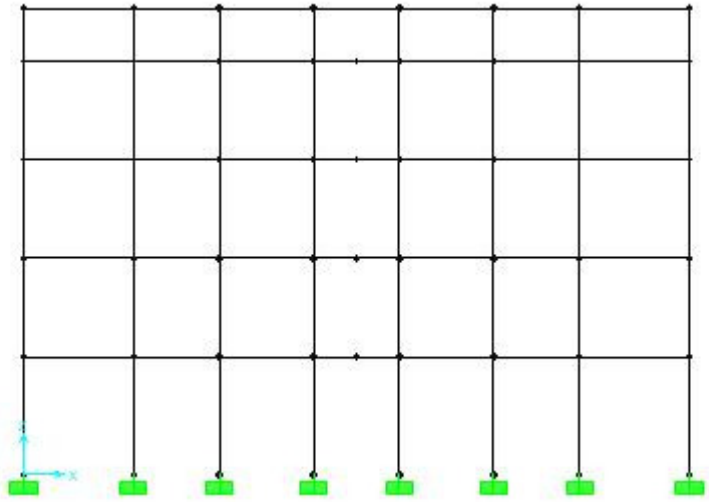
ANALISI MODALE 1

Modo	T (sec)	UX	UY
1	0,902	0,00000	0,83935



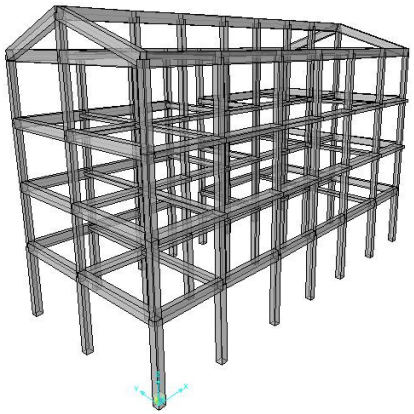


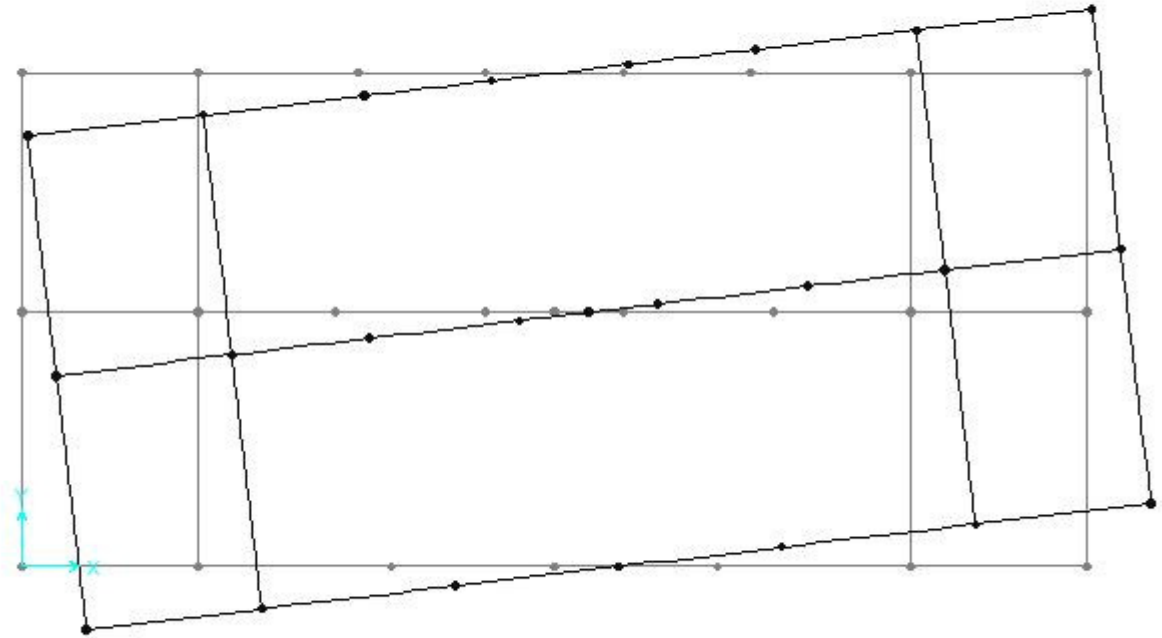


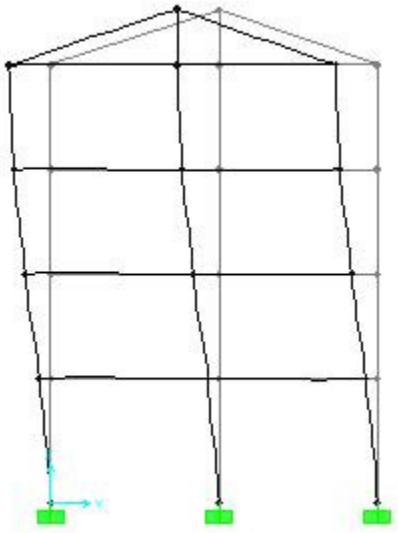


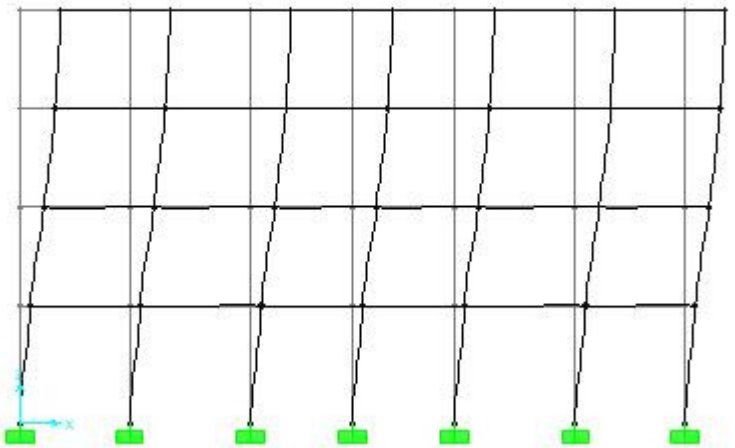
ANALISI MODALE 1

Modo	T (sec)	UX	UY
2	0,685	0,27868	0,00000



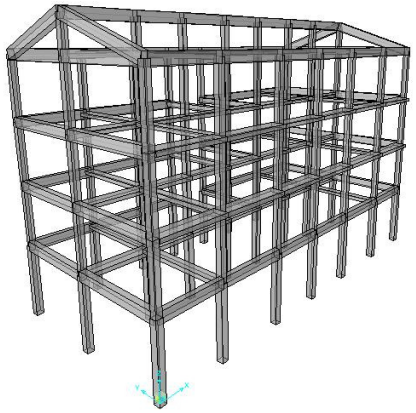


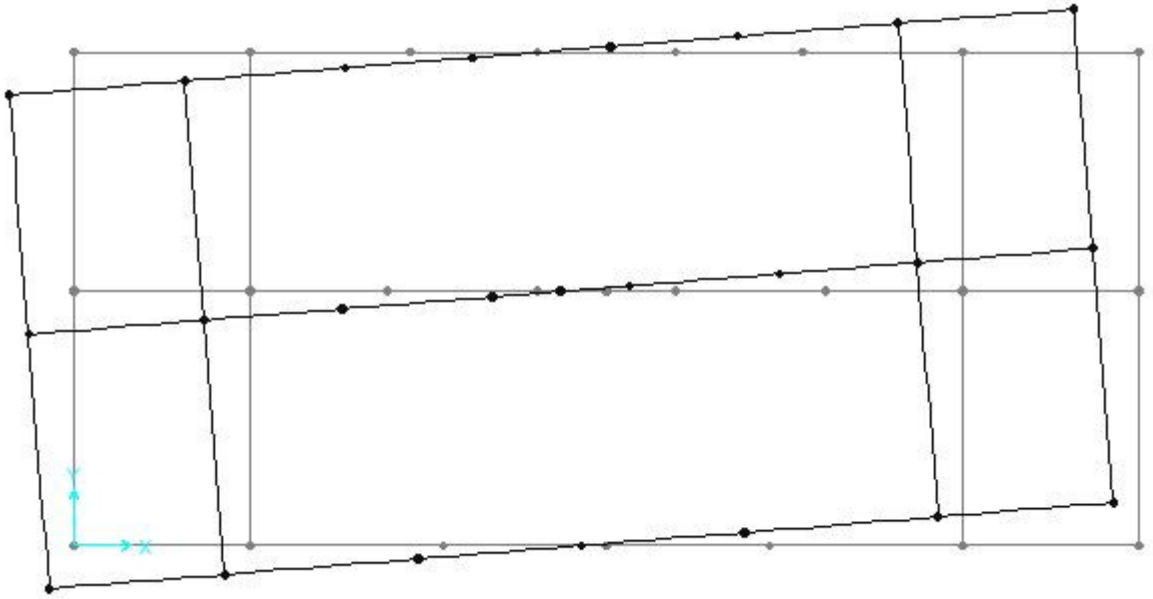


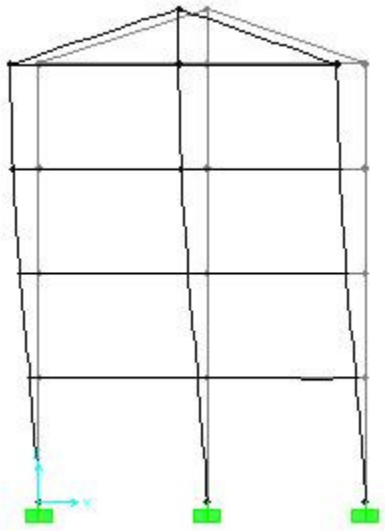


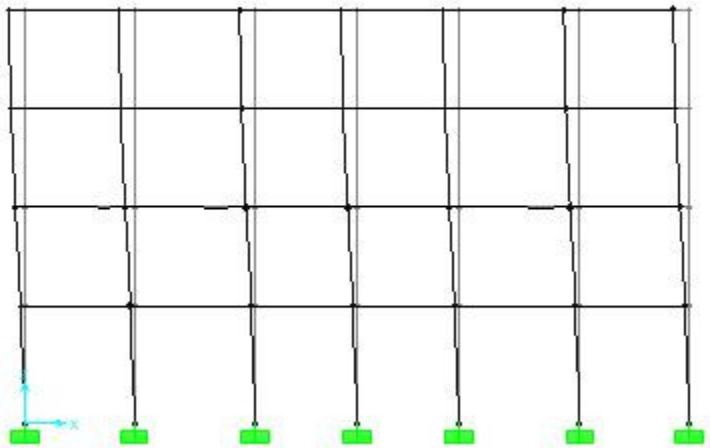
ANALISI MODALE 1

Modo	T (sec)	UX	UY
3	0,642	0,57923	0,00000



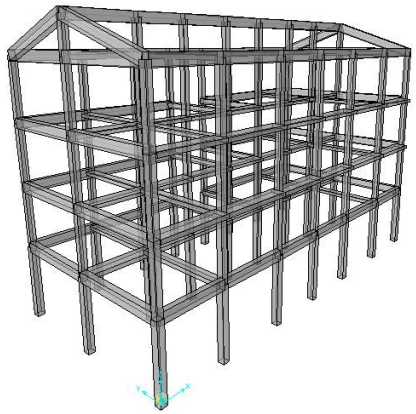


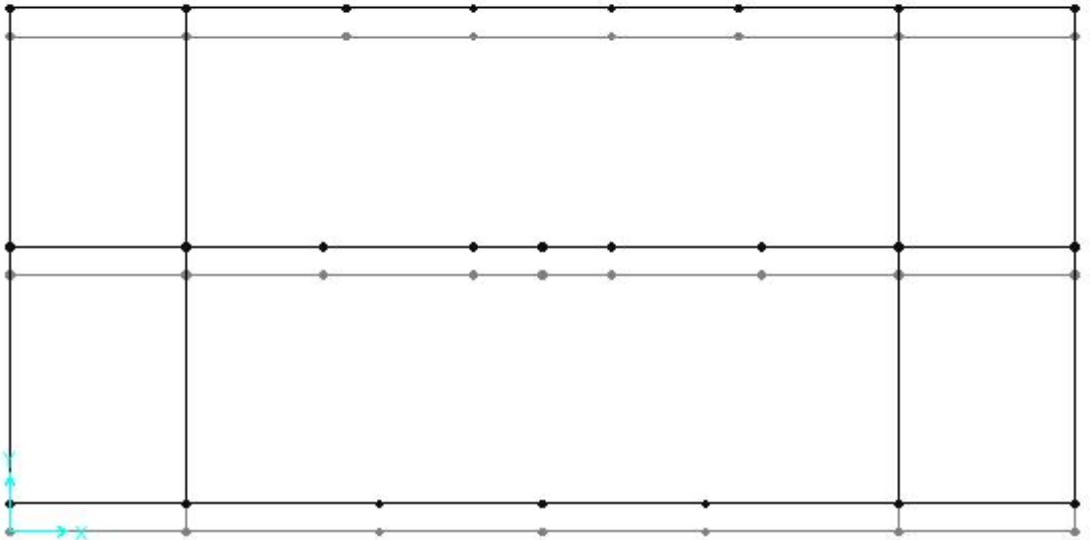


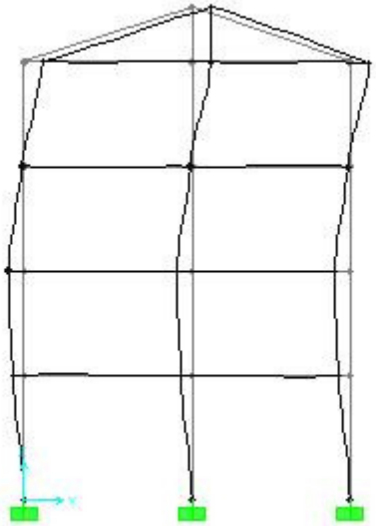


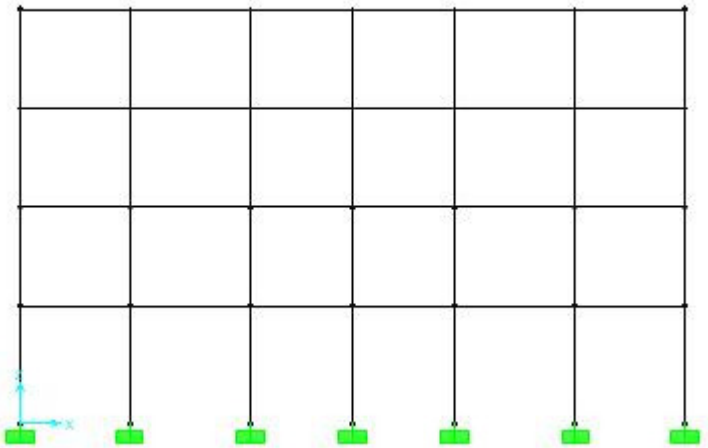
ANALISI MODALE 1

Modo	T (sec)	UX	UY
4	0,299	0,00000	0,09731



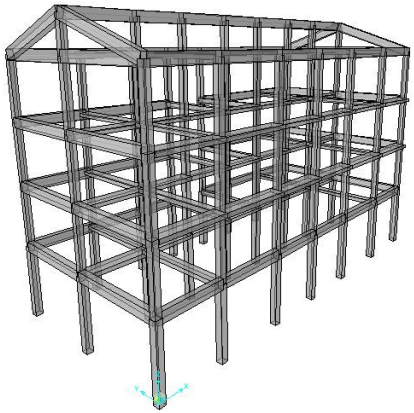


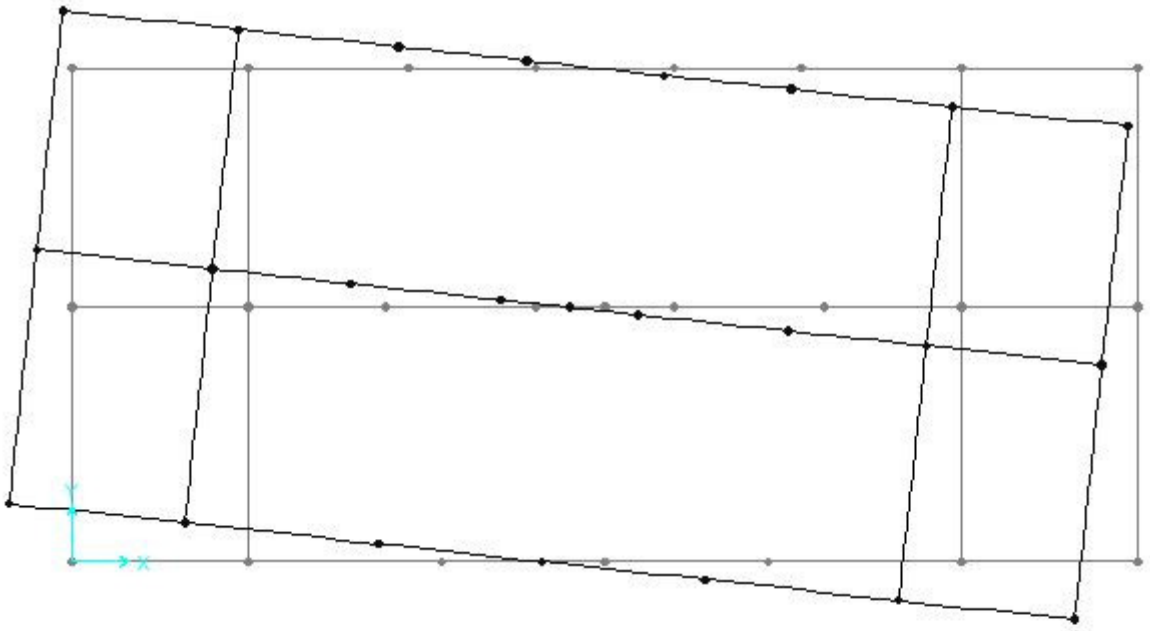


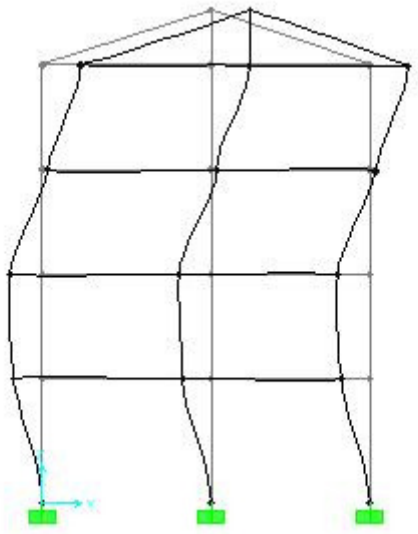


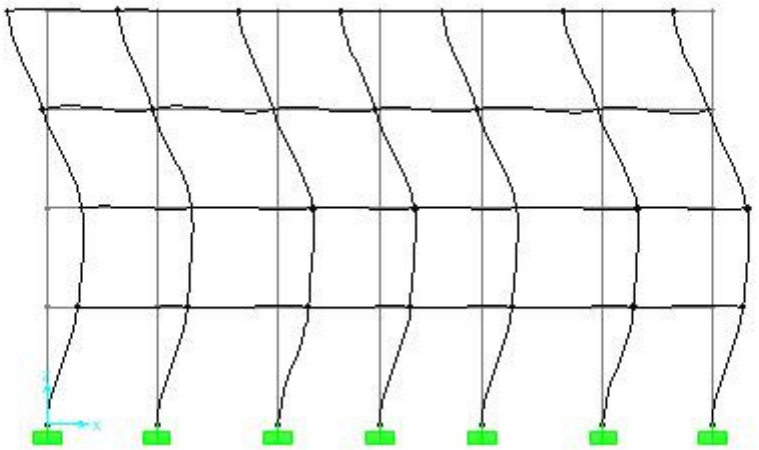
ANALISI MODALE 1

Modo	T (sec)	UX	UY
5	0,228	0,04963	0,00000



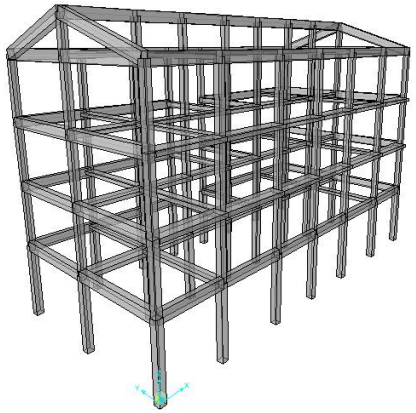


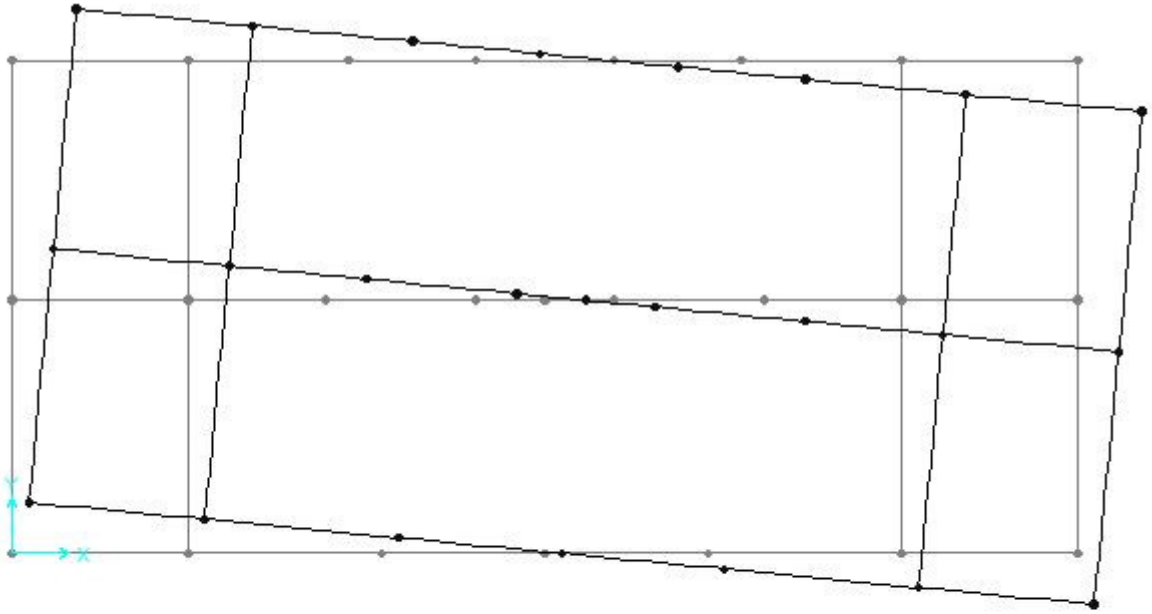


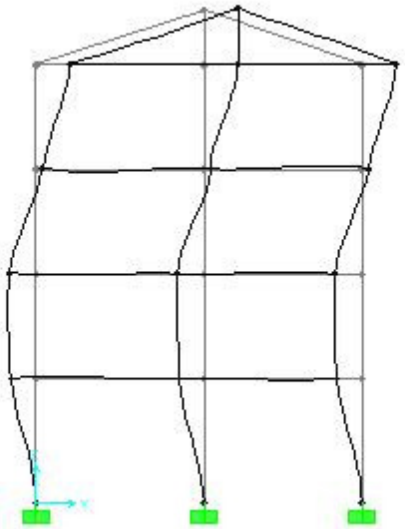


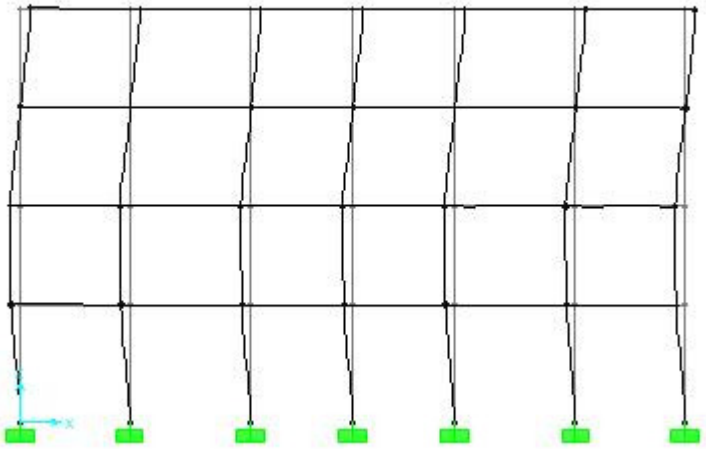
ANALISI MODALE 1

Modo	T (sec)	UX	UY
6	0,214	0,05334	0,00000



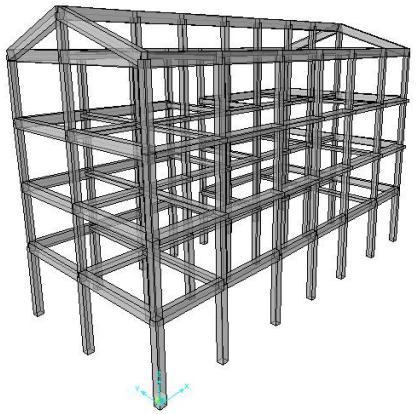


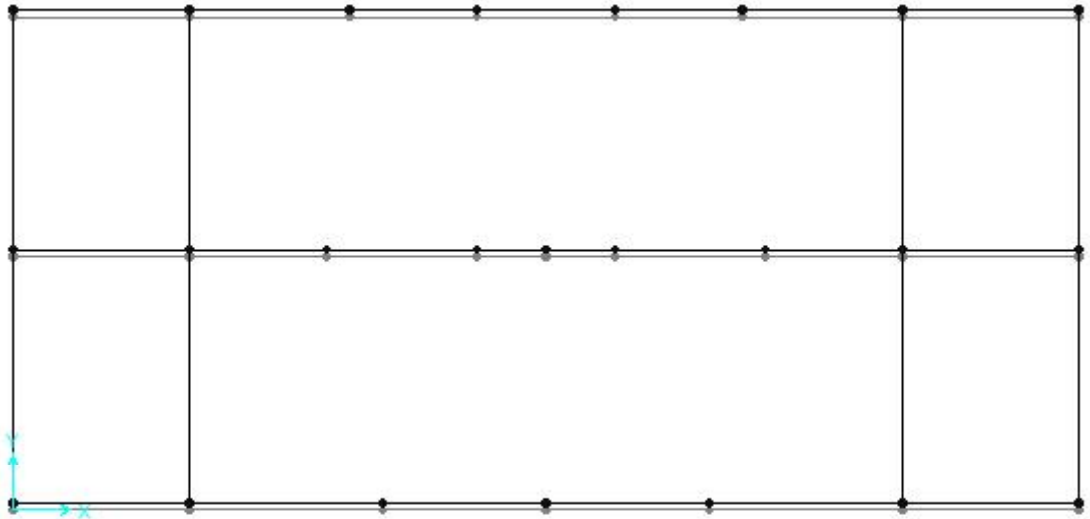


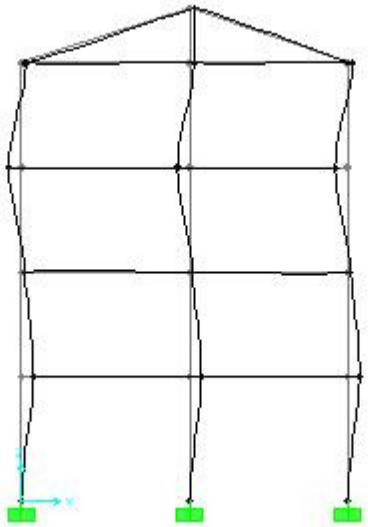


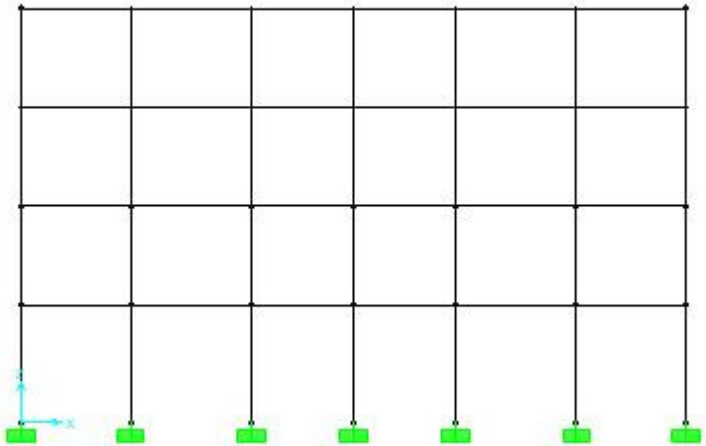
ANALISI MODALE 1

Modo	T (sec)	UX	UY
7	0,176	0,00000	0,03990



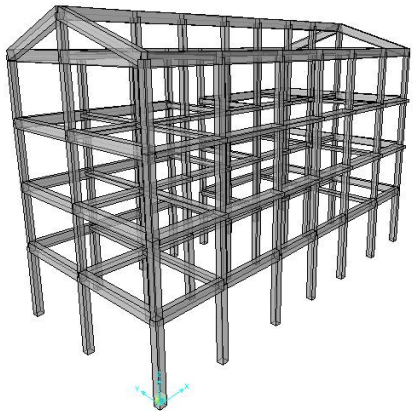


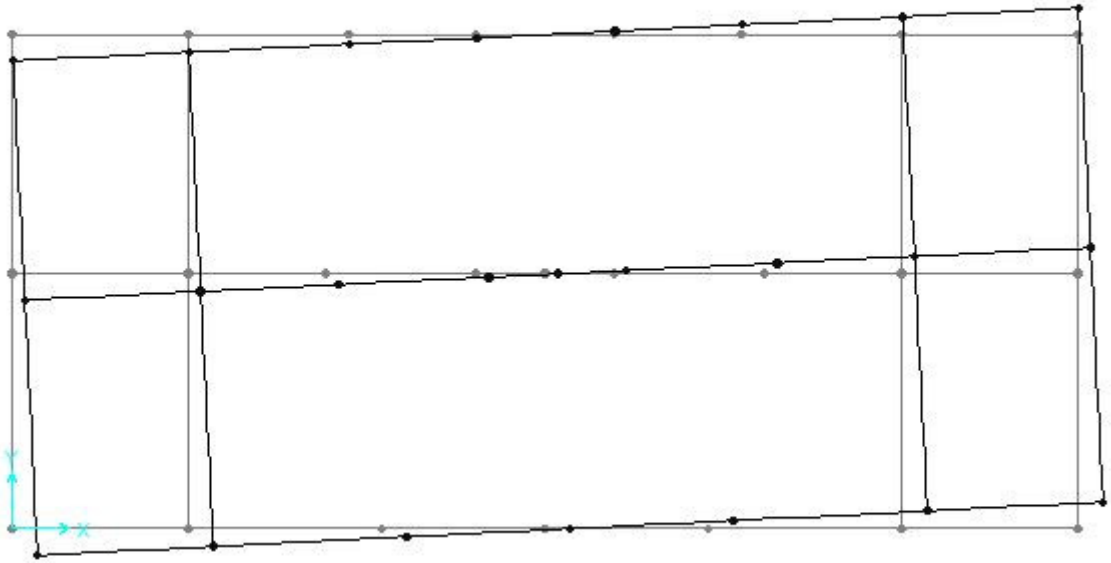


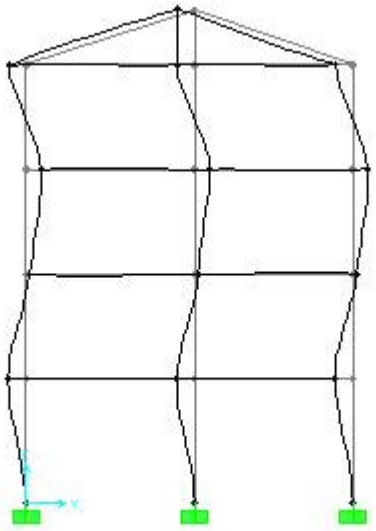


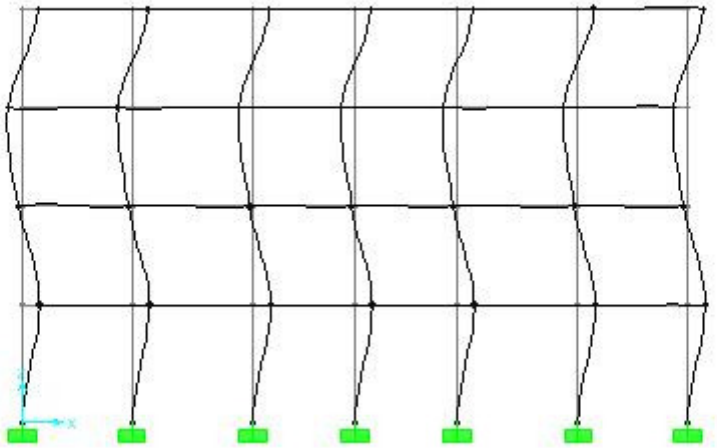
ANALISI MODALE 1

Modo	T (sec)	UX	UY
8	0,139	0,01032	0,00000



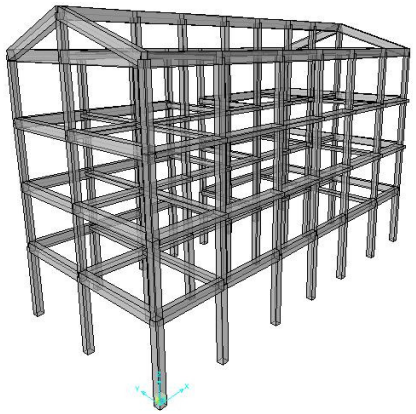


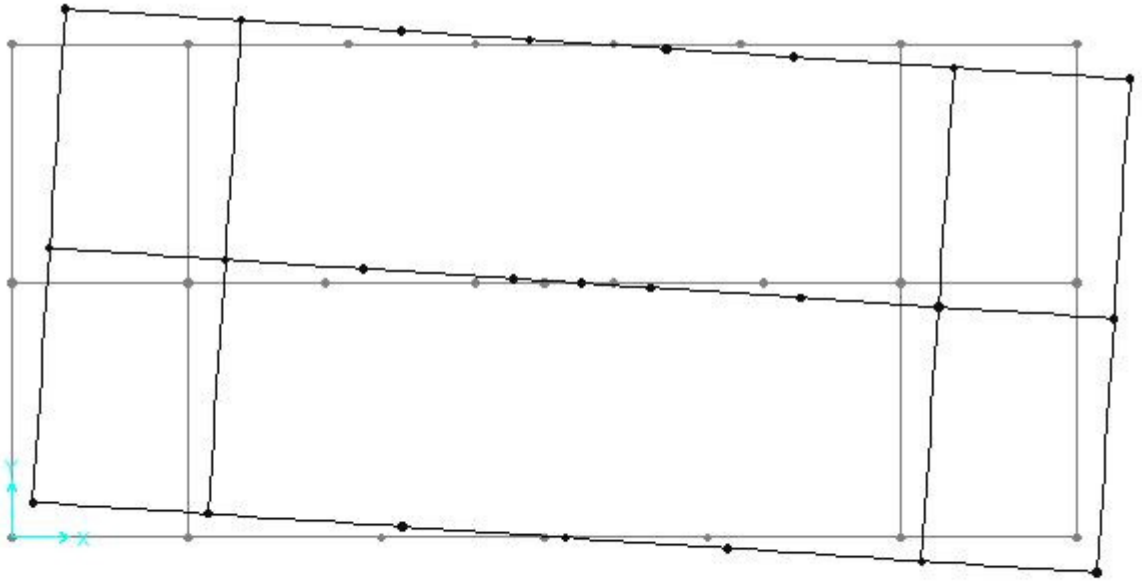


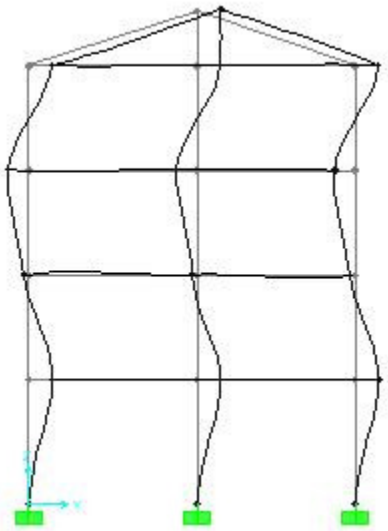


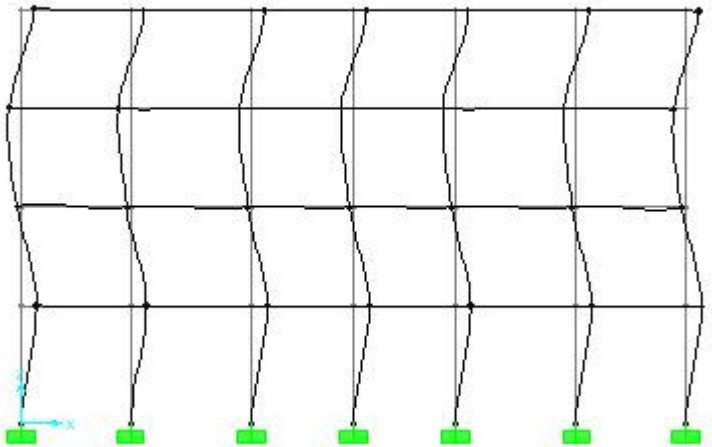
ANALISI MODALE 1

Modo	T (sec)	UX	UY
9	0,134	0,01947	0,00000



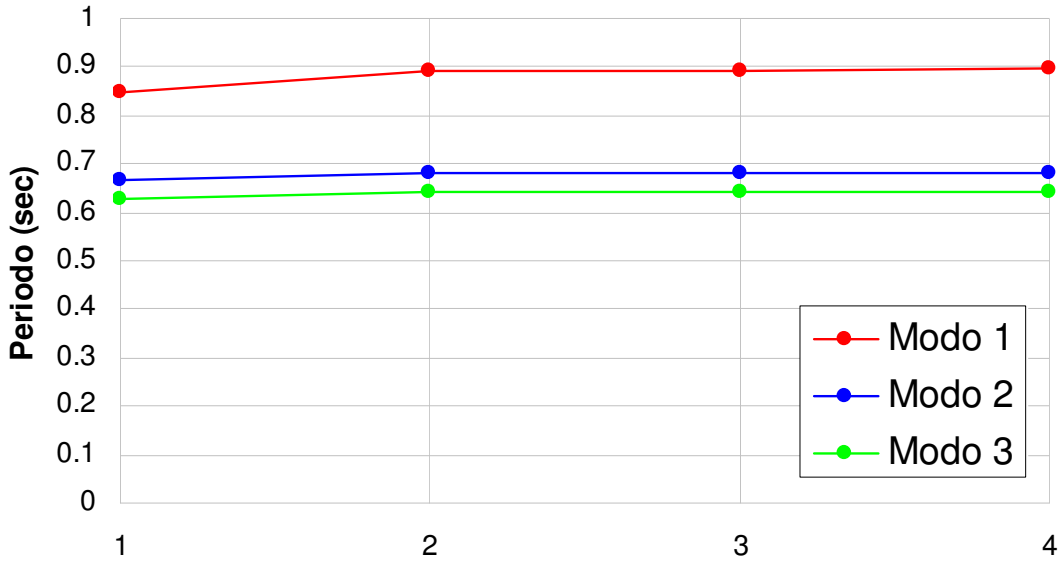


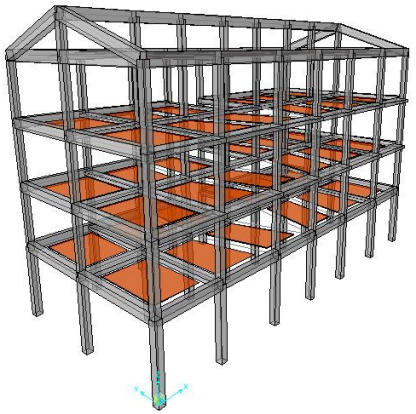




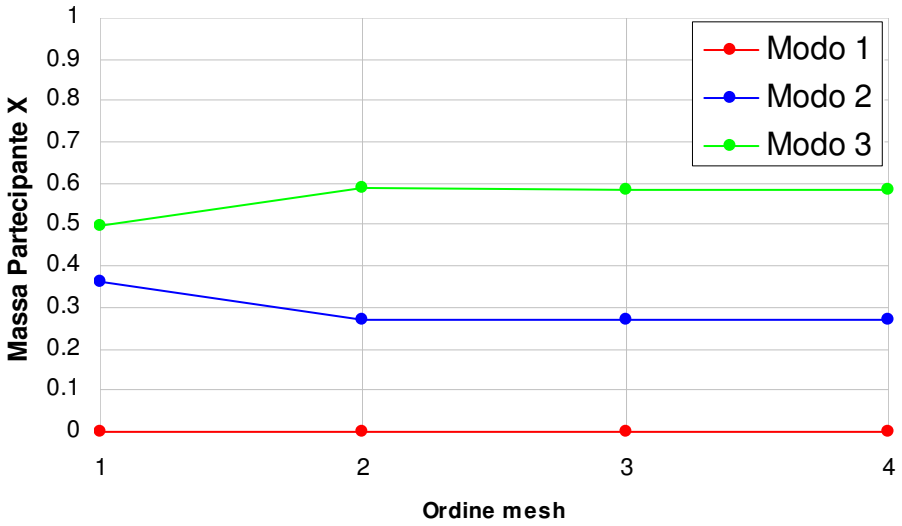
ANALISI MODALE 2

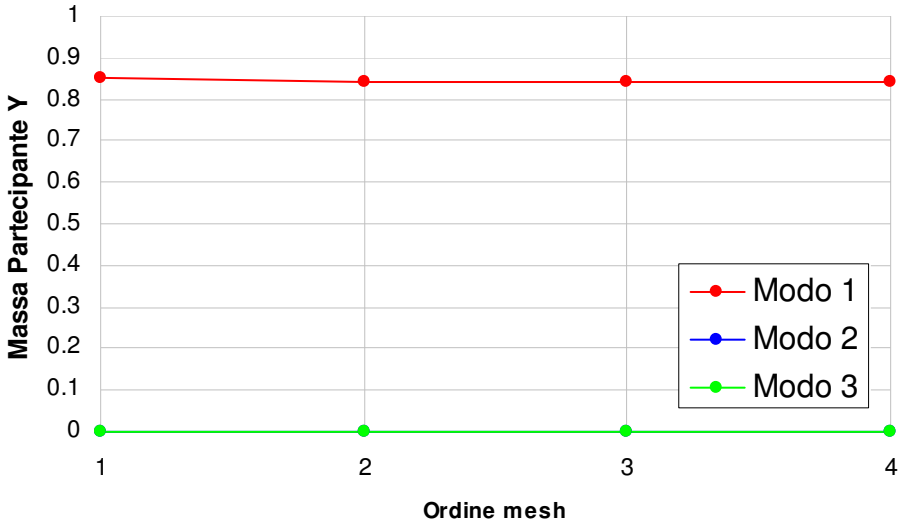
EDIFICIO DI BONEFRO:
SOLAIO **NON** "RIGIDO"
SENZA TAMPONEMENTI E SCALE (EI intero)



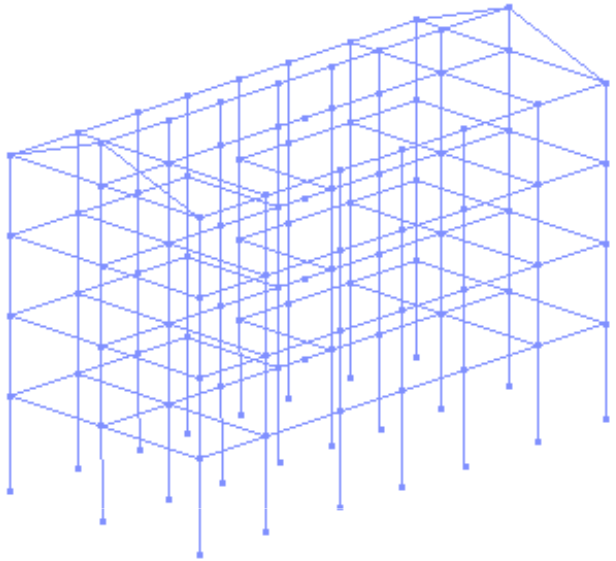


EFFETTO DISCRETIZZAZIONE SOLAIO





MODELLO NON LINEARE DELLA STRUTTURA

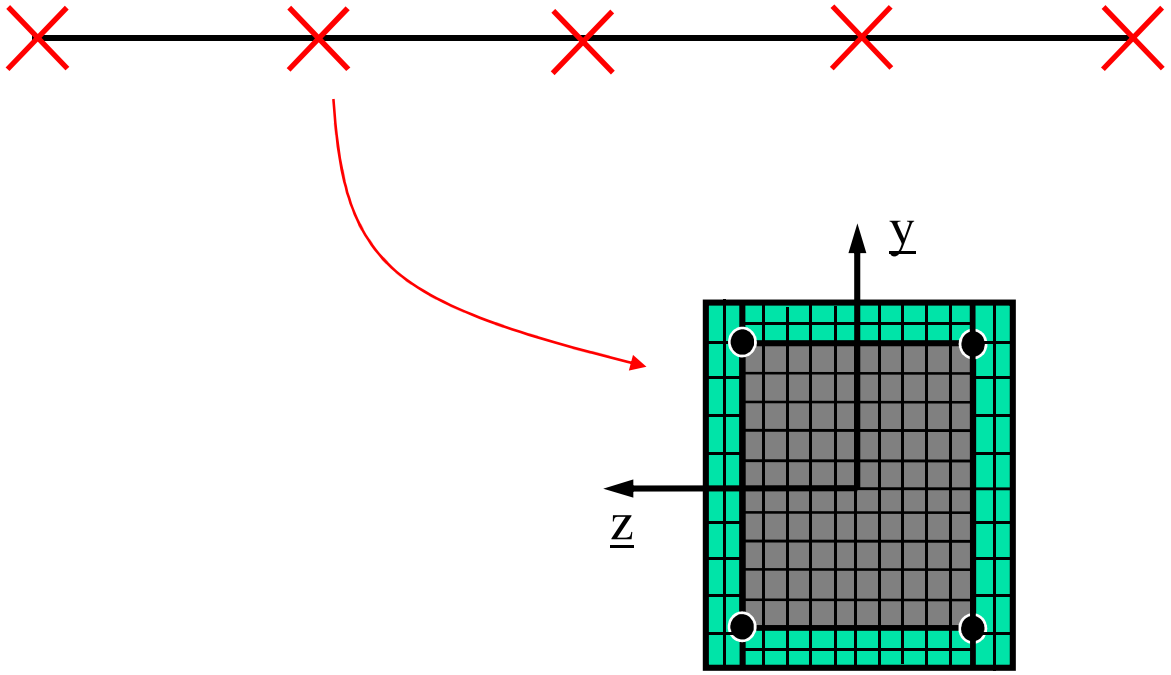


a) costruire il modello è la parte più importante ed impegnativa
b) un elemento “frame” in forza/trave o pilastro
c) elemento “frame” a plasticità distribuita
d) punti di integrazione (sezioni) a fibre
e) leggi costitutive materiali
f) stesso modello sia per pushover che per TH
g) diaframma di piano rigido
h) masse distribuite
i) scala al momento non inclusa

MODELLO NON LINEARE DELLA STRUTTURA

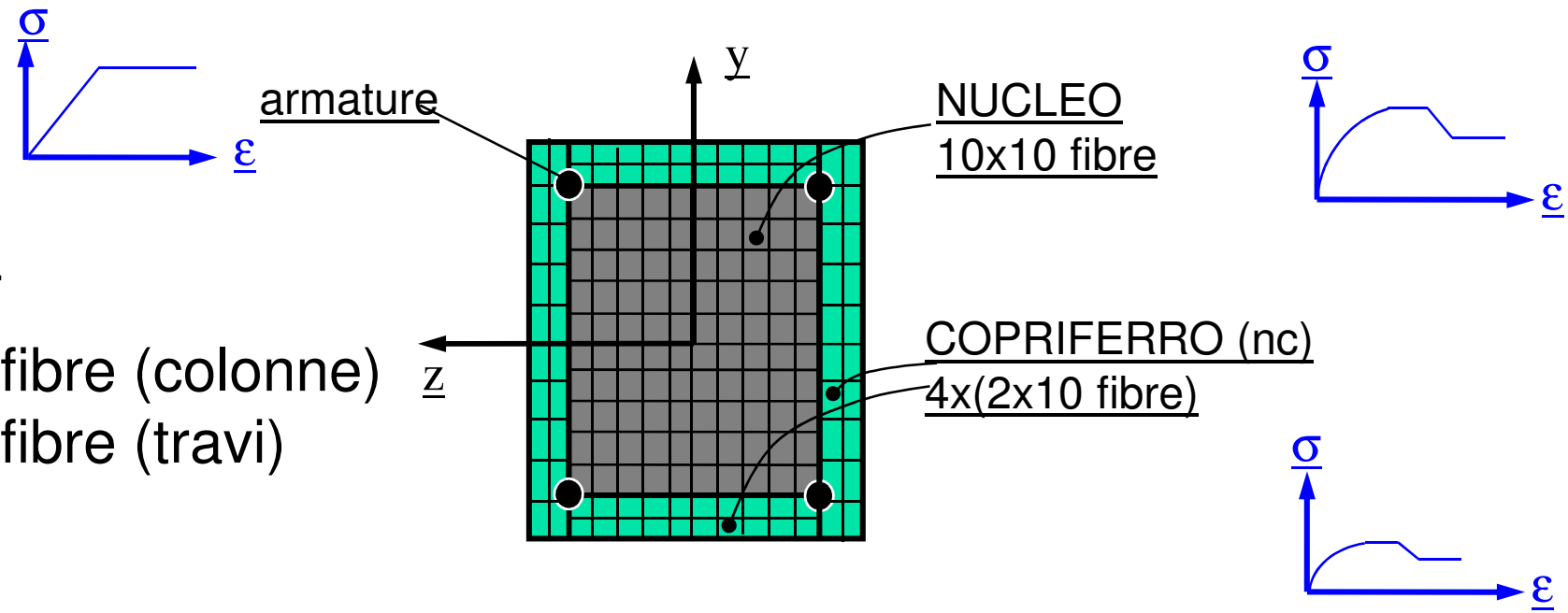
1) Elementi in forze

- ✓ 5 punti di Integrazione di Gauss-Lobatto
- ✓ Sezioni a fibre



MODELLO NON LINEARE DELLA STRUTTURA

Modello NL a fibre

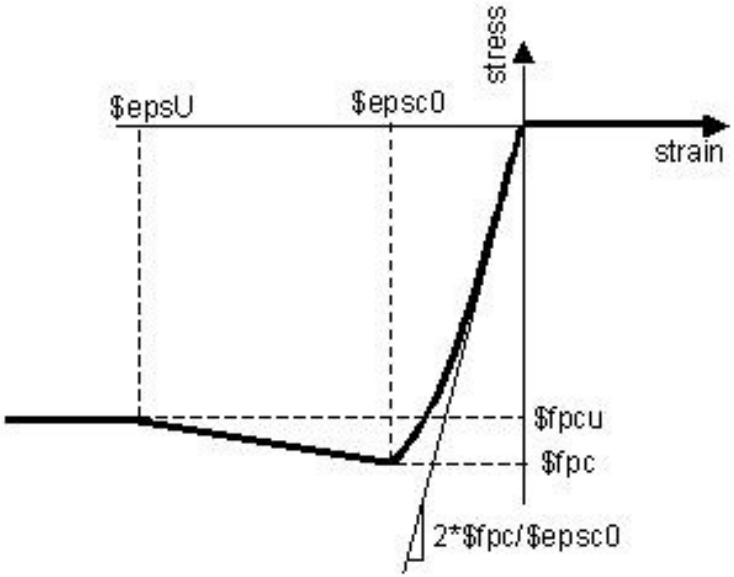


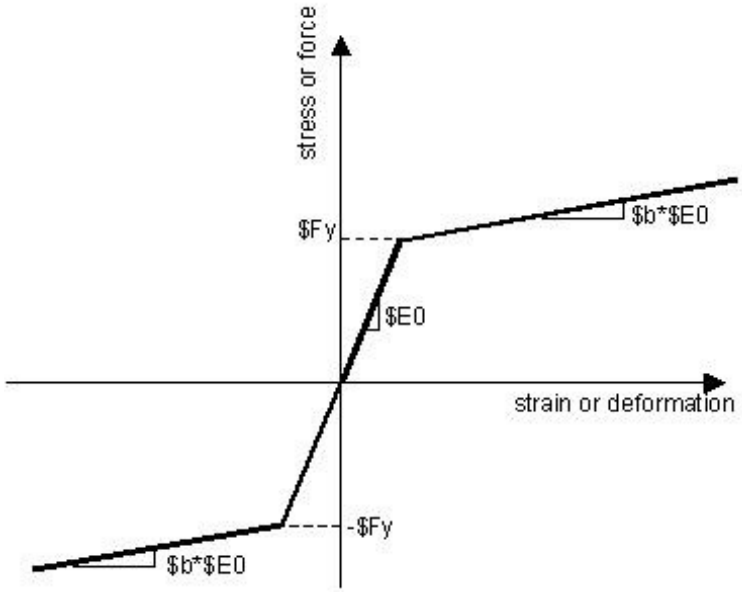
TOT
184 fibre (colonne)
320 fibre (travi)

Cls del nucleo: modello di confinamento di Kent-Scott-Park

MODELLO NON LINEARE DELLA STRUTTURA

Leggi costitutive dei materiali

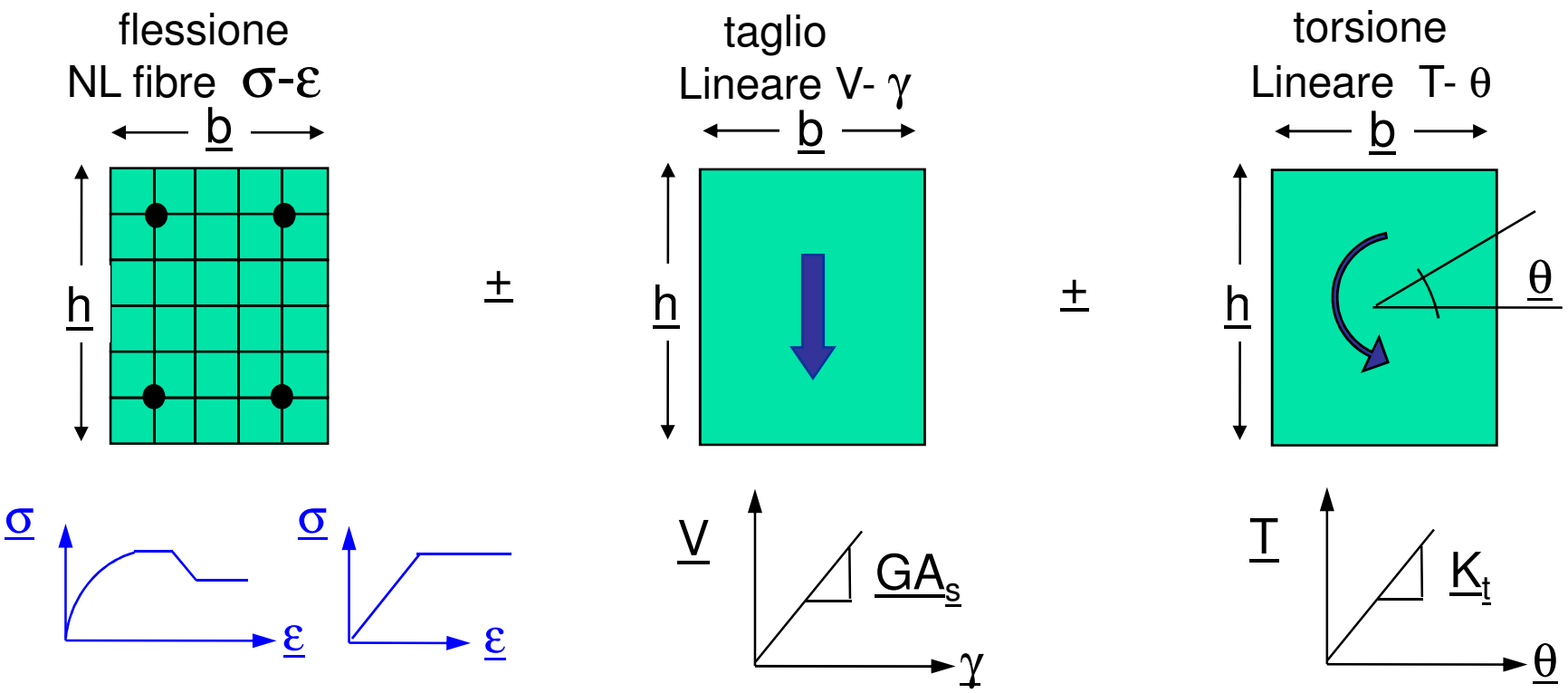




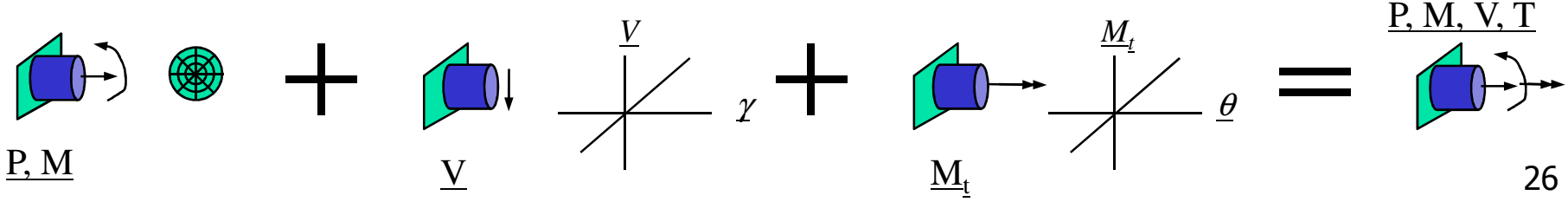

```
#                                   $fpc   $epsc0   $fpcu    $epscu
uniaxialMaterial Concrete01  1    -30     -0.002     -6        -0.01
uniaxialMaterial Concrete01  2    -25     -0.002      0        -0.005

#                                tag   fy          E0          b
uniaxialMaterial Steel01     3    340      210000      0.01
```

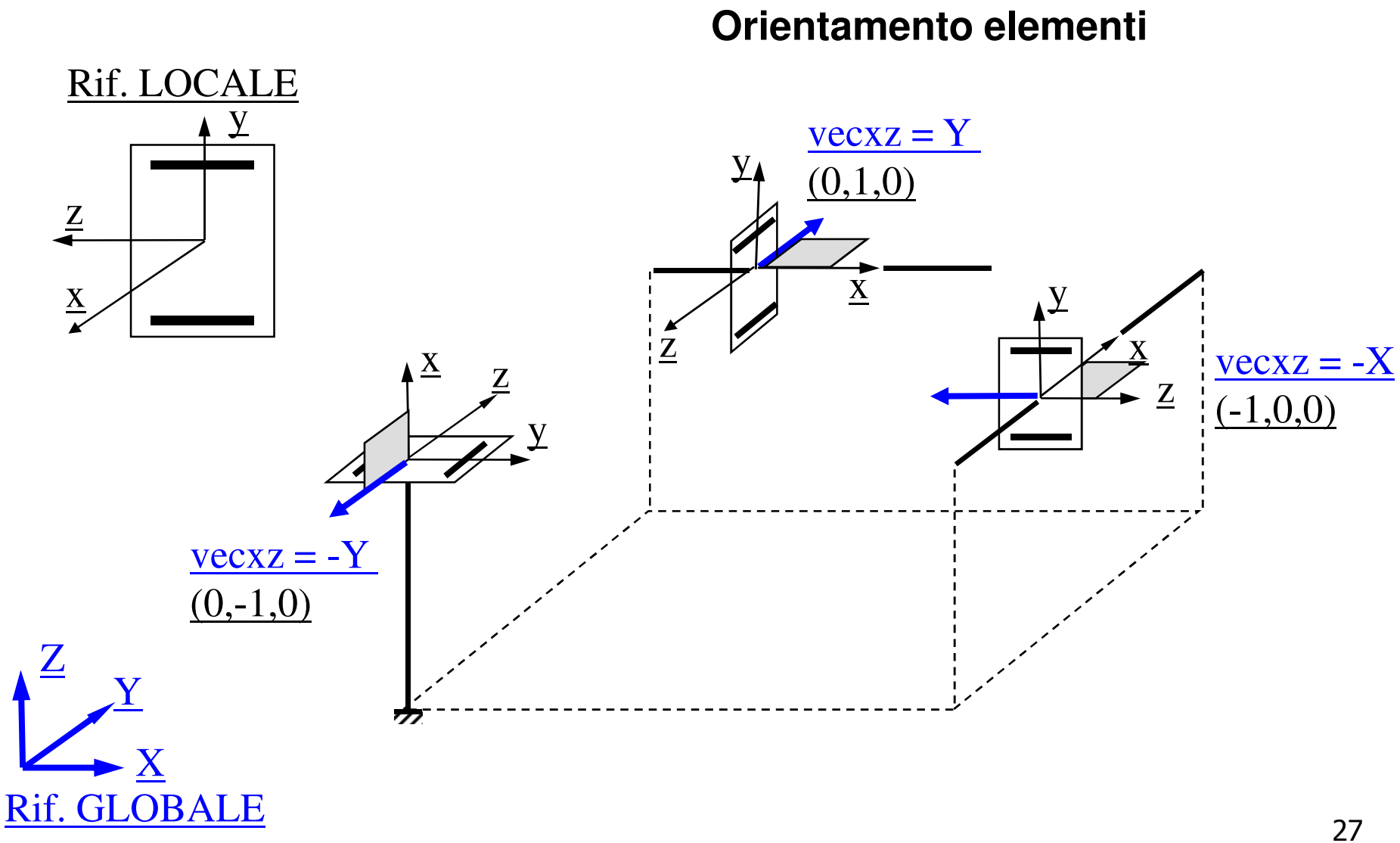
MODELLO NON LINEARE DELLA STRUTTURA



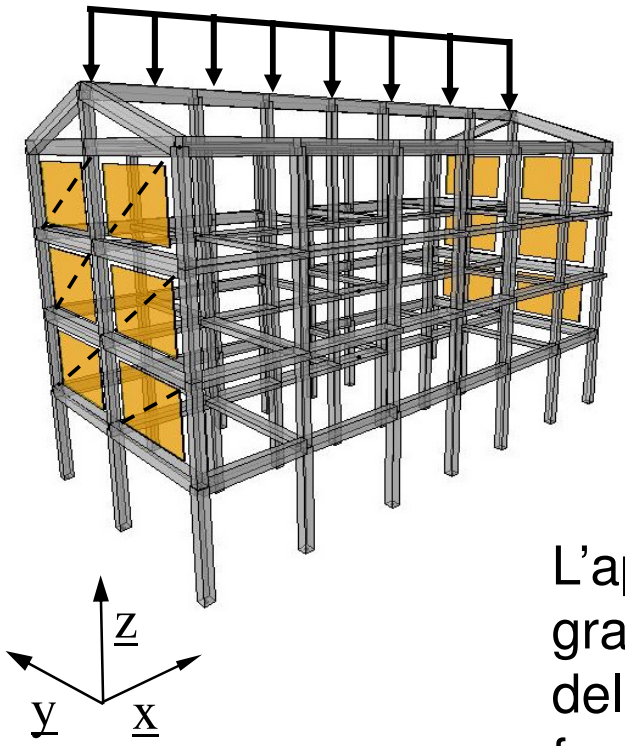
$$K_T = \frac{GJ}{L} = \frac{Gc_2hb^3}{L} \qquad (h > b)$$



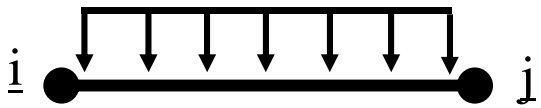
MODELLO NON LINEARE DELLA STRUTTURA



APPLICAZIONE DEI CARICHI NON SISMICI



$$G_k + P_k + \sum_i (\psi_{2i} Q_{ki})$$



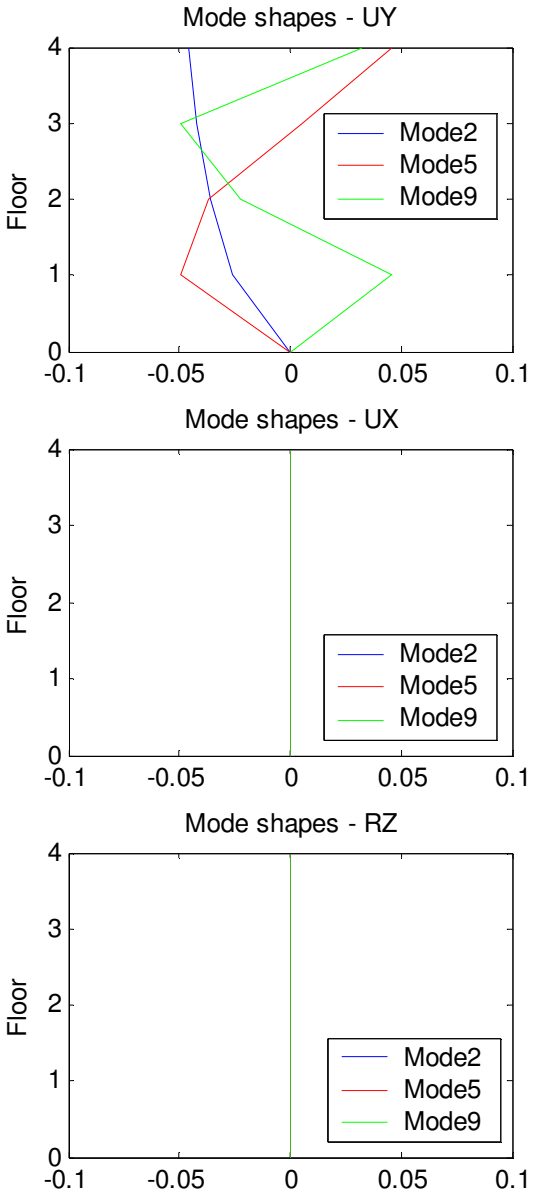
Travi: carichi verticali uniformemente distribuiti

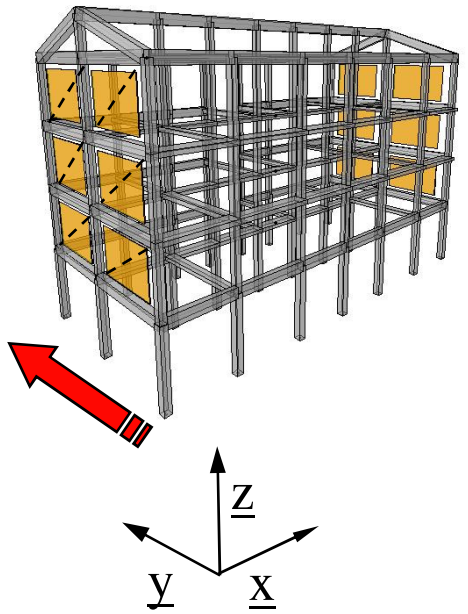
L'applicazione dei carichi gravitazionali cambia le caratteristiche della struttura, in particolare le travi si fessurano. A questo punto si consiglia un'analisi modale (confrontare con analisi modale su modello elastico)

APPLICAZIONE DEI CARICHI NON SISMICI

Periodi modali prima e dopo l'applicazione dei carichi gravitazionali

Mode	T_{in} (sec)	T_{fin} (sec)	ΔT
1	0,765	0,872	14%
2	**0,630**	**0,668**	**6%**
3	0,527	0,557	6%
4	0,249	0,282	13%
5	**0,183**	**0,190**	**4%**
6	0,146	0,161	10%
7	0,143	0,148	3%
8	0,109	0,114	5%
9	**0,099**	**0,102**	**3%**
10	0,078	0,080	2%
11	0,072	0,074	2%
12	0,058	0,059	2%

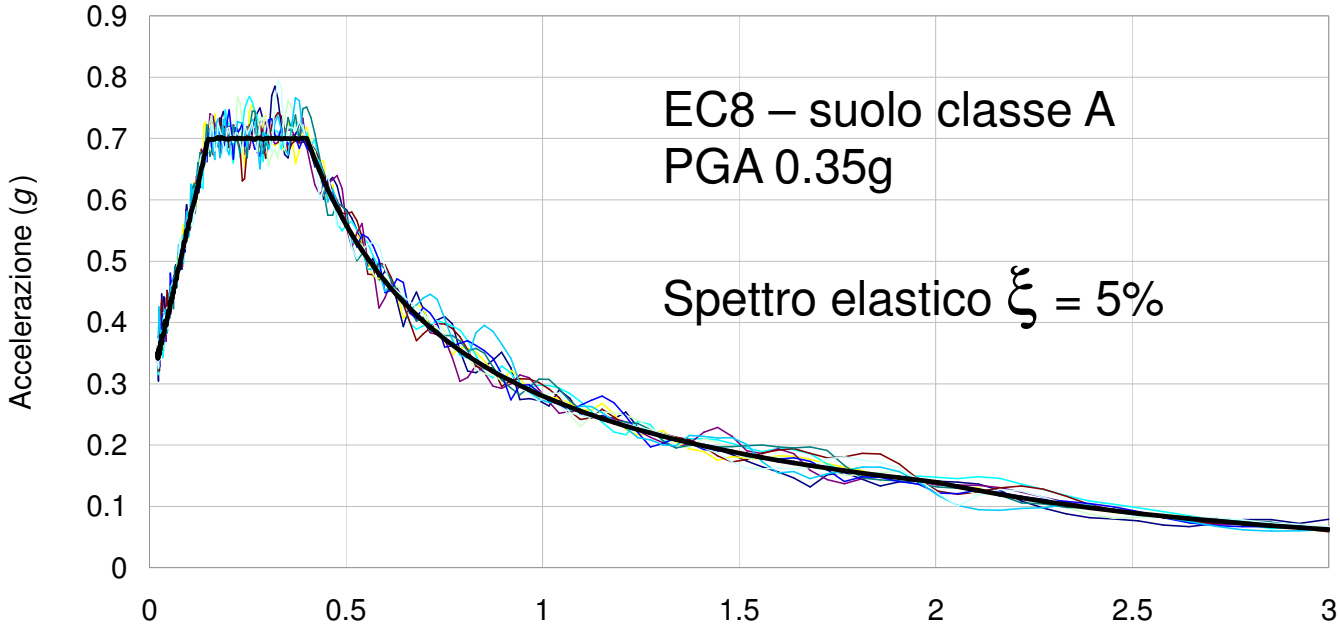


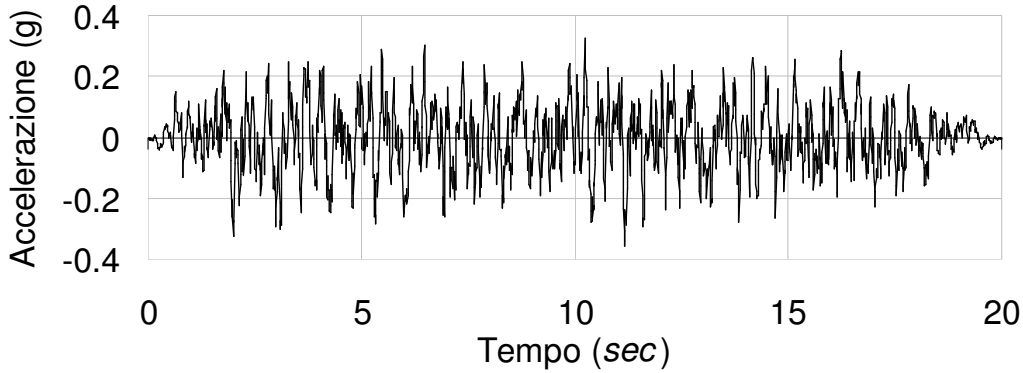


ANALISI TIME HISTORY

EDIFICIO DI BONEFRO

10 accelerogrammi generati con SIMQKE (pesante x la struttura, ok perché stiamo testando il metodo): discussione ancora aperta su come generare terremoti





ANALISI TIME HISTORY

Discussione ancora aperta su quali accelerogrammi usare:

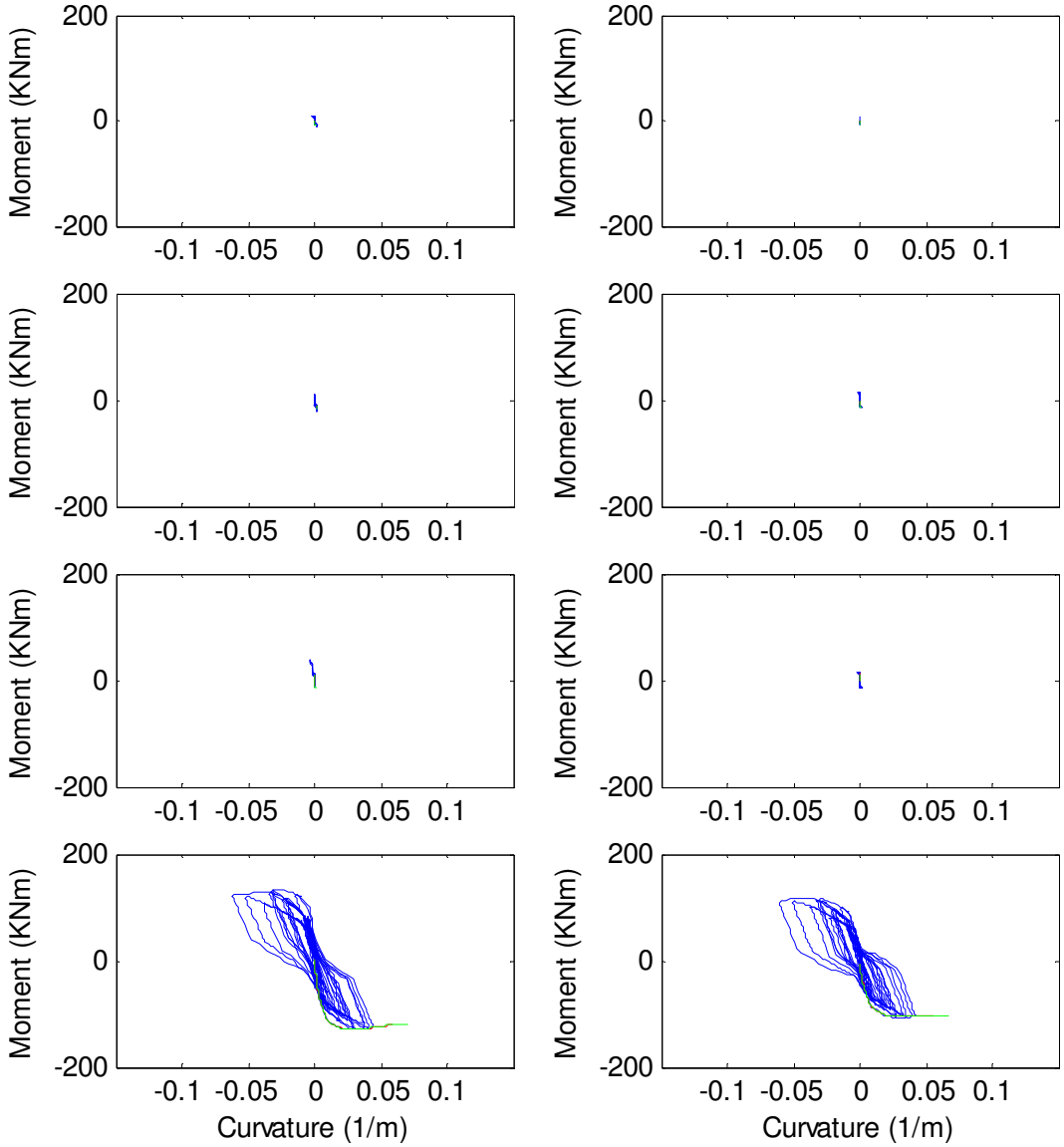
- Naturali, Artificiali, Generati?
- Ma sono veramente naturali, free-field?
- Come sceglierli
- I programmi disponibili generano accelerogrammi realistici?
- Fra poco saranno disponibili in Italia un database di accelerogrammi naturali e delle linee guide per la generazione di accelerogrammi (www.reluis.unina.it)
- Al momento alcuni “esperti” consigliano accelerogrammi generati per testare i metodi (ricerca) mentre per la verifica di edifici consigliano terremoti naturali (meno gravosi sulla struttura)

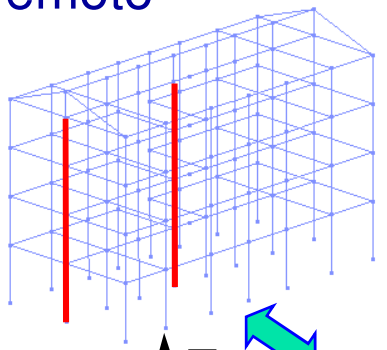
Smorzamento viscoso 3% nei modi 1 e 6 (ragionevole?)

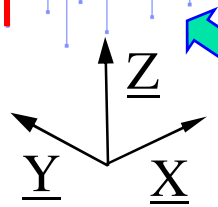
ANALISI TIME HISTORY

Telaio con tamponamenti

Singolo terremoto



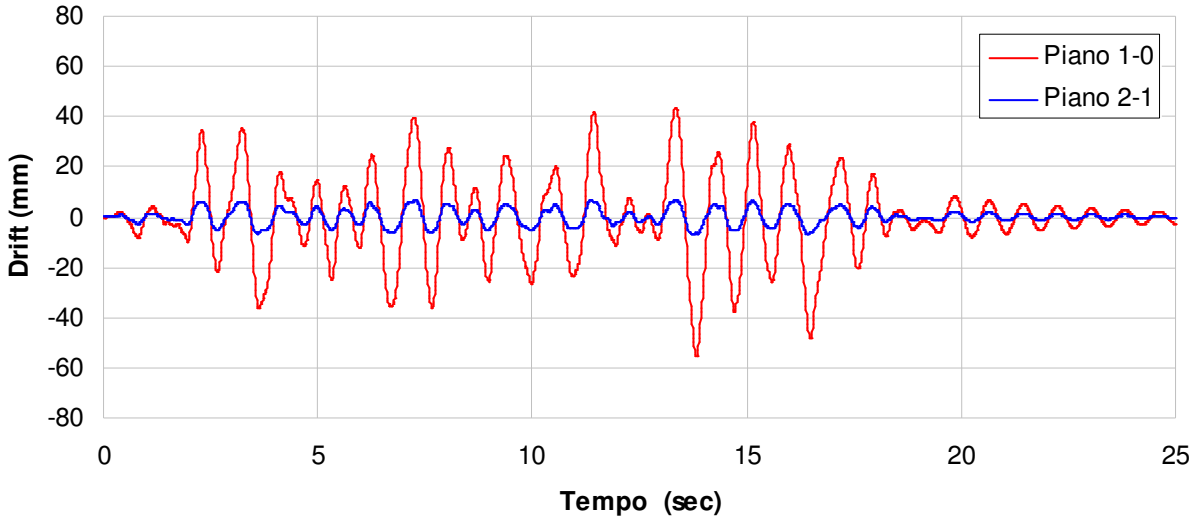


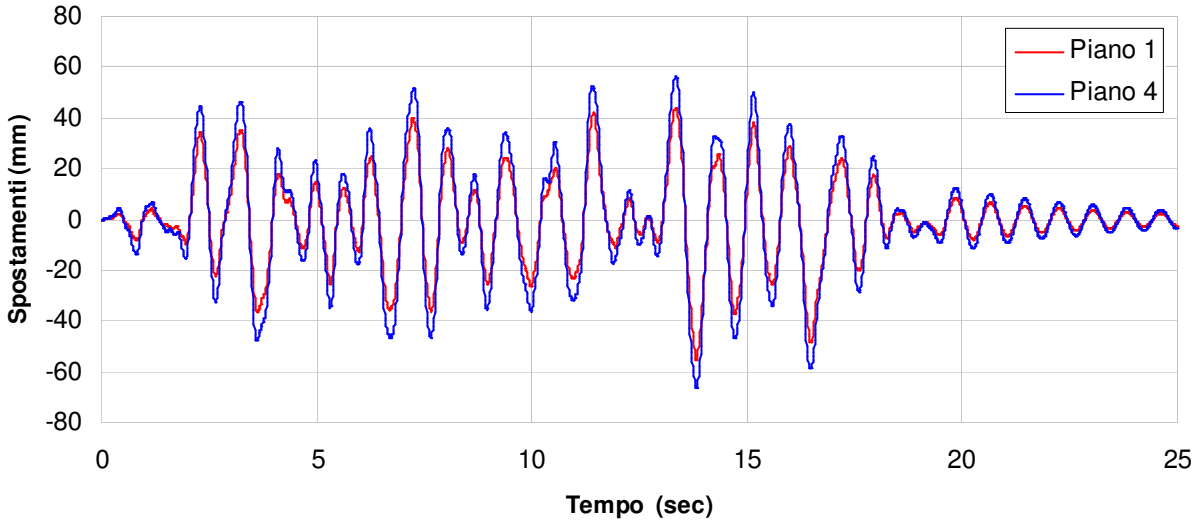


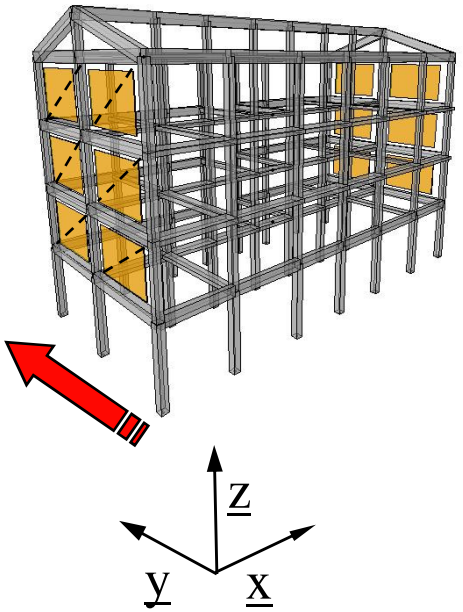
Colonne
1008
1011

ANALISI TIME HISTORY

Telaio con tamponamenti
Singolo terremoto







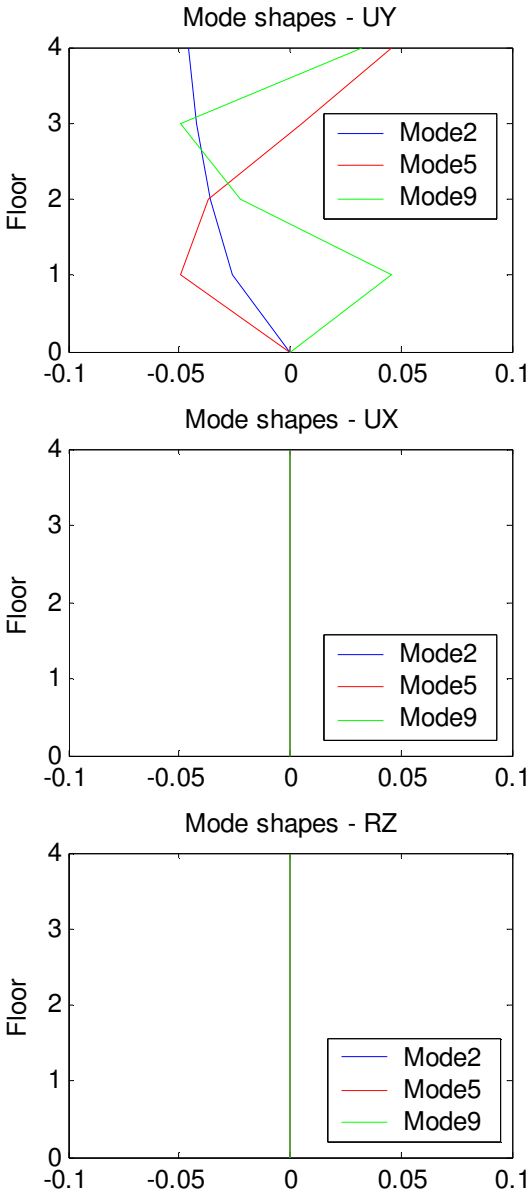
Non vi è spostamento residuo nonostante la plasticizzazione delle colonne a piano terra. Dipende dai materiali usati!

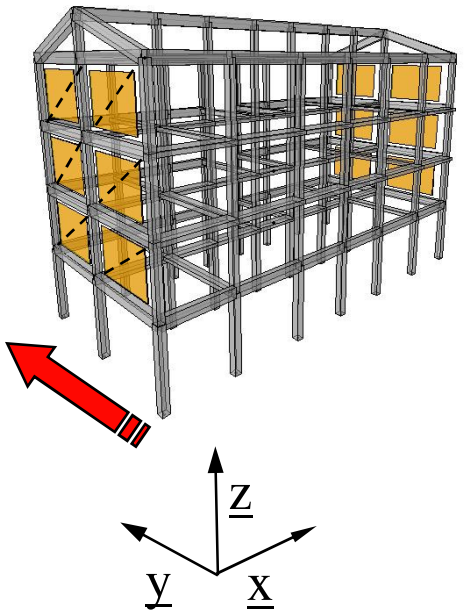
PUSHOVER E TIME HISTORY

Telaio con tamponamenti

Periodi modali prima e dopo l'applicazione dei carichi gravitazionali

Mode	T_{in} (sec)	T_{fin} (sec)	ΔT
1	0,765	0,872	14%
2	**0,630**	**0,668**	**6%**
3	0,527	0,557	6%
4	0,249	0,282	13%
5	**0,183**	**0,190**	**4%**
6	0,146	0,161	10%
7	0,143	0,148	3%
8	0,109	0,114	5%
9	**0,099**	**0,102**	**3%**
10	0,078	0,080	2%
11	0,072	0,074	2%
12	0,058	0,059	2%

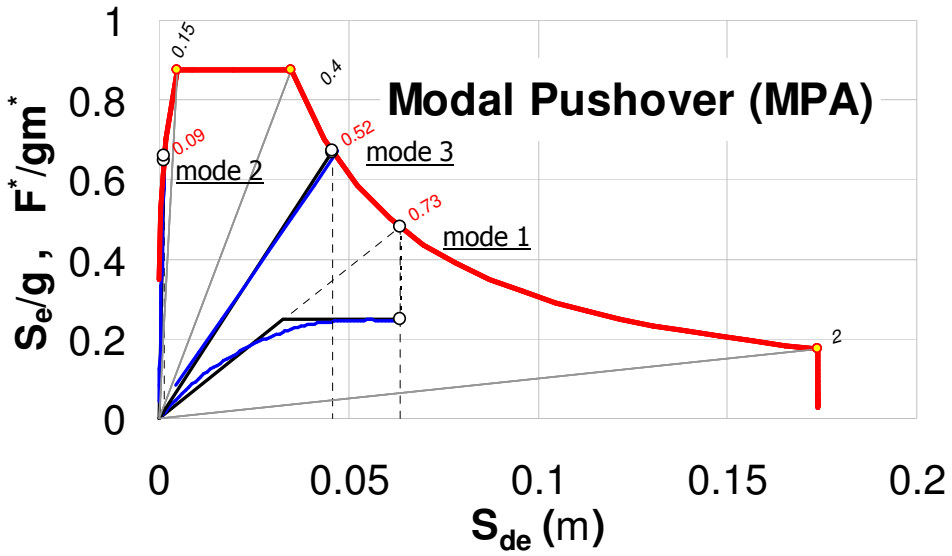


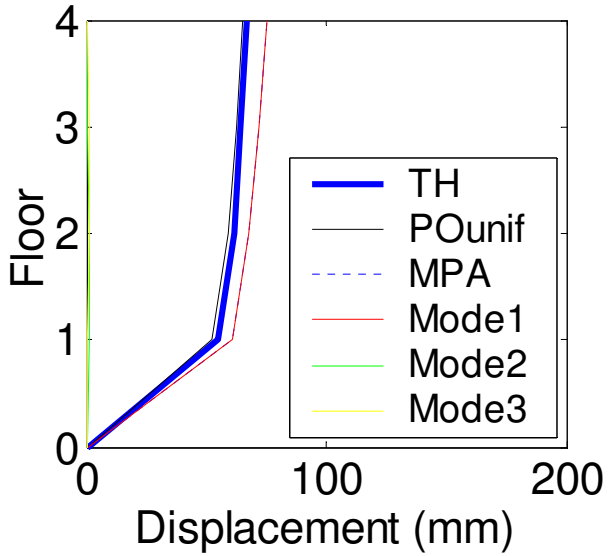


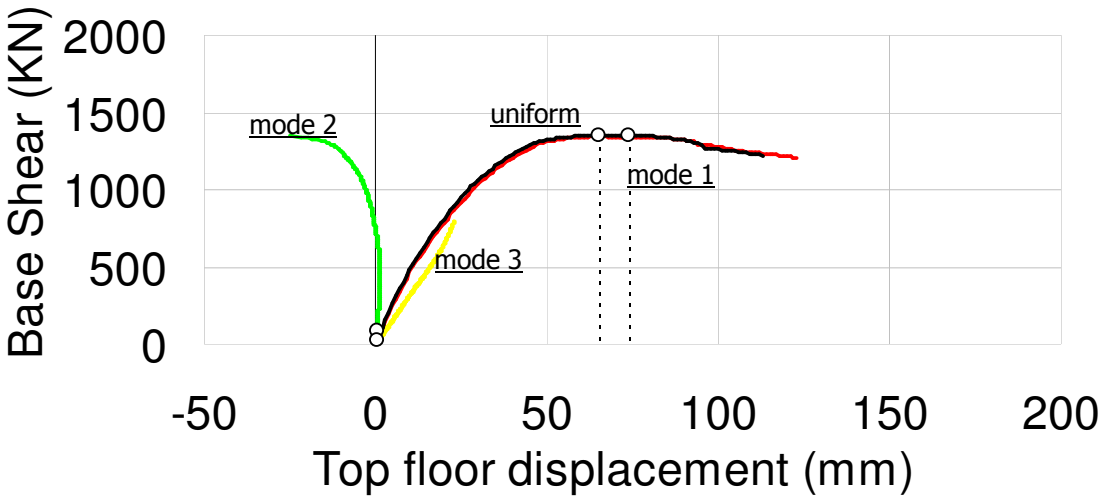
PUSHOVER E TIME HISTORY

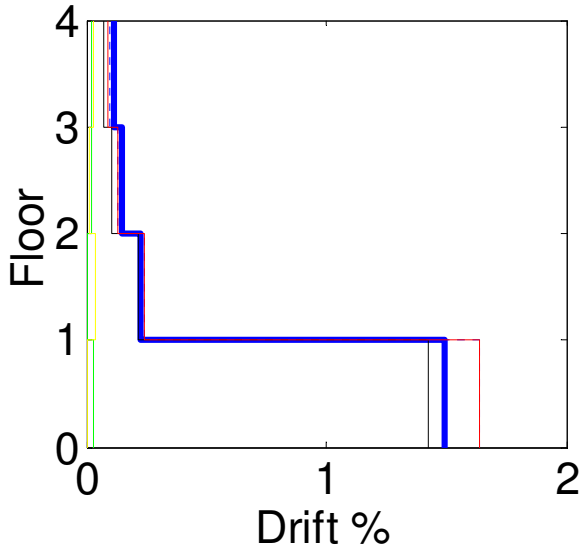
Telaio con tamponamenti

Singolo terremoto









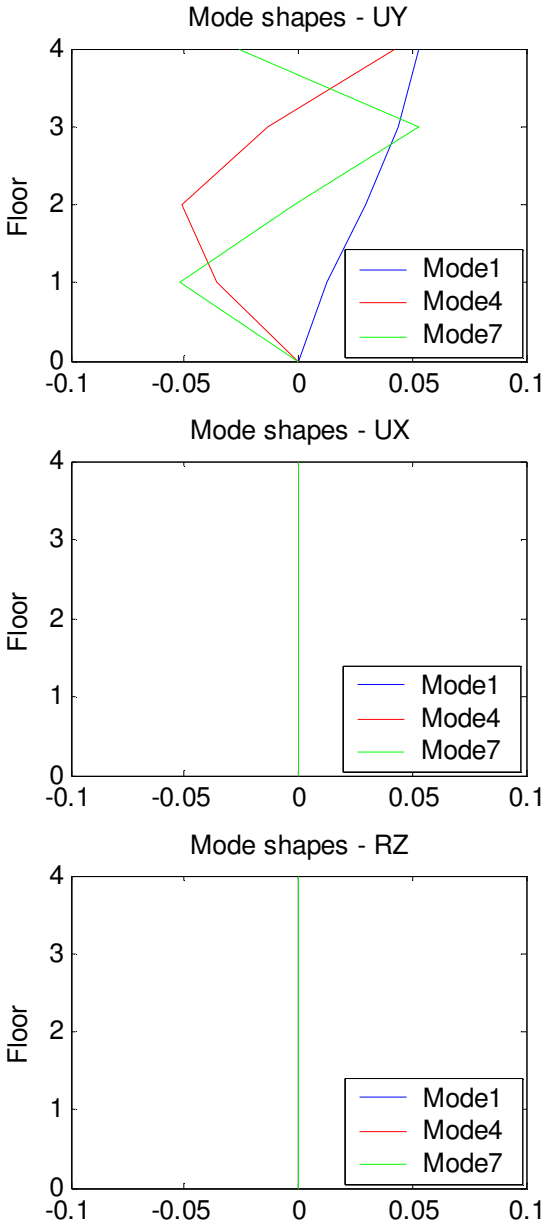
Analisi TH con un solo terremoto: non significativa!

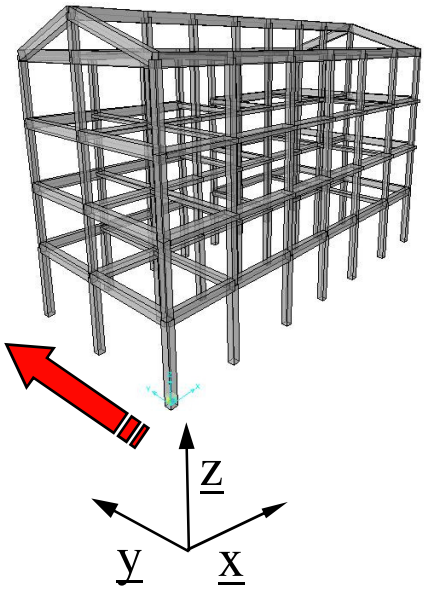
PUSHOVER E TIME HISTORY

Telaio senza tamponamenti

Periodi modali prima e dopo l'applicazio
dei carichi gravitazionali: manca la scala

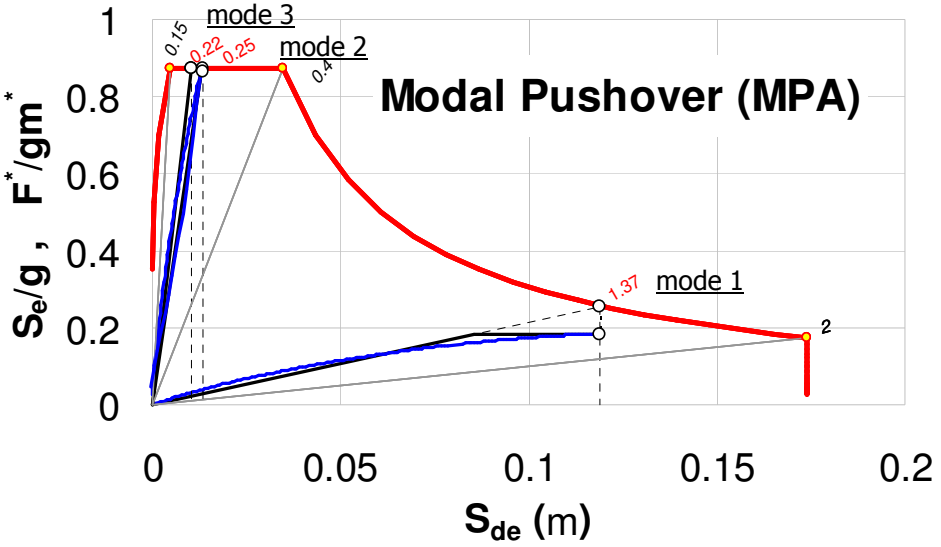
Modo	T_{in} (sec)	T_{fin} (sec)	ΔT
1	**1,002**	**1,185**	**18%**
2	0,818	0,950	16%
3	0,817	0,851	4%
4	**0,316**	**0,369**	**17%**
5	0,265	0,303	14%
6	0,245	0,276	12%
7	**0,171**	**0,190**	**12%**
8	0,153	0,173	13%
9	0,145	0,159	10%
10	0,116	0,122	6%
11	0,111	0,119	7%
12	0,109	0,114	5%

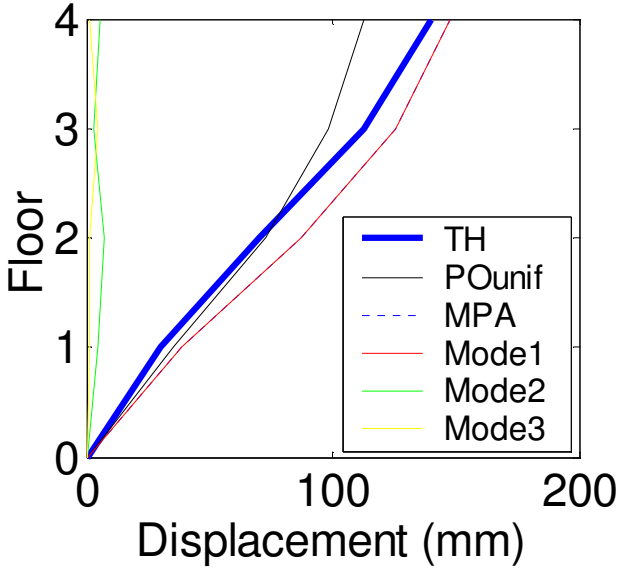


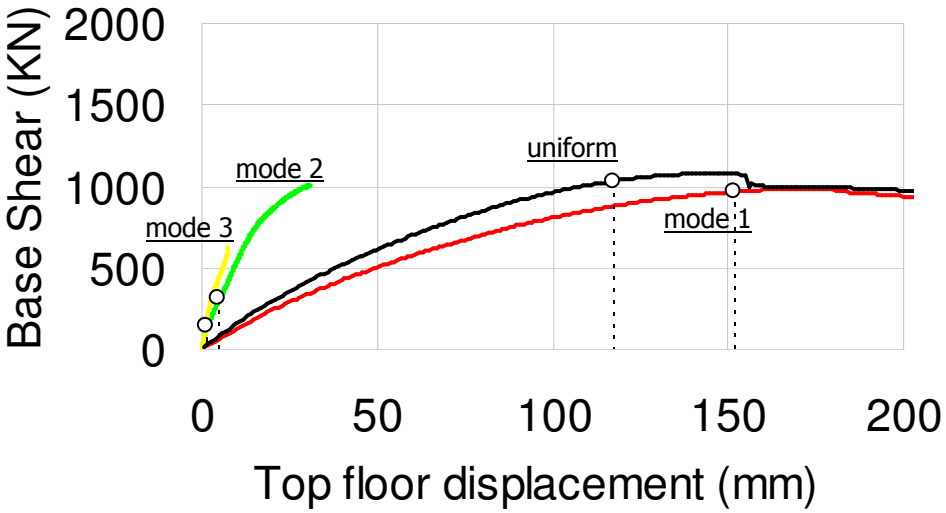


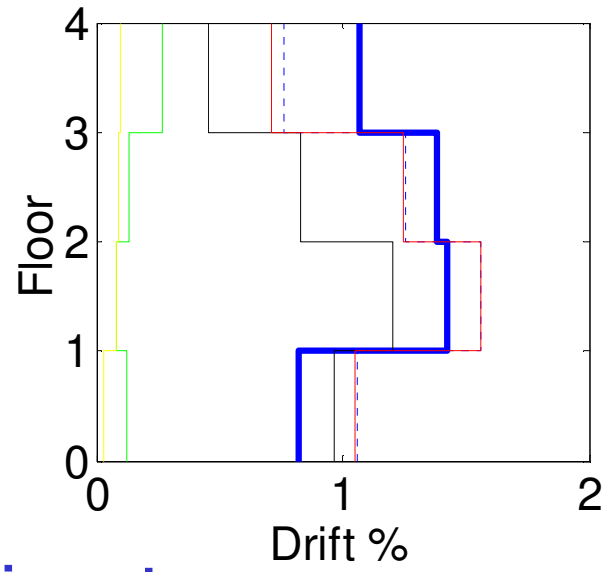
PUSHOVER E TIME HISTORY

Telaio senza tamponamenti



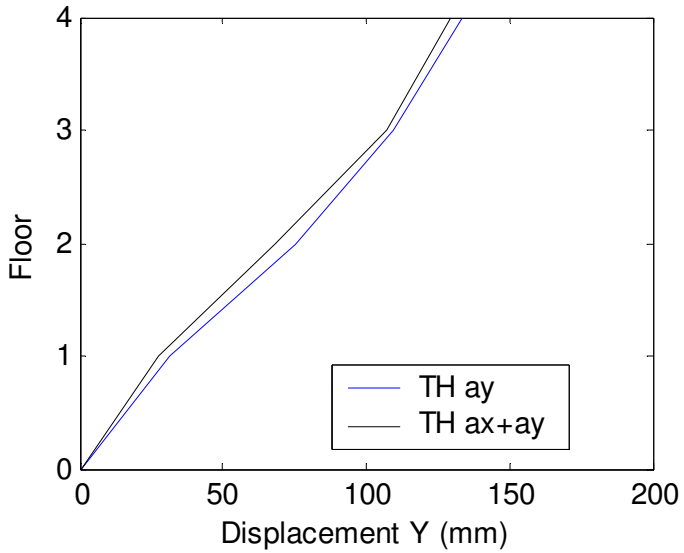


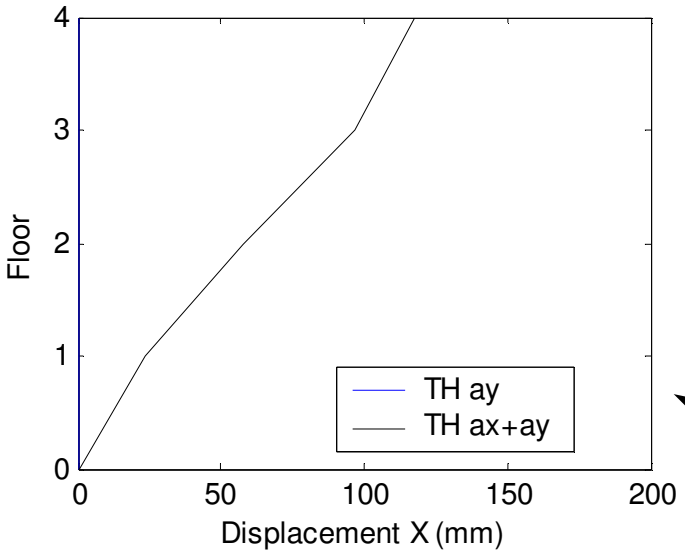


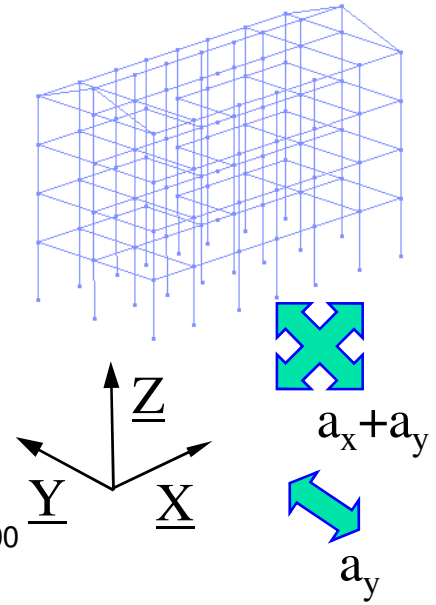


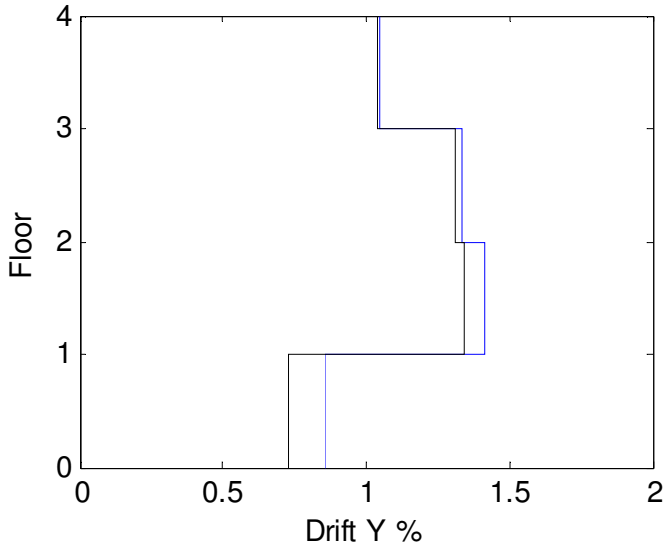
10 terremoti: valori medi risposta

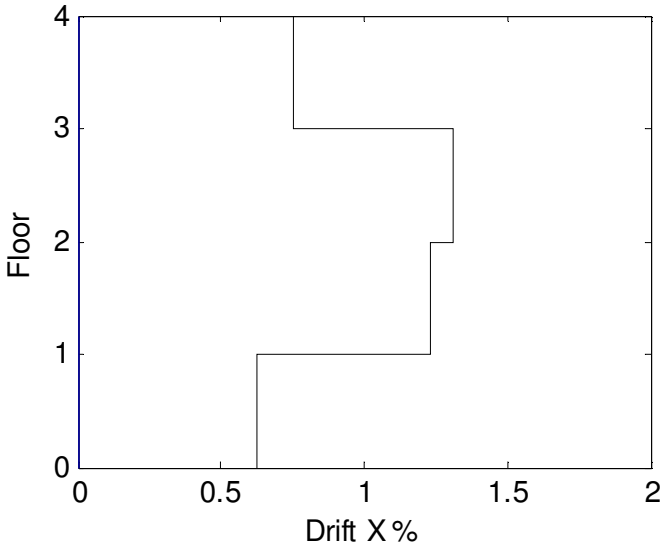
TIME HISTORY 3D



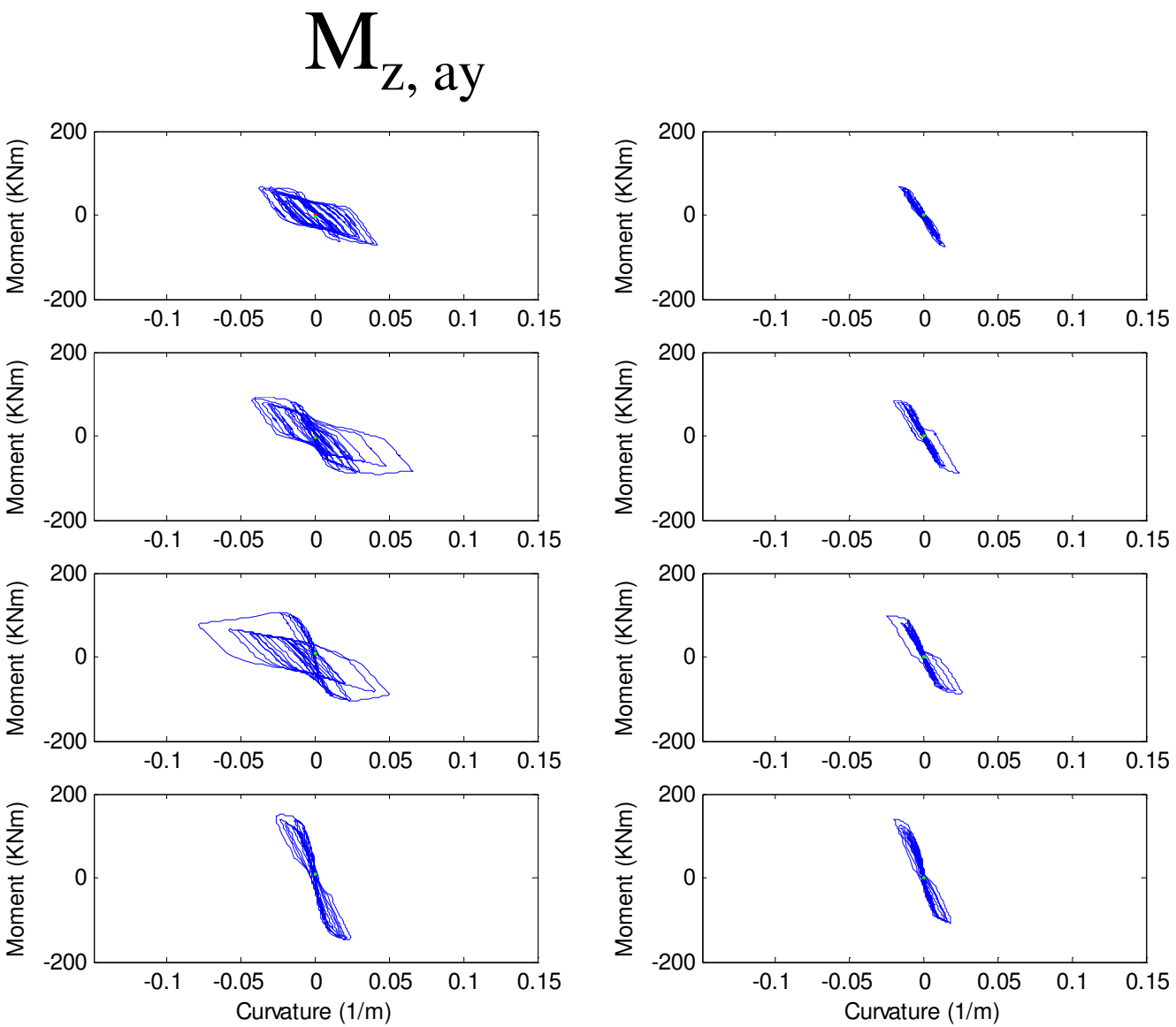


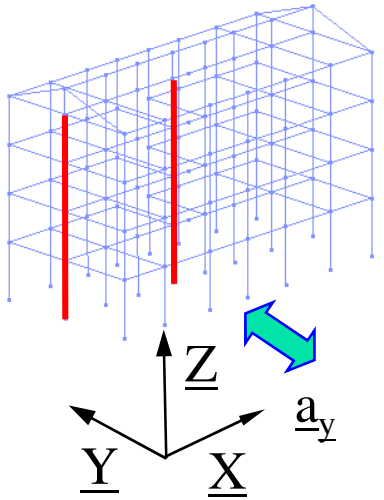






TIME HISTORY 3D

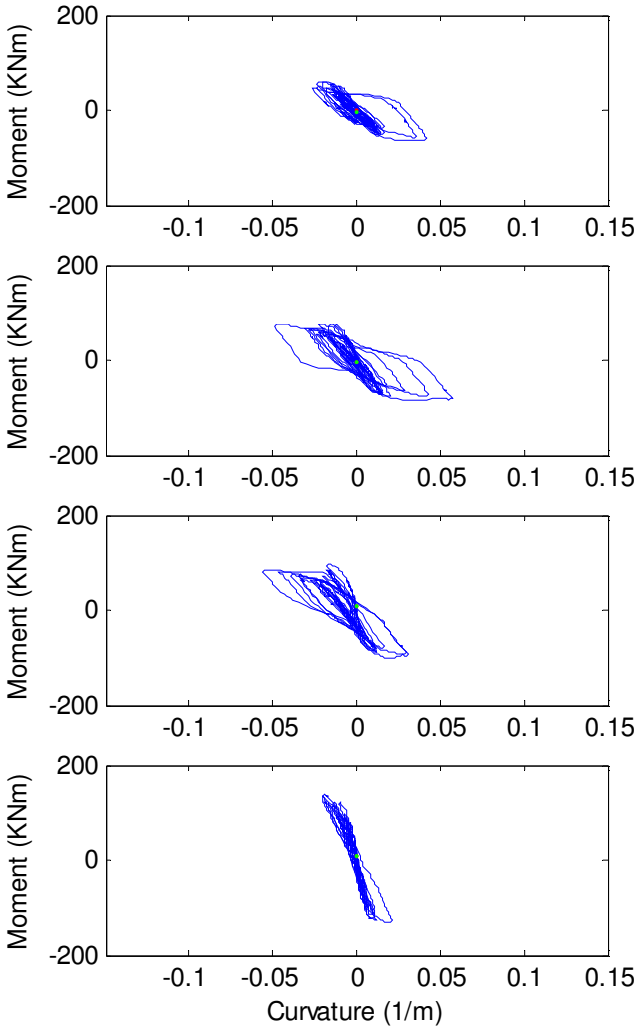


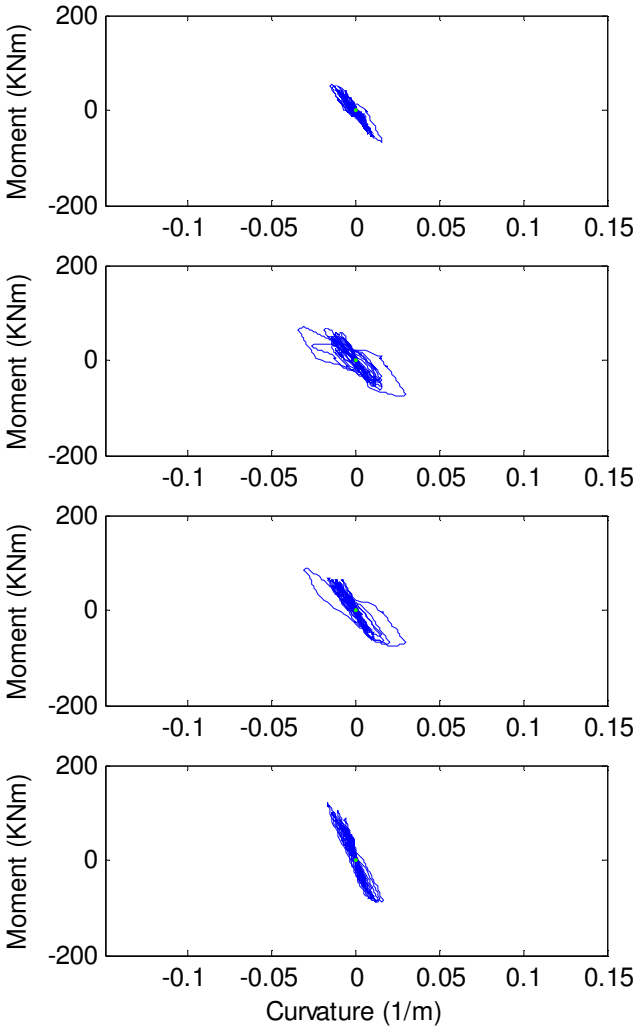


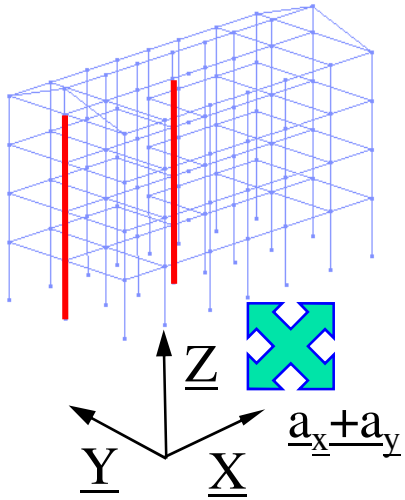
Columns
1008
1011

TIME HISTORY 3D

$M_{y,\ ay+ax}$

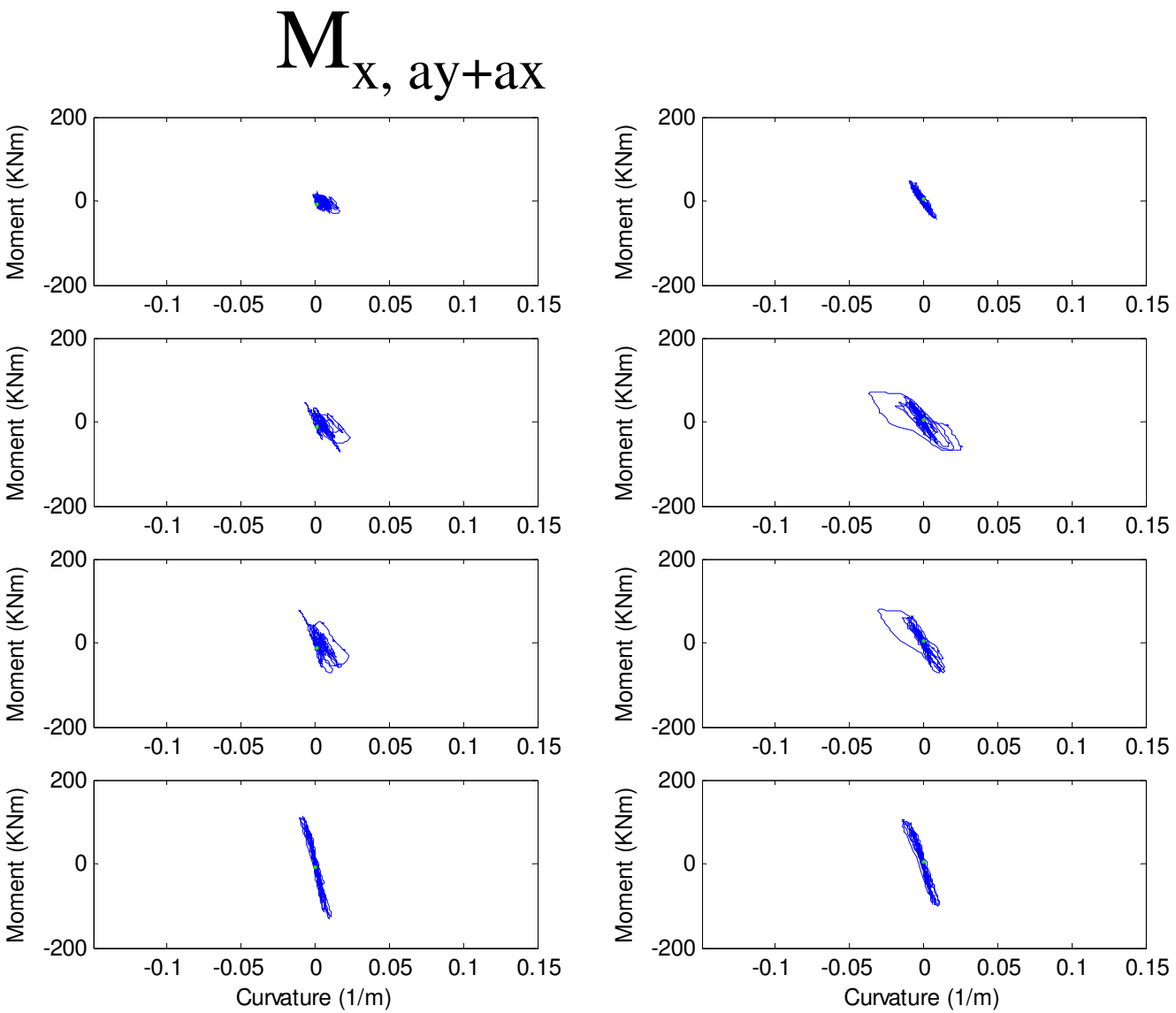


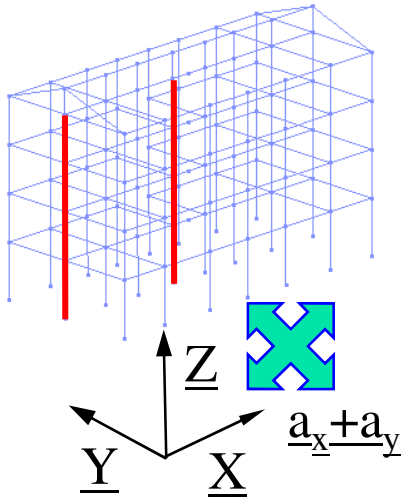




Columns
1008
1011

TIME HISTORY 3D



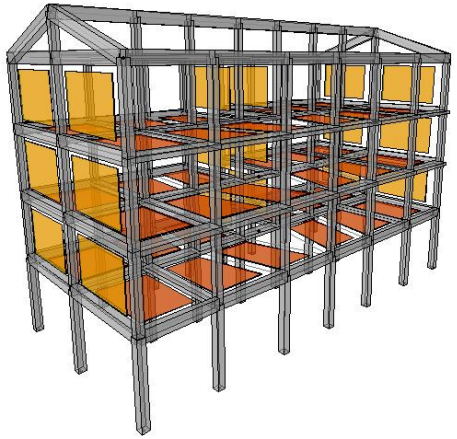


Columns
1008
1011

BREAKDOWN DELLE COMPONENTI STRUTTURALI

Edificio esistente
Modello a fibre
Direzione Y

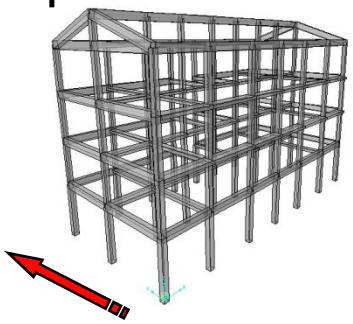
Sistema strutturale completo



Breakdown delle componenti strutturali – singoli contributi

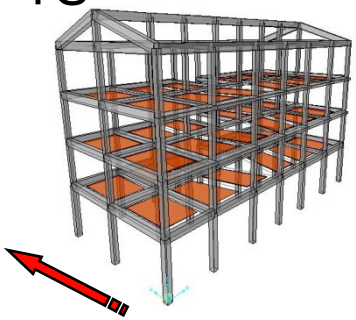
M. Faggella, E. Spacone, J.P. Conte, J. Restrepo 13ECEE, Ginevra 2006

T



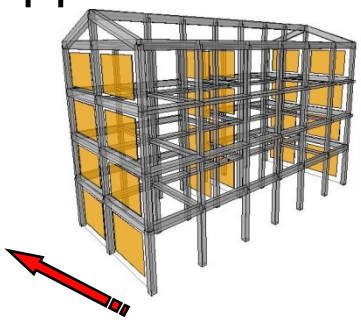
Telaio Nudo

TS



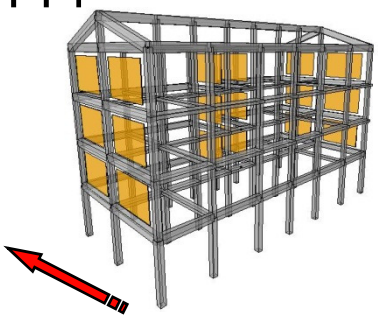
Telaio Nudo
+ Solai

TT



Telaio Nudo
+ Tamponature

TT1

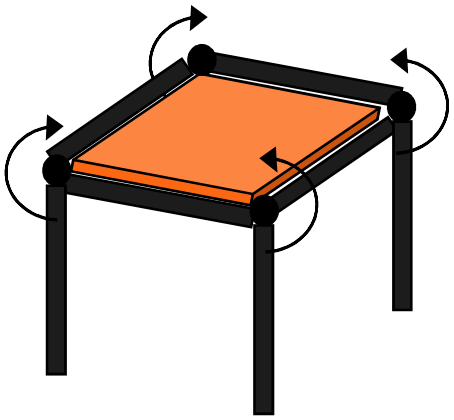


Telaio Nudo
+ Tamponature
+ Piano Terra Nudo

BREAKDOWN DELLE COMPONENTI STRUTTURALI

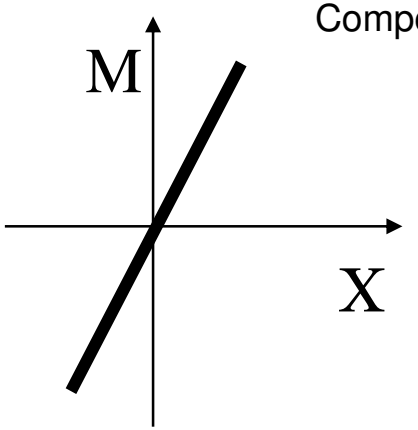
Edificio esistente
Modello a fibre
Direzione Y

Modelli per le singole componenti

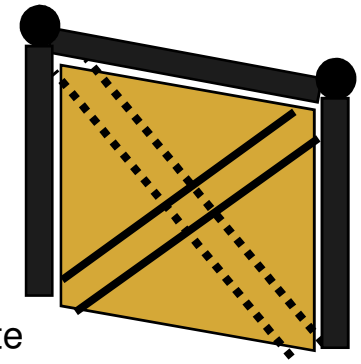


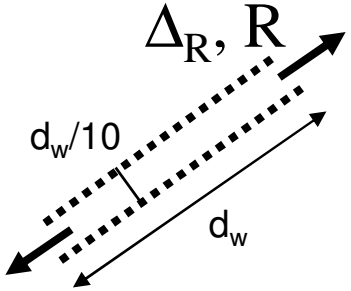
Shell Elastico

Campi di solaio:
Comportamento Lastra-Piastra

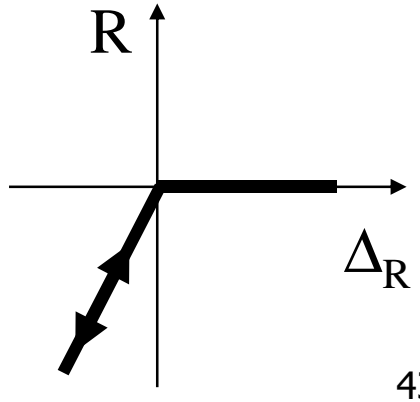


Tamponature:
Modello a Biella Equivalente





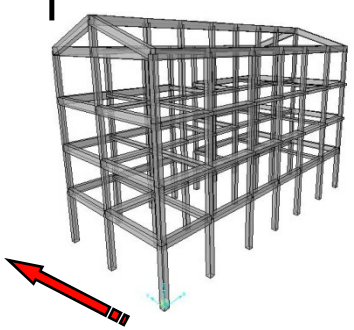
Elastico,
non reagente a trazione



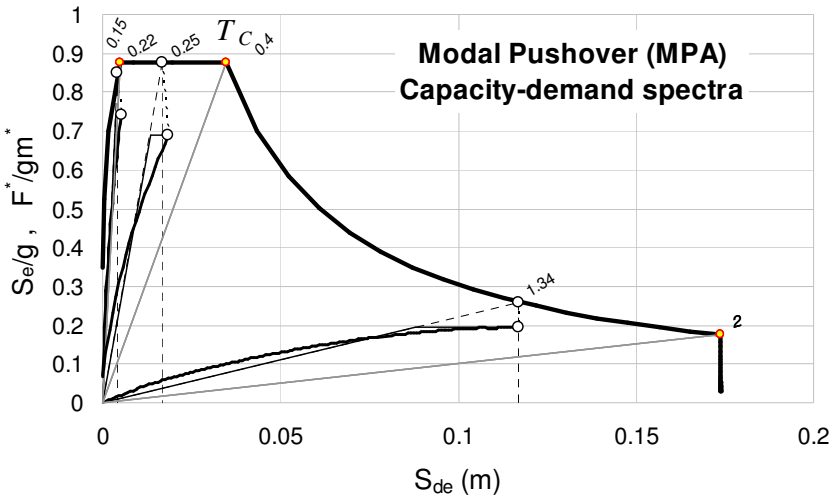
BREAKDOWN DELLE COMPONENTI STRUTTURALI – MODELLO T

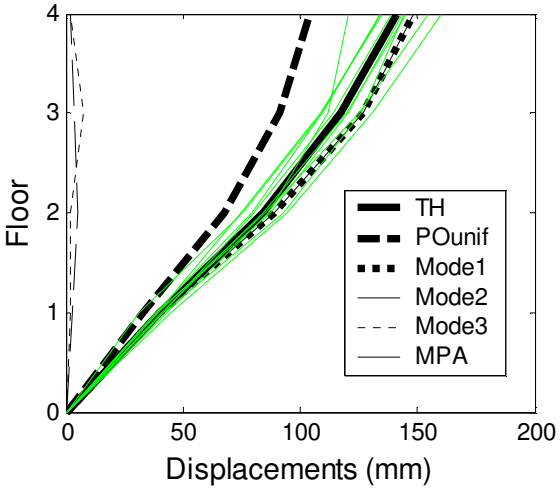
Edificio esistente
Modello a fibre
Direzione Y

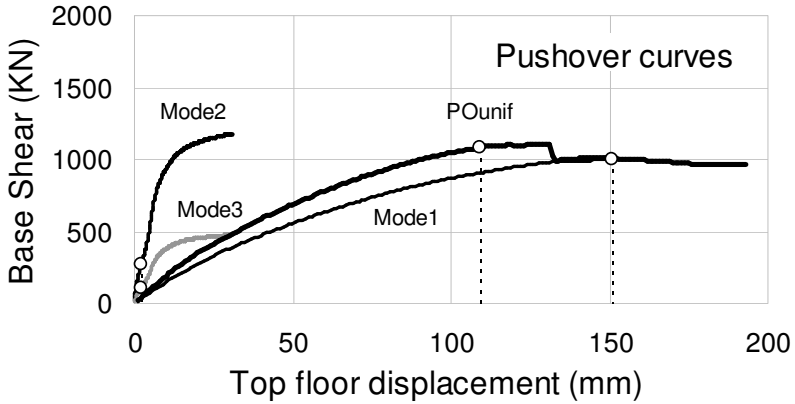
T

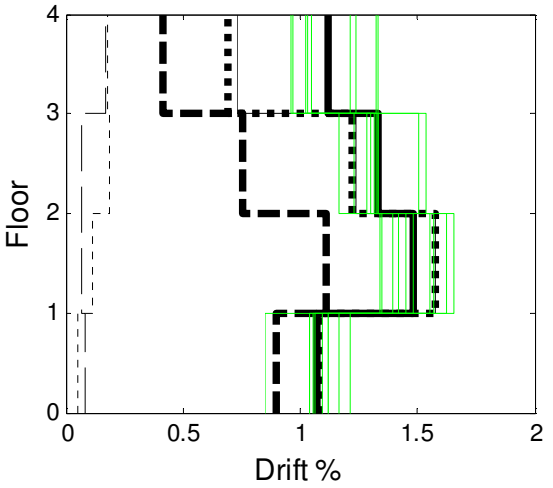


Telaio Nudo



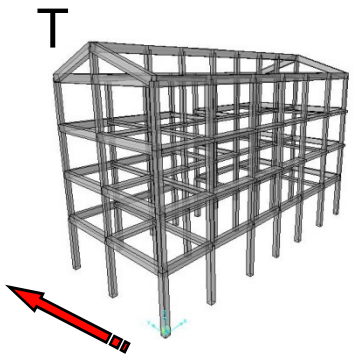






BREAKDOWN DELLE COMPONENTI STRUTTURALI – MODELLO T

Edificio esistente
Modello a fibre
Direzione Y



Telaio Nudo

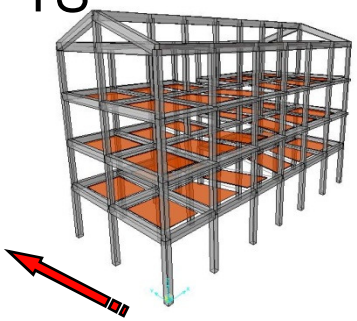
Risultati dei diversi metodi di analisi nonlineare (TH, PO, MPA):

- Alta flessibilità della struttura in esame.
- PO Modo1 e media TH in accordo sugli spostamenti massimi.
- PO Modo1 e media TH in disaccordo sui max drift (specie ai piani alti).
- MPA con combinazione SRSS non migliora la corrispondenza con la media TH.
- Il grado di nonlinearità della risposta determina dispersione dei risultati delle singole TH.
- Telaio nudo: max spostamenti e drift, minimo taglio di base alla massima richiesta PO.

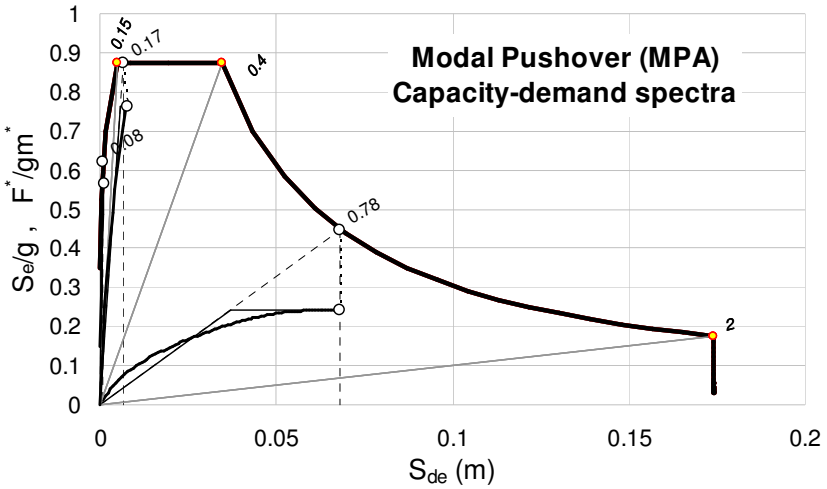
BREAKDOWN DELLE COMPONENTI STRUTTURALI – MODELLO TS

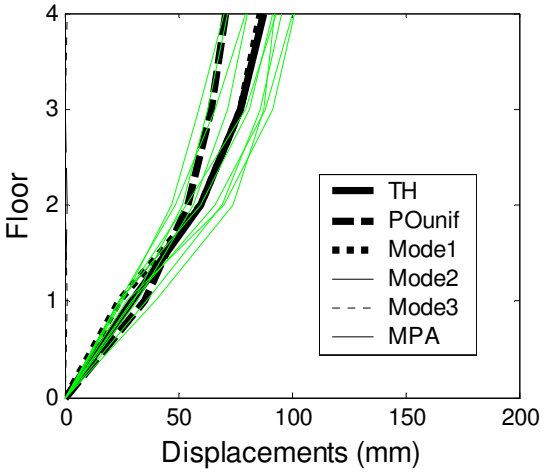
Edificio esistente
Modello a fibre
Direzione Y

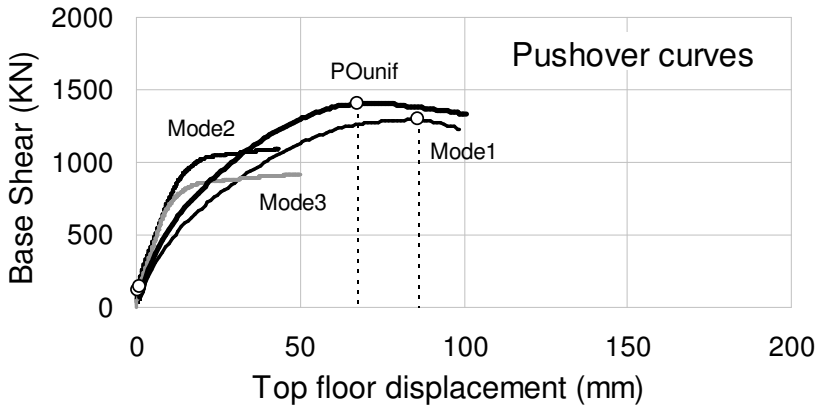
TS

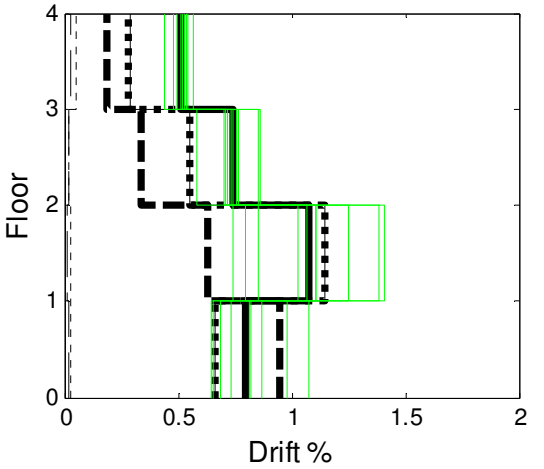


Telaio Nudo
+ Solai





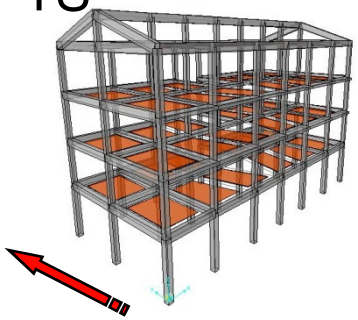




BREAKDOWN DELLE COMPONENTI STRUTTURALI – MODELLO TS

Edificio esistente
Modello a fibre
Direzione Y

TS



Telaio Nudo
+ Solai

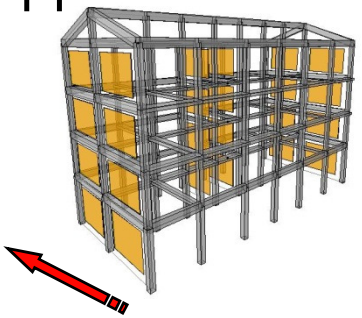
Risultati dei diversi metodi di analisi nonlineare (TH, PO, MPA):

- L'aggiunta della rigidezza flessionale dei solai riduce spostamenti complessivi e drift
- La maggiore rigidezza iniziale ottenuta sembra produrre un comportamento generalmente piu duttile.
- L'aggiunta di elementi resistenti a flessione scarica le travi, e favorisce ancor più il meccanismo a colonne plasticizzate
- MPA con combinazione SRSS non migliora la corrispondenza con la media TH.
- Il grado di nonlinearità della risposta determina dispersione dei risultati delle singole TH.

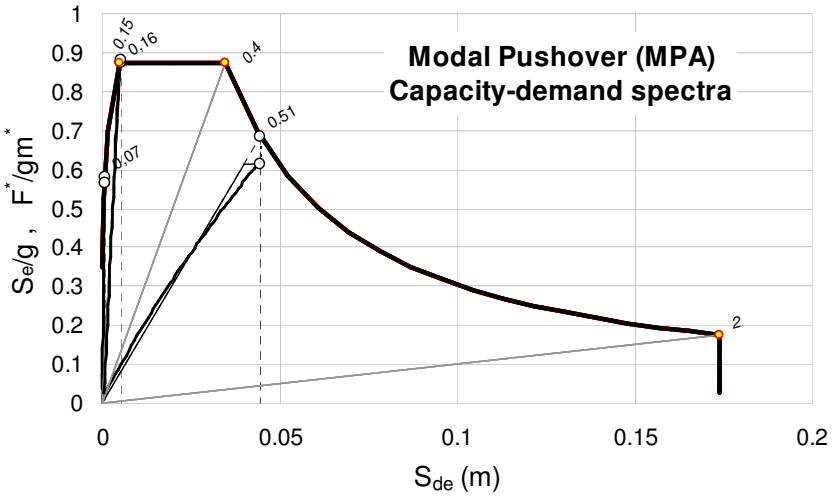
BREAKDOWN DELLE COMPONENTI STRUTTURALI – MODELLO TT

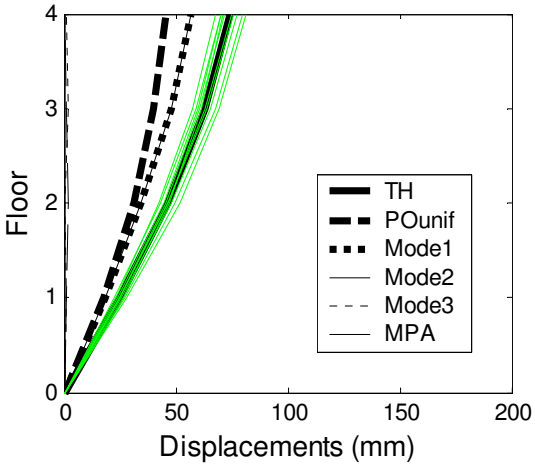
Edificio esistente
Modello a fibre
Direzione Y

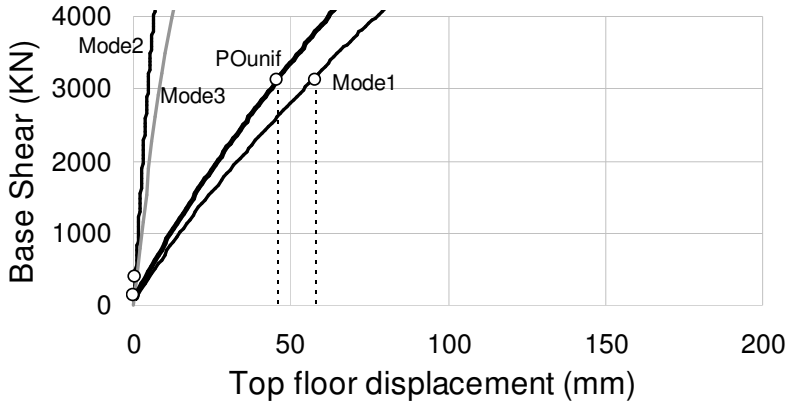
TT

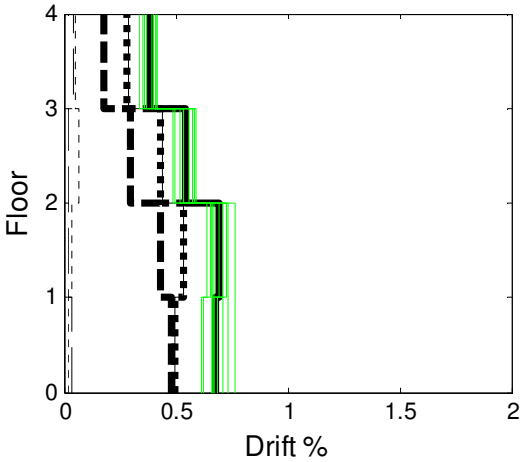


Telaio Nudo
+ Tamponature





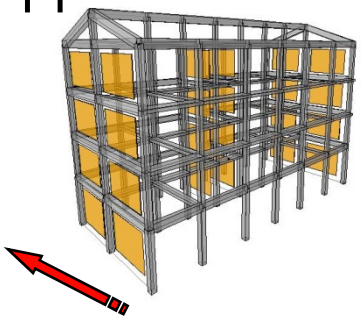




BREAKDOWN DELLE COMPONENTI STRUTTURALI – MODELLO TT

Edificio esistente
Modello a fibre
Direzione Y

TT



Telaio Nudo
+ Tamponature

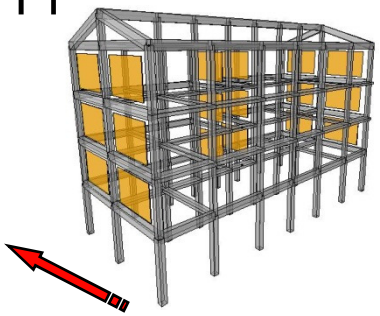
Risultati dei diversi metodi di analisi nonlineare (TH, PO, MPA):

- Tamponature elastiche: elevato abbattimento della risposta in spostamenti e drift.
- Bassa partecipazione modi superiori → TH e PO dovrebbero coincidere, … ma …
- … questa struttura resta elastica, andrebbe usato il 5% anche nella TH (come per il PO).
- La risposta resta abbastanza in campo lineare → bassa dispersione sulle TH

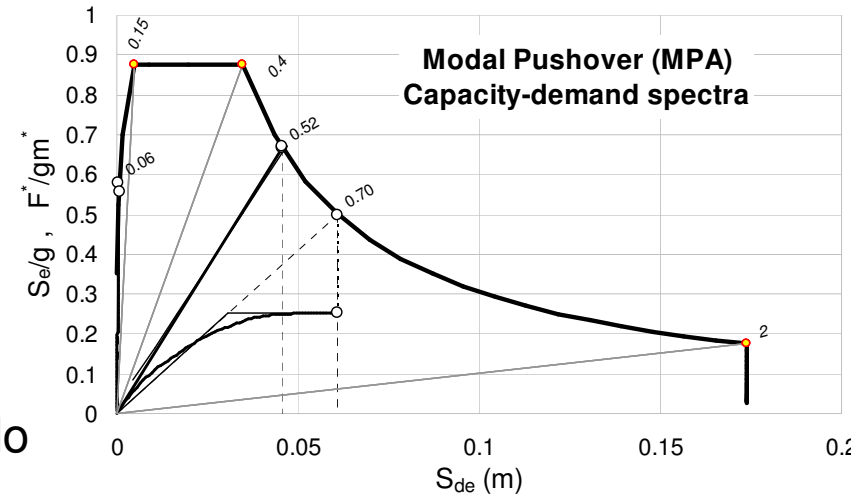
BREAKDOWN DELLE COMPONENTI STRUTTURALI – MODELLO TT1

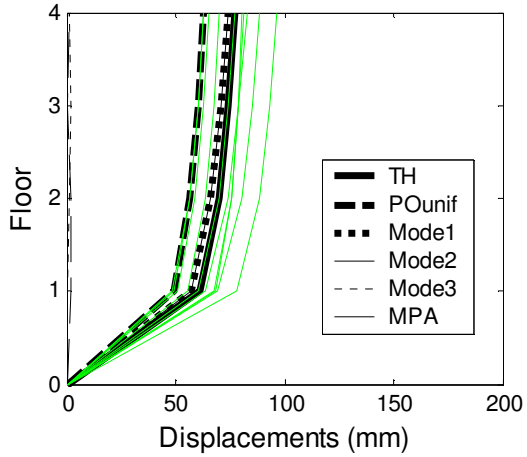
Edificio esistente
Modello a fibre
Direzione Y

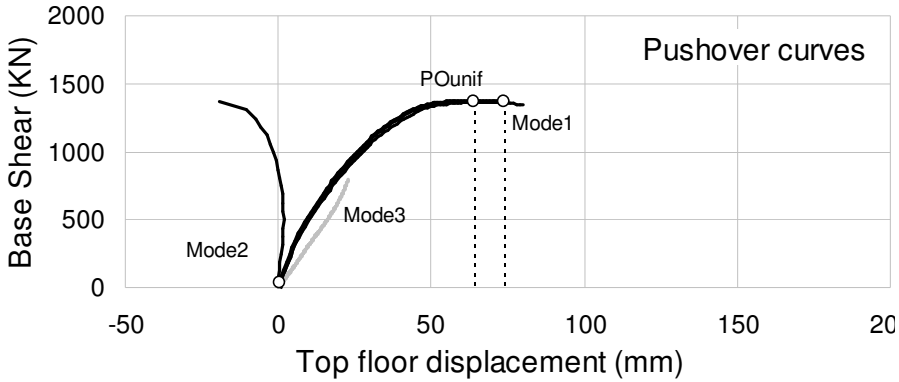
TT1

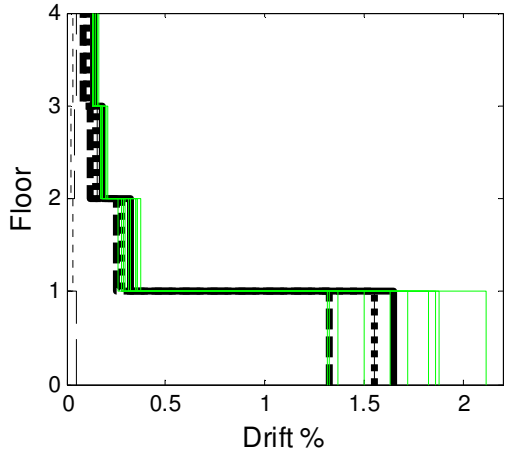


Telaio Nudo
+ Tamponature
+ Piano Terra Nudo





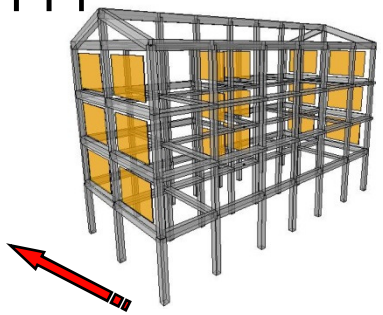




BREAKDOWN DELLE COMPONENTI STRUTTURALI – MODELLO TT1

Edificio esistente
Modello a fibre
Direzione Y

TT1



Telaio Nudo
+ Tamponature
+ Piano Terra Nudo

Risultati dei diversi metodi di analisi nonlineare (TH, PO, MPA):

- Piano Terra Nudo → compare un meccanismo di piano.
- I piani superiori subiscono deformazioni limitate. Tamponature lineari OK.
- Risposta altamente nonlineare → alta dispersione nei risultati TH

ULTERIORI ANALISI DINAMICHE NONLINEARI SU EDIFICIO BONEFRO

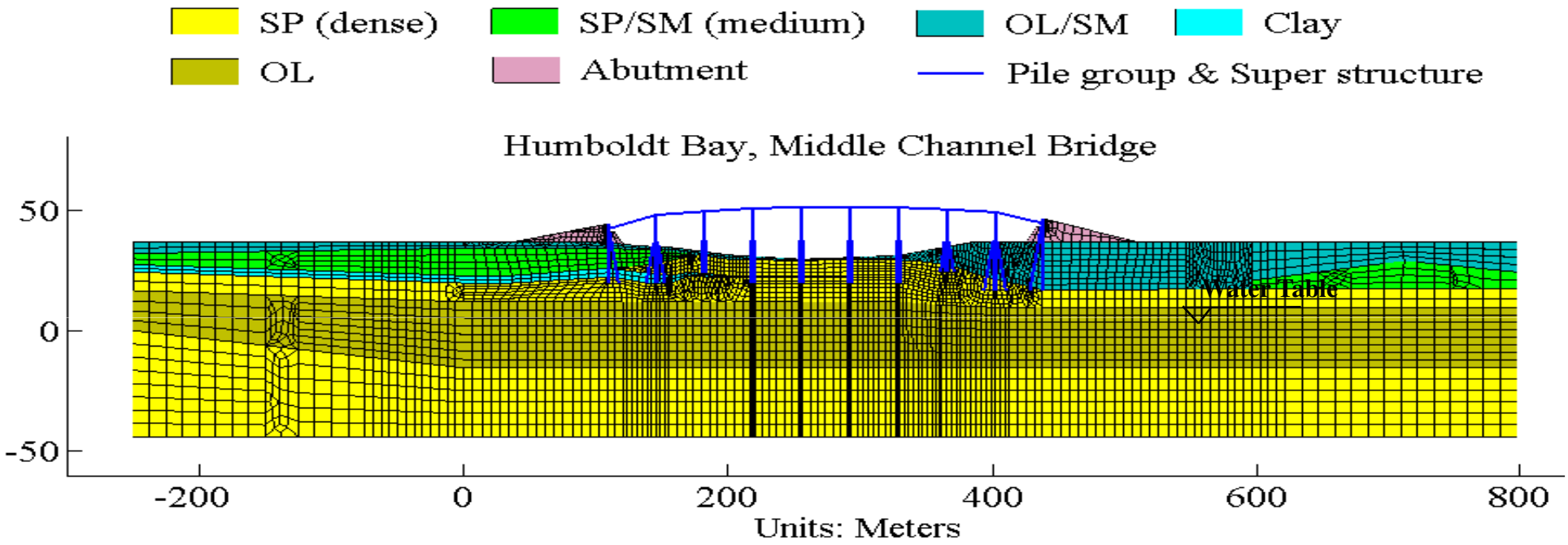
- **INSERIRE QUI LAVORO NICOLA**

SOMMARIO

- **Edificio di Bonefro**
- **Ponte di Humbolt Bay**
- **Modellazione Taglio (Per ponti ed edifici)**
- **Esempio di modellazione ed analisi in MidasGen**
- **E-ELT Telescope**

HUMBOLDT BAY BRIDGE

Profilo terreno



SP: Poorly graded sand; gravely sand
SM: Silty sand; sand-silt mixtures
OL: Organic silt; organic silty clays of low plasticity

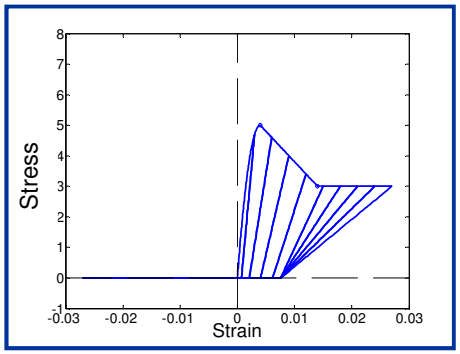

AUG 16 2002


Woodley Island
Marina
AUG 16 2002

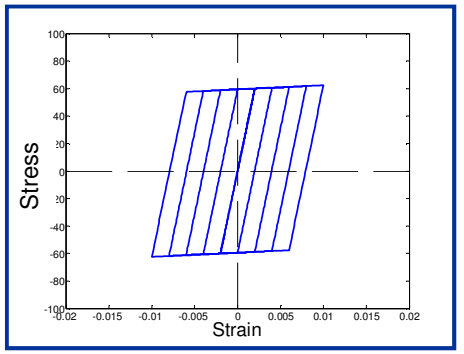

AUG 16 2002

HUMBOLDT BAY BRIDGE

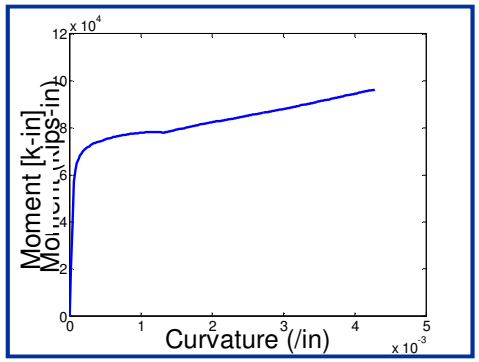
Pila: sezione a fibre



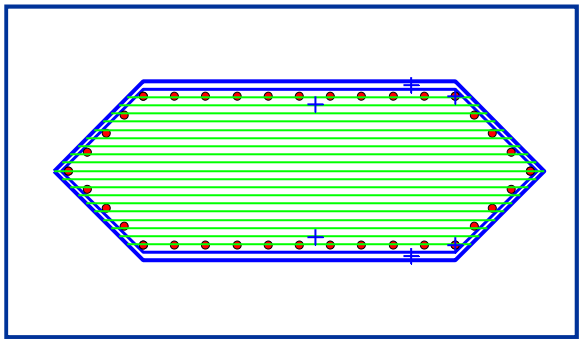
Concrete: Kent-Scott-Park Model



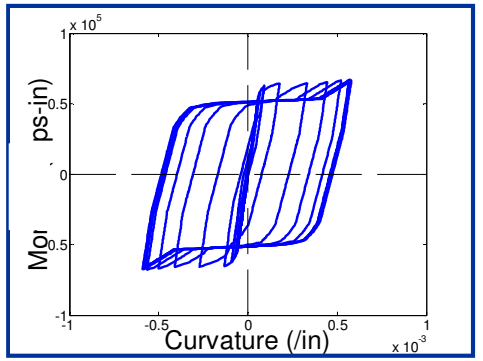
Steel: Bilinear Model



Monotonic Pushover (Single Column on Fixed Base)



Fiber Discretization of Column Cross-section



Cyclic Pushover (Single Column on Fixed Base)

HUMBOLDT BAY BRIDGE

Pila: modello sezione con ripresa ferri

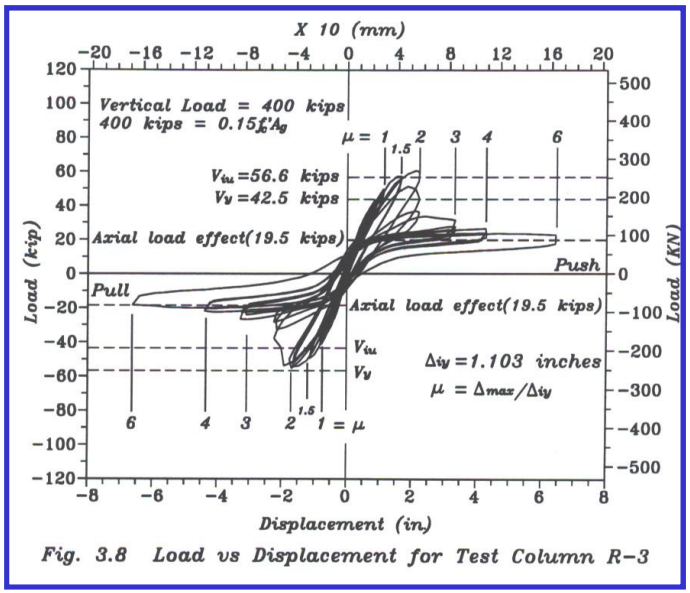
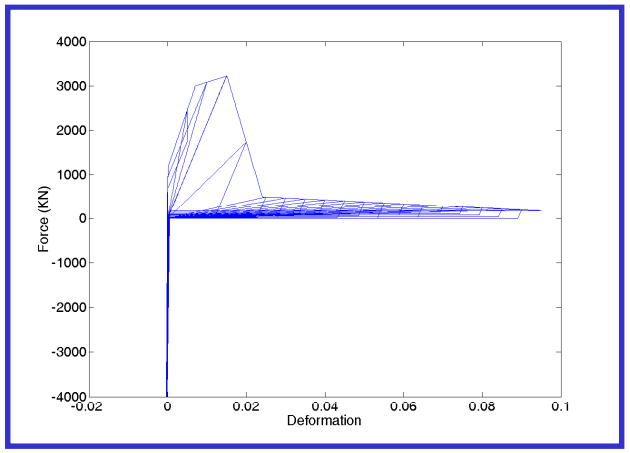


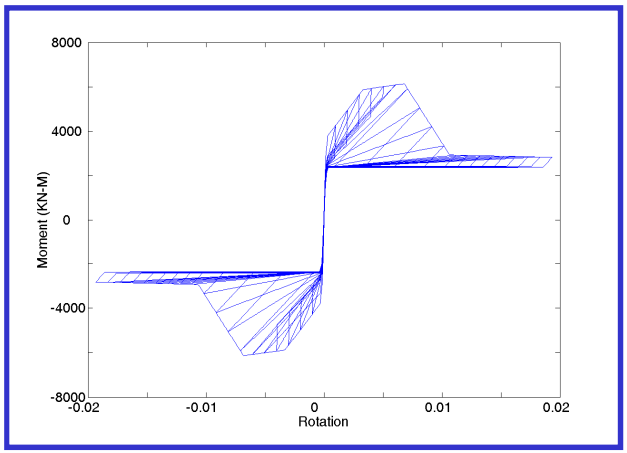
Fig. 3.8 Load vs Displacement for Test Column R-3

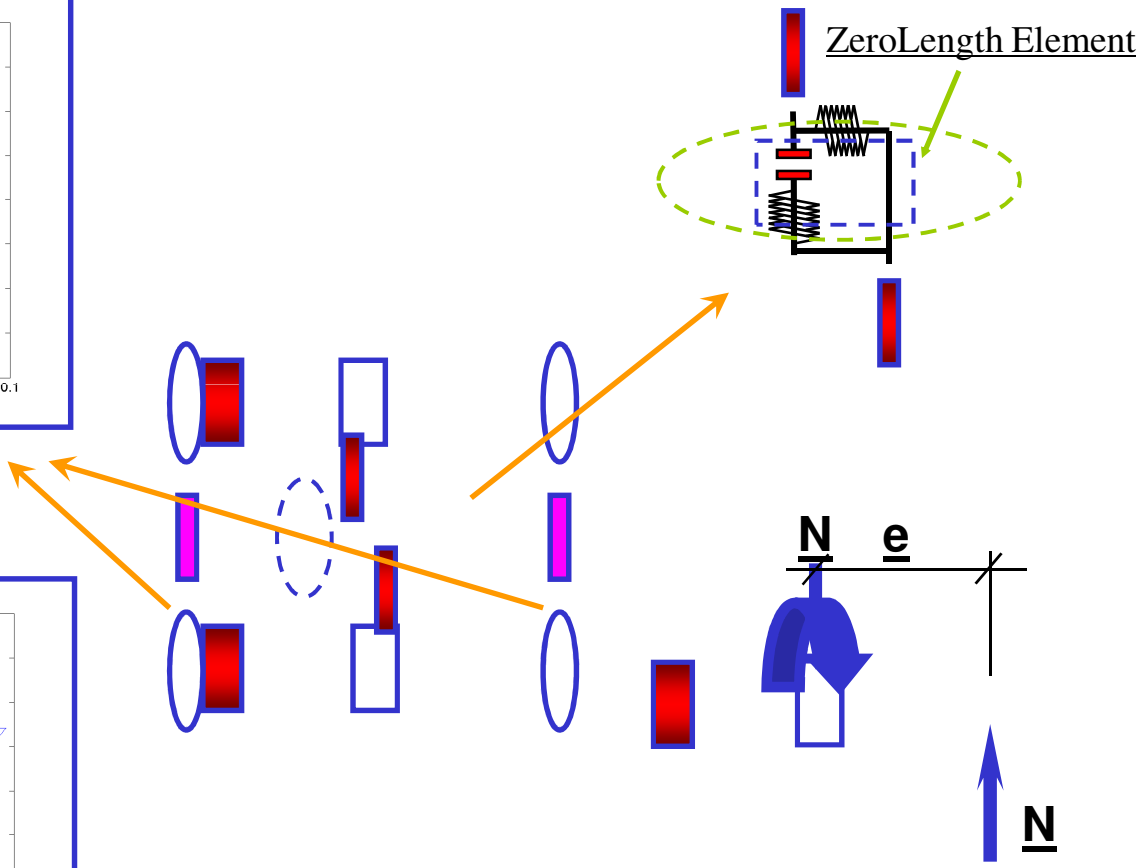
Professor Priestley, UCSD 1991

HUMBOLDT BAY BRIDGE

Pila: modello sezione con ripresa ferri





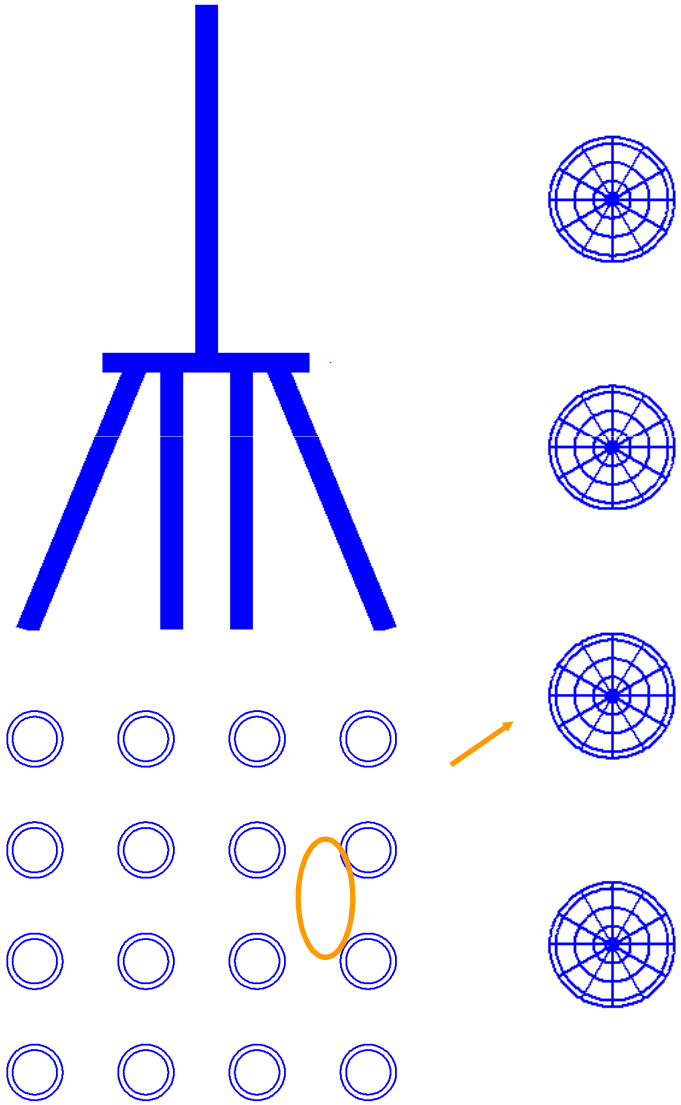


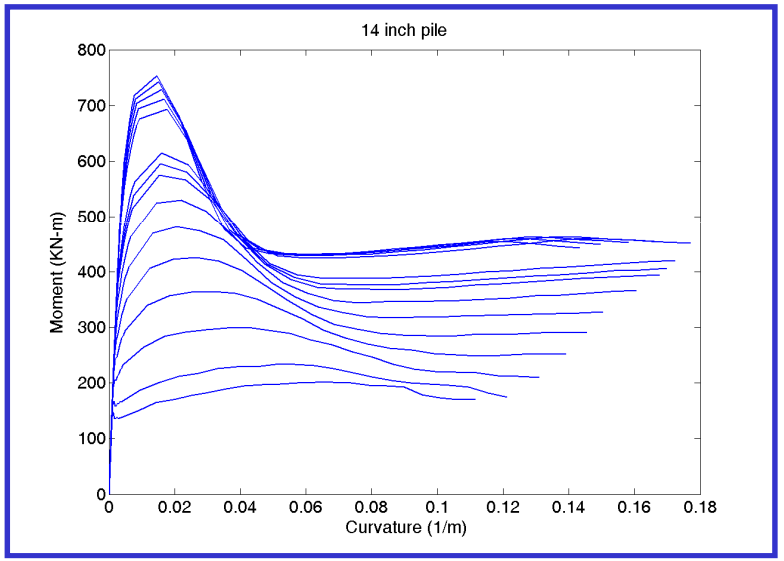
$M_{residual} = N * e$

diapositiva gentilmente fornita dal Prof. J. Conte, UC San Diego, USA

HUMBOLDT BAY BRIDGE

Fondazioni a pali

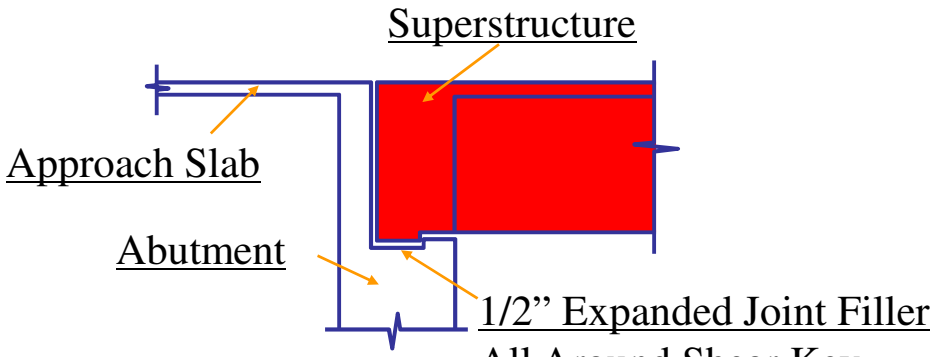




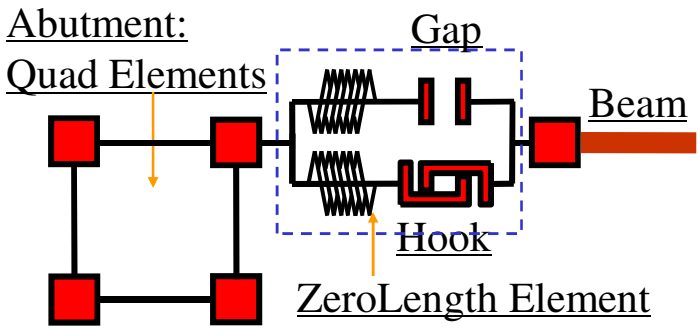
HUMBOLDT BAY BRIDGE

Spalle: Giunto di espansione

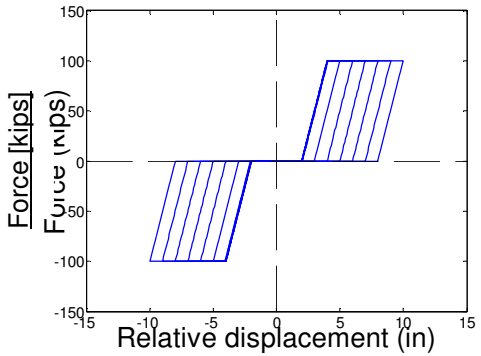
As Built



Finite Element Model

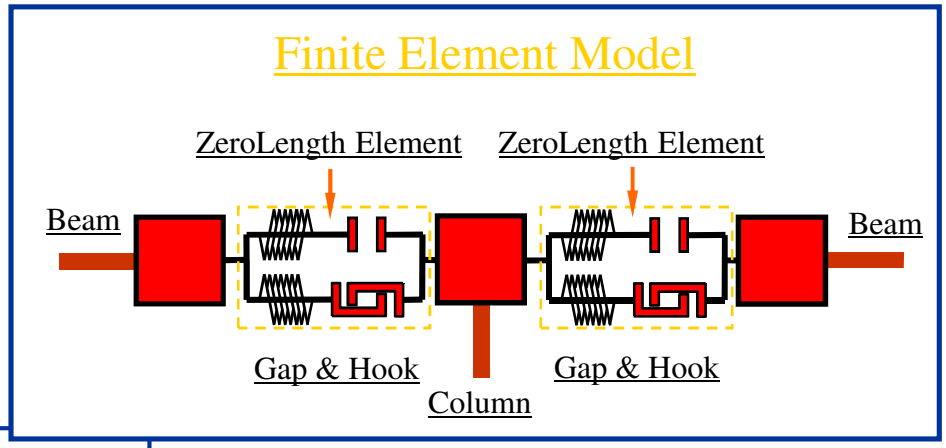


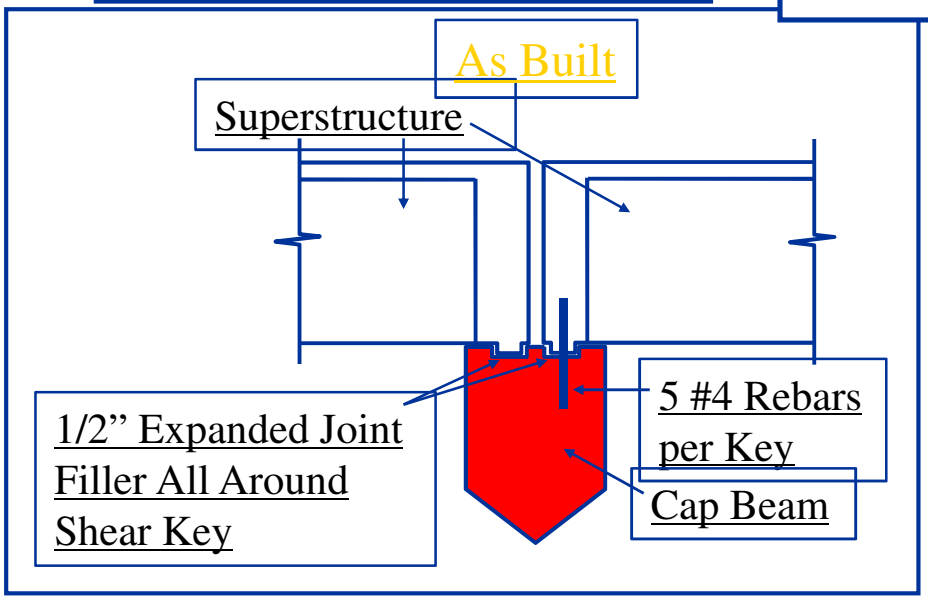
Gap-Hook Material

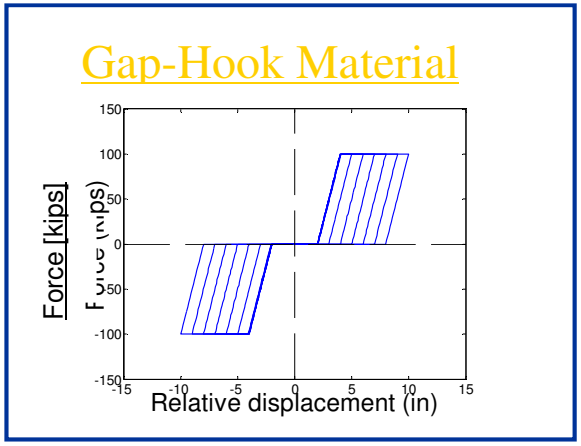


HUMBOLDT BAY BRIDGE

Testa pila: Giunto di espansione

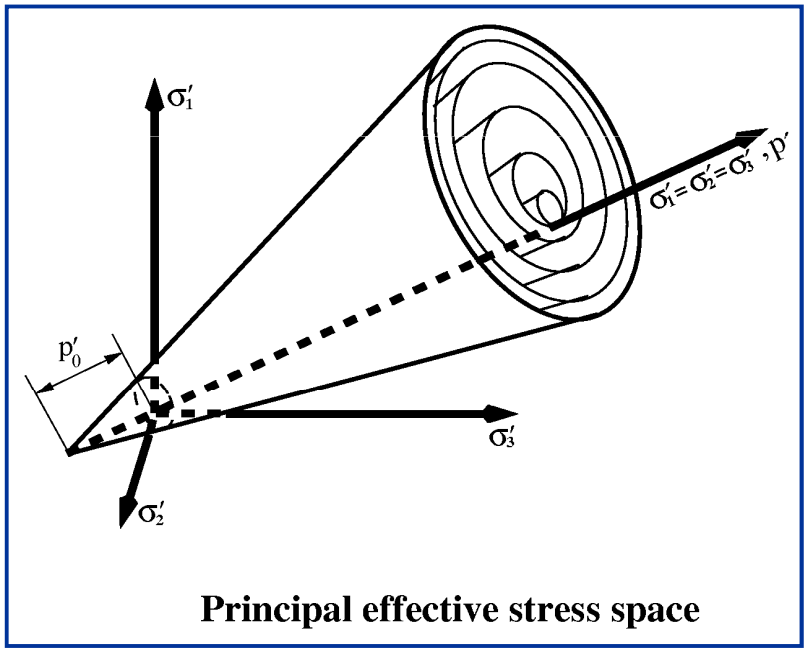




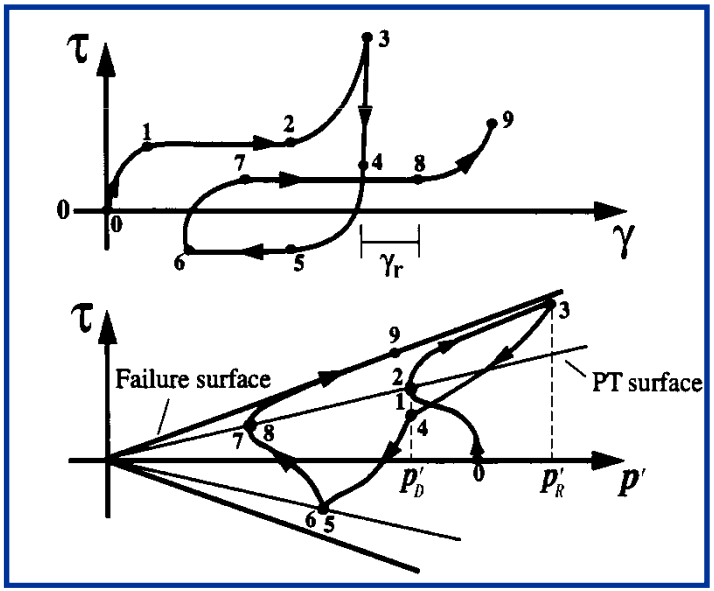


Modelli suolo 1

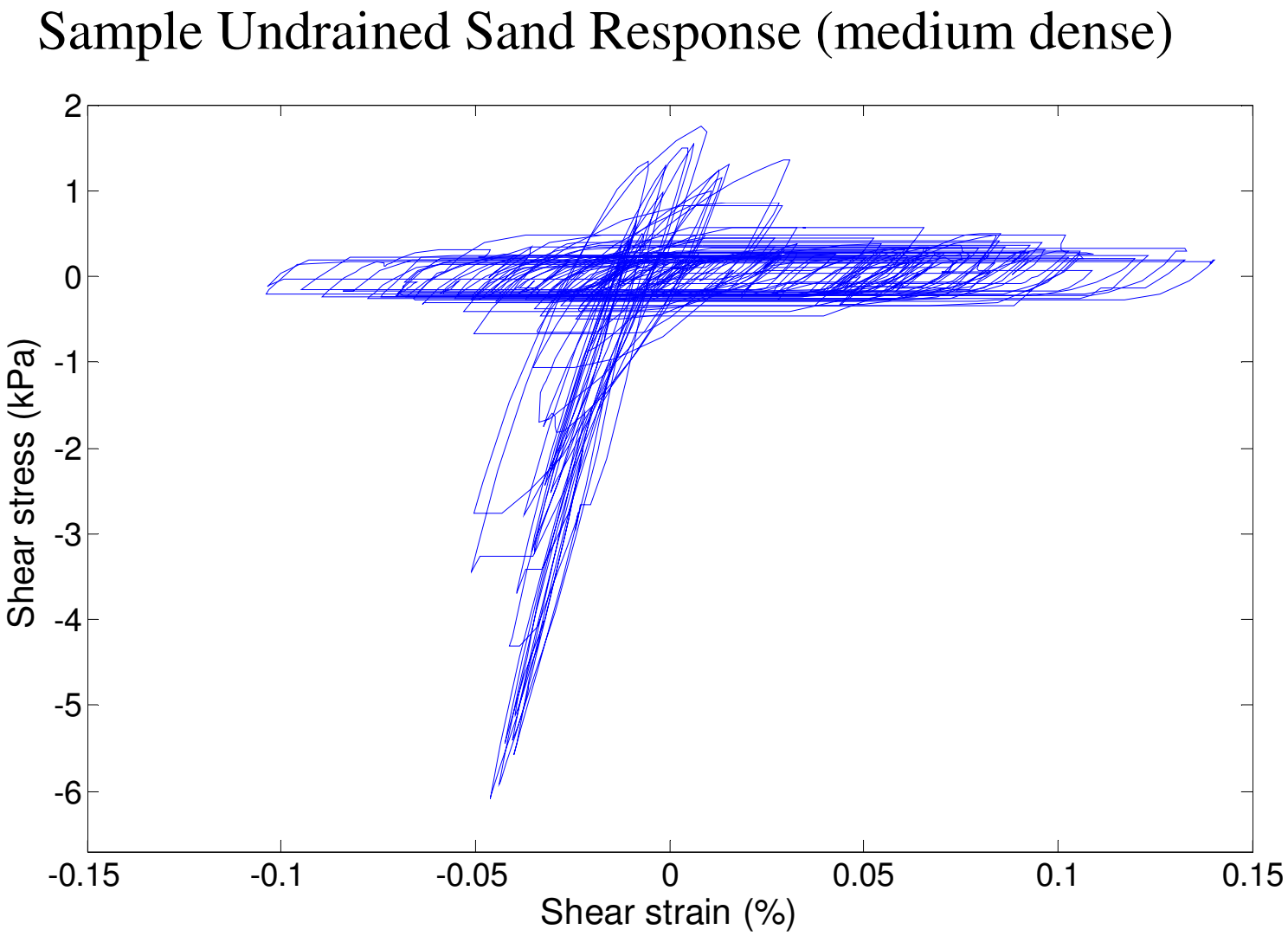
Soil: pressure-dependent, multi-surface, non-associative plasticity model (for gravel, sand, and silt), incorporating liquefaction effects



Principal effective stress space

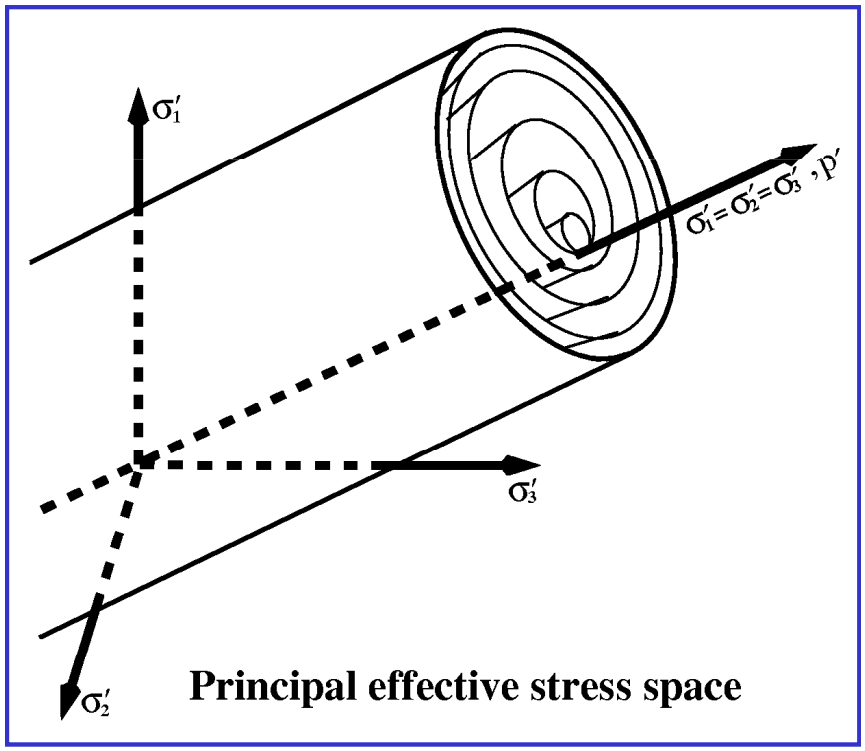


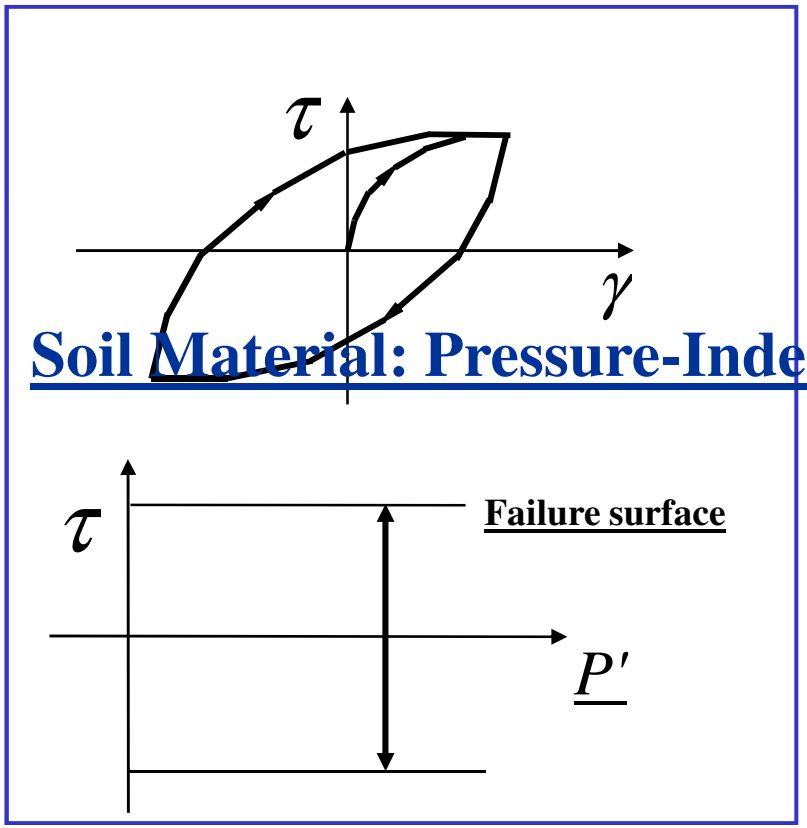
Modelli suolo 1



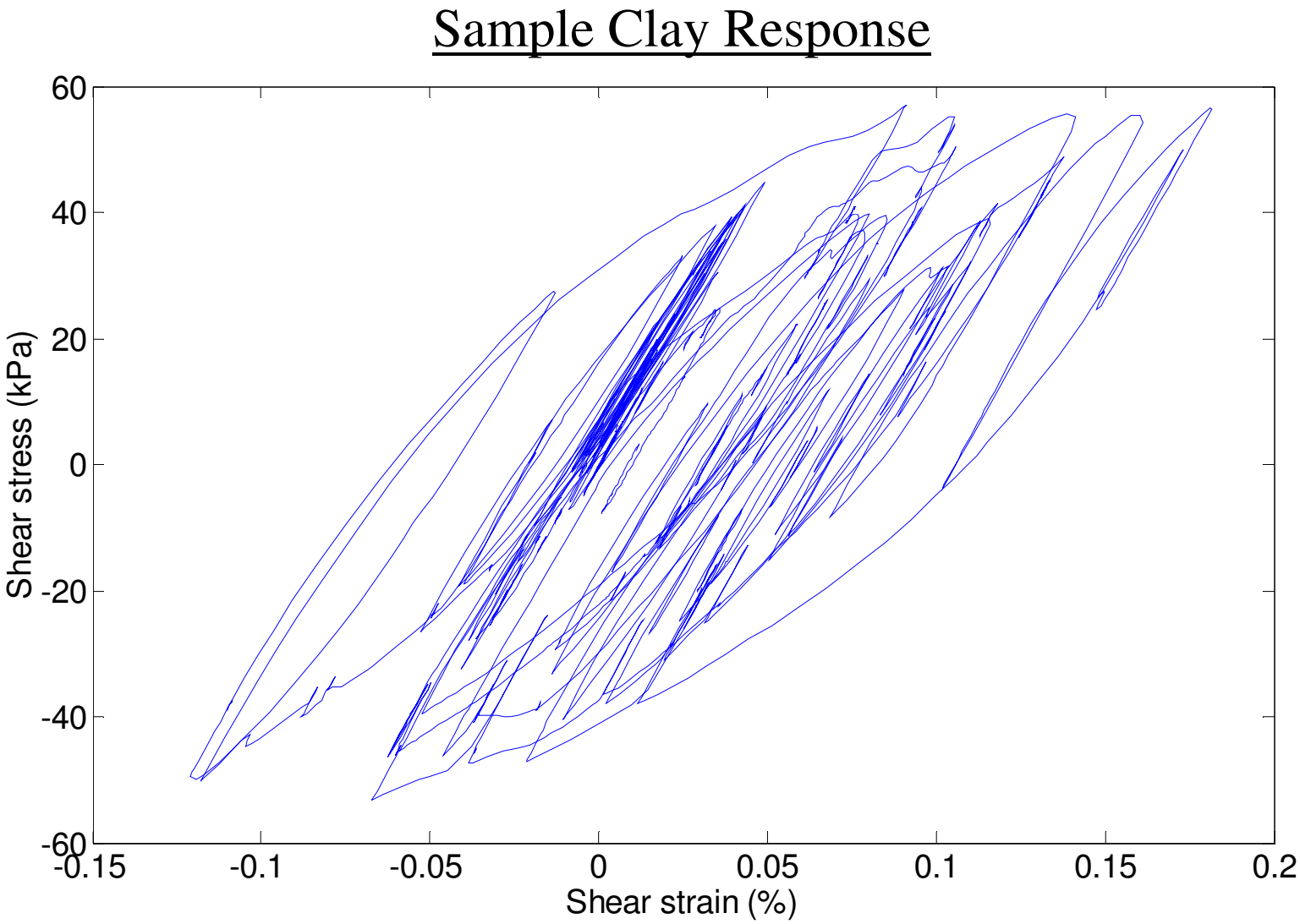
Modelli suolo 2

Soil Material: Pressure-Independent Model
multi-surface, associative plasticity model (for clay and silt)





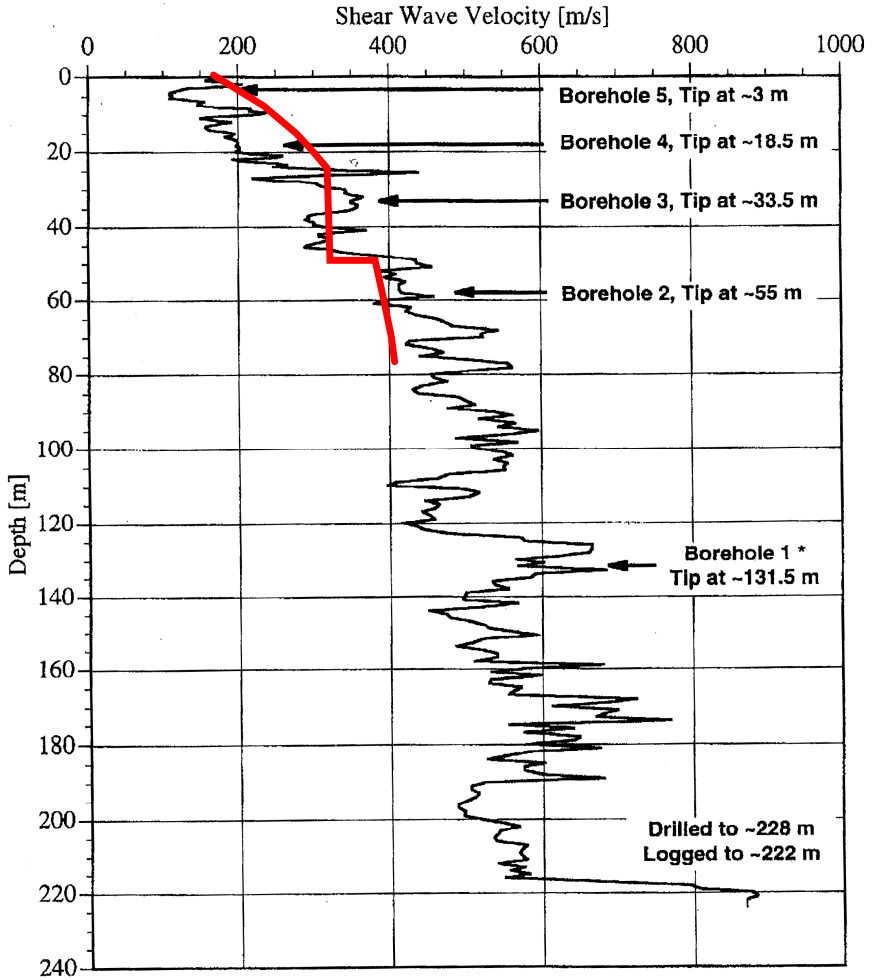
Modelli suolo 2



HUMBOLDT BAY BRIDGE

Dati terreno

Caltrans' Somoa Bridge (Rte 255) Geotechnical Array Preliminary PS-Logging Data (Borehole 1)



HUMBOLDT BAY BRIDGE

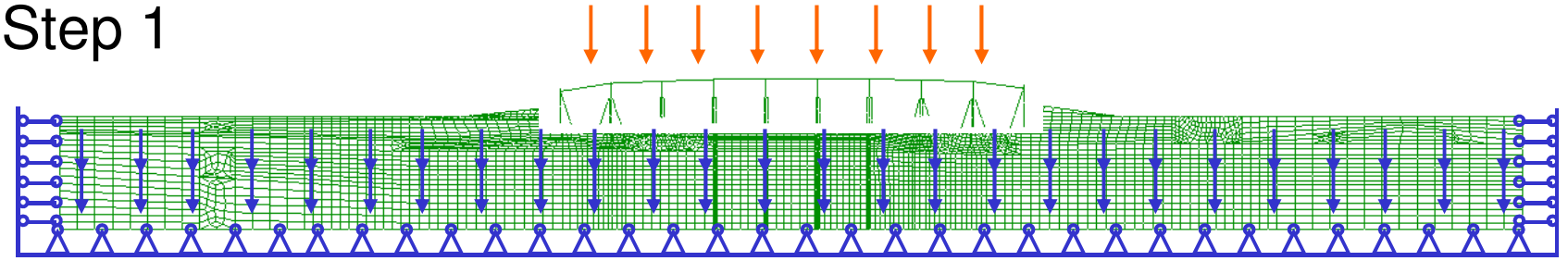
Dati terreno

Soil Type	Description	Average $(N_1)_{60}$	Unit weight (t/m^3)	Relative density	Friction angle (degrees)	Cohesion (kPa)	Gmax (kPa) at 80 kPa mean confinement
SP	Dense to very dense, fine to medium grained sand	50	2.1	90	45	0	1.2e5
SP/SM	Medium, fine to medium grained sand	20	1.9	50	35	0	0.6e5
OL/SM	Organic silt, silty sand	7	1.9		0	35	0.6e5
CL	Very stiff clay	20	1.8		0	100	1.e5
OL	Organic silt	14	2.0		0	70	1.0e5
Abutment fill	Compact medium sand		1.9	50	35	25	0.6e5

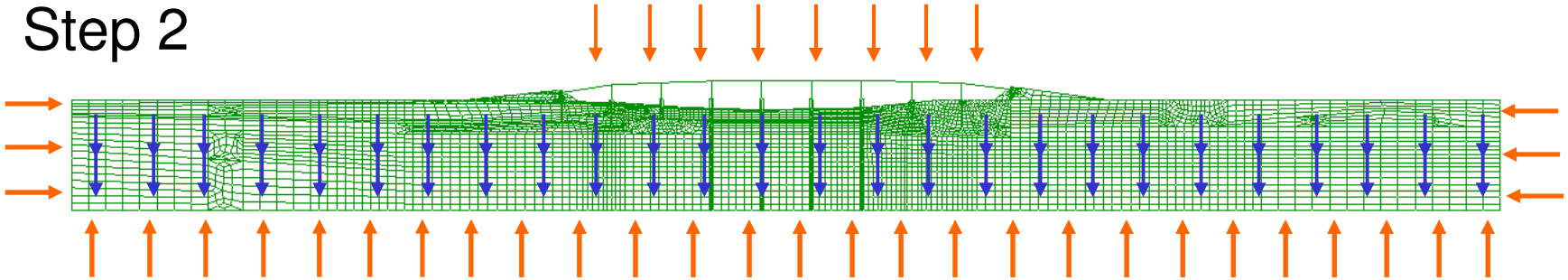
HUMBOLDT BAY BRIDGE

Passi analisi

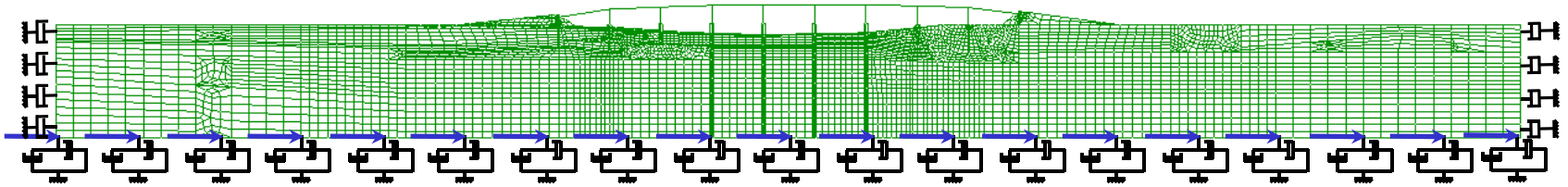
Step 1



Step 2



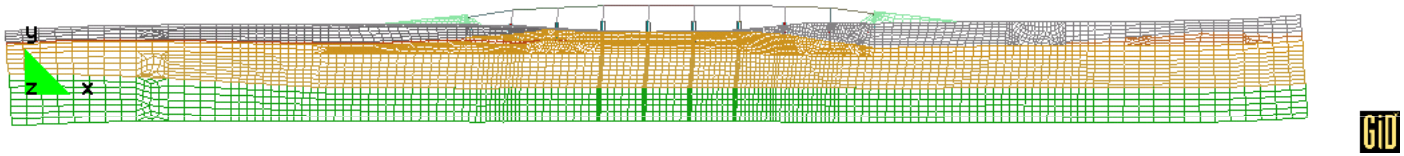
Step 3



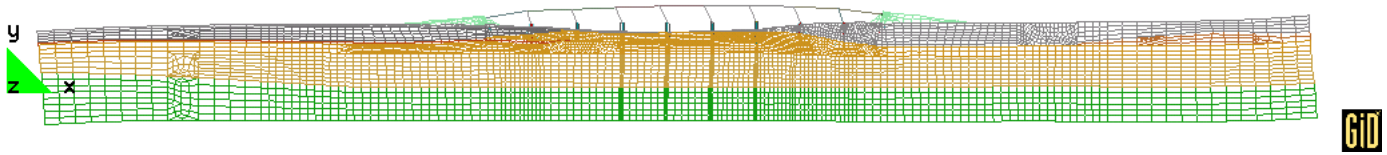
HUMBOLDT BAY BRIDGE

Modi

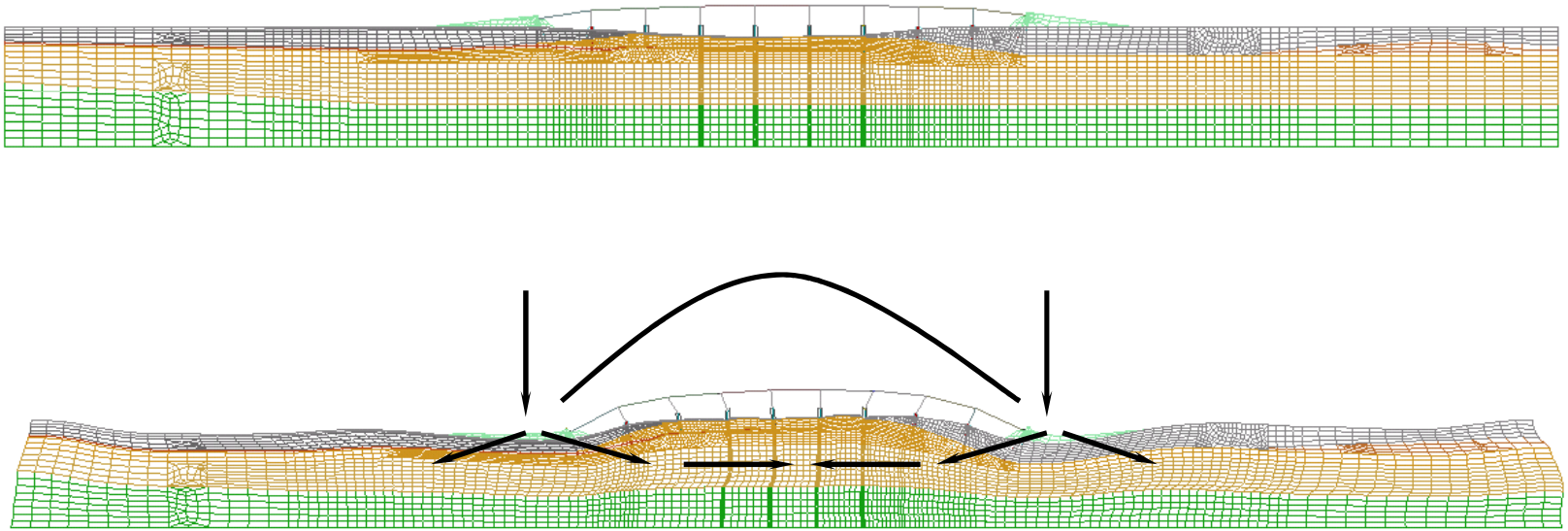
Mode 1 (T_1 = 1.25 sec): Bridge structure in phase with soil media



Mode 2 (T_2 = 0.64 sec): Bridge structure out of phase with soil media

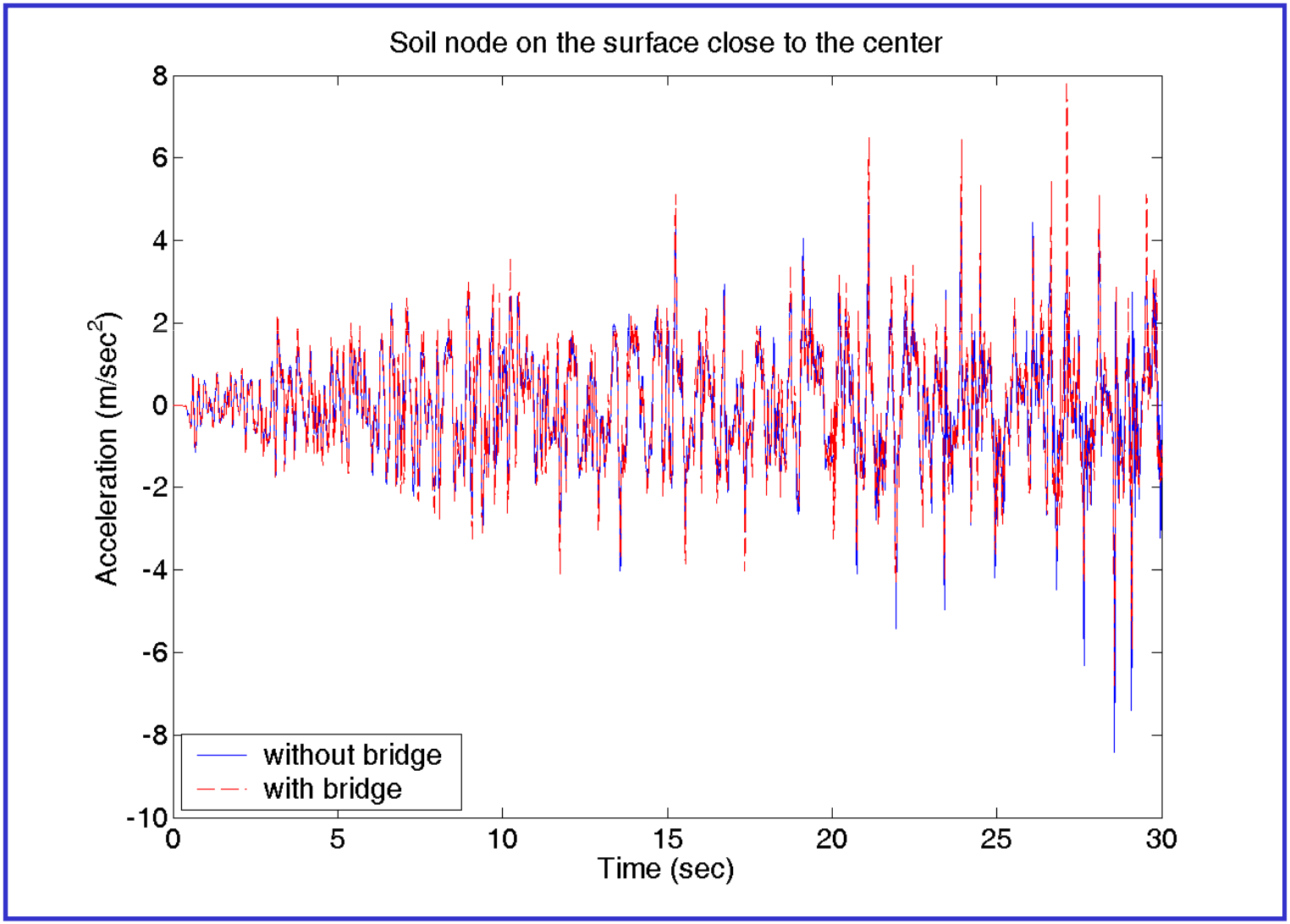


HUMBOLDT BAY BRIDGE



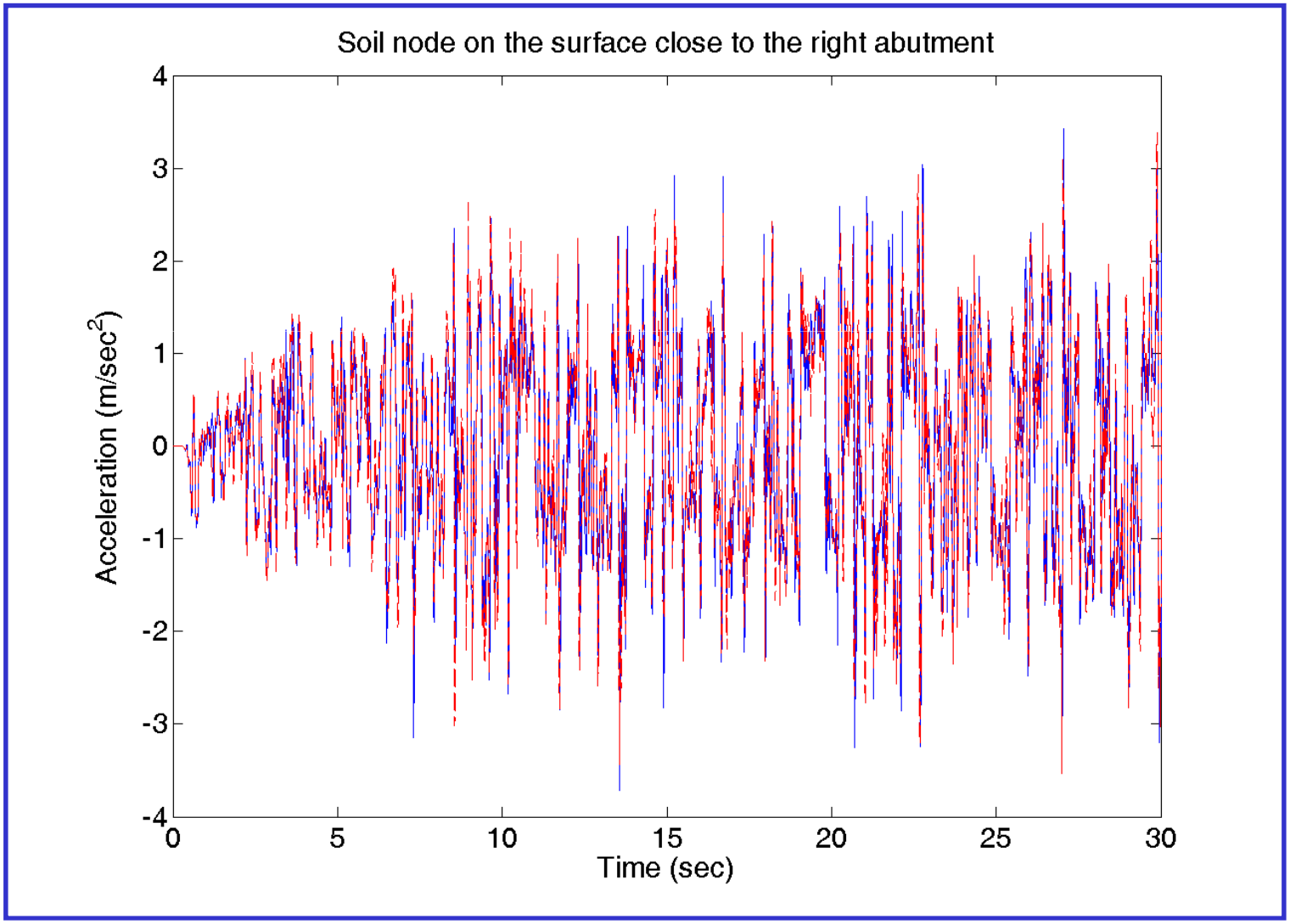
HUMBOLDT BAY BRIDGE

Interazione Suolo-Struttura



HUMBOLDT BAY BRIDGE

Interazione Suolo-Struttura



SOMMARIO

- **Edificio di Bonefro**
- **Ponte di Humbolt Bay**
- **Modellazione Taglio (Per ponti ed edifici)**
- **Esempio di modellazione ed analisi in MidasGen**
- **E-ELT Telescope**

SOMMARIO

- **Modellazione Taglio (Per ponti ed edifici)**
  - **Motivazione**
  - **Cerniera plastica**
  - **Plasticità distribuita**

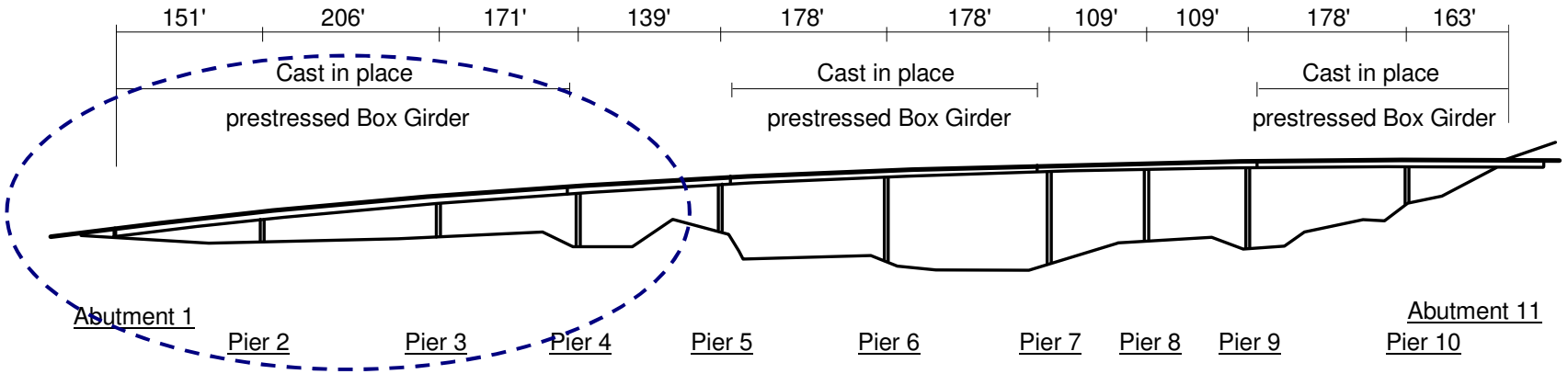
SOMMARIO

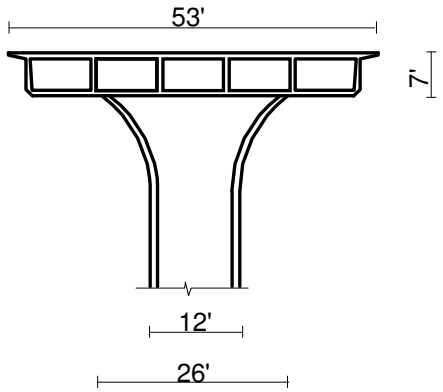
- **Modellazione Taglio (Per ponti ed edifici)**
  - **Motivazione**
  - **Cerniera plastica**
  - **Plasticità distribuita**

MODELLAZIONE TAGLIO

PONTE “IRREGOLARE” a Los Angeles

RTE 14/5 Intersection - SOUTH CONNECTOR





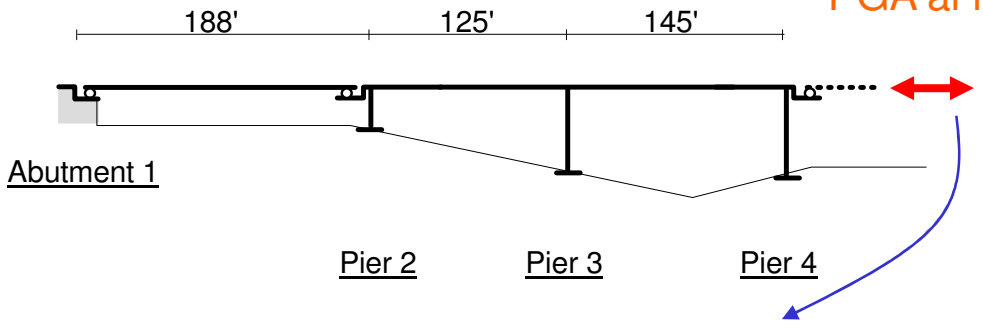
TYPICAL SECTION

In fase di costruzione
colpito dal terremoto
di San Fernando, 1971

MODELLAZIONE TAGLIO

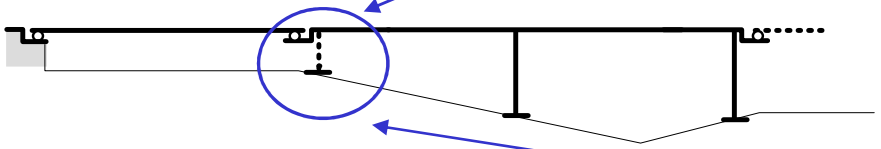
A) North Connector before Northridge earthquake

Terremoto di Northridge, 1994
PGA al raccordo 0,5 g



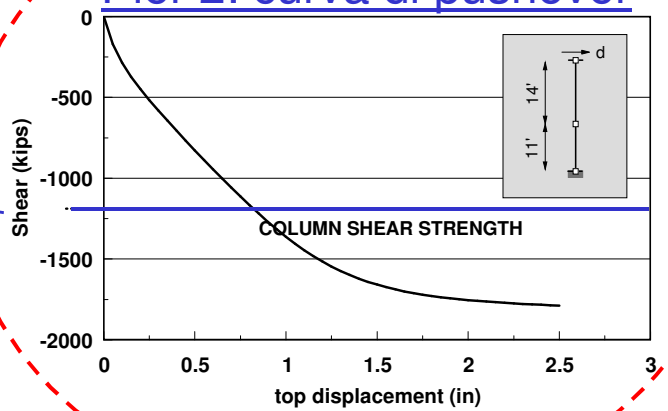
La forza sismca è attratta dalla pila corta, più rigida

B) Pier 2 column fails

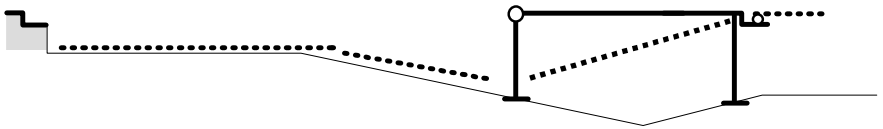


resistenza a taglio insufficiente

Pier 2: curva di pushover

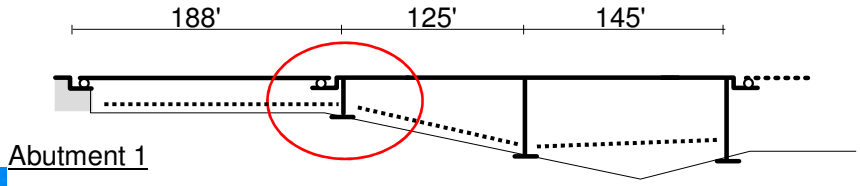


C) Simple span falls off seat abutment;
Box girder forms a hinge at bent 3 and tears off

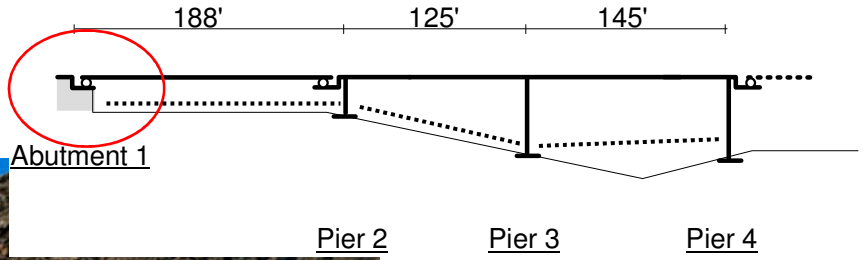


MODELLO A FIBRE: COGLIE IL COMPORTAMENTO M-N, E NON ANCHE IL TAGLIO

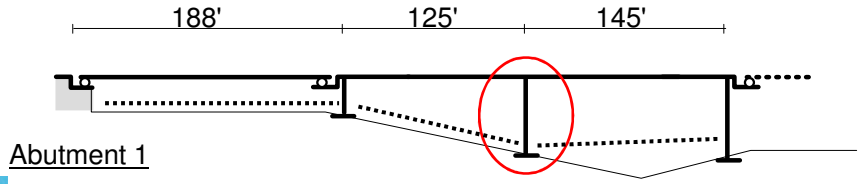
MODELLAZIONE ROTTURA A TAGLIO



MODELLAZIONE ROTTURA A TAGLIO



MODELLAZIONE ROTTURA A TAGLIO

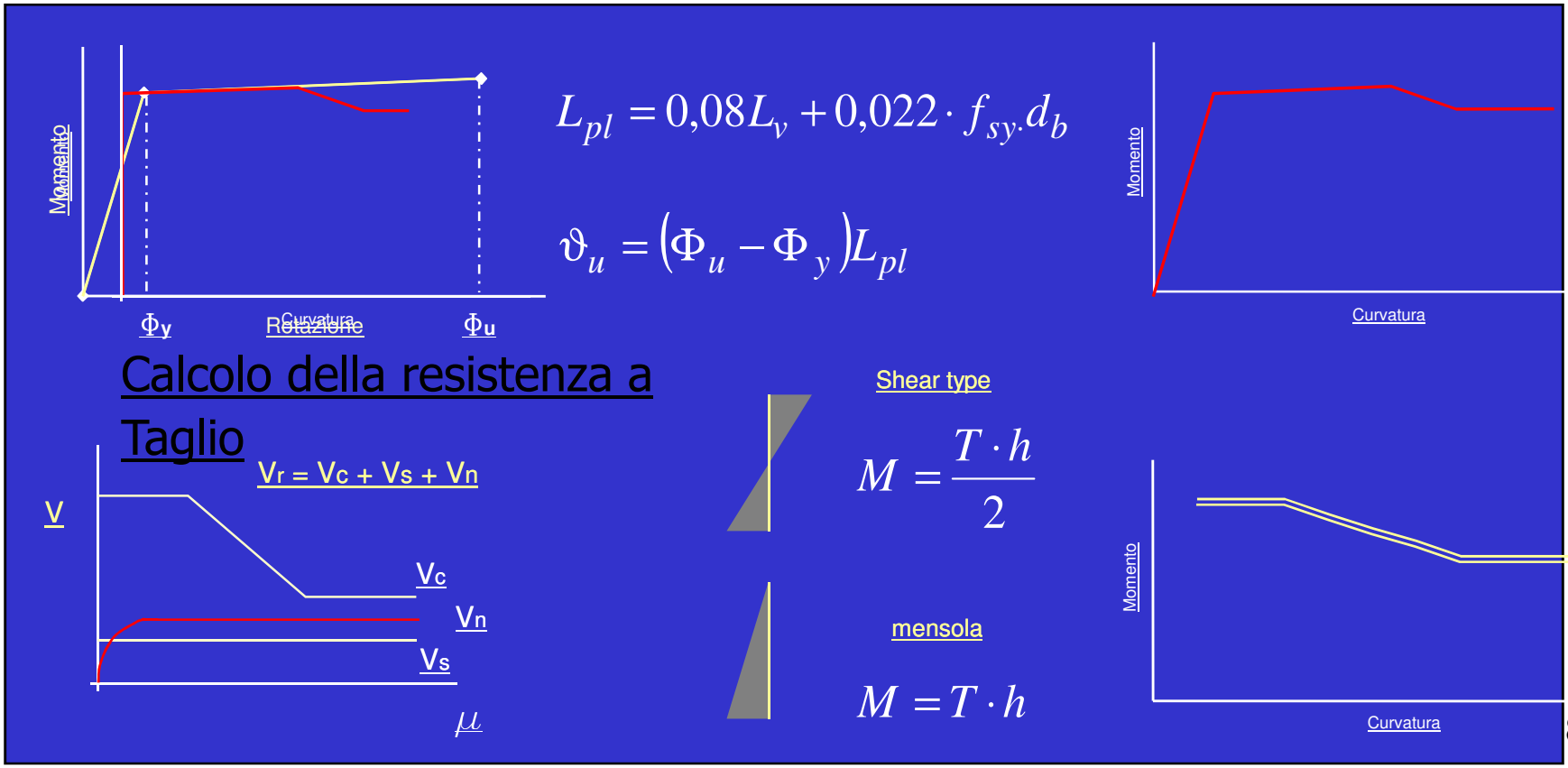


SOMMARIO

- **Modellazione Taglio (Per ponti ed edifici)**
  - **Motivazione**
  - **Cerniera plastica**
  - **Plasticità distribuita**

MODELLAZIONE ROTTURA A TAGLIO
METODO PER CERNIERA PLASTICA

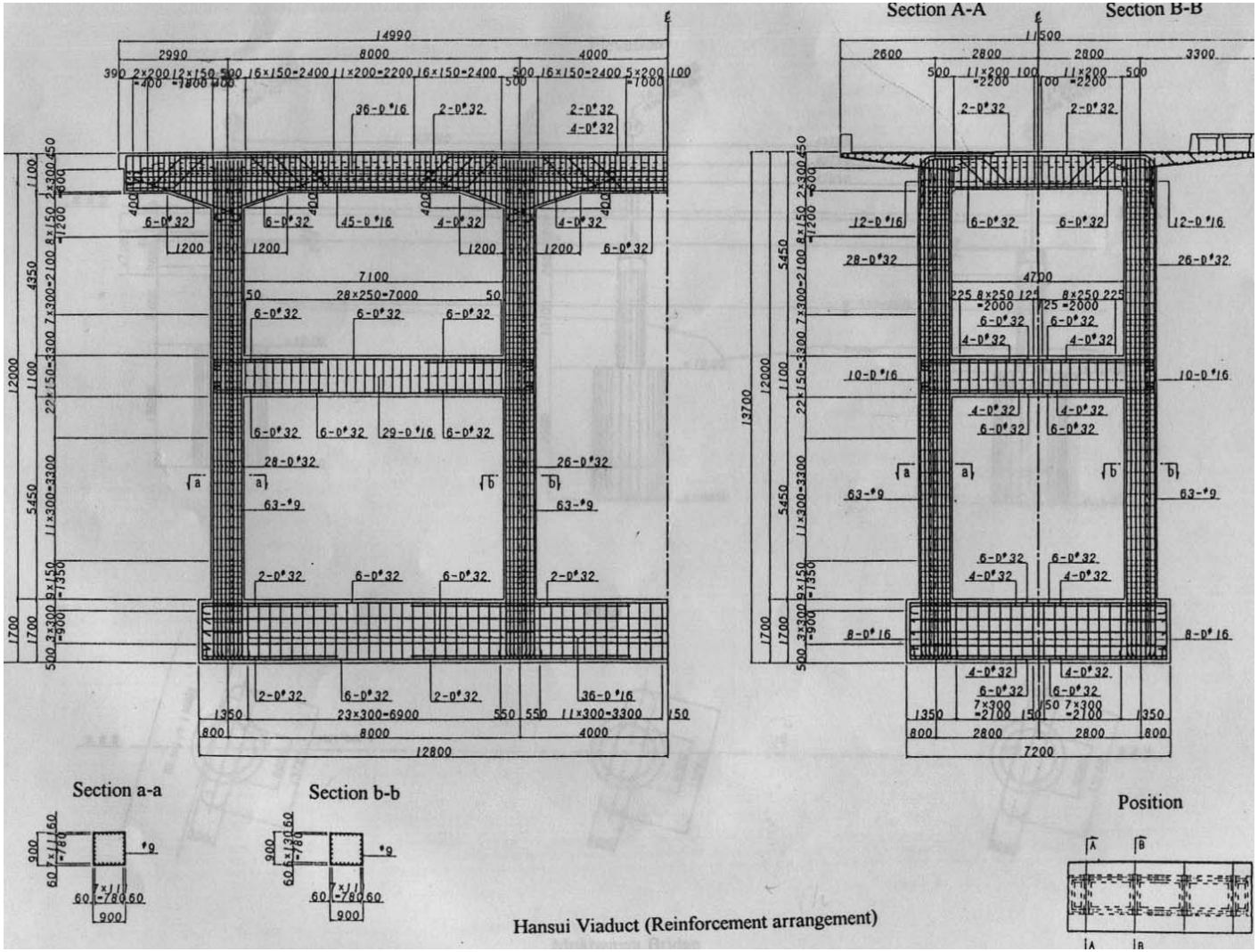
- A partire dai legami costitutivi dei materiali si determina il legame Momento-Rotazione relativa delle cerniere plastiche
- Definizione del legame costitutivo Momento-Curvatura della sezione
- Definizione del comportamento plastico delle cerniere



SOMMARIO

- **Edificio di Bonefro**
- **Ponte di Humbolt Bay**
- **Modellazione Taglio (Per ponti ed edifici)**
  - **Motivazione**
  - **Cerniera plastica**
  - **Plasticità distribuita**

PONTE HANSUI (GIAPPONE)



COLLASSO PER TAGLIO – TERREMOTO KOBE 1995

PONTE HANSUI

- **Necessità di modellare la risposta nonlineare N-V-M**
- **Elemento in Forze di Timoshenko**

Sezione a fibre: matrice di rigidezza completa calcolata in base alla risposta

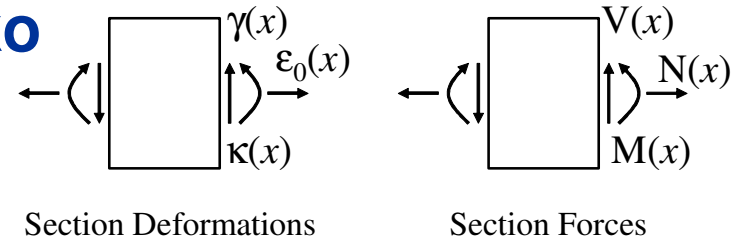
$$\mathbf{k}(x) = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{12} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix}$$

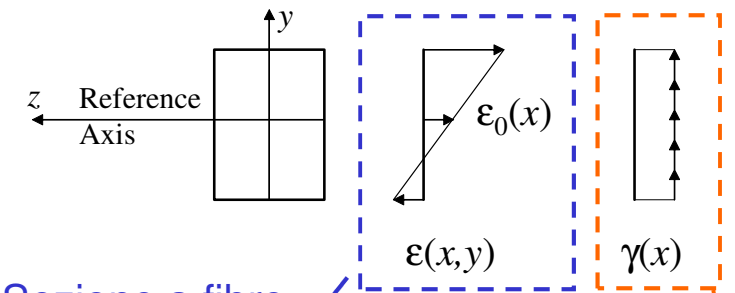
Petrangeli, M., Pinto, P.E. and Ciampi, V. (1999). “Fiber element for cyclic bending and shear of R/C structures. I: theory”, *ASCE Journal of Engineering Mechanics*, 125(9), 994-1001

Elemento in Forze di Timoshenko

Sezione a fibre semplificata

Marini, A., Spacone, E. (2006). Analysis of R/C Elements Including Shear Effects, *ACI Structure Journal*, in stampa





V ed M sono collegati dall'equilibrio puntuale, $V=dM/dx$. L'eventuale rottura a taglio impedisce al momento di aumentare!

Serve una legge V-γ

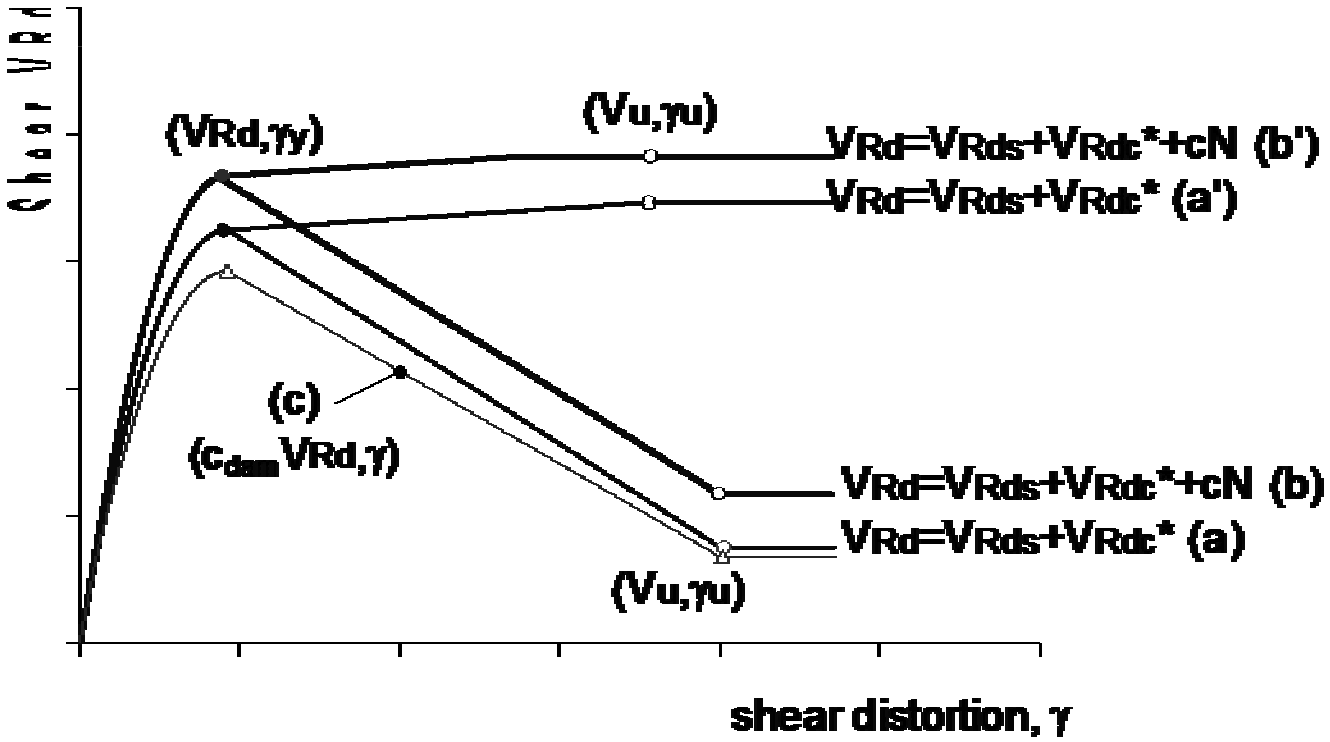
Sezione a fibre solo per N-M

Legge solo V

$$\mathbf{k}(x) = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & 0 \\ k_{12} & k_{22} & 0 \\ 0 & 0 & k_{33} \end{bmatrix}$$

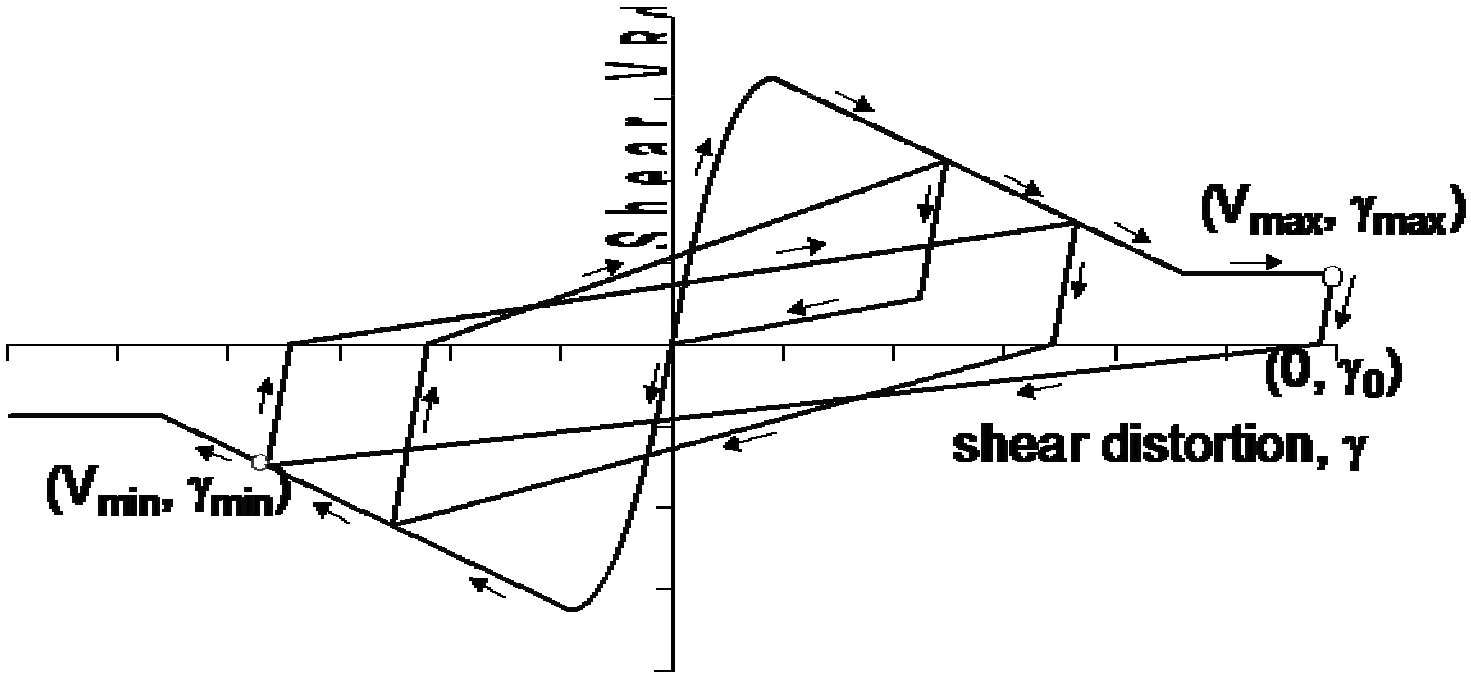
Modello Ponte

- Elementi telaio in forze (tipo Timoshenko)
- Sezioni a fibre per N-M
- Modello a taglio V-γ – Equilibrio con M, V=dM/dx (“esatto”)



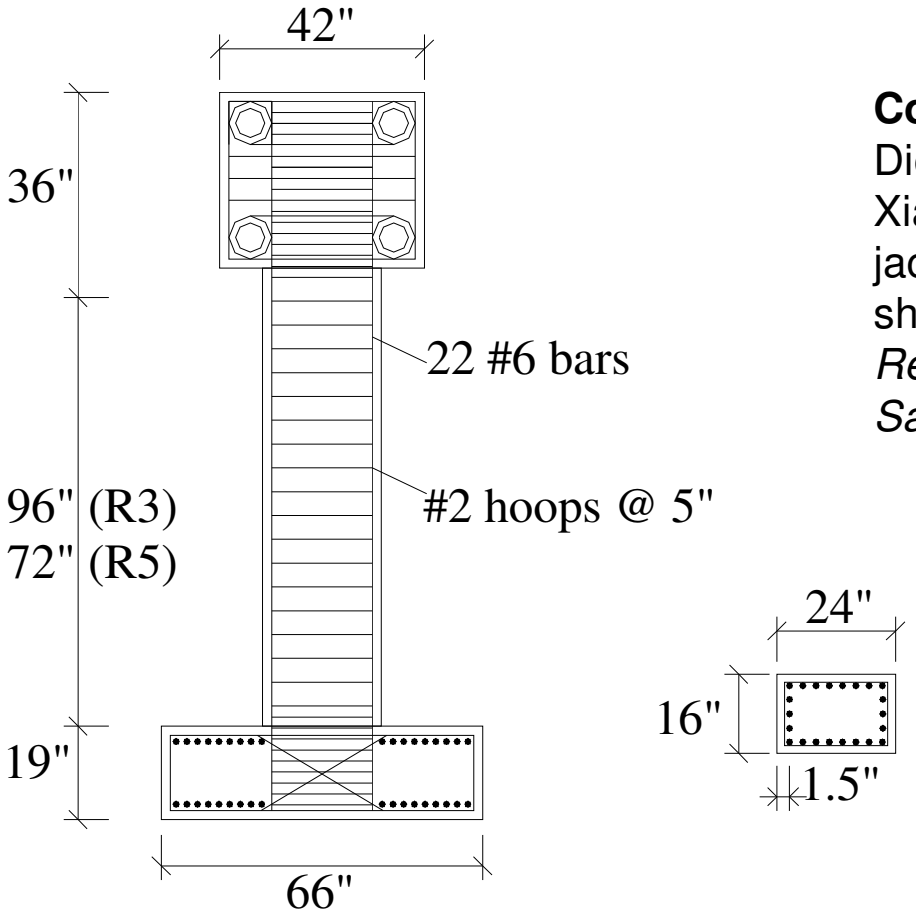
Modello Ponte

- Comportamento ciclico a taglio (con danno)



Modello Ponte

Taratura modello taglio

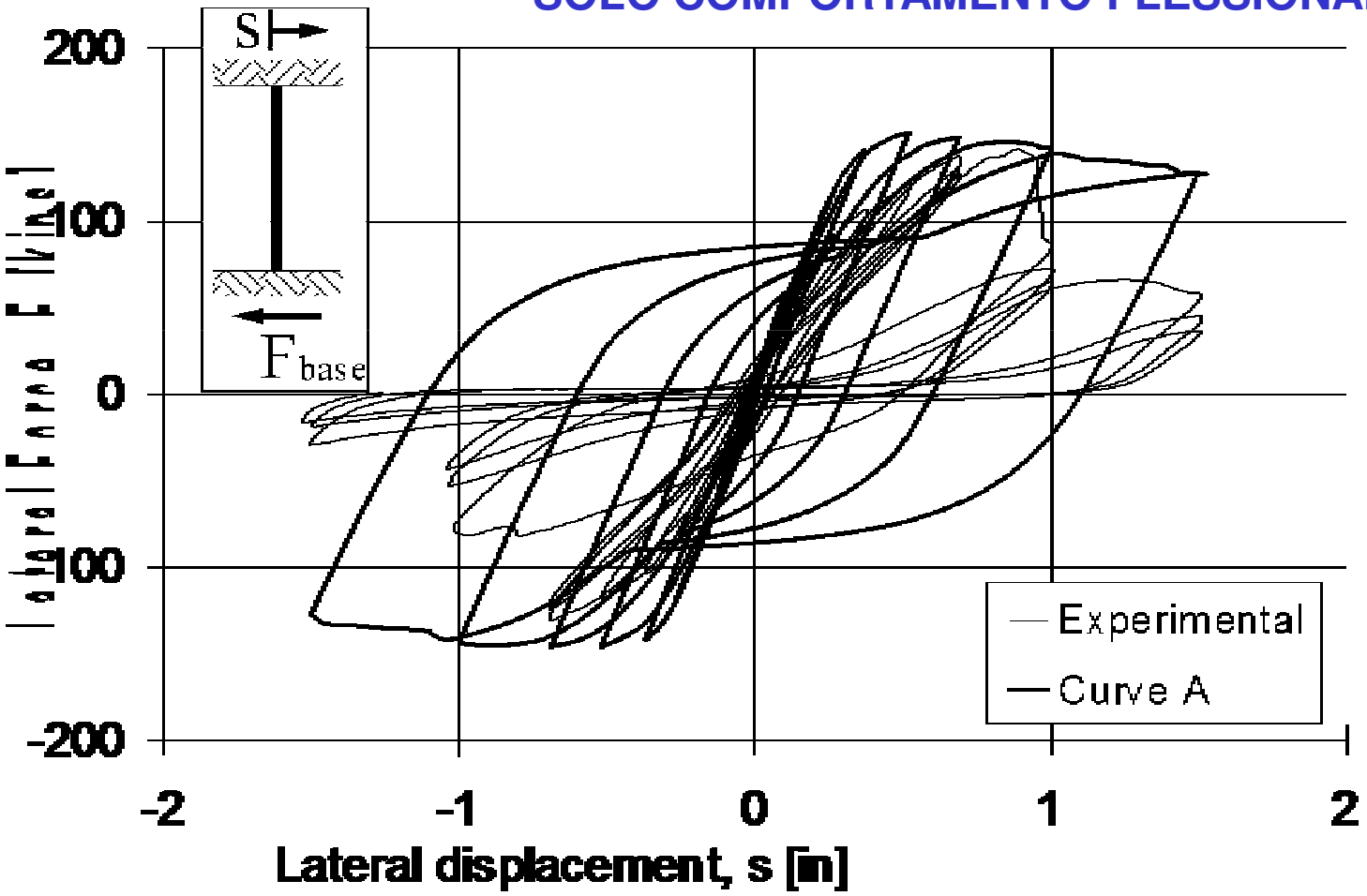


Colonna provata in laboratorio (UC San Diego, USA):
Xiao, Y., Priestley, N., Seible, F. (1993). “Steel jacket retrofit for enhancing shear strength of short rectangular reinforced concrete columns”, *Report n. SSRP-92/07, University of California, San Diego, Structural Systems Research Project.*

PONTE HANSUI

Modello Ponte

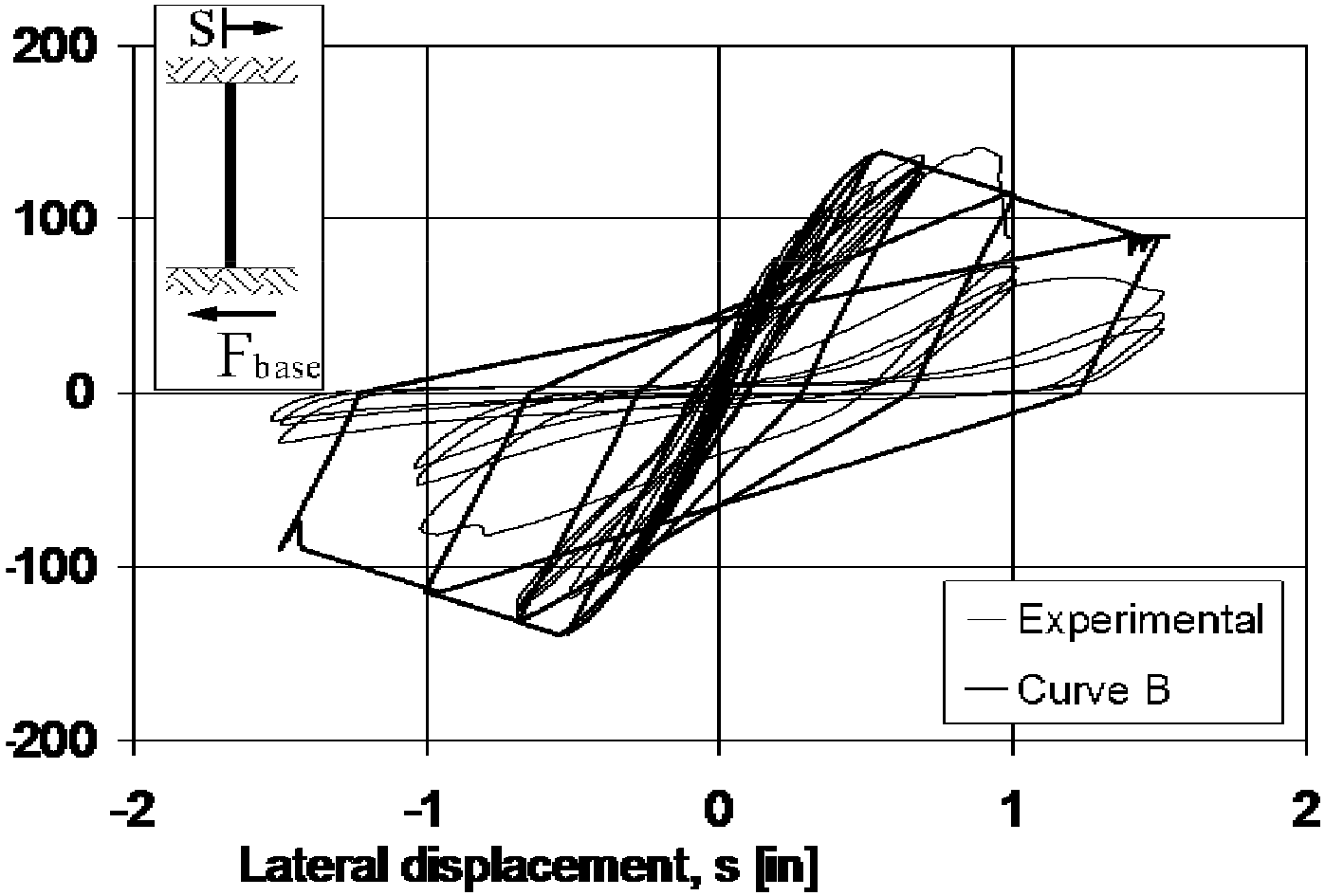
SOLO COMPORTAMENTO FLESSIONALE



PONTE HANSUI

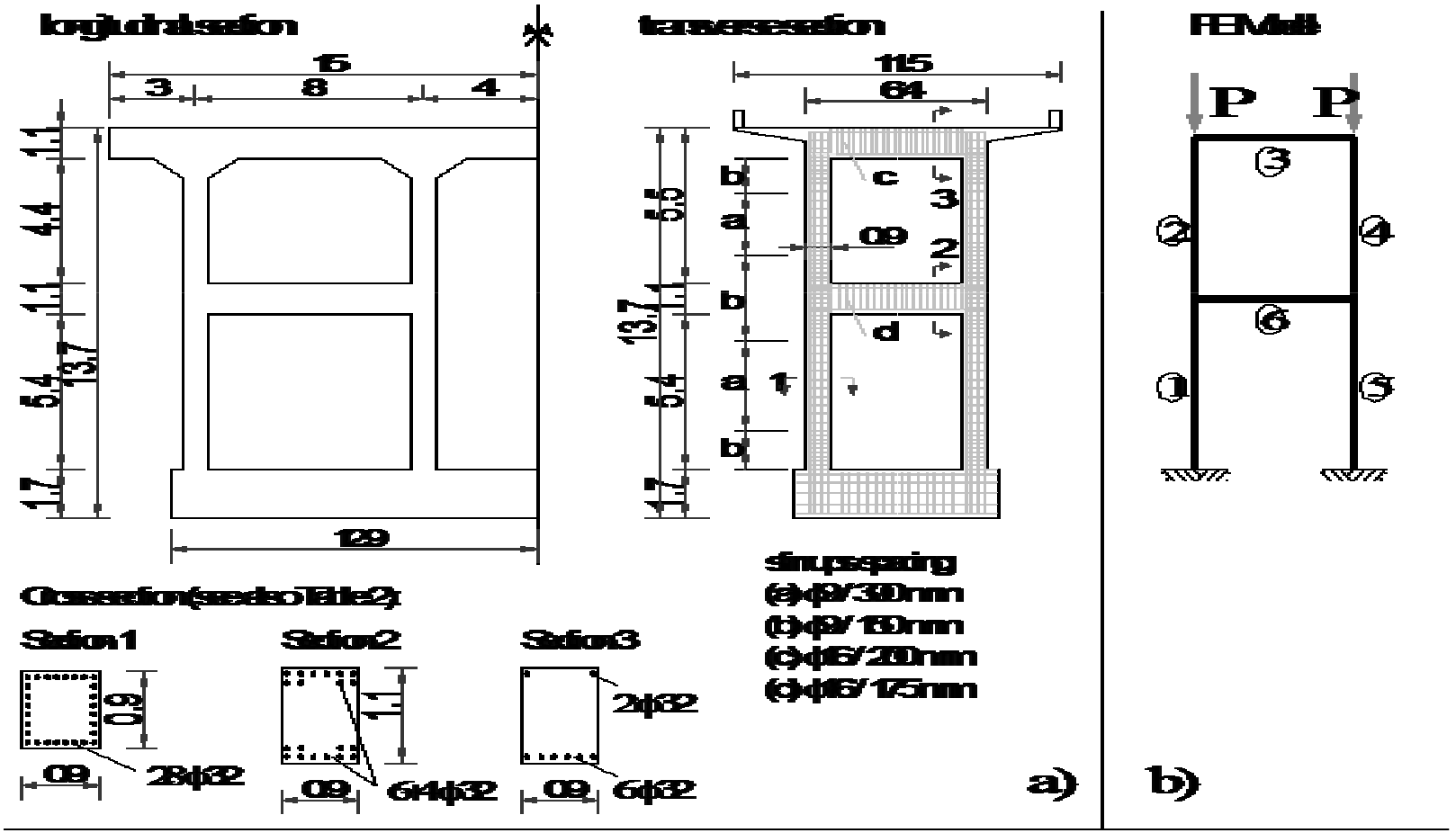
Modello Ponte

FLESSIONE E TAGLIO (SECONDO EC2)



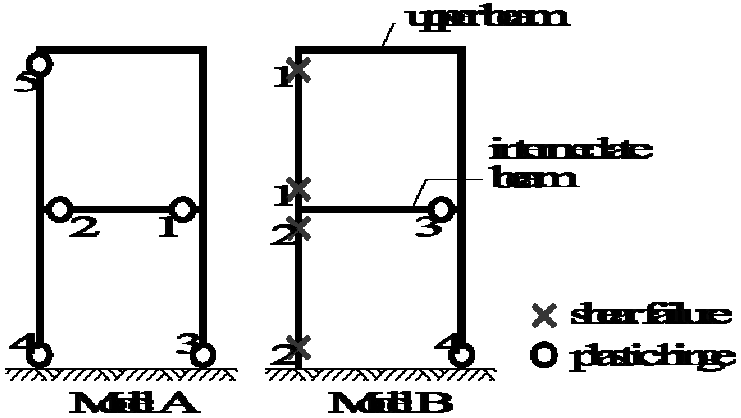
PONTE HANSUI

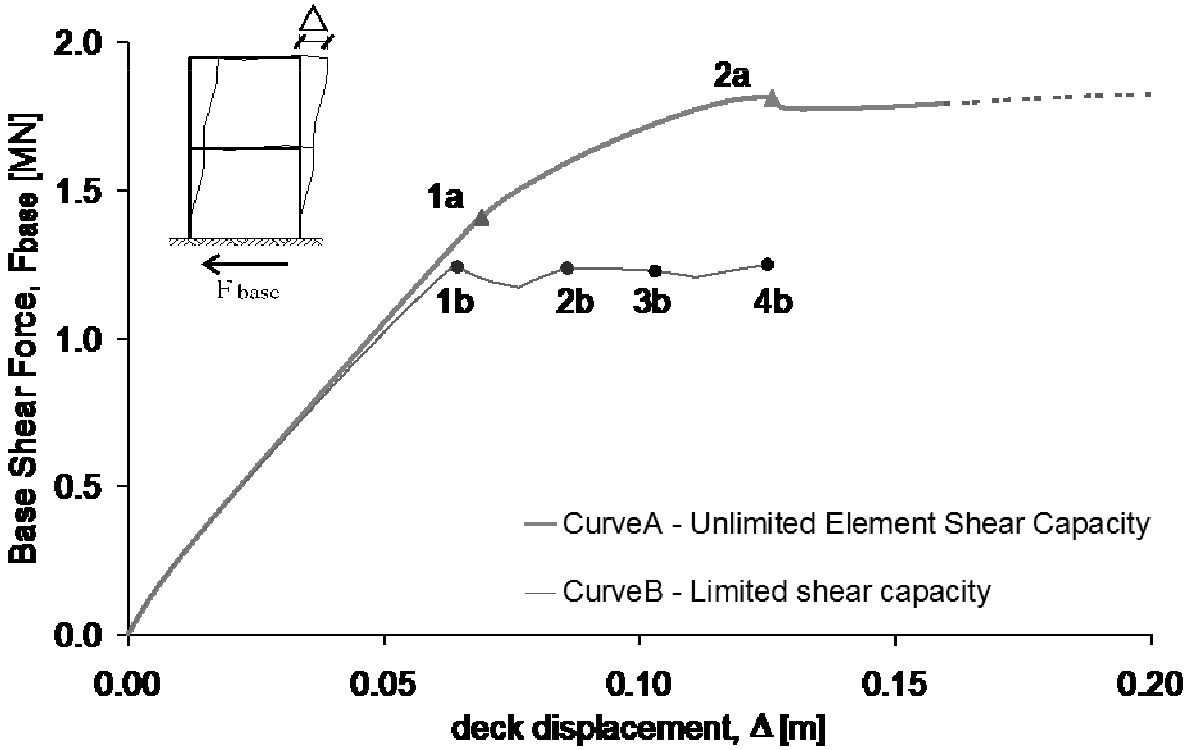
Modello Ponte



PONTE HANSUI

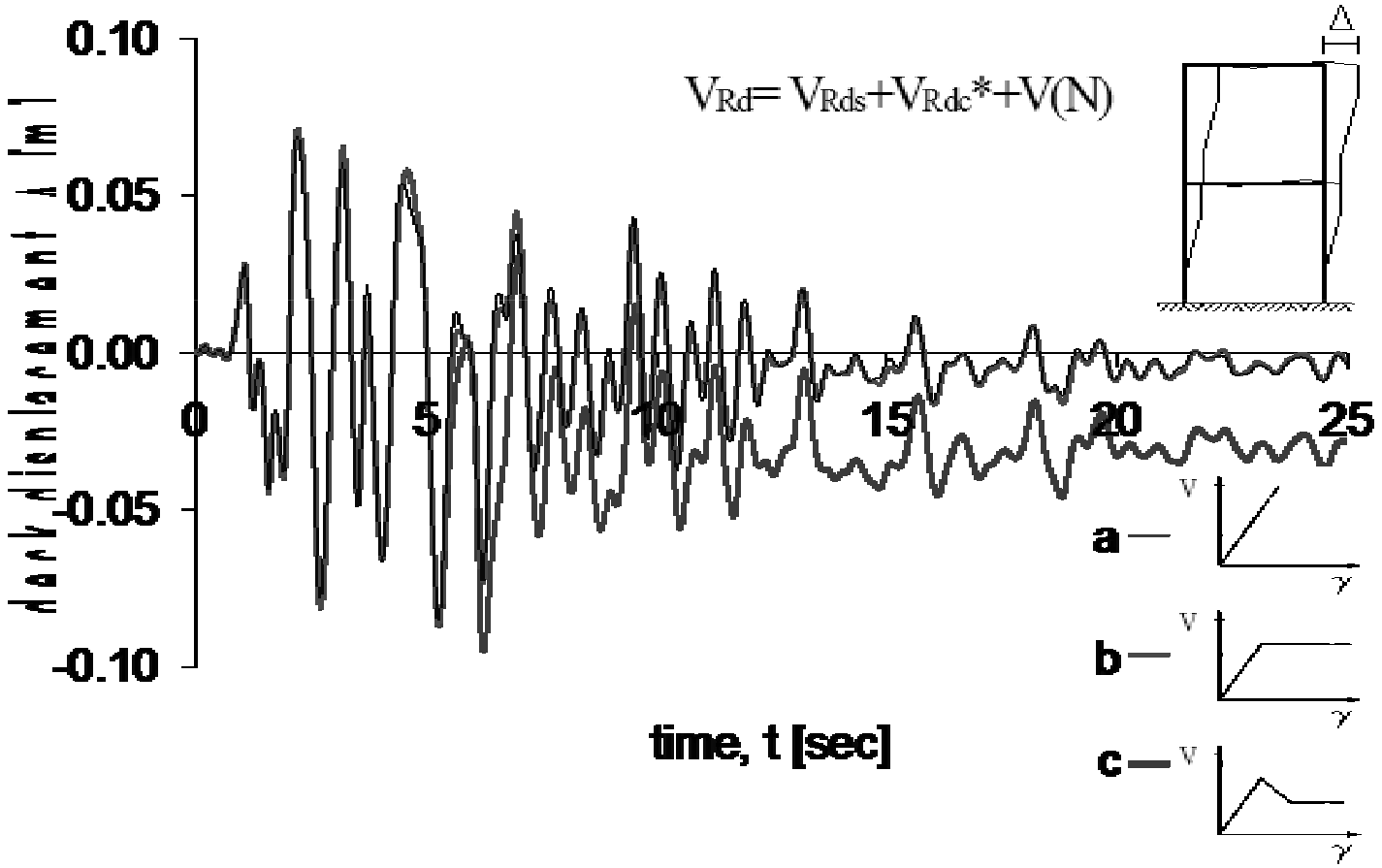
Risultati Analisi Ponte (PO)





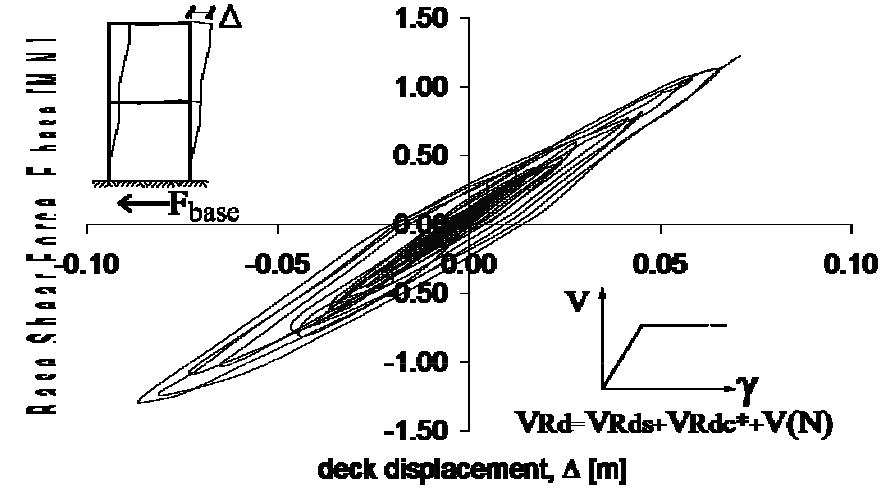
PONTE HANSUI

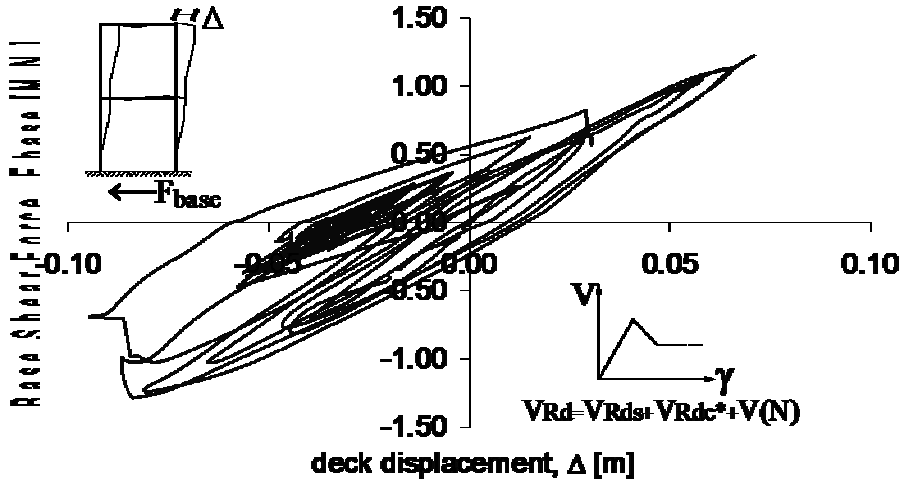
Risultati Analisi Ponte (TH terremoto Kobe)



PONTE HANSUI

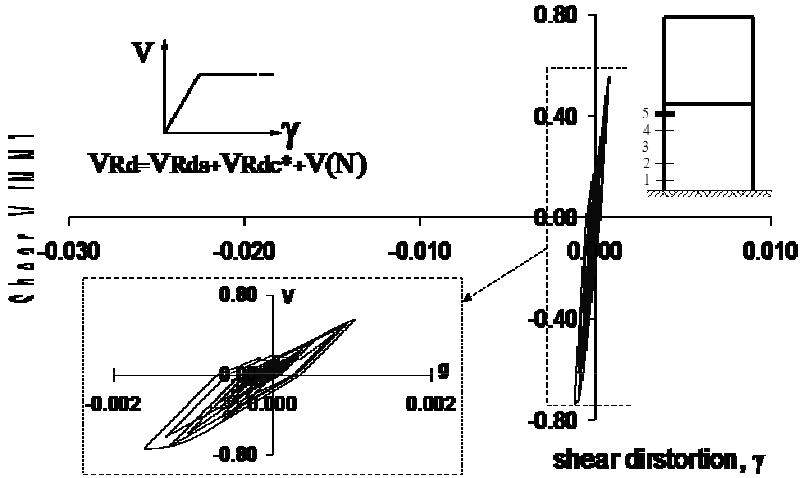
Risultati Analisi Ponte

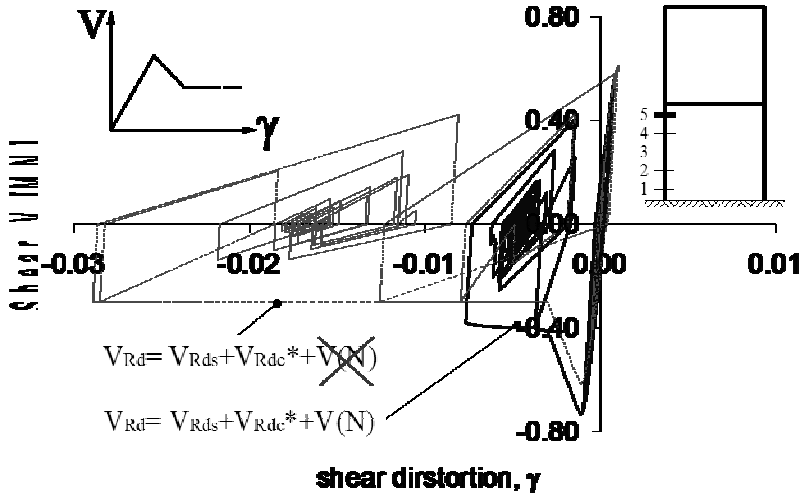


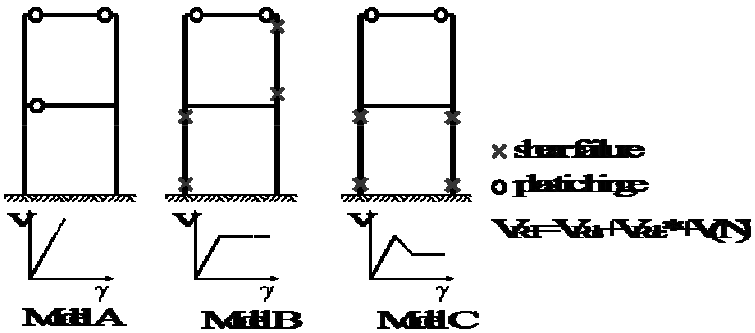


PONTE HANSUI

Risultati Analisi Ponte







CONCLUSIONI SUI TRE ESEMPI

- Effetturare delle analisi nonlineari è oggi possibile anche sui normali PC
- PUNTO CENTRALE: scelta di un modello accurato
- In molti si domandano il perché delle analisi di PO (e quindi approssimate) piuttosto che analisi TH
- Non esistono ancora confronti completi fra PO e TH tridimensionali, con confronto critico dei risultati
- La fase di verifiche non è ancora applicativa (da norma). O ci sono programmi che specificano il raggiungimento di tutti gli SL cercati (rotture a flessione, taglio, etc.) o il controllo diventa pesante
- Servono inoltre indicazioni sul come stabilire il raggiungimento di uno SL. Per esempio, il fatto che si formi (al target displacement) una singola cerniera plastica in una trave non è un problema, mentre un meccanismo di piano è sicuramente un fatto più serio.
- Alcune normative indicano l'interstory drift come misura di controllo (sicuramente più semplice, forse meno precisa)

SOMMARIO

- **Edificio di Bonefro**
- **Ponte di Humbolt Bay**
- **Modellazione Taglio (Per ponti ed edifici)**
- **Esempio di modellazione ed analisi in MidasGen**
- **E-ELT Telescope**

ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

Carichi:

Primo e secondo Livello:

$G_k = 3\ kN/m^2$
$Q_k = 2\ kN/m^2$

Terzo Livello:

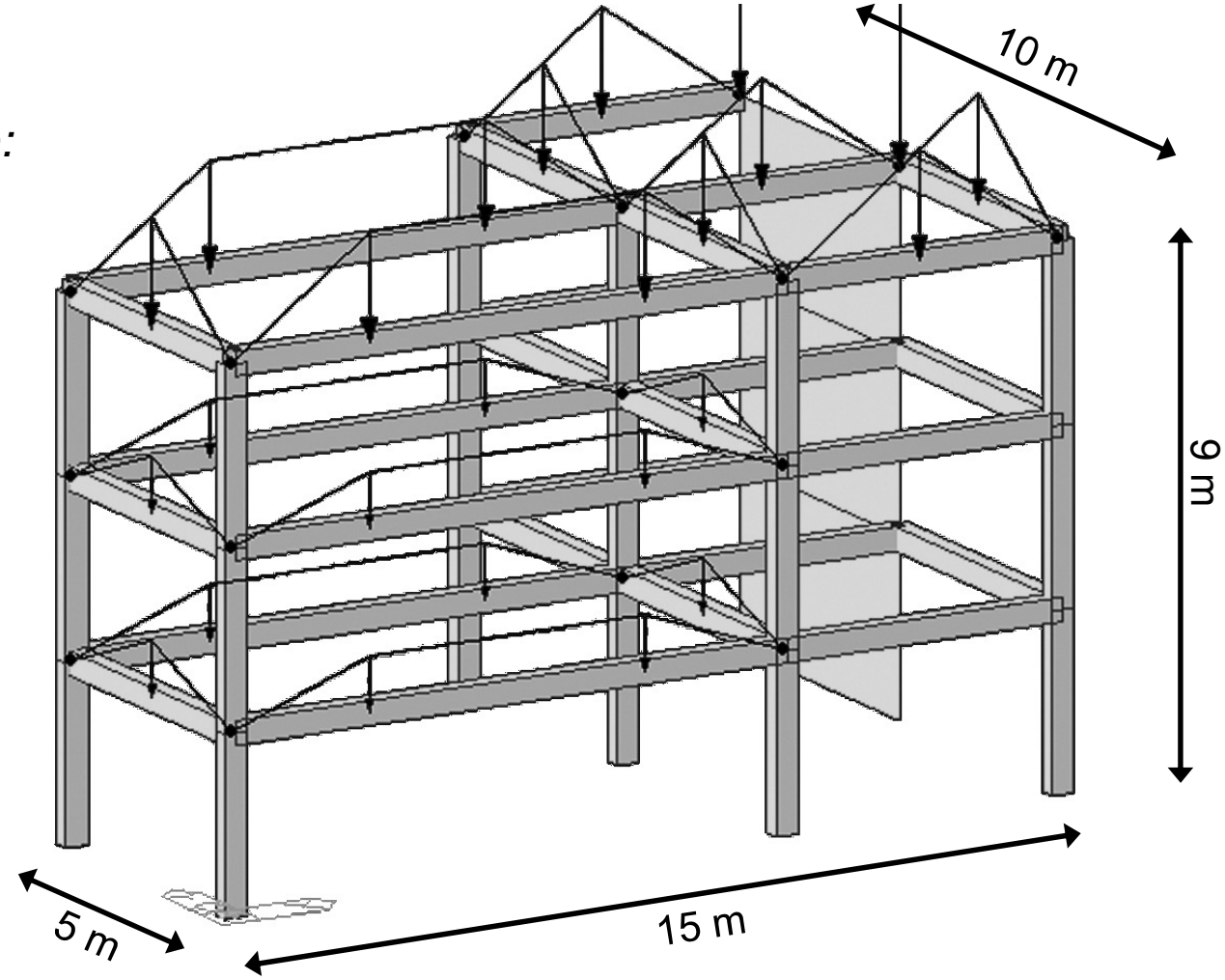
$G_k = 6\ kN/m^2$
$Q_k = 4\ kN/m^2$

Materiali:

$f_{ck} = 20\ N/mm^2$

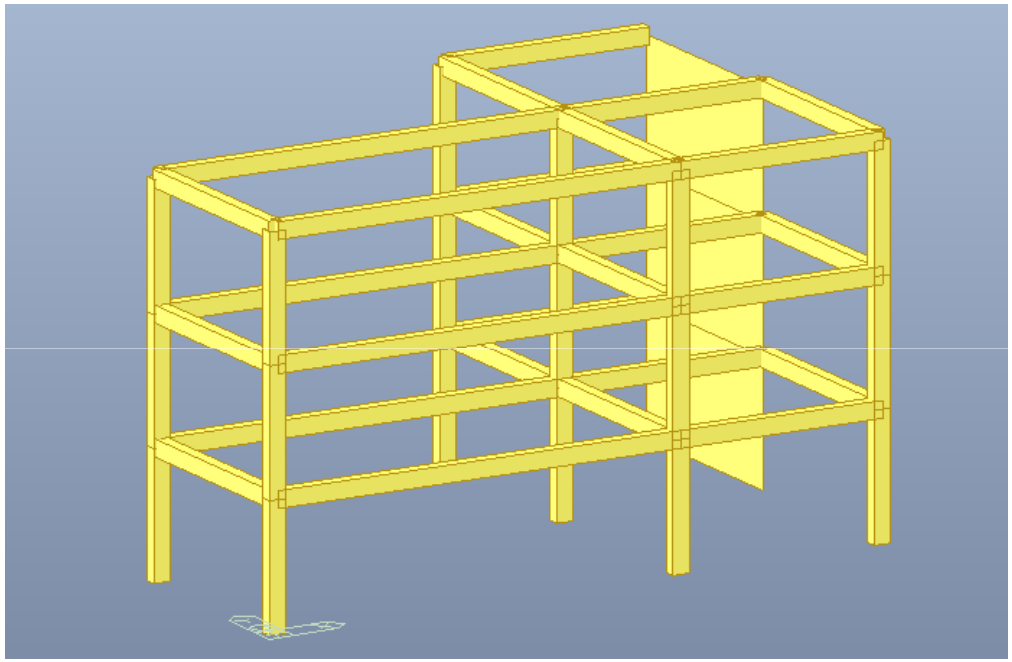
Sezione:

Travi e Colonne:
b = 40 cm
h = 30 cm
Wall: s = 30 cm



ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

Step 0: Definizione del modello lineare ed analisi modale



Mode No	Period	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z		ROTN-Z	
	(sec)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)	MASS(%)	SUM(%)
1	0.6742	65.12	65.12	10.11	10.11	0.00	0.00	10.69	10.69
2	0.5977	20.39	85.51	33.24	43.35	0.00	0.00	34.18	44.87
3	0.1747	2.15	87.66	3.50	46.85	0.00	0.00	3.86	48.73
4	0.1571	9.28	96.94	0.59	47.44	0.00	0.00	0.94	49.67
5	0.1036	0.00	96.94	40.71	88.15	0.01	0.01	34.81	84.48

ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

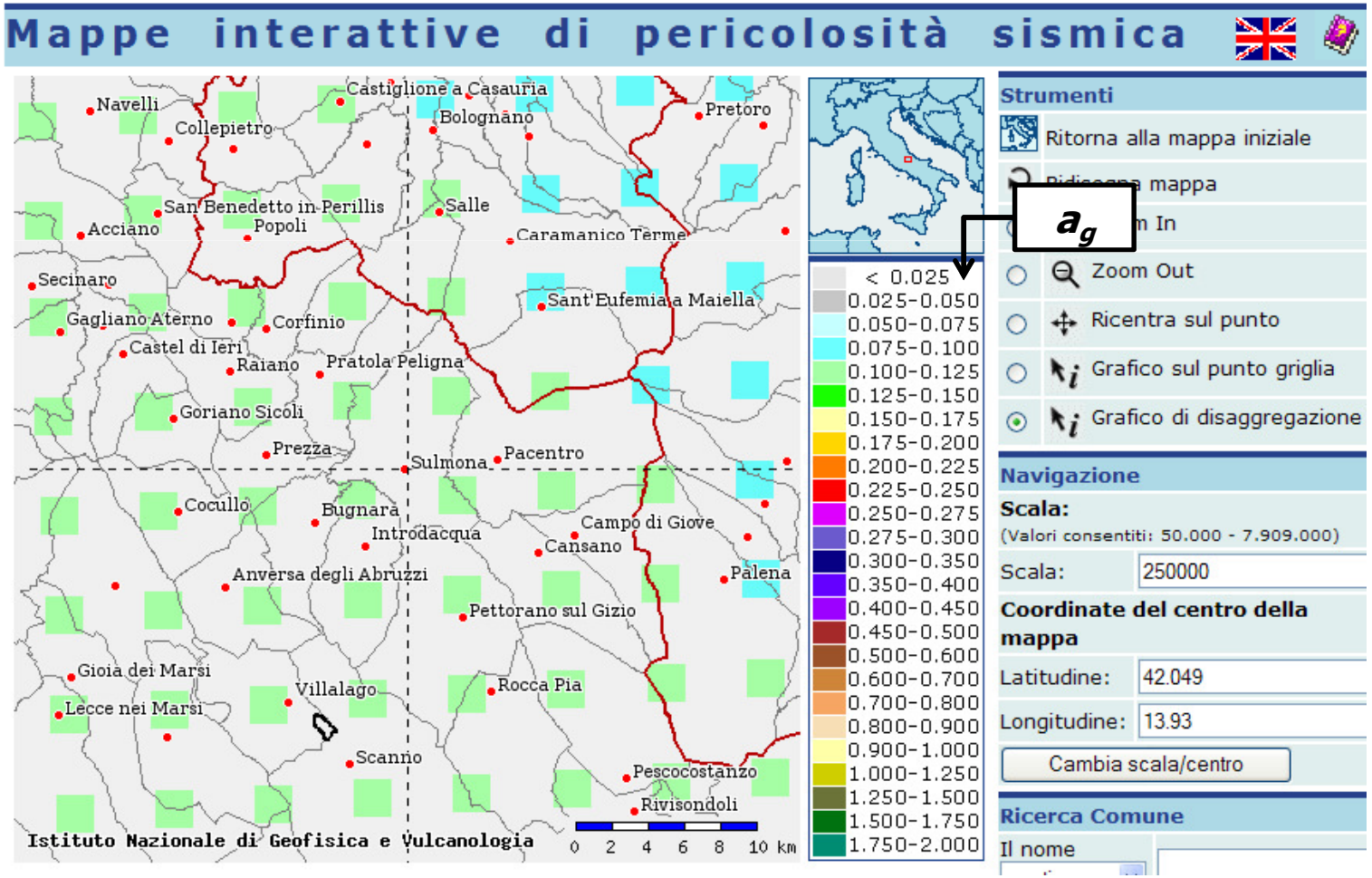
Step 1: Selezione delle registrazioni spettro-compatibili

http://esse1.mi.ingv.it/

ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

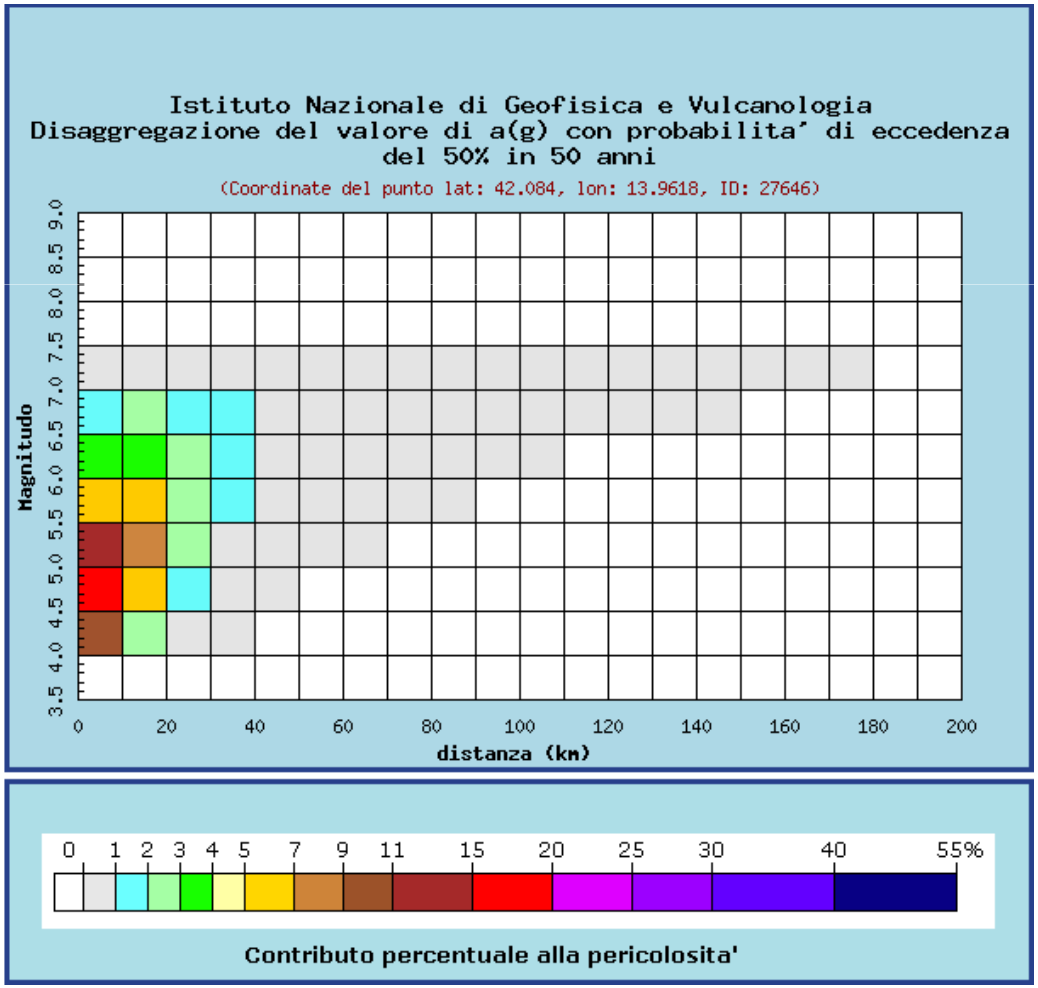
Step 1: Selezione delle registrazioni spettro-compatibili

Probabilità di Eccedenza 50% in 50 anni



ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

Step 0: Selezione delle registrazioni spettro-compatibili



Selezione da Disaggregazione della Pericolosità Sismica (Probabilità di Eccedenza 50% in 50 anni):

$5.5 \leq M_w \leq 6.5$

$0 \leq d_{ep} \leq 30$ km

ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

Step 0: Selezione delle registrazioni spettro-compatibili

$5.5 \leq M_w \leq 6.5$

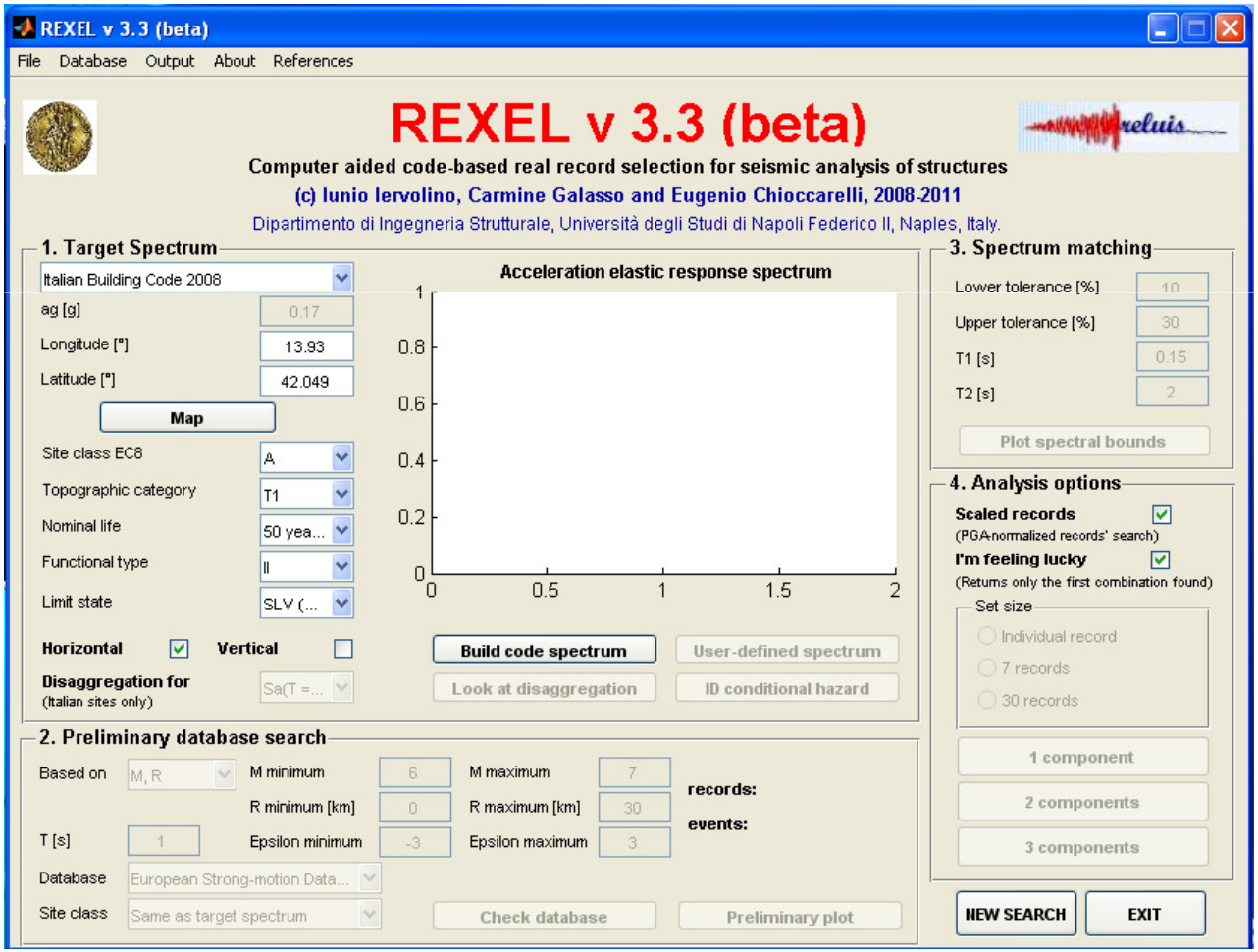
$0 \leq d_{ep} \leq 30$ km

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 50% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 42.084, lon: 13.9618, ID: 27646)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	9.320	18.600	11.800	6.440	3.120	1.350	0.443	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	2.310	6.830	7.040	5.840	3.910	2.000	0.784	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.211	1.300	2.260	2.720	2.470	1.590	0.770	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.001	0.114	0.600	1.070	1.280	1.070	0.619	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.001	0.092	0.372	0.594	0.646	0.435	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.005	0.112	0.266	0.358	0.278	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.026	0.123	0.208	0.184	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.044	0.100	0.100	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.015	0.056	0.062	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.030	0.038	0.000	0.000	0.000

Selezione da Disaggregazione della Pericolosità Sismica (Probabilità di Eccedenza 50% in 50 anni)

ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

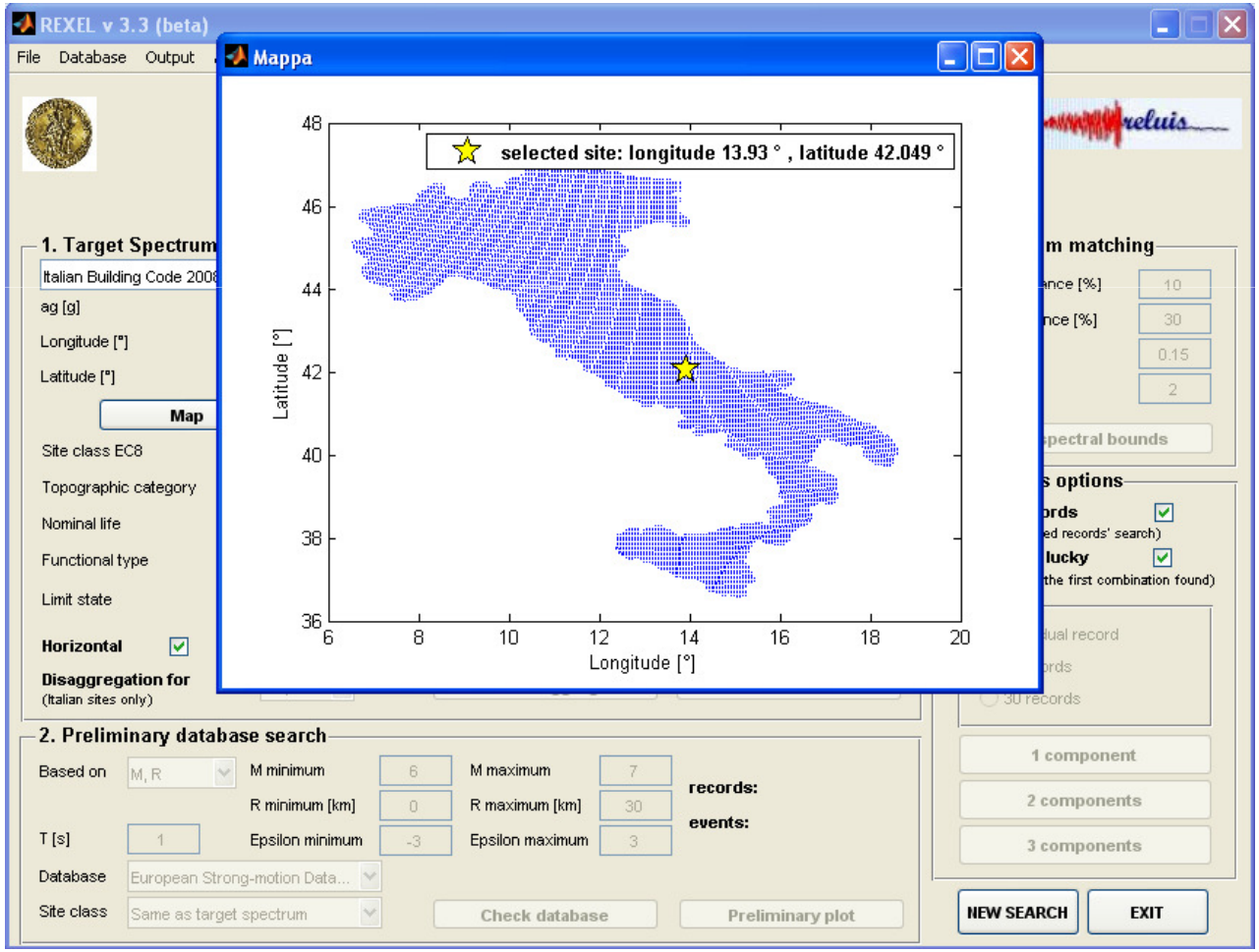
Step 0: Selezione delle registrazioni spettro-compatibili



Iervolino I., Galasso C., Cosenza E., REXEL: computer aided record selection for code-based seismic structural analysis, Bull Earthquake Eng (2010) 8:339–362

ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

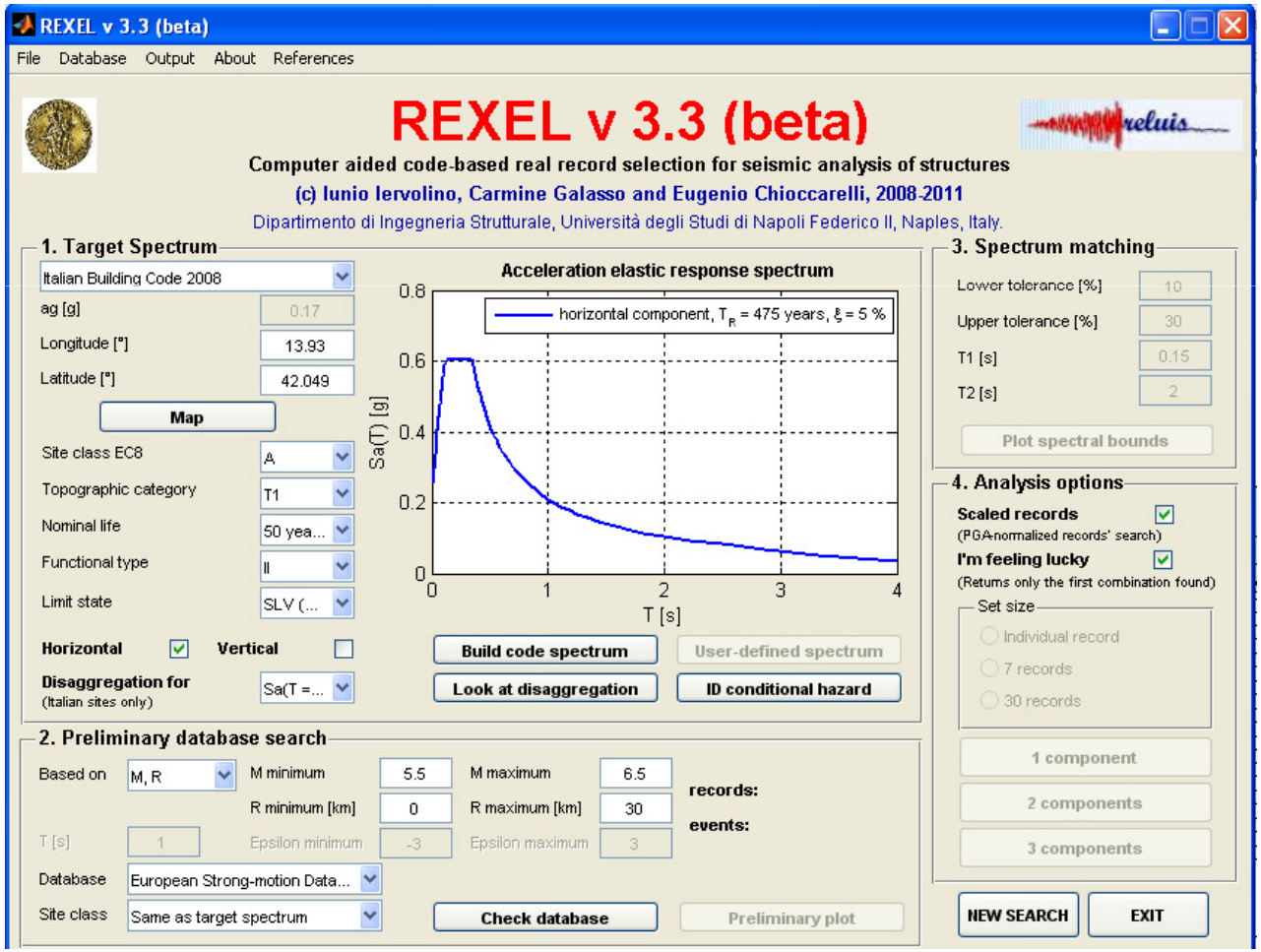
Step 0: Selezione delle registrazioni spettro-compatibili



Definizione del sito selezionalo mediante latitudine e longitudine

ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

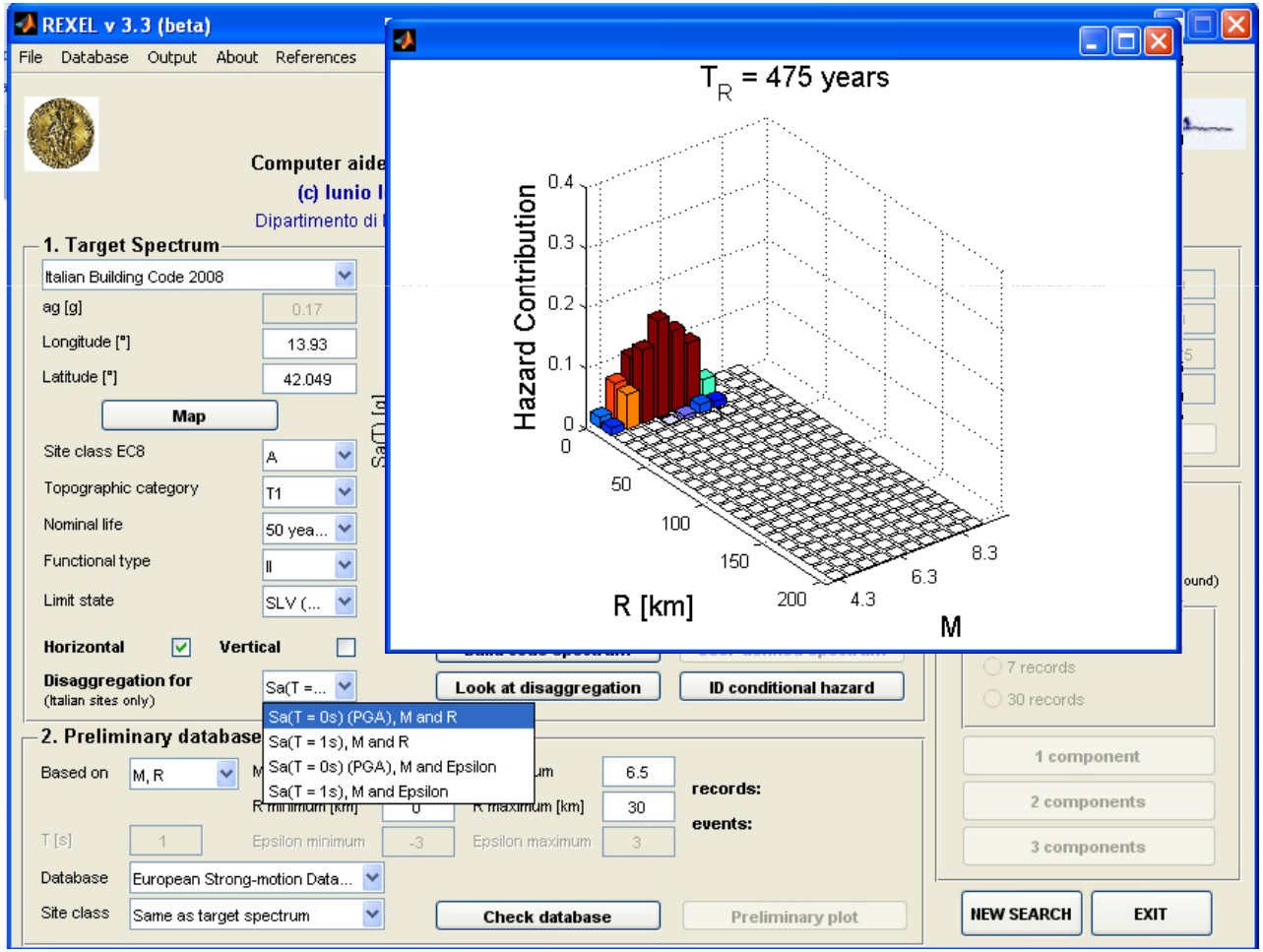
Step 0: Selezione delle registrazioni spettro-compatibili



Definizione dello spettro di risposta elastico NTC2008 (target spectrum) in funzione del sito selezionato

ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

Step 0: Selezione delle registrazioni spettro-compatibili

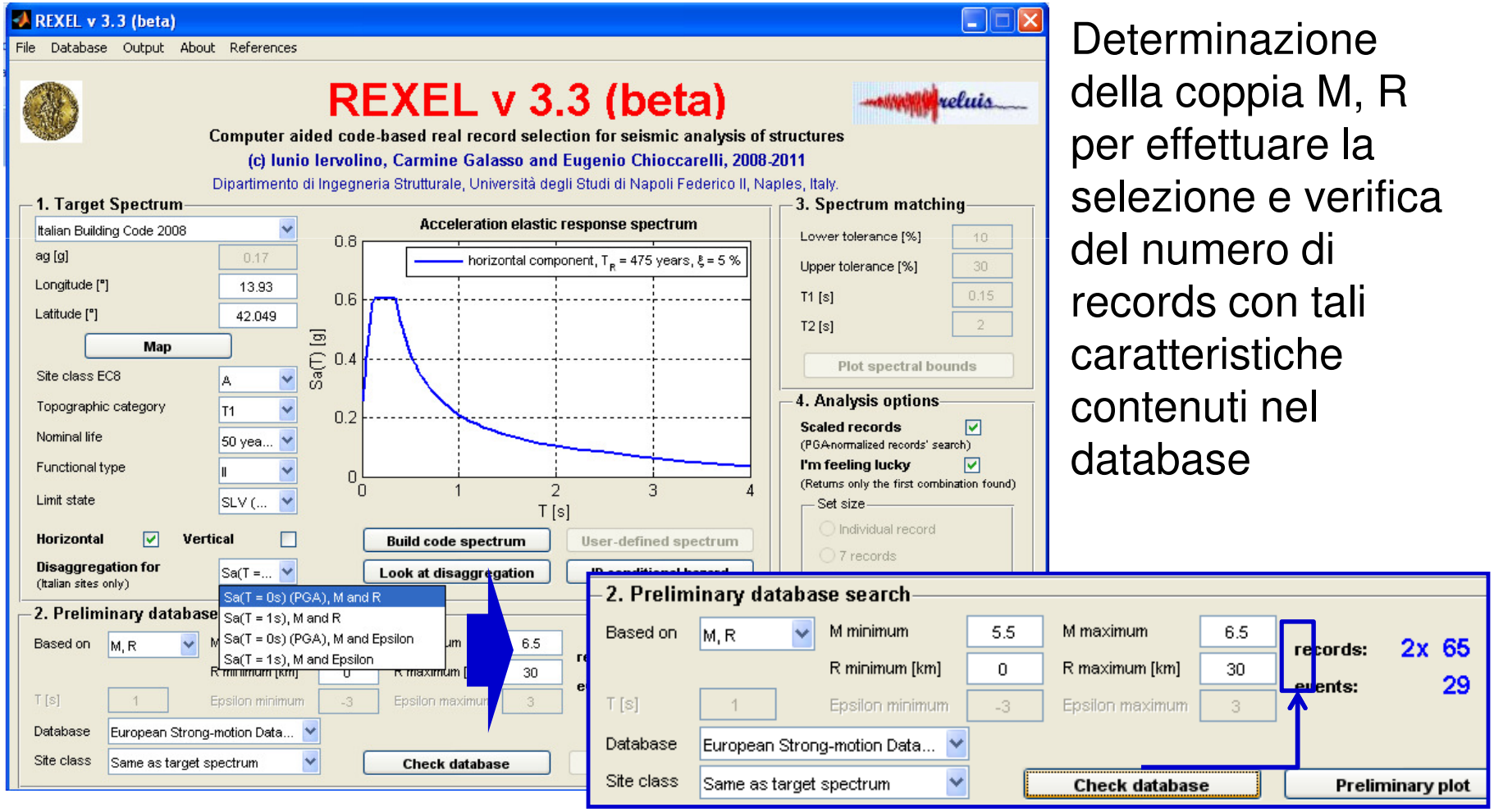


Visualizzazione dell'analisi di disaggregazione in PGA per magnitudo M e distanza epicentrale R

Epsilon is defined as a measure of the difference between the spectral acceleration of a record and the mean of a ground motion prediction equation at the given period

ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

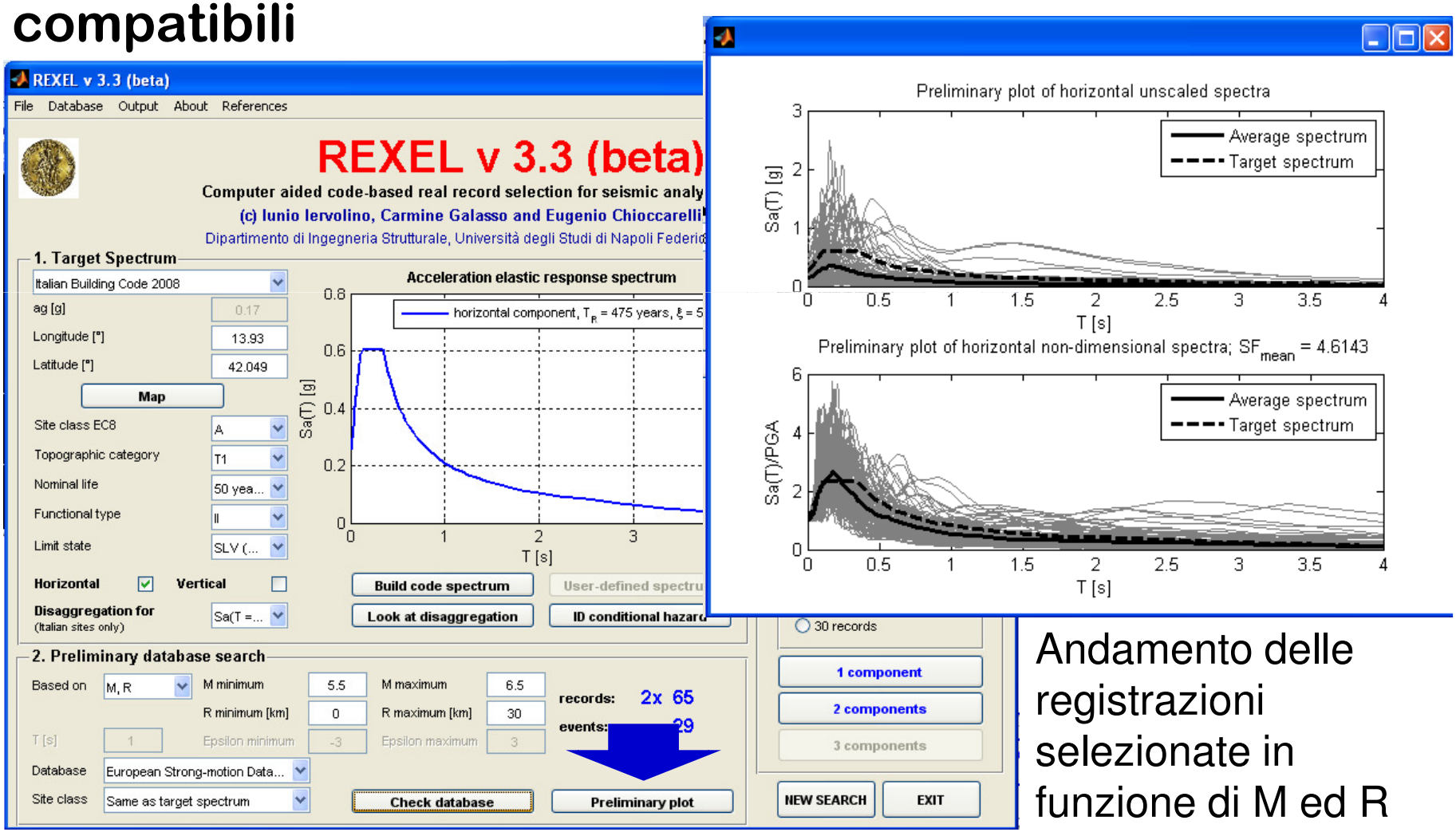
Step 0: Selezione delle registrazioni spettro-compatibili



Determinazione della coppia M, R per effettuare la selezione e verifica del numero di records con tali caratteristiche contenuti nel database

ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

Step 0: Selezione delle registrazioni spettro-compatibili



Andamento delle registrazioni selezionate in funzione di M ed R

ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

Step 0: Selezione delle registrazioni spettro-compatibili

NTC2008; 3.2.3.6 Impiego di accelerogrammi

L'ordinata spettrale media non deve presentare uno scarto in difetto superiore al 10%, rispetto alla corrispondente componente dello spettro elastico, in alcun punto del maggiore tra gli intervalli $0{,}15s \div 2{,}0s$ e $0{,}15s \div 2T$, in cui T è il periodo fondamentale di vibrazione della struttura in campo elastico, per le verifiche agli stati limite ultimi

$$T_1 = 0.67s$$

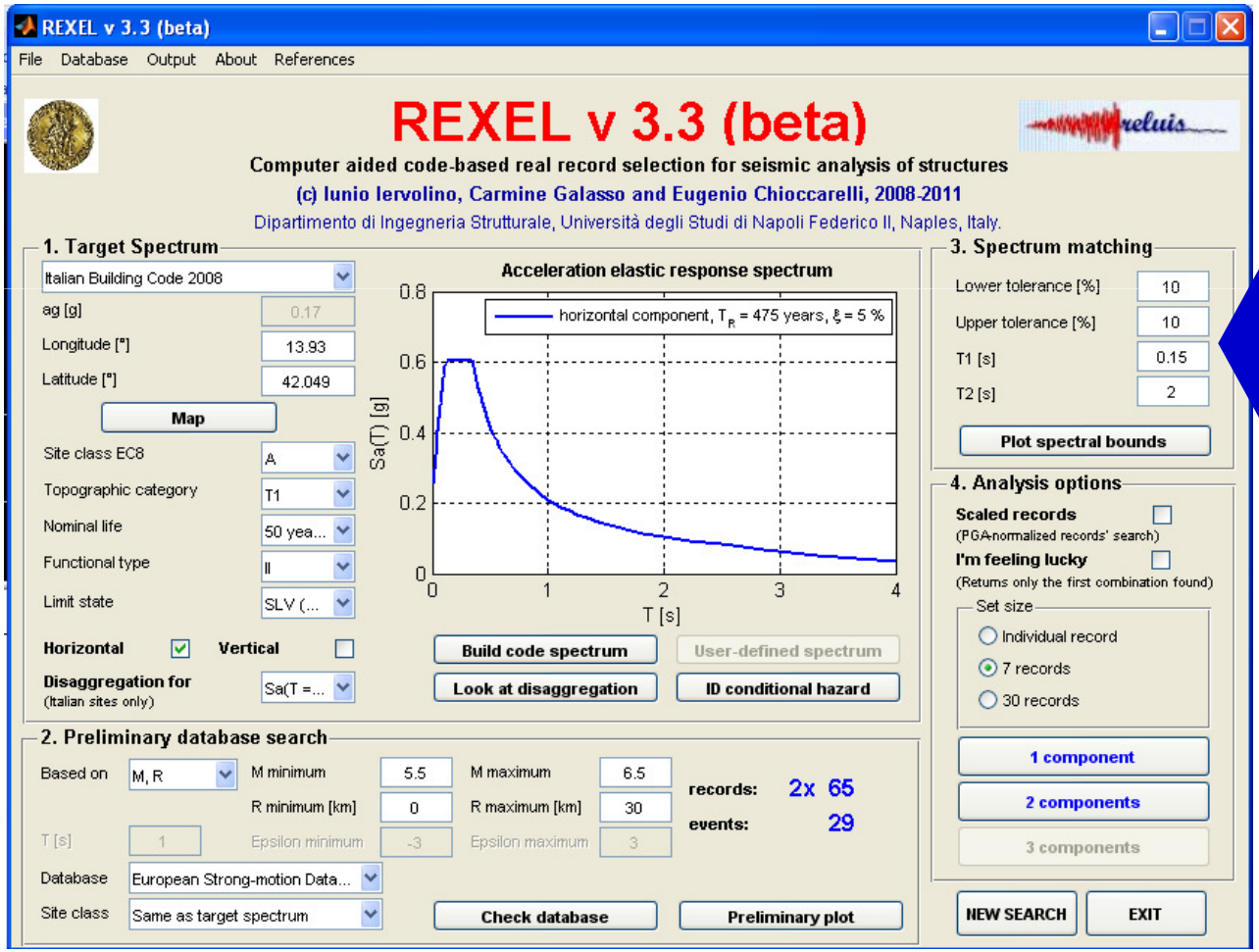
$$2T_1 = 1.34s$$

$$\max\{0.15s \div 2.0s; 0.15s \div 2.0T_1\}$$

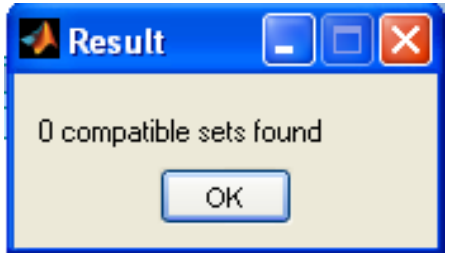
$$\max\{0.15s \div 2.0s; 0.15s \div 1.34s\} = 0.15s \div 2.0s$$

ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

Step 0: Selezione delle registrazioni spettro-compatibili

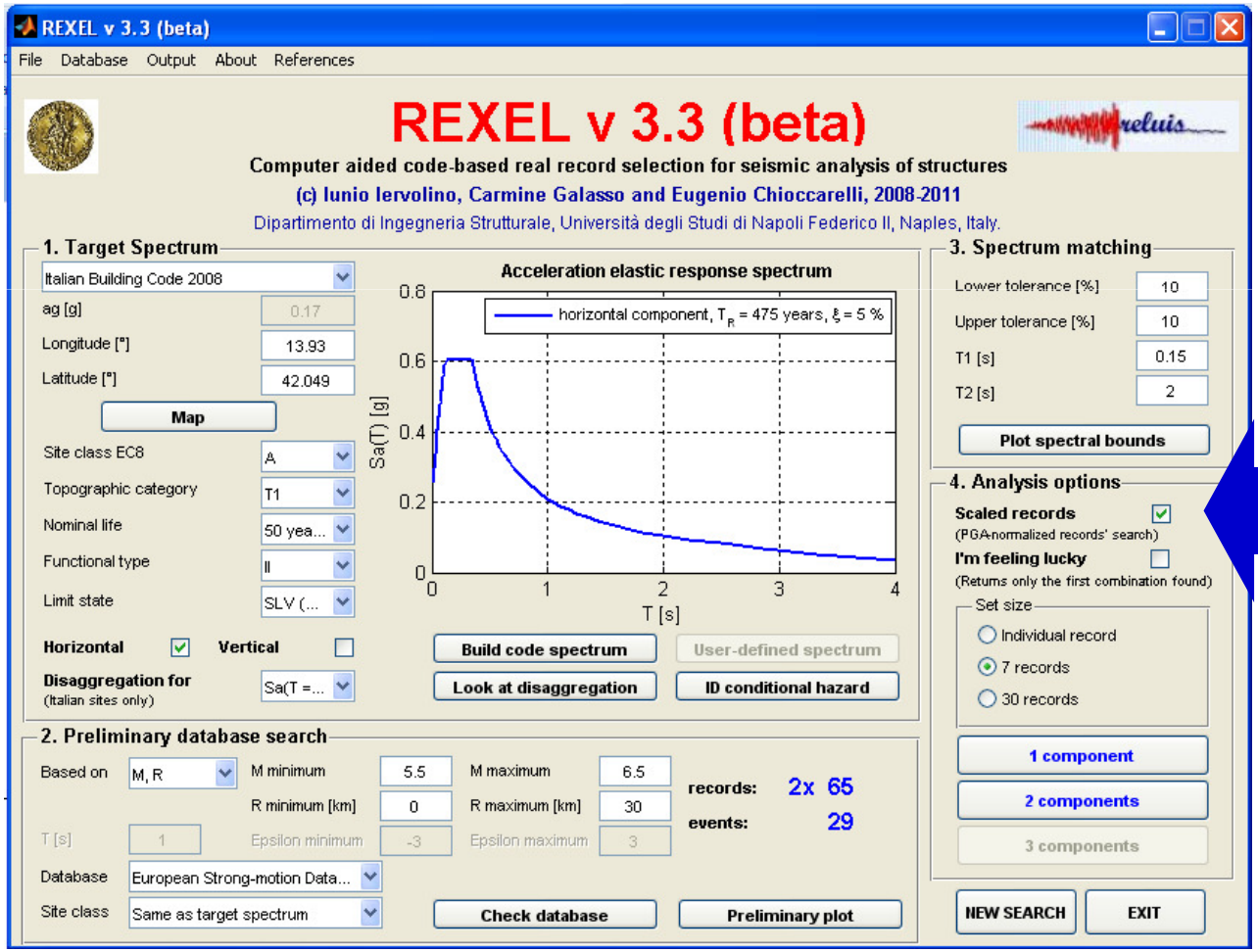


Definizione dei parametri di coerenza spettrale e selezione delle opzioni di analisi (registrazioni NON scalate; 2 componenti)

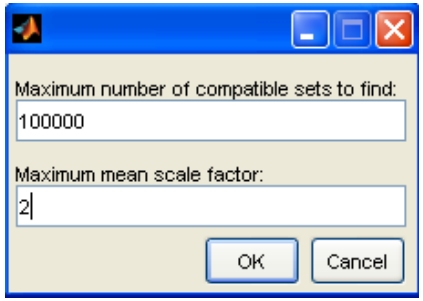


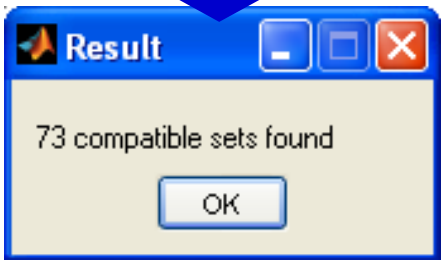
ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

Step 0: Selezione delle registrazioni spettro-compatibili



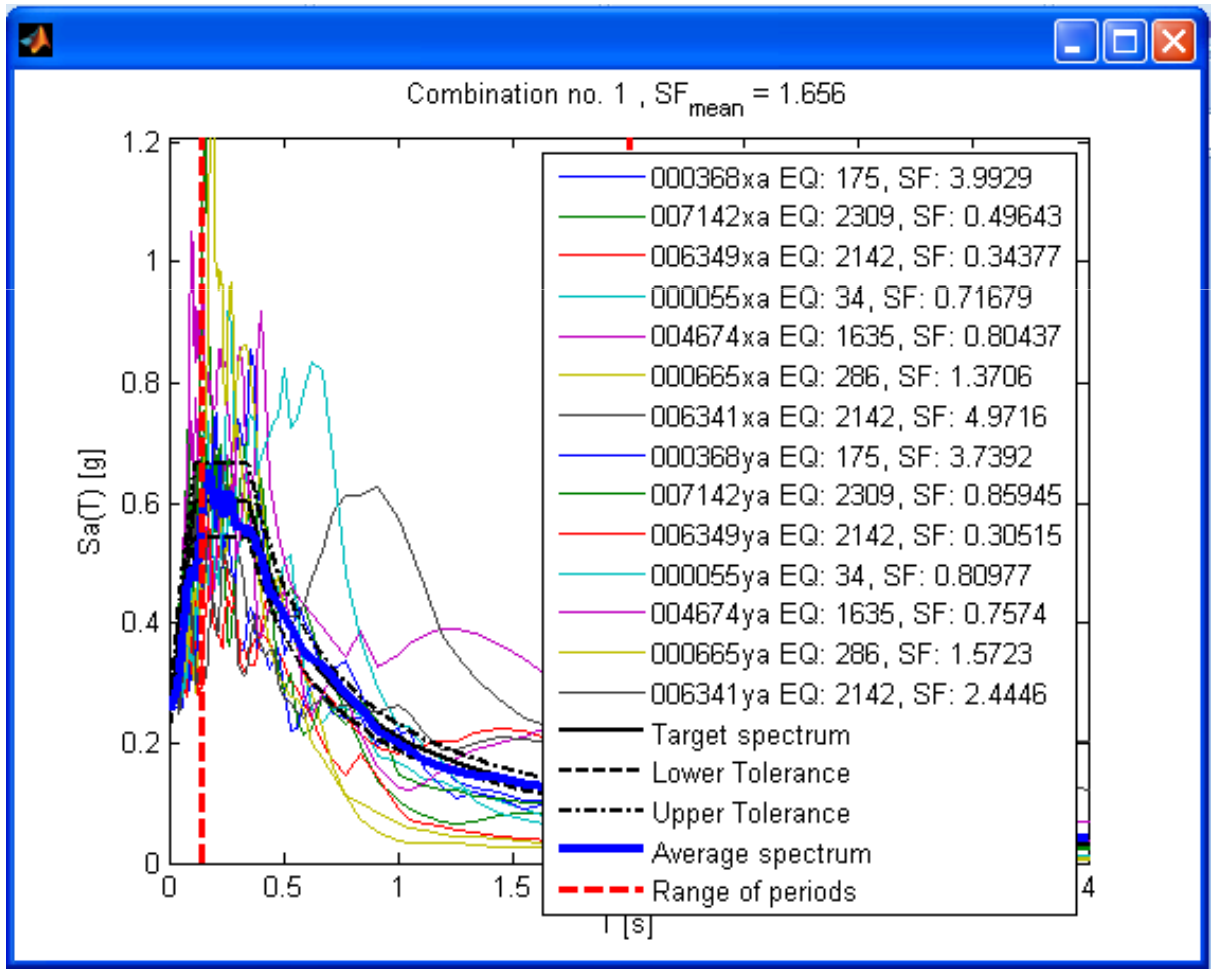
Ricerca accelerogrammi SCALATI (normalizzati alla PGA)





ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

Step 0: Selezione delle registrazioni spettro-compatibili



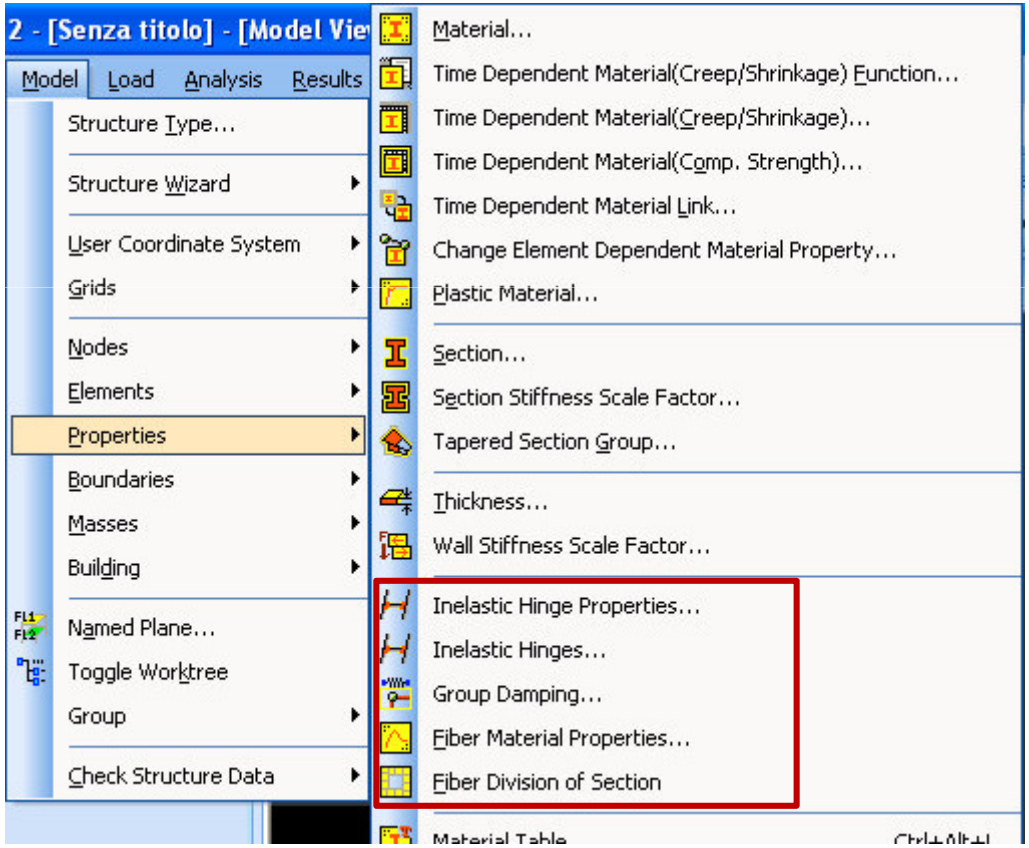
ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

Step 0: Selezione delle registrazioni spettro-compatibili

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	PGA_X [m/s^2]	PGA_Y [m/s^2]	EC8 Site class
368	175	ST143	Lazio Abruzzo	07/05/1984	5.9	normal	22	0.628	0.6706	0.2564
7142	2309	ST539	Bingol	01/05/2003	6.3	strike slip	14	5.0514	2.9178	4.427
6349	2142	ST2558	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	5	7.2947	8.218	4.1405
55	34	ST20	Friuli	06/05/1976	6.5	thrust	23	3.4985	3.0968	2.6227
4674	1635	ST2486	South Iceland	17/06/2000	6.5	strike slip	5	3.1176	3.3109	2.6815
665	286	ST238	Umbria Marche	26/09/1997	6	normal	21	1.8296	1.5949	0.7392
6341	2142	ST2497	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4	strike slip	20	0.5044	1.0258	0.393
mean:					**6.29**		**15.71**	**3.13**	**2.98**	**2.18**

ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

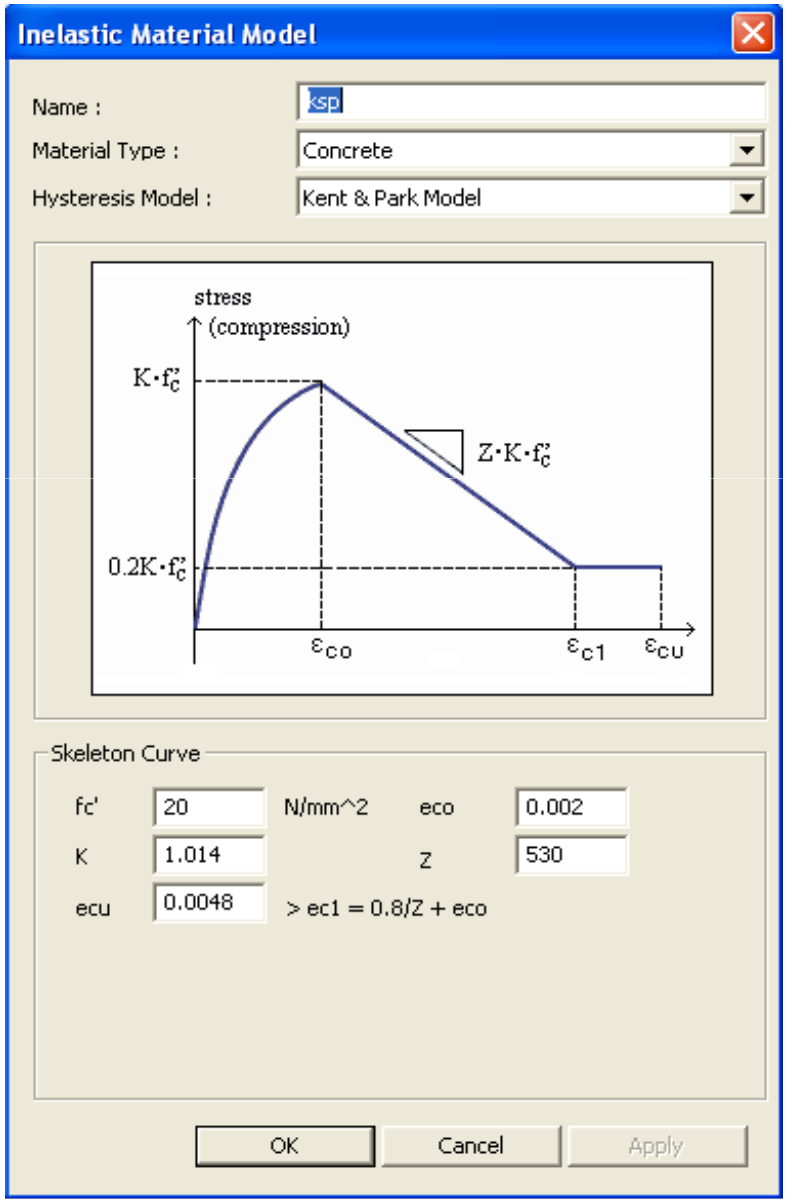
Step 2: Definizione del modello non lineare



Lista dei comandi per operare con il modello a fibre

Model > Properties > Fiber Material Properties

ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN



Step 2: Definizione dei materiali a comportamento non lineare

Il modello di Kent e Park (1973) e in seguito esteso da Scott et al. (1982) è definito come segue:

$$\text{per } \varepsilon_c \le \varepsilon_0 \qquad \sigma_c = K\, f_c' \left[2\left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0}\right) - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0}\right)^2 \right]$$

$$\text{per } \varepsilon_0 \le \varepsilon_c \le \varepsilon_u \qquad \sigma_c = K\, f_c' \left[1 - Z\left(\varepsilon_c - \varepsilon_0\right) \right] \ge 0.2\, K\, f_c'$$

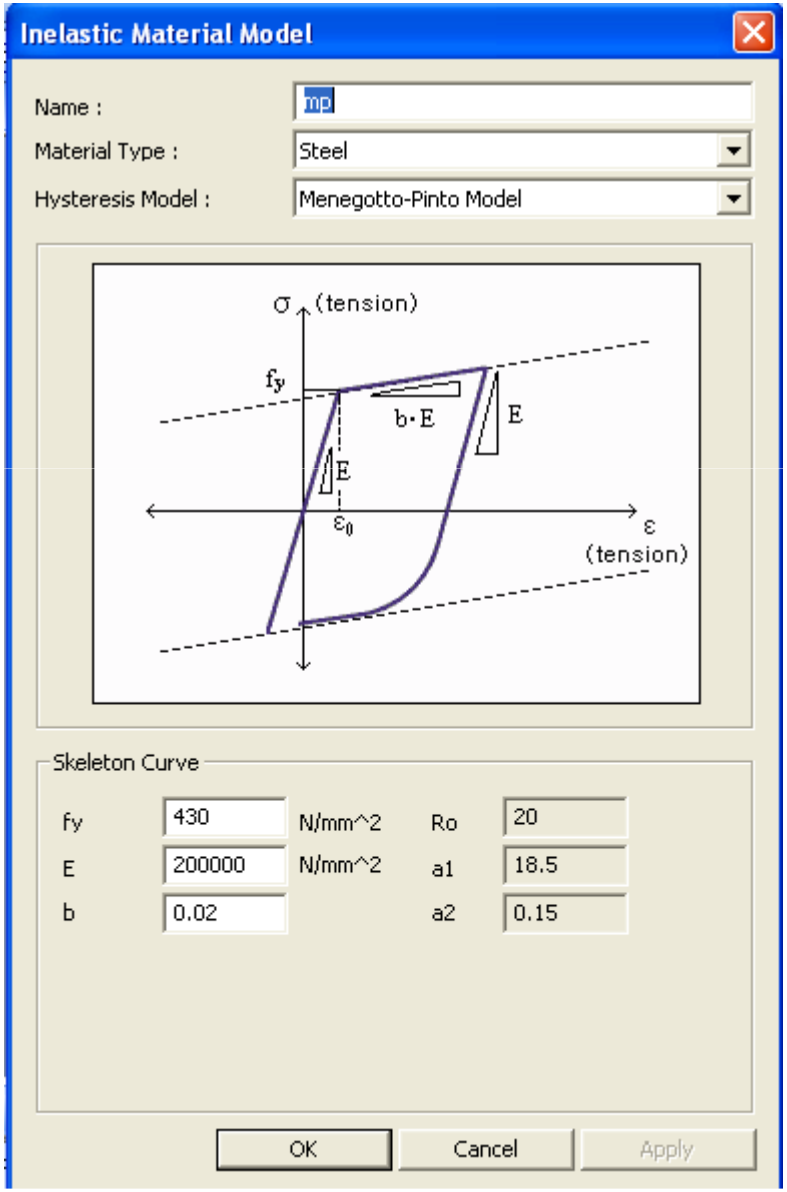
$$\varepsilon_0 = 0.002\, K$$

$$K = 1 + \frac{\rho_s f_{yh}}{f_c'}$$

$$Z = \frac{0.5}{\dfrac{3 + 0.29 f_c'}{145 f_c' - 1000} + 0.75\, \rho_s \sqrt{\dfrac{h'}{s_h}} - 0.002K}$$

Model > Properties > Fiber Material Properties

ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN



Step 2: Definizione dei materiali a comportamento non lineare

Il legame costitutivo Menegotto-Pinto è espresso da questa relazione

$$\sigma^* = b\,\varepsilon^* + \frac{(1-b)\,\varepsilon^*}{\left(1+\varepsilon^{*R}\right)^{1/R}}$$

dove:

$$\varepsilon^* = \frac{\varepsilon - \varepsilon_r}{\varepsilon_0 - \varepsilon_r}$$

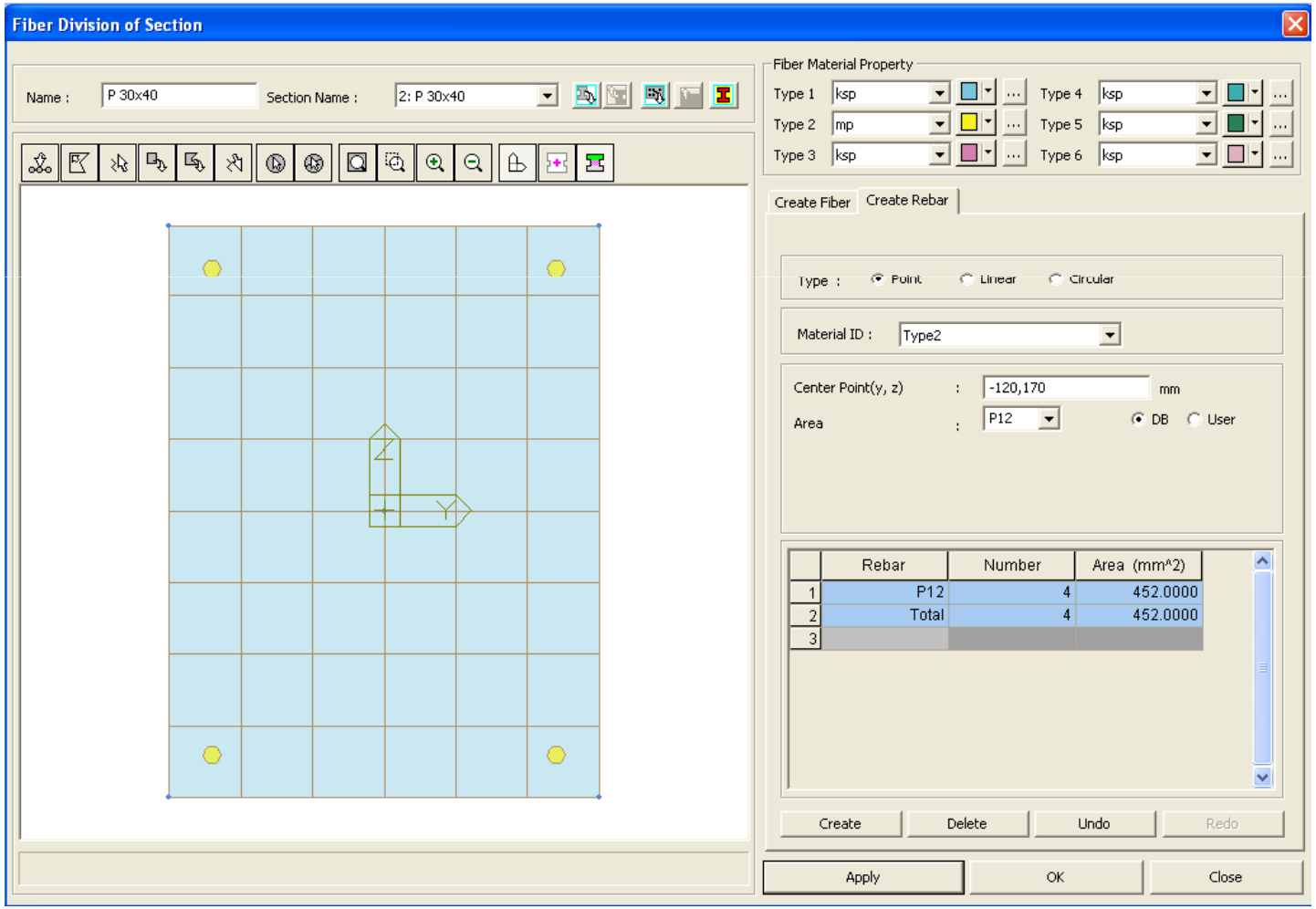
$$\sigma^* = \frac{\sigma - \sigma_r}{\sigma_0 - \sigma_r}$$

$$R = R_0 - \frac{a_1\,\xi}{a_2 + \xi}$$

Model > Properties > Fiber Material Properties

ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

Step 3: Definizione della geometria delle sezioni a fibre



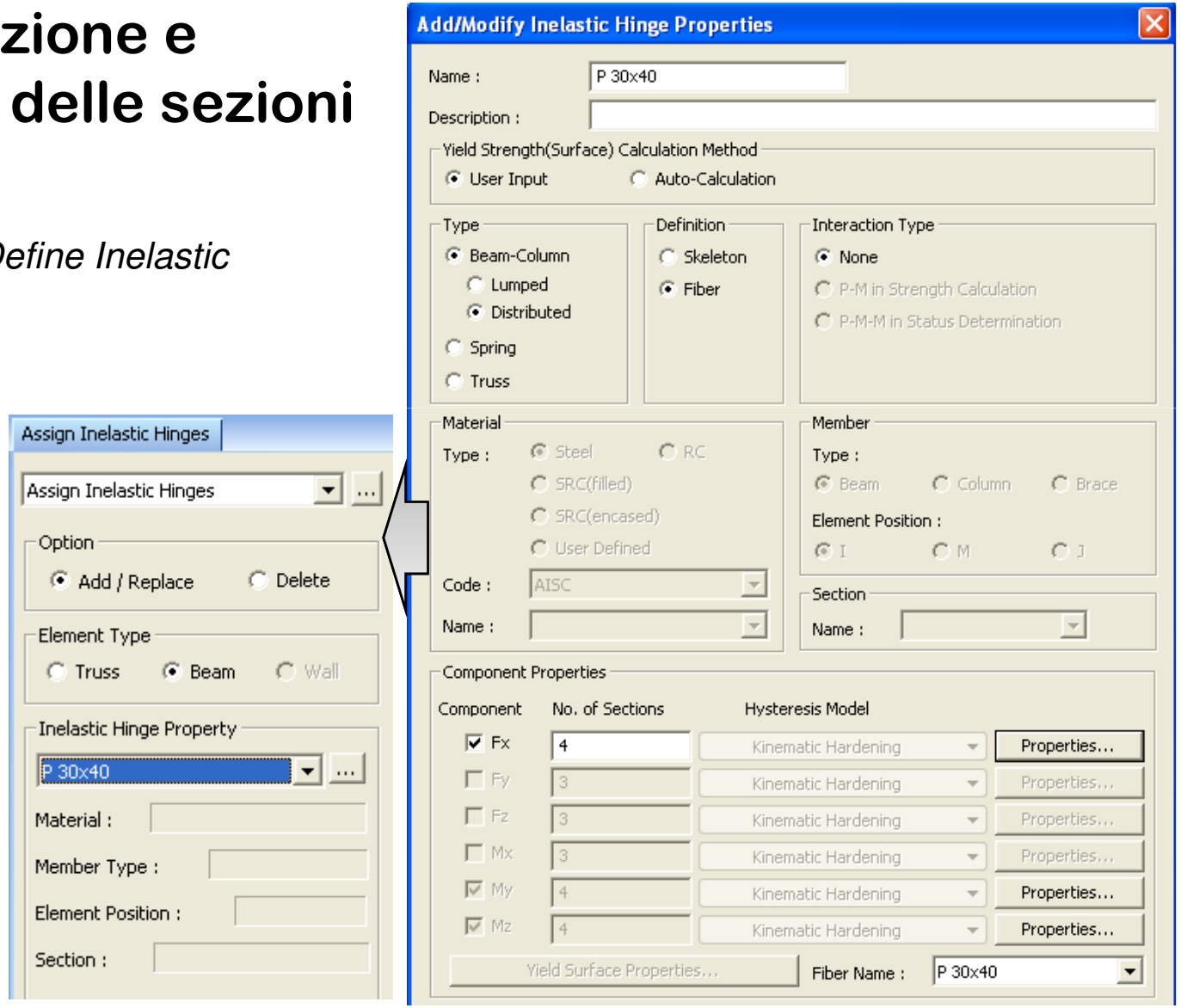
Model > Properties > Fiber Division of Section

ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

Step 4: Definizione e assegnazione delle sezioni a fibre

Model > Properties > Define Inelastic Hinge Properties

Model > Properties > Inelastic Hinge

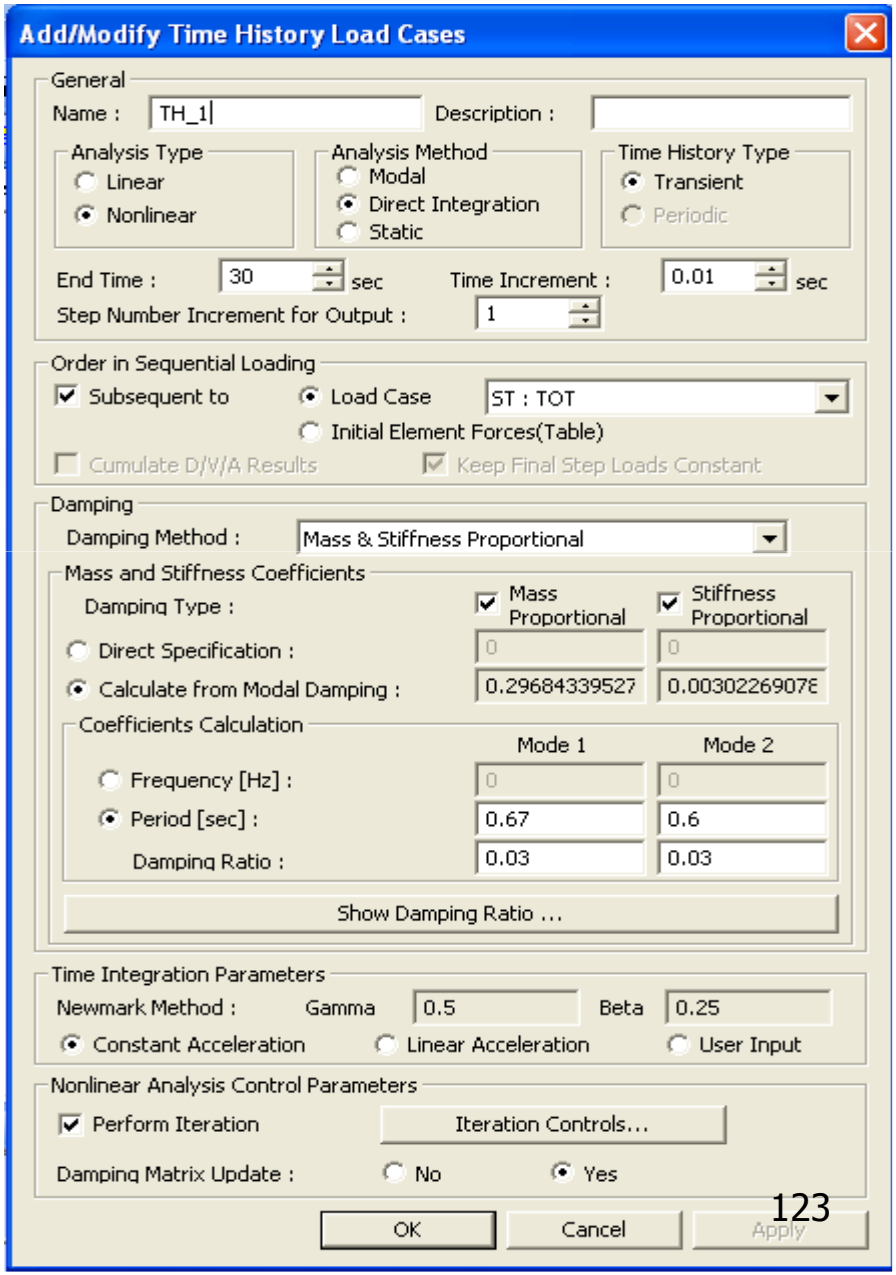


ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

Step 5: Definizione dei casi di carico Time History

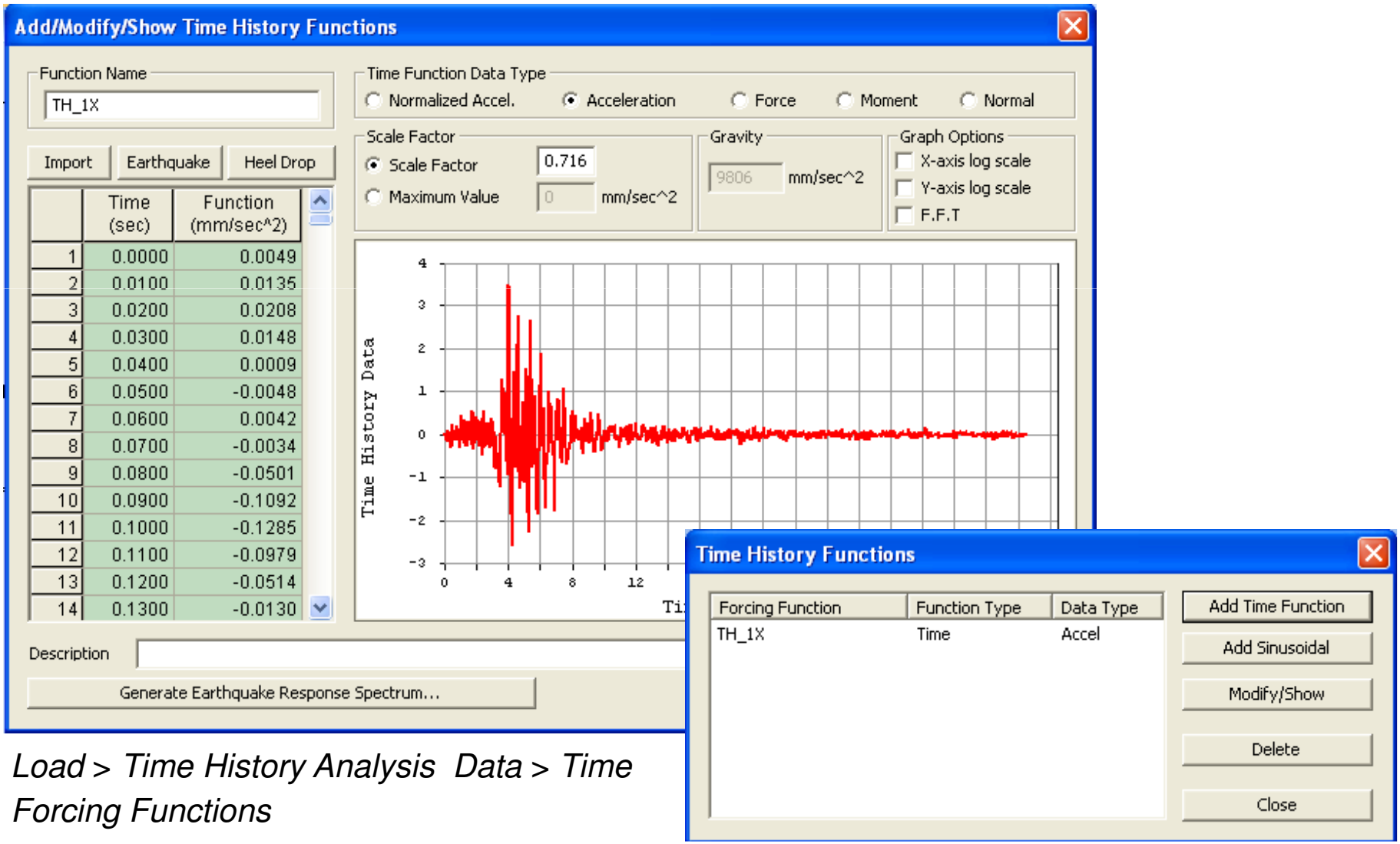
Si definisce un caso di carico per ogni registrazione (non per ciascuna componente!!!!)

Load > Time History Analysis Data > Time History Load Cases



ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

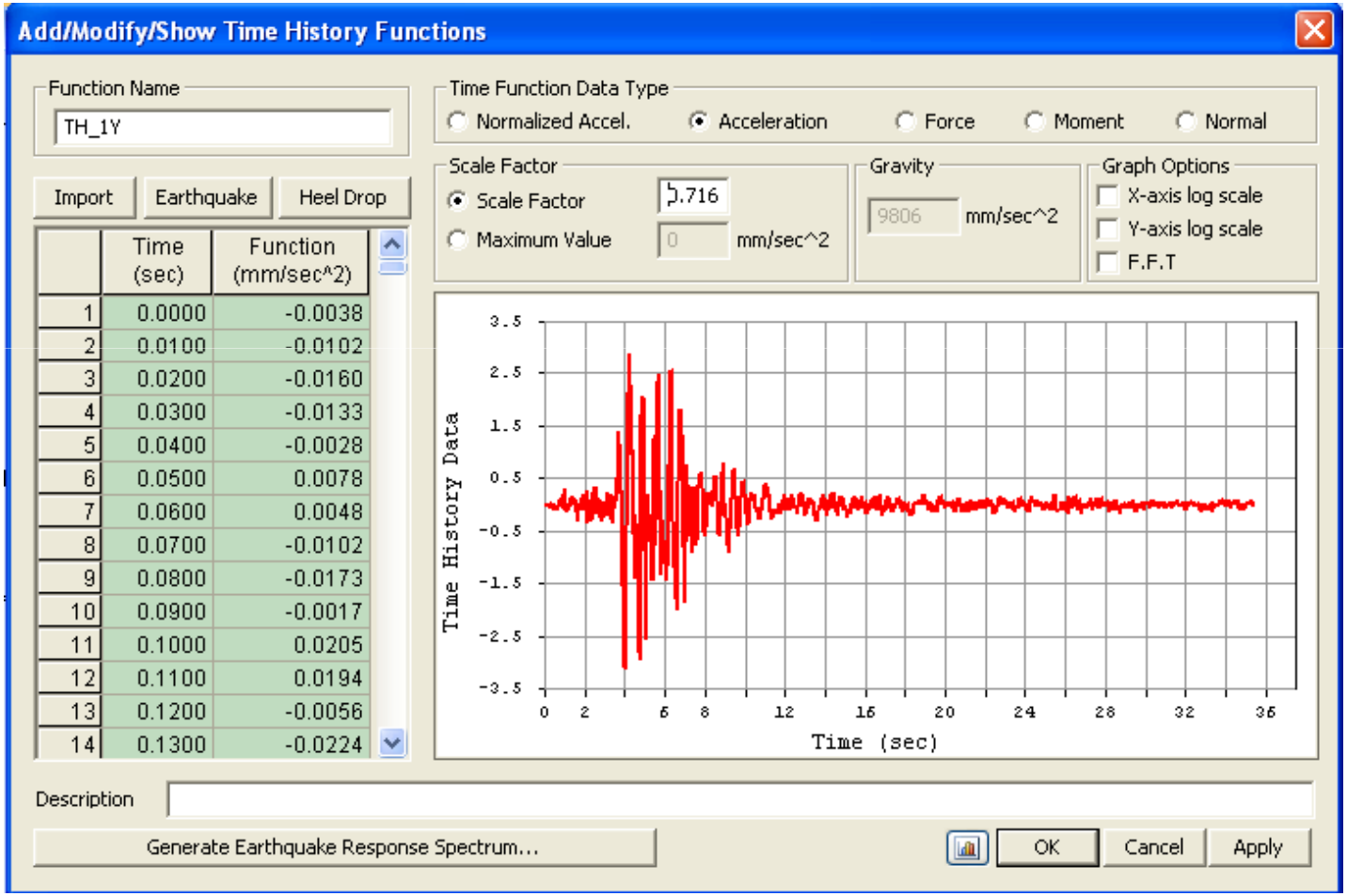
Step 5: Inserimento delle funzioni time-history



Load > Time History Analysis Data > Time Forcing Functions

ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

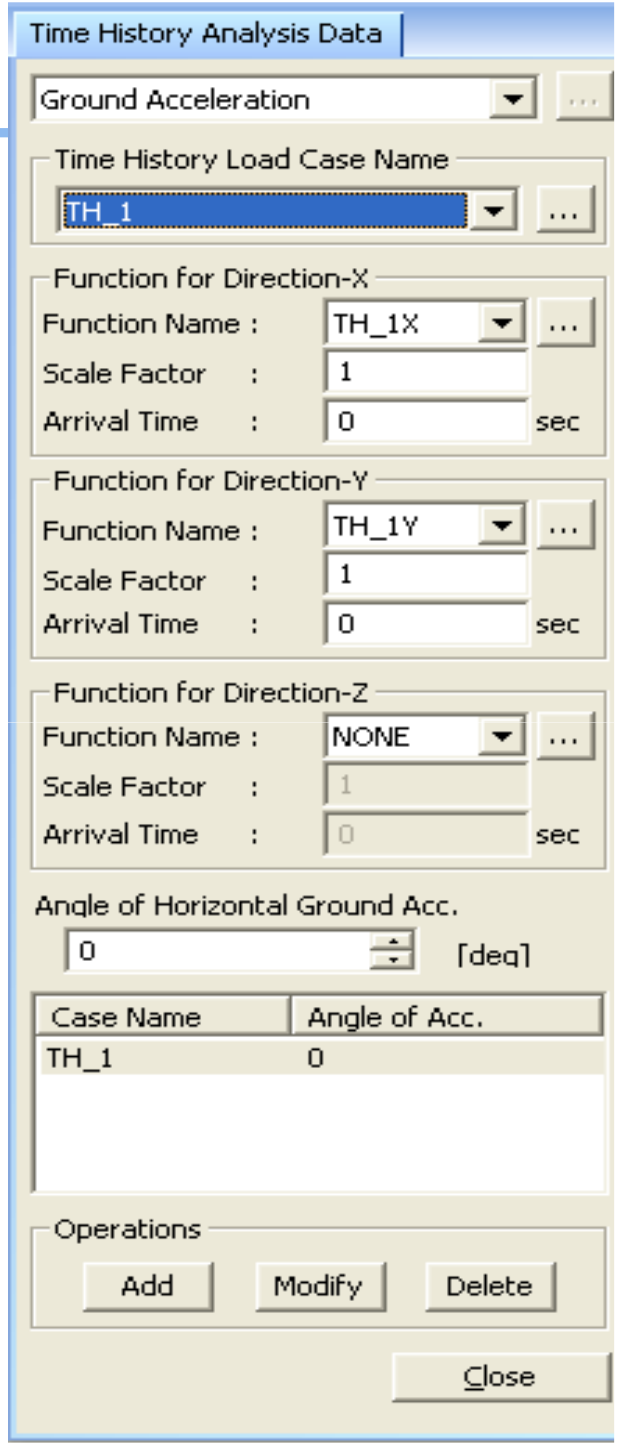
Step 5: Inserimento delle funzioni time-history



Load > Time History Analysis Data > Time Forcing Functions

ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

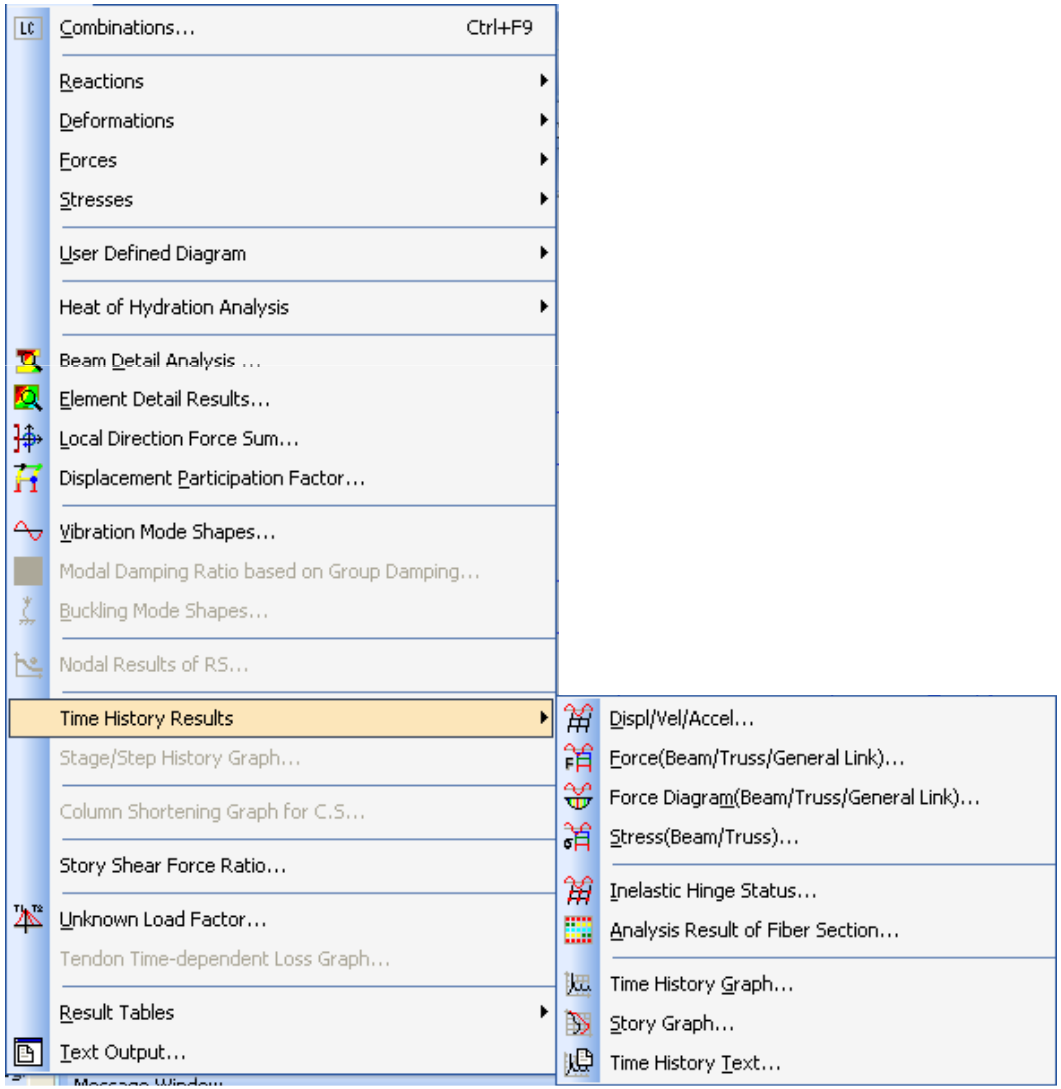
Step 6: Definizione delle componenti che costituiscono la registrazione



Load > Time History Analysis Data> Ground Acceleration

ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

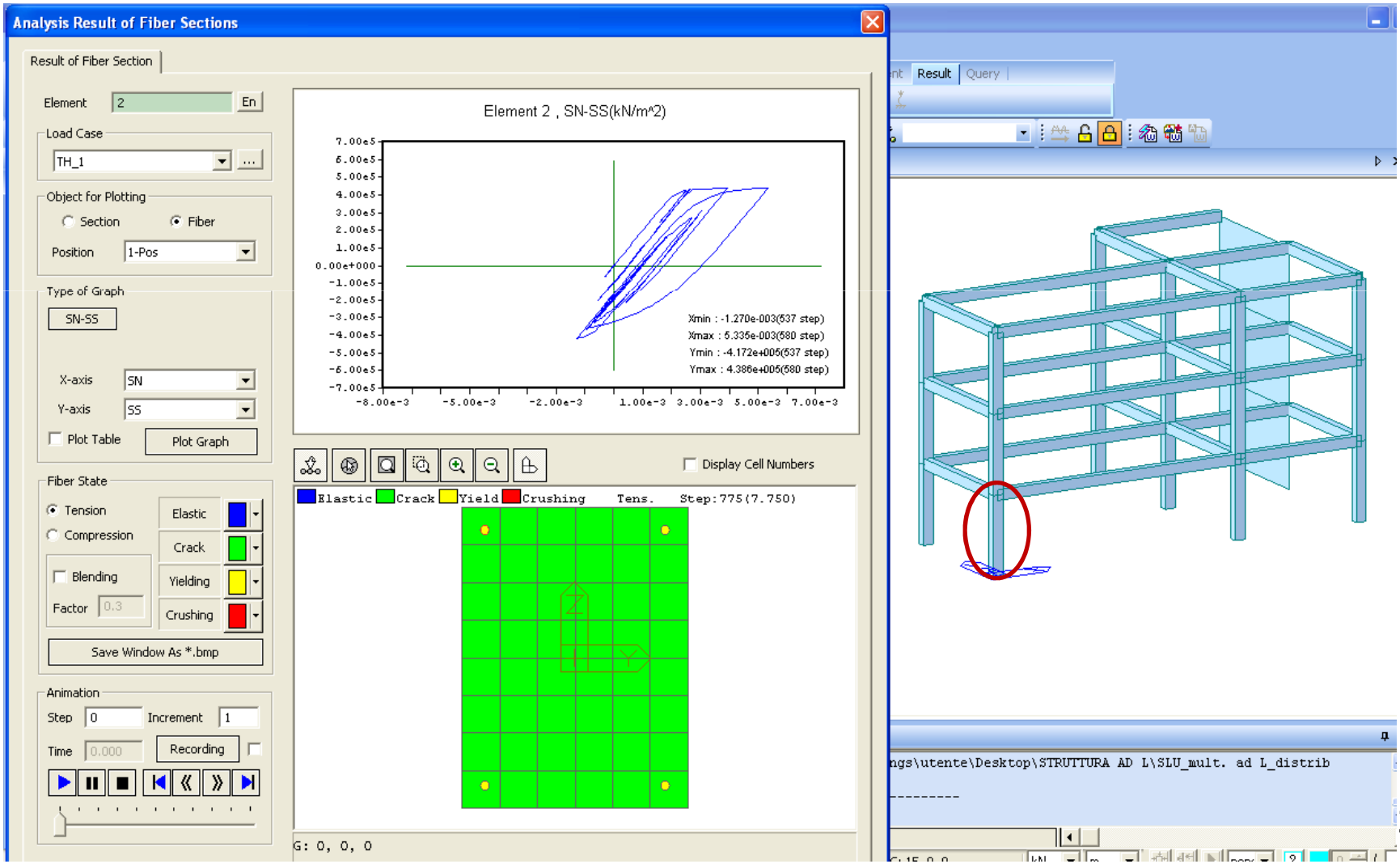
Step 7: Analisi ed interpretazione dei risultati



Lista dei comandi per interpretare l'analisi dinamica non lineare

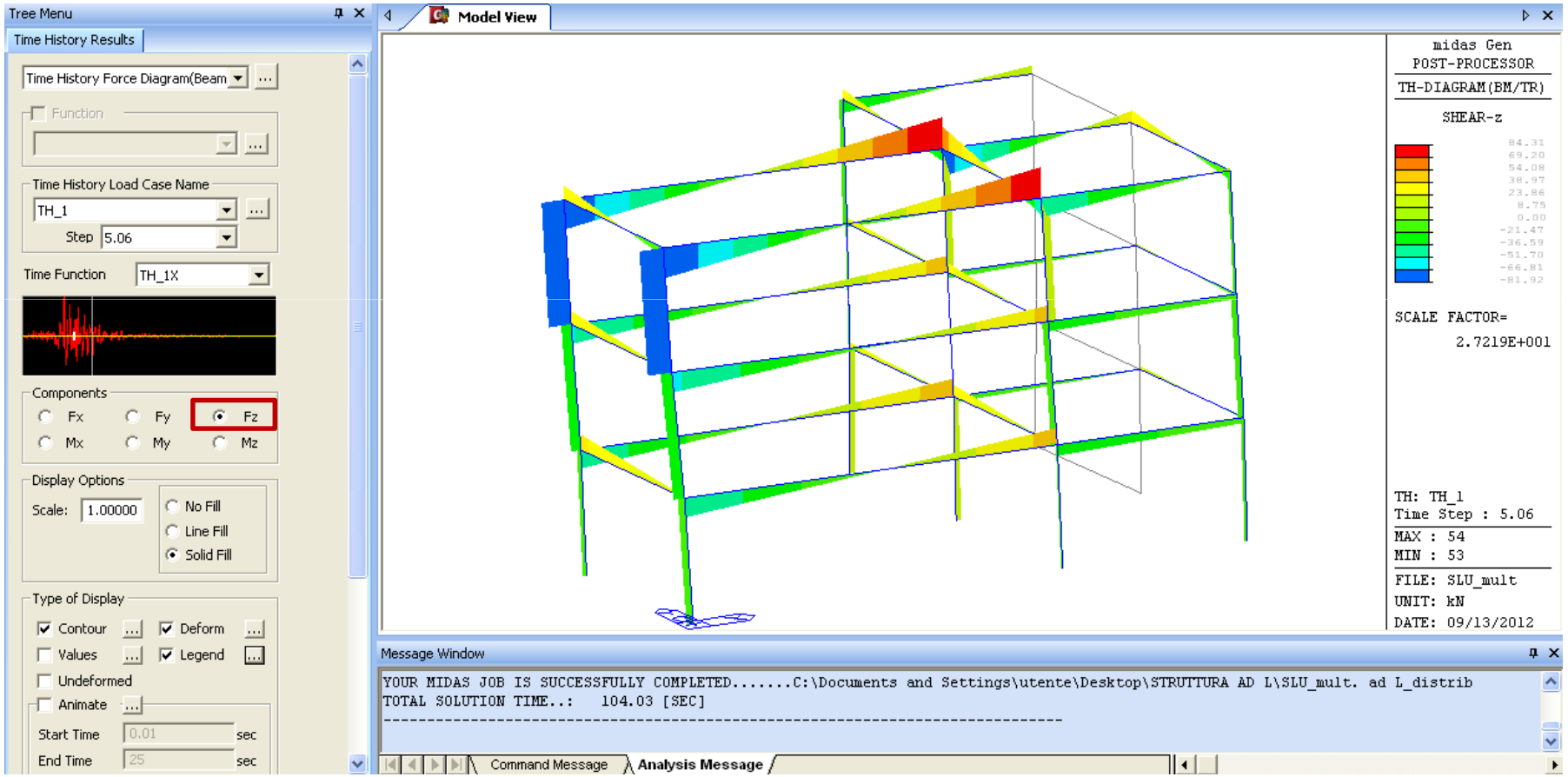
ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

Step 7: Analisi ed interpretazione dei risultati



ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

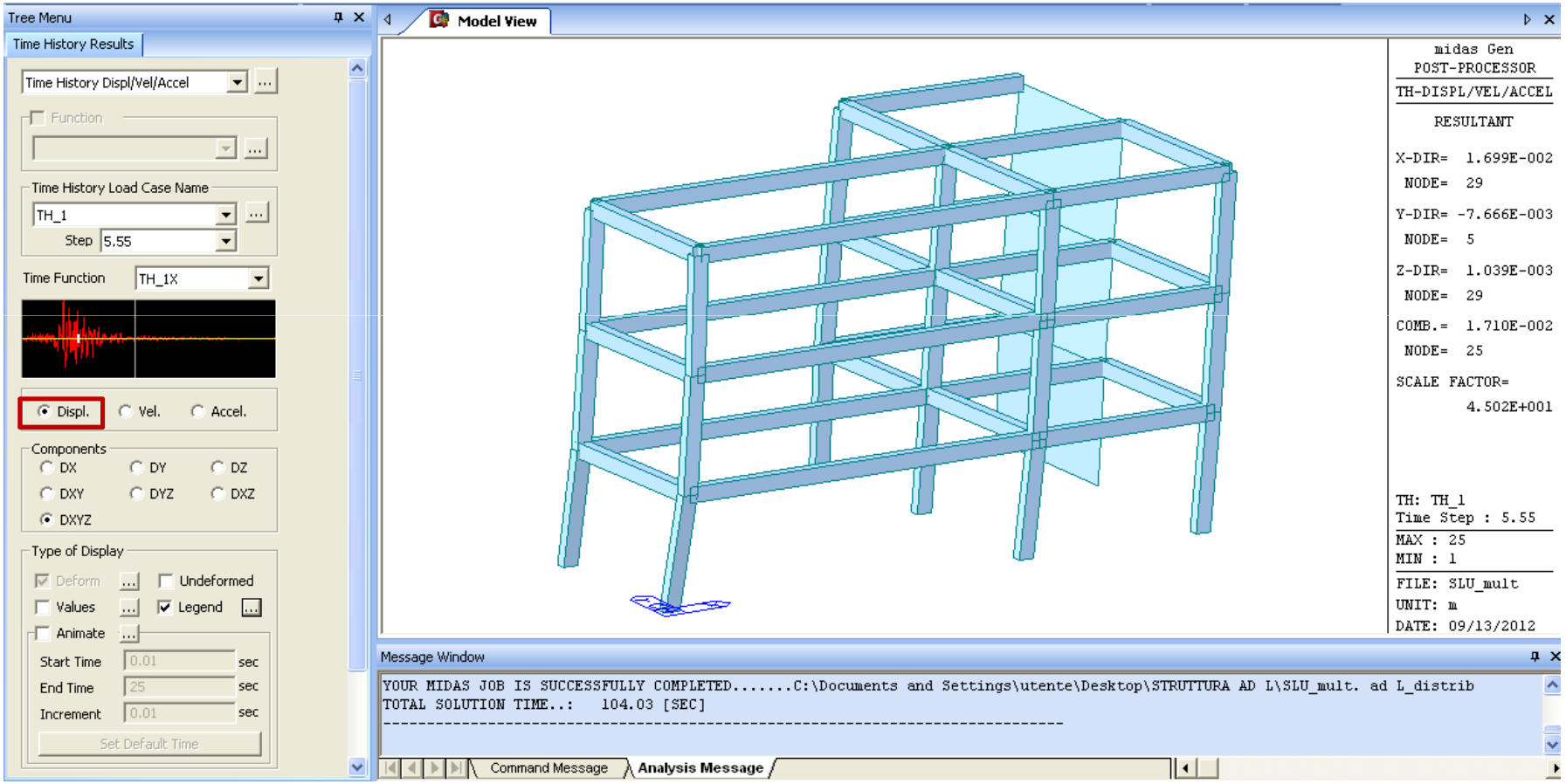
Step 7: Analisi ed interpretazione dei risultati



taglio

ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

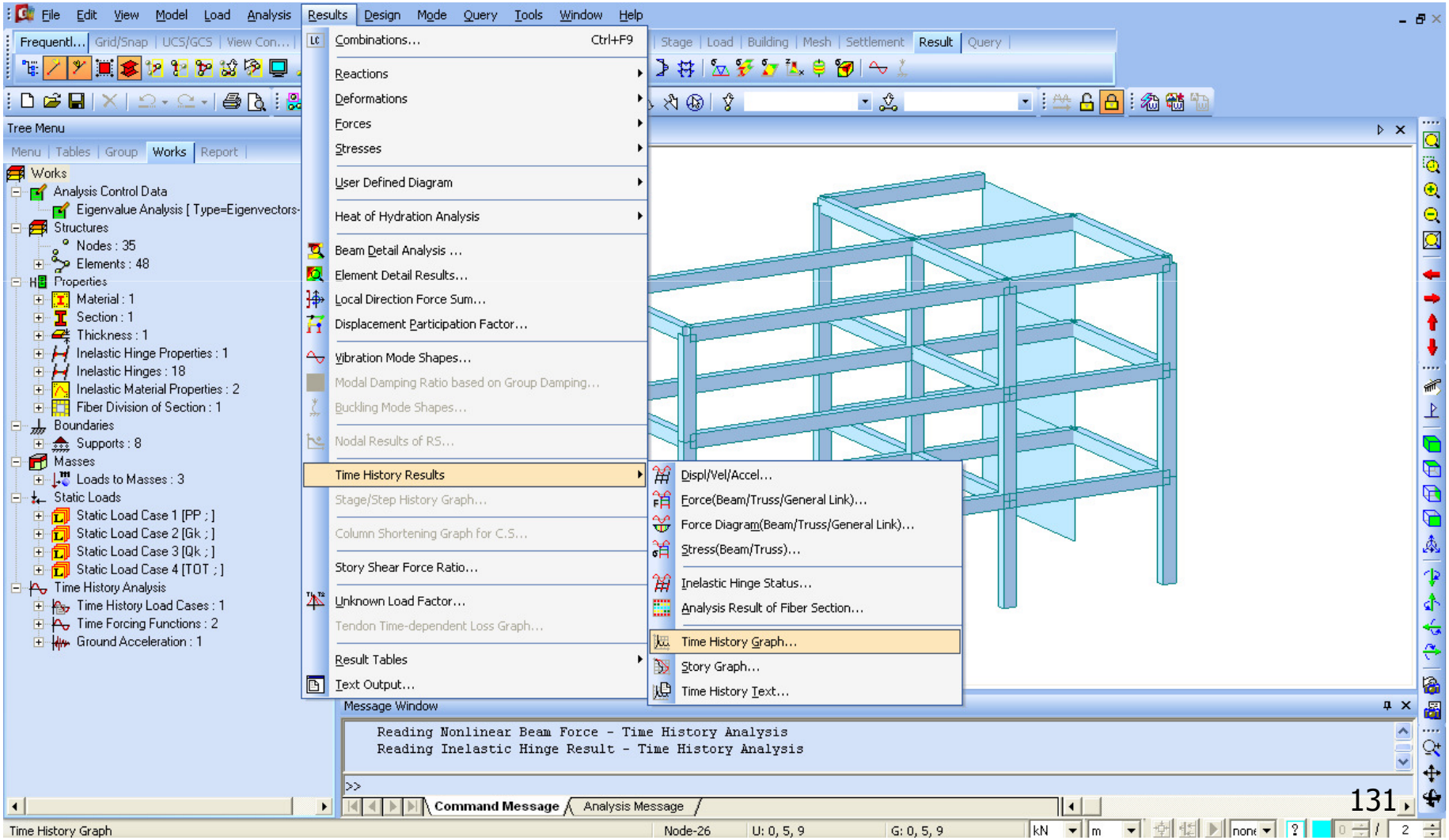
Step 7: Analisi ed interpretazione dei risultati



spostamento

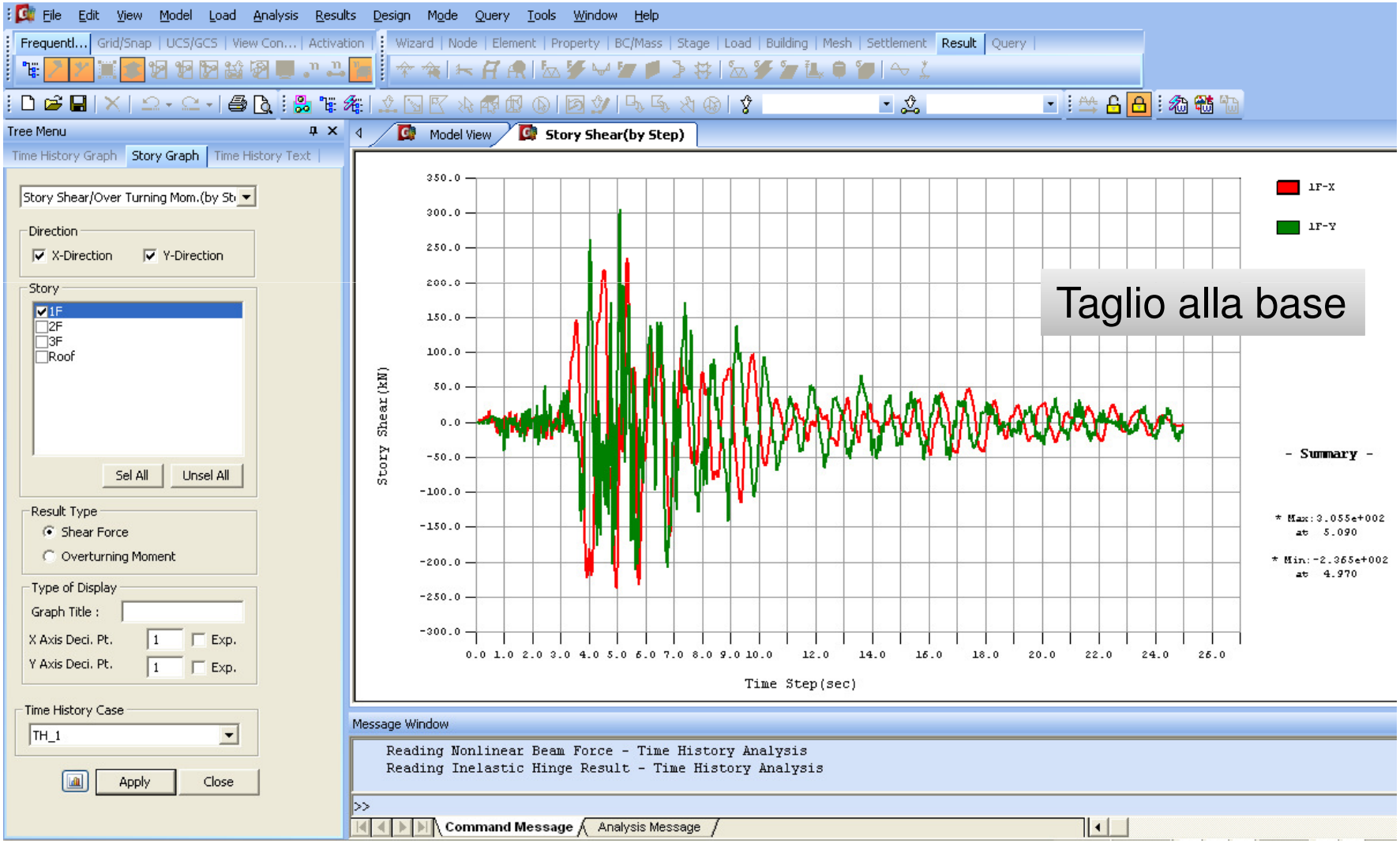
ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

Step 7: Analisi ed interpretazione dei risultati



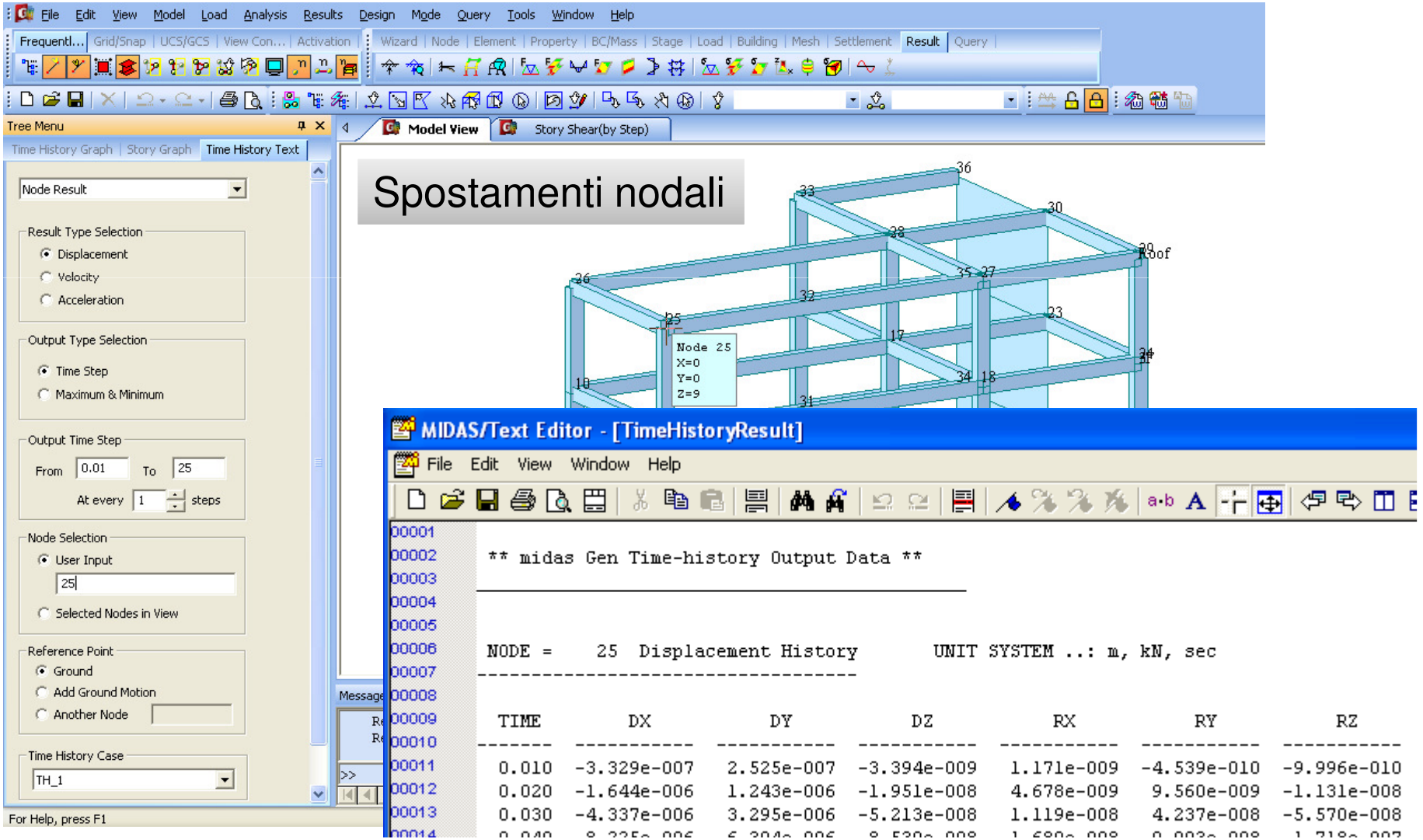
ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

Step 7: Analisi ed interpretazione dei risultati



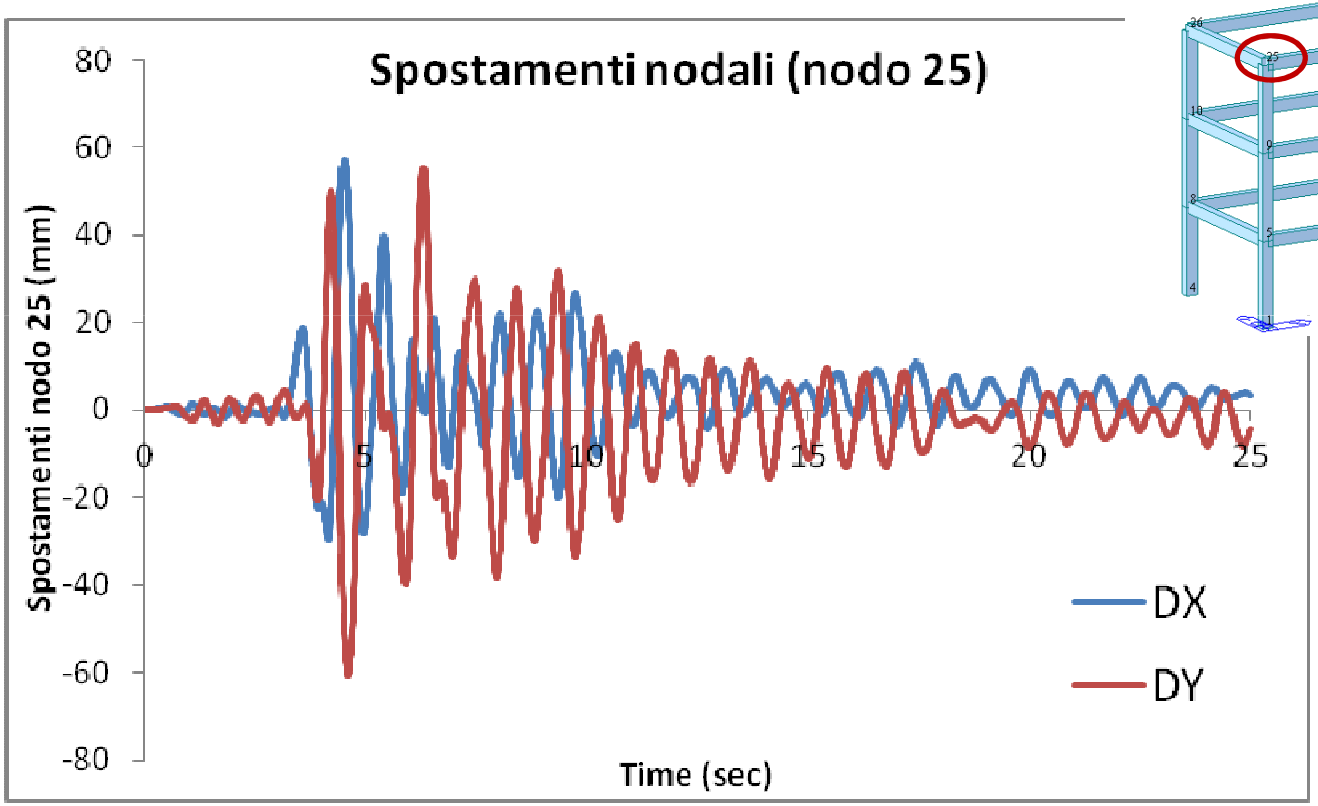
ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

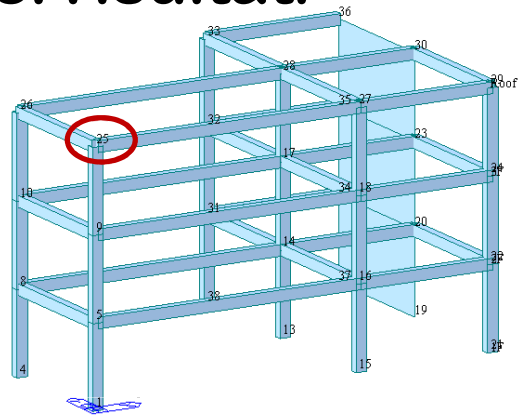
Step 7: Analisi ed interpretazione dei risultati



ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

Step 7: Analisi ed interpretazione dei risultati





SOMMARIO

- **Edificio di Bonefro**
- **Ponte di Humbolt Bay**
- **Modellazione Taglio (Per ponti ed edifici)**
- **Esempio di modellazione ed analisi in MidasGen**
- **E-ELT Telescope**

E-ELT TELESCOPE

- ***Introduzione***

  Questo progetto concettuale rivoluzionario, chiamato E-ELT, ovvero European Extremely Large Telescope, sarà il più grande telescopio ottico/vicino-infrarosso del mondo con uno specchio primario del diametro di 42 m.

E-ELT Telescope, www.eso.org ESO/L. Calçada

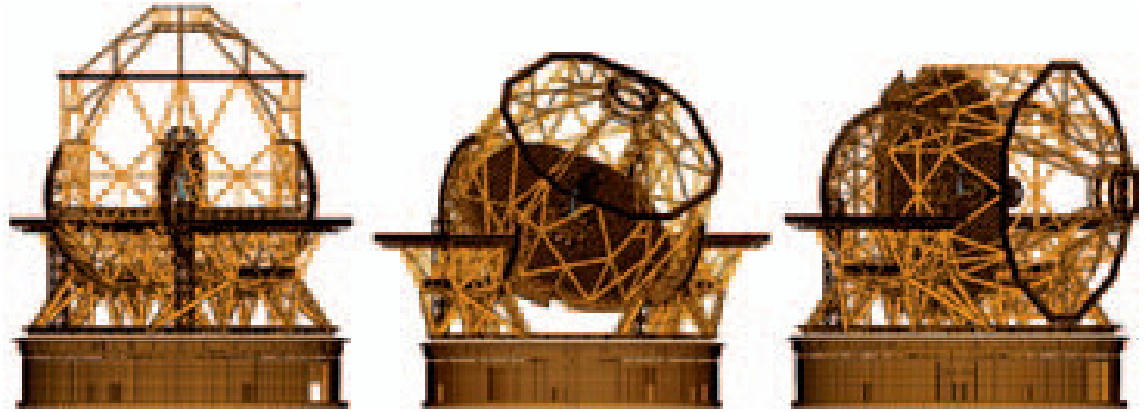
L'obiettivo di questo lavoro era la progettazione di un sofisticatissimo sistema di isolamento tridimensionale che fosse in grado da un lato di garantire la rigidezza delle fondazioni durante l'operatività del telescopio e dall'altro di ridurre di almeno il 50% le accelerazioni negli specchi nel caso di evento sismico. Lo sviluppo dei dispositivi è stato fatto in collaborazione con Alga Spa.

E-ELT TELESCOPE

ASDEA
Advanced Structural Design & Analysis

- ***Modellazione strutturale***

Sono stati realizzati diversi modelli utilizzando il software Midas Gen per valutare le accelerazioni per diverse configurazioni del telescopio.



Modelli numerici del telescopio sviluppati con Midas Gen

I modelli consistono in

- 31773 elementi trave
- 4576 elementi shells
- 6062 equazioni lineari di vincolo utilizzate per connettere gli specchi alla struttura (schematizzano la rigidezza degli attuatori)

E-ELT TELESCOPE

- ***Tipologia di analisi***

  Il sistema è stato studiato tramite analisi non lineari con integrazione.

- ***Selezione dell'input sismico***

  Si è scelto in questo caso di applicare contemporaneamente triplette di accelerogrammi artificiali alla base del modello.

  Sarebbe stato preferibile utilizzare accelerogrammi naturali ma poiché l'intensità dell'accelerazione attesa al suolo nel sito in esame è molto elevata (PGA = 0.72g, ASDEA 2010) non è stato possibile reperire accelerogrammi naturali spettrocompatibili senza dover scalare eccessivamente le accelerazioni.

ASDEA
Advanced Structural Design & Analysis

- ***Smorzamento***

Per quanto riguarda lo smorzamento si è utilizzata la formulazione classica della matrice di smorzamento **C** di Rayleigh che assume lo smorzamento proporzionale alla massa e alla rigidezza in accordo con la formula seguente:

$$\mathbf{C} = a_0 \mathbf{M} + a_1 \mathbf{K}$$

I coefficienti a_0 e a_1 possono essere calcolati assegnando lo smorzamento ξ_m e ξ_n a due specifiche frequenze ω_m e ω_n.

$$\begin{Bmatrix} a_0 \\ a_1 \end{Bmatrix} = 2\frac{\omega_m \omega_n}{\omega_n^2 - \omega_m^2} \begin{bmatrix} \omega_n & -\omega_m \\ -1/\omega_n & 1/\omega_m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \xi_m \\ \xi_n \end{Bmatrix}$$

ASDEA
Advanced Structural Design & Analysis

- ***Smorzamento***

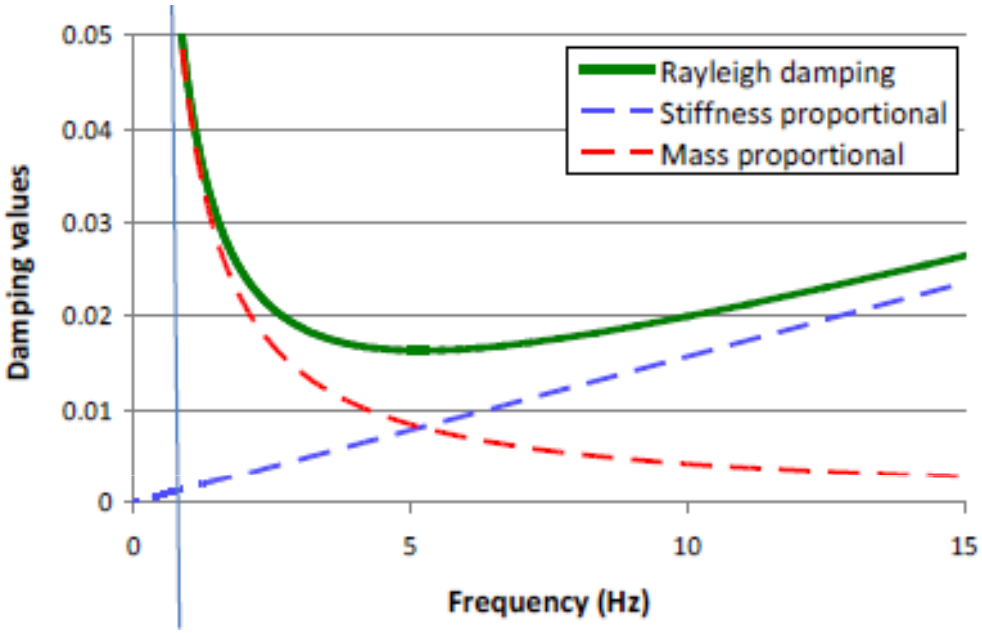
Le due frequenze utilizzate per definire ξ devono considerare tutti i modi di vibrazione che hanno masse partecipanti significative per la risposta del telescopio.

L'analisi modale del telescopio a base fissa mostra che per eccitare l'85% della massa totale servono più di 600 modi.

$$\begin{Bmatrix} a_0 \\ a_1 \end{Bmatrix} = 2\frac{\omega_m \omega_n}{\omega_n^2 - \omega_m^2} \begin{bmatrix} \omega_n & -\omega_m \\ -1/\omega_n & 1/\omega_m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \xi_m \\ \xi_n \end{Bmatrix}$$

- ***Smorzamento***

  Nelle analisi non lineari si considera un valore dello smorzamento inferiore al convenzionale 5% usato nelle analisi lineari, tipicamente compreso tra lo 0% e il 2%. Questo perché parte della dissipazione è considerata direttamente nel modello.



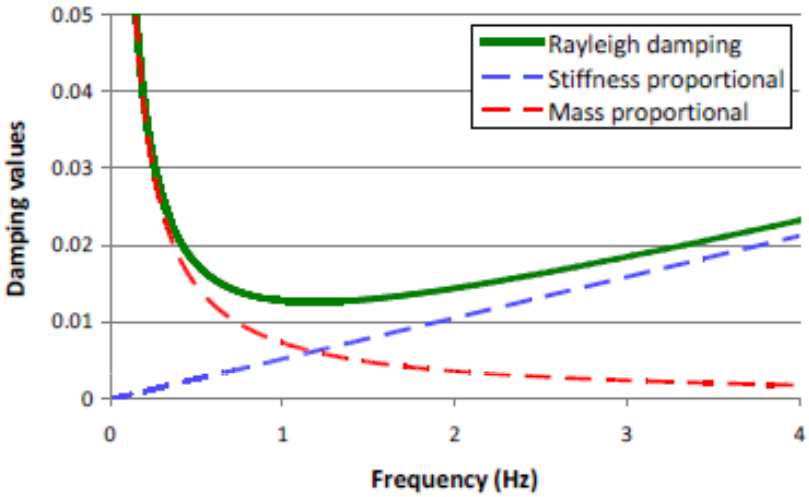
Base fissa - smorzamento

Il range di frequenze da coprire è molto ampio, si è scelto di fissare lo smorzamento al 2% per frequenze pari a 2.7 e 10 Hz.

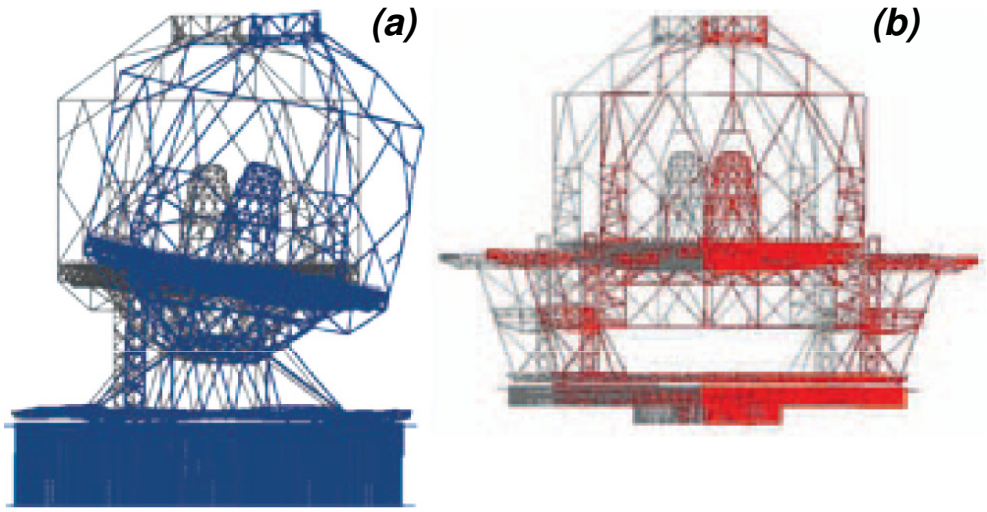
È importante valutare con attenzione se vi sono masse partecipanti importanti oltre i 10 Hz poiché verrebbero smorzate più di quanto richiesto riducendo artificialmente le accelerazioni di output.

E-ELT TELESCOPE

- ***Smorzamento***



Sistema isolato - smorzamento



(a) Base fissa - 1° modo di vibrare (b) Sistema isolato – 1° modo di vibrare

La scelta delle frequenze per la soluzione isolata è molto più semplice poiché l'isolamento governa il periodo proprio della struttura e il 99% della massa orizzontale è associata a una frequenza pari a 0.42 Hz, mentre quella verticale ad una frequenza di 3.33 Hz

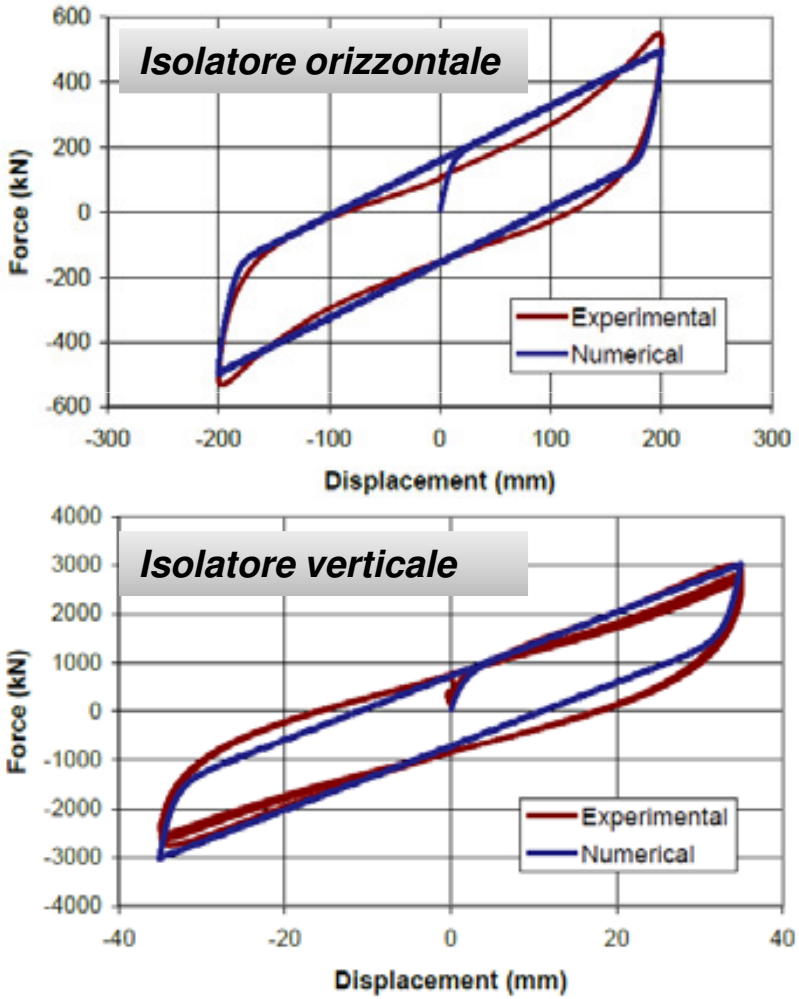
E-ELT TELESCOPE

ASDEA
Advanced Structural Design & Analysis

- ***Taratura degli isolatori***

Per modellare il comportamento è stato utilizzato l'elemento link non lineare chiamato: "*Hysteretic System*", che modella l'energia dissipata attraverso un comportamento isteretico.

Il modello numerico tarato riproduce fedelmente il comportamento sperimentale ciclico degli isolatori



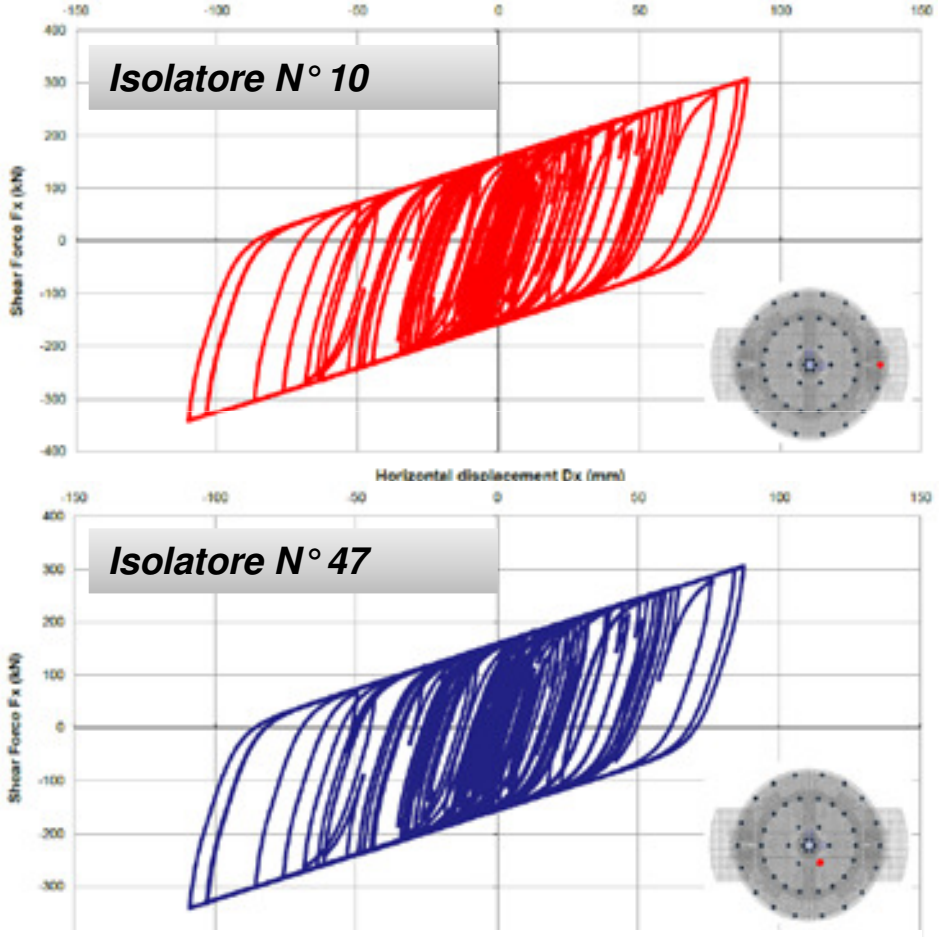
Confronto tra il comportamento sperimentale e numerico dell'isolatore orizzontale e verticale

E-ELT TELESCOPE

ASDEA
Advanced Structural Design & Analysis

- ***Comportamento ciclico degli isolatori***

La valutazione critica del comportamento ciclico degli isolatori durante il sisma permette di valutare se vi sono degli isolatori sottoposti a forze di trazione che potrebbero generare un effetto di rocking incontrollabile ed estremamente pericoloso.



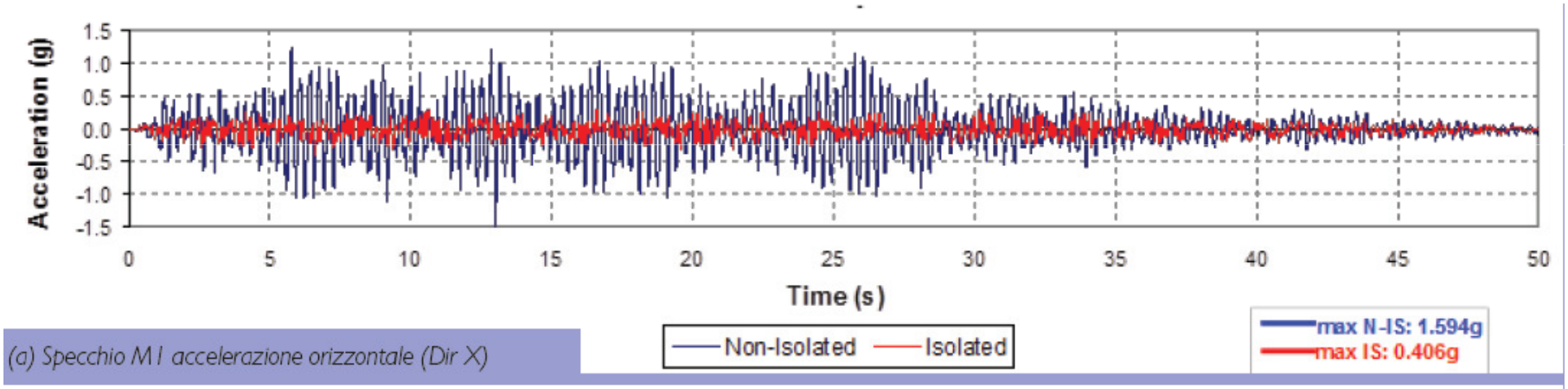
Risposta orizzontale nella direzione X-degli isolatori soggetti alla massima (isolatore N° 10) e minima (isolatore N° 47) forza assiale (configurazione a 0°gradi)

E-ELT TELESCOPE

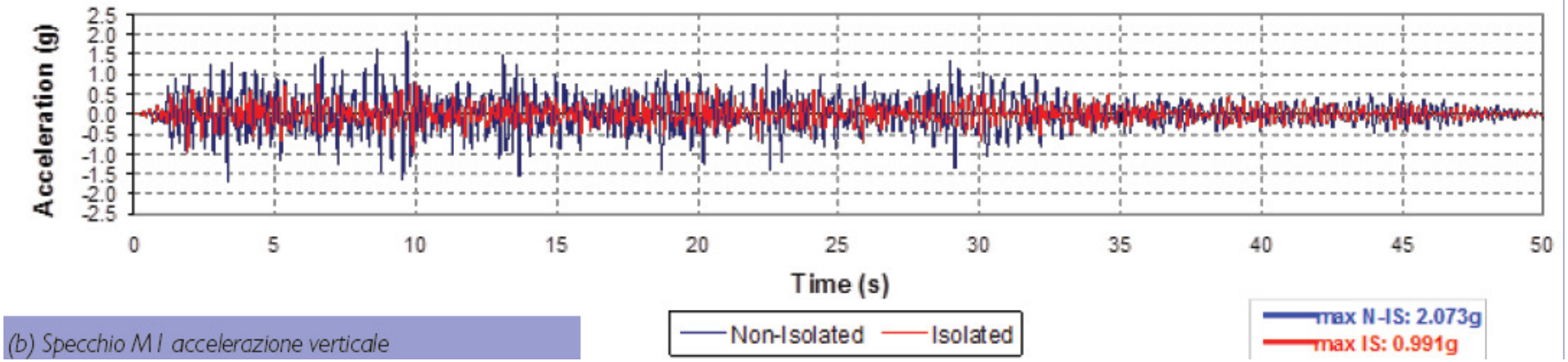
ASDEA
Advanced Structural Design & Analysis

- ***Risultati***

  Le accelerazioni sia orizzontali che verticali sono state ridotte sostanzialmente grazie all'inserimento degli isolatori



(a) Specchio M I accelerazione orizzontale (Dir X)



(b) Specchio M I accelerazione verticale