

Ordine 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



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**

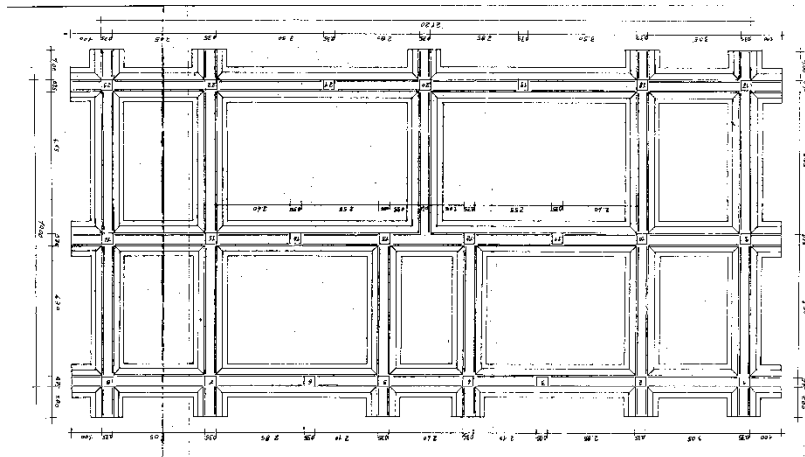
APPLICAZIONE 1: EDIFICIO DI BONEFRO

Edificio danneggiato dal sisma del Molise 2002

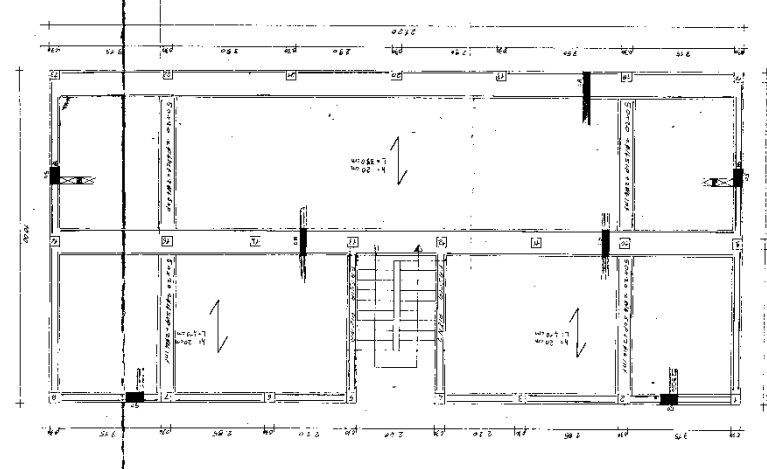


APPLICAZIONE 1: EDIFICIO DI BONEFRO

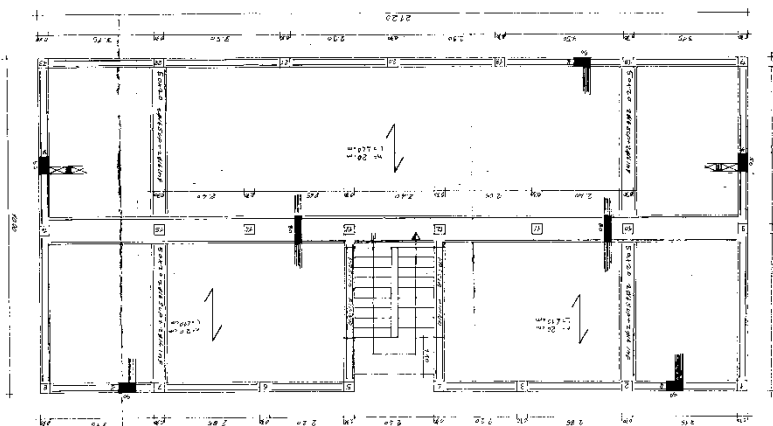
Pianta delle fondazioni



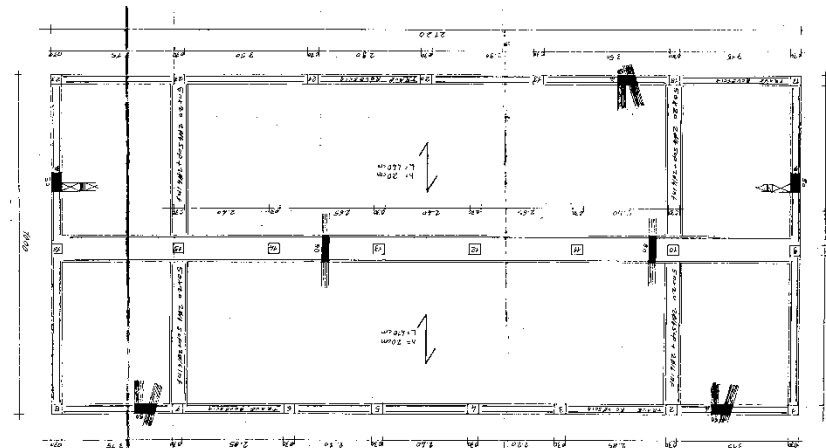
Pianta piano tipo



Pianta primo impalcato

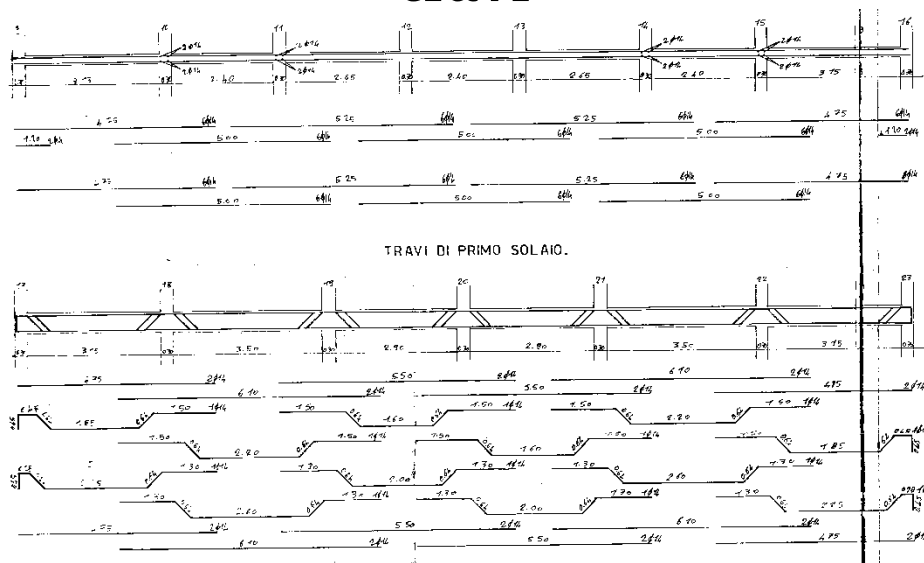


Pianta sottotetto

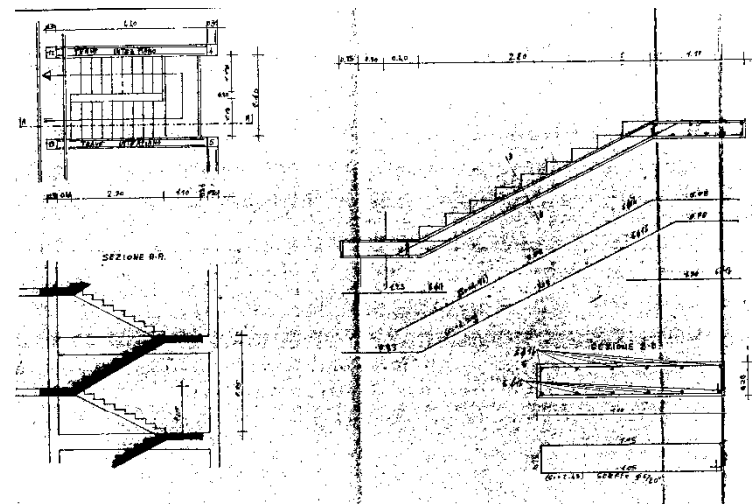


APPLICAZIONE 1: EDIFICIO DI BONEFRO

travi

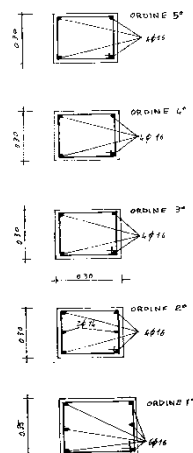


scala

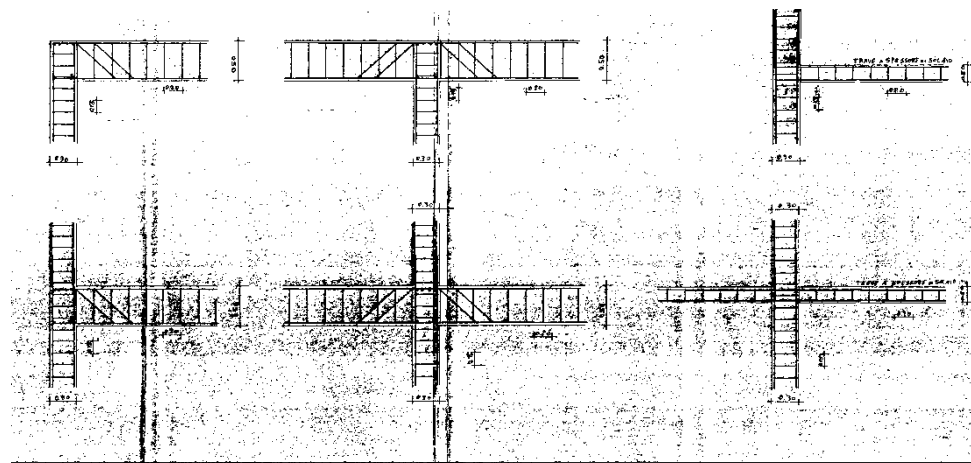


pilastri

PILASTRI	1-3-5-7-9-11-13-15-17-19-21-23-25	2-4-6-8-10-12-14-16-18-20-22-24
ORDINE	5°	4°
DIMENSIONI	30x30	30x30
ARMATURA	4φ16	4φ16
STAFFE	φ10/10	φ10/10
ORDINE	4°	3°
DIMENSIONI	30x30	30x30
ARMATURA	4φ16	4φ16
STAFFE	φ10/10	φ10/10
ORDINE	3°	2°
DIMENSIONI	30x30	30x30
ARMATURA	4φ16	4φ16
STAFFE	φ10/10	φ10/10
ORDINE	2°	1°
DIMENSIONI	30x30	30x30
ARMATURA	4φ16	4φ16
STAFFE	φ10/10	φ10/10



nodi

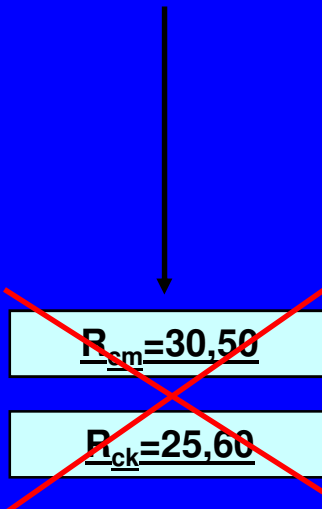


APPLICAZIONE 1: EDIFICIO DI BONEFRO

MODELLAZIONE DEL CLS

RESISTENZA A COMPRESSIONE DEL CLS

LUGLIO 1984
PROVINI CUBICI
CERTIFICATI



DEVIAZ. STAND. = 2,3

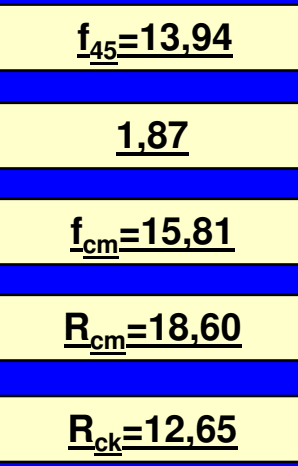
MEDIA CILINDRICA SU
10 MICROCAROTE

RESISTENZA
CILINDRICA MEDIA

RESISTENZA
CUBICA MEDIA

RESISTENZA CUBICA
CARATTERISTICA

FEBBR. 2003
MICROCAROTE
CILINDRICHE



MICROCAROTAGGIO

- diametro di 28mm
- diametro di 45mm
- diametro di 70mm

EFFETTO SCALA DOVUTO AL
MICROCATOTAGGIO (45mm)

$$f_{cm} = 1,048 + 1,058 f_{45}$$

"MATERIALS AND
STRUCTURES"
(F. INDELICATO)

ACI MATERIALS JOURNAL

MODULO ELASTICO

$$E_c = 4700 \sqrt{f_{cm}} = 18688 \text{ Mpa}$$

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)

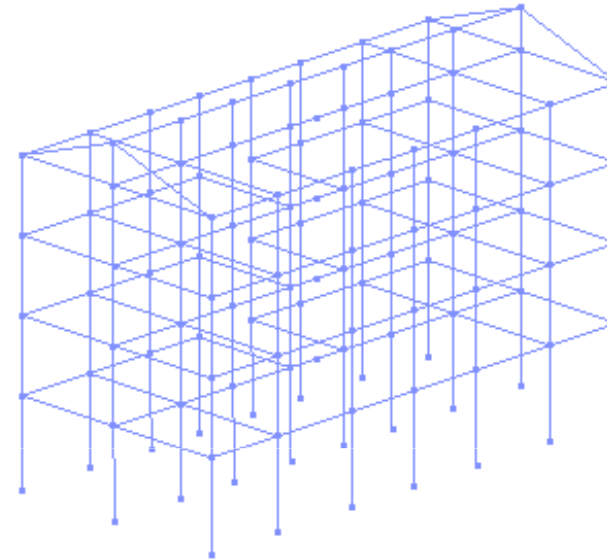
$$\Psi_{Ej} = \varphi \cdot \Psi_{2j} (SLU)$$

	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



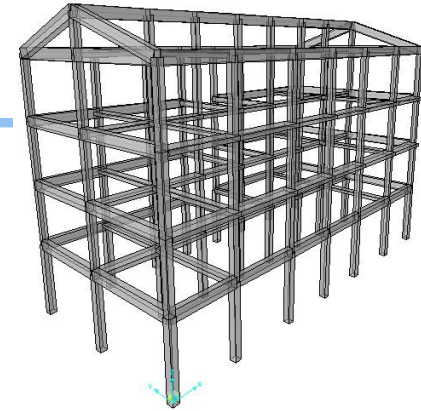
$$M_{tot} = 692 t$$

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 TAMPONAMENTI E SCALE (EI intero)

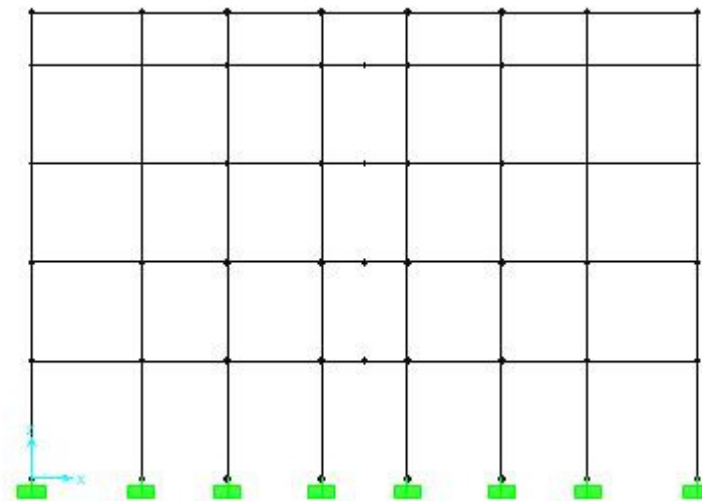
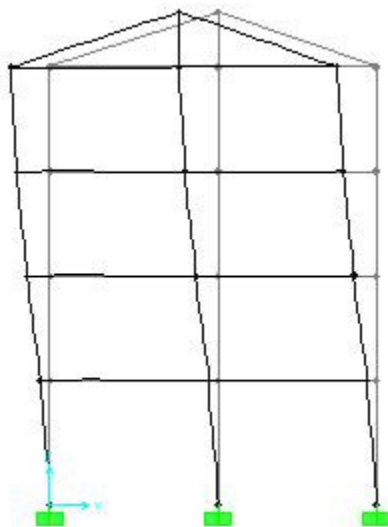
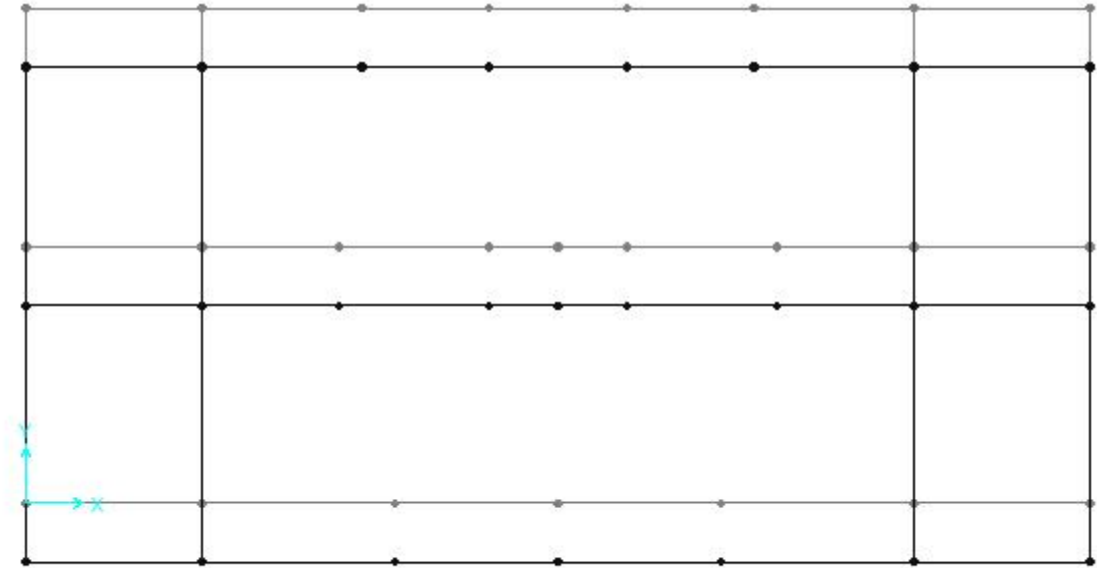
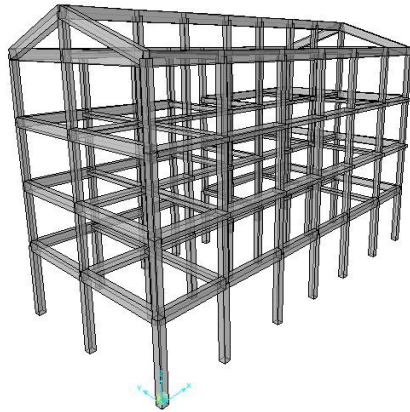


Modo	Periodo (Sec)	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
1	0,902	0,00000	0,83935	0,00000	0,00000	0,83935	0,00000
2	0,685	0,27868	0,00000	0,57195	0,27868	0,83935	0,57195
3	0,642	0,57923	0,00000	0,29194	0,85791	0,83935	0,86389
4	0,299	0,00000	0,09731	0,00000	0,85791	0,93666	0,86389
5	0,228	0,04963	0,00000	0,05925	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**

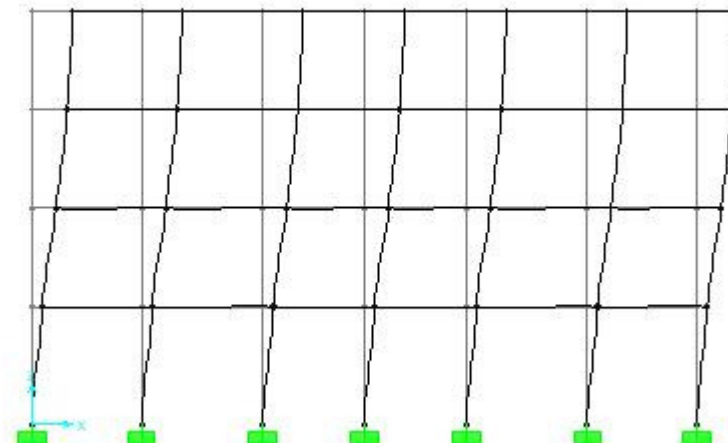
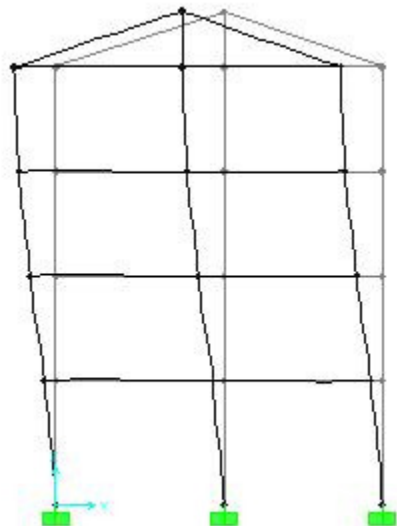
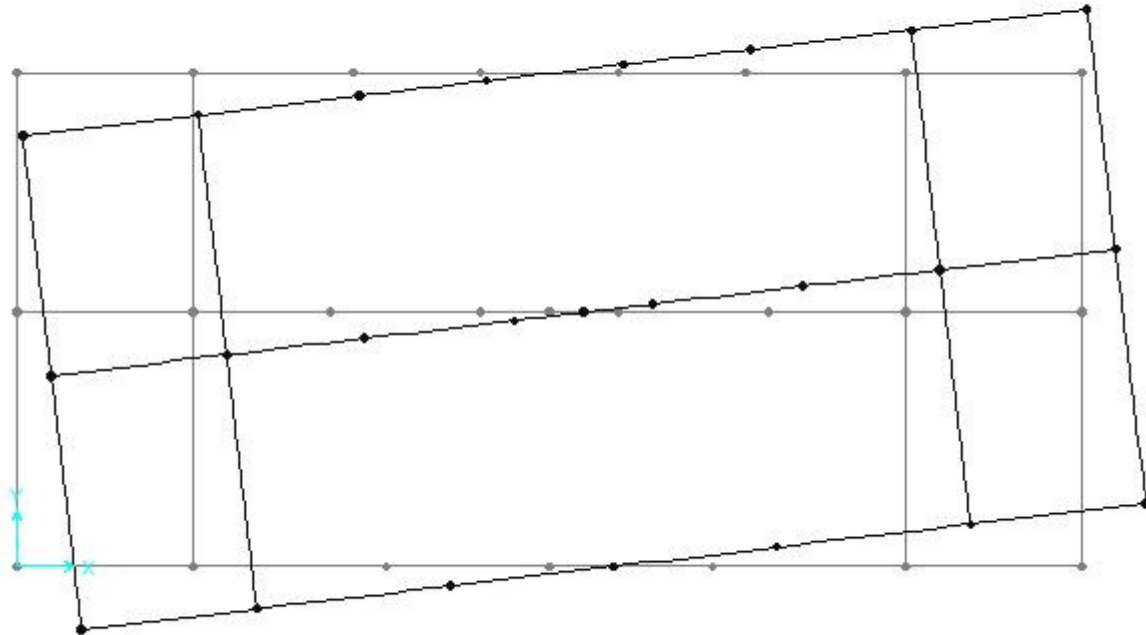
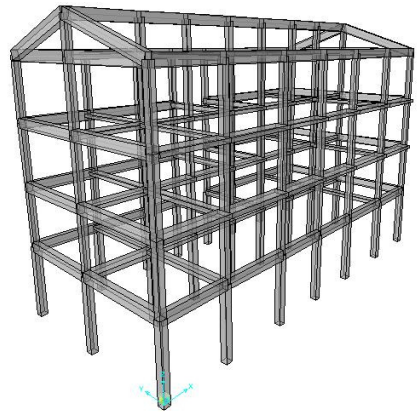
ANALISI MODALE 1

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



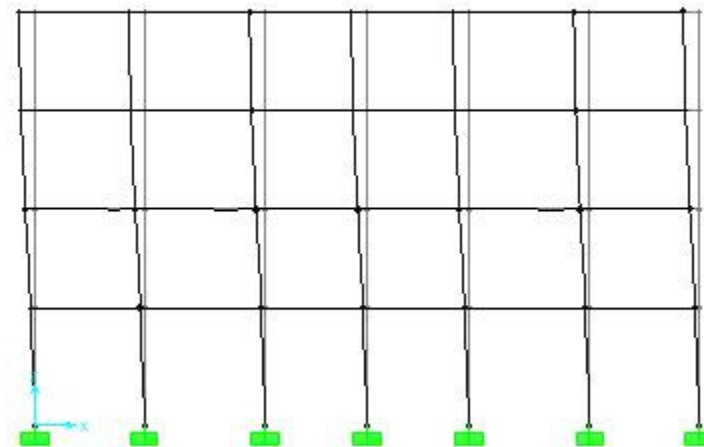
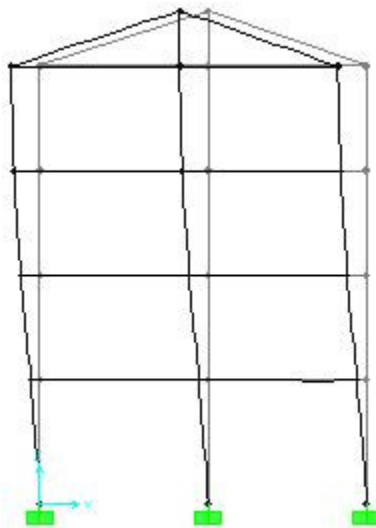
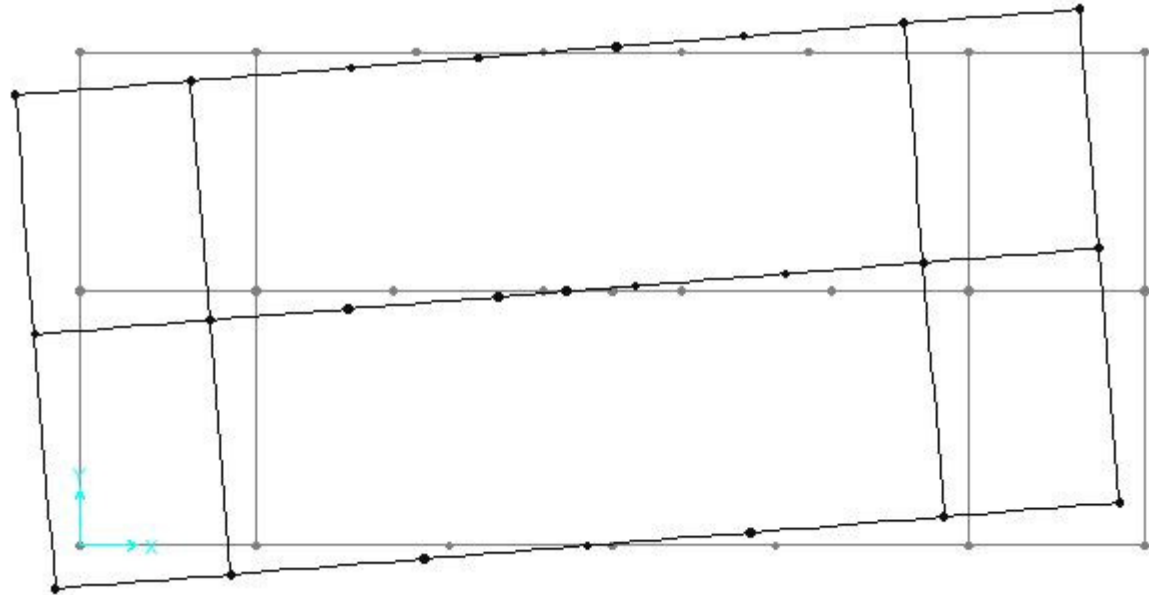
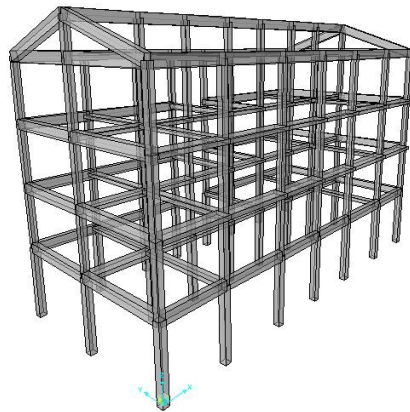
ANALISI MODALE 1

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



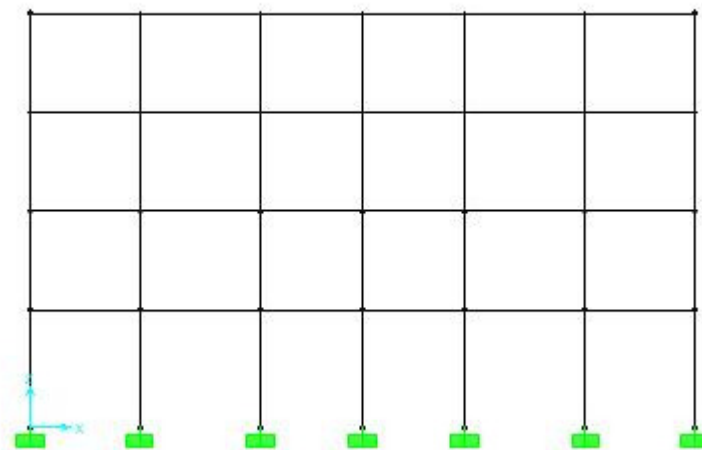
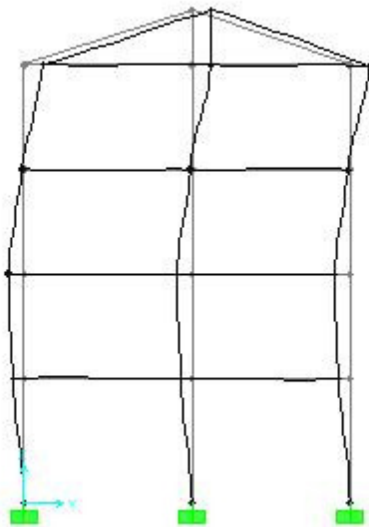
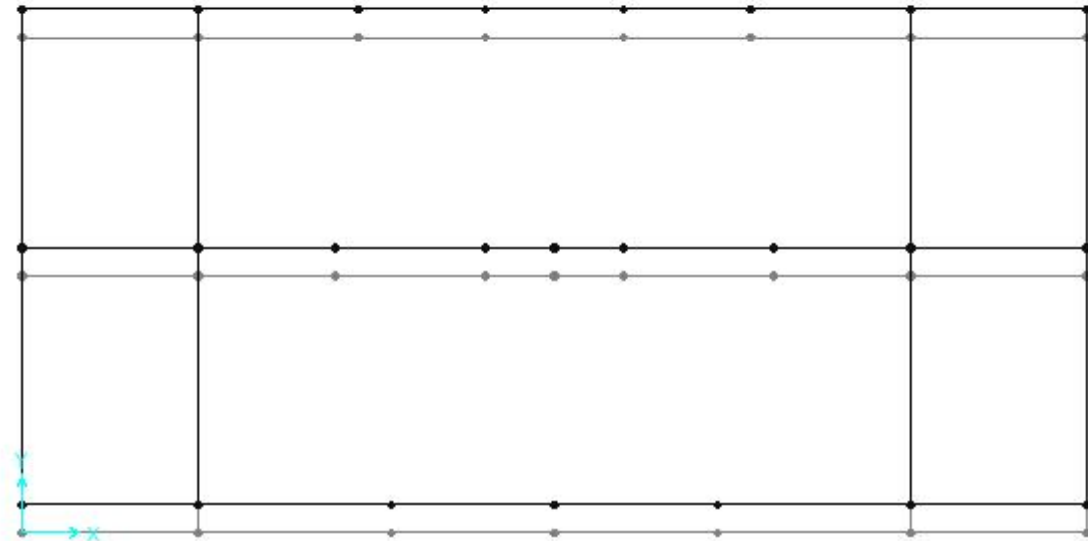
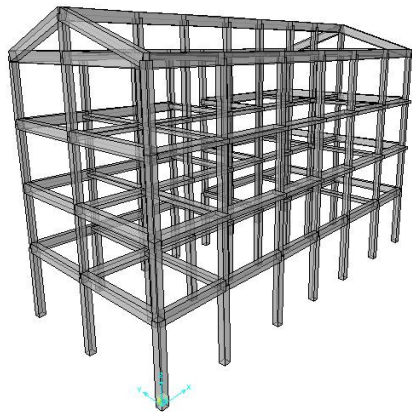
ANALISI MODALE 1

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



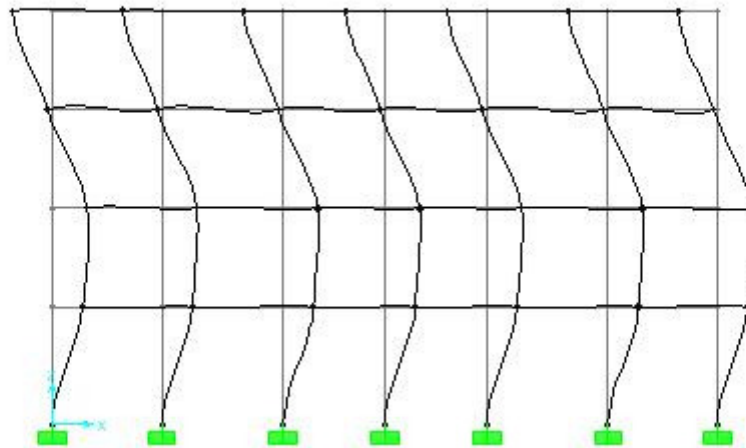
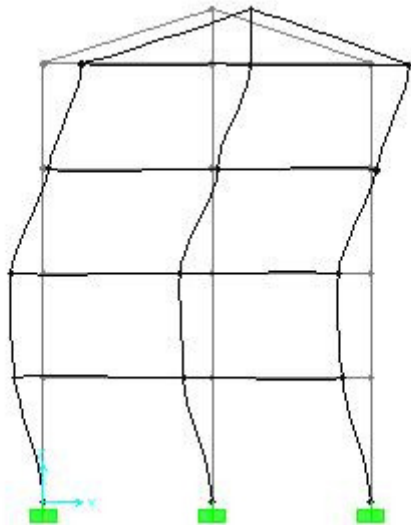
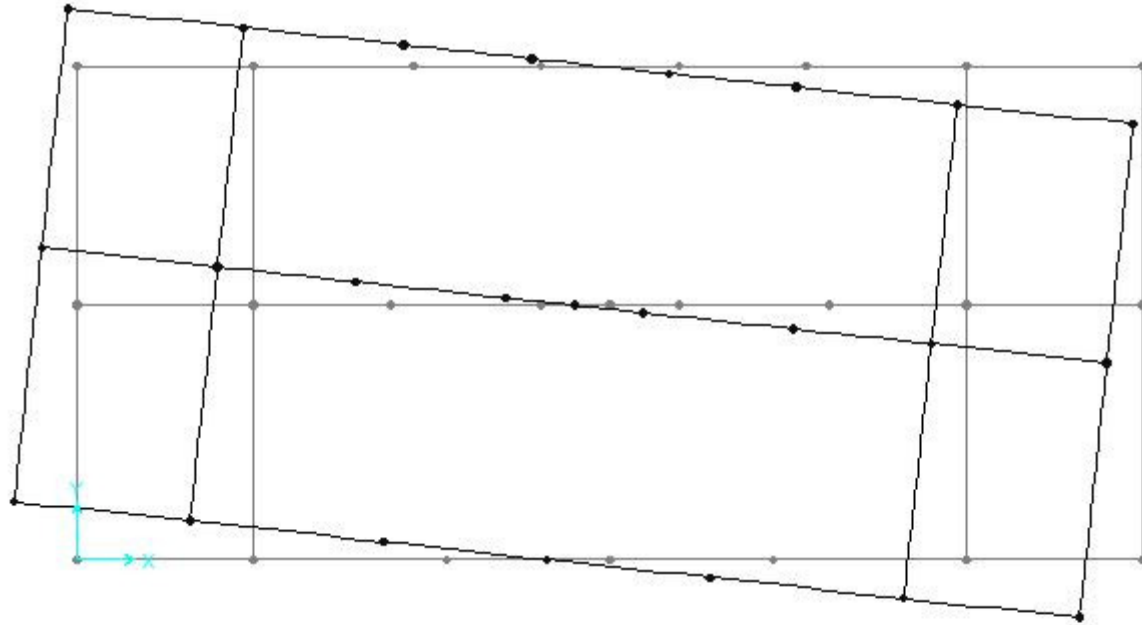
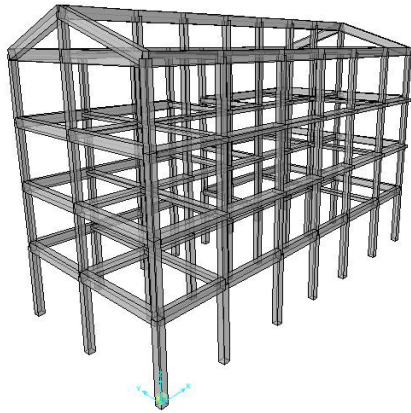
ANALISI MODALE 1

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



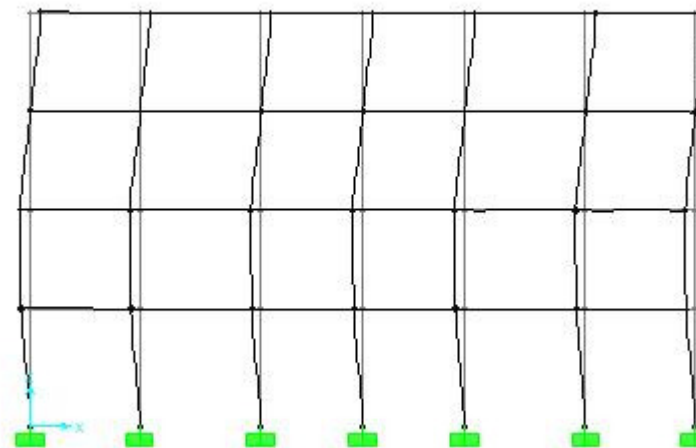
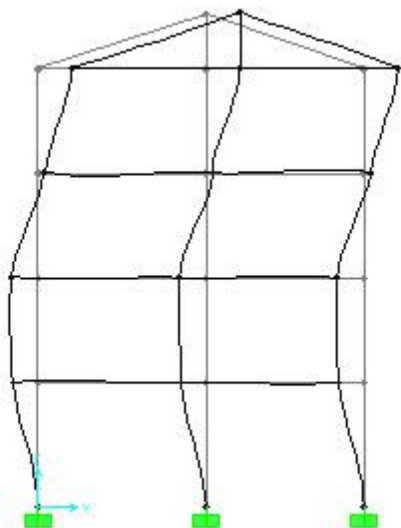
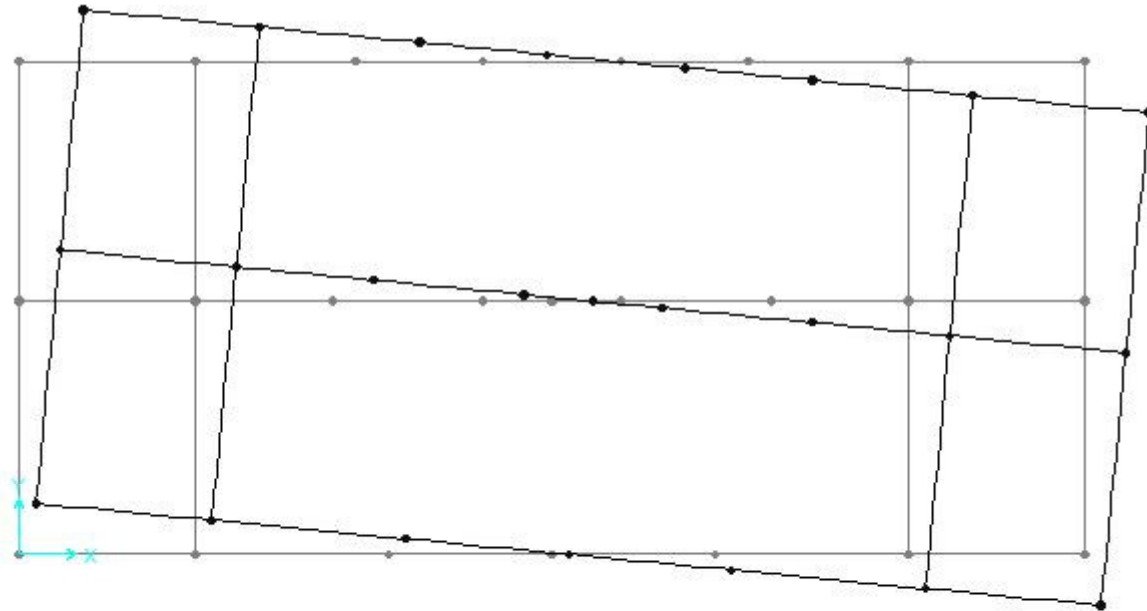
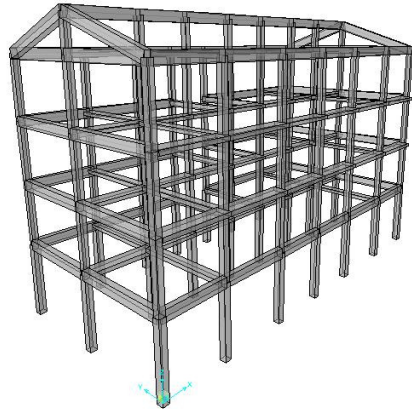
ANALISI MODALE 1

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



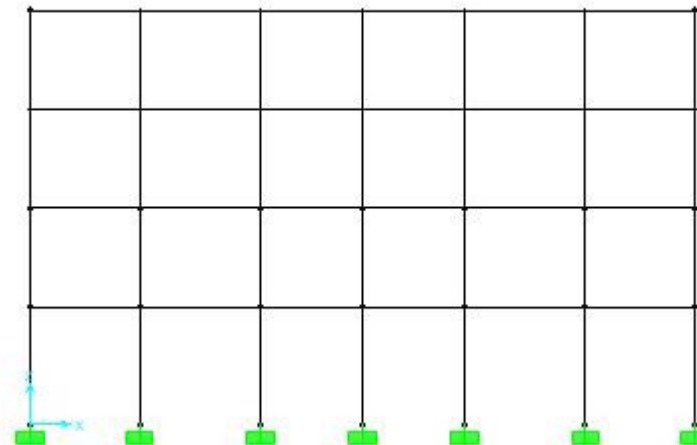
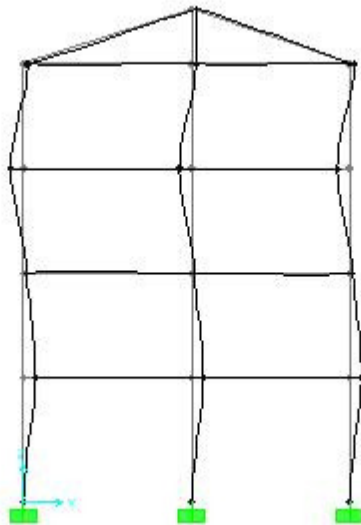
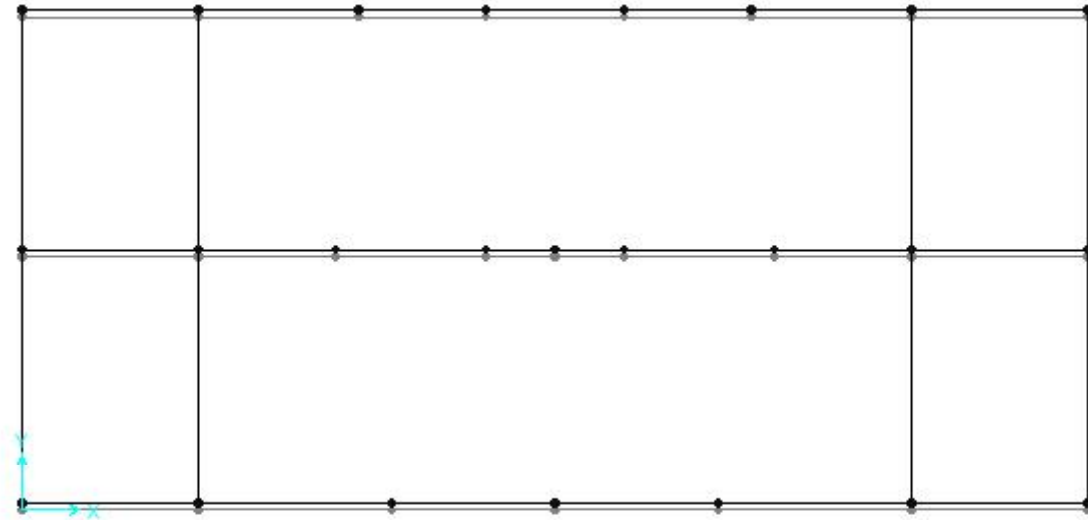
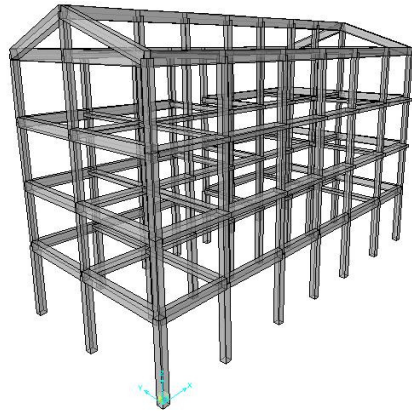
ANALISI MODALE 1

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



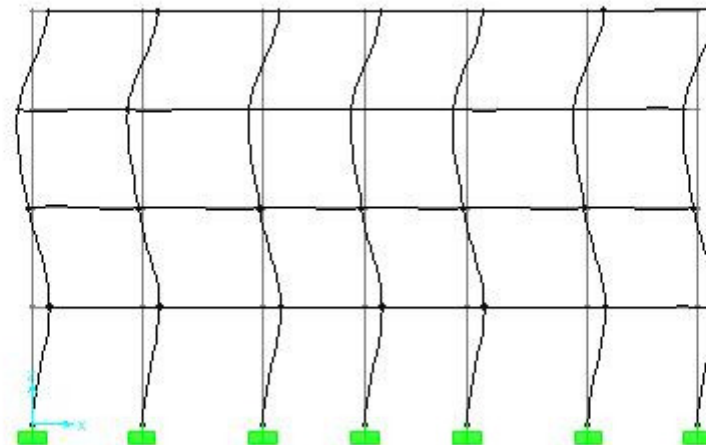
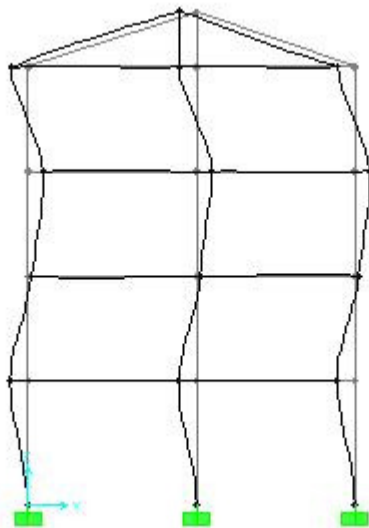
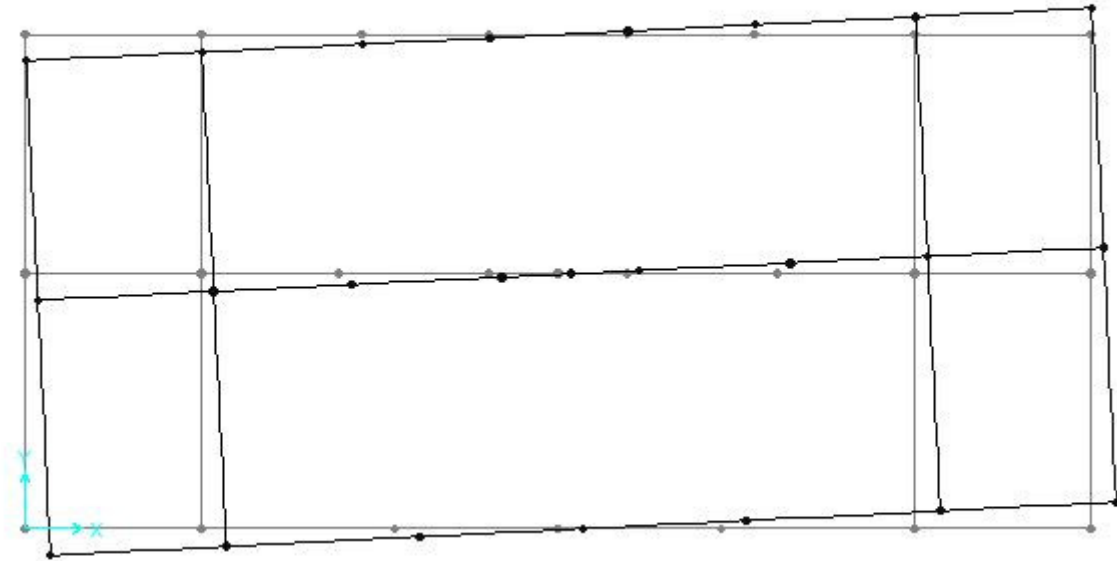
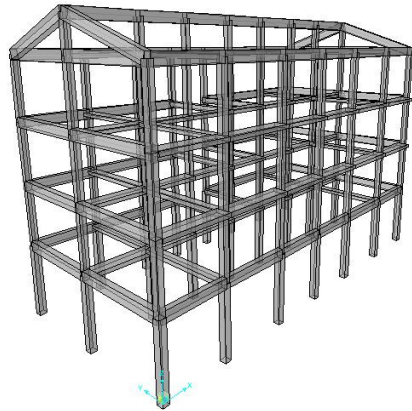
ANALISI MODALE 1

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



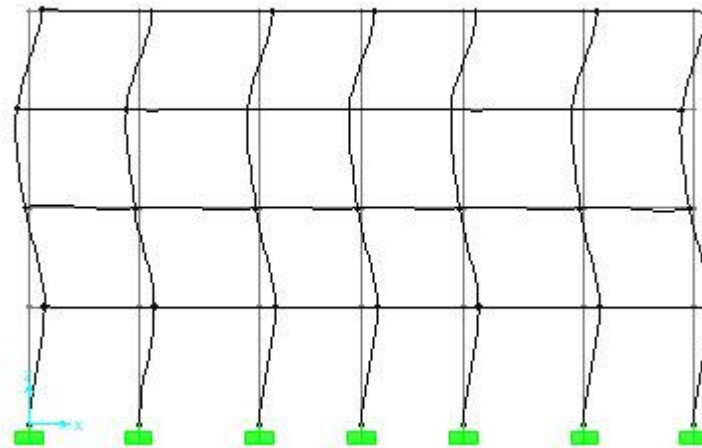
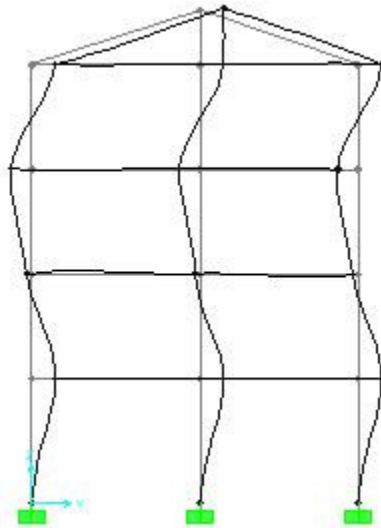
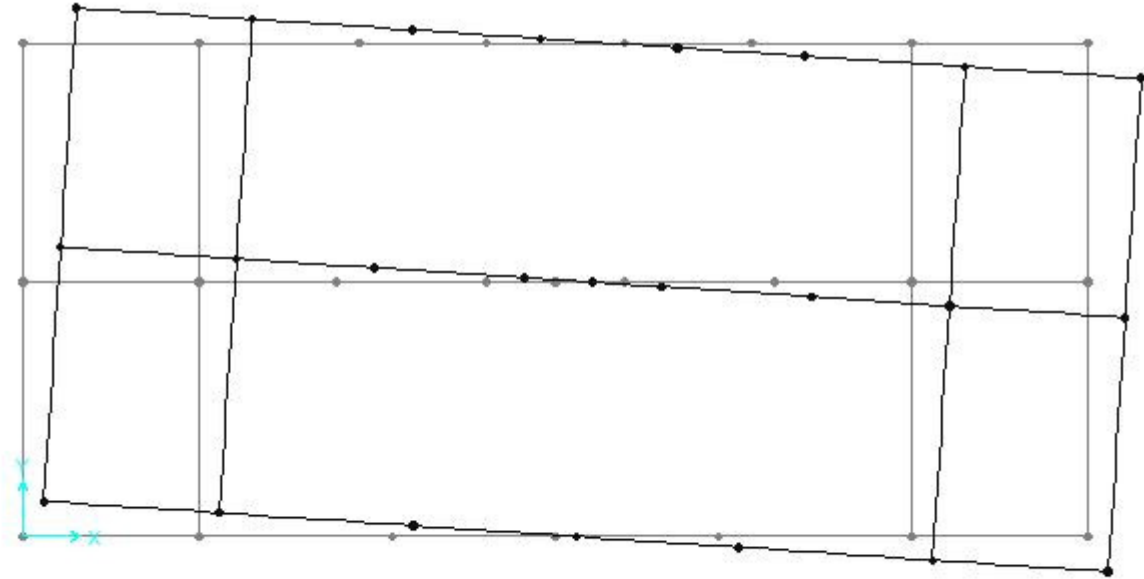
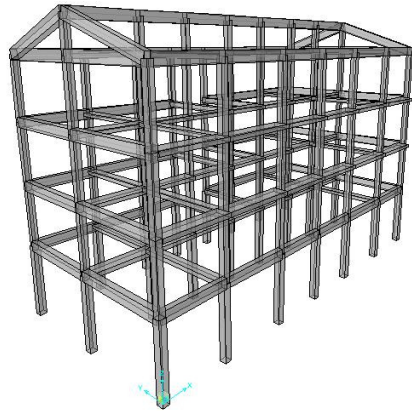
ANALISI MODALE 1

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



ANALISI MODALE 1

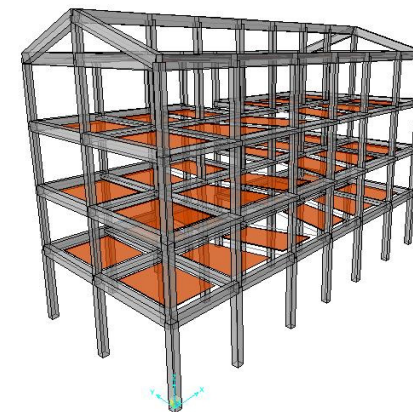
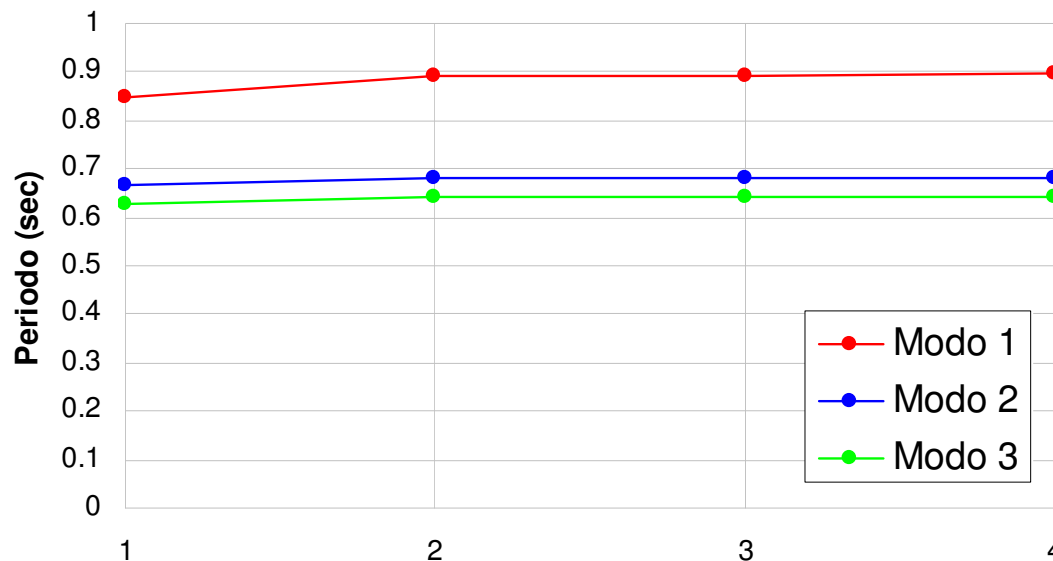
Modo	T (sec)	UX	UY
9	0,134	0,01947	0,00000



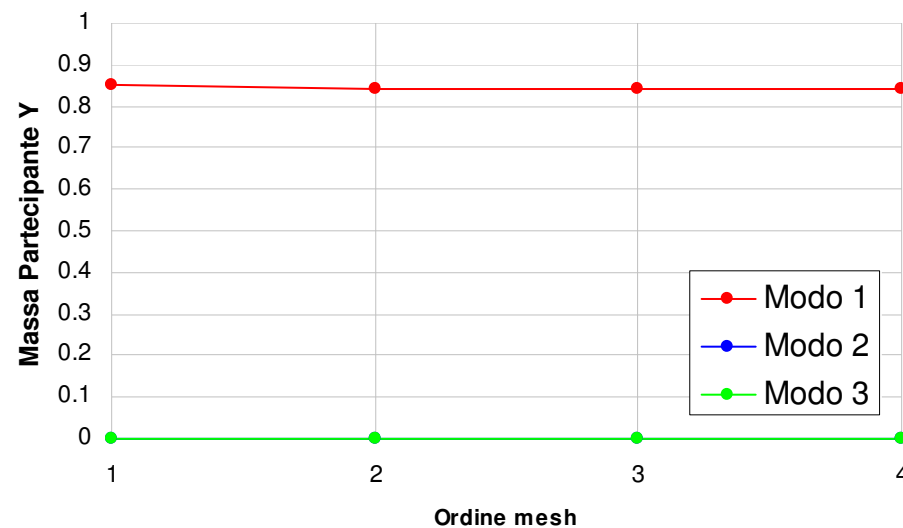
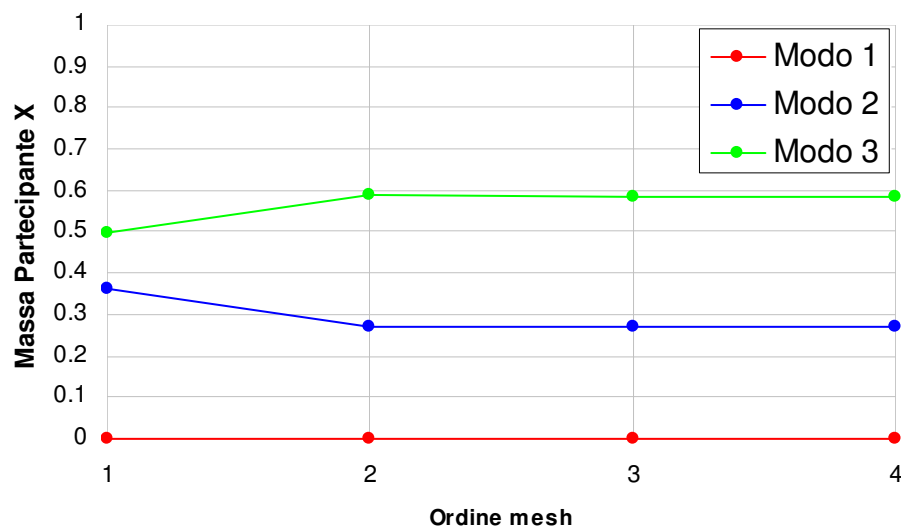
ANALISI MODALE 2

EDIFICIO DI BONEFRO: SOLAIO NON "RIGIDO"

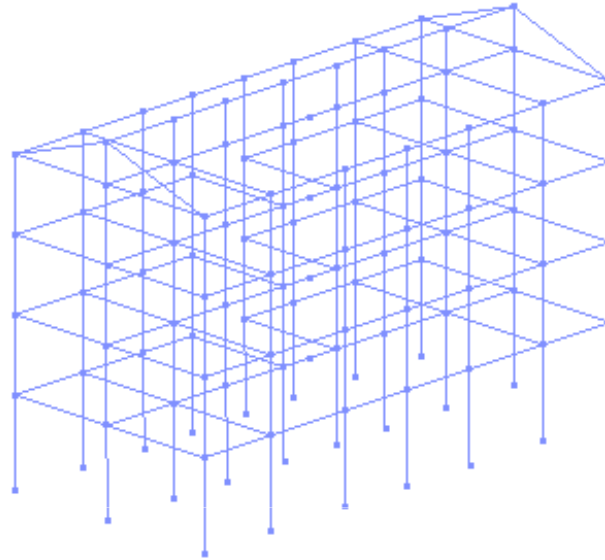
SENZA TAMPONEMENTI E SCALE (EI intero)



EFFETTO DISCRETIZZAZIONE SOLAIO



MODELLO NON LINEARE DELLA STRUTTURA

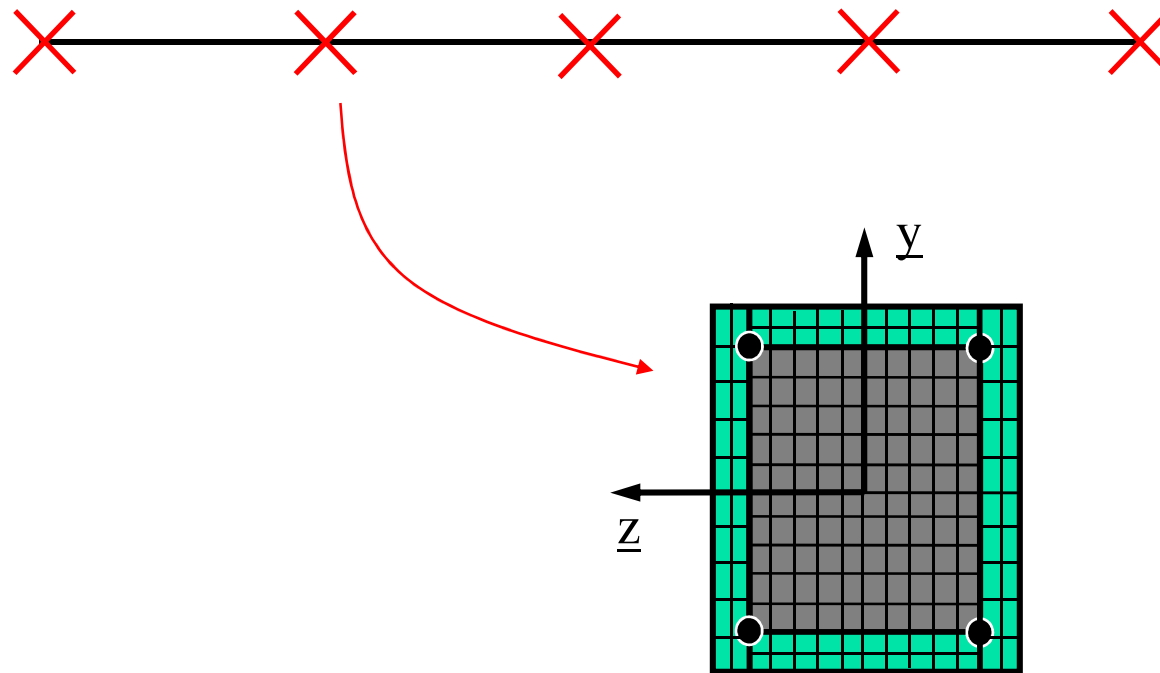


- a) costruire il modello è la parte più importante ed impegnativa
- b) un elemento “frame” in forza/trave o pilastro
- c) elemento “frame” a plasticità distribuita
- d) punti di integrazione (sezioni) a fibre
- e) leggi costitutive materiali
- f) stesso modello sia per pushover che per TH
- g) diaframma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

MODELLO NON LINEARE DELLA STRUTTURA

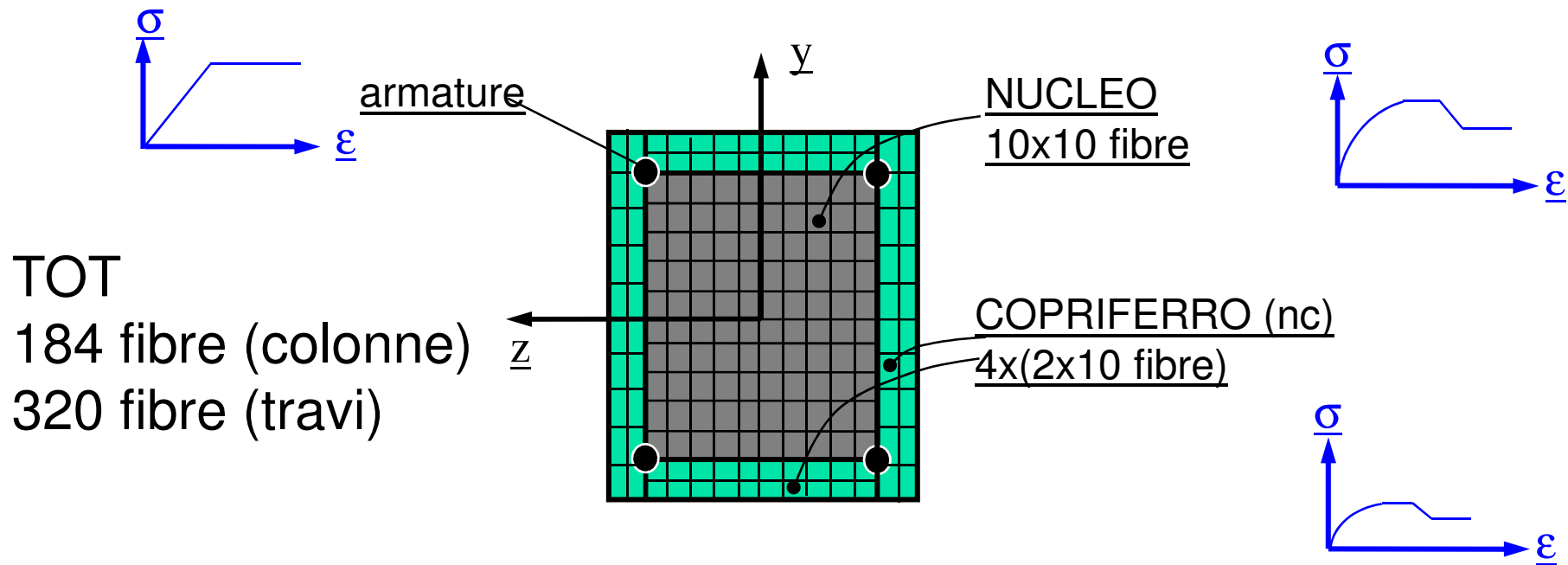
1) Elementi in forze

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



MODELLO NON LINEARE DELLA STRUTTURA

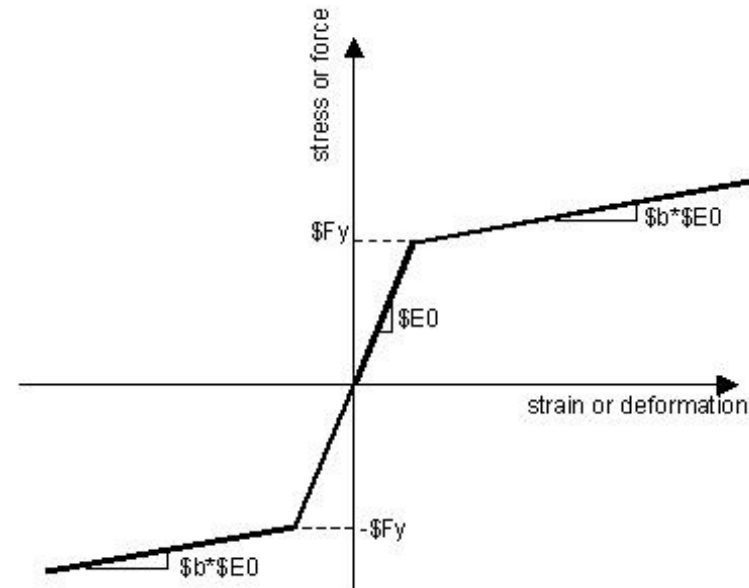
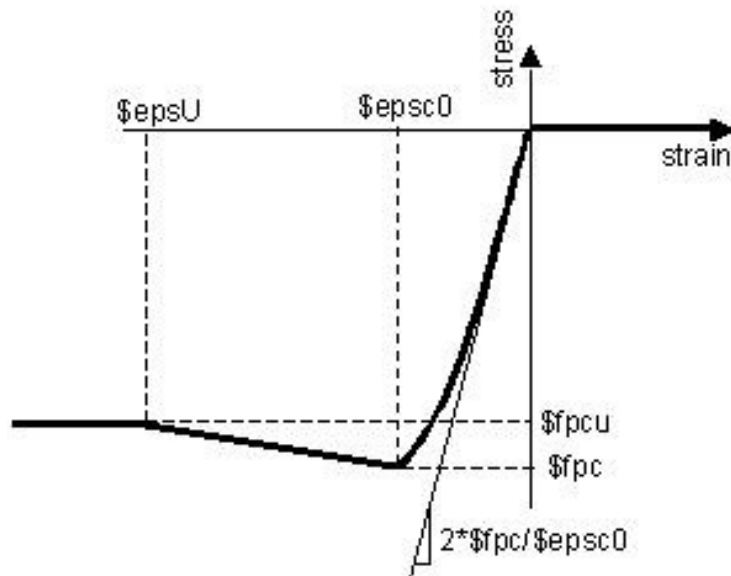
Modello NL a fibre



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

MODELLO NON LINEARE DELLA STRUTTURA

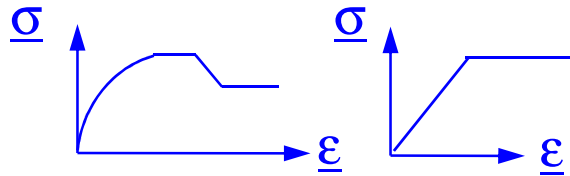
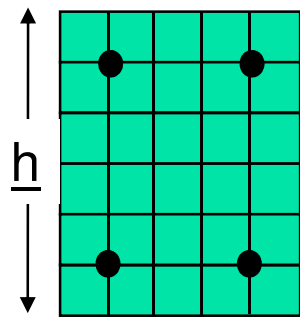
Leggi costitutive dei materiali



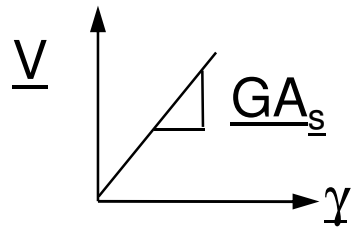
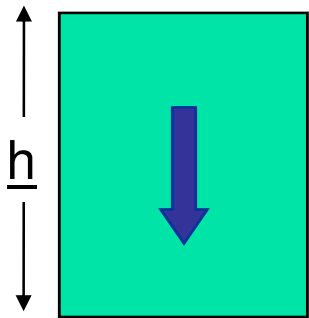
#			f_{pc}	ϵ_{psc0}	f_{pcu}	ϵ_{pscu}
uniaxialMaterial Concrete01	1		-30	-0.002	-6	-0.01
uniaxialMaterial Concrete01	2		-25	-0.002	0	-0.005
#	tag	f_y	$E0$	b		
uniaxialMaterial Steel01	3	340	210000	0.01		

MODELLO NON LINEARE DELLA STRUTTURA

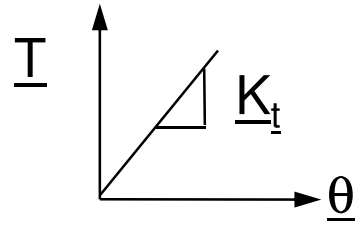
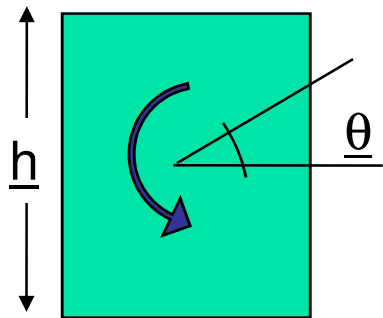
flessione
NL fibre σ - ε
 $\leftarrow \underline{b} \rightarrow$



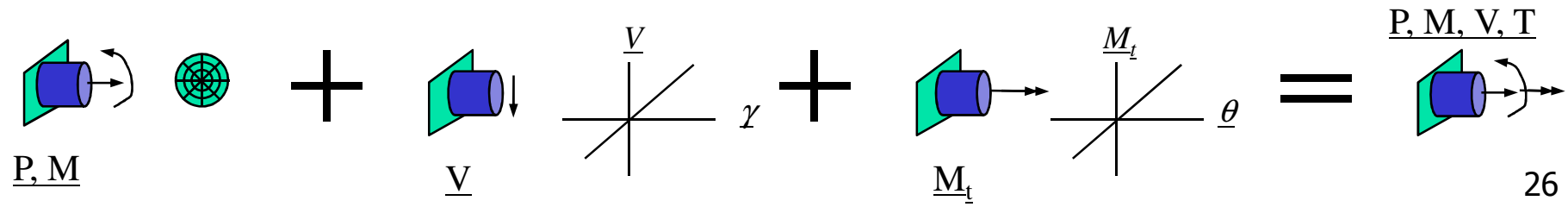
taglio
Lineare V - γ
 $\leftarrow \underline{b} \rightarrow$



torsione
Lineare T - θ
 $\leftarrow \underline{b} \rightarrow$

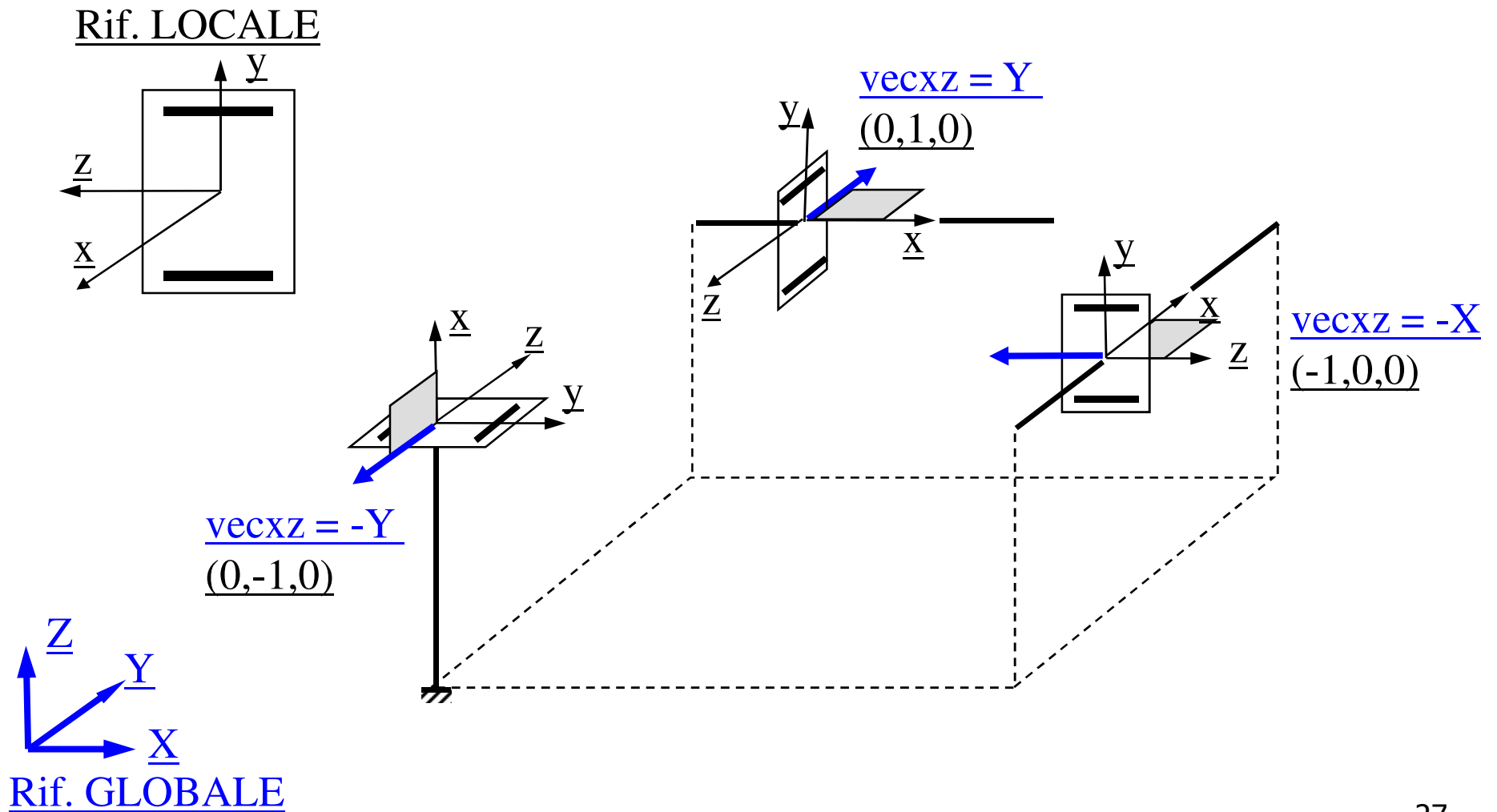


$$K_T = \frac{GJ}{L} = \frac{Gc_2hb^3}{L} \quad (h > b)$$

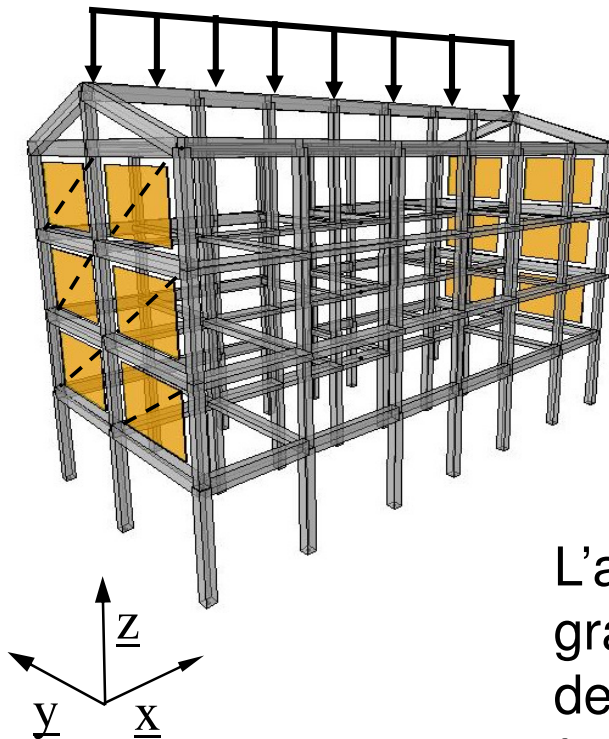


MODELLO NON LINEARE DELLA STRUTTURA

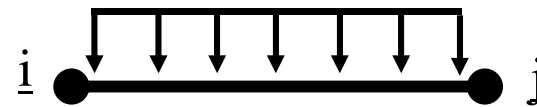
Orientamento elementi



APPLICAZIONE DEI CARICHI NON SISMICI



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



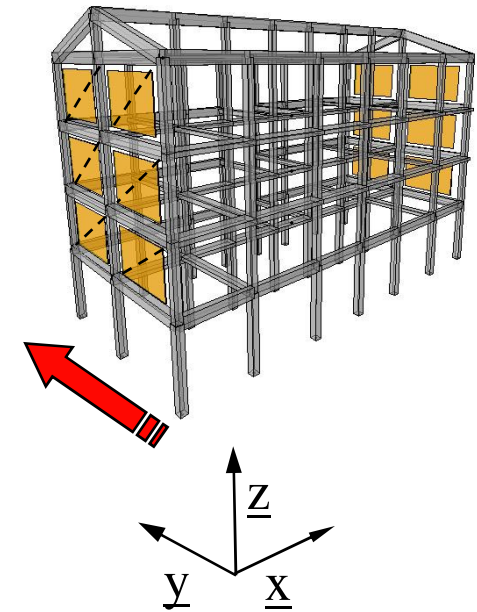
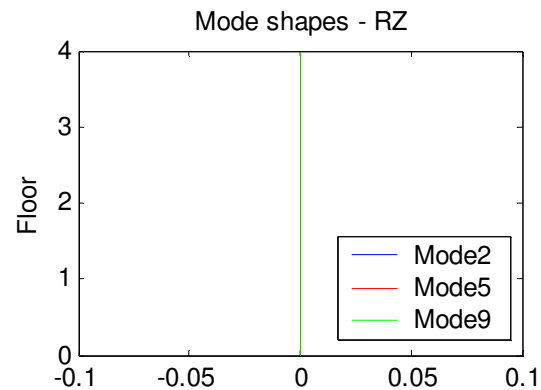
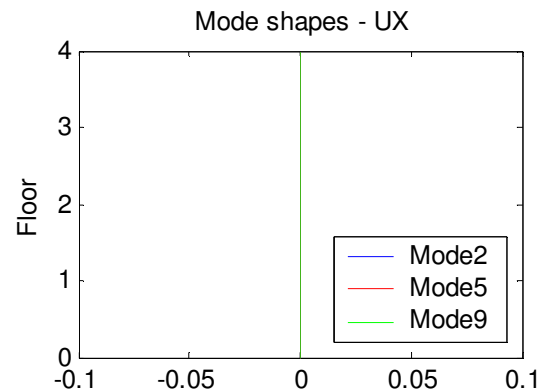
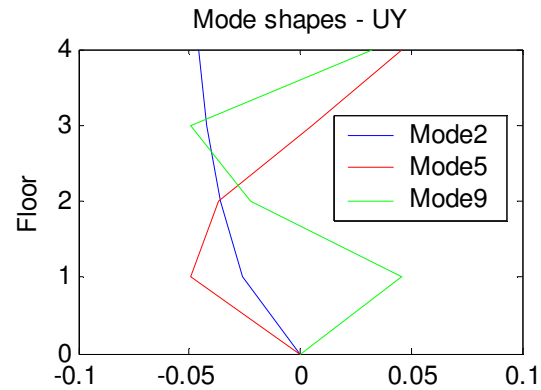
Travi: carichi verticali uniformemente distribuiti

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)

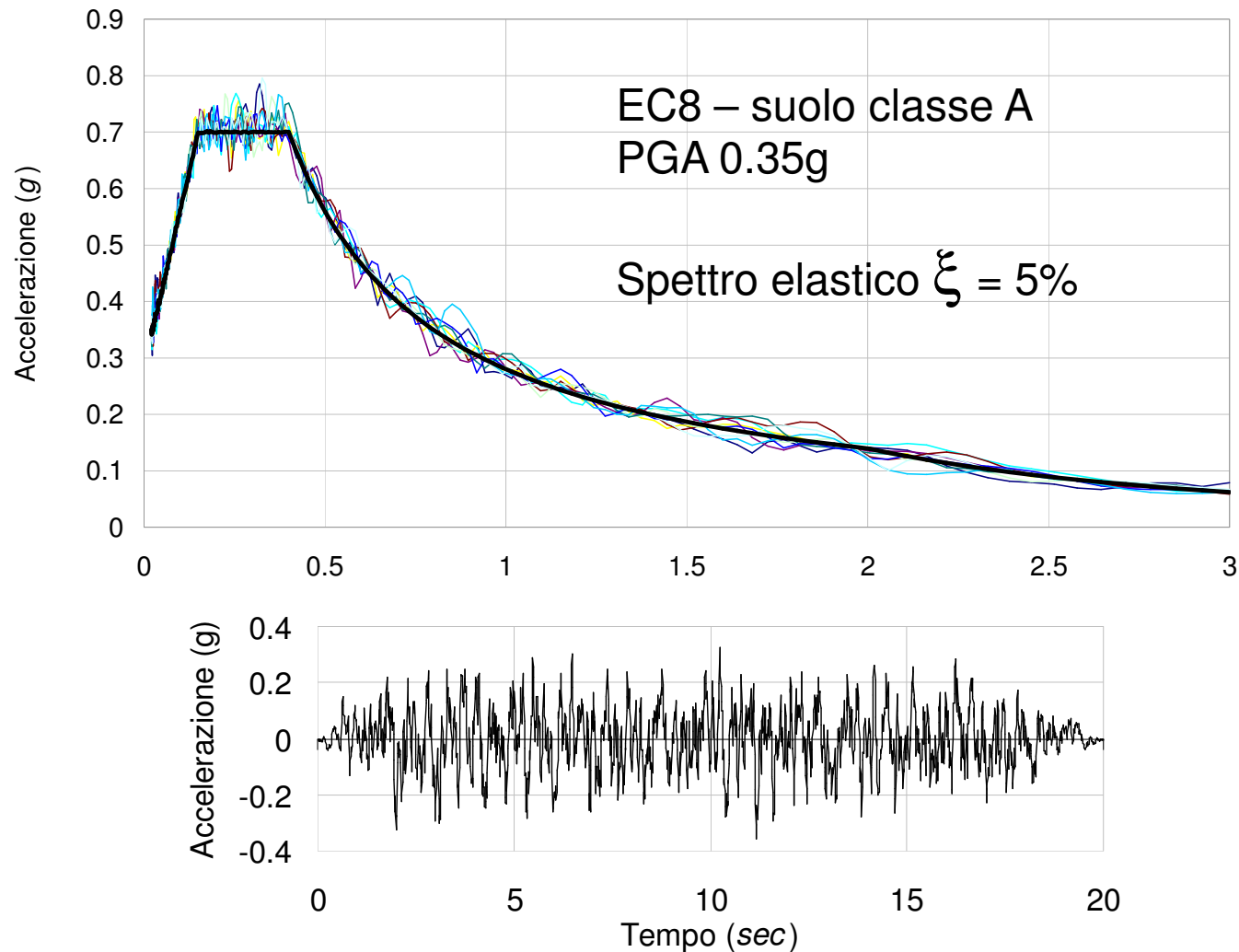
APPLICAZIONE DEI CARICHI NON SISMICI

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%



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

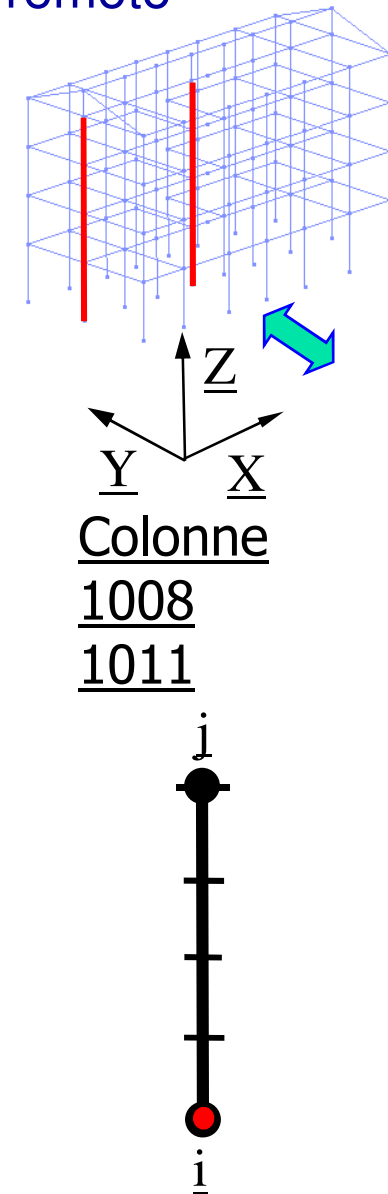
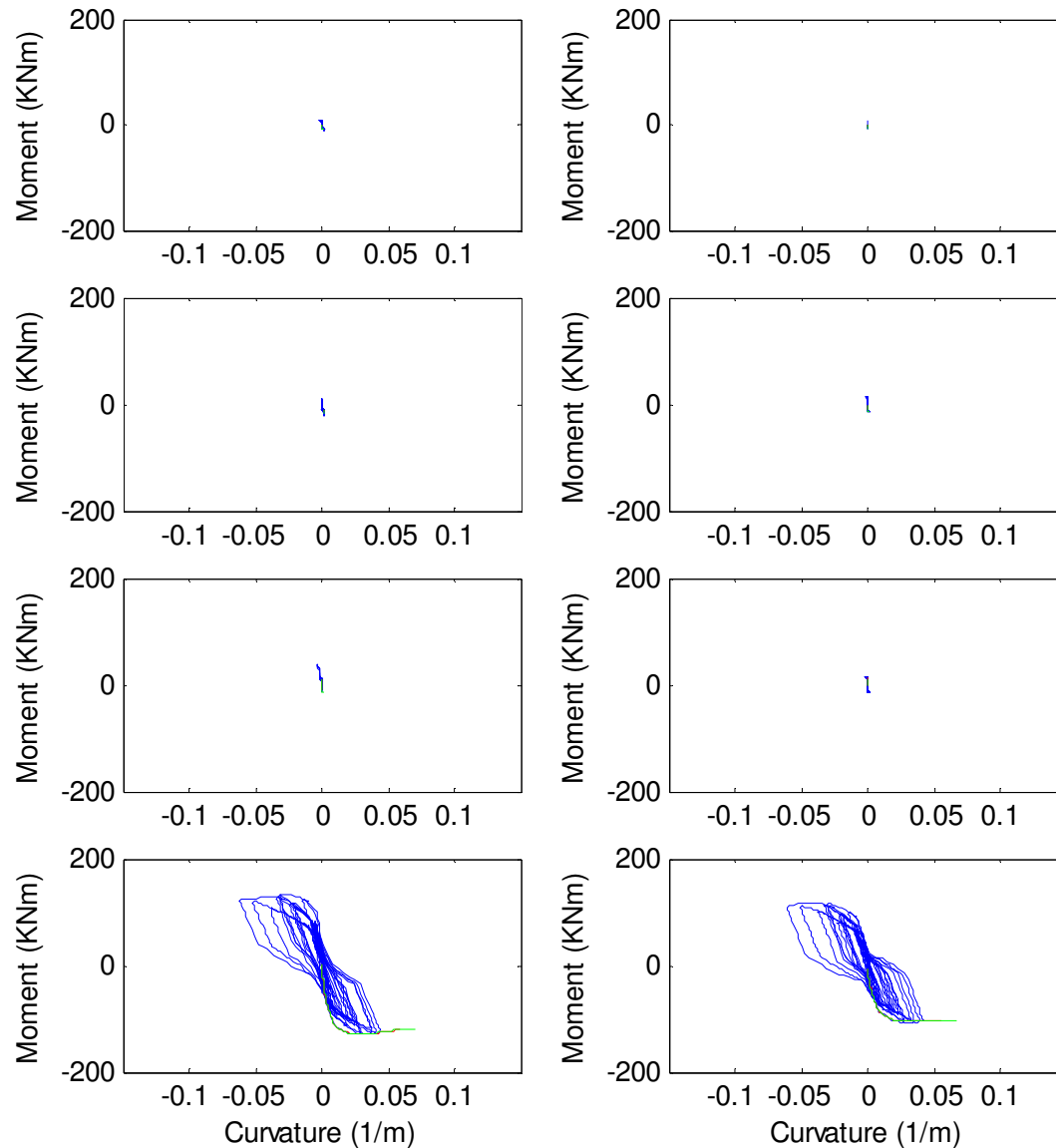
Discussione ancora aperta su quali accelerogrammi usare:

- 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?)

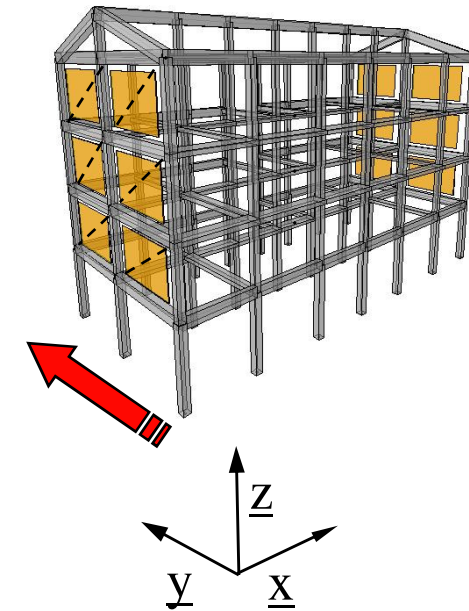
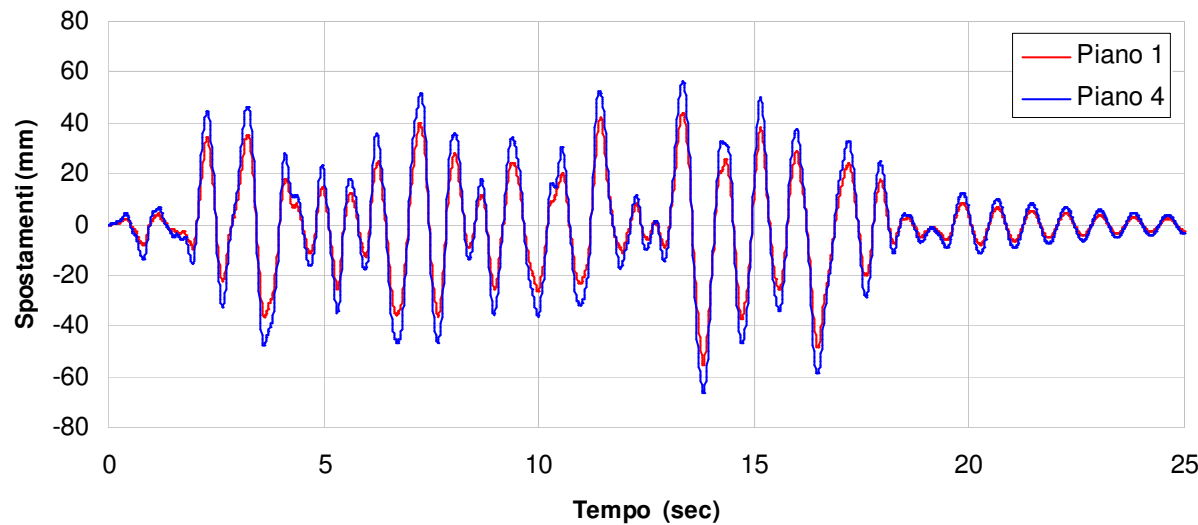
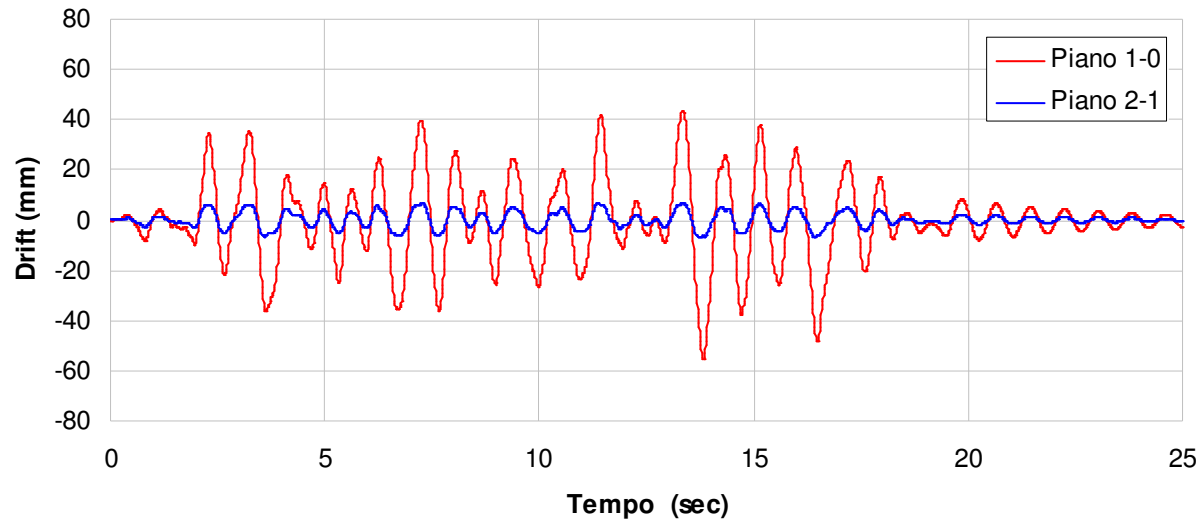
ANALISI TIME HISTORY

Telaio con tamponamenti Singolo terremoto



ANALISI TIME HISTORY

Telaio con tamponamenti Singolo terremoto



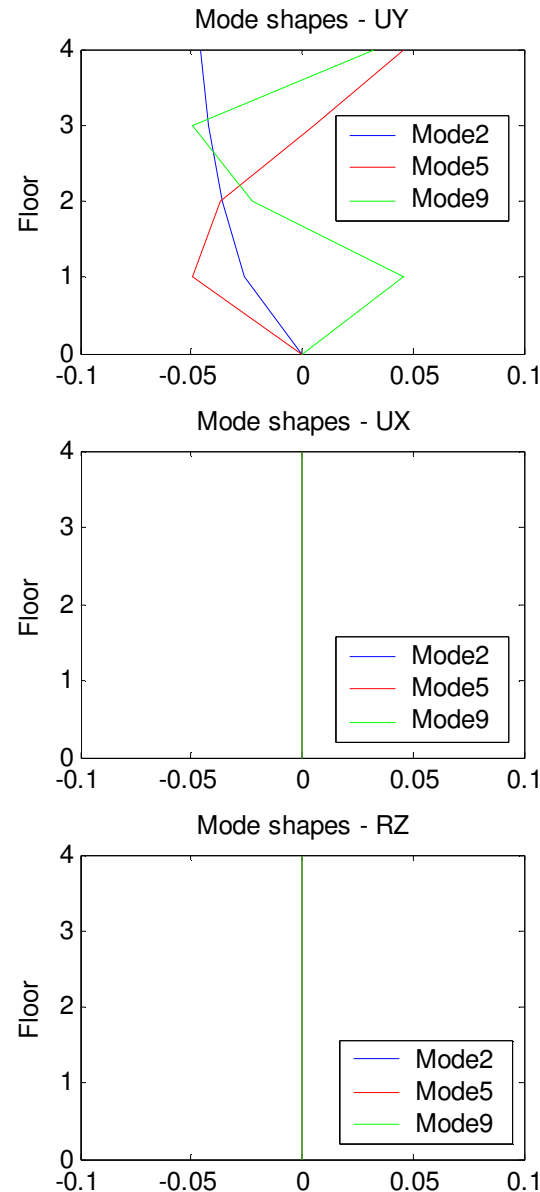
Non vi è spostamento residuo nonostante la plasticizzazione delle colonne a piano terra. Dipende dai materiali usati!

PUSHOVER E TIME HISTORY

Telaio con tamponamenti

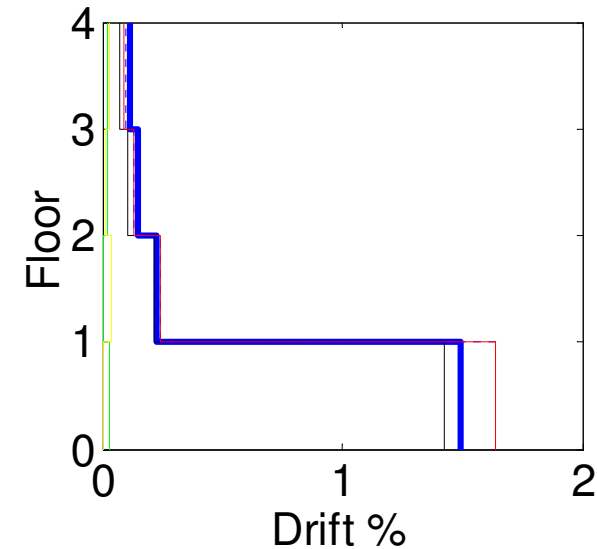
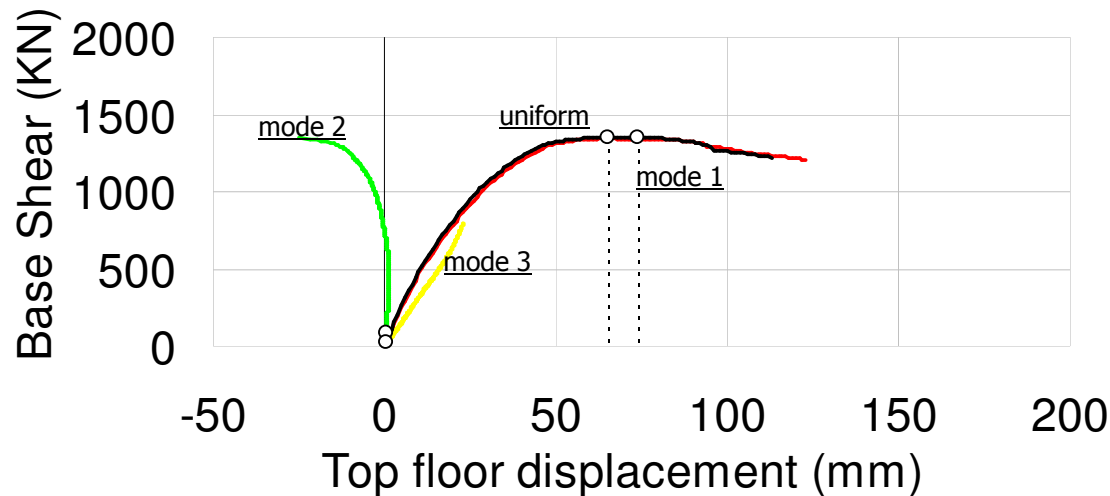
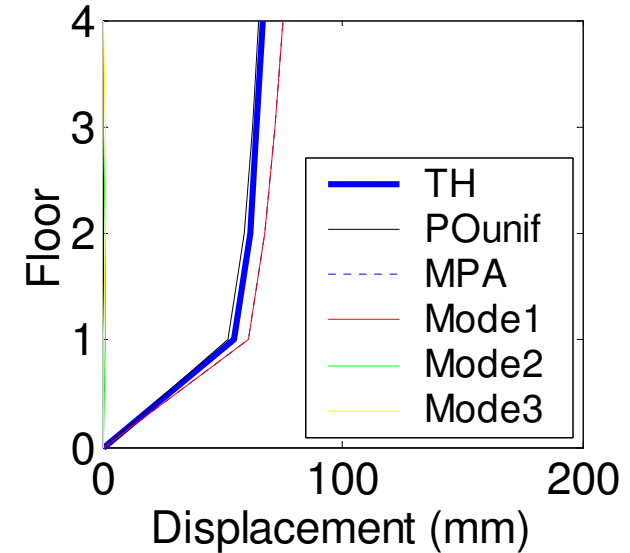
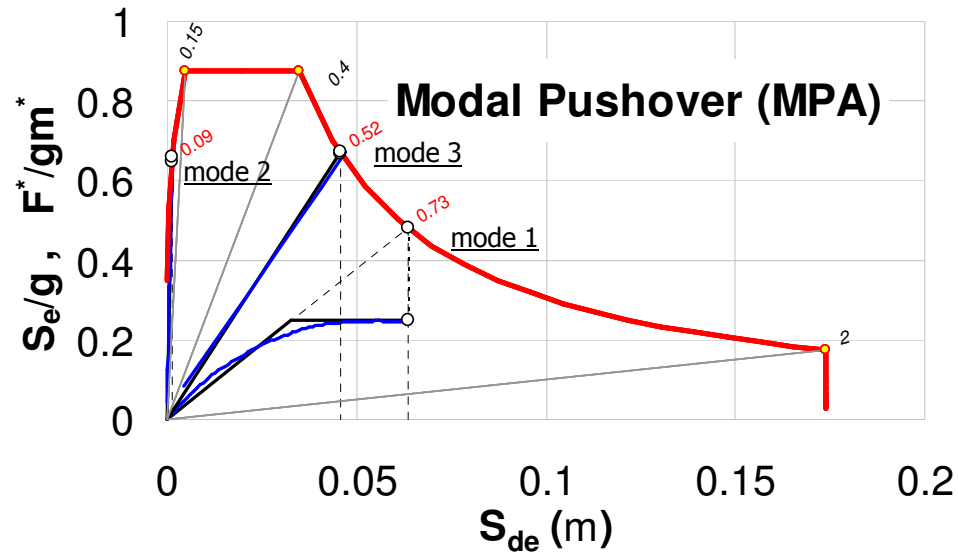
Periodi modali prima e dopo l'applicazione dei carichi gravitazionali

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



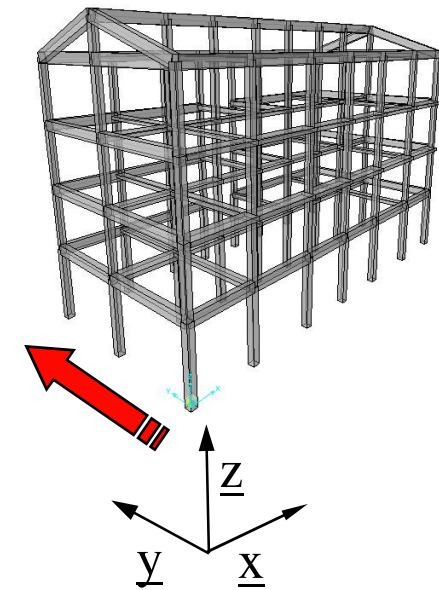
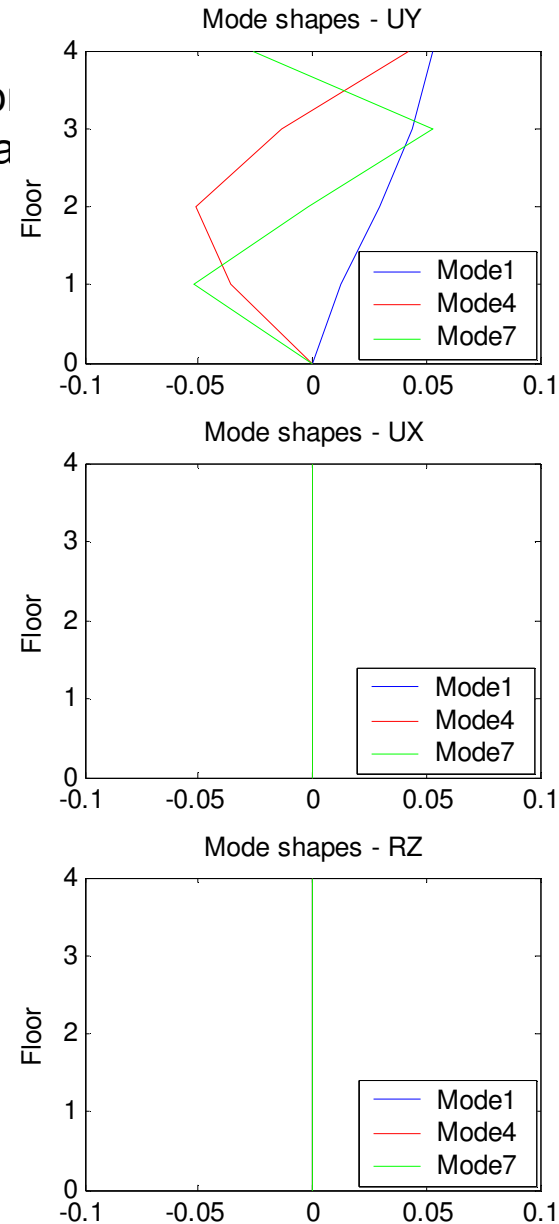
Analisi TH con un solo terremoto: non significativa!

PUSHOVER E TIME HISTORY

Telaio senza tamponamenti

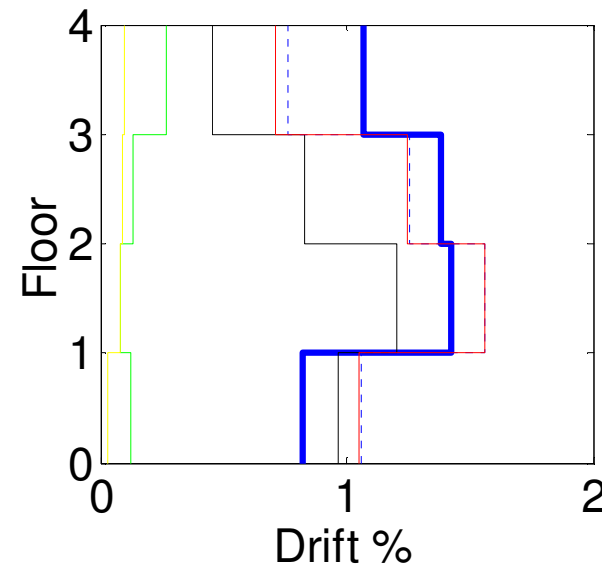
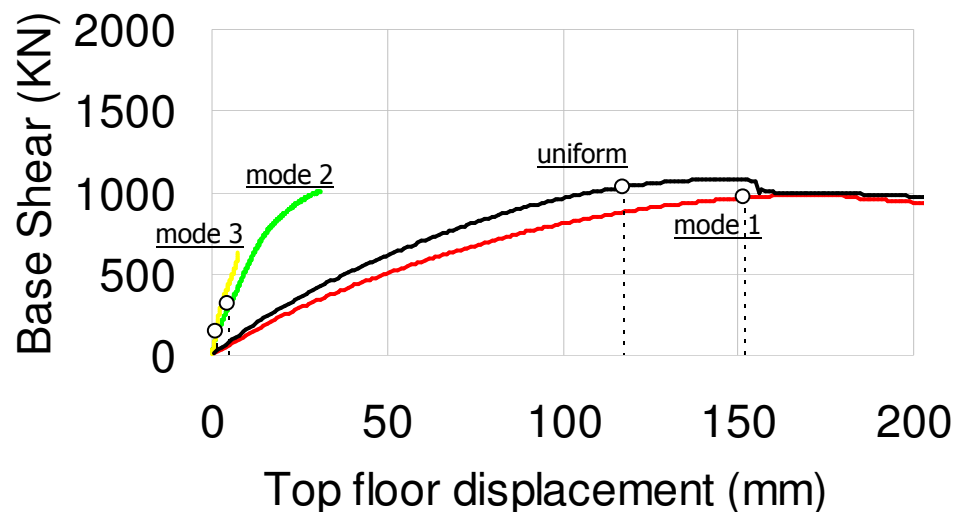
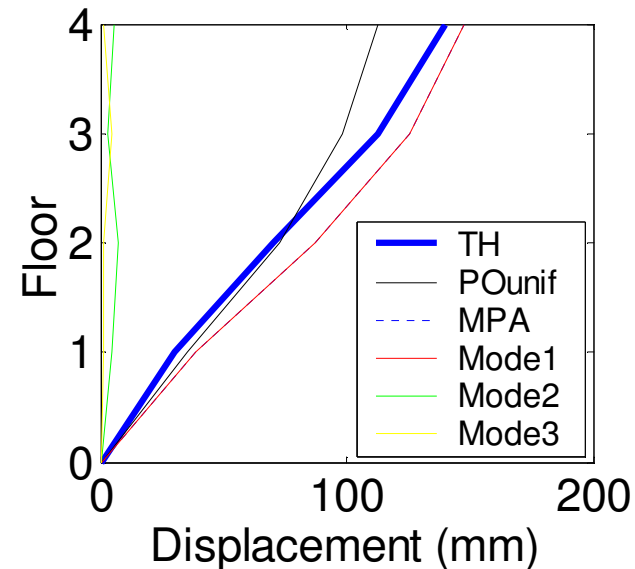
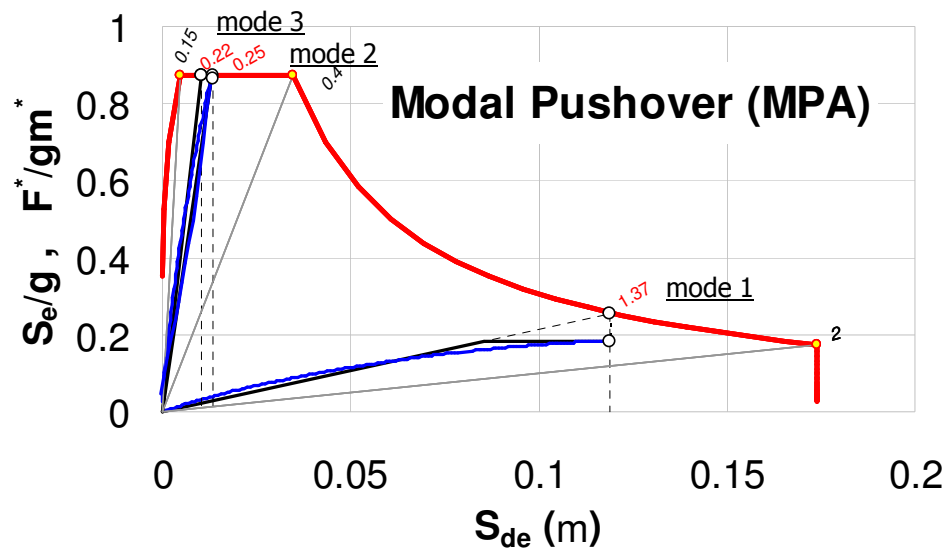
Periodi modali prima e dopo l'applicazione dei carichi gravitazionali: manca la scala

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%



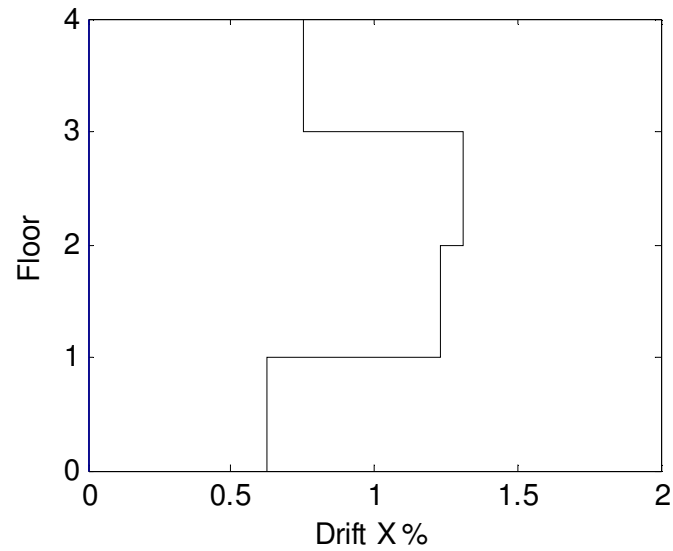
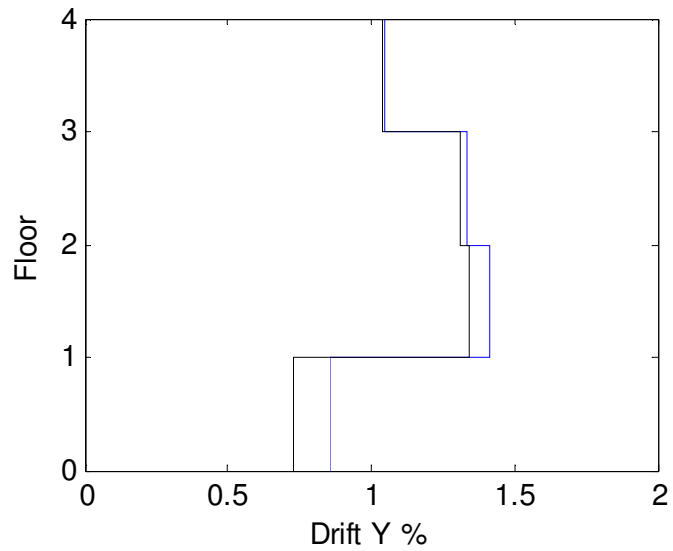
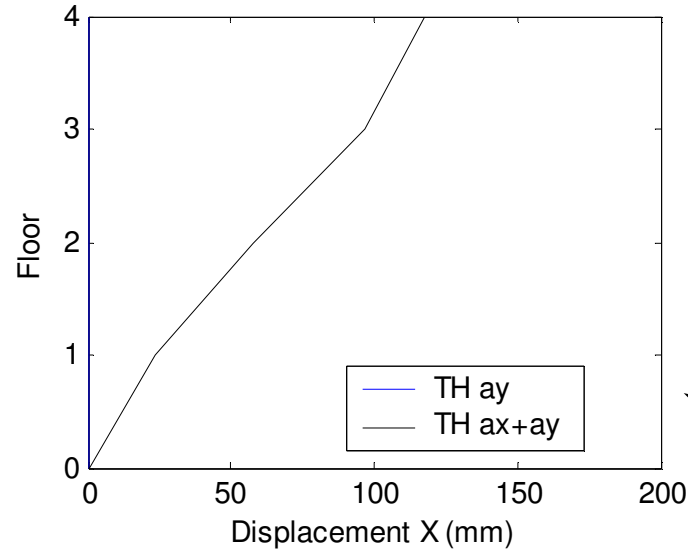
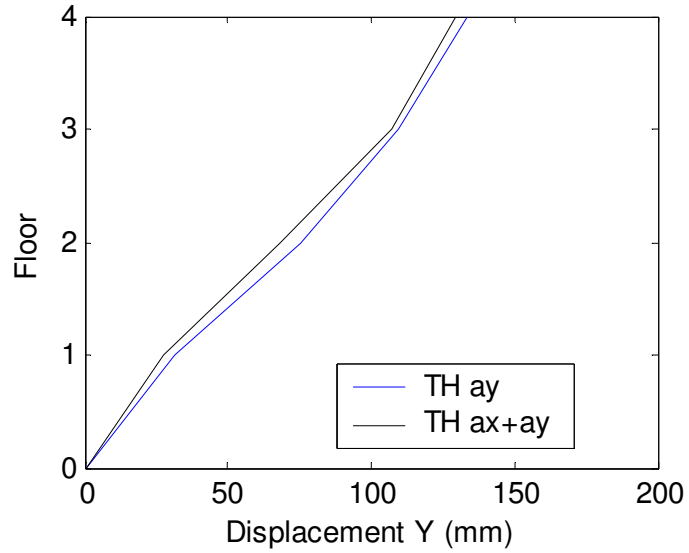
PUSHOVER E TIME HISTORY

Telaio senza tamponamenti



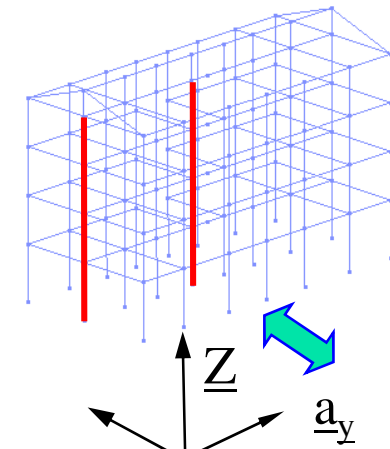
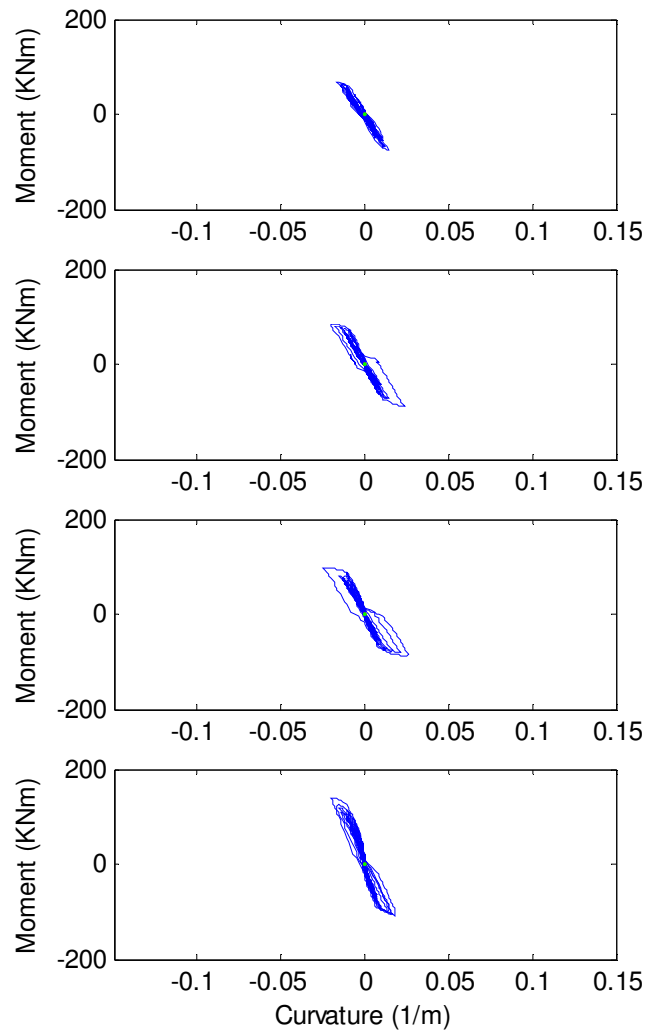
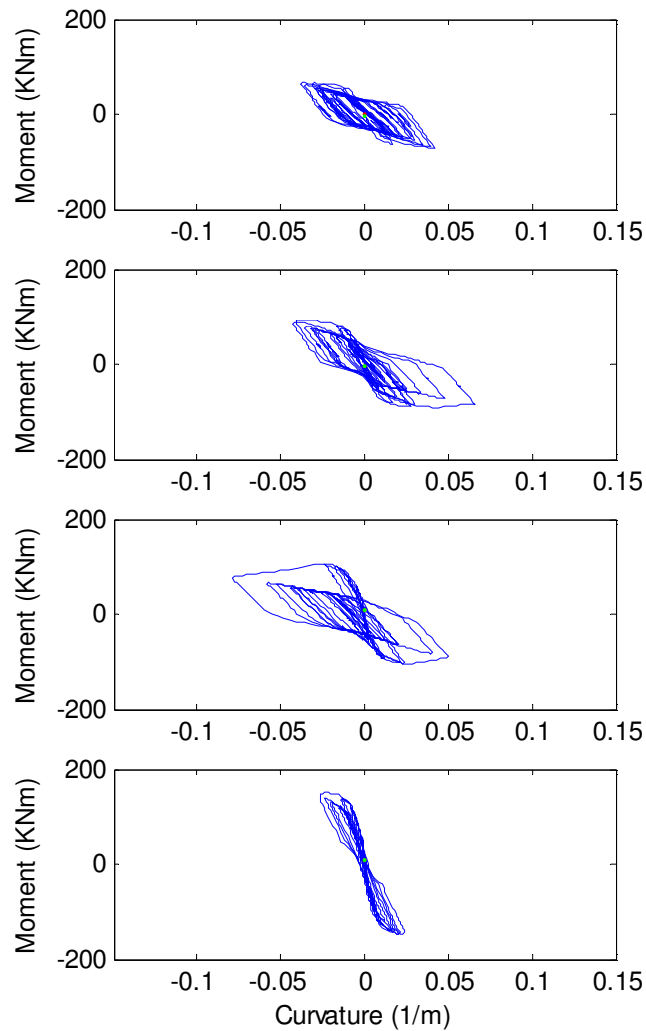
10 terremoti: valori medi risposta

TIME HISTORY 3D



TIME HISTORY 3D

$M_{z, ay}$

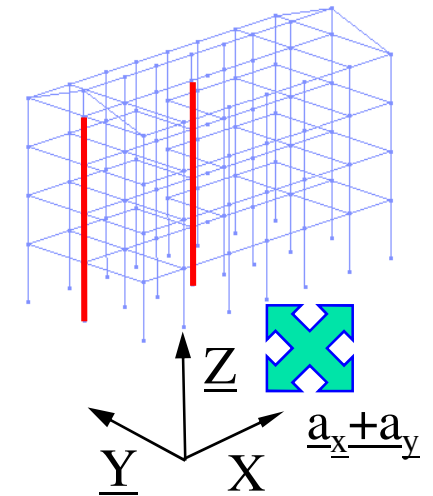
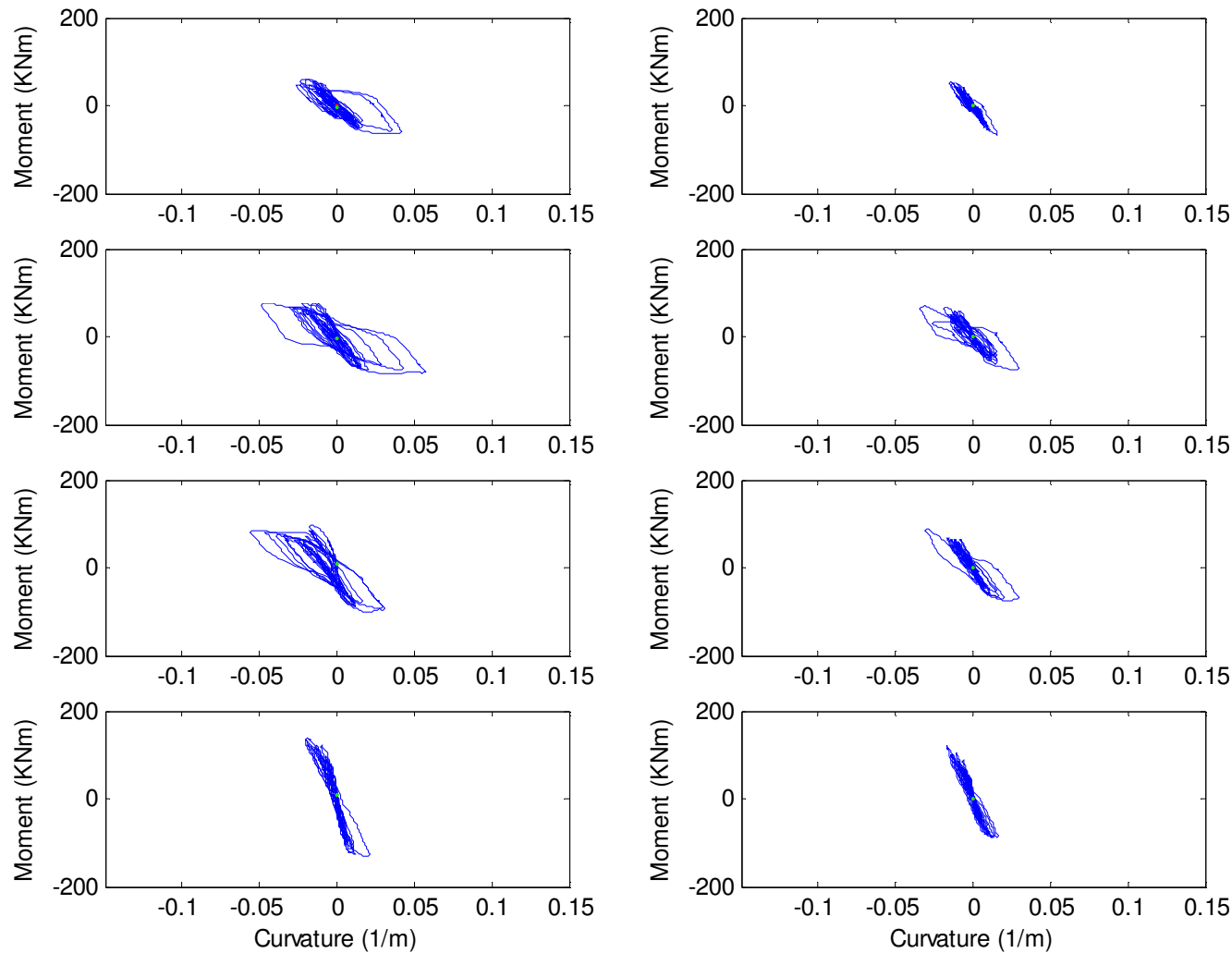


Columns
1008
1011



TIME HISTORY 3D

$$M_y, a_y+a_x$$



Columns

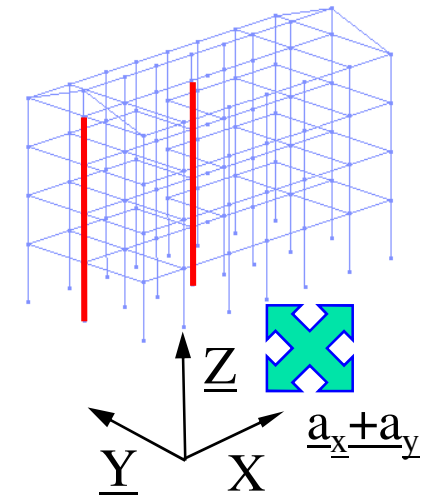
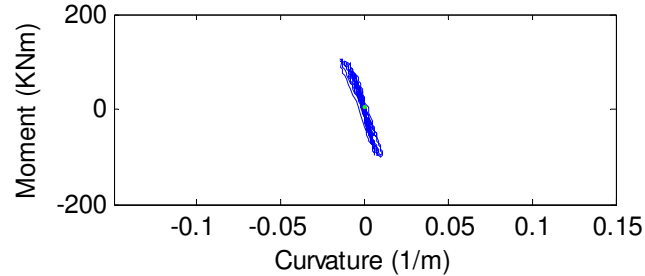
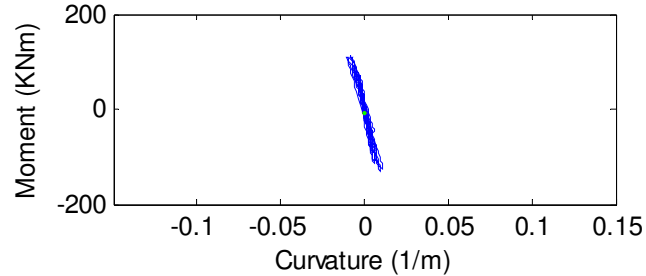
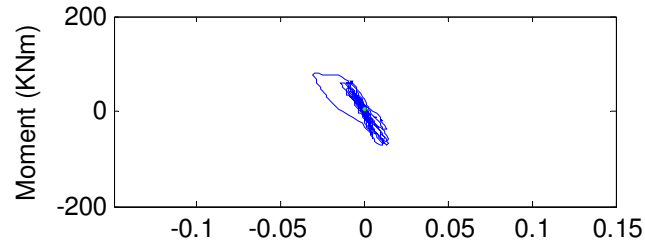
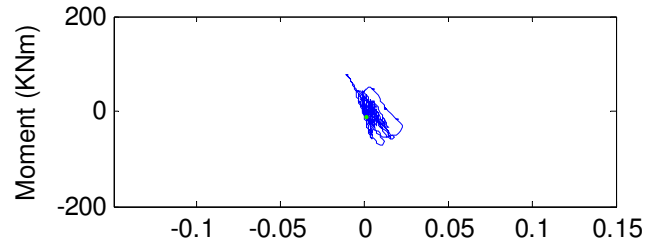
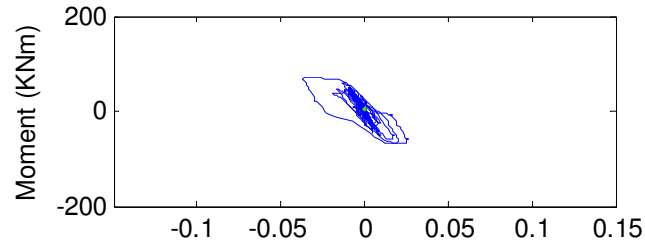
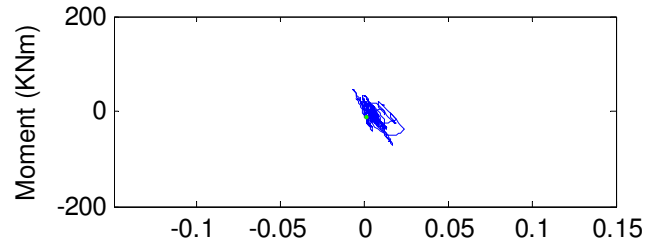
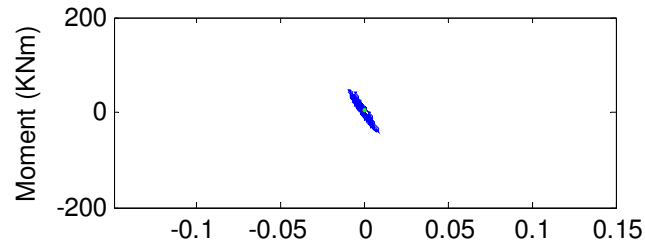
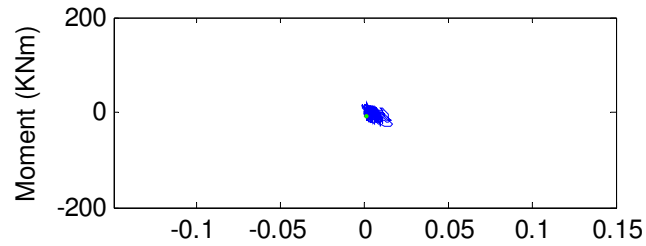
1008

1011



TIME HISTORY 3D

$$M_{x, ay+ax}$$



Columns

1008

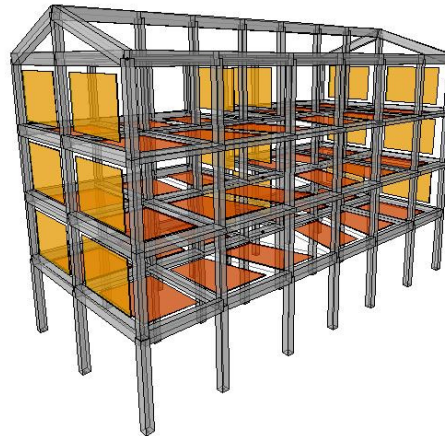
1011



BREAKDOWN DELLE COMPONENTI STRUTTURALI

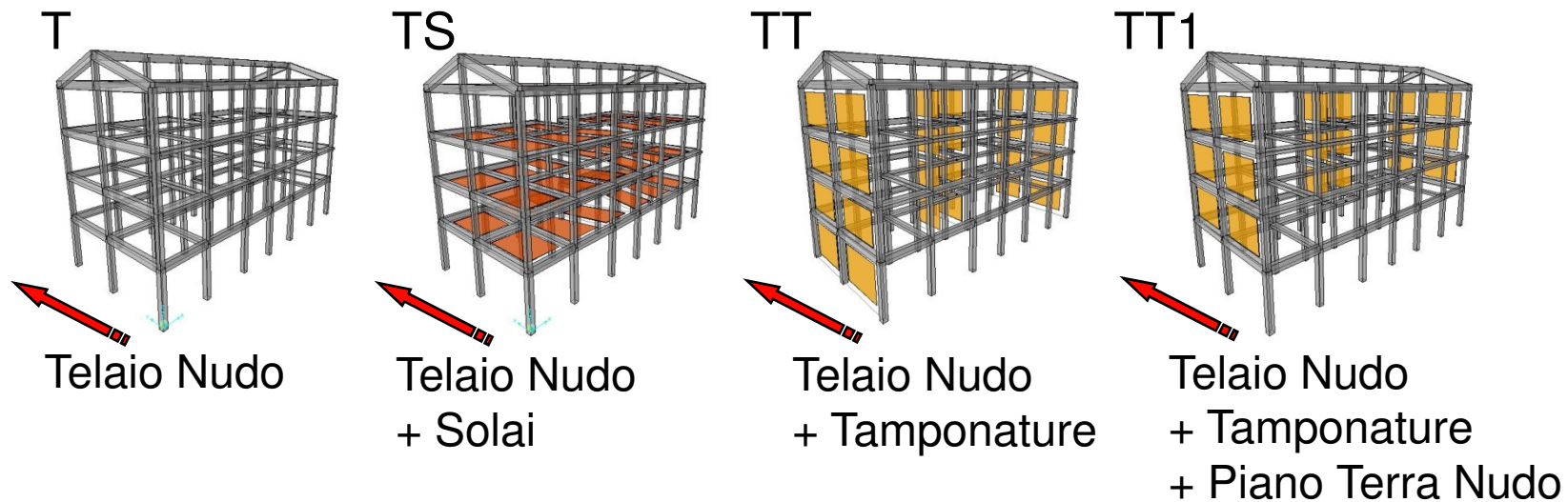
Edificio esistente
Modello a fibre
Direzione Y

Sistema strutturale completo



Breakdown delle componenti strutturali – singoli contributi

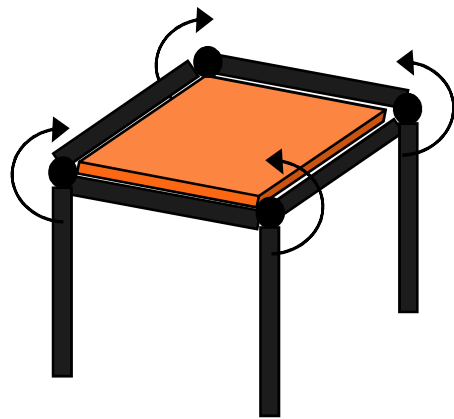
M. Faggella, E. Spacone, J.P. Conte, J. Restrepo 13ECEE, Ginevra 2006



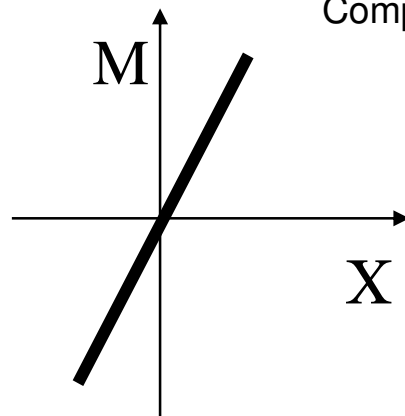
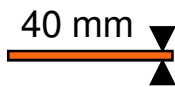
BREAKDOWN DELLE COMPONENTI STRUTTURALI

Edificio esistente
Modello a fibre
Direzione Y

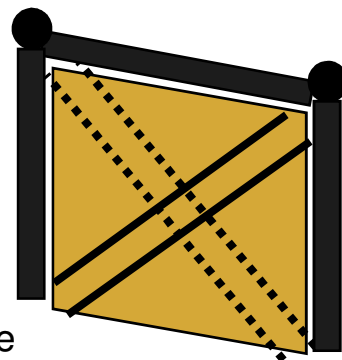
Modelli per le singole componenti



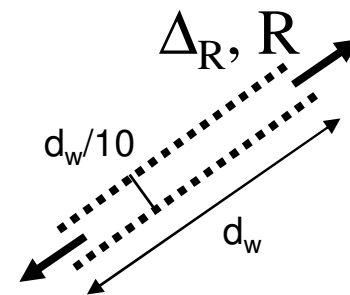
Shell Elastico



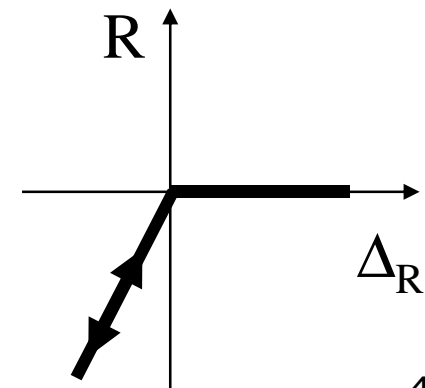
Campi di solaio:
Comportamento Lastra-Piastra



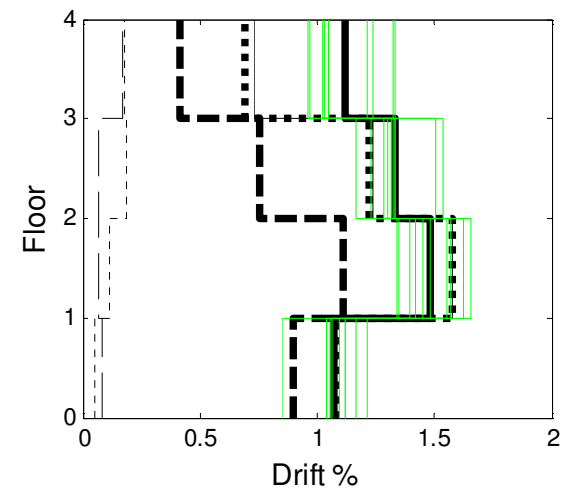
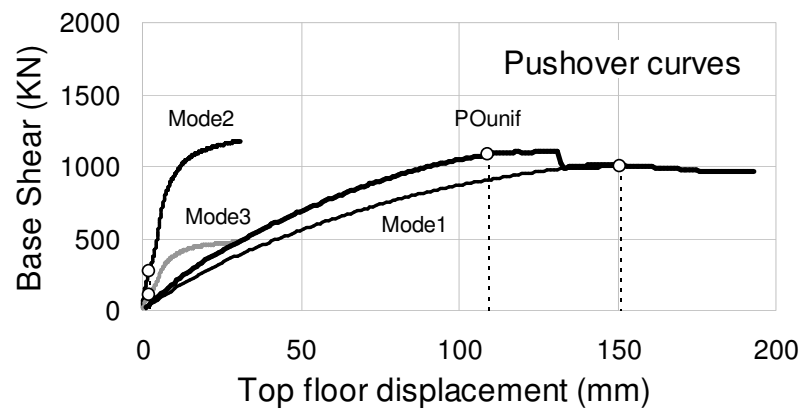
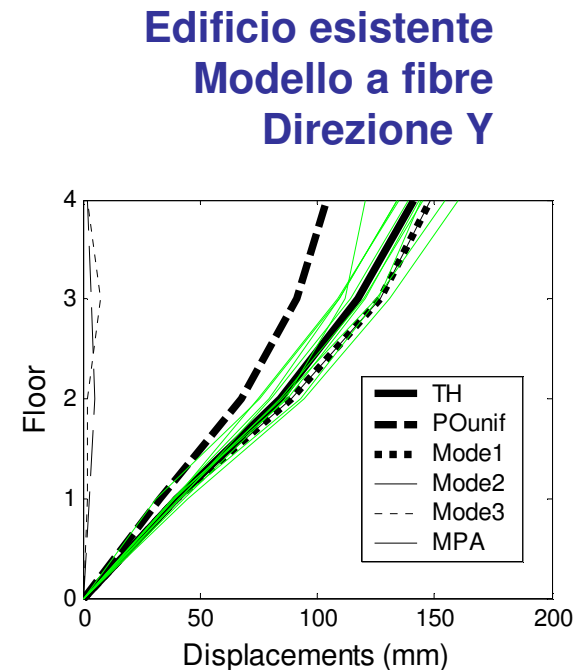
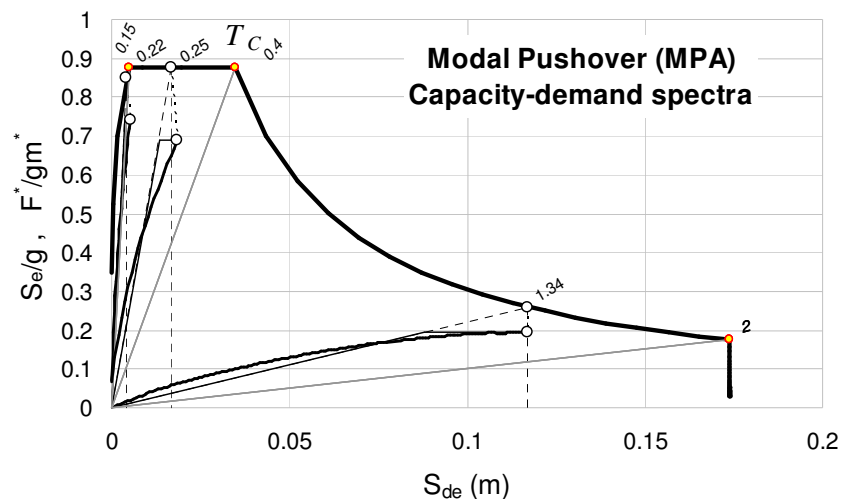
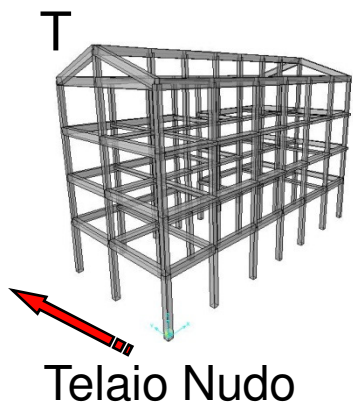
Tamponature:
Modello a Biella Equivalente



Elastico,
non reagente a trazione

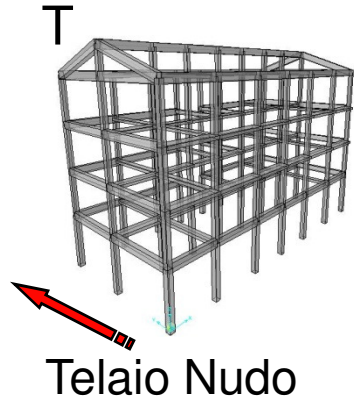


BREAKDOWN DELLE COMPONENTI STRUTTURALI – MODELLO T



BREAKDOWN DELLE COMPONENTI STRUTTURALI – MODELLO T

Edificio esistente
Modello a fibre
Direzione Y

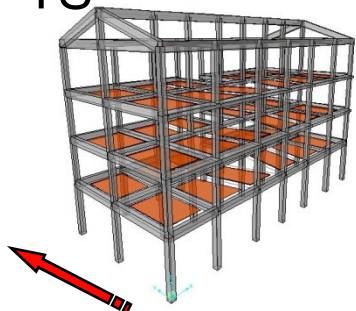


Risultati dei diversi metodi di analisi nonlineare (TH, PO, MPA):

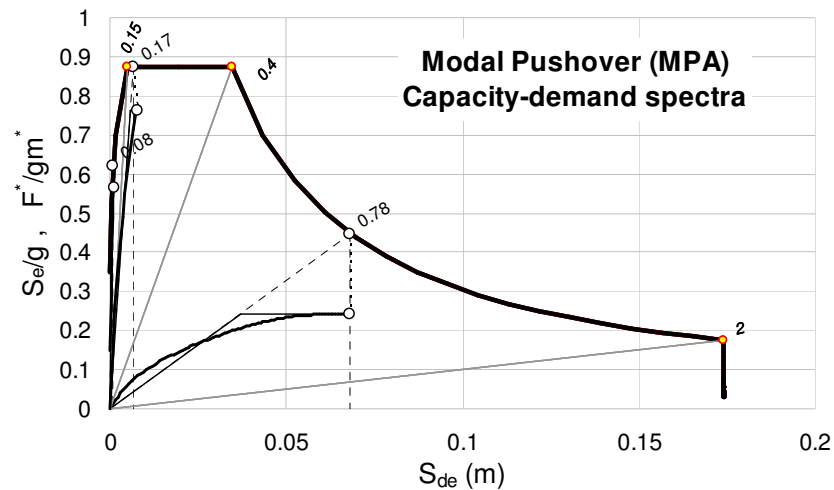
- Alta flessibilità della struttura in esame.
- PO Modo1 e media TH in accordo sugli spostamenti massimi.
- PO Modo1 e media TH in disaccordo sui max drift (specie ai piani alti).
- MPA con combinazione SRSS non migliora la corrispondenza con la media TH.
- Il grado di nonlinearietà della risposta determina 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

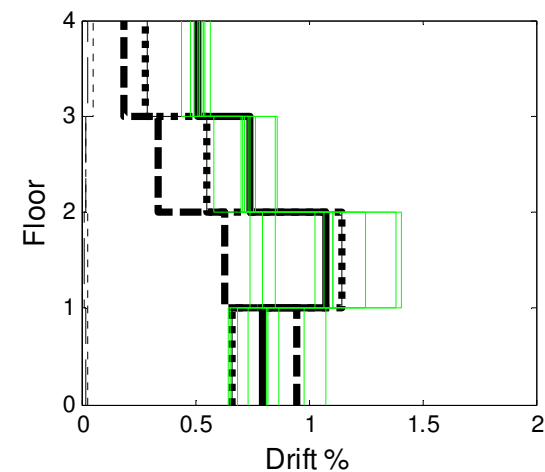
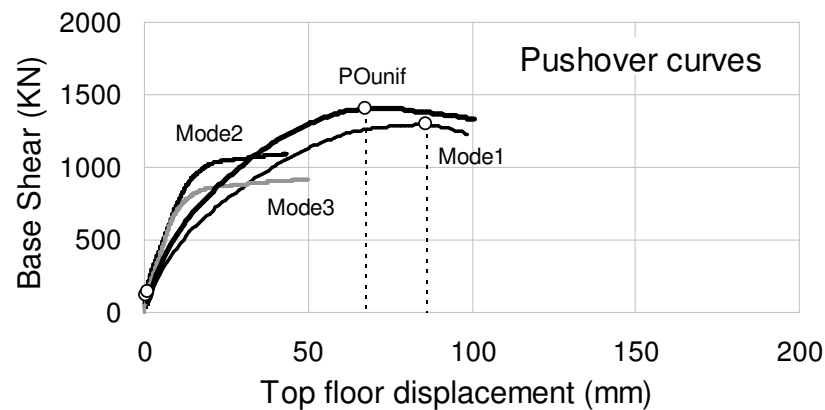
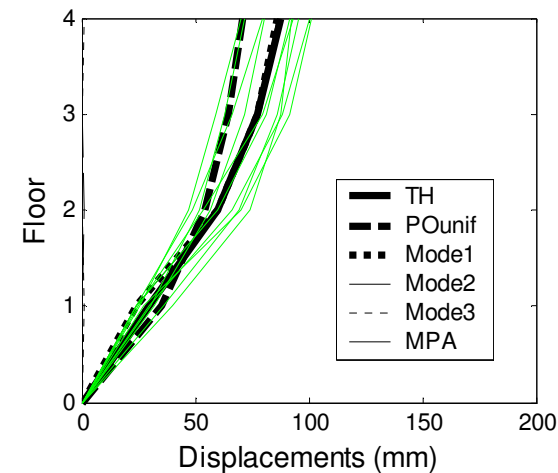
TS



Telaio Nudo + Solai

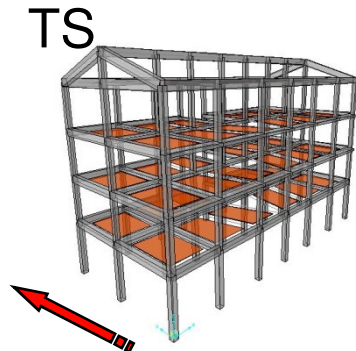


Edificio esistente
Modello a fibre
Direzione Y



BREAKDOWN DELLE COMPONENTI STRUTTURALI – MODELLO TS

Edificio esistente
Modello a fibre
Direzione Y

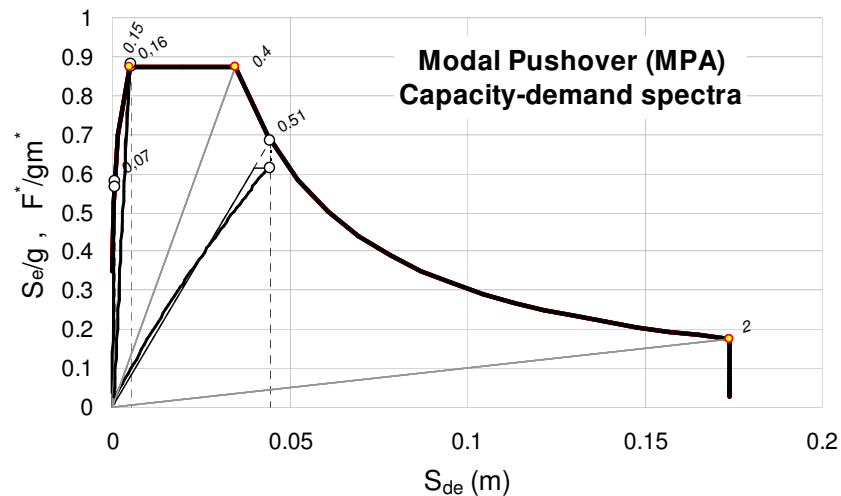
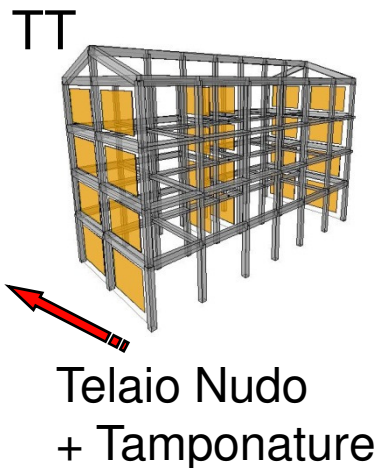


Telaio Nudo
+ Solai

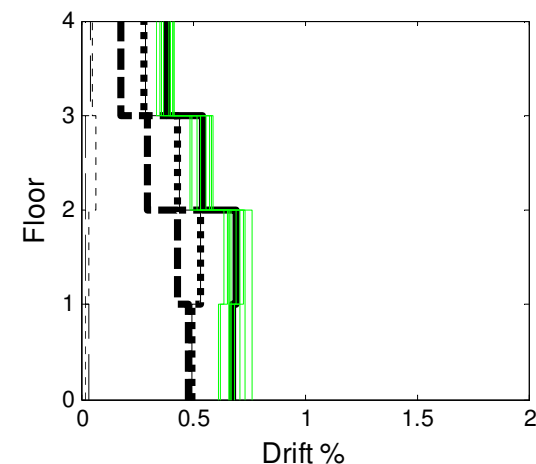
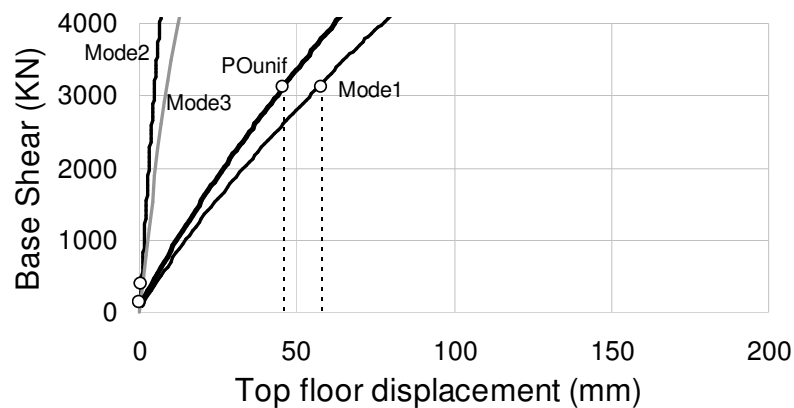
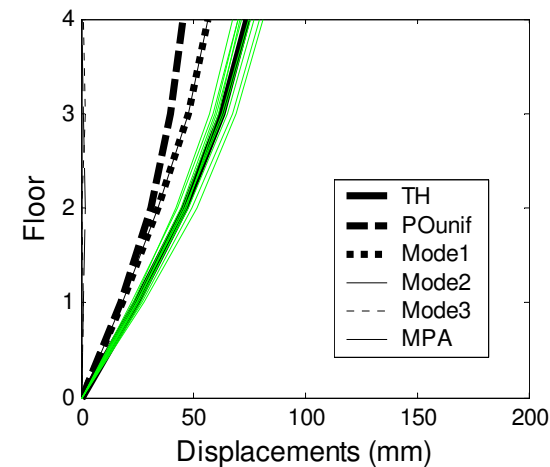
Risultati dei diversi metodi di analisi nonlineare (TH, PO, MPA):

- L'aggiunta della rigidezza flessionale dei solai riduce spostamenti complessivi e drift
- La maggiore rigidezza iniziale ottenuta sembra produrre un comportamento generalmente più 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 nonlinearietà della risposta determina dispersione dei risultati delle singole TH.

BREAKDOWN DELLE COMPONENTI STRUTTURALI – MODELLO TT



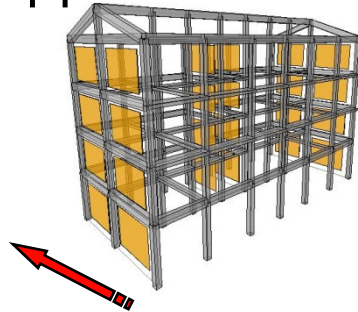
Edificio esistente
Modello a fibre
Direzione Y



BREAKDOWN DELLE COMPONENTI STRUTTURALI – MODELLO TT

Edificio esistente
Modello a fibre
Direzione Y

TT



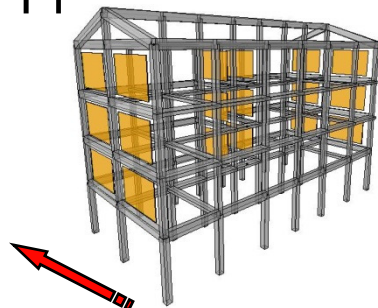
Telaio Nudo
+ Tamponature

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

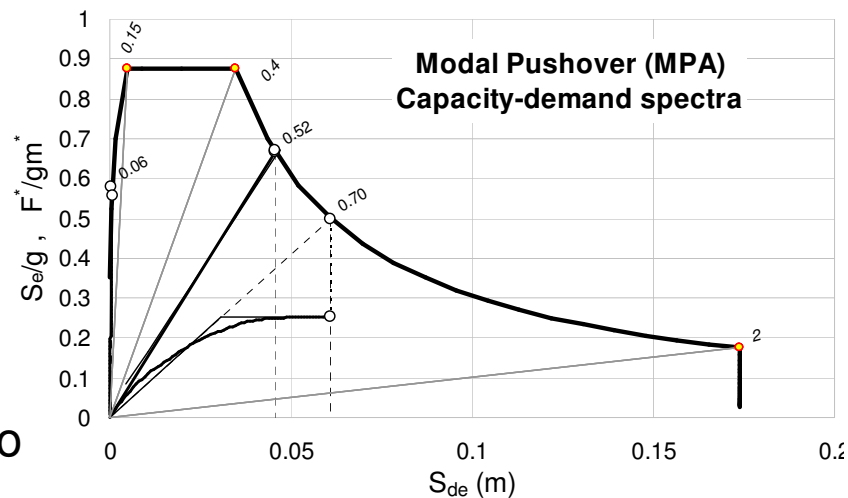
- Tamponature elastiche: elevato abbattimento della risposta in spostamenti e drift.
- Bassa partecipazione modi superiori → TH e PO dovrebbero coincidere, ... ma ...
- ... questa struttura resta elastica, andrebbe usato il 5% anche nella TH (come per il PO).
- La risposta resta abbastanza in campo lineare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

BREAKDOWN DELLE COMPONENTI STRUTTURALI – MODELLO TT1

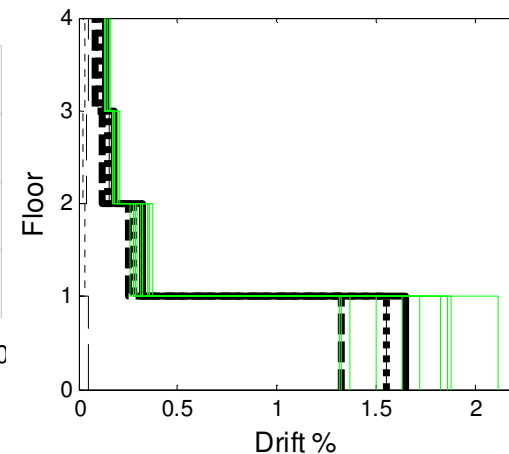
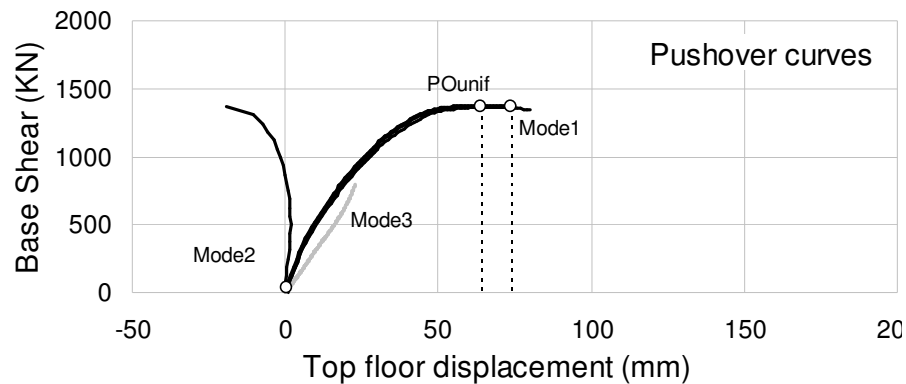
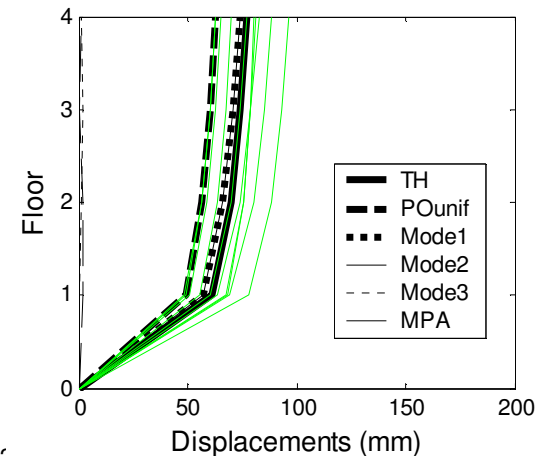
TT1



Telaio Nudo
+ Tamponature
+ Piano Terra Nudo



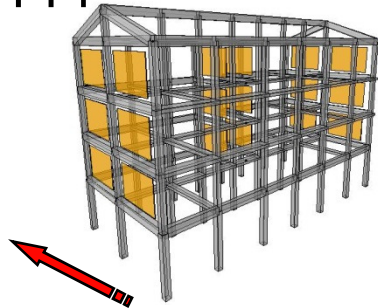
Edificio esistente
Modello a fibre
Direzione Y



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

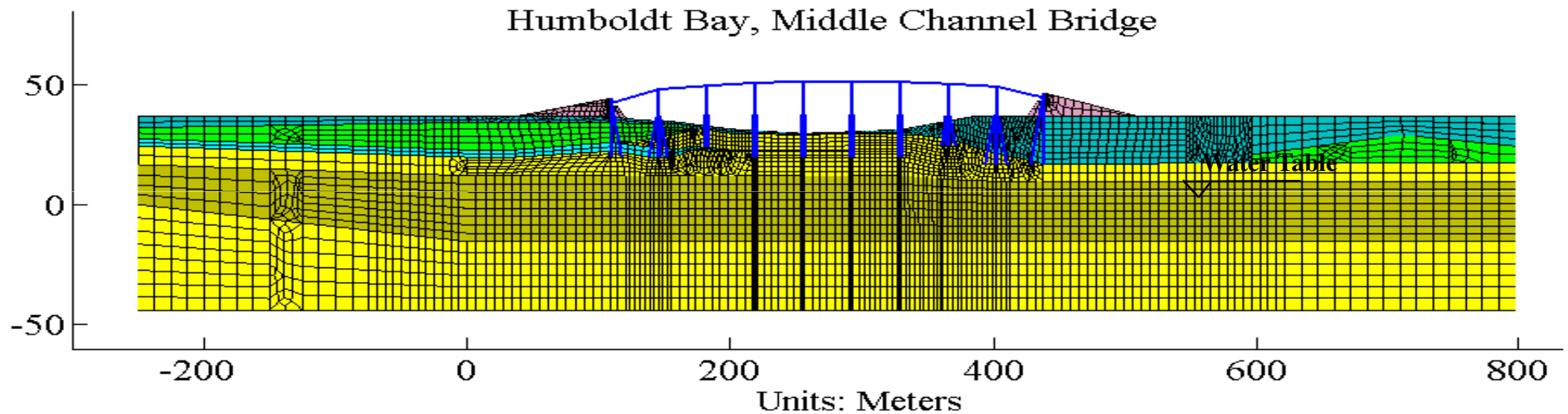
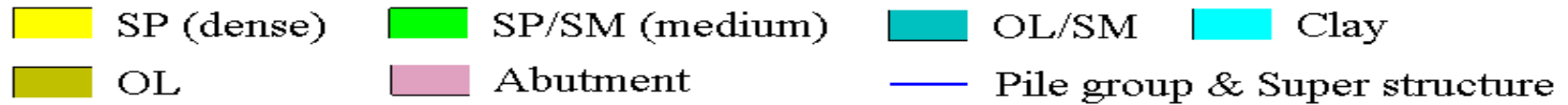
➤ **INSERIRE QUI LAVORO NICOLA**

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

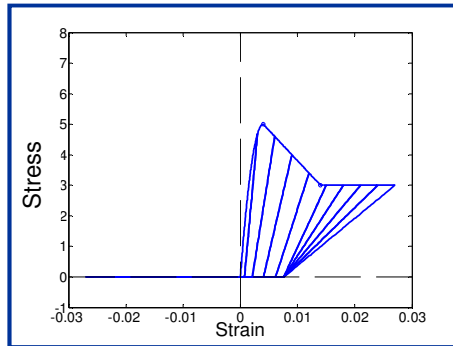




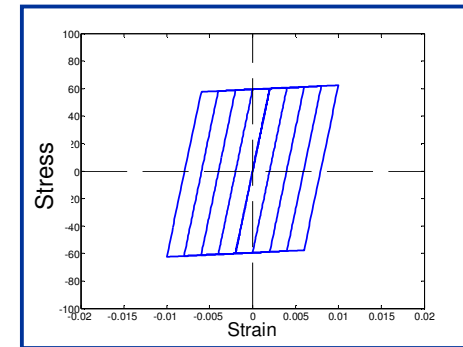


HUMBOLDT BAY BRIDGE

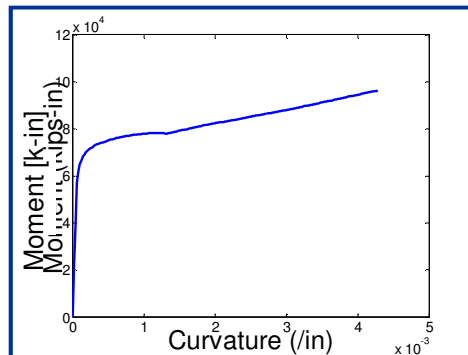
Pila: sezione a fibre



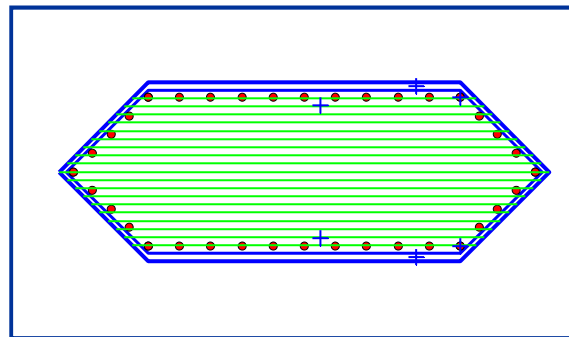
Concrete: Kent-Scott-Park Model



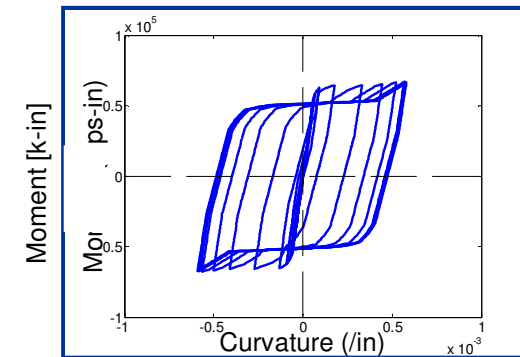
Steel: Bilinear Model



Monotonic Pushover (Single Column on Fixed Base)



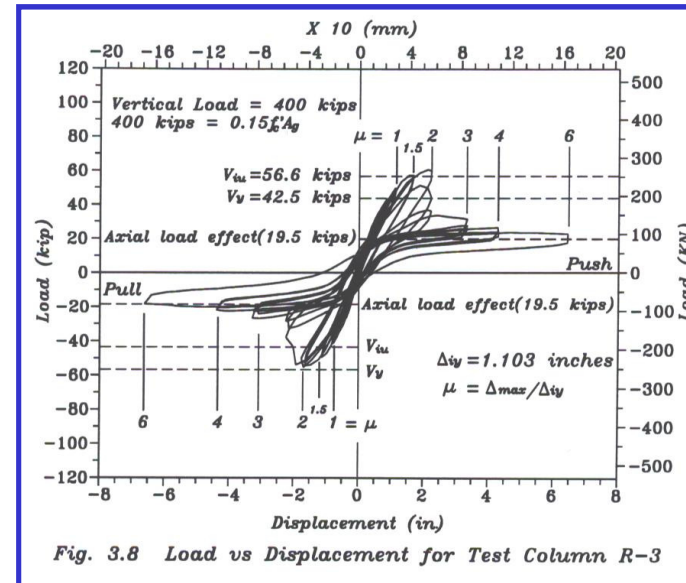
Fiber Discretization of Column Cross-section



Cyclic Pushover (Single Column on Fixed Base)

HUMBOLDT BAY BRIDGE

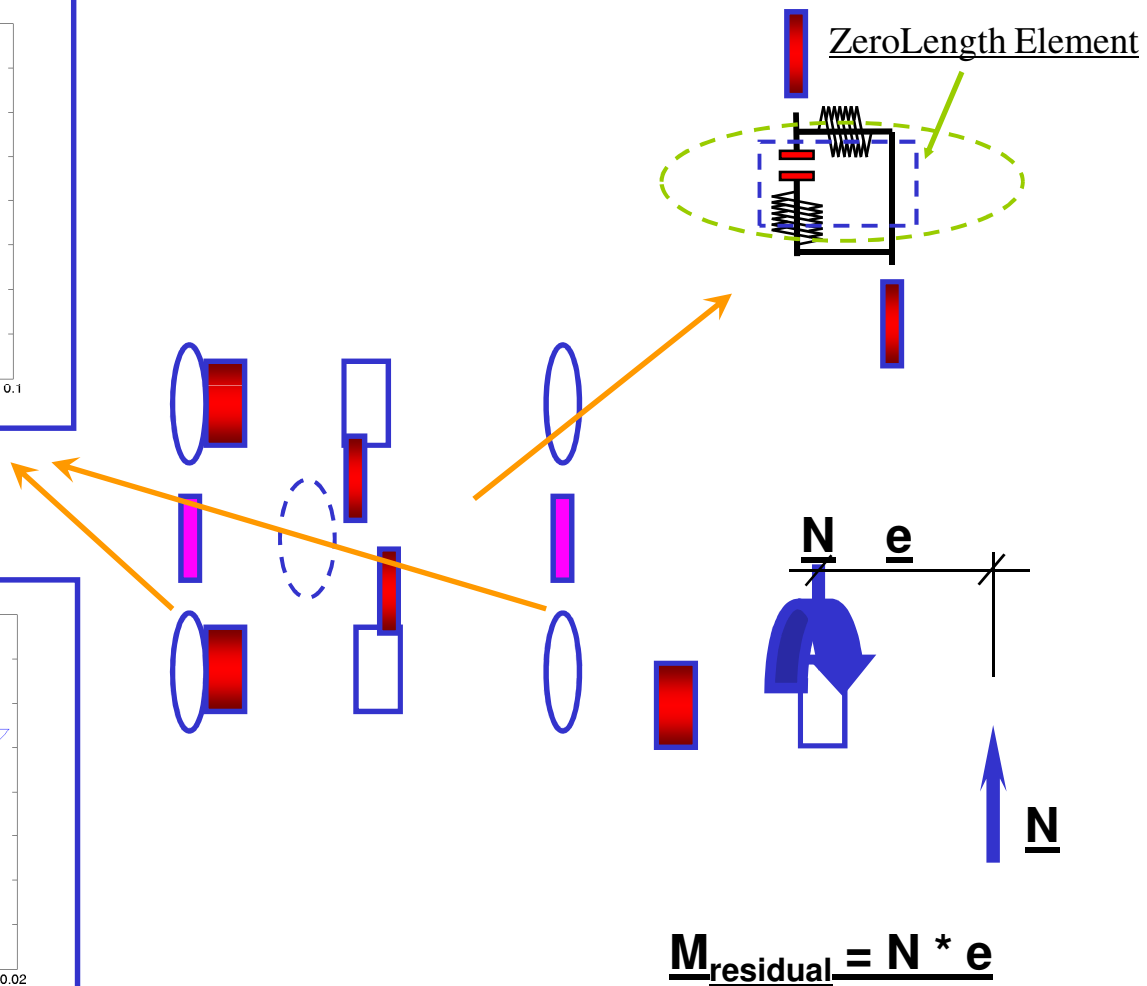
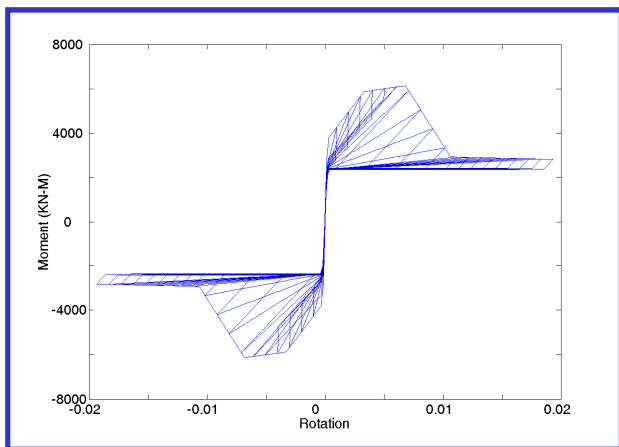
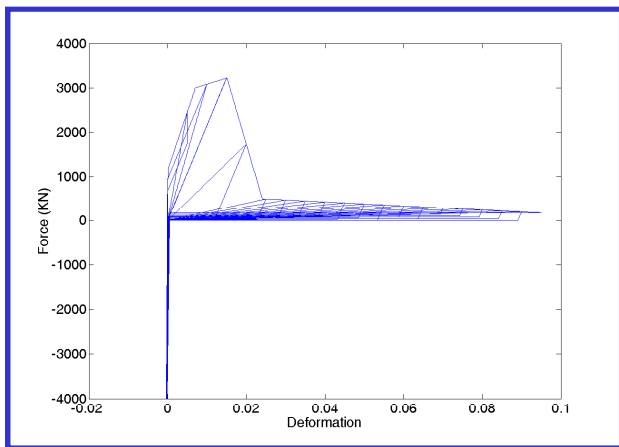
Pila: modello sezione con ripresa ferri



Professor Priestley, UCSD 1991

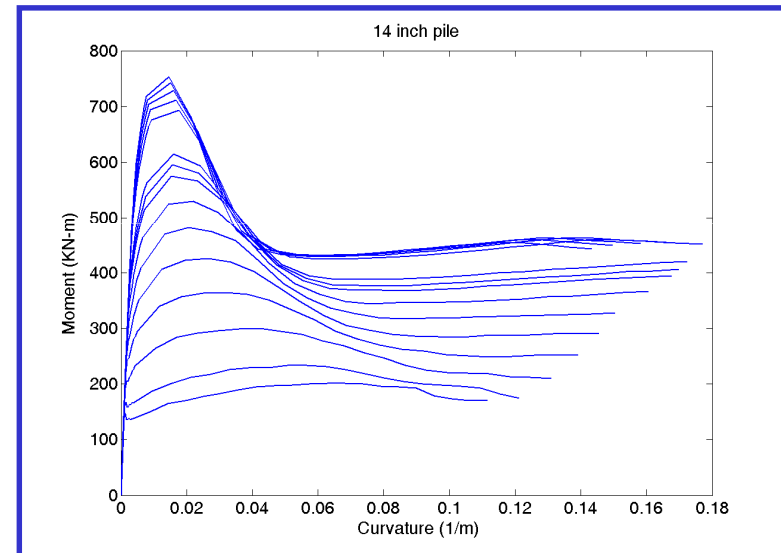
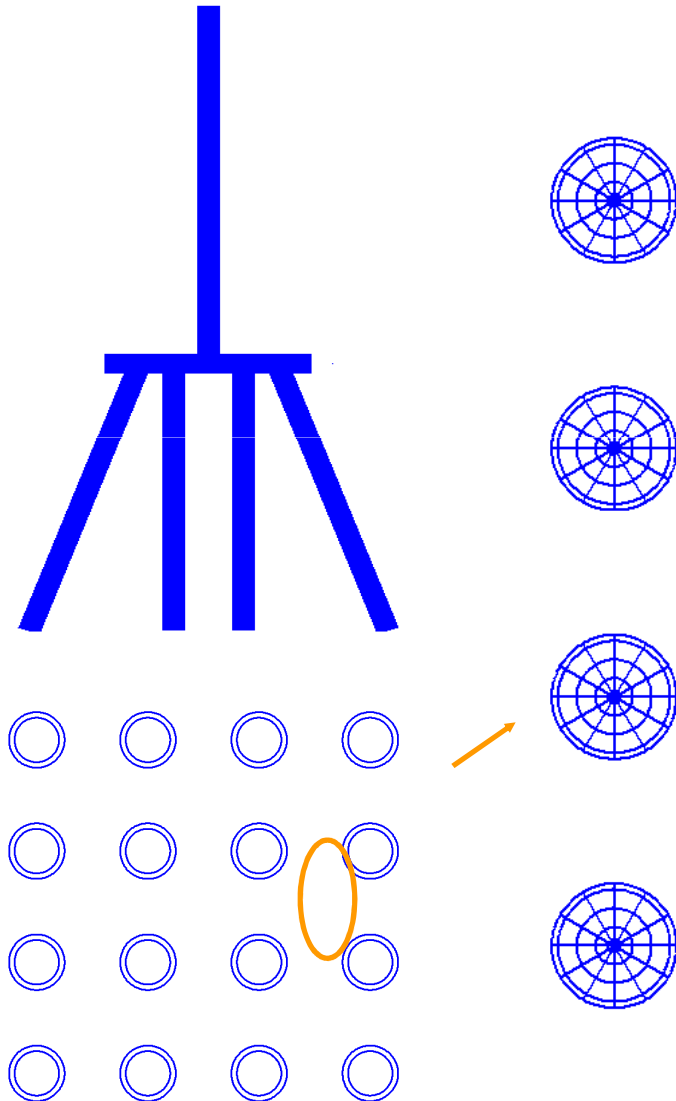
HUMBOLDT BAY BRIDGE

Pila: modello sezione con ripresa ferri



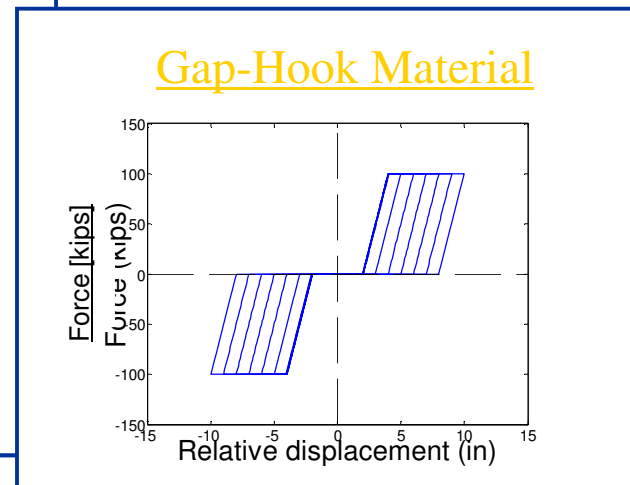
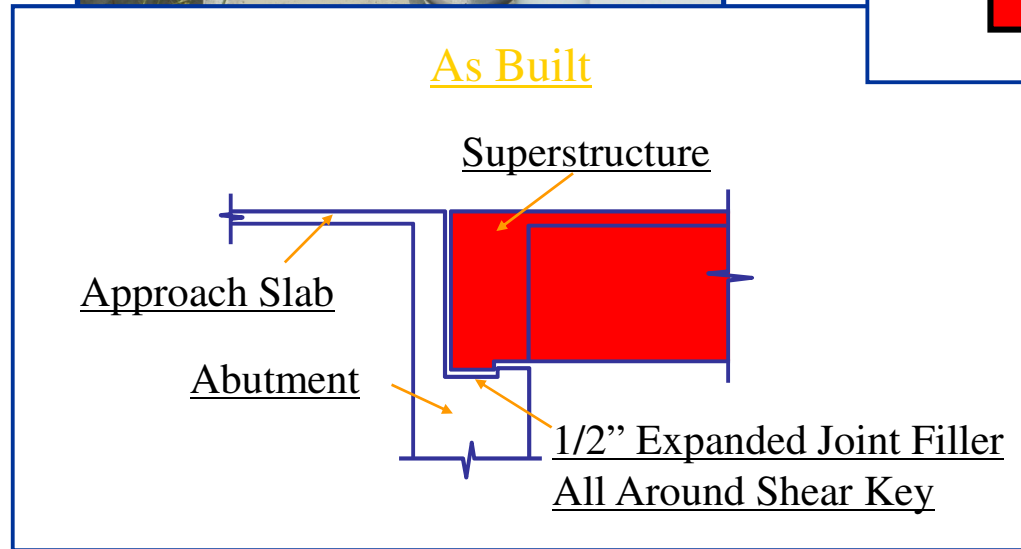
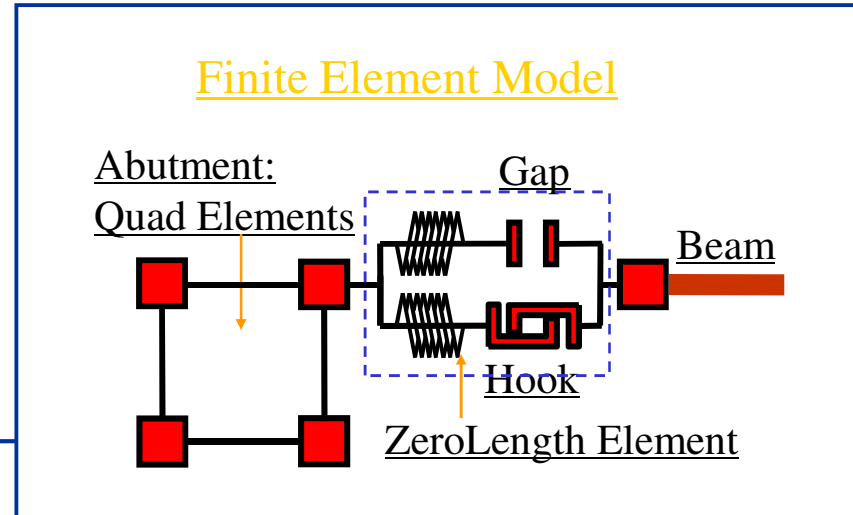
HUMBOLDT BAY BRIDGE

Fondazioni a pali



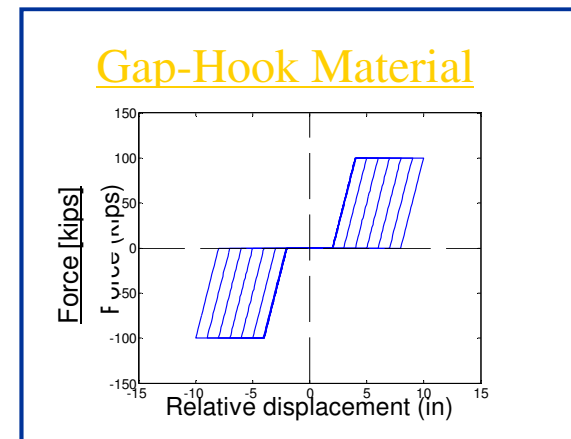
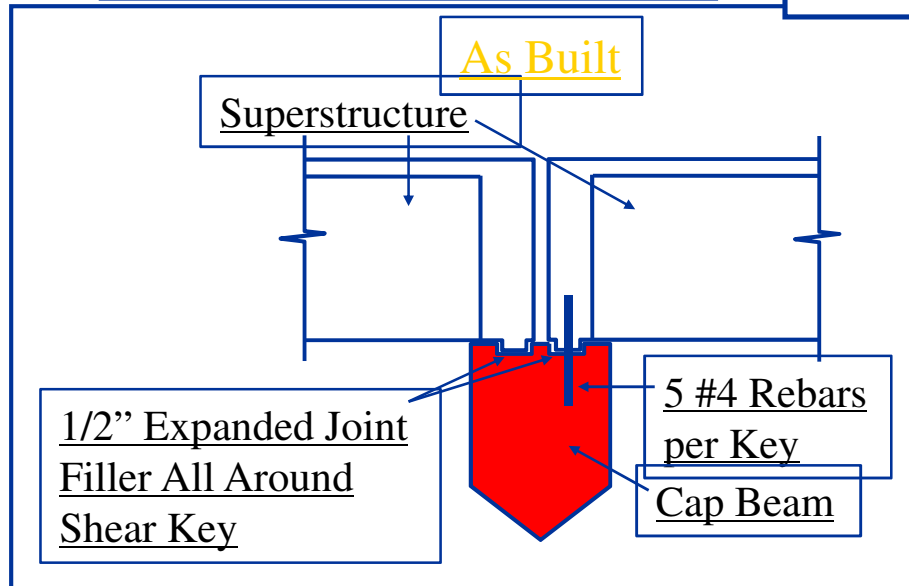
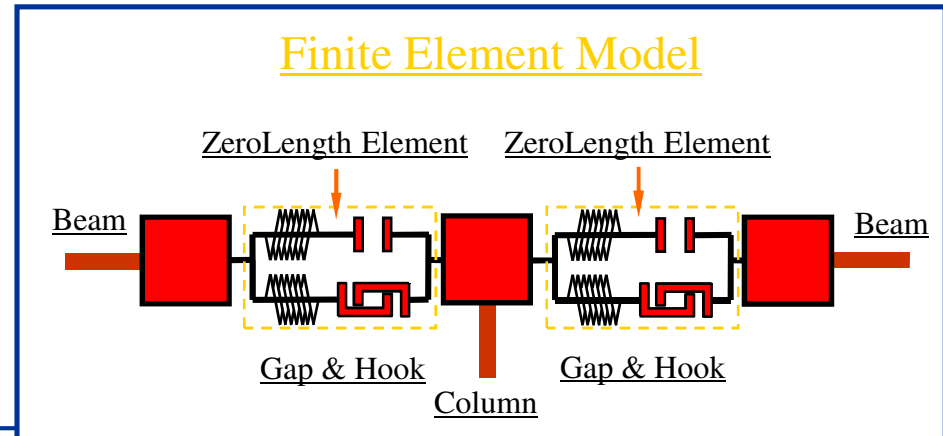
HUMBOLDT BAY BRIDGE

Spalle: Giunto di espansione



HUMBOLDT BAY BRIDGE

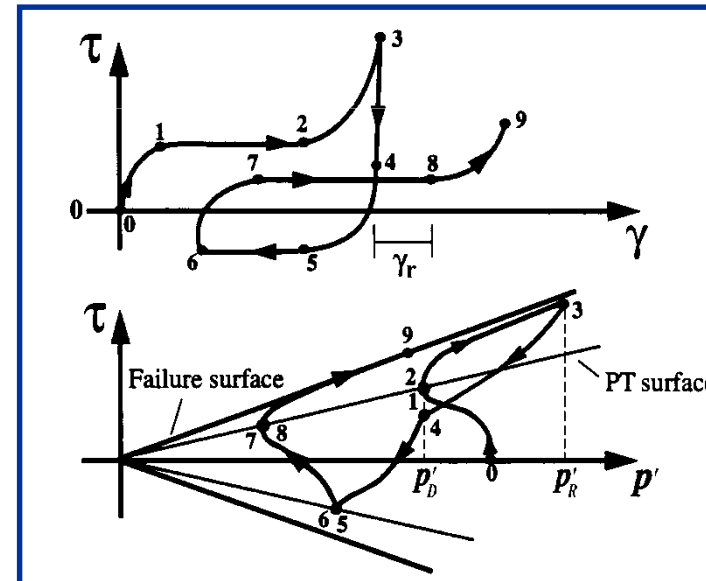
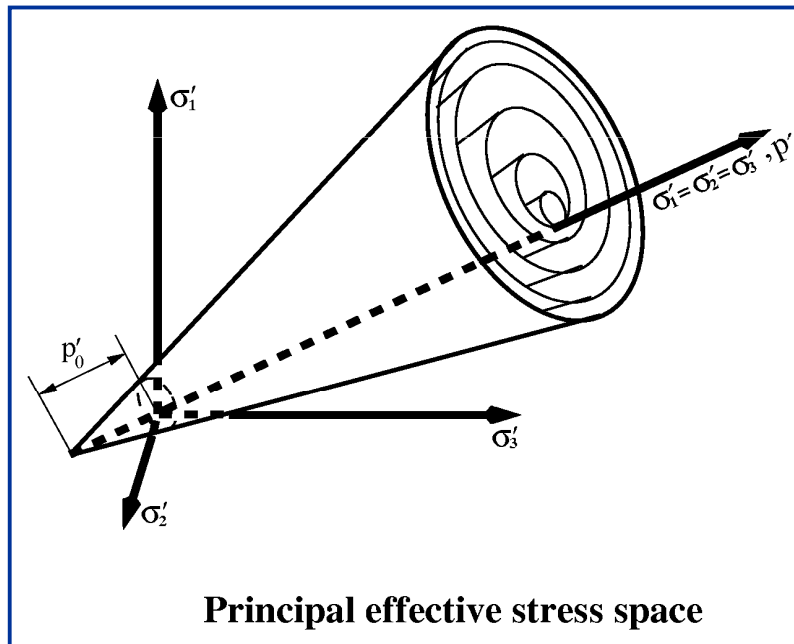
Testa pila: Giunto di espansione



HUMBOLDT BAY BRIDGE

Modelli suolo 1

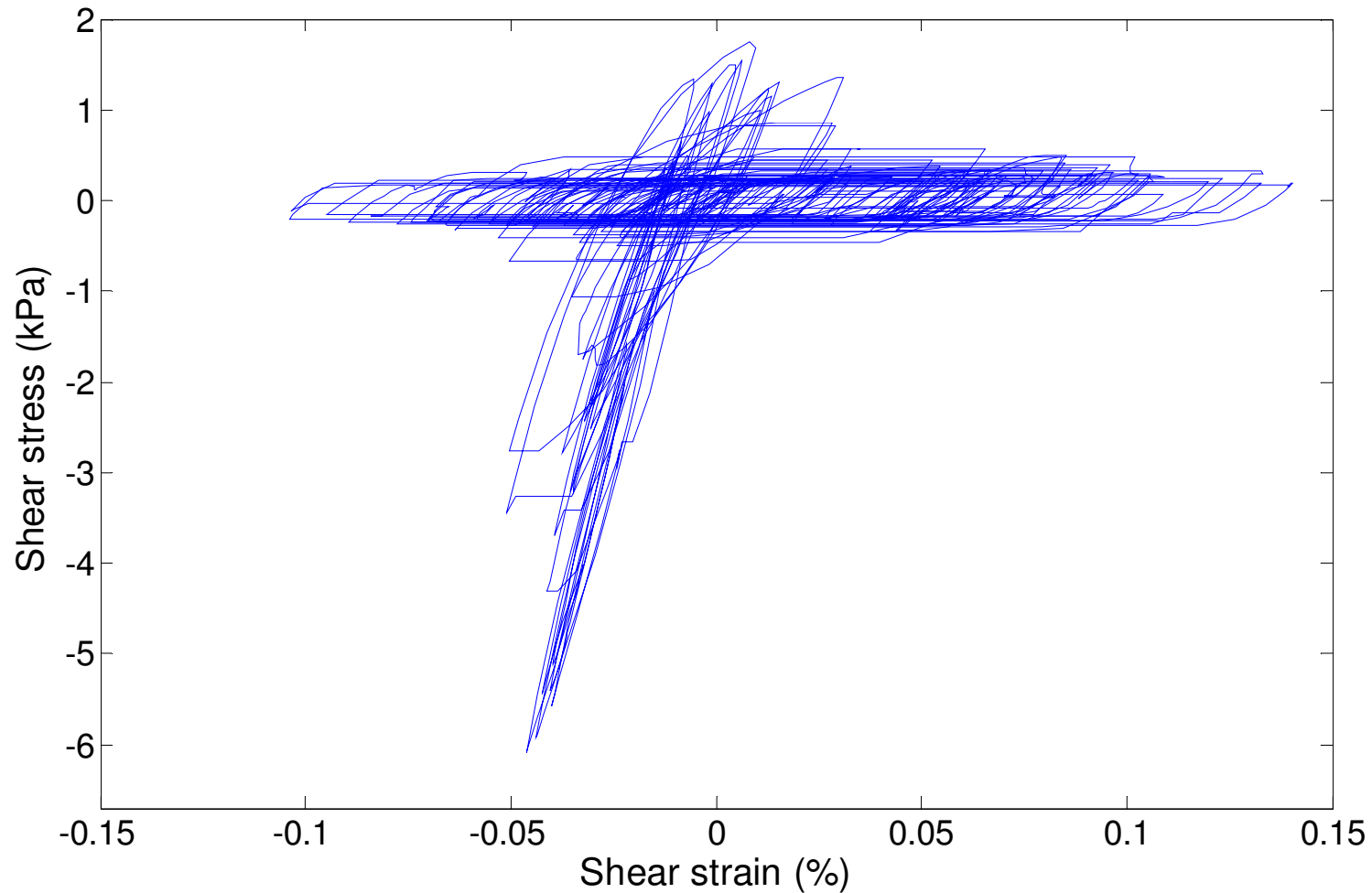
Soil: pressure-dependent, multi-surface, non-associative plasticity model (for gravel, sand, and silt), incorporating liquefaction effects



HUMBOLDT BAY BRIDGE

Modelli suolo 1

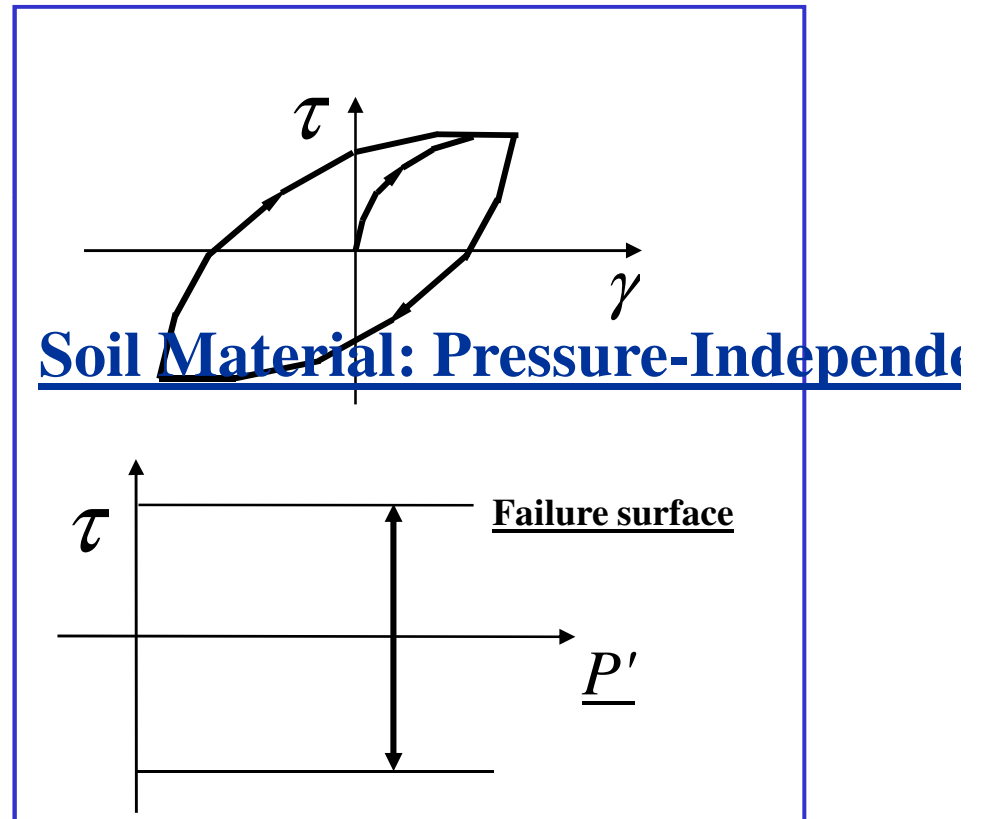
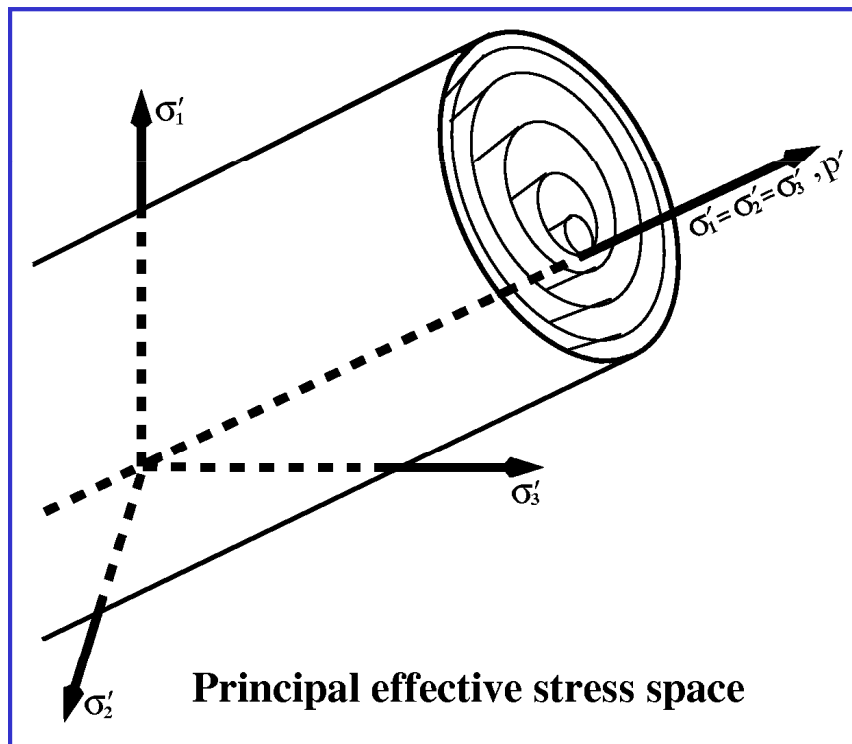
Sample Undrained Sand Response (medium dense)



HUMBOLDT BAY BRIDGE

Modelli suolo 2

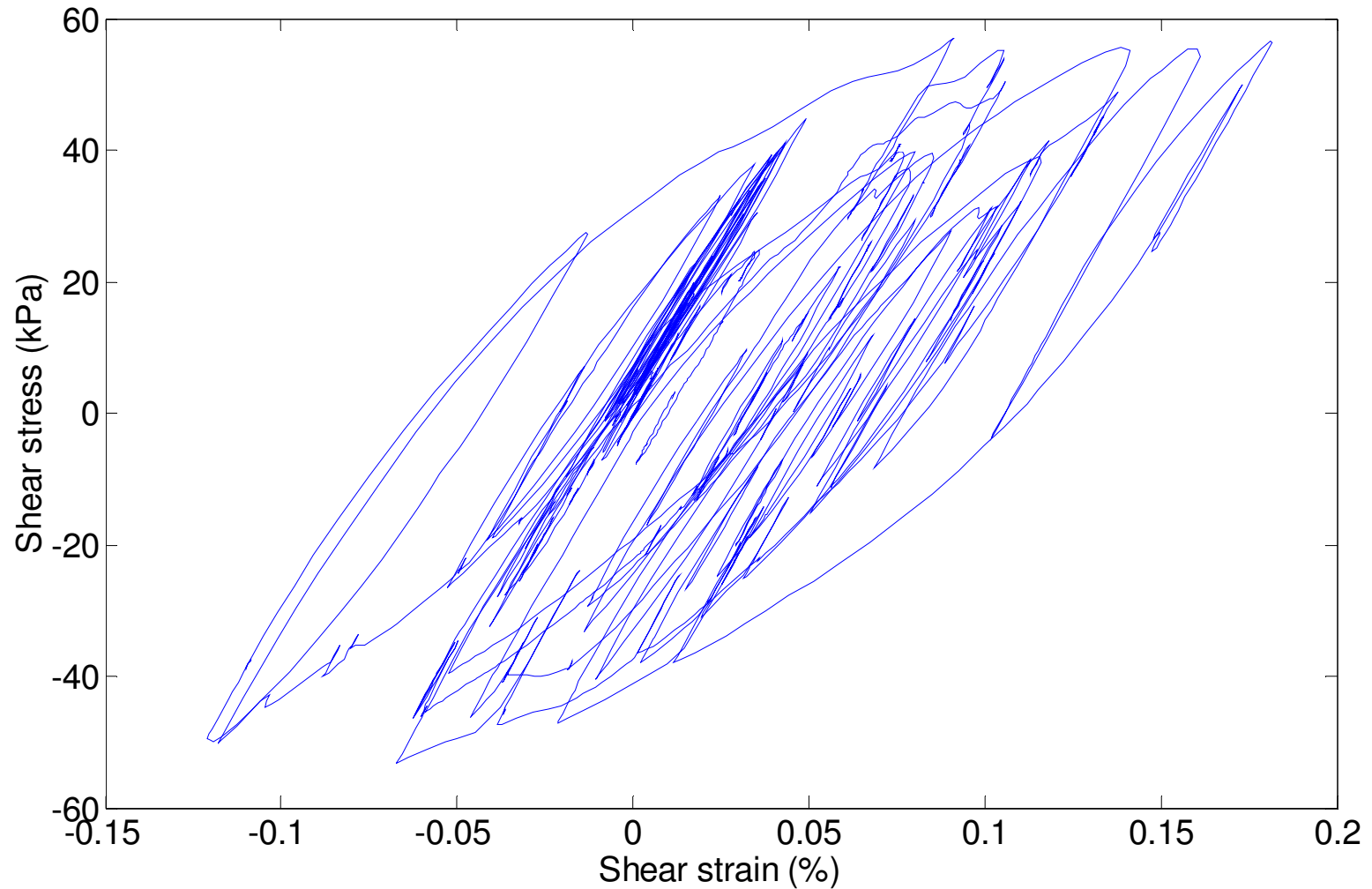
Soil Material: Pressure-Independent Model
multi-surface, associative plasticity model (for clay and silt)



HUMBOLDT BAY BRIDGE

Modelli suolo 2

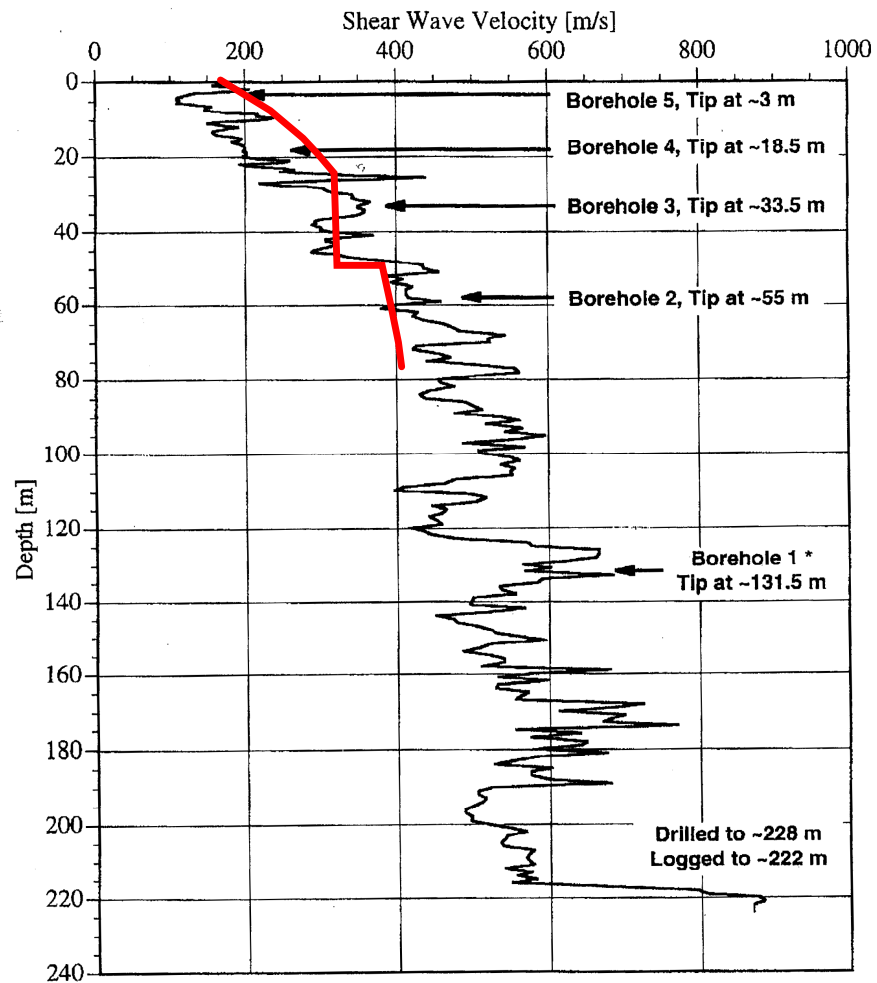
Sample Clay Response



HUMBOLDT BAY BRIDGE

Dati terreno

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



HUMBOLDT BAY BRIDGE

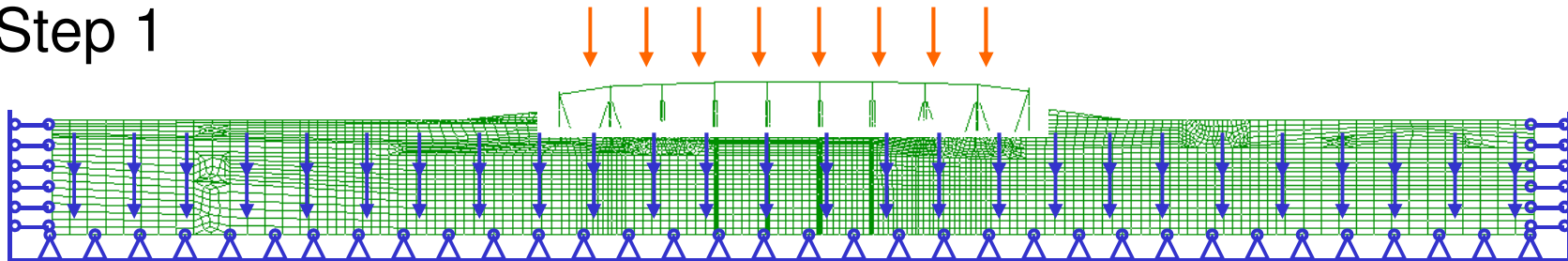
Dati terreno

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

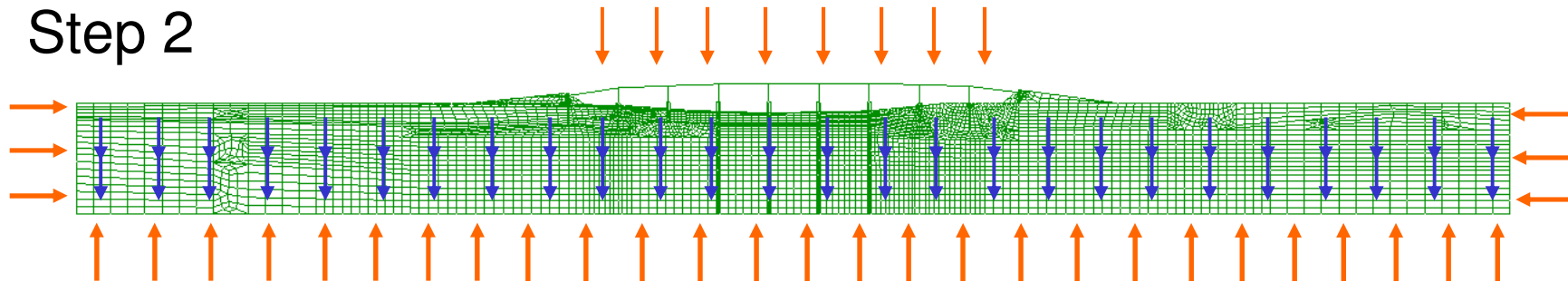
HUMBOLDT BAY BRIDGE

Passi analisi

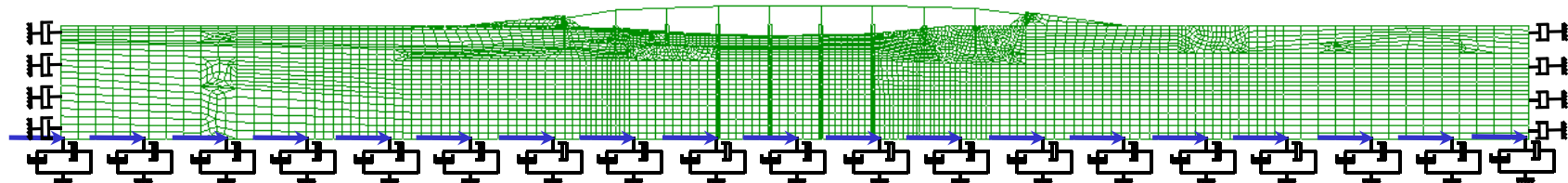
Step 1



Step 2



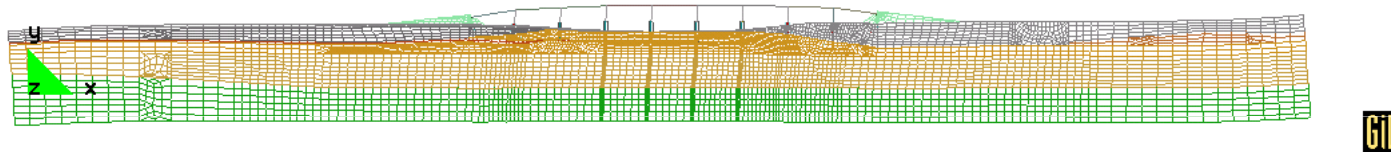
Step 3



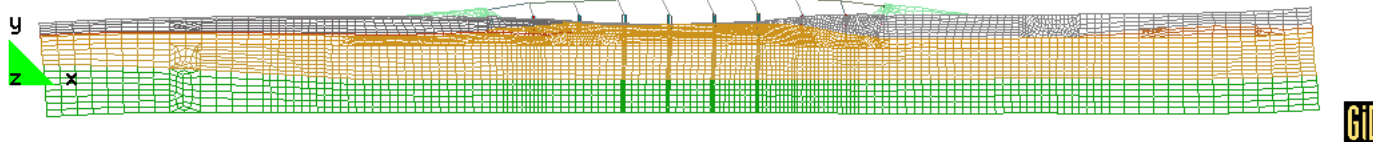
HUMBOLDT BAY BRIDGE

Modi

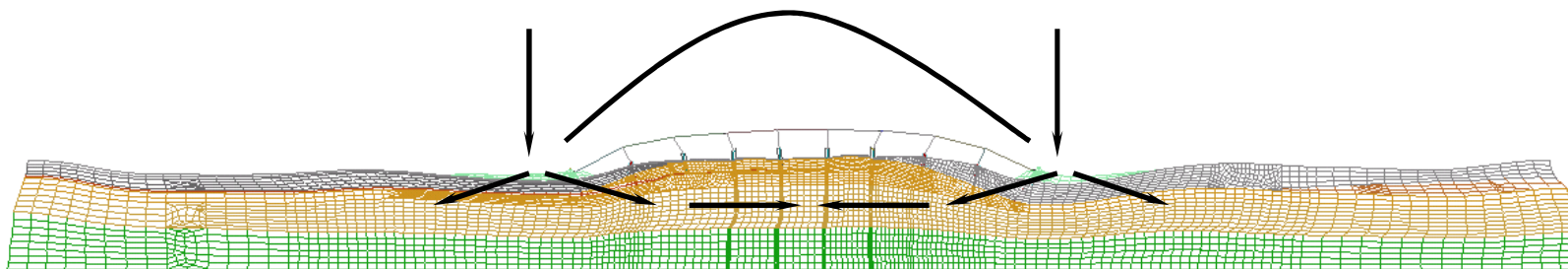
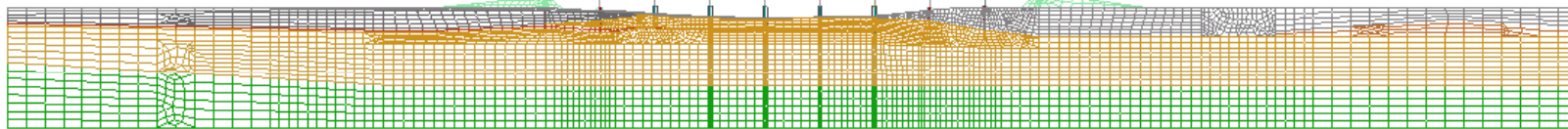
Mode 1 ($T_1 = 1.25$ sec): Bridge structure in phase with soil media



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

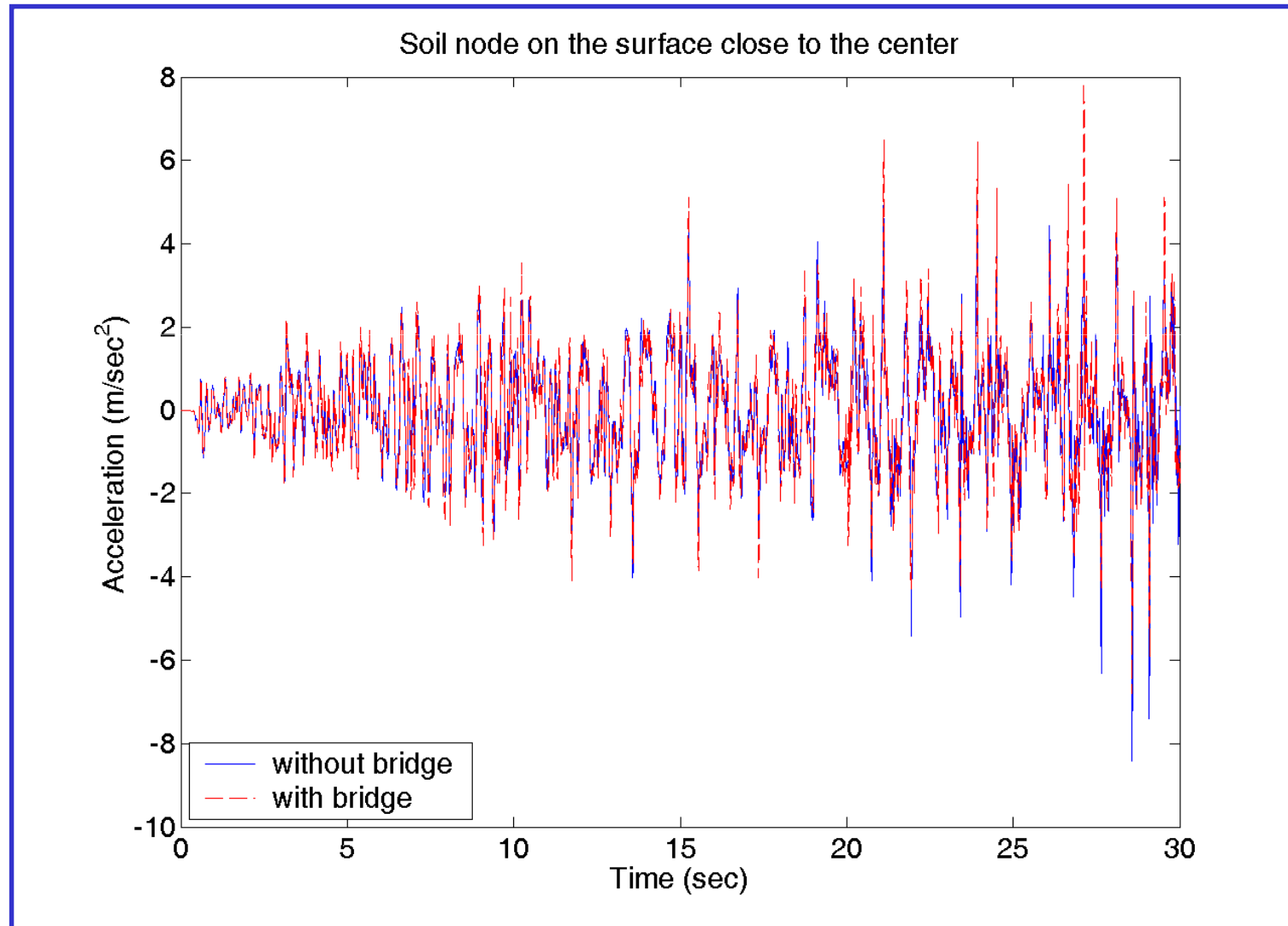


HUMBOLDT BAY BRIDGE



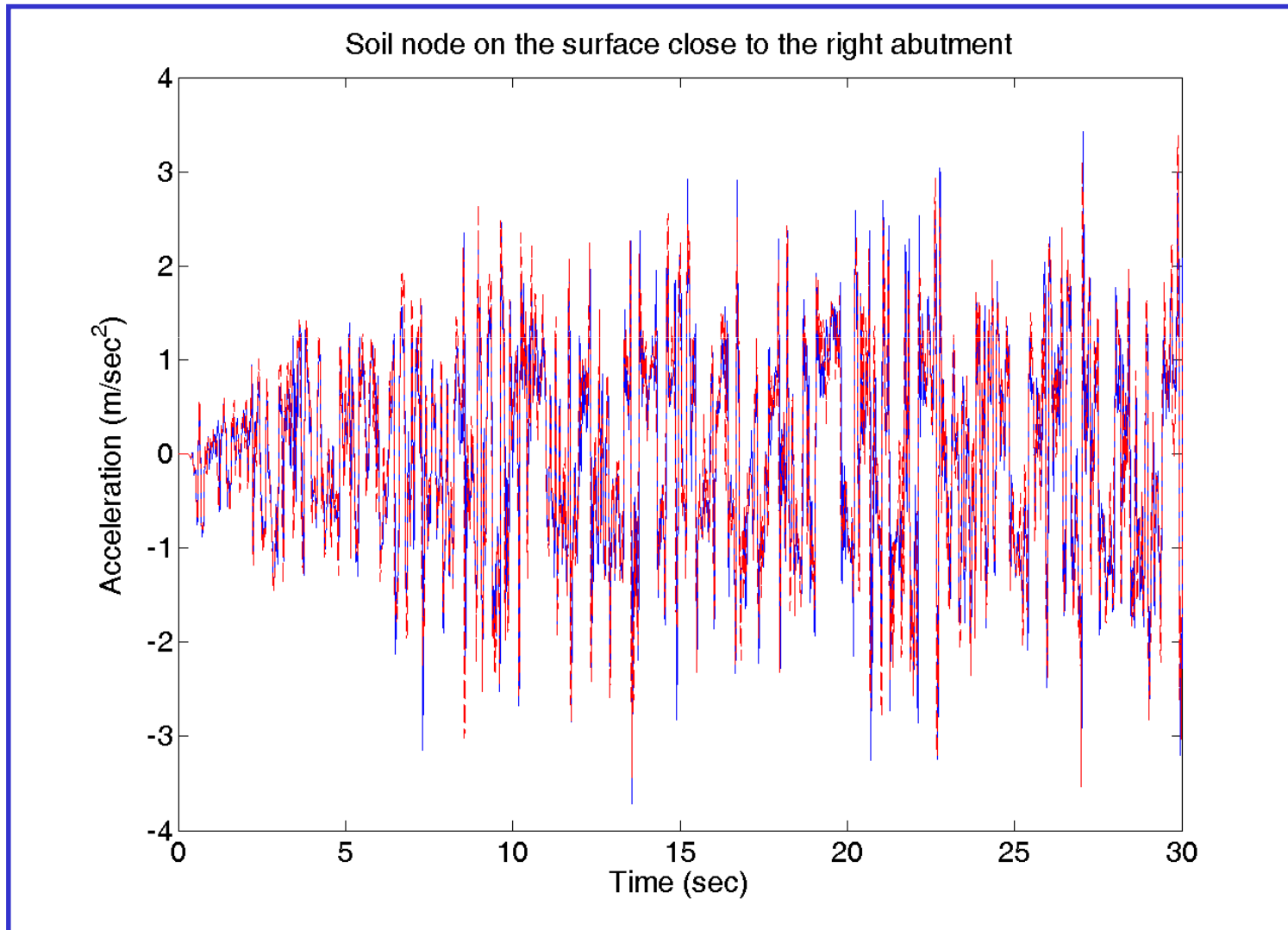
HUMBOLDT BAY BRIDGE

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**

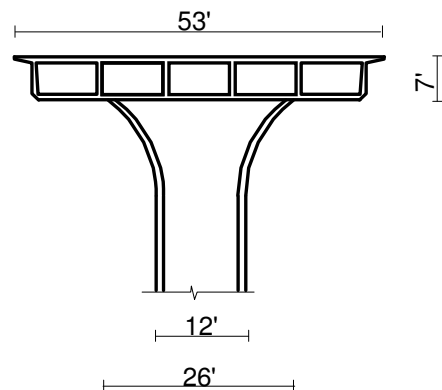
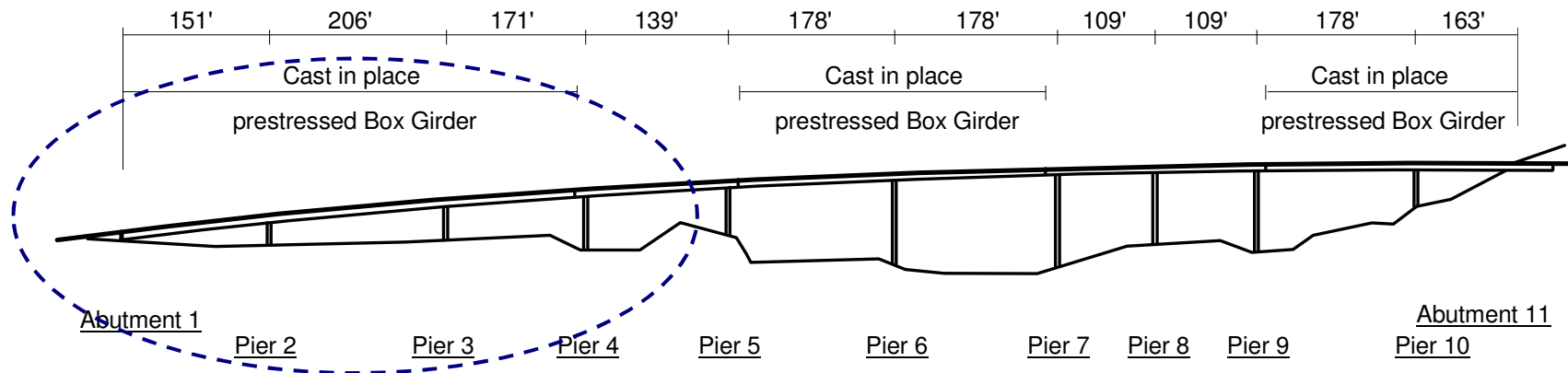
SOMMARIO

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

MODELLAZIONE TAGLIO

PONTE “IRREGOLARE” a Los Angeles

RTE 14/5 Intersection - SOUTH CONNECTOR



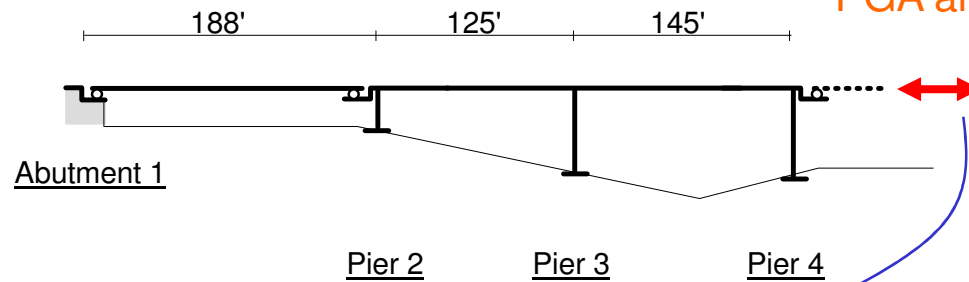
TYPICAL SECTION

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

MODELLAZIONE TAGLIO

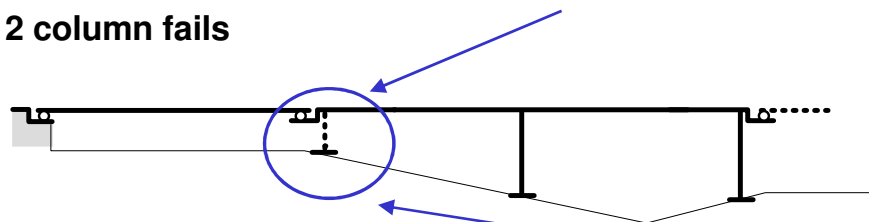
A) North Connector before Northridge earthquake

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



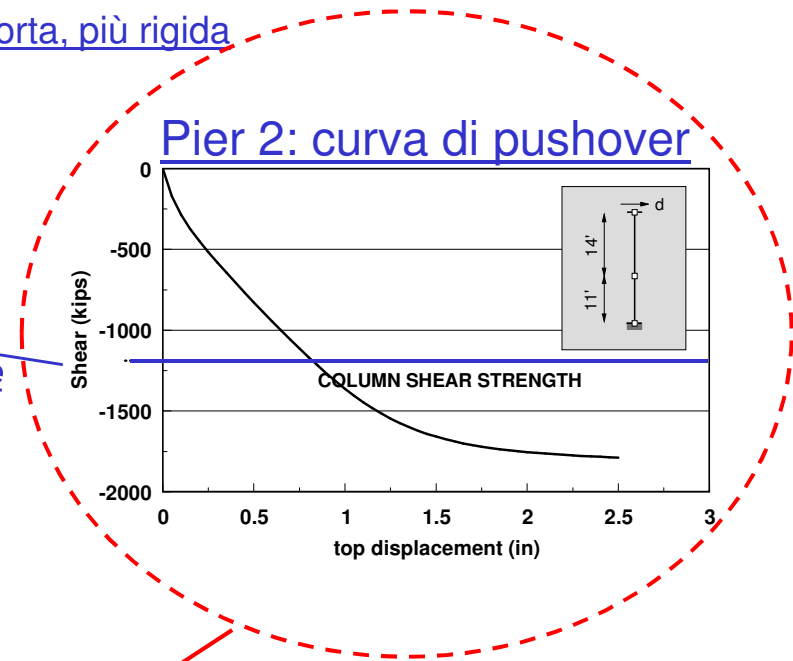
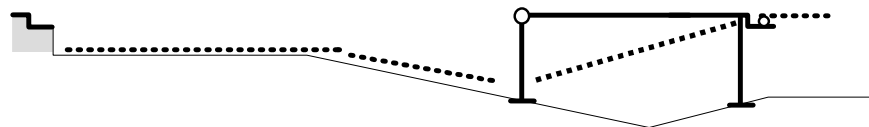
La forza sismica è attratta dalla pila corta, più rigida

B) Pier 2 column fails



resistenza a taglio insufficiente

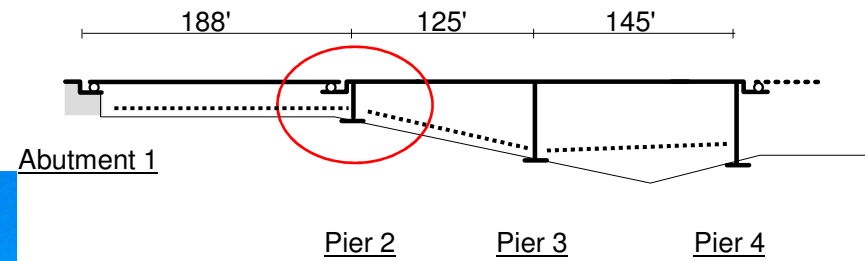
C) Simple span falls off seat abutment;
Box girder forms a hinge at bent 3 and tears off



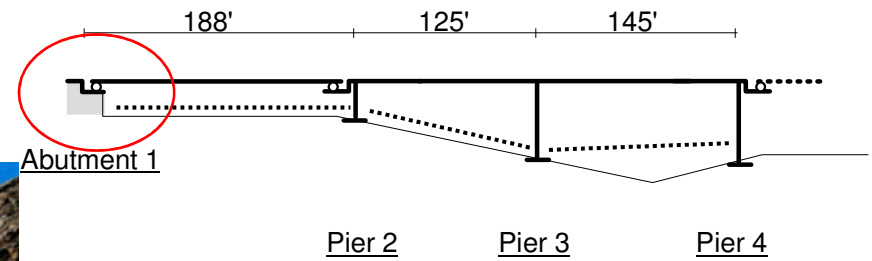
Pier 2: curva di pushover

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

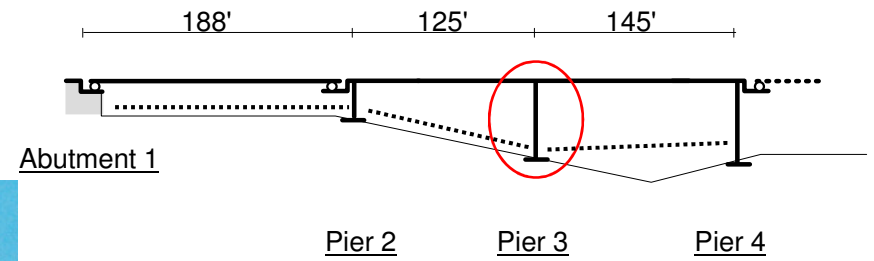
MODELLAZIONE ROTTURA A TAGLIO



MODELLAZIONE ROTTURA A TAGLIO



MODELLAZIONE ROTTURA A TAGLIO



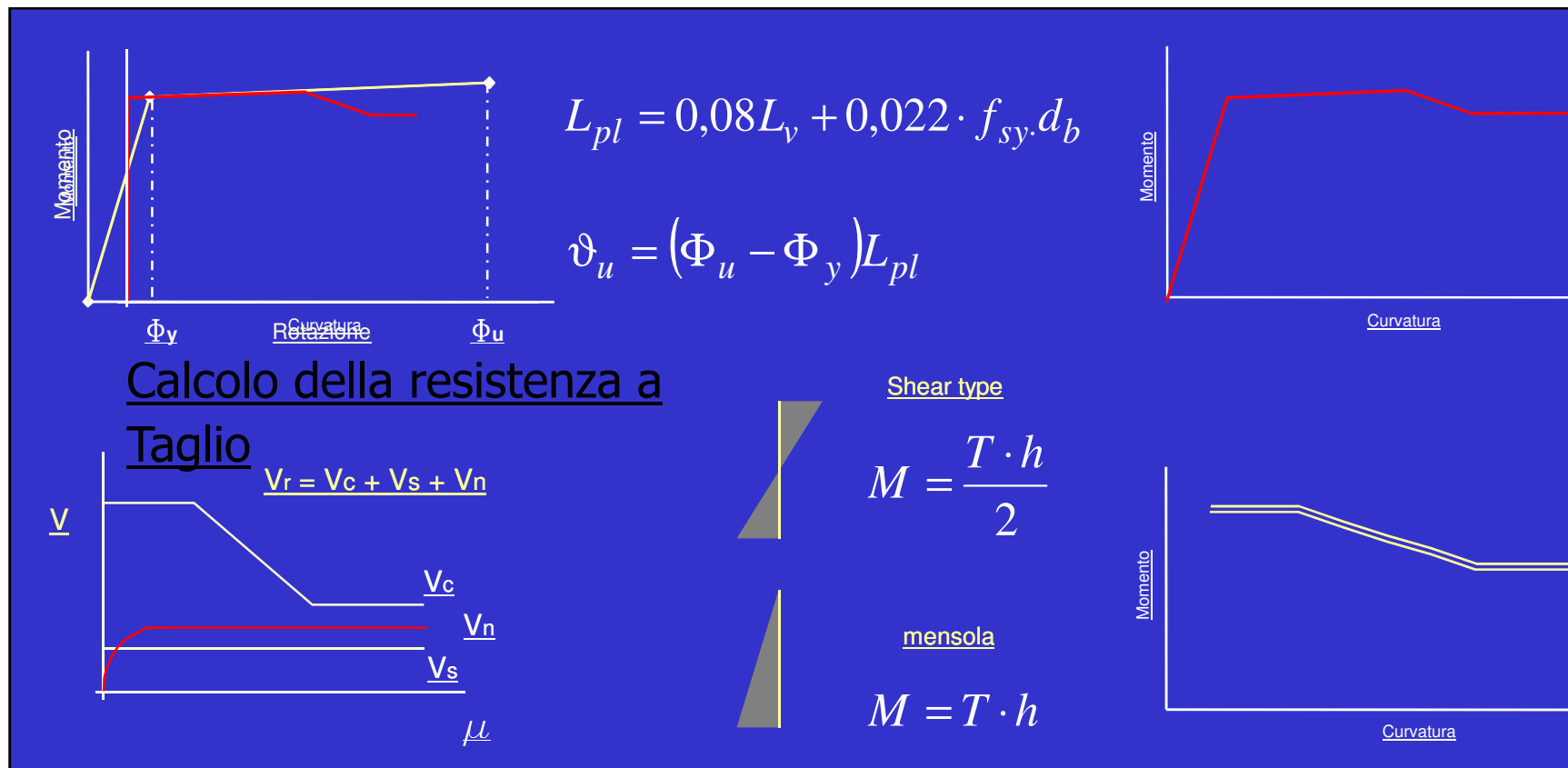
SOMMARIO

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

MODELLAZIONE ROTTURA A TAGLIO

METODO PER CERNIERA PLASTICA

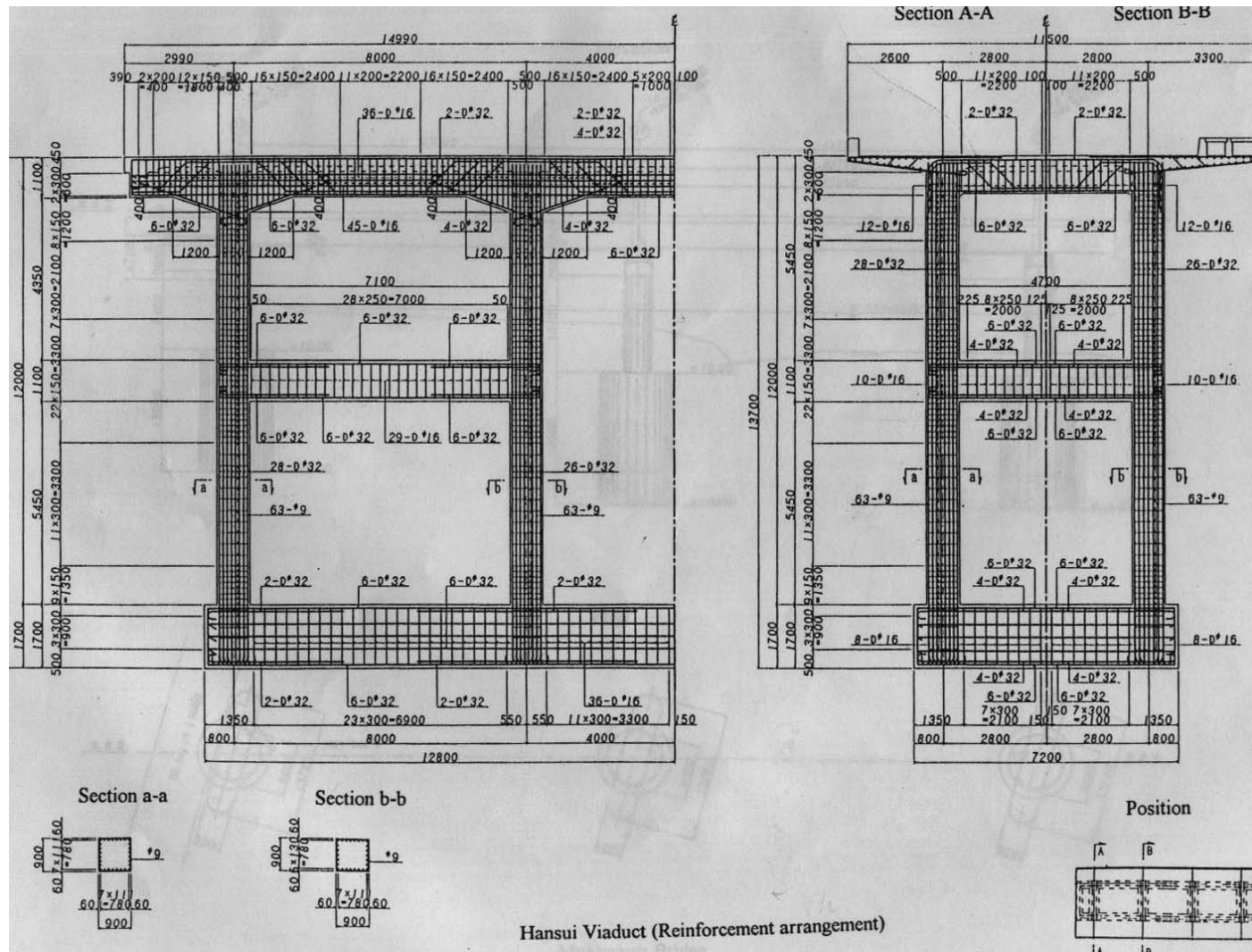
- A partire dai legami costitutivi dei materiali si determina il legame Momento-Rotazione relativa delle cerniere plastiche
- Definizione del legame costitutivo Momento-Curvatura della sezione
- Definizione del comportamento plastico delle cerniere



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

PONTE HANSUI

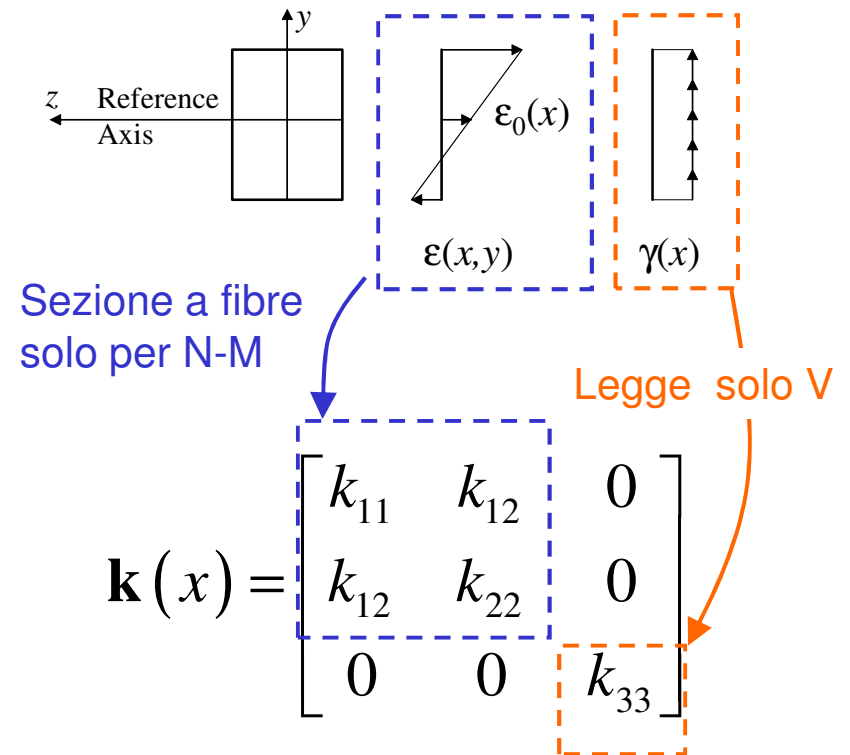
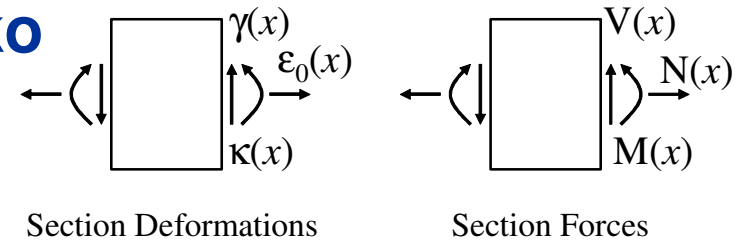
Elemento in Forze di Timoshenko

Sezione a fibre semplificata

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

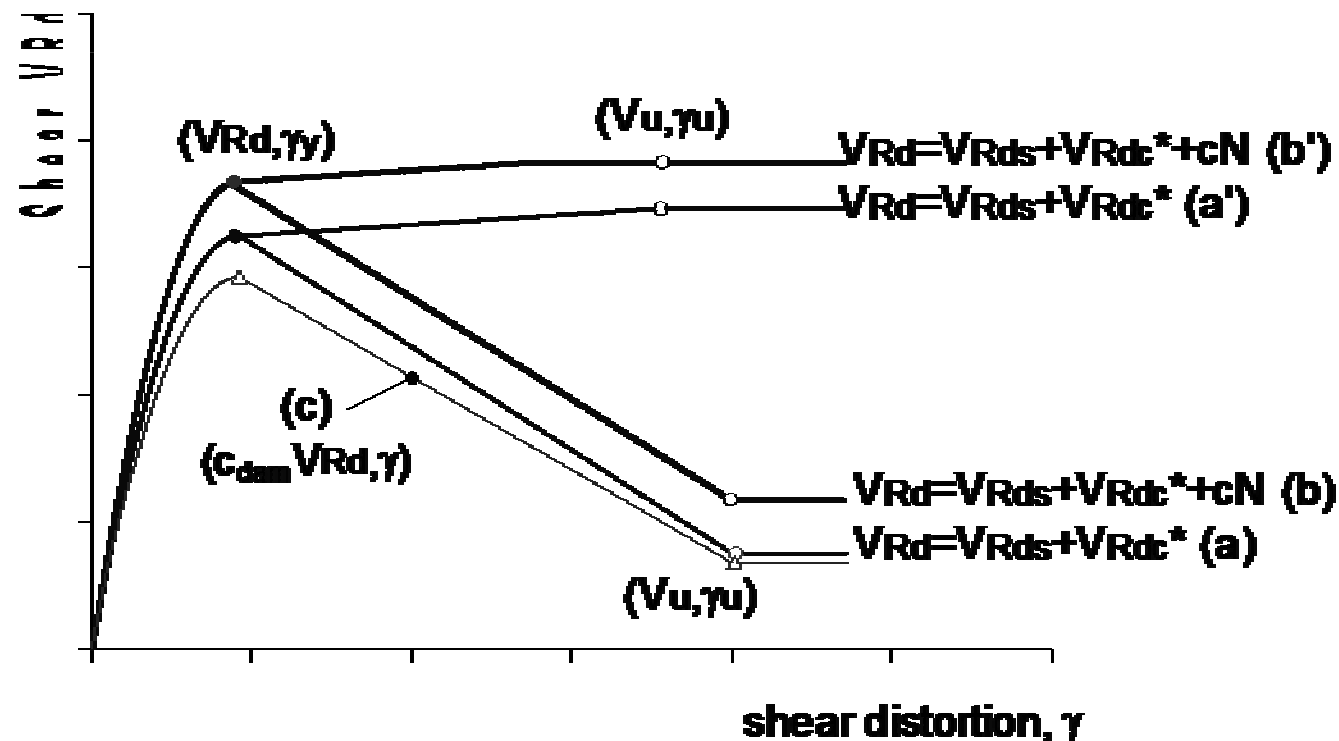
V ed M sono collegati dall'equilibrio puntuale, $V = dM/dx$. L'eventuale rottura a taglio impedisce al momento di aumentare!

Serve una legge $V-\gamma$



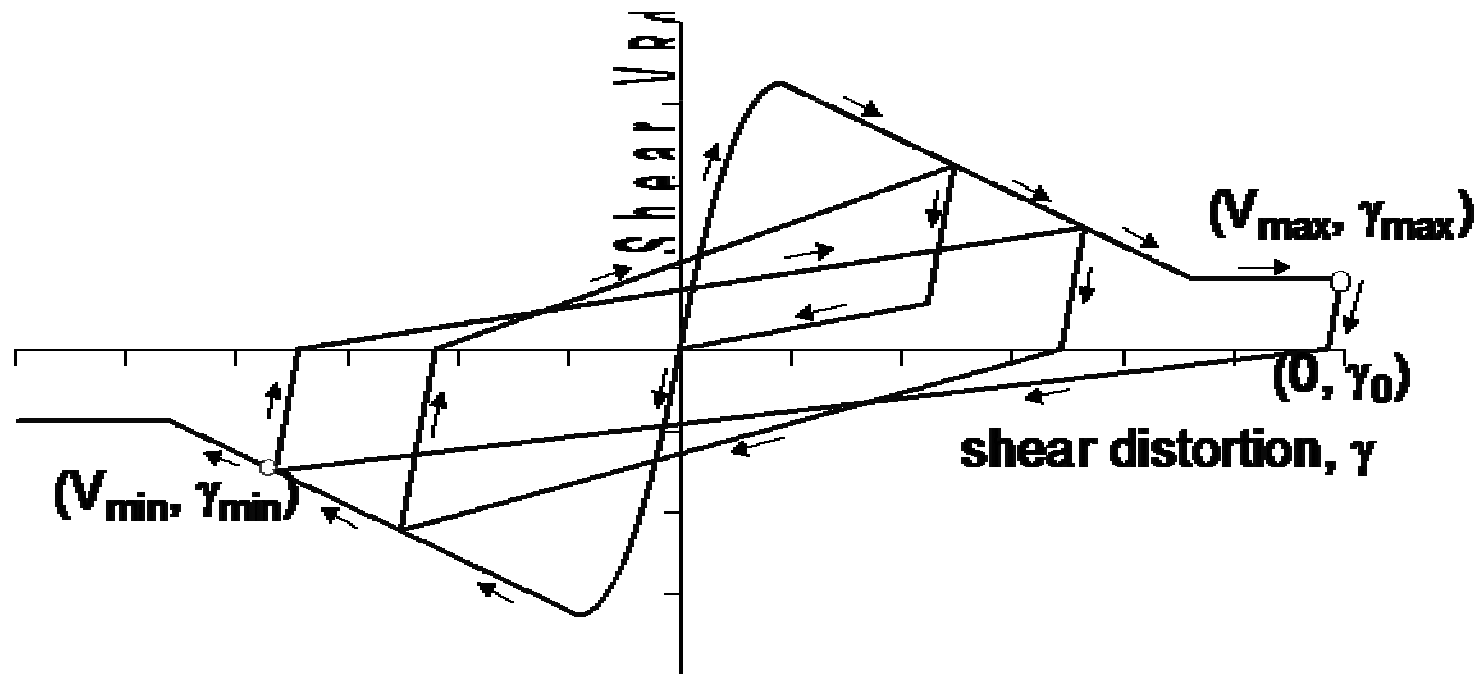
Modello Ponte

- 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

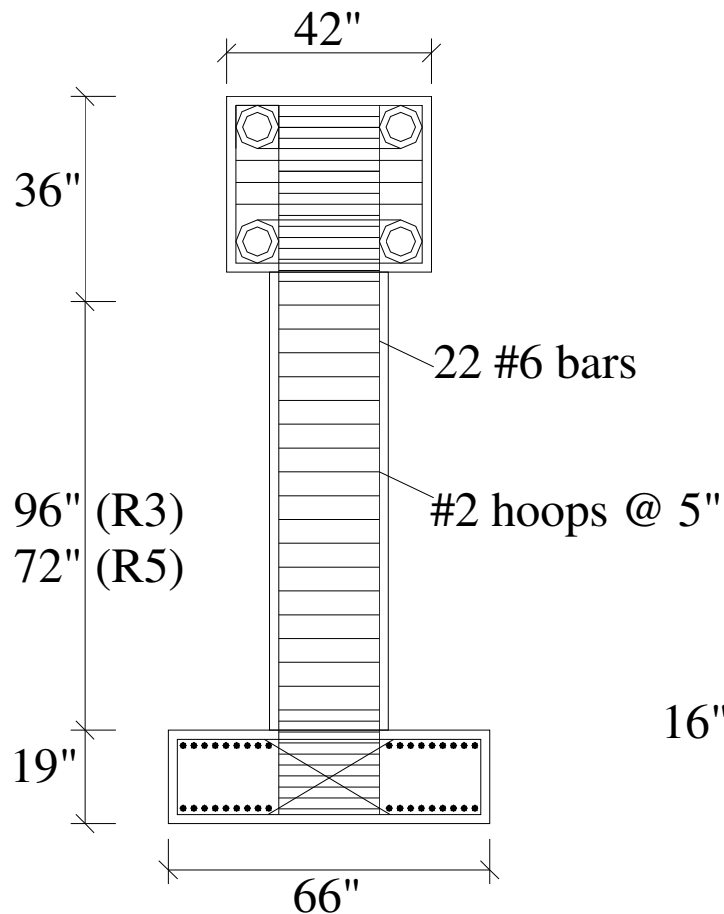
- Comportamento ciclico a taglio (con danno)



PONTE HANSUI

Modello Ponte

Taratura modello taglio



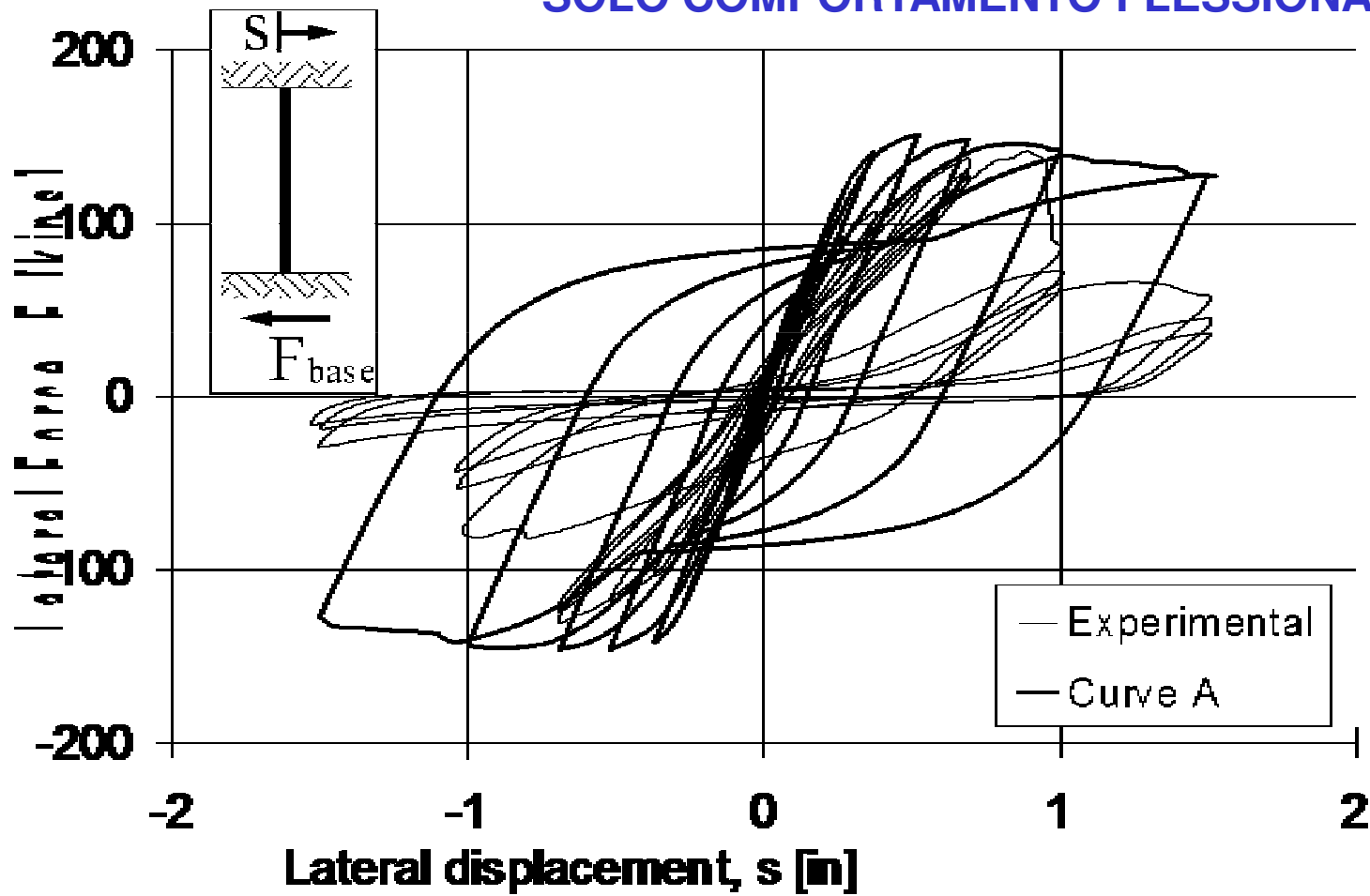
Colonna provata in laboratorio (UC San Diego, USA):

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

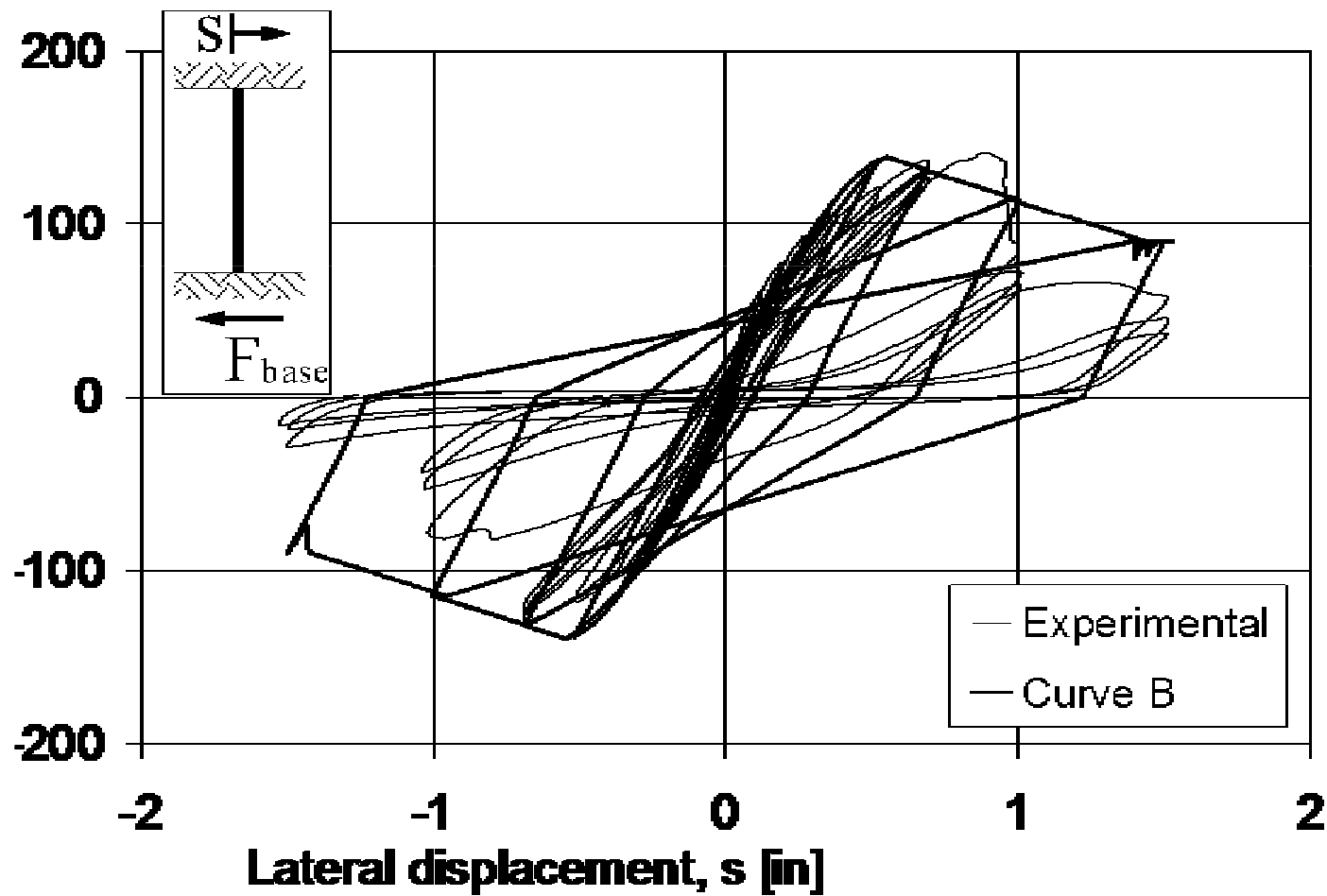
SOLO COMPORTAMENTO FLESSIONALE



PONTE HANSUI

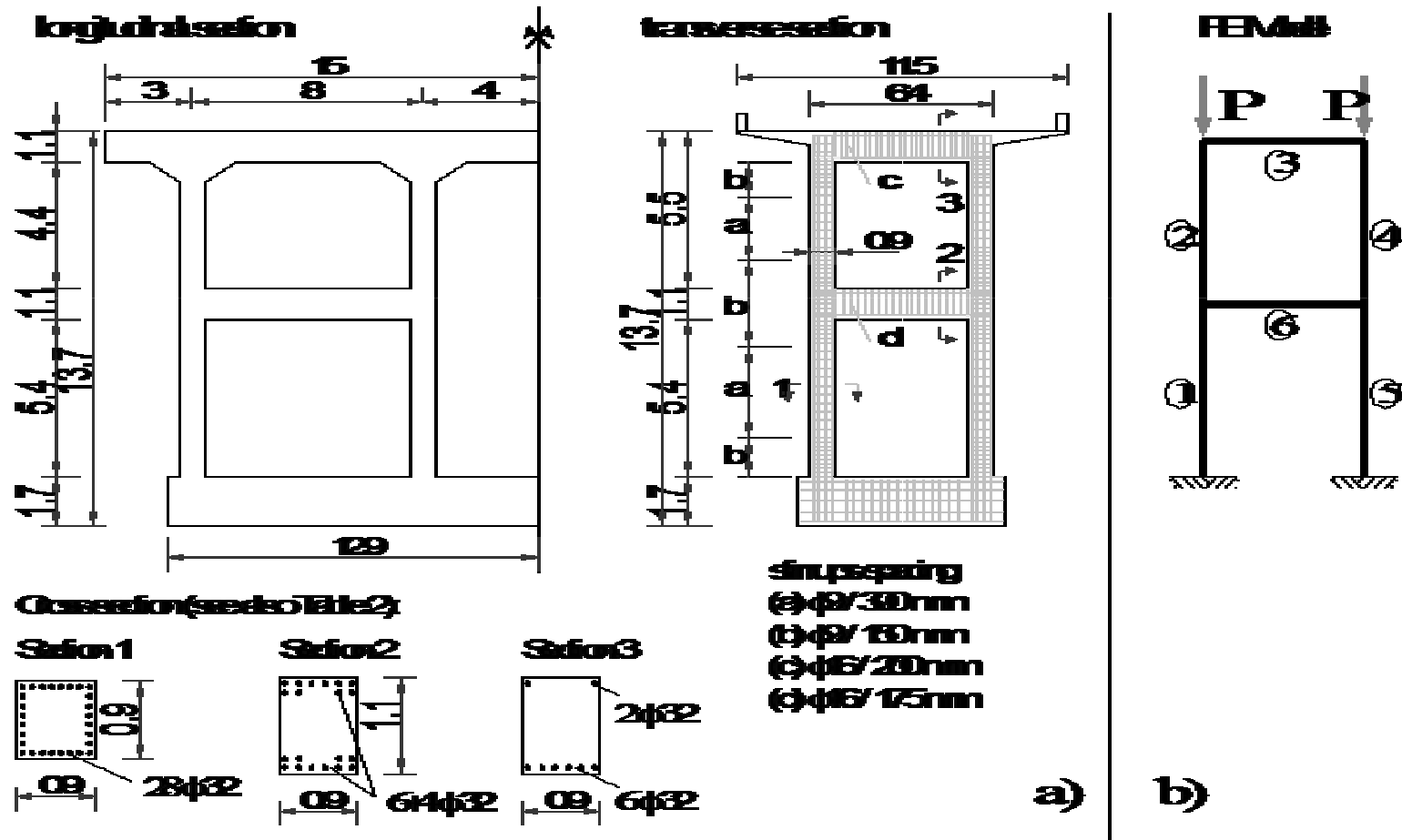
Modello Ponte

FLESSIONE E TAGLIO (SECONDO EC2)



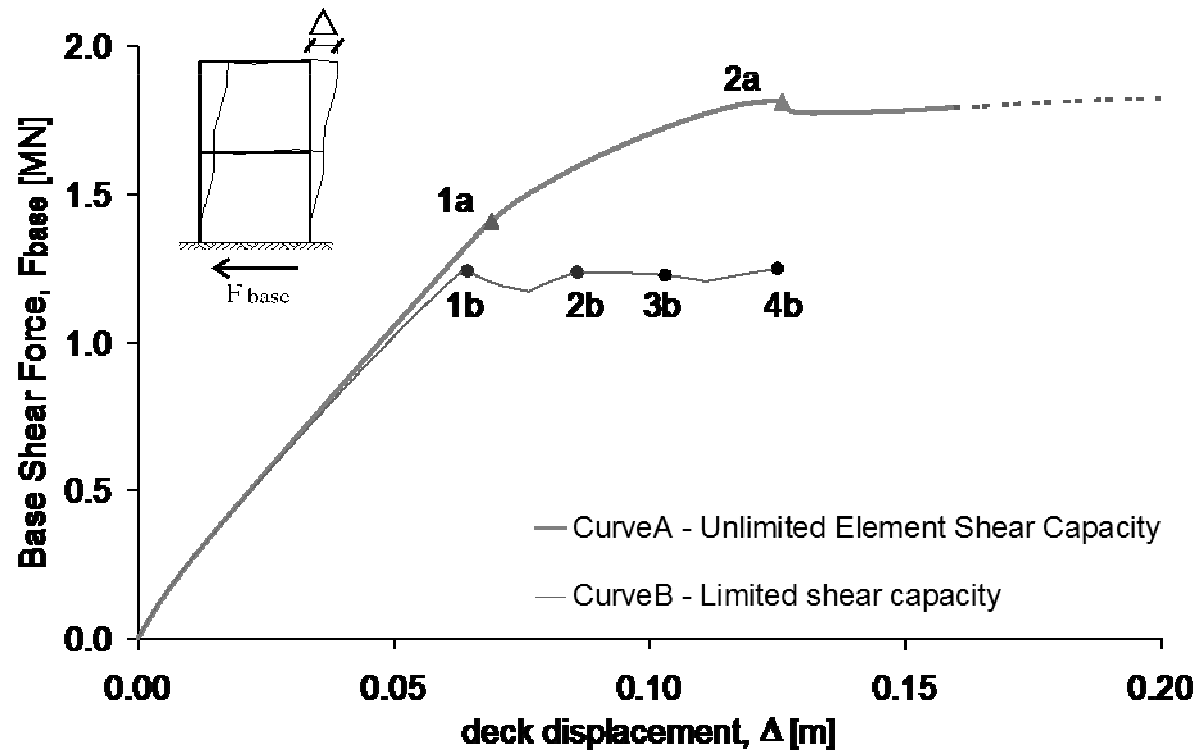
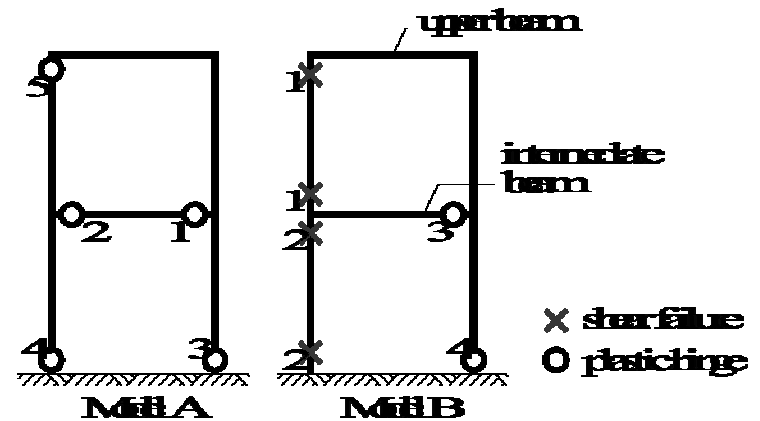
PONTE HANSUI

Modello Ponte



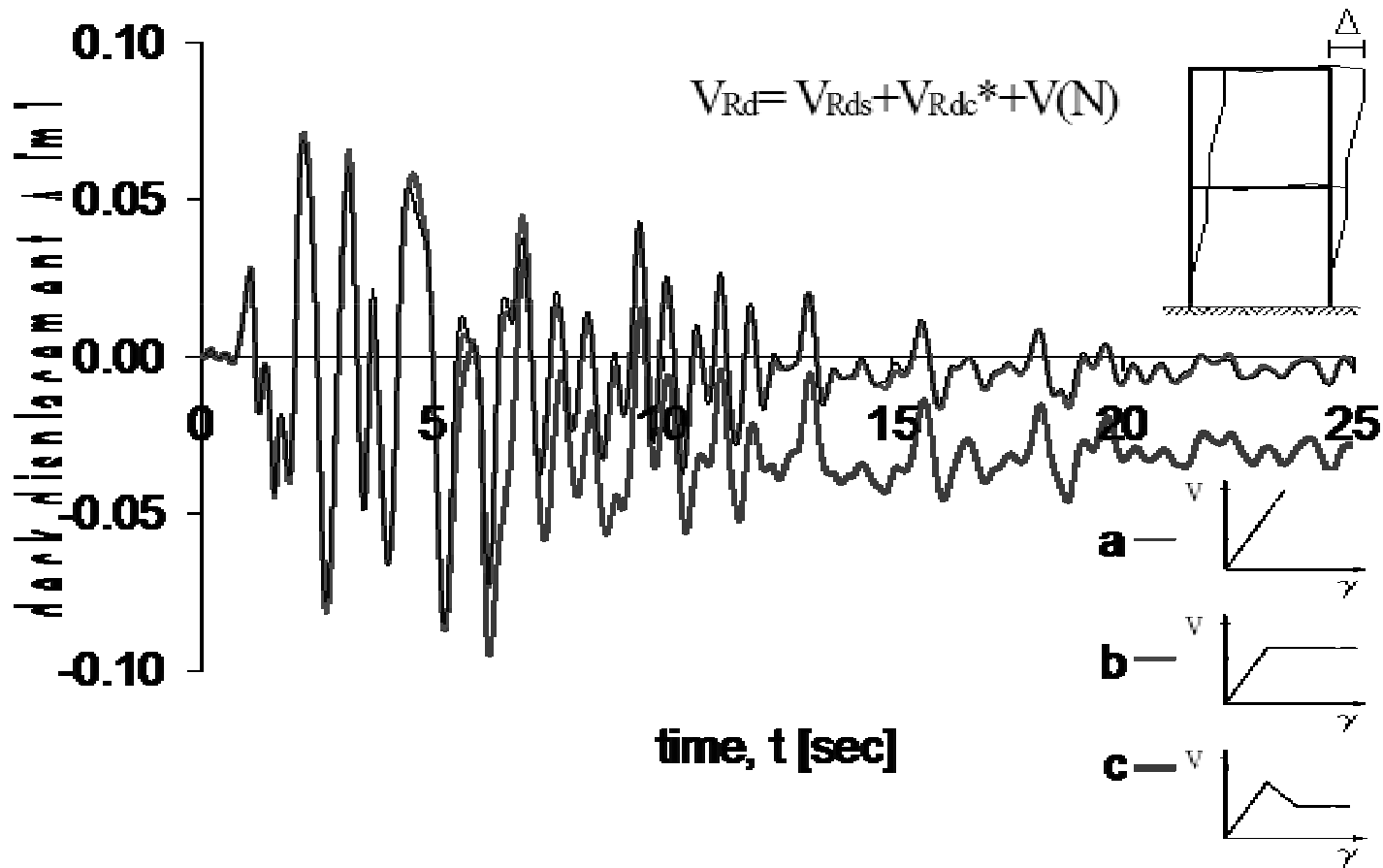
PONTE HANSUI

Risultati Analisi Ponte (PO)



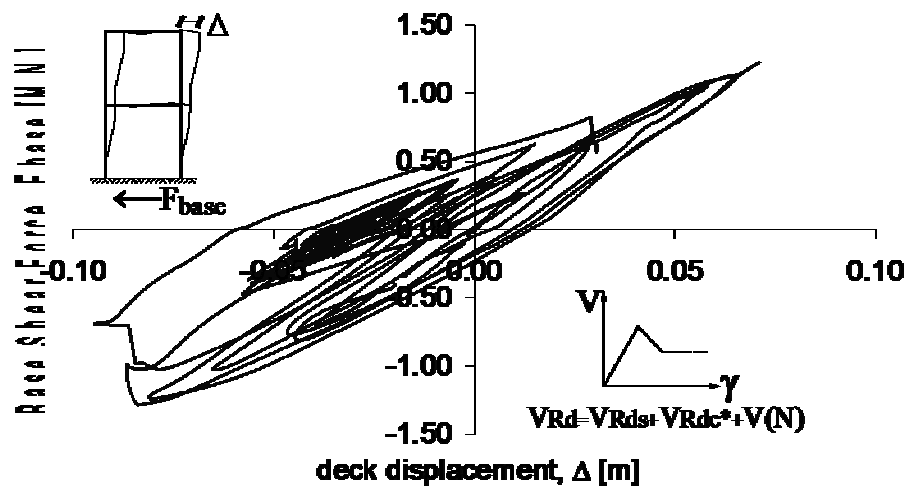
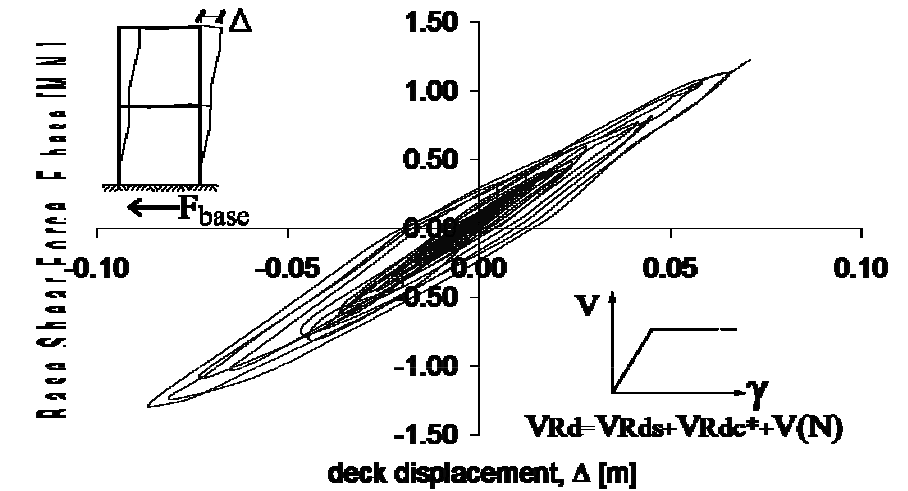
PONTE HANSUI

Risultati Analisi Ponte (TH terremoto Kobe)



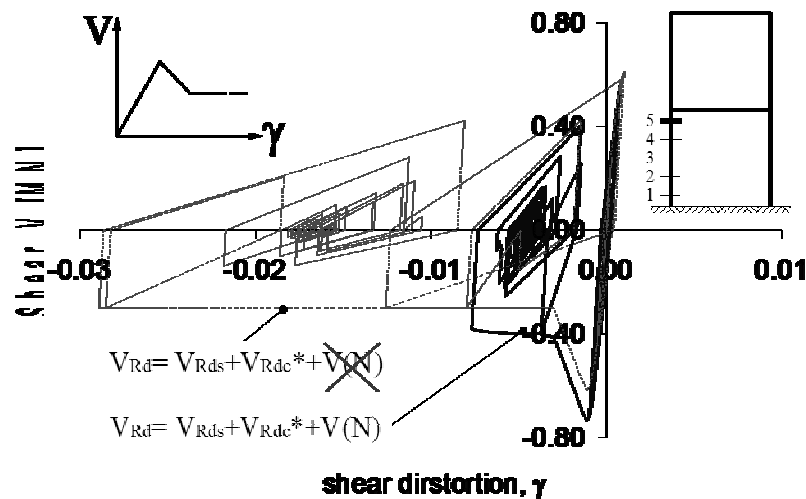
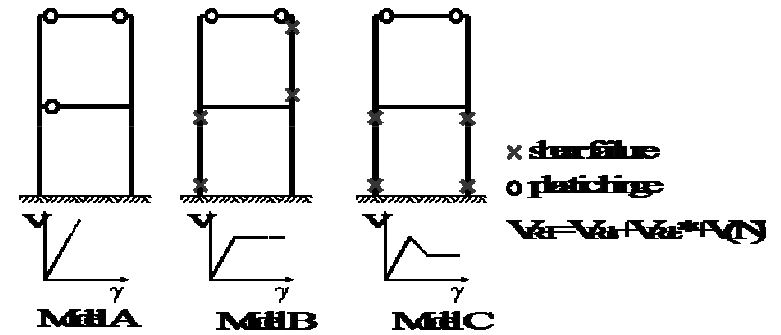
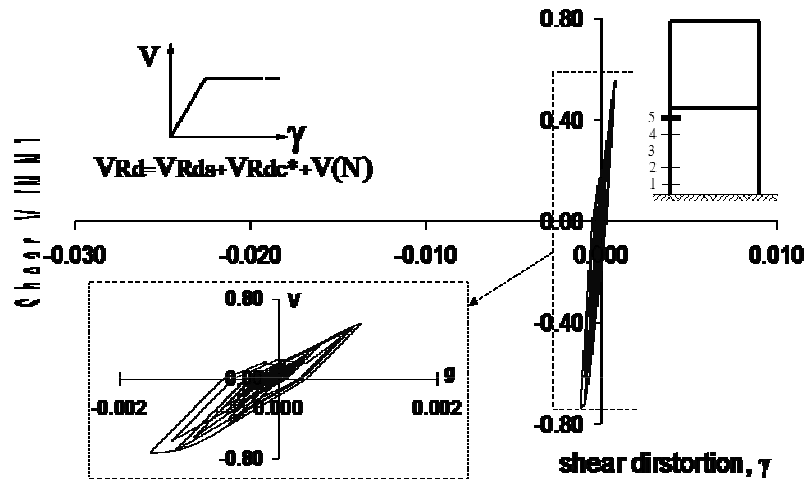
PONTE HANSUI

Risultati Analisi Ponte



PONTE HANSUI

Risultati Analisi Ponte



CONCLUSIONI SUI TRE ESEMPI

- Effettuare 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:

$$G_k = 3 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = 2 \text{ kN/m}^2$$

Terzo Livello:

$$G_k = 6 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = 4 \text{ kN/m}^2$$

Materiali:

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

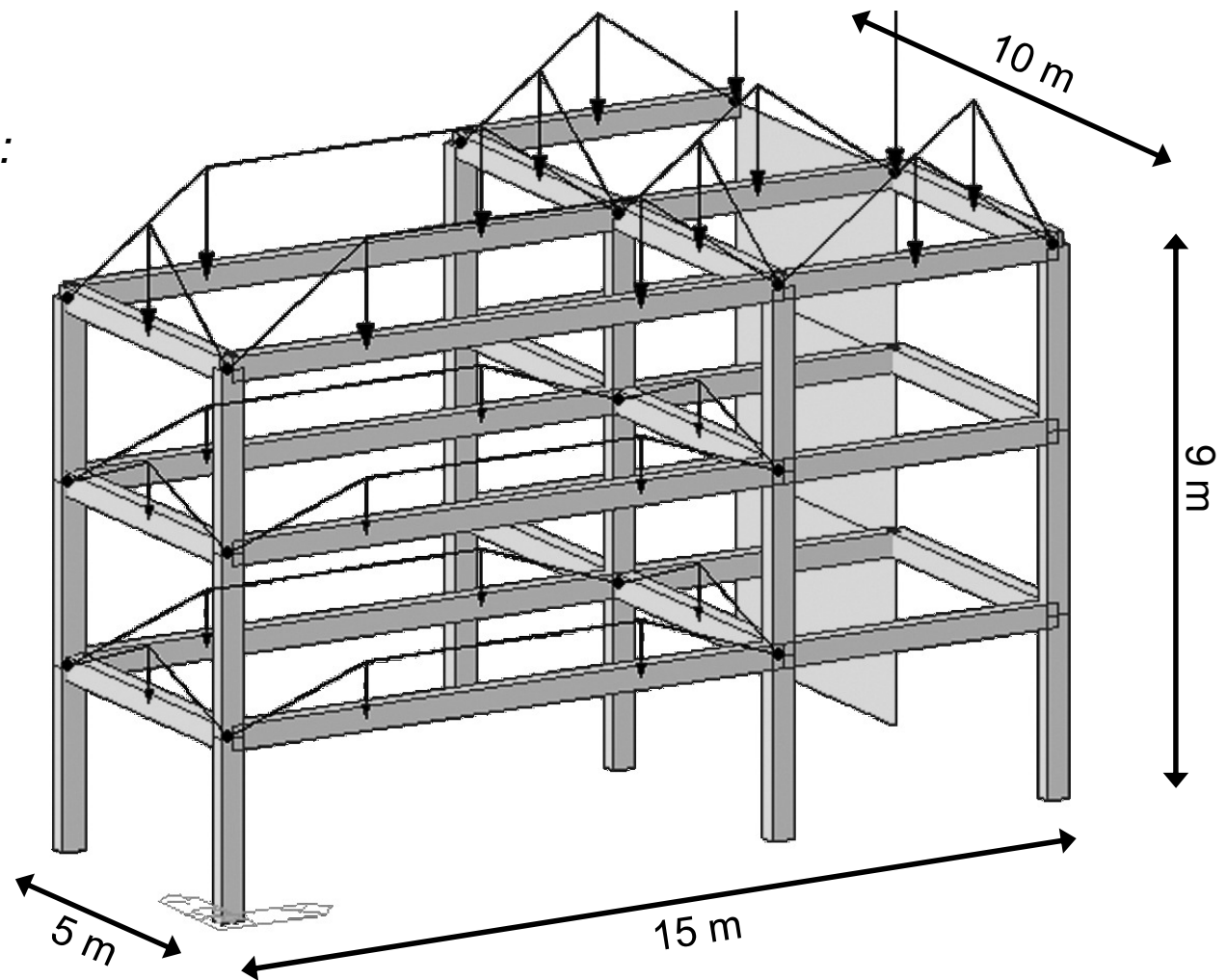
Sezione:

Travi e Colonne:

$$b = 40 \text{ cm}$$

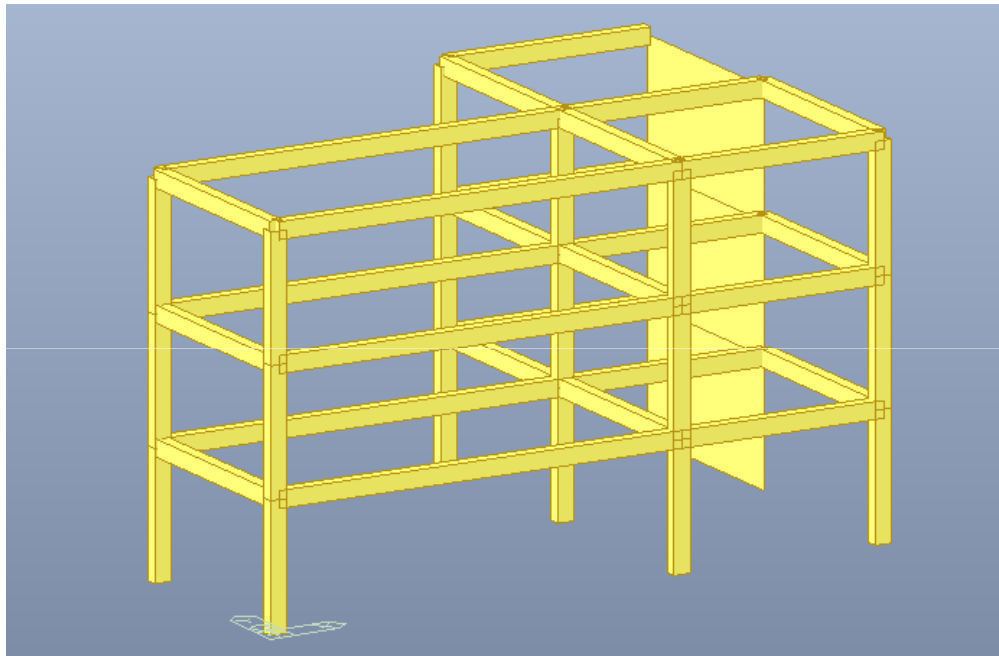
$$h = 30 \text{ cm}$$

$$\text{Wall: } s = 30 \text{ cm}$$



ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

Step 0: Definizione del modello lineare ed analisi modale



Mode No	Period (sec)	TRAN-X		TRAN-Y		TRAN-Z		ROTN-Z	
		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/>



I dati *online* della pericolosità sismica in Italia

Mappe dinamiche

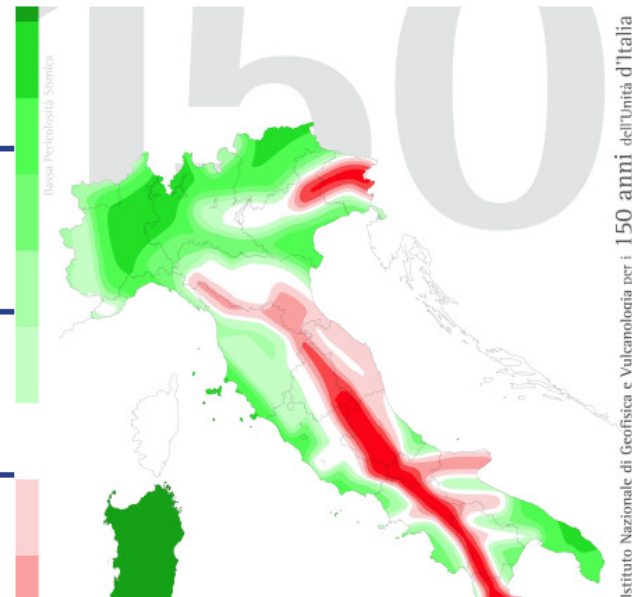
-  [Mappe interattive della pericolosità sismica \(WebGis\)](#)
-  [Interactive Maps of Seismic Hazard \(WebGis\)](#)

Mappe statiche e download dati

- [PGA per varie probabilità di eccedenza in 50 anni](#)
- [Accelerazioni spettrali per varie probabilità di eccedenza in 50 anni](#)

Norme Tecniche per le Costruzioni

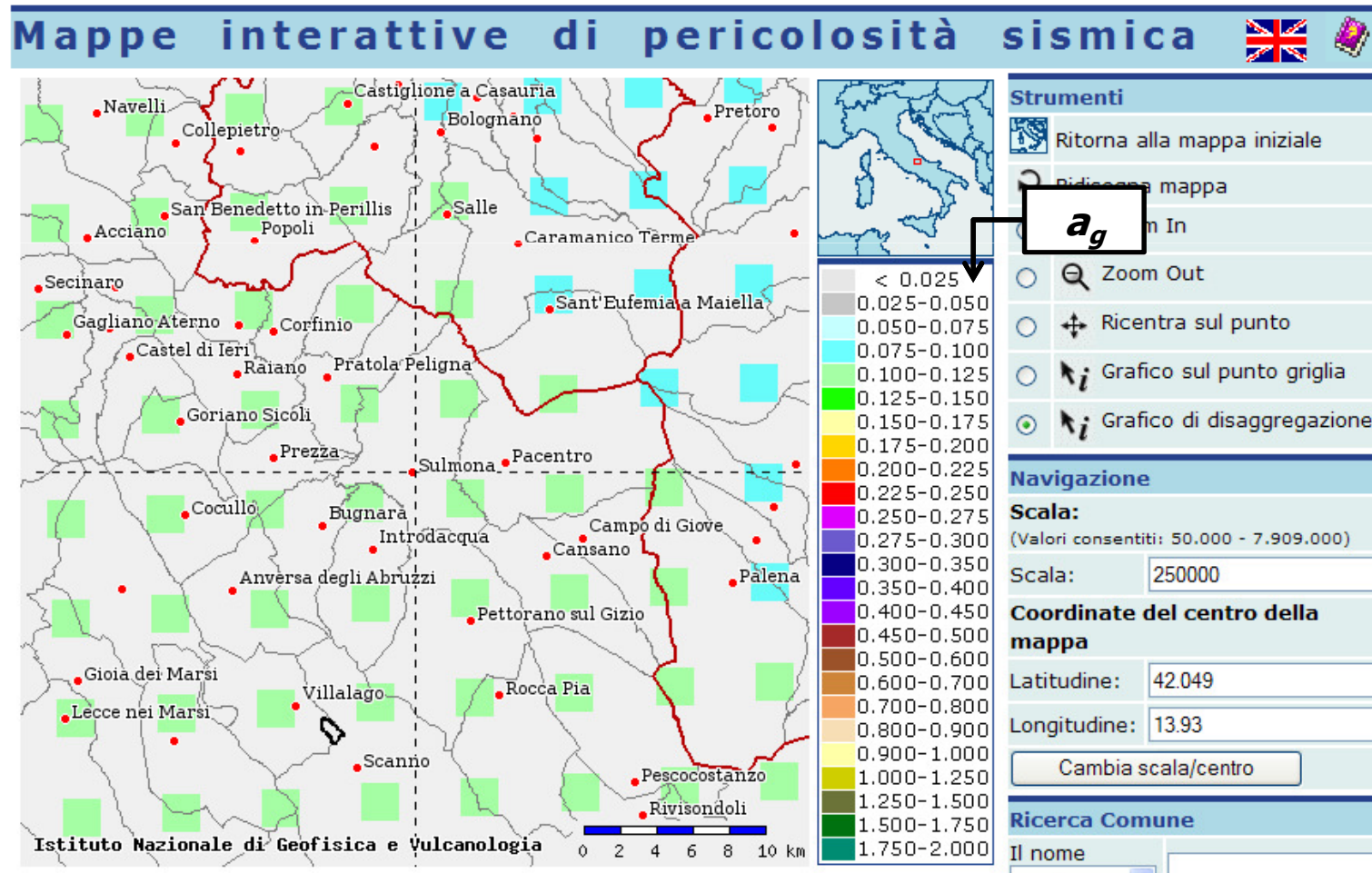
- [DM 14/01/2008 - Allegato A](#)



ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

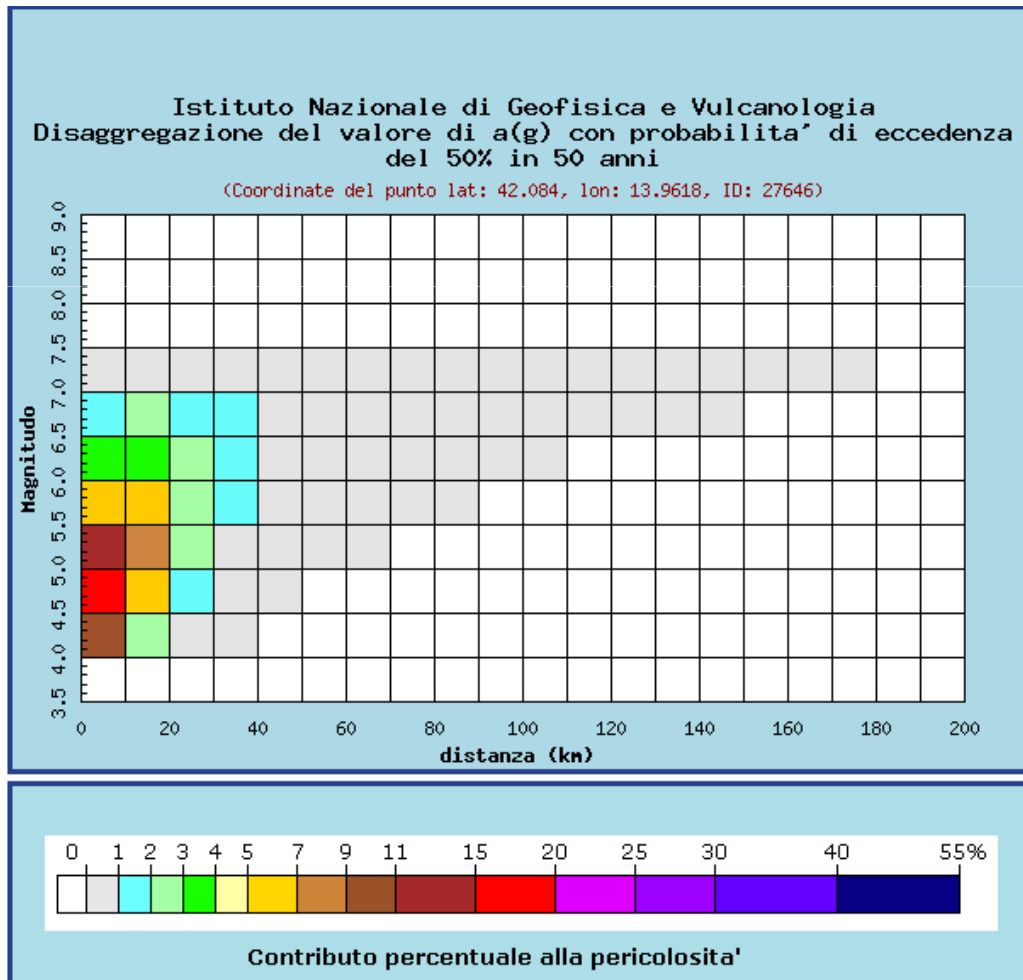
Step 1: Selezione delle registrazioni spettro-compatibili

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):

$$5.5 \leq M_w \leq 6.5$$

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

ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

Step 0: Selezione delle registrazioni spettro-compatibili

$$5.5 \leq M_w \leq 6.5$$

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

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

The screenshot displays the REXEL v 3.3 (beta) software interface. The 'Mappa' window is open, showing a map of Italy with a selected site marked by a yellow star at longitude 13.93° and latitude 42.049°. The main interface includes sections for '1. Target Spectrum' (Italian Building Code 2008) and '2. Preliminary database search' with various search parameters like magnitude (M), distance (R), and time (T). A 'NEW SEARCH' button is visible at the bottom right.

Definizione del sito selezionato mediante latitudine e longitudine

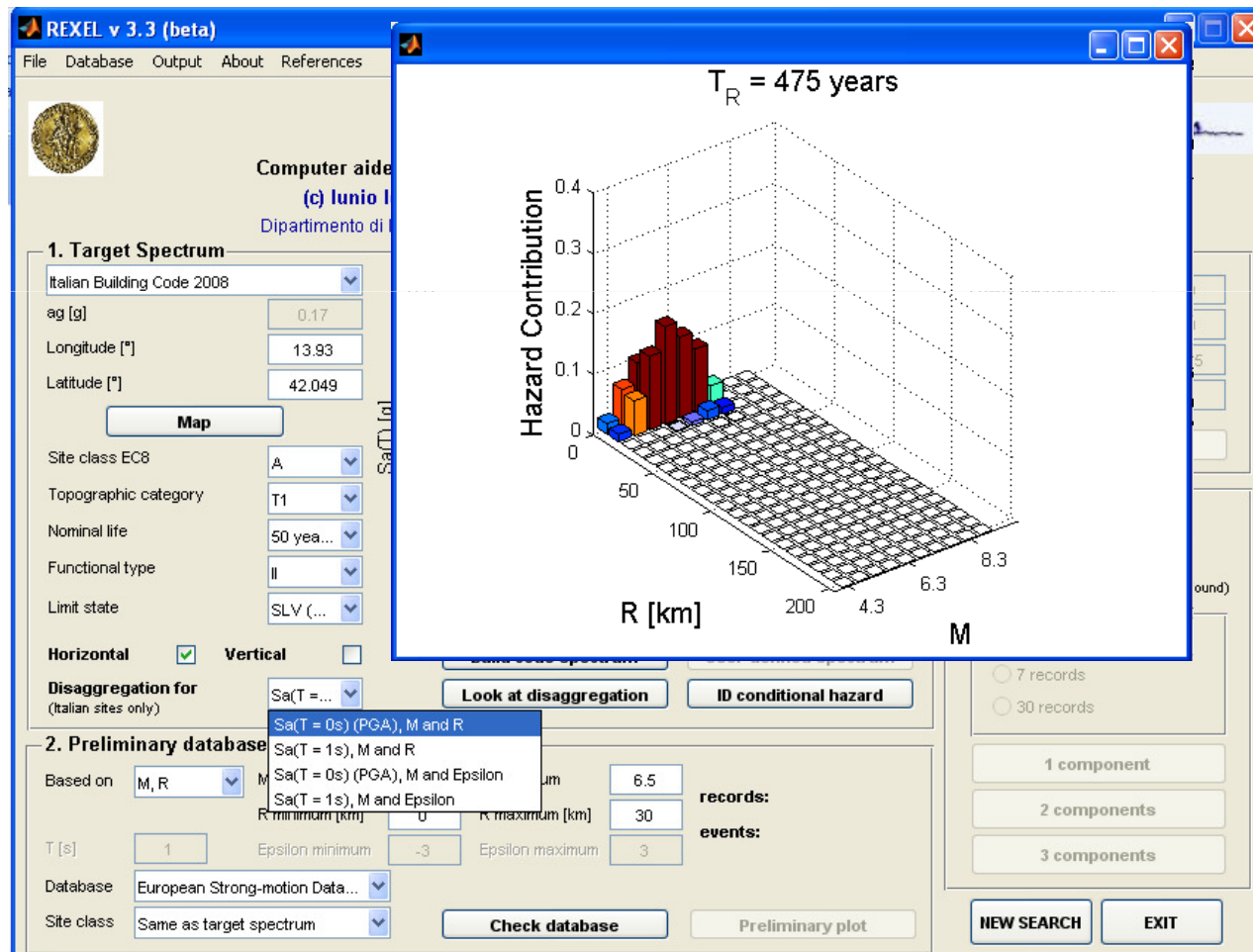
ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

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

The screenshot displays the REXEL v 3.3 (beta) software interface. The main window is titled "REXEL v 3.3 (beta)" and includes a menu bar (File, Database, Output, About, References) and a logo for "reluis". The interface is divided into several sections:

- 1. Target Spectrum:** Includes input fields for "Italian Building Code 2008", "ag [g]" (0.17), "Longitude [°]" (13.93), "Latitude [°]" (42.049), "Site class EC8" (A), "Topographic category" (T1), "Nominal life" (50 years), "Functional type" (II), and "Limit state" (SLV). A graph titled "Acceleration elastic response spectrum" shows a blue curve for a horizontal component with $T_p = 475$ years and $\xi = 5\%$. The y-axis is $Sa(T)$ [g] (0 to 0.8) and the x-axis is T [s] (0 to 4).
- 2. Preliminary database search:** Includes a dropdown for "Based on" (M, R), "M minimum" (5.5), "M maximum" (6.5), "R minimum [km]" (0), "R maximum [km]" (30), "T [s]" (1), "Epsilon minimum" (-3), and "Epsilon maximum" (3). The "Database" is set to "European Strong-motion Data..." and "Site class" is "Same as target spectrum". A blue arrow points to the search criteria.
- 3. Spectrum matching:** Includes "Lower tolerance [%]" (10), "Upper tolerance [%]" (30), "T1 [s]" (0.15), and "T2 [s]" (2). A "Plot spectral bounds" button is present.
- 4. Analysis options:** Includes "Scaled records" (checked), "I'm feeling lucky" (checked), and "Set size" options (Individual record, 7 records).

At the bottom right, a summary box shows "records: 2x 65" and "events: 29". A blue arrow points to this summary box.

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

The screenshot displays the REXEL v 3.3 (beta) software interface, which is used for computer-aided real record selection for seismic analysis. The interface is divided into several sections:

- 1. Target Spectrum:** This section allows users to define a target spectrum based on the Italian Building Code 2008. Parameters include:
 - ag [g]: 0.17
 - Longitude [°]: 13.93
 - Latitude [°]: 42.049
 - Site class EC8: A
 - Topographic category: T1
 - Nominal life: 50 years
 - Functional type: II
 - Limit state: SLVButtons include "Map", "Build code spectrum", "User-defined spectrum", "Look at disaggregation", and "ID conditional hazard".
- 2. Preliminary database search:** This section allows users to search for records based on magnitude (M) and distance (R) criteria.
 - Based on: M, R
 - M minimum: 5.5, M maximum: 6.5
 - R minimum [km]: 0, R maximum [km]: 30
 - T [s]: 1
 - Epsilon minimum: -3, Epsilon maximum: 3
 - Database: European Strong-motion Data...
 - Site class: Same as target spectrumButtons include "Check database" and "Preliminary plot". A blue arrow points to the "Preliminary plot" button.
- Records and Events:** The search results show 2x 65 records and 29 events.
- Component Selection:** A panel on the right allows users to select the number of components (1, 2, or 3) and includes "NEW SEARCH" and "EXIT" buttons.

Two preliminary plots are shown on the right side of the interface:

- Preliminary plot of horizontal unscaled spectra:** This plot shows the acceleration elastic response spectrum $Sa(T)$ [g] versus period T [s]. It compares the average spectrum (solid line) and the target spectrum (dashed line). The horizontal component is specified as $T_p = 475$ years, $\xi = 5$.
- Preliminary plot of horizontal non-dimensional spectra:** This plot shows the non-dimensional spectrum $Sa(T)/PGA$ versus period T [s]. It compares the average spectrum (solid line) and the target spectrum (dashed line). The mean spectral factor is $SF_{mean} = 4.6143$.

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)

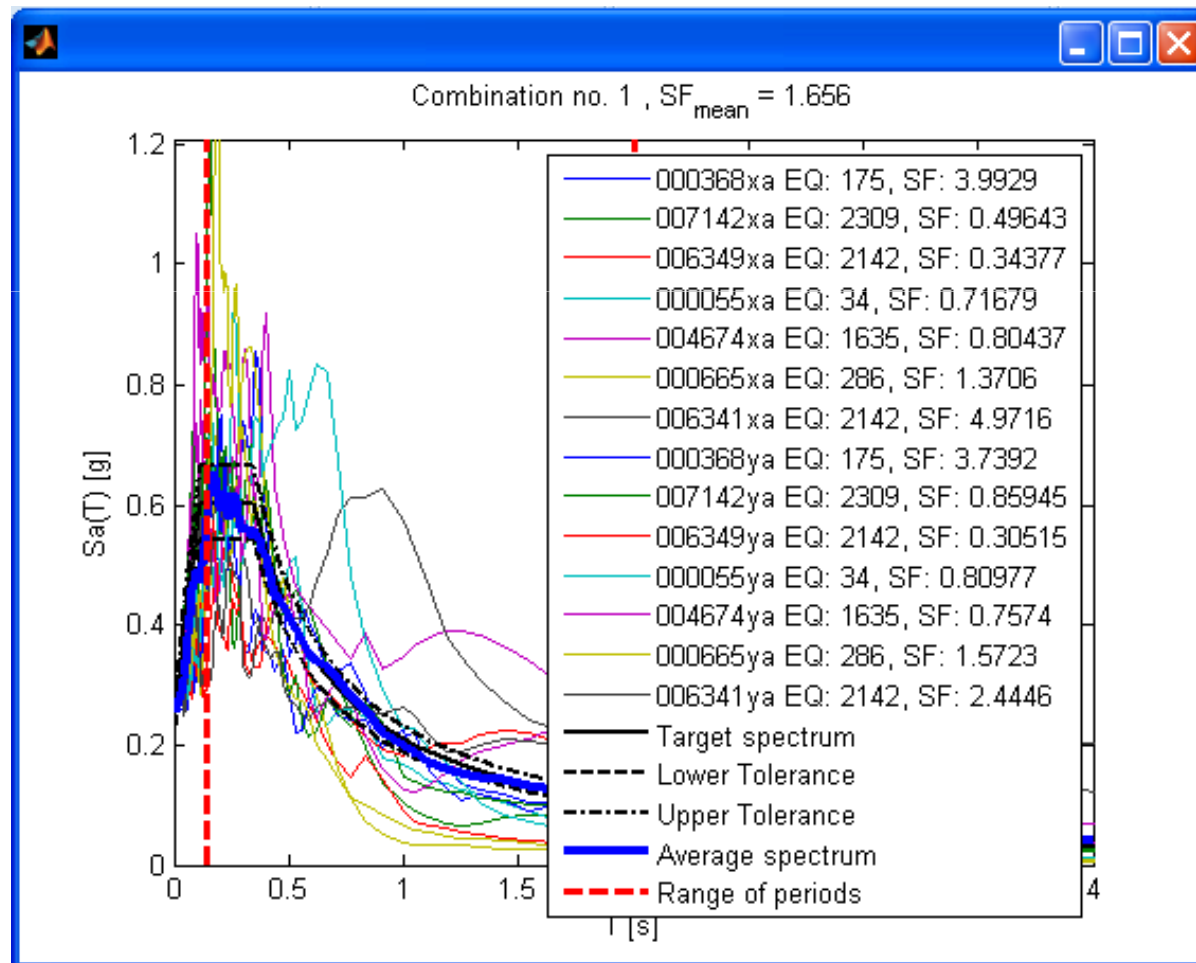
ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

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 spettrocompatibili



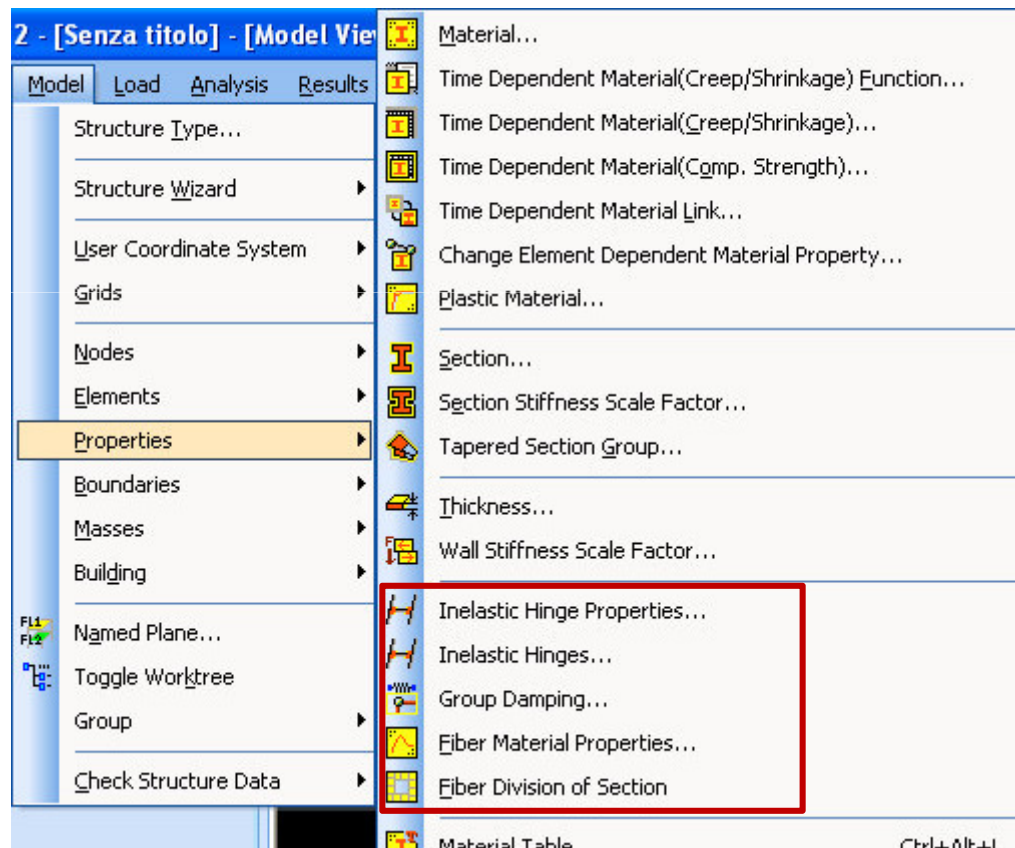
ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

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 South	01/05/2003	6.3	strike slip	14	5.0514	2.9178	4.427
6349	2142	ST2558	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

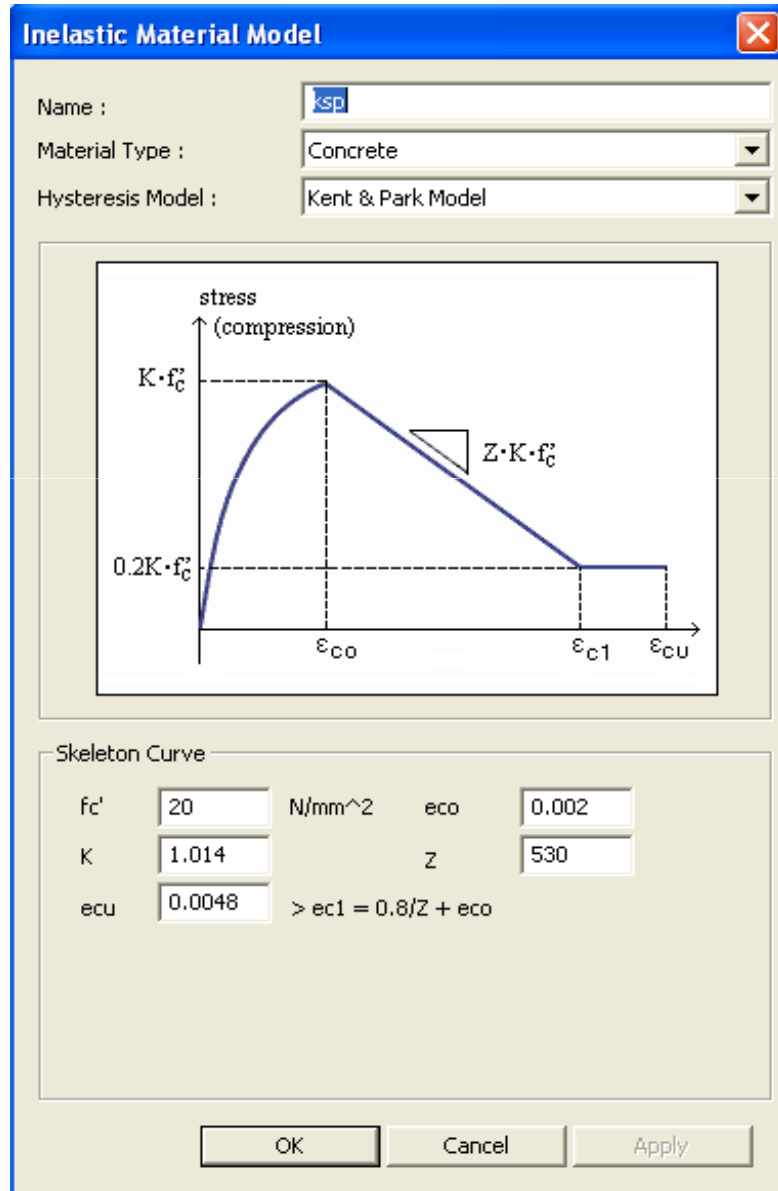
Step 2: Definizione del modello non lineare



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:

$$\text{per } \epsilon_c \leq \epsilon_0 \quad \sigma_c = K f'_c \left[2 \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_0} \right) - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_0} \right)^2 \right]$$

$$\text{per } \epsilon_0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_u \quad \sigma_c = K f'_c [1 - Z (\epsilon_c - \epsilon_0)] \geq 0.2 K f'_c$$

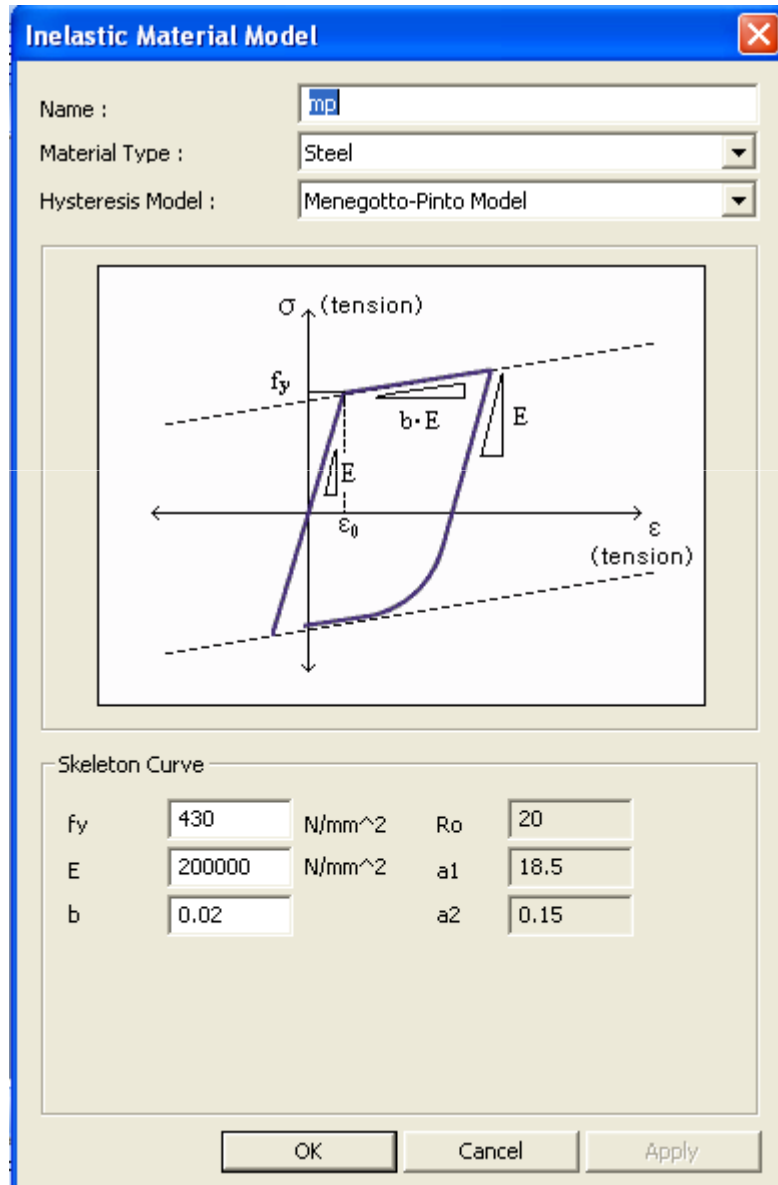
$$\epsilon_0 = 0.002 K$$

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

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

Model > Properties > Fiber Material Properties ¹¹⁹

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

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

dove:

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

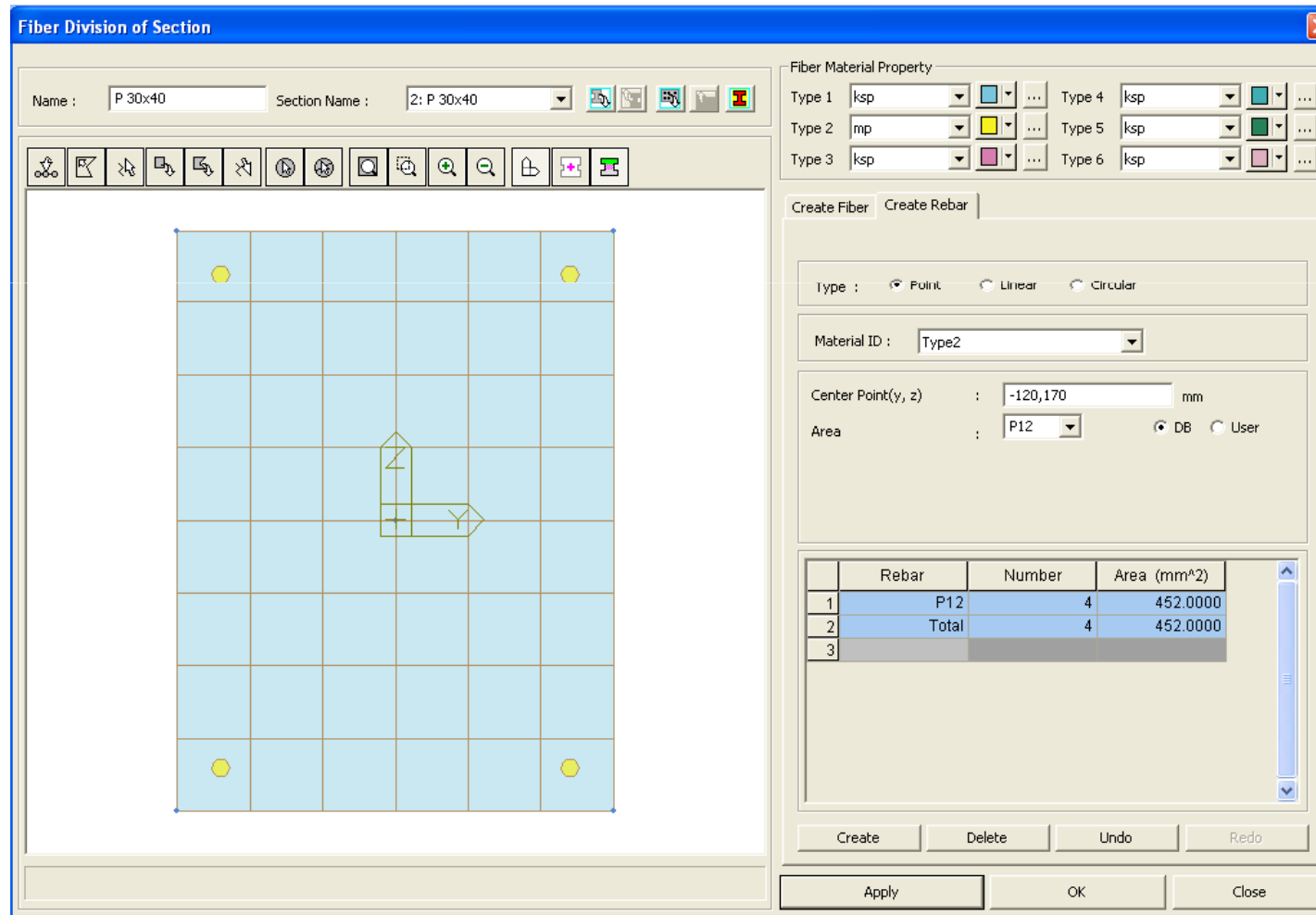
$$\sigma^* = \frac{\sigma - \sigma_r}{\sigma_0 - \sigma_r}$$

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

Model > Properties > Fiber Material Properties ¹²⁰

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

The image displays two overlapping dialog boxes from the MIDASGEN software. The 'Assign Inelastic Hinges' dialog is in the foreground, showing options for 'Add / Replace' and 'Delete', and 'Beam' as the selected element type. The 'Add/Modify Inelastic Hinge Properties' dialog is in the background, showing detailed settings for a hinge named 'P 30x40'. The 'Yield Strength(Surface) Calculation Method' is set to 'User Input'. The 'Type' is 'Beam-Column' and 'Distributed'. The 'Definition' is 'Fiber'. The 'Interaction Type' is 'None'. The 'Material' is 'Steel' and 'AISC'. The 'Member' is 'Beam' and 'Element Position' is 'I'. The 'Component Properties' table is as follows:

Component	No. of Sections	Hysteresis Model	Properties...
<input checked="" type="checkbox"/> Fx	4	Kinematic Hardening	Properties...
<input type="checkbox"/> Fy	3	Kinematic Hardening	Properties...
<input type="checkbox"/> Fz	3	Kinematic Hardening	Properties...
<input type="checkbox"/> Mx	3	Kinematic Hardening	Properties...
<input checked="" type="checkbox"/> My	4	Kinematic Hardening	Properties...
<input checked="" type="checkbox"/> Mz	4	Kinematic Hardening	Properties...

The 'Fiber Name' is set to 'P 30x40'.

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!!!!)

Add/Modify Time History Load Cases

General
Name : TH_1 Description :
Analysis Type : Linear Nonlinear
Analysis Method : Modal Direct Integration Static
Time History Type : Transient Periodic
End Time : 30 sec Time Increment : 0.01 sec
Step Number Increment for Output : 1

Order in Sequential Loading
 Subsequent to Load Case Initial Element Forces(Table)
Load Case : ST : TOT
 Cumulate D/V/A Results Keep Final Step Loads Constant

Damping
Damping Method : Mass & Stiffness Proportional
Mass and Stiffness Coefficients
Damping Type : Direct Specification : 0 Calculate from Modal Damping : 0.29684339527
 Mass Proportional : 0 Stiffness Proportional : 0.0030226907E
Coefficients Calculation
 Frequency [Hz] : Mode 1: 0 Mode 2: 0
 Period [sec] : Mode 1: 0.67 Mode 2: 0.6
Damping Ratio : Mode 1: 0.03 Mode 2: 0.03
Show Damping Ratio ...

Time Integration Parameters
Newmark Method : Gamma 0.5 Beta 0.25
 Constant Acceleration Linear Acceleration User Input

Nonlinear Analysis Control Parameters
 Perform Iteration Iteration Controls...
Damping Matrix Update : No Yes

OK Cancel Apply

Load > Time History Analysis Data > Time History Load Cases

ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

Step 5: Inserimento delle funzioni time-history

The main dialog box, titled "Add/Modify/Show Time History Functions", contains the following elements:

- Function Name:** TH_1X
- Time Function Data Type:** Acceleration (selected), Normalized Accel., Force, Moment, Normal.
- Scale Factor:** Scale Factor (selected) with value 0.716 mm/sec²; Maximum Value (0) mm/sec².
- Gravity:** 9806 mm/sec²
- Graph Options:** X-axis log scale, Y-axis log scale, F.F.T (all unchecked).
- Buttons:** Import, Earthquake, Heel Drop.
- Table:**

	Time (sec)	Function (mm/sec ²)
1	0.0000	0.0049
2	0.0100	0.0135
3	0.0200	0.0208
4	0.0300	0.0148
5	0.0400	0.0009
6	0.0500	-0.0048
7	0.0600	0.0042
8	0.0700	-0.0034
9	0.0800	-0.0501
10	0.0900	-0.1092
11	0.1000	-0.1285
12	0.1100	-0.0979
13	0.1200	-0.0514
14	0.1300	-0.0130

The graph shows "Time History Data" with a red line plot of acceleration over time, peaking around 0.05 seconds.

The smaller "Time History Functions" window shows a list:

Forcing Function	Function Type	Data Type
TH_1X	Time	Accel

Buttons on the right of the smaller window: Add Time Function, Add Sinusoidal, Modify/Show, Delete, Close.

Load > Time History Analysis Data > Time Forcing Functions

ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

Step 5: Inserimento delle funzioni time-history

Add/Modify/Show Time History Functions

Function Name: TH_1Y

Time Function Data Type: Normalized Accel. Acceleration Force Moment Normal

Scale Factor: Scale Factor: 0.716 Maximum Value: 0 mm/sec²

Gravity: 9806 mm/sec²

Graph Options: X-axis log scale Y-axis log scale F.F.T

	Time (sec)	Function (mm/sec ²)
1	0.0000	-0.0038
2	0.0100	-0.0102
3	0.0200	-0.0160
4	0.0300	-0.0133
5	0.0400	-0.0028
6	0.0500	0.0078
7	0.0600	0.0048
8	0.0700	-0.0102
9	0.0800	-0.0173
10	0.0900	-0.0017
11	0.1000	0.0205
12	0.1100	0.0194
13	0.1200	-0.0056
14	0.1300	-0.0224

Description:

Generate Earthquake Response Spectrum...

OK Cancel Apply

Load > Time History Analysis Data > Time Forcing Functions

ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

Step 6: Definizione delle componenti che costituiscono la registrazione

Time History Analysis Data

Ground Acceleration

Time History Load Case Name
TH_1

Function for Direction-X
Function Name : TH_1X
Scale Factor : 1
Arrival Time : 0 sec

Function for Direction-Y
Function Name : TH_1Y
Scale Factor : 1
Arrival Time : 0 sec

Function for Direction-Z
Function Name : NONE
Scale Factor : 1
Arrival Time : 0 sec

Angle of Horizontal Ground Acc.
0 [deg]

Case Name	Angle of Acc.
TH_1	0

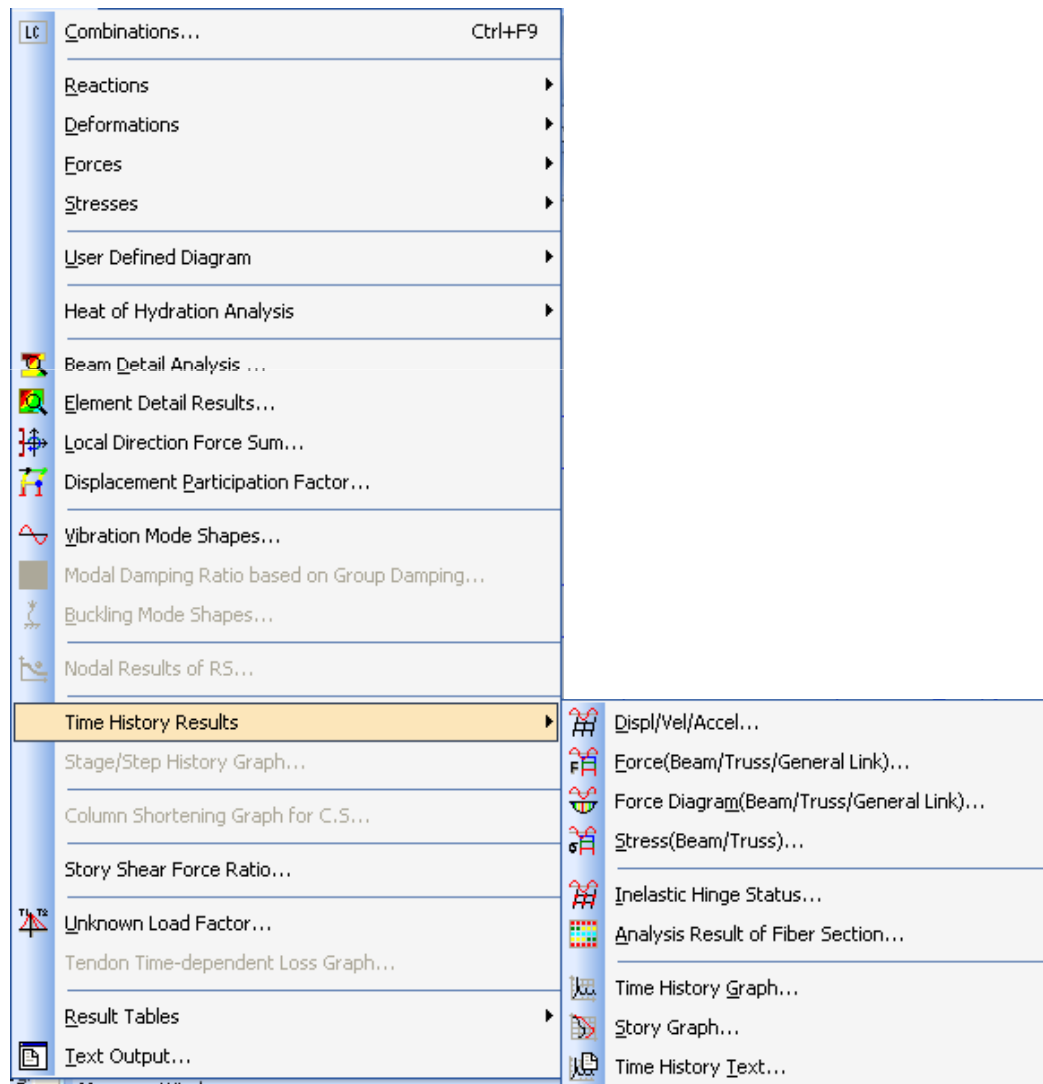
Operations
Add Modify Delete

Close

Load > Time History Analysis Data > Ground Acceleration

ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

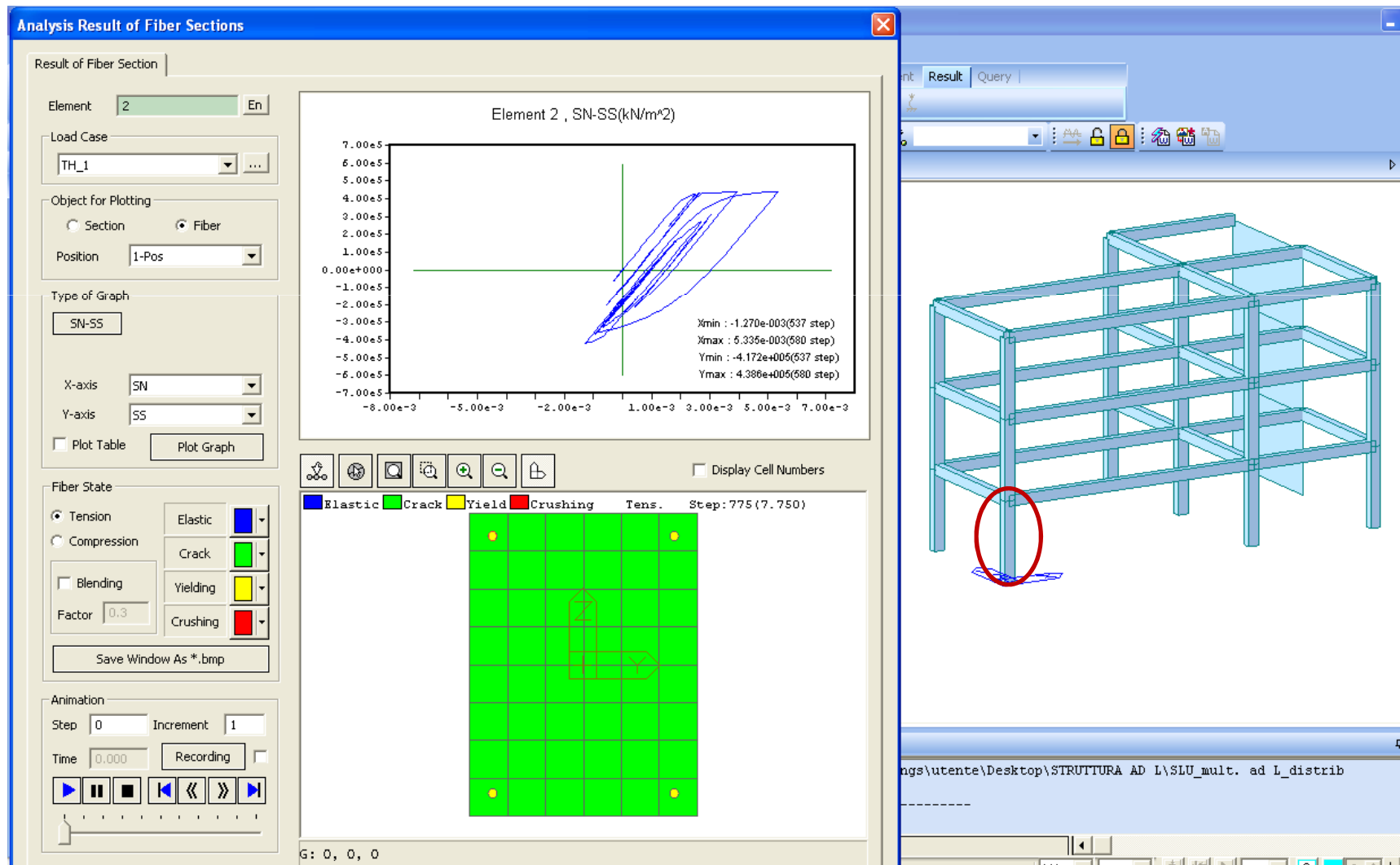
Step 7: Analisi ed interpretazione dei risultati



Lista dei comandi per interpretare l'analisi dinamica non lineare

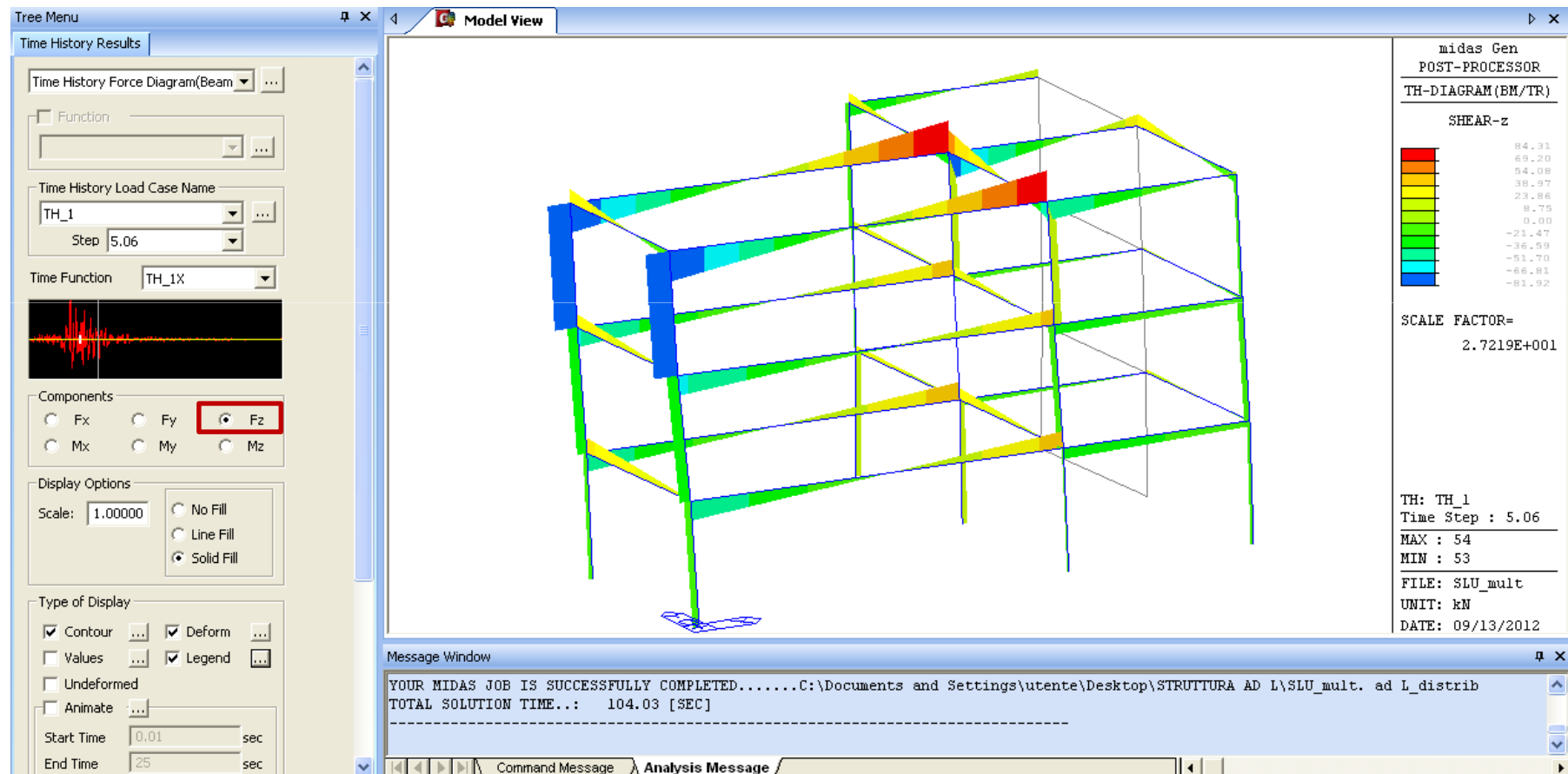
ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

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

The screenshot displays the MIDAS Gen software interface. The main window shows a 3D model of a metal frame structure. The left panel, titled 'Time History Results', contains the following settings:

- Time History Disp/Vel/Accel: [Dropdown]
- Function: [Dropdown]
- Time History Load Case Name: TH_1
- Step: 5.55
- Time Function: TH_1X
- Time Function Graph: [Graph showing a red waveform]
- Display Type: Displ., Vel., Accel.
- Components: DX, DY, DZ, DXY, DYZ, DXYZ
- Type of Display: Deform, Undeformed, Values, Legend, Animate
- Start Time: 0.01 sec
- End Time: 25 sec
- Increment: 0.01 sec
- Set Default Time button

The right panel displays the analysis results:

```
midas Gen
POST-PROCESSOR
TH-DISPL/VEL/ACCEL
RESULTANT
X-DIR= 1.699E-002
NODE= 29
Y-DIR= -7.666E-003
NODE= 5
Z-DIR= 1.039E-003
NODE= 29
COMB.= 1.710E-002
NODE= 25
SCALE FACTOR=
4.502E+001
TH: TH_1
Time Step : 5.55
MAX : 25
MIN : 1
FILE: SLU_mult
UNIT: m
DATE: 09/13/2012
```

The bottom panel, titled 'Message Window', shows the following text:

```
YOUR MIDAS JOB IS SUCCESSFULLY COMPLETED.....C:\Documents and Settings\utente\Desktop\STRUTTURA AD L\SLU_mult. ad L_distrib
TOTAL SOLUTION TIME...: 104.03 [SEC]
```

spostamento

ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

Step 7: Analisi ed interpretazione dei risultati

The screenshot displays the MIDASGEN software interface during a time history analysis. The main window shows a 3D model of a frame structure. The 'Results' menu is open, and the 'Time History Results' option is selected, which has opened a sub-menu. The sub-menu options include: Displ/Vel/Accel..., Force(Beam/Truss/General Link)..., Force Diagram(Beam/Truss/General Link)..., Stress(Beam/Truss)..., Inelastic Hinge Status..., Analysis Result of Fiber Section..., Time History Graph... (highlighted), Story Graph..., and Time History Text....

The 'Tree Menu' on the left side of the interface shows the following structure:

- Works
 - Analysis Control Data
 - Eigenvalue Analysis [Type=Eigenvectors]
 - Structures
 - Nodes : 35
 - Elements : 48
 - Properties
 - Material : 1
 - Section : 1
 - Thickness : 1
 - Inelastic Hinge Properties : 1
 - Inelastic Hinges : 18
 - Inelastic Material Properties : 2
 - Fiber Division of Section : 1
 - Boundaries
 - Supports : 8
 - Masses
 - Loads to Masses : 3
 - Static Loads
 - Static Load Case 1 [PP ;]
 - Static Load Case 2 [Gk ;]
 - Static Load Case 3 [Qk ;]
 - Static Load Case 4 [TOT ;]
 - Time History Analysis
 - Time History Load Cases : 1
 - Time Forcing Functions : 2
 - Ground Acceleration : 1

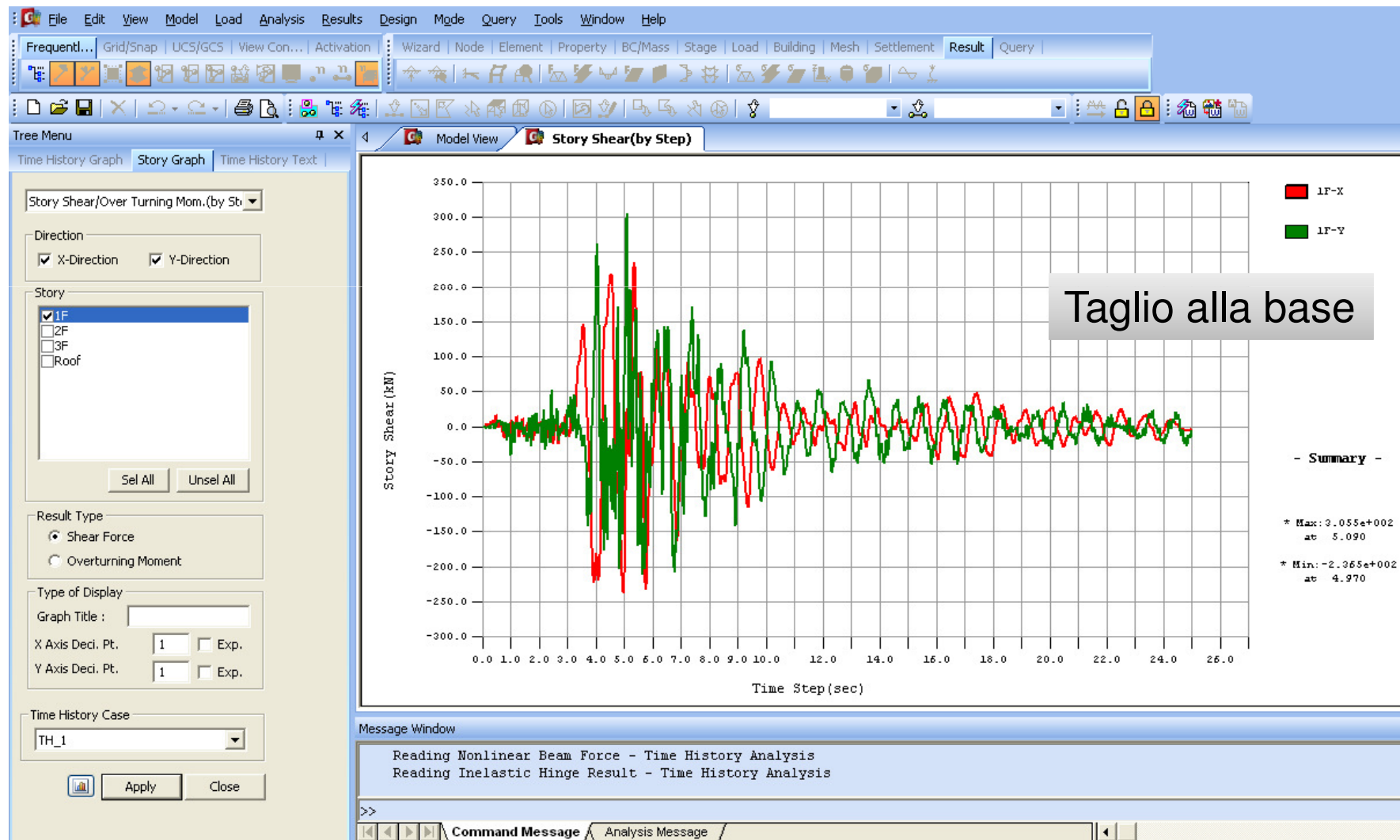
The 'Message Window' at the bottom displays the following text:

```
Reading Nonlinear Beam Force - Time History Analysis
Reading Inelastic Hinge Result - Time History Analysis
```

The status bar at the bottom shows: Time History Graph, Node-26, U: 0, 5, 9, G: 0, 5, 9, kN, m, nonk, 131, 2.

ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

Step 7: Analisi ed interpretazione dei risultati



ESEMPIO DI MODELLAZIONE ED ANALISI IN MIDASGEN

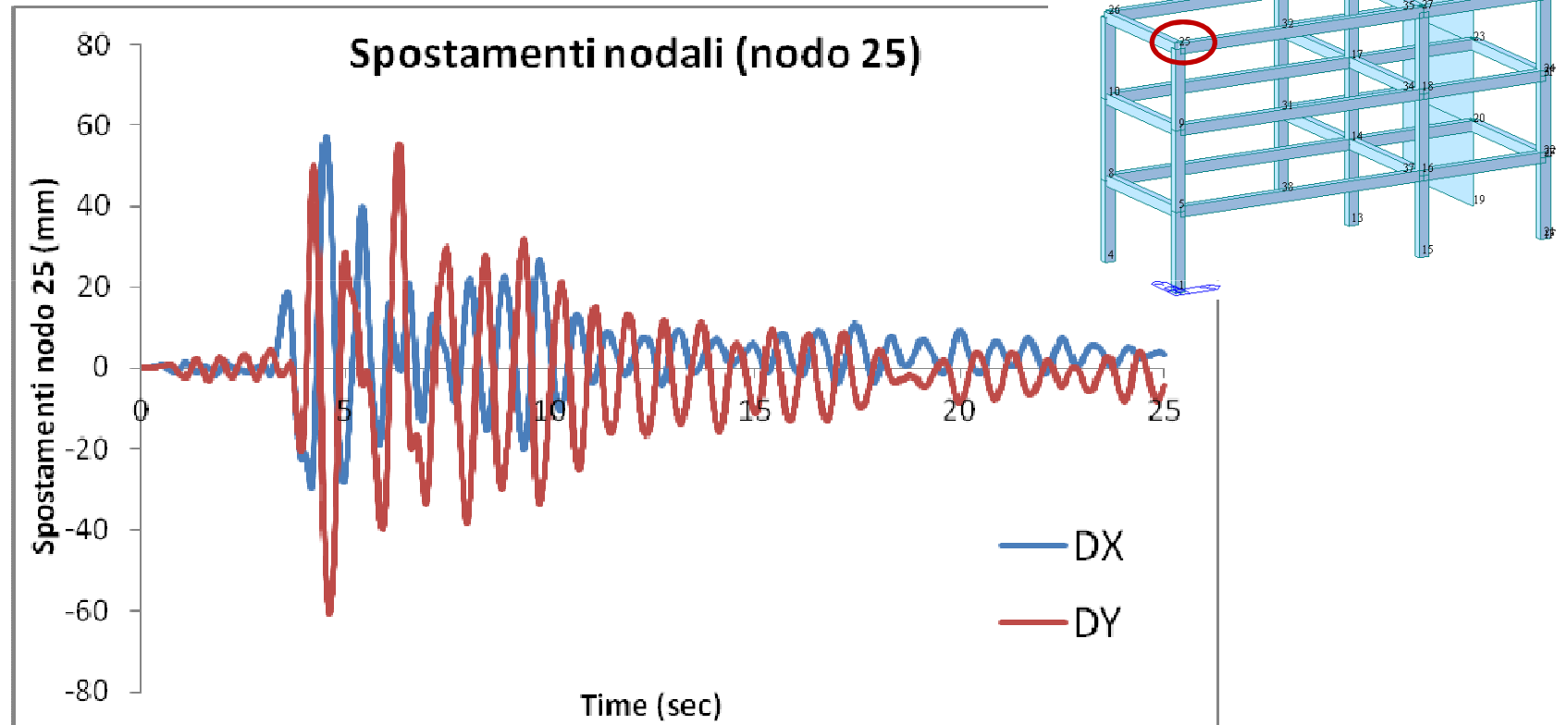
Step 7: Analisi ed interpretazione dei risultati

The screenshot displays the MIDAS/Gen software interface. The main window shows a 3D model of a frame structure with nodes numbered 10 through 36. A text box labeled "Spostamenti nodali" (Node Displacements) is overlaid on the model. A tooltip for Node 25 shows its coordinates: X=0, Y=0, Z=9. The left sidebar contains the "Time History Text" panel, which is configured for "Displacement" output at "Time Step" intervals from 0.01 to 25. The "MIDAS/Text Editor" window in the foreground displays the output data for Node 25.

TIME	DX	DY	DZ	RX	RY	RZ
0.010	-3.329e-007	2.525e-007	-3.394e-009	1.171e-009	-4.539e-010	-9.996e-010
0.020	-1.644e-006	1.243e-006	-1.951e-008	4.678e-009	9.560e-009	-1.131e-008
0.030	-4.337e-006	3.295e-006	-5.213e-008	1.119e-008	4.237e-008	-5.570e-008
0.040	8.225e-006	6.304e-006	8.520e-008	1.580e-008	8.002e-008	1.218e-007

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**

- **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 rigidità 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.

- **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 rigidità degli attuatori)

- **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.

- **Smorzamento**

Per quanto riguarda lo smorzamento si è utilizzata la **formulazione classica della matrice di smorzamento \mathbf{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 .

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

- **Smorzamento**

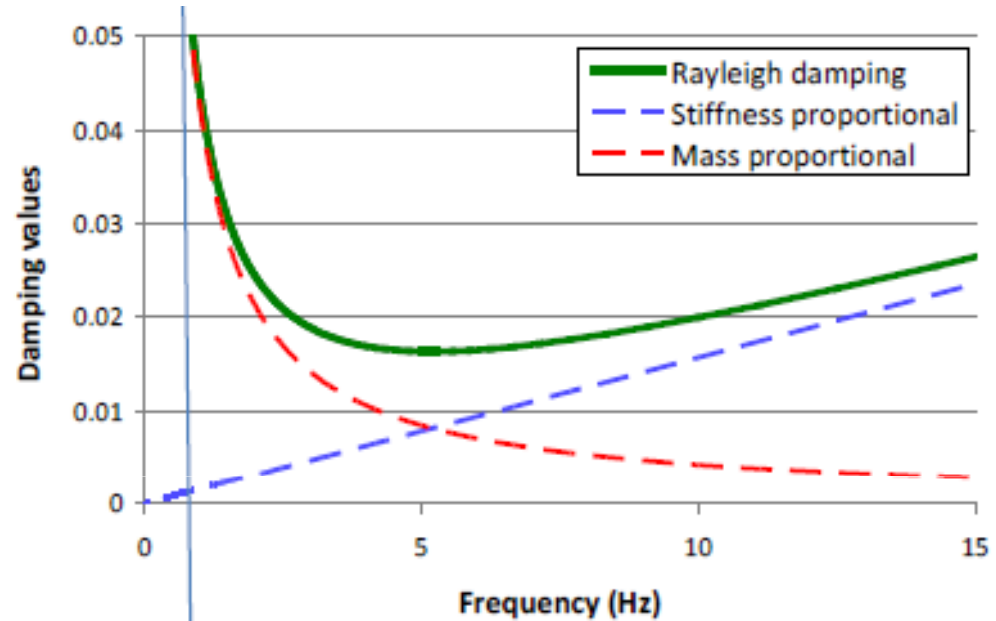
Le due frequenze utilizzate per definire ξ devono considerare tutti i modi di vibrazione che hanno masse partecipanti significative per la risposta del telescopio.

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.

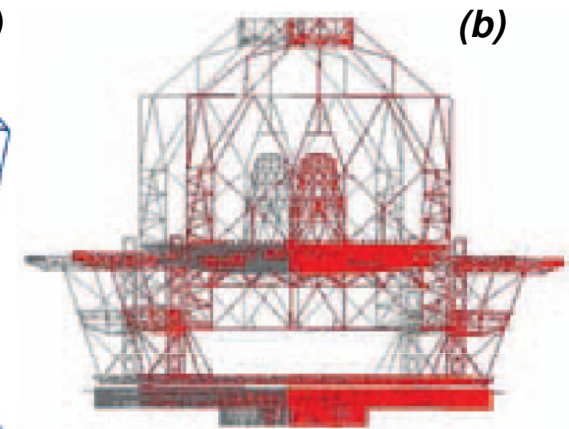
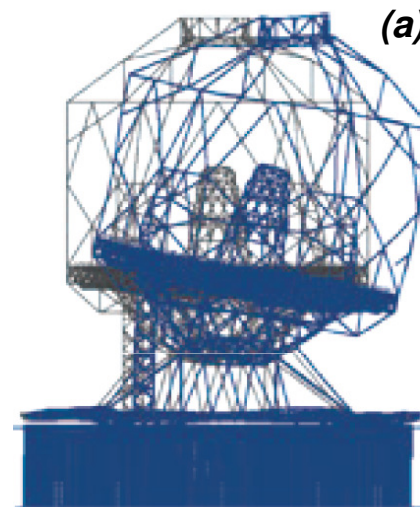
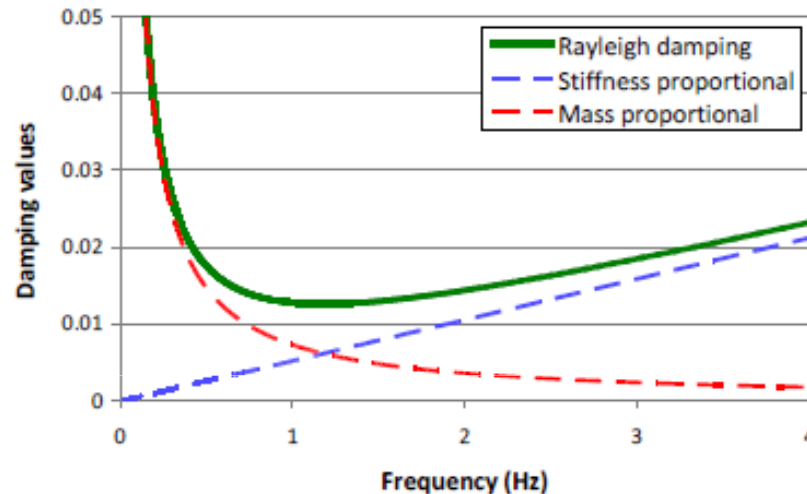


Base fissa - smorzamento

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.

- **Smorzamento**



Sistema isolato - smorzamento

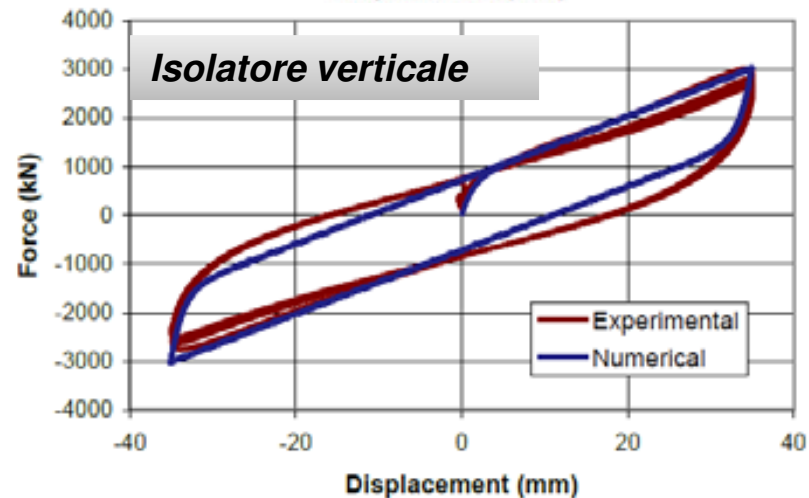
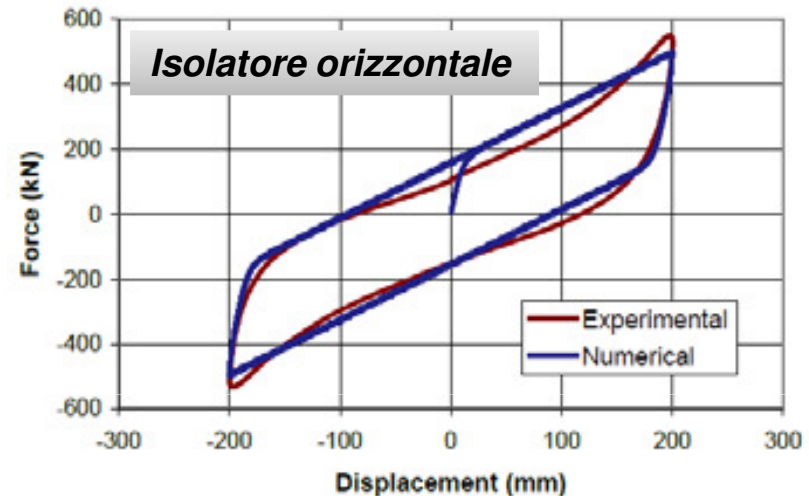
(a) Base fissa - 1° modo di vibrare (b) Sistema isolato - 1° modo di vibrare

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

- **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.

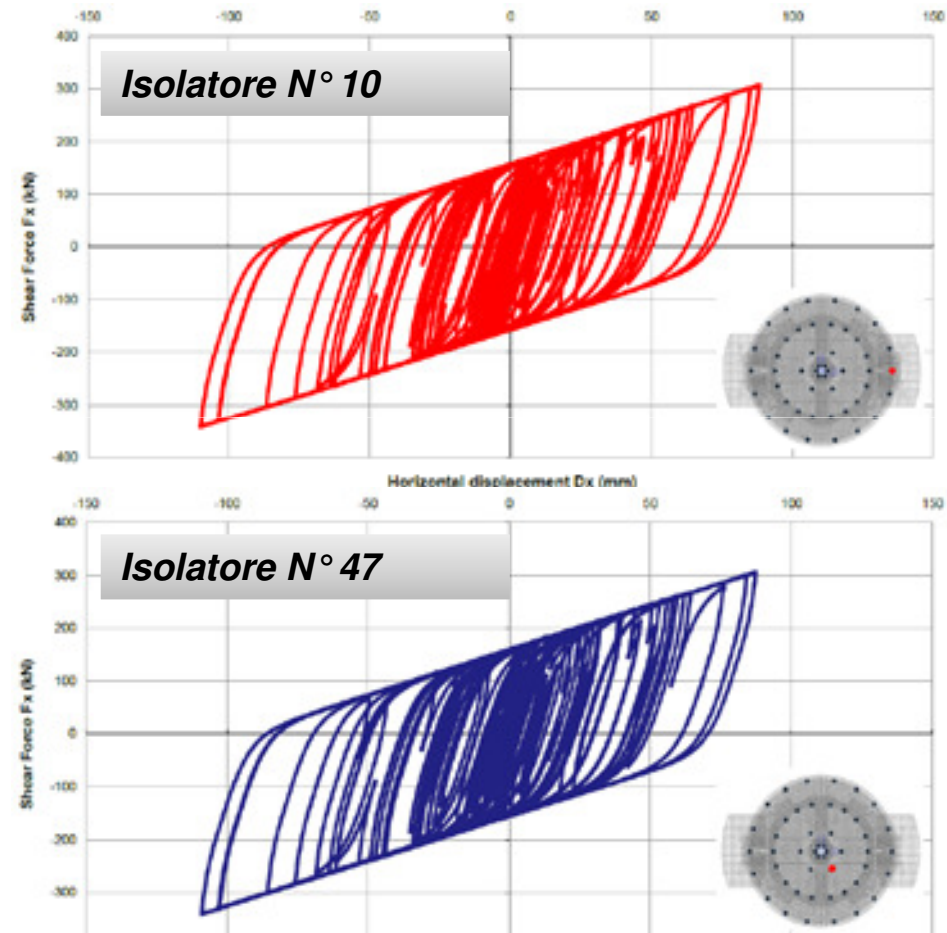
Il modello numerico tarato riproduce fedelmente il comportamento sperimentale ciclico degli isolatori



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

- **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

- **Risultati**

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

