



Softing

Modellazione di isolatori

a cura di Giuseppe Pascucci

Indice

Premessa.....	4
Isolatori – stato dell'arte.....	5
Isolatori elastometrici LRB.....	5
Descrizione.....	5
Materiali.....	6
Modellazione	6
Isolatori a pendolo.....	7
Descrizione.....	7
Materiali.....	7
Modellazione.....	8
Isolatori ad attrito.....	9
Descrizione.....	9
Modellazione con Nòlian di una struttura di test.....	10
Descrizione del modello.....	10
Geometria ed elementi.....	10
Vincoli.....	11
Modello di calcolo – Schema di vincolamento.....	11
Materiali	11
Azioni.....	12
Materiali non lineari.....	14
Materiali elastici KV, KR, KM.....	14
Isolatore Elastomerico	14
Isolatore a pendolo inverso.....	16
Isolatore ad attrito.....	18
Analisi effettuate sulla struttura di test.....	19
Risultati del test.....	20
Isolatore elastomerico con nucleo in piombo (LRB).....	20
Isolatore a pendolo.....	20
Isolatore ad attrito.....	21
Conclusioni sul test.....	21
Esempio di utilizzo degli isolatori in strutture complesse.....	22
Premessa.....	22
Descrizione del modello utilizzato.....	22

Geometria.....	22
Vincoli.....	23
Materiali	23
Azioni.....	24
Registratori.....	27
Analisi effettuate.....	28
Risultati delle analisi.....	29
Isolatore elastomerico con nucleo in piombo (LRB).....	30
Isolatore a pendolo (PSF).....	32
Isolatore ad attrito.....	35
Dampers viscosi.....	38
Premessa	38
Descrizione del modello.....	38
Azioni	38
Descrizione del modello reologico.....	39
Risultato delle analisi di integrazione di retta delle equazione del moto.....	39
Modellazione con Nolian.....	41
Materiali non lineari.....	42
Assegnazione delle azioni.....	43
Definizione dei risultati	44
Analisi	45
Visualizzazione dei risultati.....	46
Analisi dei risultati	48
Deformate della struttura.....	48
Conclusioni.....	50

Premessa

Nel presente documento sono riportati una serie di esempi pratici di utilizzo effettuati per alcuni elementi dissipativi e materiali non lineari definiti “isolatori” implementati nell'ambiente Earthquake Engineering di Nòlian All-In-One.

Gli esempi riguardano:

- isolatori elastomerici LRB con nucleo in piombo
- isolatori ad attrito
- isolatori a pendolo
- isolatori viscosi

In una prima parte del testo abbiamo studiato e validato il singolo isolatore considerando una struttura ad un grado di libertà al solo scopo di definire i diversi parametri da inserire nei dialoghi di Nòlian ambiente EarthQuake Engineering.

Successivamente abbiamo effettuato l'analisi di una struttura piuttosto semplice anche se più complessa costituita da un telaio a con 4 pilastri e 5 piani.

Su tale struttura abbiamo applicato la stessa forzante in accelerazione (accelerogramma generato) per valutare a parità di struttura quali sono i pro e i contro dei diversi dispositivi di isolamento.

In questo manuale si assume la conoscenza delle procedure per l'utilizzo di Nòlian Earthquake Engineering.

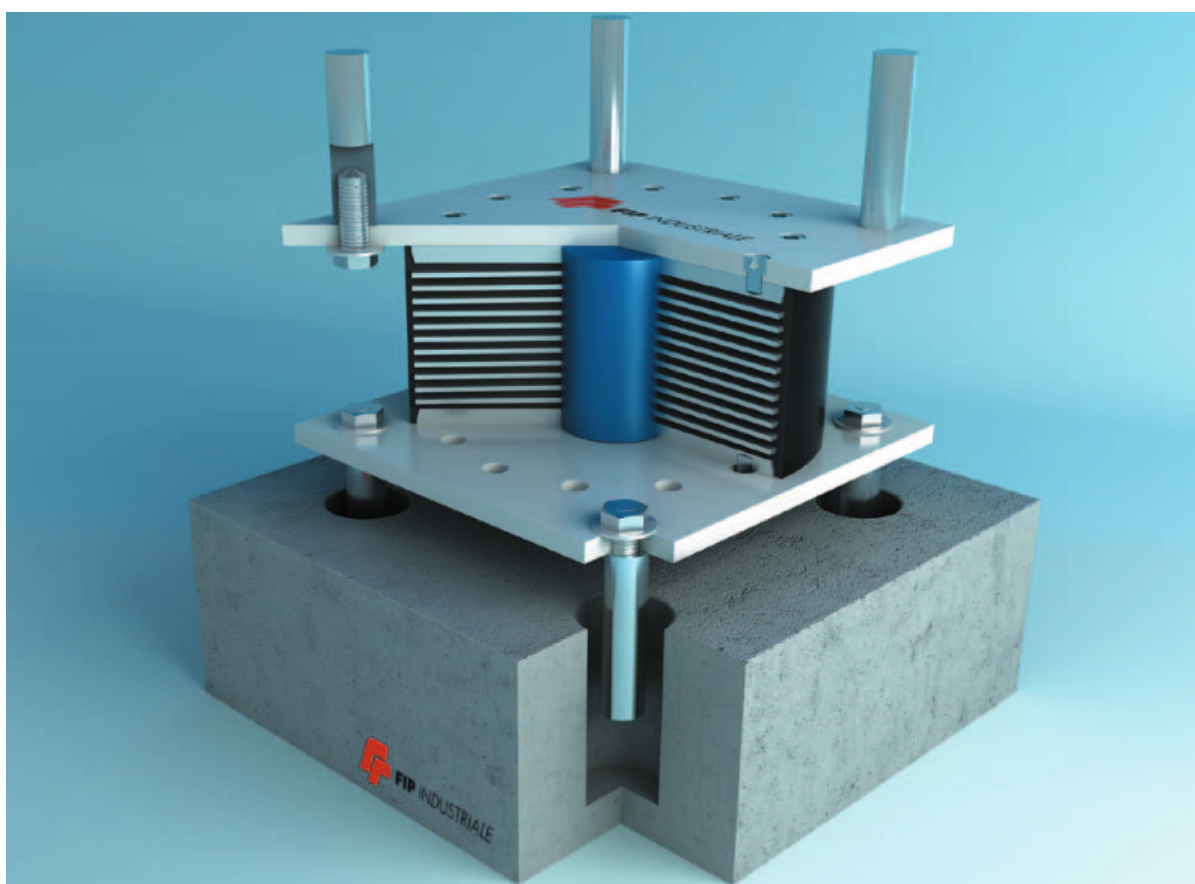
Isolatori – stato dell'arte

In questo capitolo riportiamo lo stato dell'arte degli isolatori commerciali più utilizzati.

Isolatori elastometrici LRB

Descrizione

Gli isolatori elastomerici con nucleo in piombo della serie LRB (Lead Rubber Bearings), sono dispositivi d'appoggio in elastomero armato, cioè costituiti da strati alterni di acciaio e di elastomero collegati mediante vulcanizzazione, con un nucleo centrale in piombo di forma cilindrica. La dissipazione di energia fornita dal nucleo in piombo, mediante la sua plasticizzazione, consente di ottenere un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente fino a circa il 30%, cioè il doppio di quello ottenibile con gli isolatori elastomerici ad alto smorzamento (serie SI). Grazie all'elevata capacità dissipativa, si riesce a ridurre lo spostamento orizzontale, rispetto a quello di un sistema di isolamento con la stessa rigidezza equivalente ma con minore capacità dissipativa. Solitamente sono a pianta circolare, ma possono essere realizzati anche con sezione quadrata, eventualmente con più di un nucleo in piombo. (da scheda tecnica LRB di Fip Industriale)



Isolatore elastomerico con nucleo in piombo (immagine tratta dal sito di Fip Industriale)

Materiali

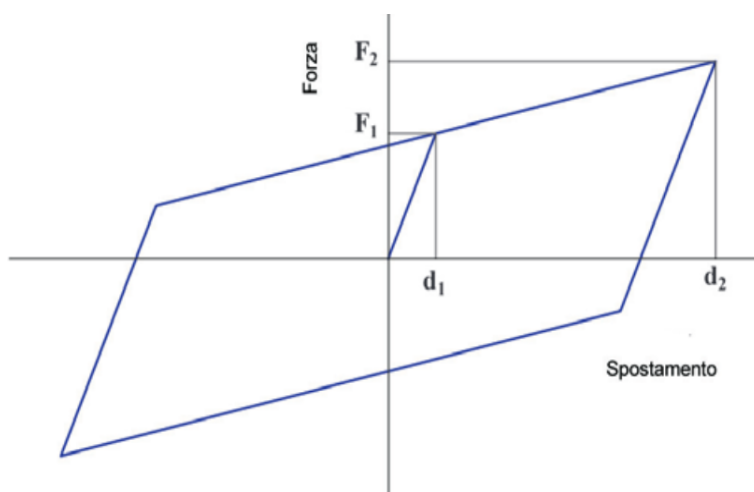
Le mescole elastomeriche utilizzate normalmente per la produzione degli isolatori elastomerici con nucleo in piombo della serie LRB sono caratterizzate da un modulo dinamico equivalente a taglio G_{din} pari a 0,4 MPa (mescola S) o 0,6 MPa (mescola SN).

Possono essere utilizzate anche mescole elastomeriche con valori superiori del modulo G_{din} fino a 1,4 MPa.

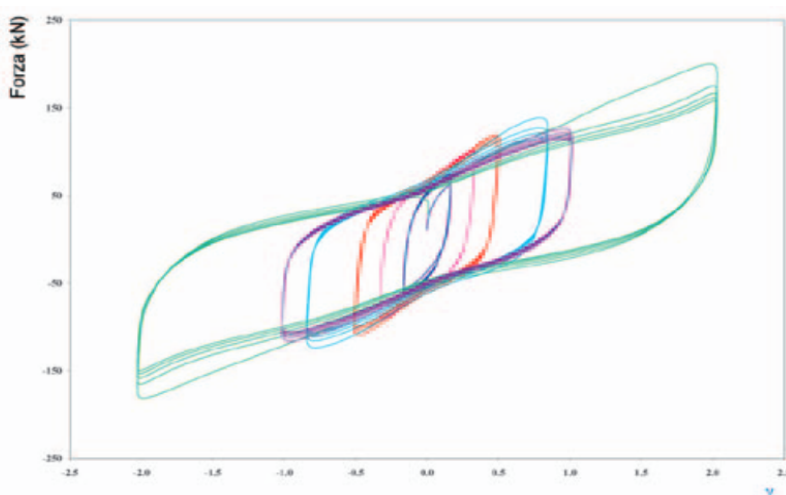
Il piombo utilizzato è di elevata purezza, superiore al 99,85%

Modellazione

Il tipico ciclo isteretico forza-spostamento di un isolatore con nucleo in piombo può essere schematizzato con una relazione bilineare. I parametri d_1 , F_1 , d_2 ed F_2 , che definiscono la bilineare, sono indicati nelle tabelle seguenti per ciascuno degli isolatori LRB standard.



Il diagramma isteretico presentato fornisce una buona approssimazione di quello reale. Un esempio del diagramma ottenuto sperimentalmente è riportato nel seguito. Il diagramma è stato tratto dalla pag. 5 della scheda tecnica degli isolatori LRB di Fip Industriale



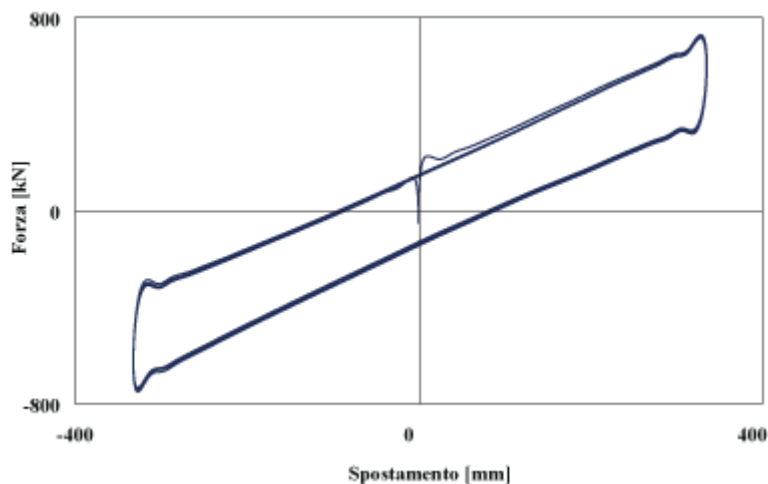
Tipico diagramma isteretico di un isolatore elastomerico con nucleo in piombo ottenuto con prove dinamiche ad ampiezza crescente

Isolatori a pendolo

Descrizione

Gli isolatori a scorrimento a superficie curva usano la forza di gravità come forza di ricentraggio; il principio di funzionamento è quello del pendolo. La dissipazione di energia è fornita dall'attrito della superficie di scorrimento principale. I parametri del legame costitutivo bilineare dipendono dal raggio di curvatura e dal coefficiente di attrito.

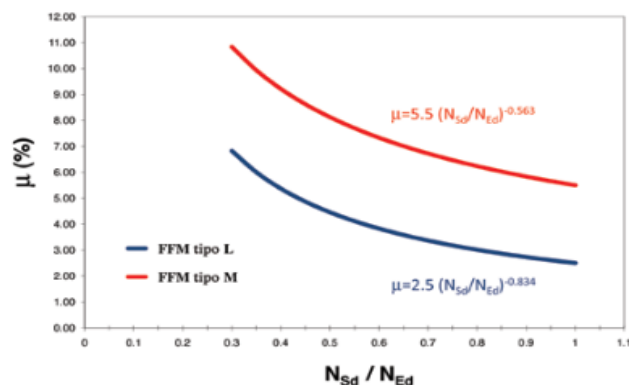
Una tipica curva sperimentale per questo tipo di isolatori è la seguente (vedi scheda tecnica isolatori Fipe Fip-D)



Materiali

La scelta del materiale di scorrimento è essenziale per dare agli isolatori a scorrimento a superficie curva un comportamento ottimale in termini di:

- i) capacità portante;
- ii) coefficiente d'attrito e conseguente dissipazione d'energia;
- iii) stabilità del ciclo isteretico forza-spostamento sia con la temperatura che durante cicli ripetuti;
- iv) durabilità;
- v) resistenza all'usura

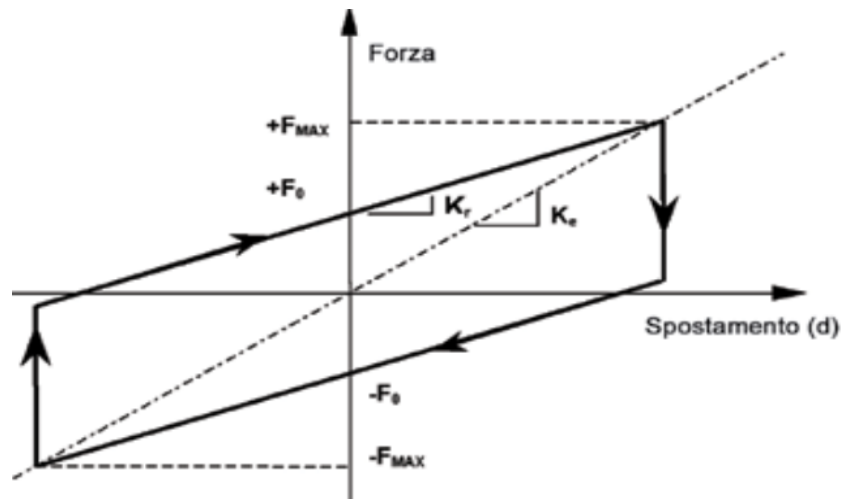


Legge attrito tipica per gli isolatori tipo Fipcon FFM tipo L e FFM tipo M

Il grafico è tratto dalle schede tecniche di isolatori elastomerici di Fip Industriale

Modellazione

Il modello matematico rappresenta il funzionamento degli isolatori a scorrimento a superficie curva (FPS) è la curva bilineare Forza-Spostamento mostrata nel grafico sottostante,



dove:

$$F_D = \mu \cdot N_{sd}$$

forza d'attrito sviluppata dall'isolatore

$$F_{max} = F_D + K_r \cdot d = \mu \cdot N_{sd} + N_{sd} / R \cdot d$$

Forza orizzontale massima

$$K_r = N_{sd} / R$$

Rigidezza di richiamo

μ

coefficiente di attrito

N_{sd}

carico verticale agente sull'isolatore

d

spostamento

Il carico verticale N_{sd} , utilizzato per modellare il comportamento degli isolatori a superficie curva sotto l'azione sismica, corrisponde abitualmente al carico verticale quasi-permanente, ossia alla massa moltiplicata per l'accelerazione di gravità, che è il carico verticale medio agente sull'isolatore durante il sisma. Talvolta vengono utilizzati modelli dinamici non lineari che prendono in considerazione la variazione del carico verticale durante il terremoto.

Isolatori ad attrito

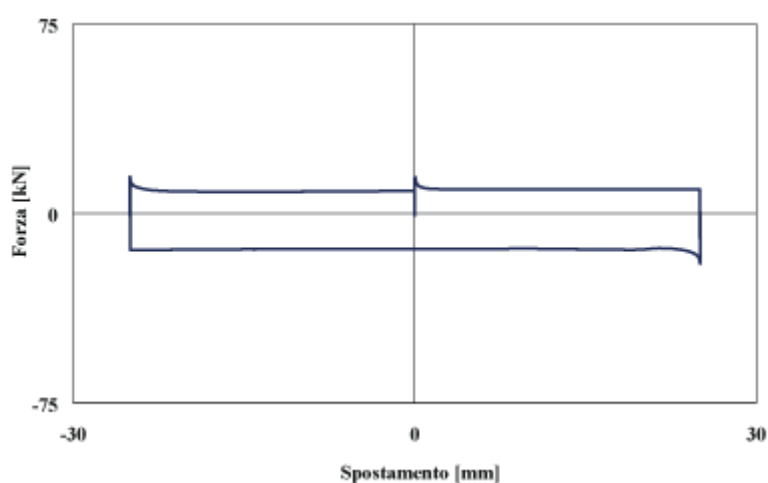
Descrizione

Gli isolatori a scorrimento a superficie piana sono apparecchi di appoggio multirezionali con superfici di scorrimento a basso attrito. Sono sempre utilizzati in combinazione con altri dispositivi antisismici (isolatori e/o dissipatori).

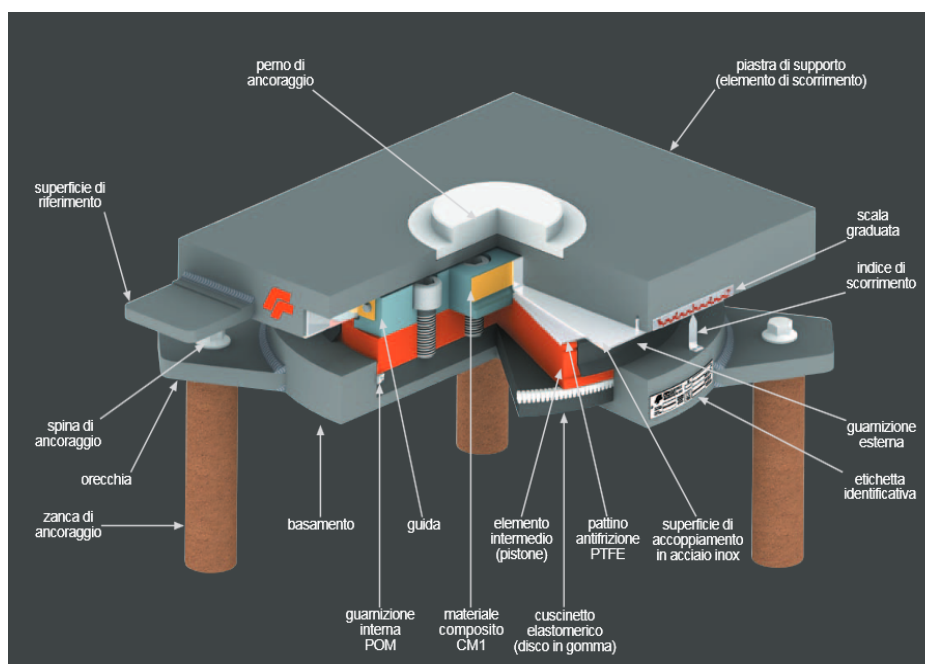
Dovendo generalmente consentire ampi movimenti a 360°, sono caratterizzati da un elemento di scorrimento di notevoli dimensioni, di forma circolare o quadrata.

Il coefficiente di attrito dinamico è circa dell'1%, quindi il loro contributo alle forze orizzontali è quasi sempre trascurabile.

Un tipico grafico di un isolatore di questo genere è riportata di seguito. La fonte dei testi e dell'immagine è il sito di Fip Industriale.



Un tipico appoggio è costituito dai seguenti elementi



Modellazione con Nòlian di una struttura di test

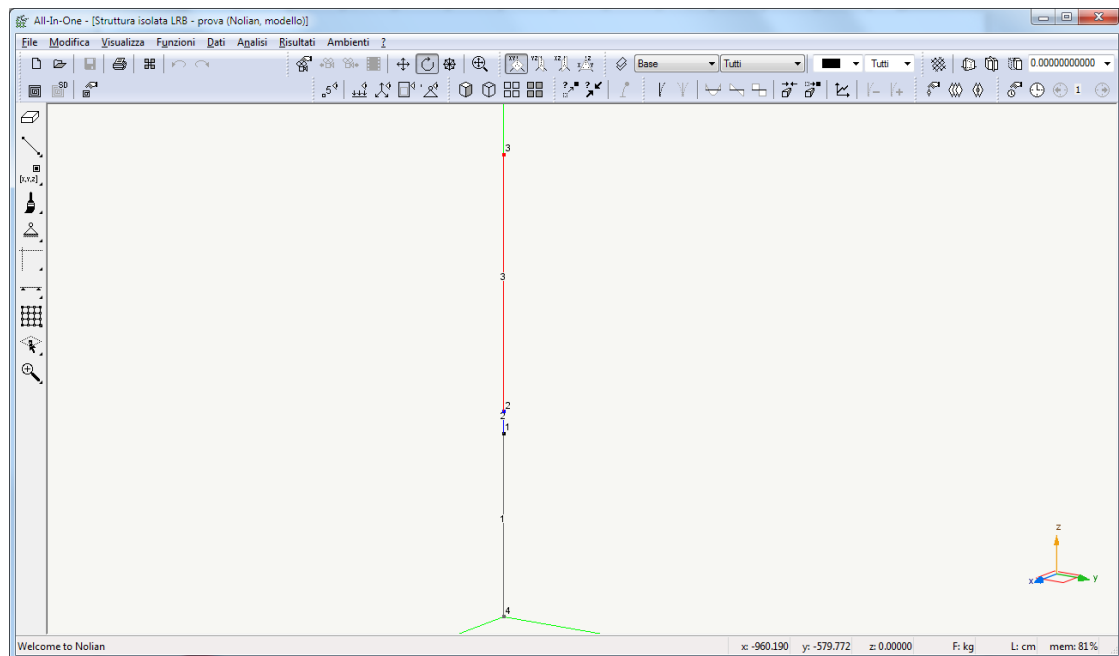
Descrizione del modello

Geometria ed elementi

Per testare il singolo elemento isolatore si è scelto di modellare una piccola struttura identica per tutti i sistemi costituita da:

1. Una colonna di appoggio dell'isolatore modellato con un elemento monodimensionale tipo trave rettangolare disposto verticalmente incastrato a terra (elemento n. 1);
2. l'isolatore modellato come un elemento boundary, disposto verticalmente (elemento n. 2)
3. un pilastro rettangolare (elemento n. 3)

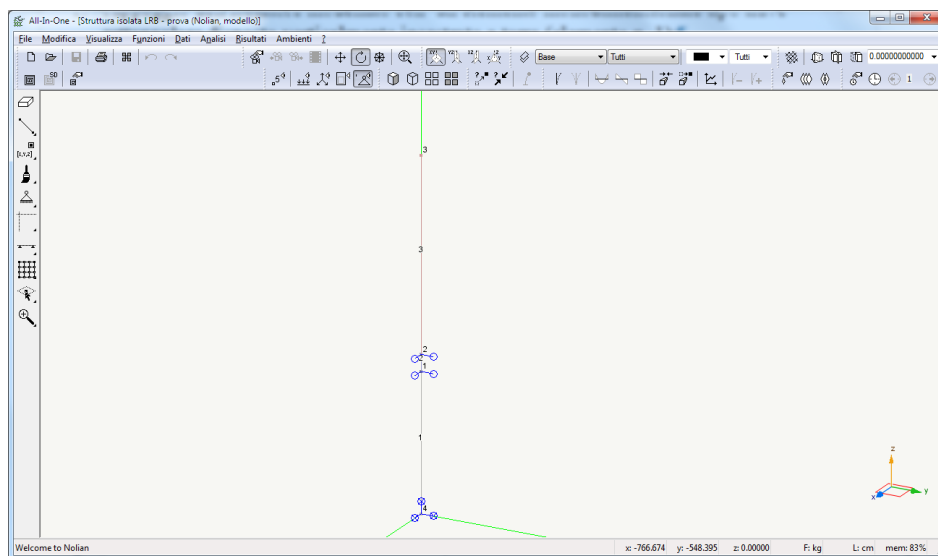
Il modello è riportato nella figura seguente:



Modello di calcolo per la simulazione dell'isolatore

Vincoli

I vincoli sono di incastro per il nodo n. 4 di attacco a terra mentre sono state bloccate le rotazioni sull'isolatore per simulare la struttura di base che deve essere molto rigida



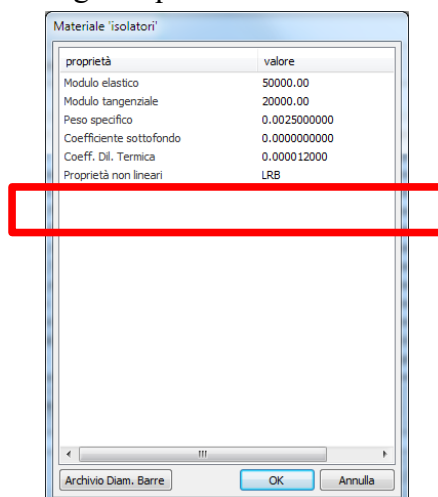
Modello di calcolo – Schema di vincolamento

Materiali

Per i due pilastri rettangolari delle dimensioni di 120x120 per il pilastro inferiore e 30x30 per quello superiore si è considerato un metamateriale di tipo calcestruzzo C25/30.

Per il boundary il metamateriale è di tipo generico. Nell'ultima riga del dialogo dei metamateriali troveremo il campo “Proprietà non lineari” al quale sarà associato di volta in volta il materiale non lineare definito nell'ambiente Earthquake Engineering.

Nella figura seguente vediamo il dialogo in questione.



Metamateriale per elementi LRB

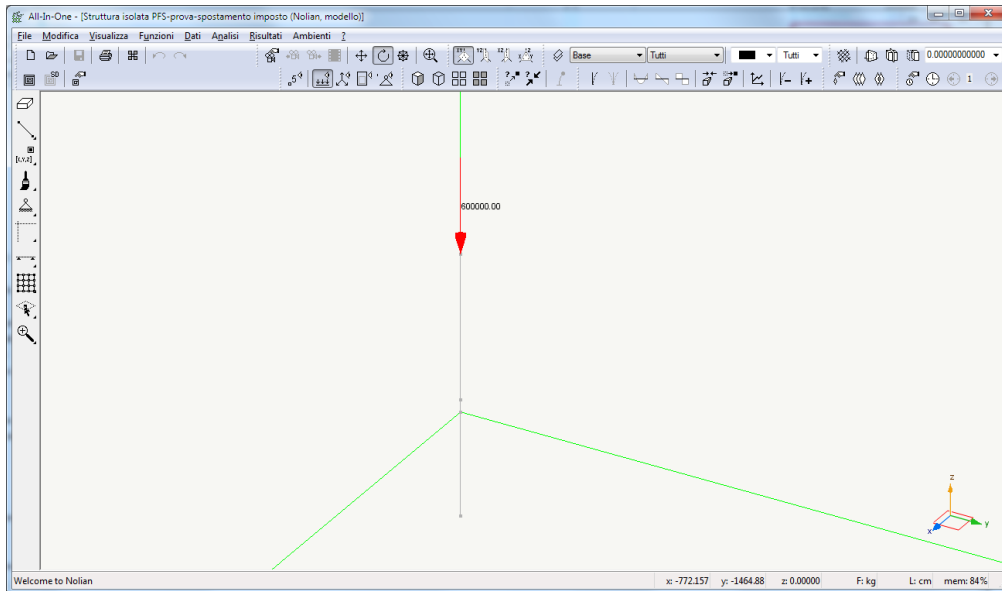
Nei prossimi capitolo vedremo come definire i parametri dei diversi materiali non lineari.

Azioni

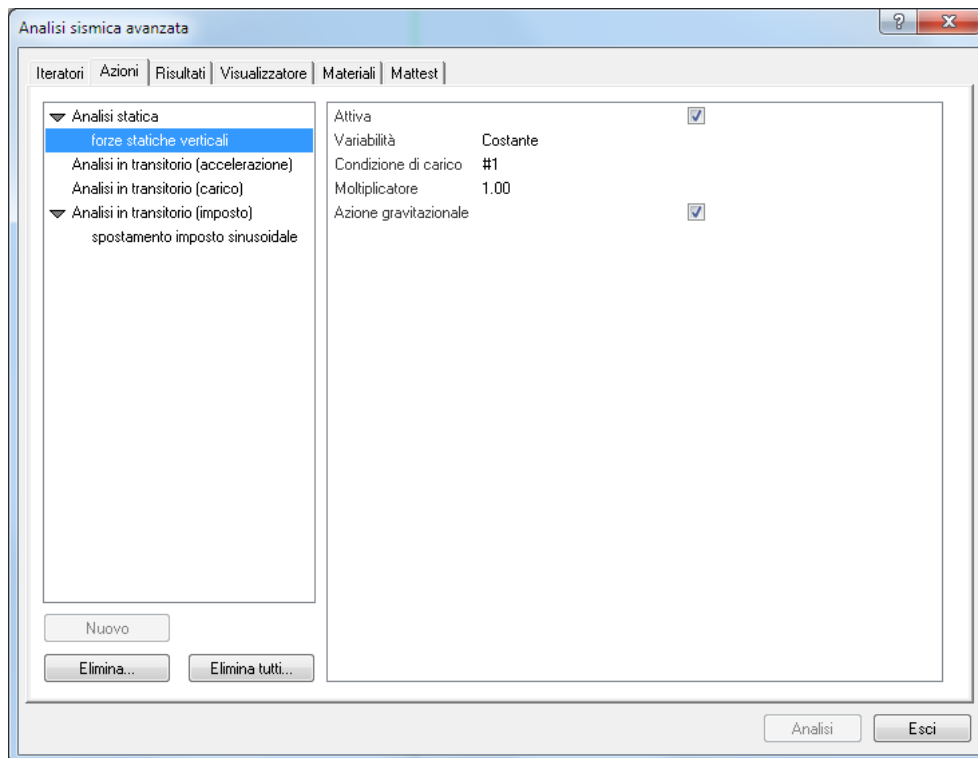
Le azioni definite per il modello di test sono:

Carichi verticali:

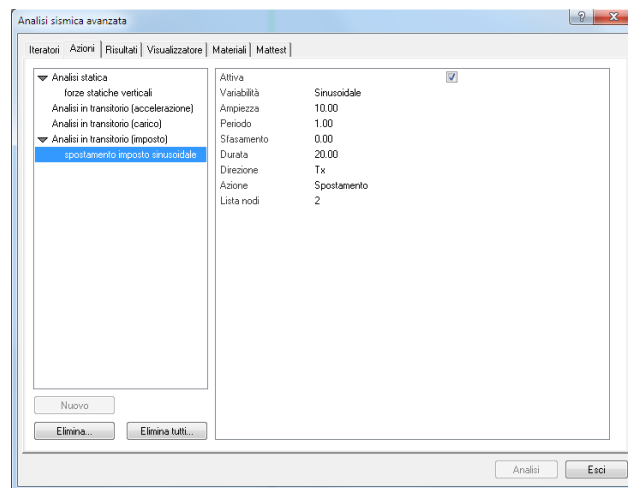
un carico verticale di 600000 concentrato per simulare l'azione dei carichi gravitazionali.



Associata poi nella scheda delle azione di Earthquake Engineering come forza costante di tipo gravitazionale.



Azione sinusoidale con spostamento imposto



Tali azioni ci permetteranno di valutare i cicli di isteresi degli isolatori e per controllare se i singoli elementi sono coerenti con quanto riportato nelle singole schede tecniche.

Come si vede dalla figura allegata i parametri sono:

variabilità	Sinusoidale
ampiezza	10,00 (LRB)– 30,00 (PFS e e attrito)
periodo	1,00
sfasamento	0,00
durata	20,00
direzione	Tx
azione	Spostamento
Lista nodi.	2

Sulla “lista nodi” viene riportato il nodo su cui imporre lo spostamento.

Materiali non lineari

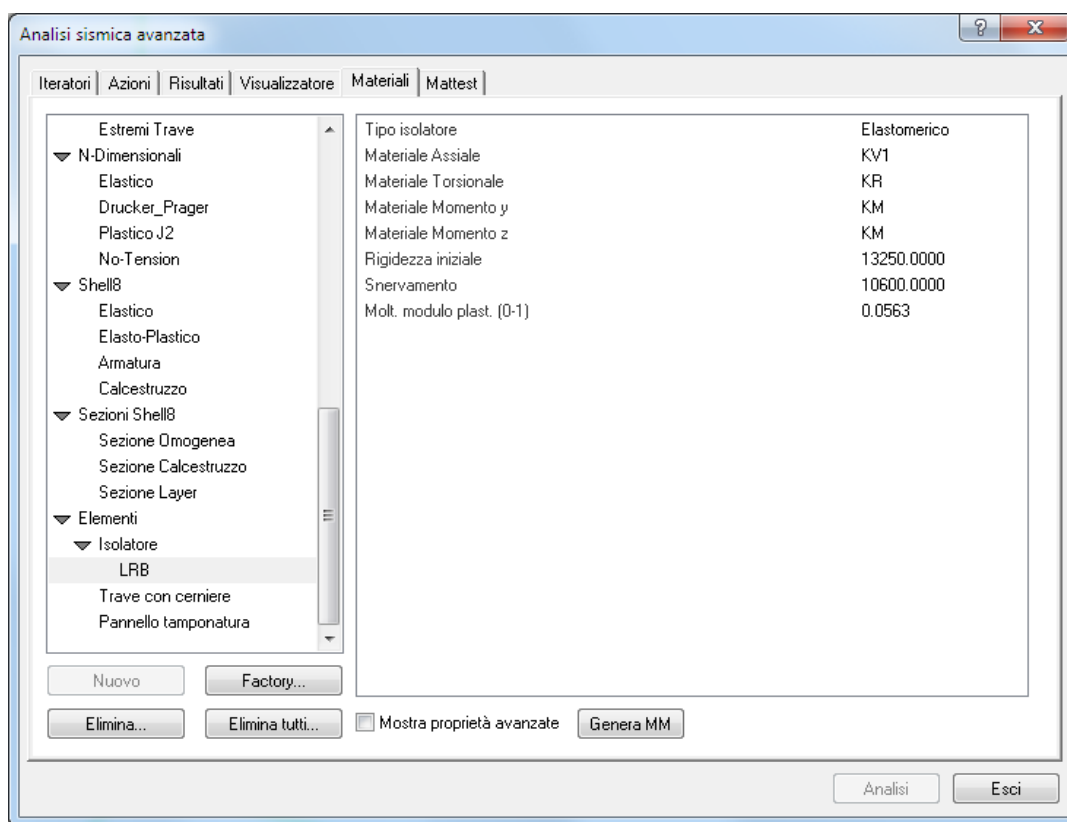
Materiali elastici KV, KR, KM

I materiali elastici Kv, Kr, Km simulano le costanti dell'isolatore riguardo le rigidezze assiali, torsionali e flessionali dell'isolatore. Queste caratteristiche sono solitamente riportate nella scheda tecnica degli isolatori.

Isolatore Elastomerico

Per eseguire l'analisi non lineare è necessario utilizzare il materiale “isolatore” che si trova nella sezione “elementi” dei materiali di Earthquake Engineering.

Cliccando su Nuovo e cambiamo il nome dell'isolatore immesso da senza titolo 1 a LRB cliccando sul nome. Il seguente dialogo rappresenta le caratteristiche di un isolatore LRB-s 500/100 – 110 di FIP industriale che ha uno spostamento massimo di 100mm:



Si dovranno inserire i seguenti parametri:

Tipo isolatore	elastomerico
Rigidezza iniziale	Vedi calcolo eseguito di seguito
Snervamento	Vedi calcolo eseguito di seguito
Moltiplicatore modulo plastico (da 0,00 a 1,00)	Vedi calcolo eseguito di seguito
Vediamo ora in modo puntuale come si calcolano i parametri da inserire nel dialogo per l'isolatore.	

I parametri dell'isolatore suddetto li possiamo prendere dalla scheda tecnica riportata nel seguito:

SPOSTAMENTO 100 mm

LRB-S	V	F _{zd}	K _e	ξ _e	F ₂	F ₁	d ₁	K _v	D _g	t _e	h	H	Z
	kN	kN	kN/mm	%	KN	KN	mm	kN/mm	mm	mm	mm	mm	mm
LRB-S 500/100-110	2700	3630	1.94	35	162	106	8	1164	500	100	197	247	550
LRB-S 500/100-120	4170	5430	2.08	33	164	129	8	1816	500	100	197	247	550
LRB-S 600/102-120	4830	6500	2.49	33	207	128	8	1715	600	102	190	240	650
LRB-S 650/102-120	6440	9190	2.68	30	223	129	8	2235	650	102	200	260	700
LRB-S 700/105-115	7250	10570	2.74	27	228	121	8	2374	700	105	197	257	750
LRB-S 750/112-125	9240	12530	3.08	28	257	143	9	2754	750	112	207	267	800
LRB-S 800/128-130	10310	13190	3.20	29	267	155	10	2577	800	128	223	283	850
LRB-S 850/128-130	12660	17040	3.40	27	284	157	10	3130	850	128	223	283	900
LRB-S 900/126-140	13490	19250	3.91	28	326	182	10	3359	900	126	228	288	950
LRB-S 1000/135-150	19280	26760	4.50	27	375	210	11	4344	1000	135	251	331	1050
LRB-S 1100/150-160	24050	32410	5.01	27	418	241	12	4725	1100	150	266	346	1150
LRB-S 1200/154-160	29180	38760	5.42	25	452	247	12	5498	1200	154	266	346	1250

Legenda

V	Carico verticale massimo agente sull'isolatore in presenza del sisma corrispondente allo SLC (allo spostamento d ₂ ^{SLC})
F _{zd}	Carico verticale massimo agente sull'isolatore in assenza di sisma (SLU), concomitante con rotazione 0 e spostamento orizzontale 10 mm
K _e	Rigidezza orizzontale equivalente (allo spostamento d ₂ ^{SLC})
ξ _e	Coefficiente di smorzamento viscoso equivalente (allo spostamento d ₂ ^{SLC})
F ₂	Forza massima (allo spostamento d ₂ ^{SLC})
F ₁	Forza al limite elastico
d ₁	Spostamento al limite elastico
K _v	Rigidezza verticale
D _g	Diametro elastomero
t _e	Spessore totale gomma
h	Altezza escluse piastre di ancoraggio
H	Altezza totale incluse piastre di ancoraggio
Z	Lato piastre di ancoraggio

La tabella è tratta dalle schede tecniche di isolatori elastomerici di Fip Industriale

Facendo riferimento nella figura al paragrafo “modellazione” dovremo calcolare:

La rigidezza iniziale K1 pari al rapporto fra F1 e d1.

$$K1 = F1/d1 = 106/8 = 13,25 \text{ KN/mm}$$

La rigidezza del ramo dopo lo snervamento K2 pari a:

$$K2 = (F2 - F1)/(d2 - d1) = (162 - 106)/(83 - 8) = 56/75 = 0,746 \text{ KN/mm}$$

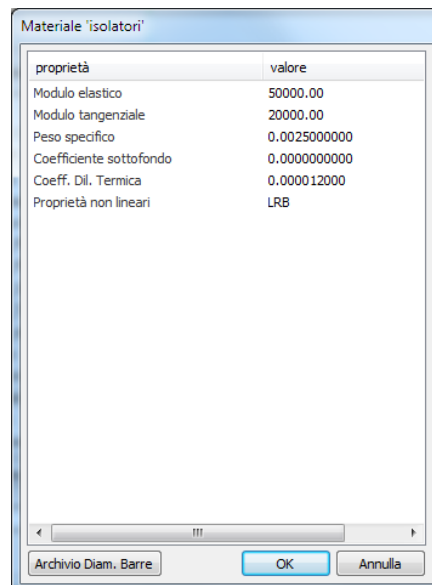
Quindi il parametro Snervamento altri non è che la forza di snervamento

$$F_{\text{snerv}} = 106 \text{ KN}$$

il moltiplicatore del modulo plastico è il rapporto fra la rigidezze K2 e K1 e quindi:

$$\text{Moltiplicatore del modulo plastico} = k2/k1 = 0,746/13,25 = 0,0563$$

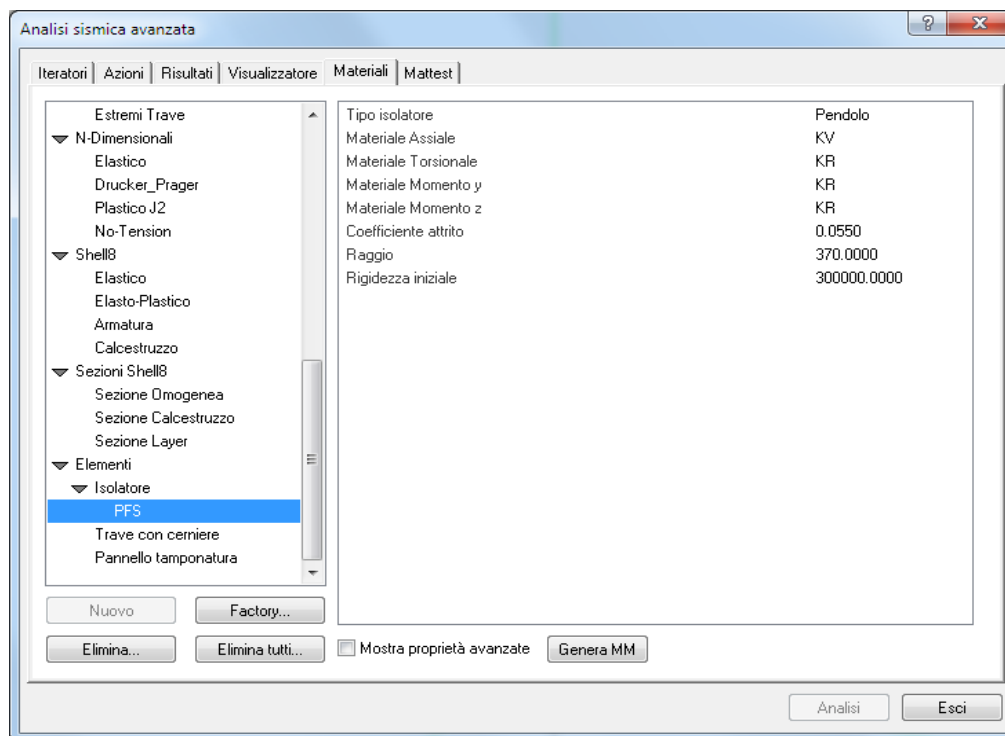
Il materiale inserito deve essere assegnato ad un metametricale che si assegnerà all'elemento che deve essere non lineare. Questa operazione è semplicissima. Si deve creare un metamateriale generico e nell'ultima riga “Proprietà non lineari” si deve inserire il metamateriale. Vediamo il dialogo corrispondente:



Isolatore a pendolo inverso

Per eseguire l'analisi non lineare è necessario utilizzare il materiale “isolatore” che si trova nella sezione “elementi” dei materiali di Earthquake Engineering.

Cliccando su Nuovo e cambiamo il nome dell'isolatore immesso da senza titolo 1 a PFS cliccando sul nome.



Quindi assegniamo i seguenti parametri:

Tipo isolatore	pendolo
coefficiente di attrito	Valore del coefficiente di attrito (V. scheda tecnica)
raggio	Raggio delle superfici dell'isolatore a pendolo (V. scheda tecnica)
rigidezza iniziale	Rigidezza iniziale del dispositivo

La rigidezza iniziale è la rigidezza del dispositivo (es. la rigidezza dell'elemento che trasferisce i carichi verticali). Solitamente questa è una rigidezza sufficientemente elevata. La si può calcolare sapendo la geometria dell'elemento oppure si assegnerà un valore sufficientemente alto in modo da avere un tratto quasi verticale.

I materiali KV e KR sono necessari per il normale funzionamento dell'isolatore e sono dei materiali elastici. Il primo ha solo il valore della rigidezza verticale molto alto il secondo solo quello della rigidezza orizzontale molto piccolo.

I parametri riportati nel dialogo soprastante sono riferiti agli isolatori Fip-D M 590/600 (3700) di cui riportiamo la scheda tecnica.

TABELLE FIP-D STANDARD

Attrito minimo		Attrito medio		SPOSTAMENTO ± 300 mm					
Sigla isolatore	N _{td} kN	Sigla isolatore	N _{td} kN	D mm	Y mm	Z mm	H mm	n	W kg
FIP-D L 310/600 (3700)	1000			570	680	570	139	4	160
FIP-D L 400/600 (3700)	1500			600	710	600	134	4	180
FIP-D L 510/600 (3700)	2000	FIP-D M 510/600 (3700)	310	630	800	630	138	4	220
FIP-D L 590/600 (3700)	2500	FIP-D M 590/600 (3700)	600	650	820	650	134	4	230
FIP-D L 670/600 (3700)	3000	FIP-D M 670/600 (3700)	930	670	840	670	143	4	250
FIP-D L 760/600 (3700)	3500	FIP-D M 760/600 (3700)	1300	690	940	720	150	4	300
FIP-D L 860/600 (3700)	4000	FIP-D M 860/600 (3700)	1700	710	960	740	146	4	320
FIP-D L 1050/600 (3700)	5000	FIP-D M 1050/600 (3700)	2650	750	1000	770	171	4	400
FIP-D L 1200/600 (3700)	6000	FIP-D M 1200/600 (3700)	3450	780	1030	790	175	4	460
FIP-D L 1400/600 (3700)	7000	FIP-D M 1400/600 (3700)	4300	810	1060	810	179	4	530
FIP-D L 1600/600 (3700)	8000	FIP-D M 1600/600 (3700)	5250	840	1090	840	195	4	590
FIP-D L 1750/600 (3700)	9000	FIP-D M 1750/600 (3700)	6000	860	1190	920	200	4	690
FIP-D L 1900/600 (3700)	10000	FIP-D M 1900/600 (3700)	6700	880	1210	930	196	4	720
FIP-D L 2250/600 (3700)	12500	FIP-D M 2250/600 (3700)	8650	930	1170	1050	243	8	950
FIP-D L 2700/600 (3700)	15000	FIP-D M 2700/600 (3700)	10900	980	1220	1090	241	8	1100
FIP-D L 3150/600 (3700)	17500	FIP-D M 3150/600 (3700)	13300	1030	1310	1190	247	8	1350
FIP-D L 3550/600 (3700)	20000	FIP-D M 3550/600 (3700)	15500	1070	1350	1220	290	8	1700
FIP-D L 4400/600 (3700)	25000	FIP-D M 4400/600 (3700)	20000	1150	1430	1450	287	12	2100
FIP-D L 5200/600 (3700)	30000	FIP-D M 5200/600 (3700)	24500	1220	1500	1500	356	12	2750
FIP-D L 6750/600 (3700)	40000	FIP-D M 6750/600 (3700)	33500	1340	1620	1750	356	16	3600
FIP-D L 8350/600 (3700)	50000	FIP-D M 8350/600 (3700)	43000	1450	1730	2170	433	24	5300
FIP-D L 9800/600 (3700)	60000	FIP-D M 9800/600 (3700)	51000	1540	1870	2280	418	20	6000

Raggio di curvatura equivalente R = 3700 mm

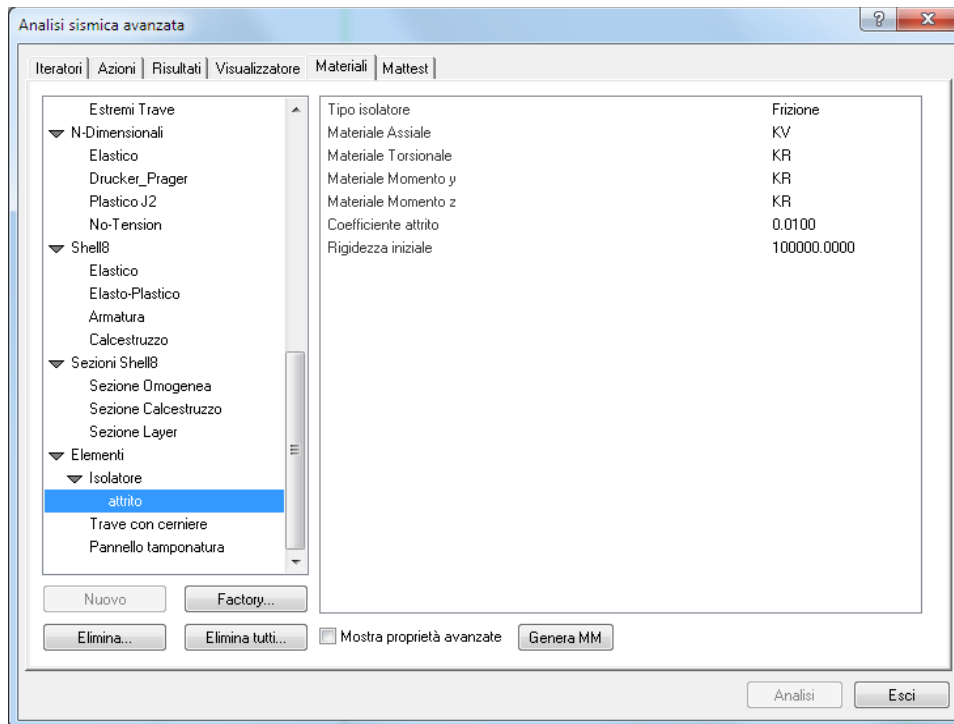
LEGENDA

N _{td}	Massimo carico verticale nelle combinazioni di carico comprensive dell'azione sismica (SLC), o in qualsiasi combinazione di carico che preveda spostamento orizzontale
D	Diametro dell'isolatore esclusi elementi di ancoraggio
Y	Massima dimensione in pianta
Z	Lato del quadrato circoscritto all'isolatore, inclusi elementi di ancoraggio
H	Altezza dell'isolatore, escluse zanche di ancoraggio
n	Numero zanche superiori/inferiori
W	Peso dell'isolatore, escluse zanche di ancoraggio

La tabella è tratta dalle schede tecniche di isolatori a pendolo di Fip Industriale

Isolatore ad attrito

Con questo tipo di isolatori non ci sono particolari calcoli da fare. È necessario sapere il valore del coefficiente di attrito, che solitamente è molto basso e la rigidezza iniziale dell'elemento che è molto alta. Il grafico riportato nel seguito è stato ottenuto con un isolatore avente un coefficiente di attrito dell'1% e uno spostamento imposto con legge sinusoidale di 30cm.



Analisi effettuate sulla struttura di test

Per l'ottenimento della curva di taratura dell'isolatore in Nòlian All-in-One si deve eseguire una analisi non lineare che in questo caso ha i parametri di analisi riassunti nel dialogo seguente

Analisi sismica avanzata

Iteratori | Azioni | Risultati | Visualizzatore | Materiali | Mattest

Metodi

- ☐ Lineare
- ☒ Newton-Raphson
- ☐ Newton-Raphson con Line Search

Modale

- ☐ Modale
- N. autovalori: 3

Solutori

- ☒ Matrici sparse simmetriche
- ☐ Matrici sparse non simmetriche

Integratori statici

- ☐ Controllo di carico
- ☐ Controllo di spostamento
- ☐ ArcLength

Integratori transitorio

- ☒ Newmark

Test di convergenza

- ☐ Equilibrio
- ☐ Spostamenti
- ☒ Energia

Massimo numero iterazioni: 100

Tolleranza: 0.01000000

Smorzamento di Rayleigh

Massa: 0.000000

Rigidezza: 0.000000

Parametri numerici

Numero di passi: 2000

Incremento: 1.00000000

Variabilità di passo: 0.00000000

☐ Usa lista

Lista

Nodo di riferimento: -1

Gdl: Tx

Lunghezza arco: 10.000000

Alfa: 1.00000000

Intervallo temporale: 0.01000000

☒ Apri questo dialogo prima di ogni analisi

☐ Inizia analisi dallo stato di quella precedente

☒ Applica azioni gravitazionali prima

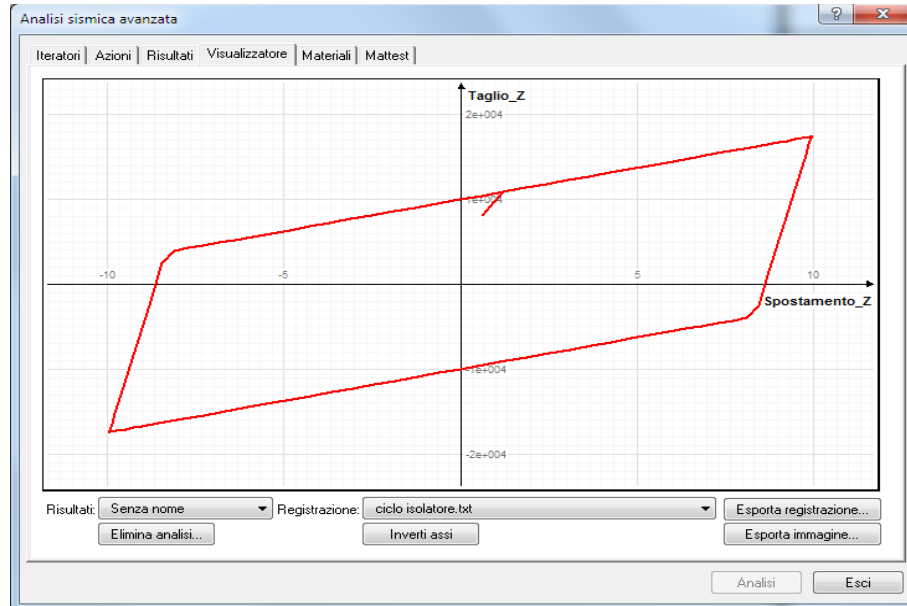
Analisi Esci

Il metodo di integrazione sarà quello di Newton-Raphson con l'integratore di Newmark. Per ottenere una più rapida convergenza il test di convergenza è fatto sull'energia, si sono considerati 2000 passi con un intervallo di 0,01sec per un totale di 20 secondi. Importantissimo il fatto che sia selezionato il check “applica azioni gravitazionali prima” perché così Earthquake Engineering esegue preventivamente l'analisi statica attivando di fatto l'effetto di non linearità geometrica dell'elemento.

Risultati del test

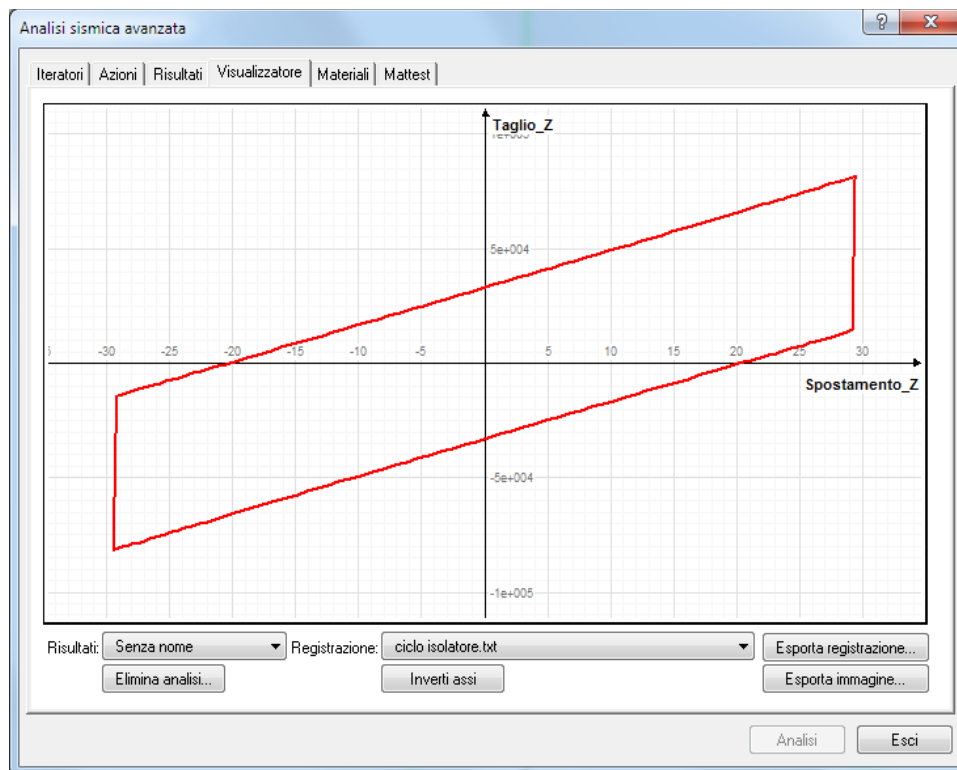
Isolatore elastomerico con nucleo in piombo (LRB)

La curva che vediamo rappresentata qui sotto, è il risultato dell'analisi.



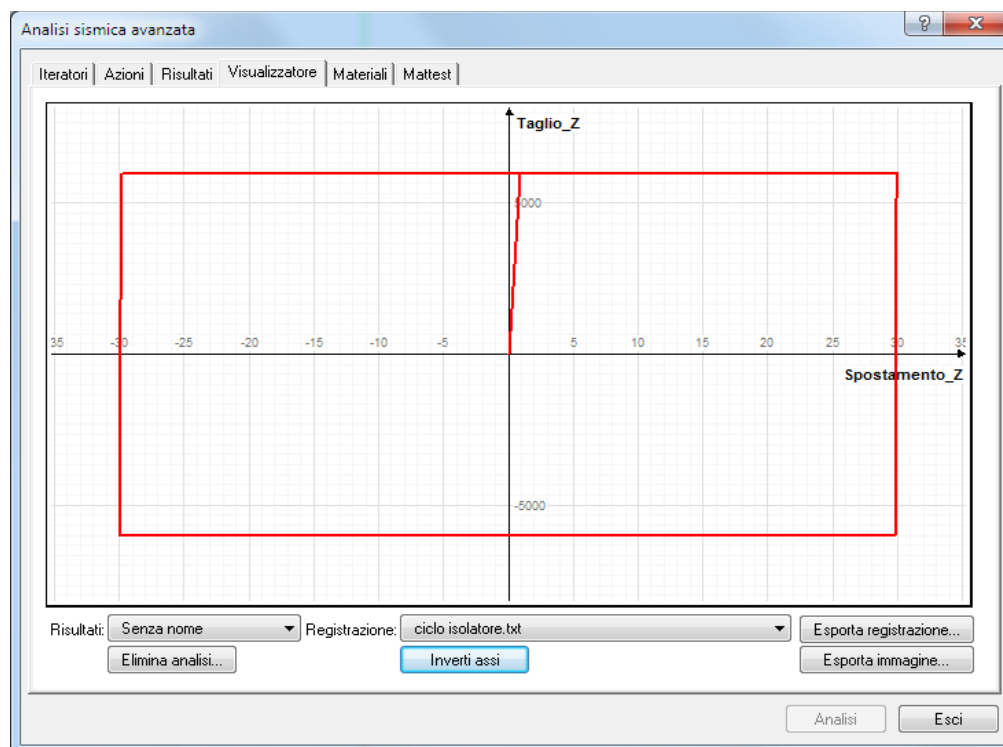
Isolatore a pendolo

La curva che vediamo rappresentata qui sotto, è il risultato dell'analisi.



Isolatore ad attrito

La curva che vediamo rappresentata qui sotto, è il risultato dell'analisi.



Conclusioni sul test

Si riportano alcune conclusioni riguardanti il test del singolo elemento

Nei grafici precedenti si è riportato il risultato di una serie di cicli effettuati a spostamento imposto per i diversi isolatori. In queste condizioni i cicli risultano perfettamente sovrapponibili vista la natura dei materiali non lineari utilizzati che non tengono conto del degrado nel tempo di questi isolatori.

Essendo lo spostamento imposto pari a 10 cm cioè al valore massimo ottenibile dall'isolatore come da scheda tecnica, i valori di taglio sull'isolatore e lo spostamento leggibili dal diagramma sono i valori massimi ottenibili da questo dispositivo in funzione anche dei carichi verticali definiti nel capitolo delle azioni.

Il nostro test riguardante il singolo isolatore è terminato. Un esempio di utilizzo su struttura complessa è riportato di seguito.

Esempio di utilizzo degli isolatori in strutture complesse

Premessa

Dopo aver effettuato i test sugli elementi non lineari utilizzabili per la simulazione degli isolatori sismici per studiarne il comportamento nel caso di cicli a spostamenti impresso passiamo a valutare il comportamento di questi elementi sotto sisma applicandoli ad una struttura più complessa.

L'analisi che verrà effettuata considererà un accelerogramma di tipo generato spettro-compatibile.

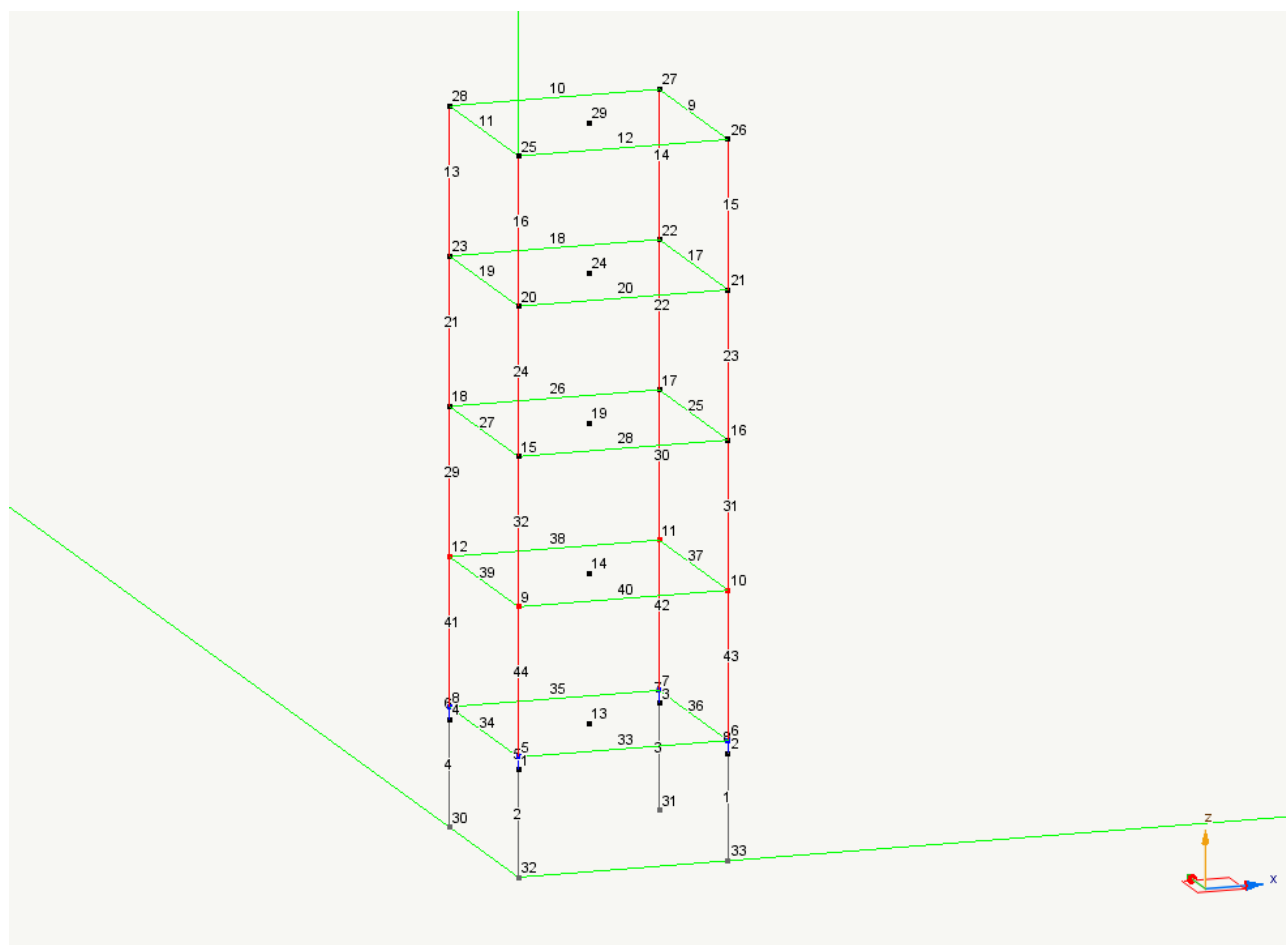
Il modello di calcolo sarà sempre lo stesso perché si vuole fissare l'attenzione sui dispositivi di isolamento.

Descrizione del modello utilizzato

Geometria

Nella figura seguente è rappresentato il modello di calcolo costituito da 4 pilastri e 5 piani.

Gli isolatori sono disposti sotto al primo piano. I pilastri su cui sono poggiati gli isolatori sono di dimensioni 120x120 perché devono essere molto rigidi rispetto alla struttura soprastante.



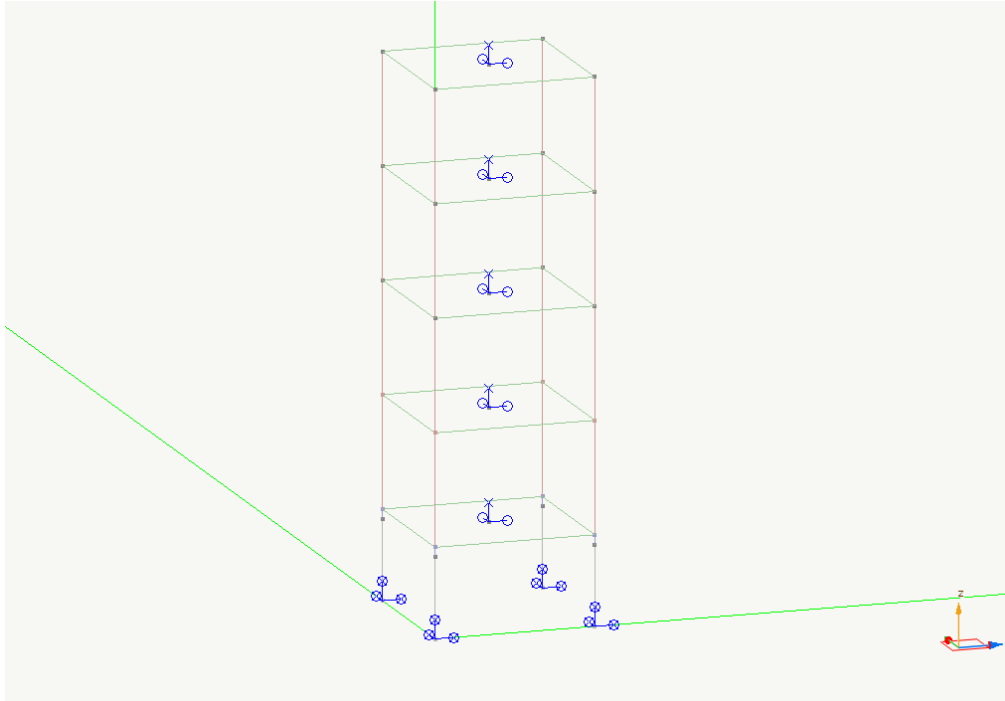
Per la simulazione del piano rigido è stata utilizzata la metodologia del master-slave.

Al di sotto del primo solaio sono disposti 4 isolatori. Gli isolatori sono stati simulati con la stessa

metodica utilizzata prima e per questo rimandiamo ai paragrafi precedenti per la valutazione e l'inserimento dei dati.

Vincoli

Lo schema di vincolamento è molto semplice: Incastri al piede e i nodi master vincolati sui rispettivi piani.

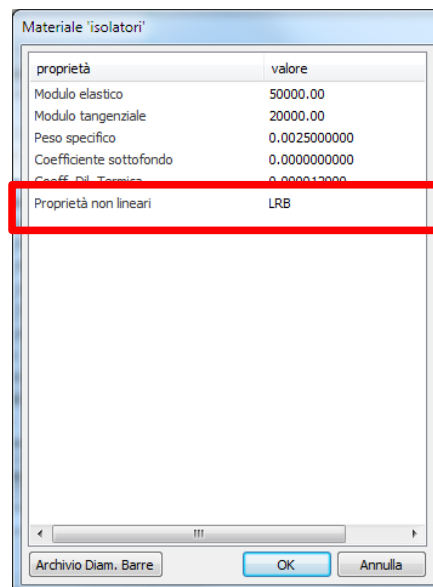


Materiali

Per i pilastri rettangolari delle dimensioni di 120x120 per i pilastro inferiori e 30x30 per quelli superiori si è considerato un metamateriale di tipo calcestruzzo C25/30.

Per il boundary il metamateriale è di tipo generico. Nell'ultima riga del dialogo dei metamateriali troveremo il campo “Proprietà non lineari” al quale sarà associato di volta in volta il materiale non lineare definito nell'ambiente Earthquake Engineering.

Nella figura seguente vediamo il dialogo in questione.

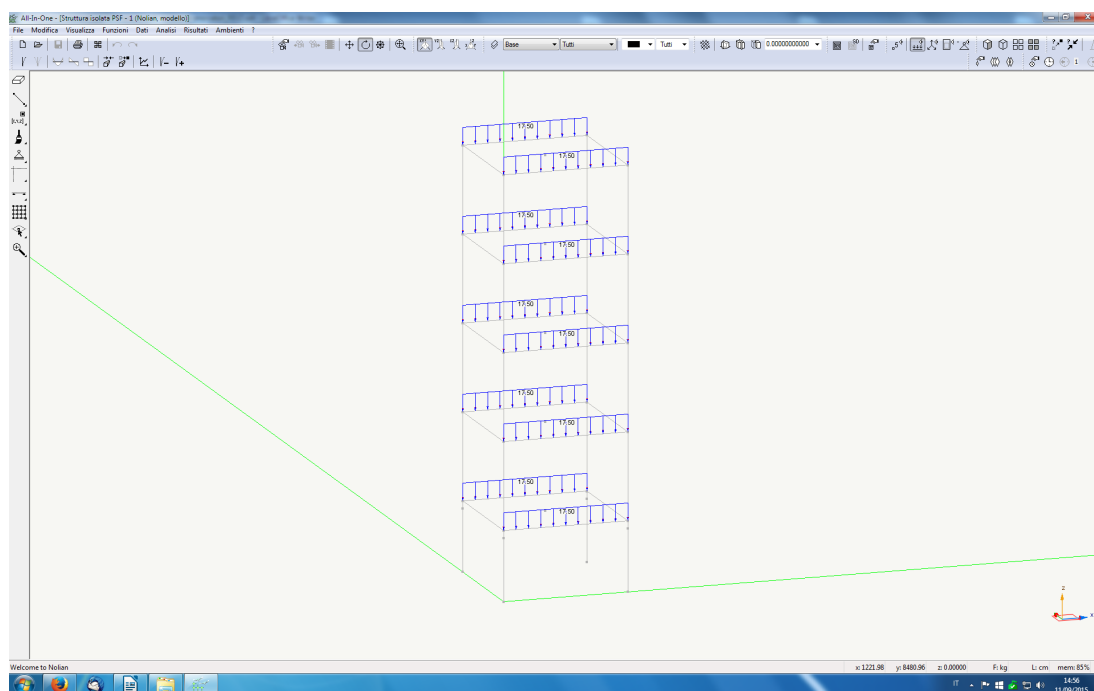


Metamateriale per elementi LRB

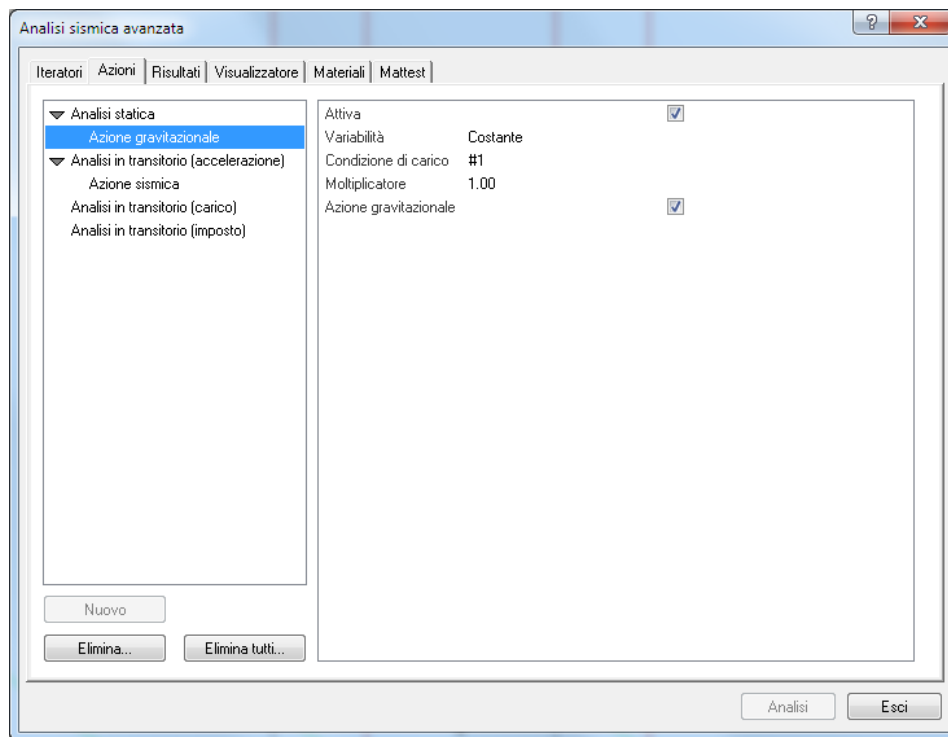
Azioni

Carichi verticali:

Una condizione di carico verticale di 17,50kg/m per simulare l'azione dei carichi gravitazionali dovuta agli scarichi dei solai .

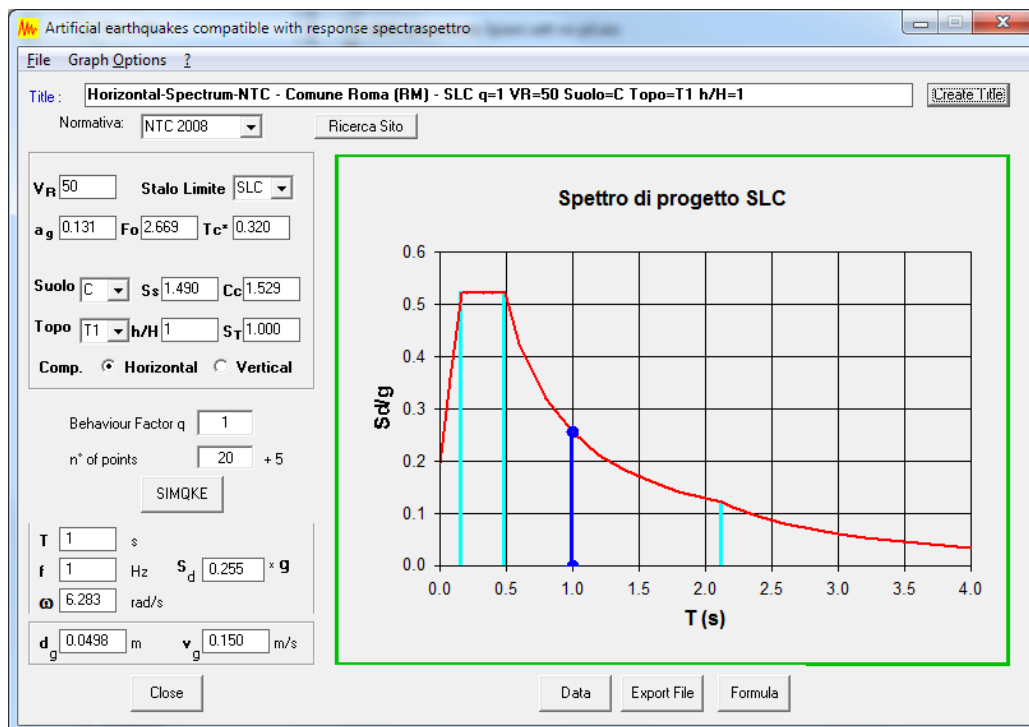


Associata poi nella scheda delle azione di Earthquake Engineering come azione costante di tipo gravitazionale.

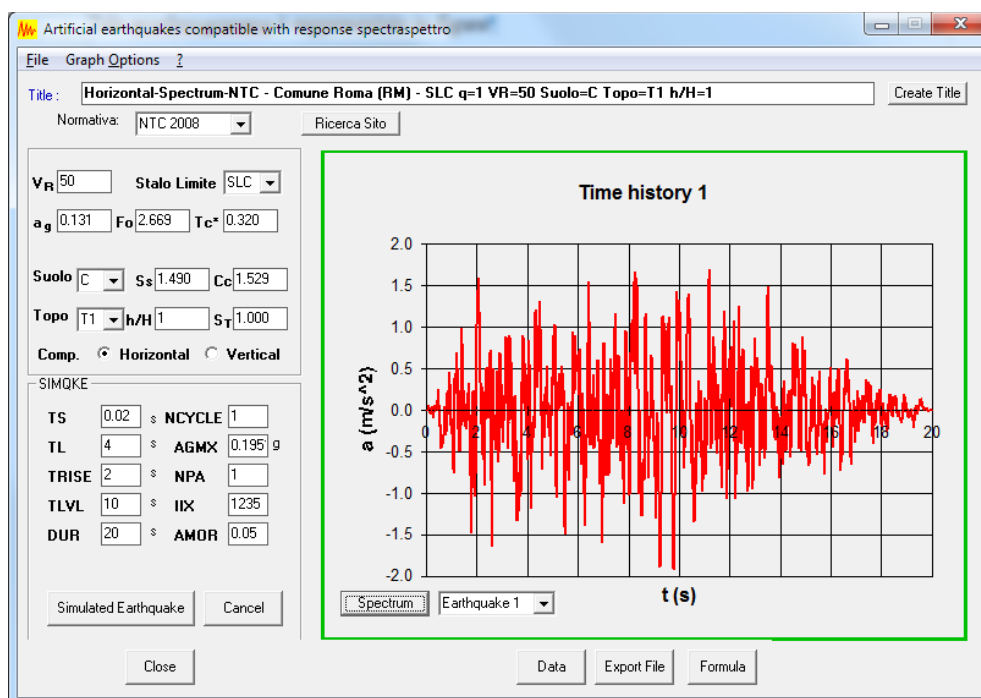


Azione sismica:

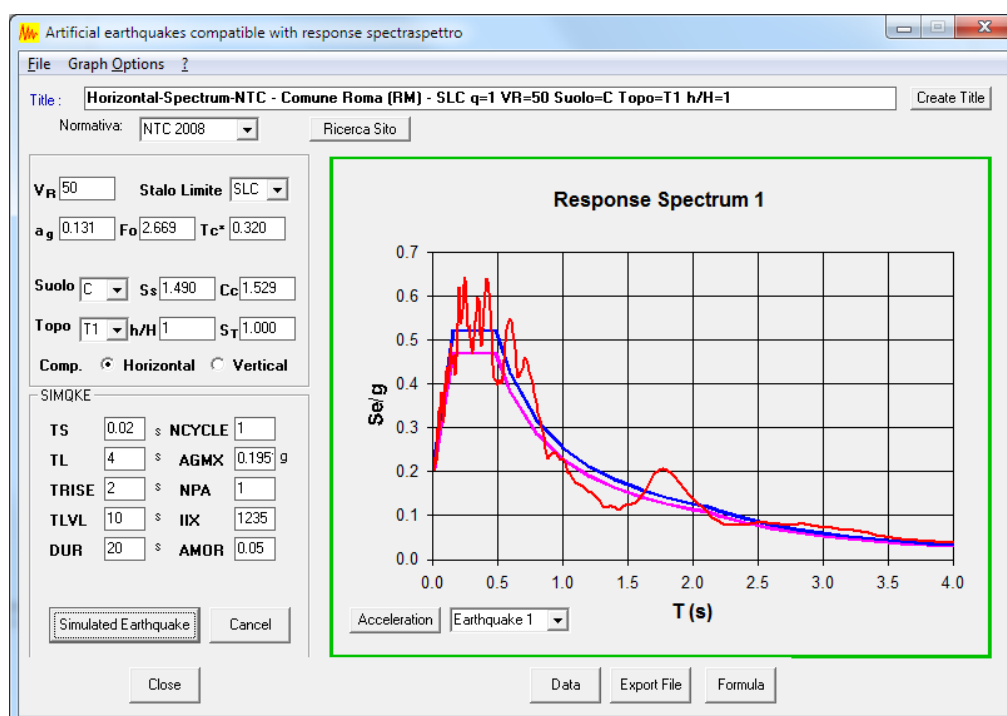
Come già detto in precedenza per l'analisi della struttura è stato generato uno specifico accelerogramma spettro-compatibile utilizzando il programma SISMQKE del prof. Gelfi a partire dal seguente spettro.



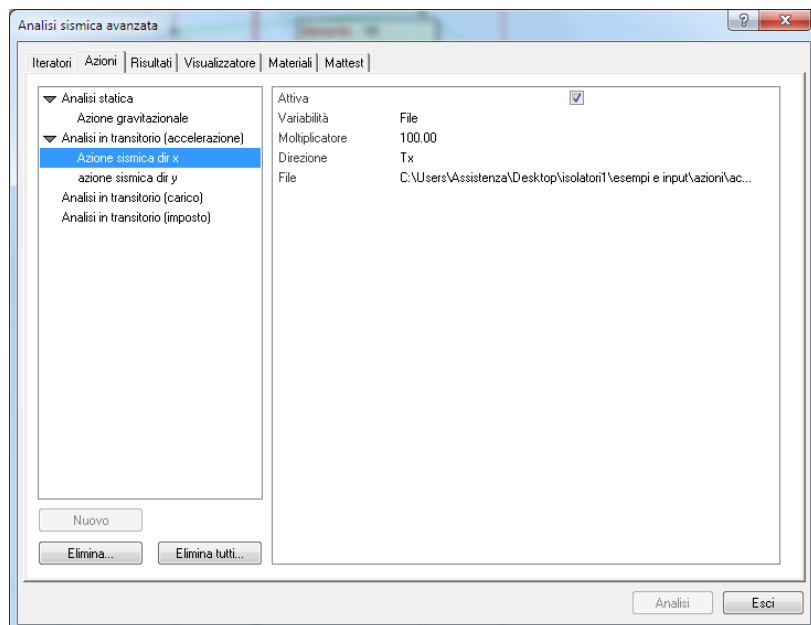
Tale accelerogramma è rappresentato in figura



Si riporta inoltre la verifica di compatibilità allo spettro ci collasso usato per il progetto degli isolatori.



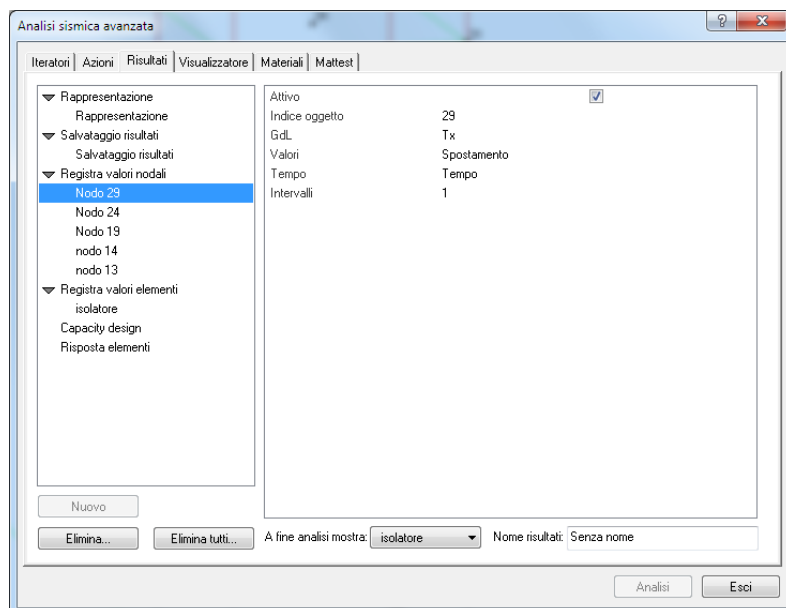
Questo accelerogramma è assegnato alla azione sismica come “forzante su file” in accelerazione. Essendo sviluppato in m/sec^2 si è inserito un moltiplicatore pari a 100.



Registratori

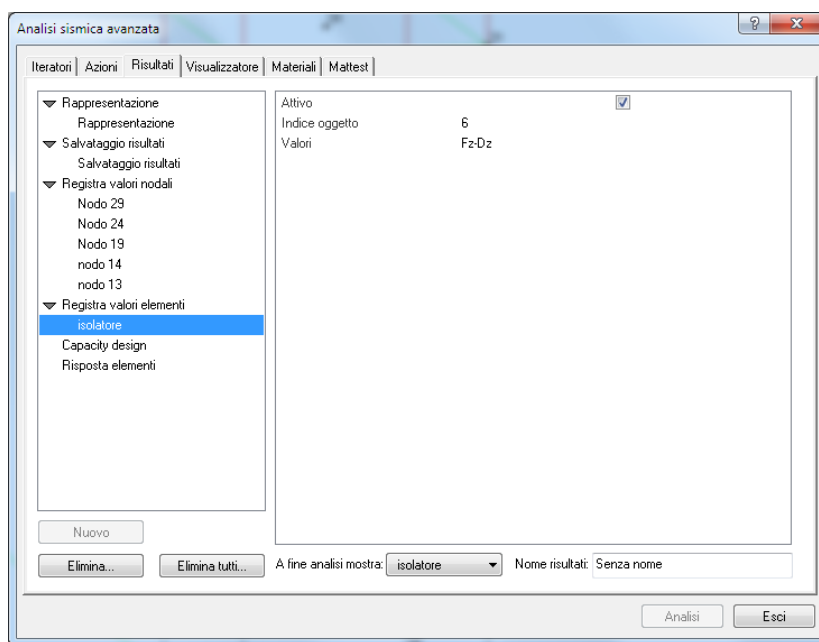
Nella cartella risultati del dialogo analisi sismica avanzata è possibile sttate tutti i registratori necessari per monitorare l'analisi. Nel mostro caso si è scelto di monitorare i nodi master e uno degli isolatori.

Per fare questo si deve passare alla scheda “Risultati”, cliccare su “registra valori nodali”, cliccare su Nuovo, si creerà un nuovo registratore al quale assegnare un titolo e i parametri riportati nel dialogo seguente. Cliccando direttamente sul nodo il dialogo verrà configurato col nodo selezionato :



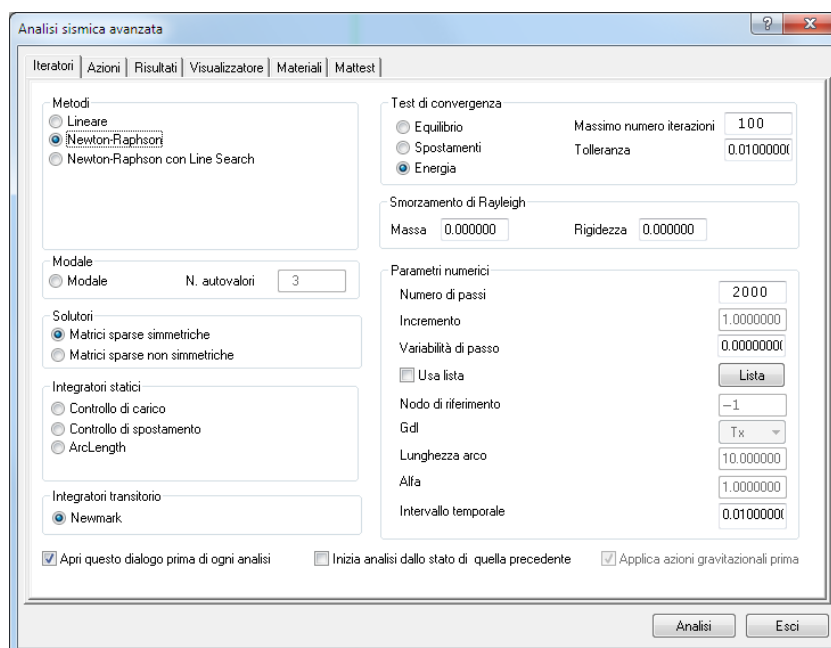
Per quanto riguarda il diagramma isteretico dell'isolatore si selezioni il “Registra valori elementi” e

dopo aver selezionato l'elemento che si vuole monitorare si seleziona il valore Fz Dz oppure Fy Dy a seconda della direzione desiderata considerando che y e z sono gli assi LOCALI dell'elemento.



Analisi effettuate

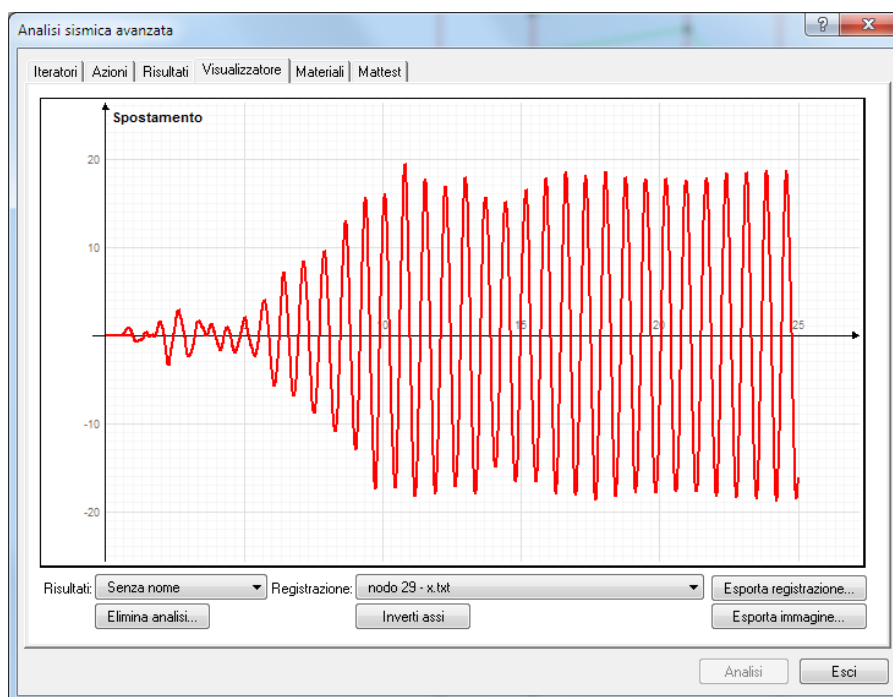
La struttura è stata analizzata in Nòlian All-in-One mediante una analisi non lineare che in questo caso ha i parametri di analisi riassunti nel dialogo seguente



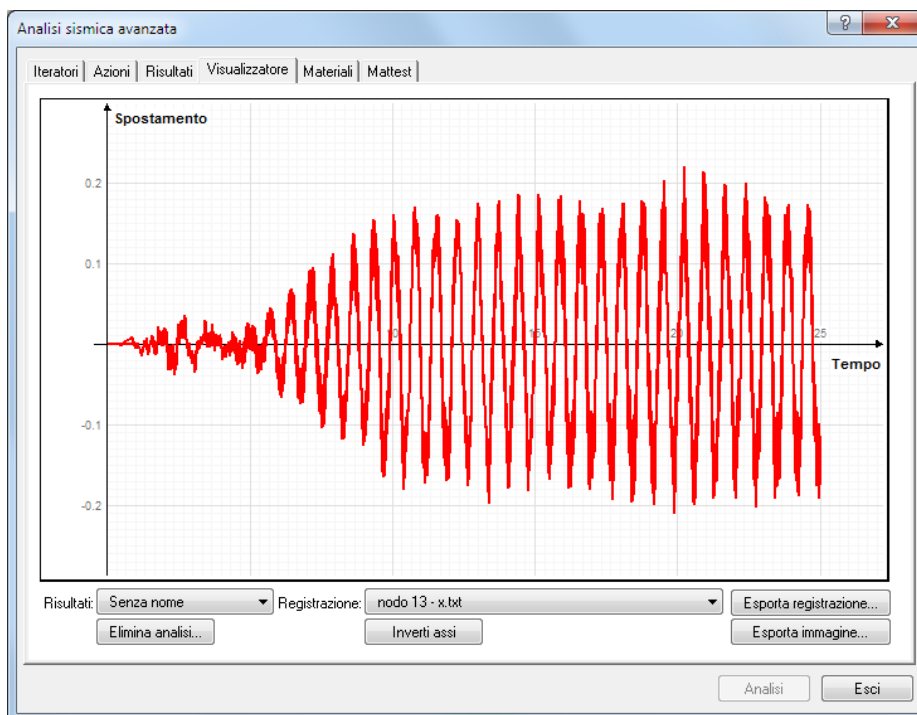
Il metodo di integrazione sarà quello di Newton-Raphson con l'integratore di Newmark. Per ottenere una più rapida convergenza il test di convergenza è fatto sull'energia, si sono considerati 2000 passi con un intervallo di 0,01sec per un totale di 20 secondi. Importantissimo il fatto che sia selezionato il check “applica azioni gravitazionali prima” perché così Earthquake Engineering esegue preventivamente l'analisi statica attivando di fatto l'effetto di non linearità geometrica dell'elemento.

Risultati delle analisi

Per meglio valutare le differenze fra i diversi tipi di isolamento abbiamo sottoposto la struttura senza dispositivi di isolamento ottenendo i risultati presentati di seguito:



Spostamento massimo del nodo master in testa alla struttura pari a 19cm circa



Spostamento del nodo master alla base della struttura pari a 0,2 cm circa

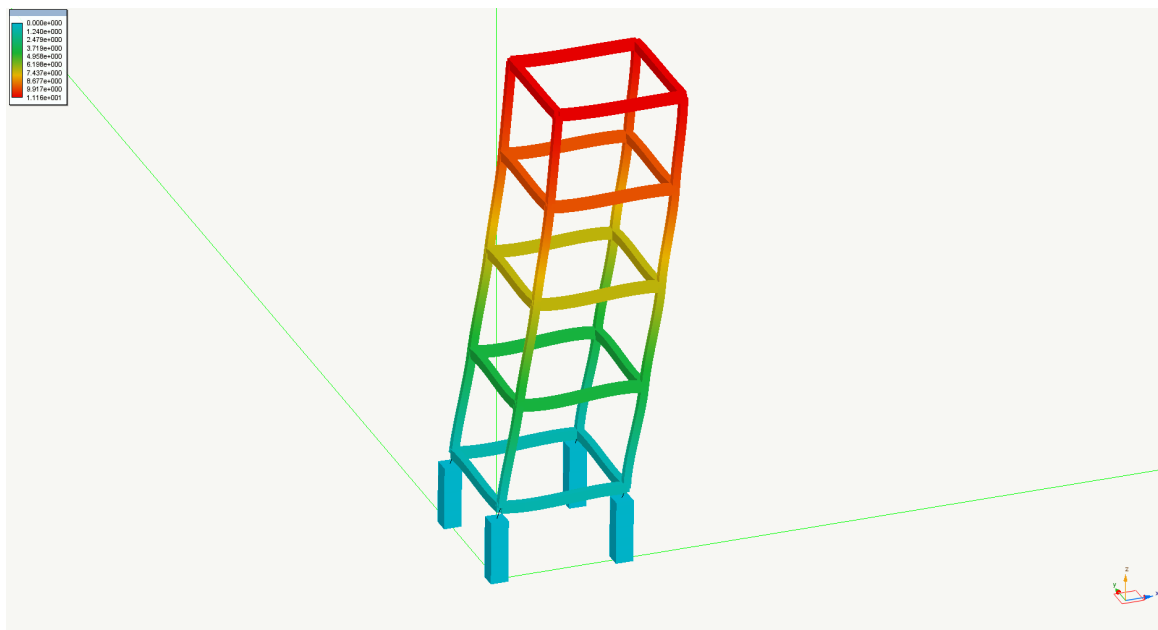
La stessa struttura è stata isolata mediante differenti tipologie di isolatori.

Una volta eseguita l'analisi valutiamo ora i risultati per i diversi tipi di isolatori confrontandoli con

la struttura non isolata.

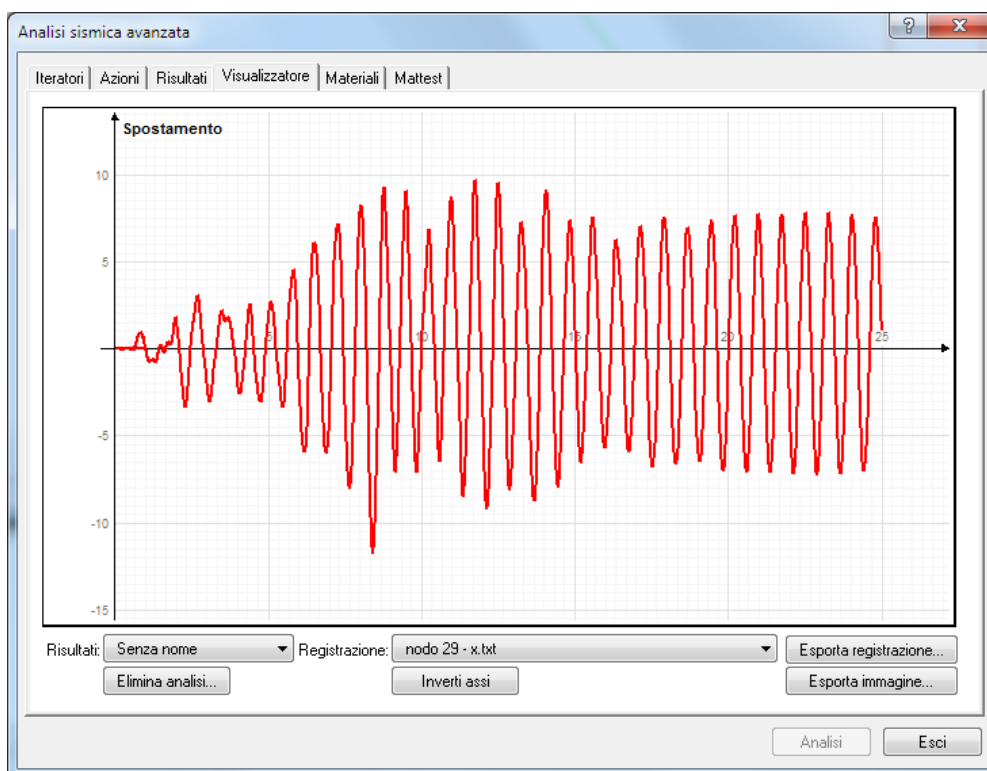
Isolatore elastomerico con nucleo in piombo (LRB)

Riportiamo nella figura seguente la configurazione deformativa della struttura nei punti di massimo spostamento.

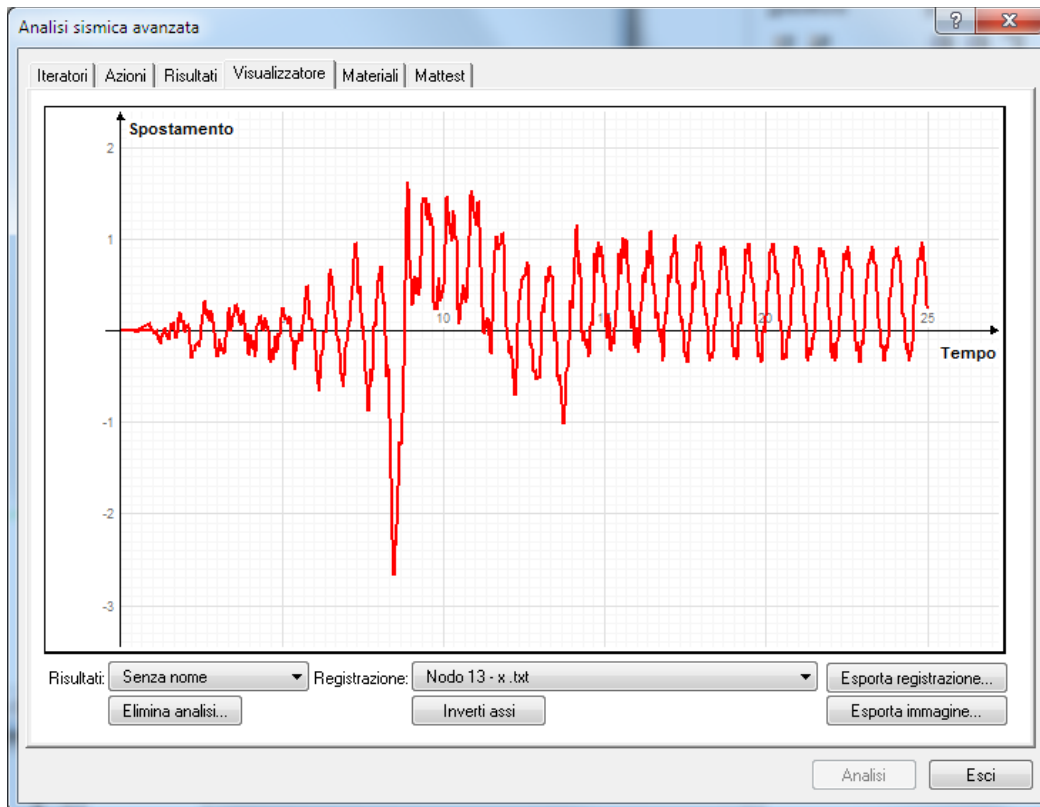


Deformata della struttura isolata

Come si vede dalla struttura stessa questo tipo di isolatore (LRB) ha comportato una riduzione degli spostamenti nella struttura sovrastante dovuta alla presenza del sistema di isolamento



Spostamento massimo del nodo master in testa alla struttura pari a 12cm circa



Spostamento del nodo master alla base della struttura pari a 2,7 cm circa

Quindi lo spostamento fra testa e piede del telaio è risultato di 9,3cm con una riduzione maggiore del 100% fra la testa e i piede della struttura.

Questo è indice che si è avuta una grande dissipazione di energia che possiamo riassumere nel diagramma isteretico seguente

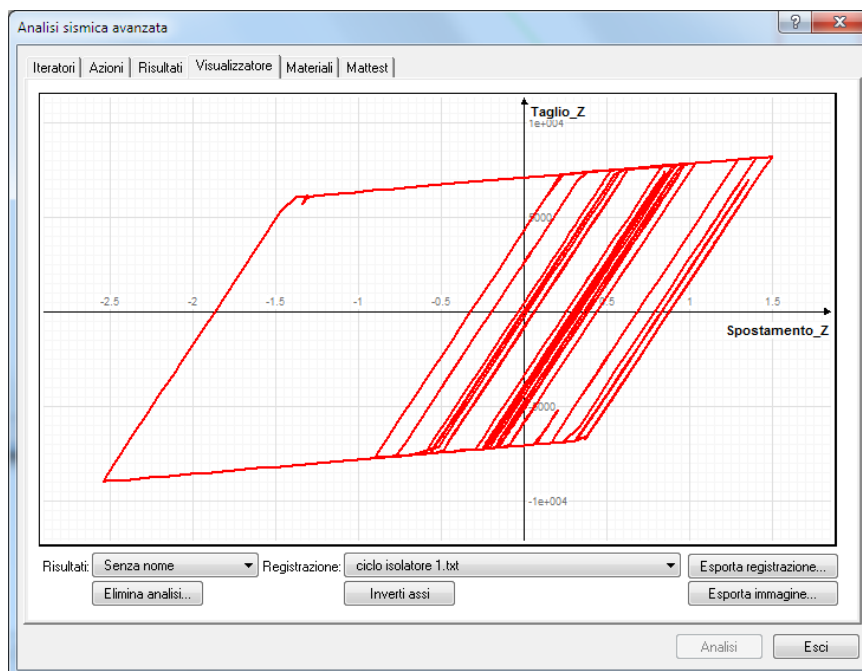


Diagramma isteretico del singolo isolatore

Isolatore a pendolo (PSF)

Le figure che seguono riportano il comportamento della struttura isolata sottoposta al terremoto di progetto precedentemente descritto.

La figura seguente riporta il diaframma delle deformate in uno dei passi di massimo spostamento. Come si vede, lo spostamento della struttura sovrastante avviene come se la struttura isolata fosse un corpo rigido e quindi le sollecitazioni dovute al sismi sono ridotte al minimo tanto che nella norma si richiede che tali strutture siano trattate elasticamente utilizzando un fattore di struttura $q=1,5$ (punto 7.10.6.2)

A parità di azione sismica rispetto alla alla precedente tipologia di isolamento notiamo che lo spostamento al piede (visti i bassi valori dell'attrito fra le superfici sferiche di scivolamento dell'isolatore) risultano più elevati ma nello stesso tempo la struttura sovrastante risulta ancora meno deformata.

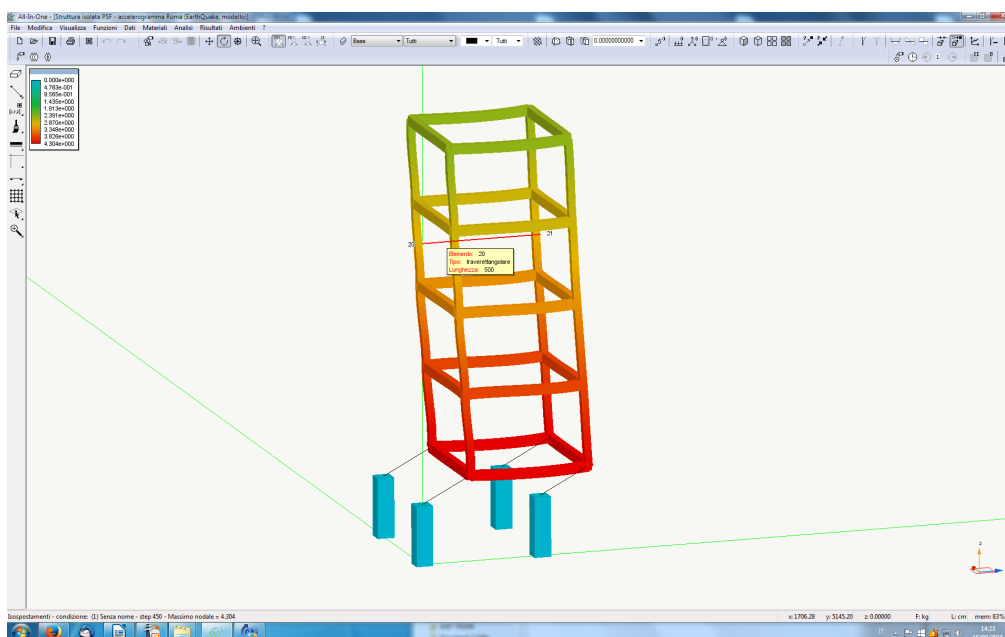


Diagramma delle deformate

Questo è un comportamento ottimo perché l'isolatore filtra la sollecitazione sismica trasmettendone alla struttura protetta solo una minima parte.

I diagrammi seguenti mostrano in modo inequivocabile che la differenza fra lo spostamento del nodo a terra e del nodo in testa della struttura è ridotto quasi a zero

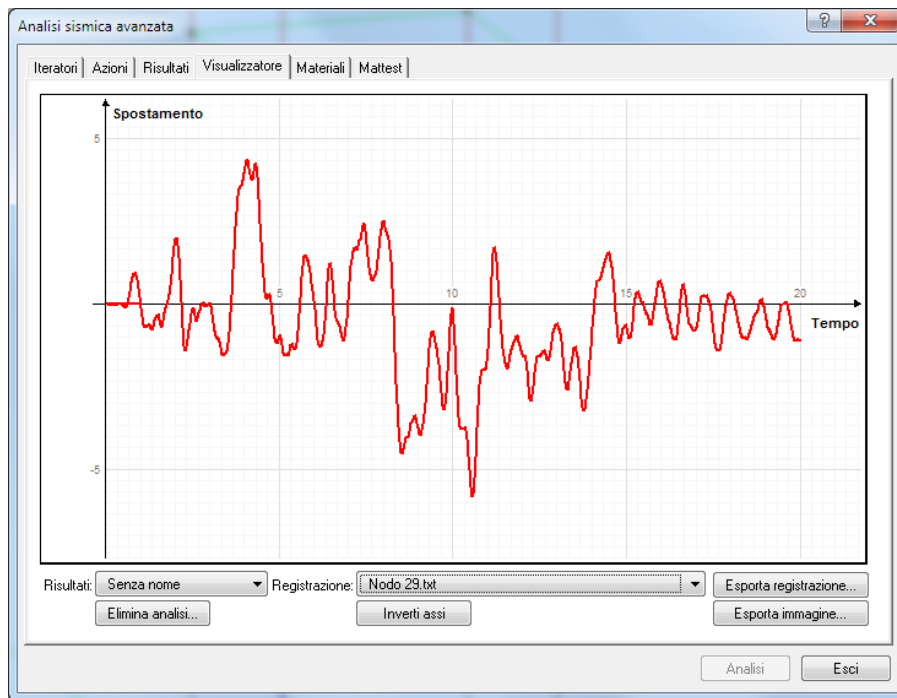


Diagramma degli spostamenti del nodo 29 (ultimo piano)

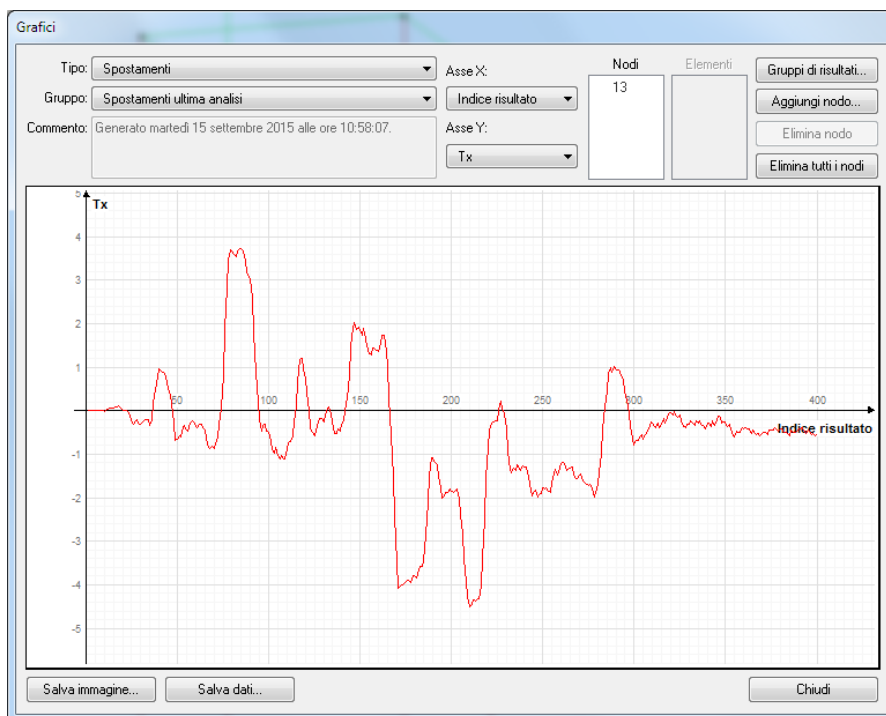


Diagramma degli spostamenti del nodo 13 (primo piano)

La dissipazione di energia è stata quindi completamente concentrata nell'isolatore di cui possiamo apprezzare il ciclo isteretico nella figura che segue.

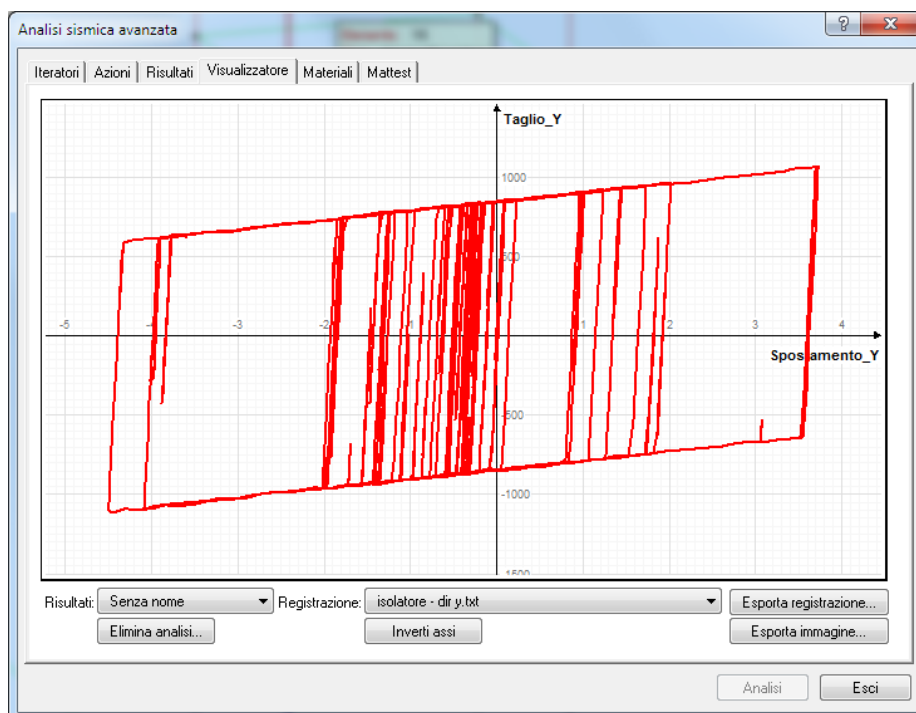


Diagramma isteretico del singolo isolatore

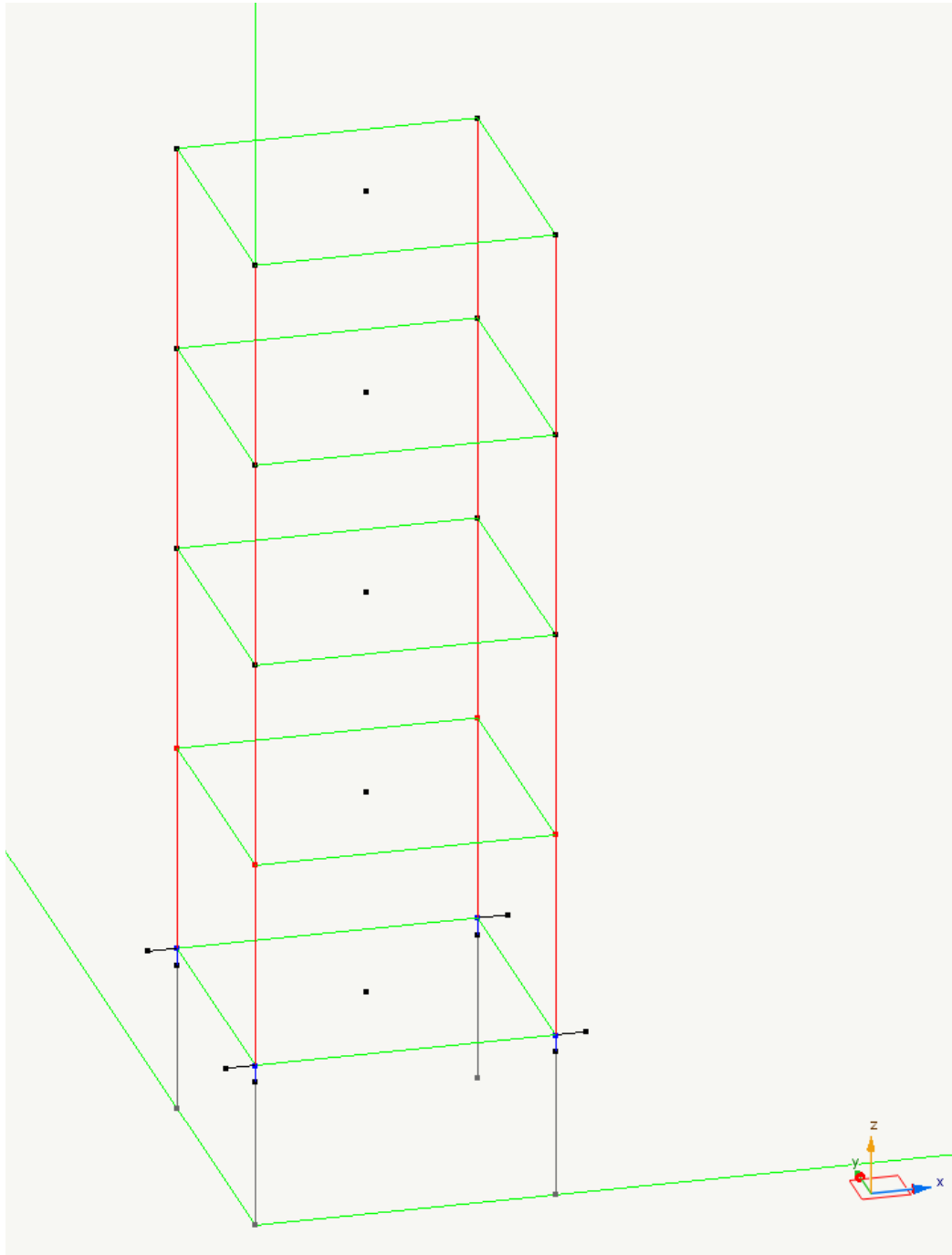
Il taglio massimo sull'isolatore è di circa 1000kg e lo spostamento massimo di 3,5cm circa. Tali valori potranno poi essere usati nelle verifiche del capitolo 7.10 della NTC.

Isolatore ad attrito

Come già detto nei paragrafi precedenti gli isolatori ad attrito sono che dispositivi di isolamento che utilizzano superfici piane. Quindi si dovrà prevedere un sistema di ricentramento della struttura.

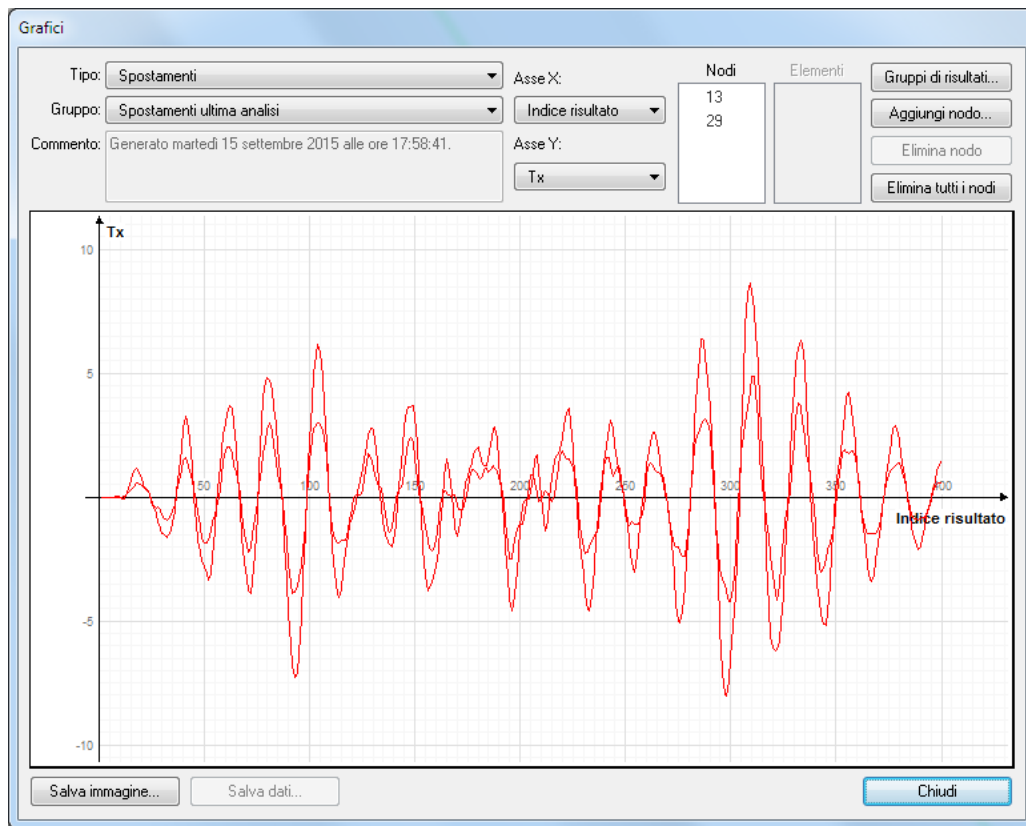
Nel nostro caso il sistema risulta costituito da molle orizzontali che si aggiungono agli isolatori.

Il modello strutturale è quindi il seguente:

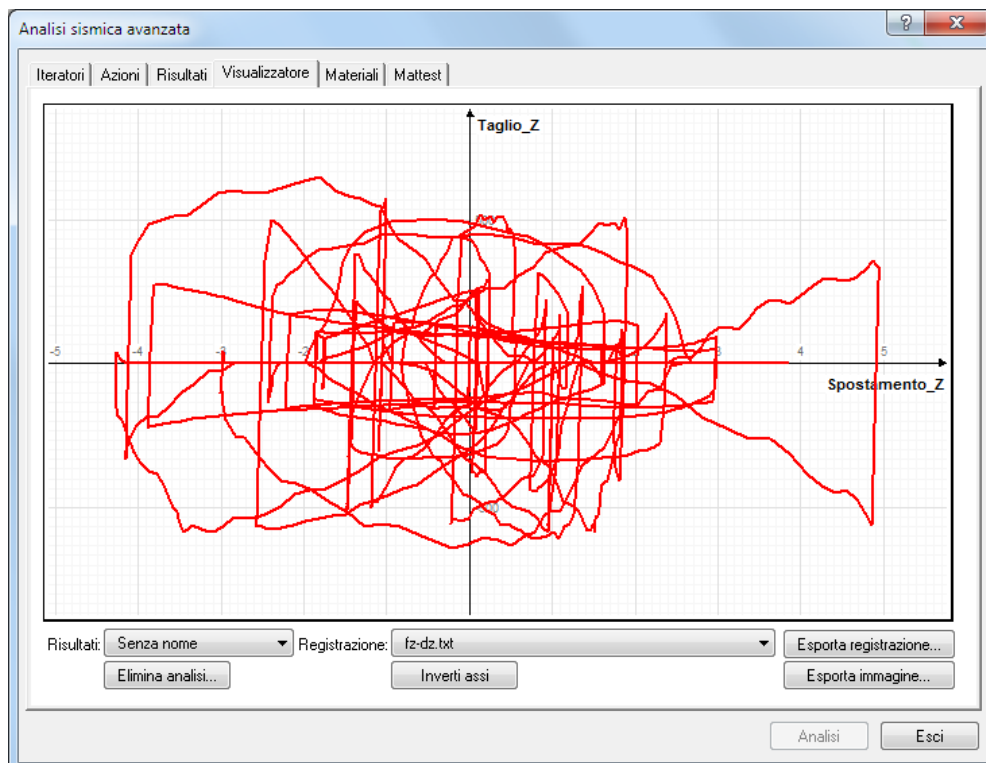


Modello di calcolo con molle che ricentrano la struttura

Nella figura seguente vediamo la sovrapposizione degli spostamenti dei nodi master del primo e dell'ultimo solaio che si attesta intorno ai 3 cm



Il diagramma di isteresi per questi isolatori risulta essere il seguente



La irregolarità del diagramma è dovuta al fatto che, nell'oscillazione, l'effetto “tira e spingi” sulle colonne porta ad una riduzione dell'effetto dell'attrito nell'isolatore.

L'effetto è più evidente guardando il grafico seguente in cui sono diagrammati gli sforzi normali sull'isolatore (diagramma nero) essendo il valore positivo di compressione.

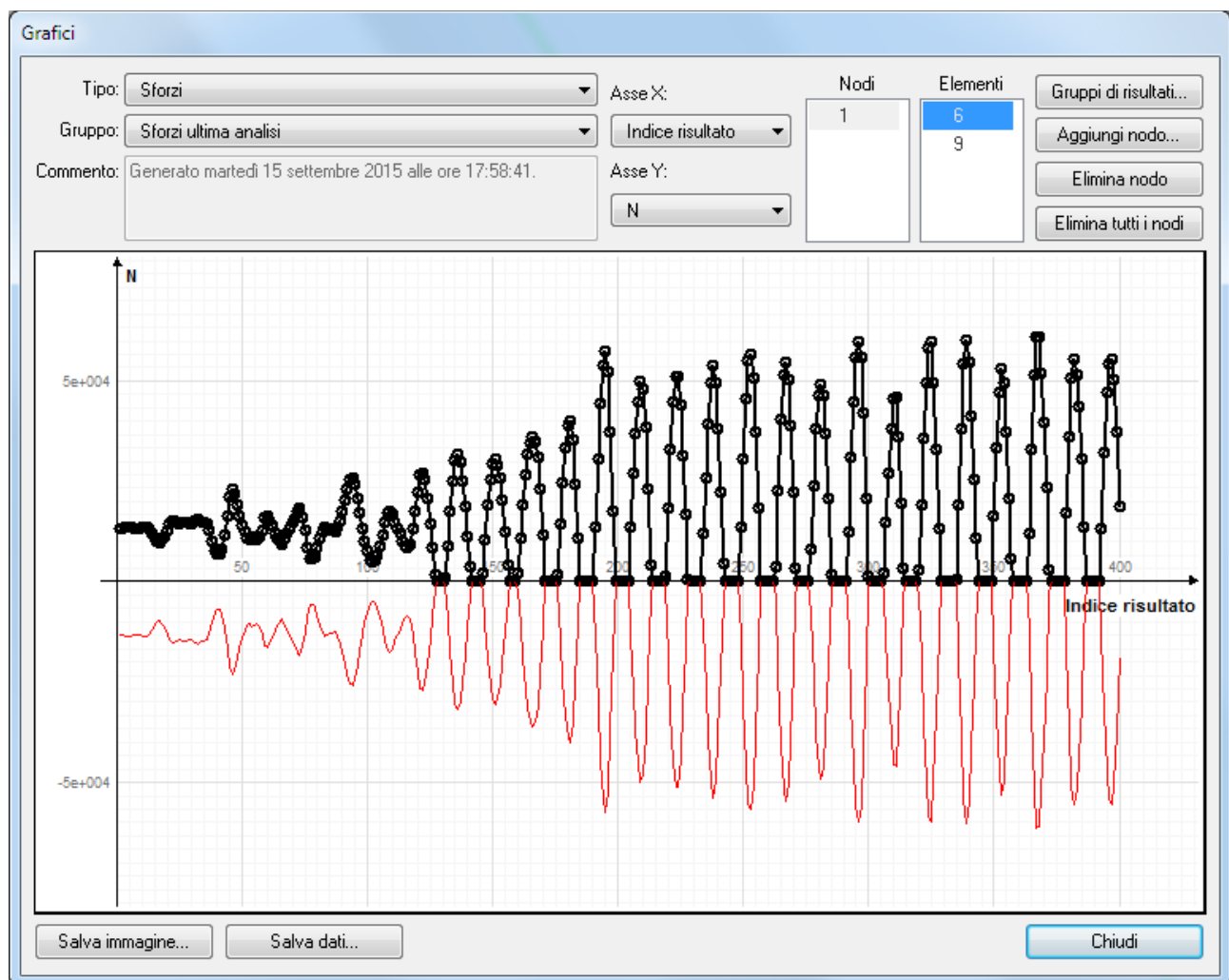


Diagramma dello sforzo normale sull'isolatore.

Dampers viscosi

Premessa

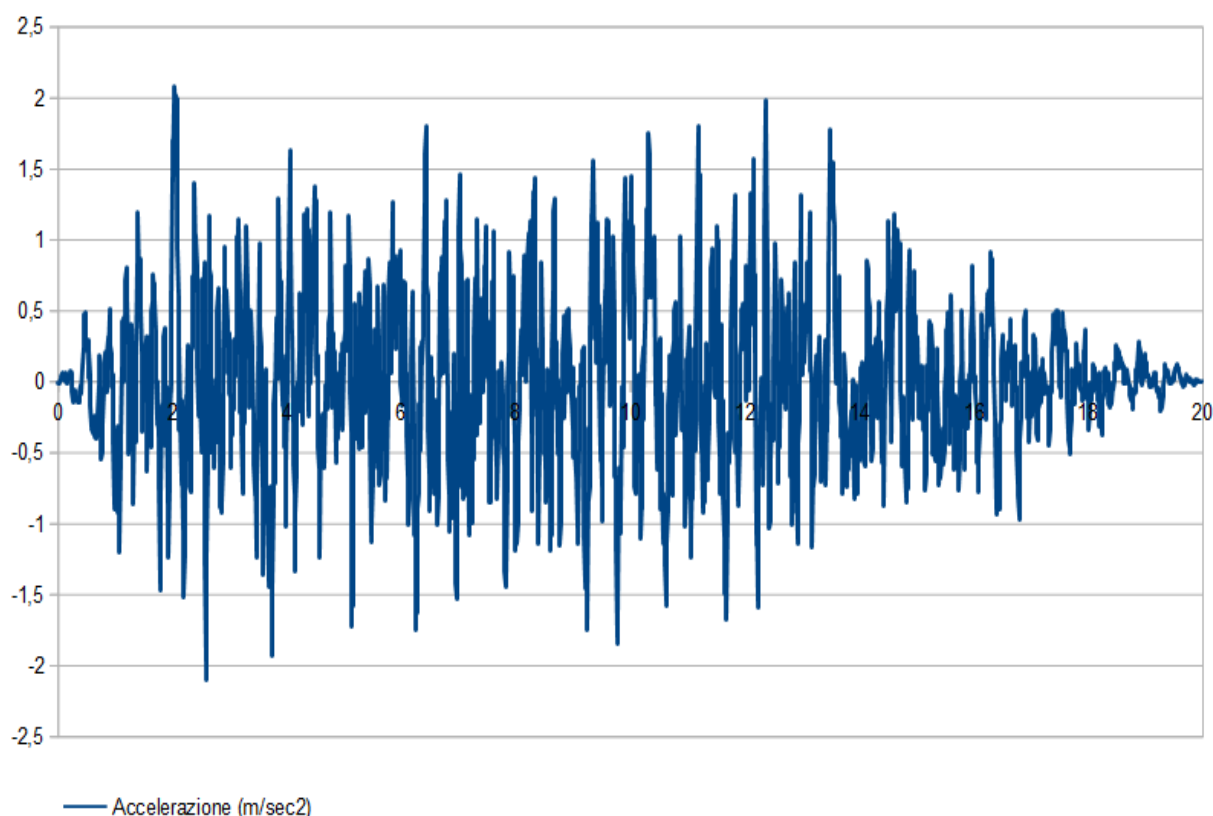
Per i dampers viscosi si è utilizzato un metodo diverso di verifica dei risultati più precisamente partendo da una struttura a più gradi di libertà realizzata con un telaio Shear type si è eseguita l'analisi non lineare dei dampers mediante l'ambiente Earthquake engineering di Nolian All-in-One effettuando il confronto della medesima integrazione numerica diretta delle equazioni del moto con il programma Matematico General Purpose "Matlab".

Descrizione del modello

Si tratta di un telaio shear-type a 3 livelli, con un dissipatore viscoso posto alla base e sottoposto ad accelerazione sismica mediante un accelerogramma spettro-compatibile

Azioni

L' accelerogramma a cui è stata sottoposta la struttura è rappresentato nella figura seguente.



Descrizione del modello reologico

Il dissipatore viscoso ha un legame del tipo

$$F_damper(u, \dot{u}) = K \cdot u + C |\dot{u}|^{\alpha} \text{sign}(\dot{u})$$

con

$$K = 25 \text{ N/mm}$$

$$\alpha = 0.2$$

$$C = 150 \text{ N/(mm/s)}$$

Risultato delle analisi di integrazione di retta delle equazione del moto

Il file di test è stato risolto in Matlab mediante integrazione diretta delle equazioni del moto (sistema a 4GDL). I risultati in termini time-history dello spostamento alla base e di time-history F_damper vs x_damper sono riportati nelle figure in allegato. Sono stati impiegati due diversi metodi d'integrazione che hanno fornito risultati praticamente coincidenti

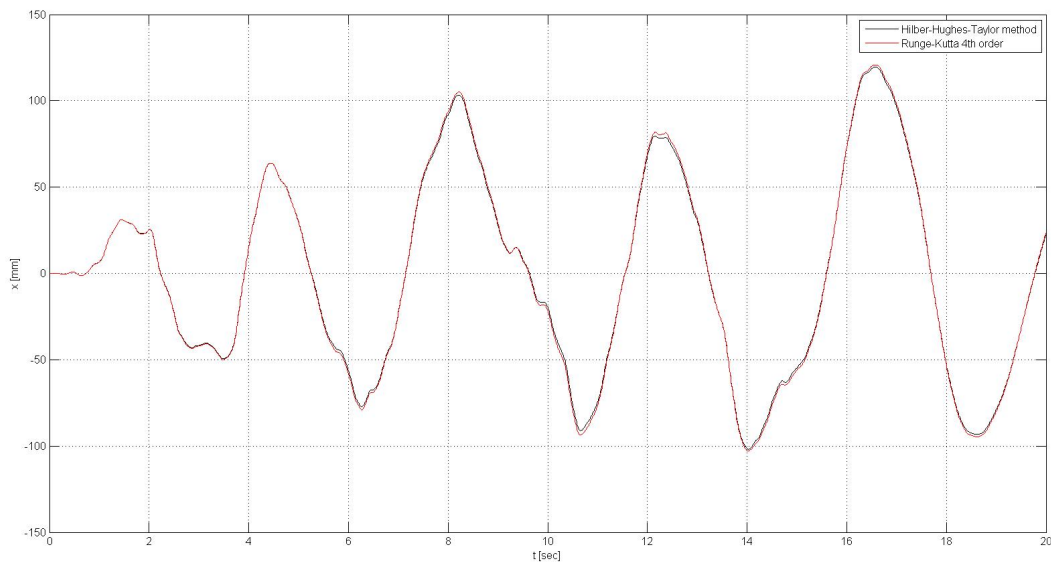
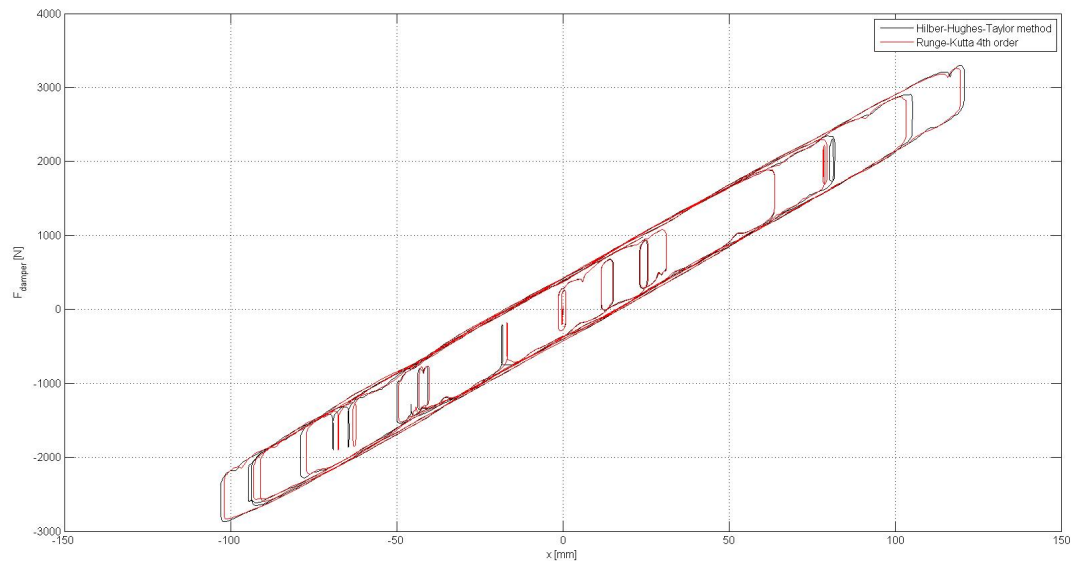


fig. 1. Time history dello spostamento alla base.



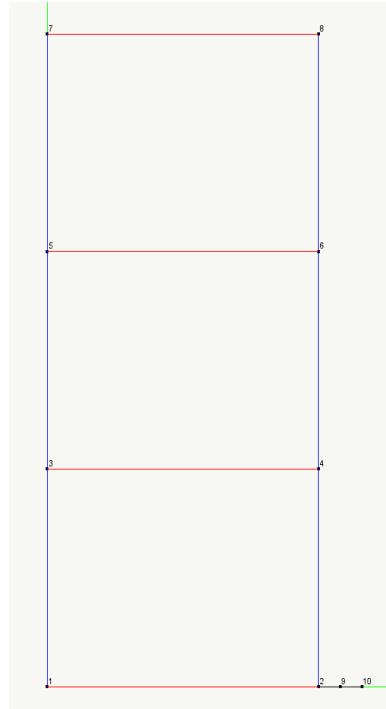
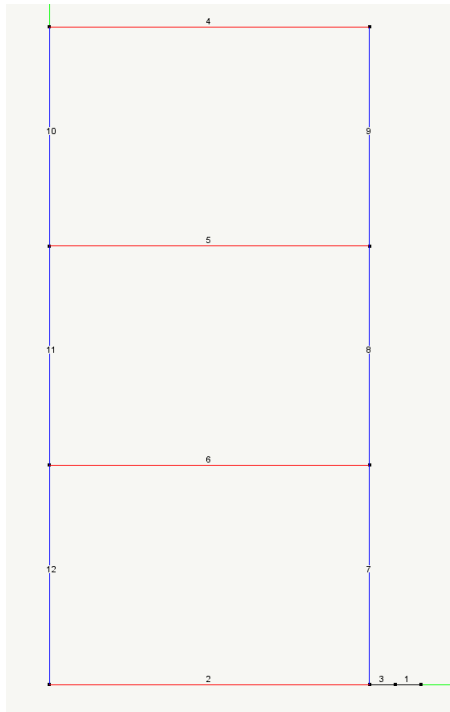
Time-history F_{damper} vs x_{damper}

Le analisi effettuate mediante Matlab ci sono state gentilmente fornite dall'ing. Cristiano Bilello.

Modellazione con Nolian

Si è analizzato il problema con Nolian All-in-One ambiente Earthquake Engineering

Il modello analizzato è il seguente:



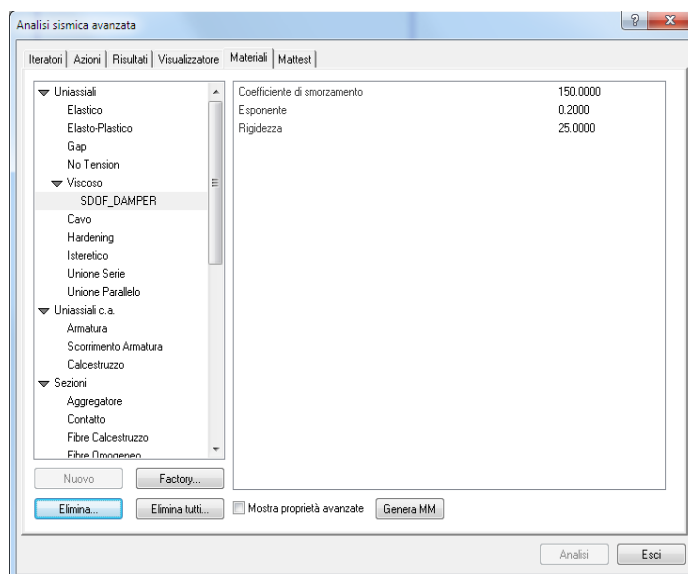
Modello di calcolo (numerazione elementi e numerazione nodi)

IL damper è l'elemento n. 3. esso è stato simulato in Ambiente Earthquake engineering tramite un Boundary a cui è stato collegato il materiale non lineare.

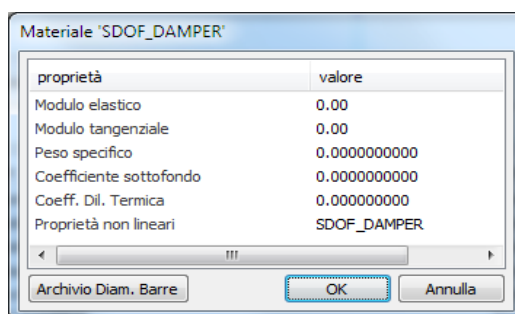
Materiali non lineari

Vediamo di seguito la procedura tutoriale per assegnare questo tipo di elemento:

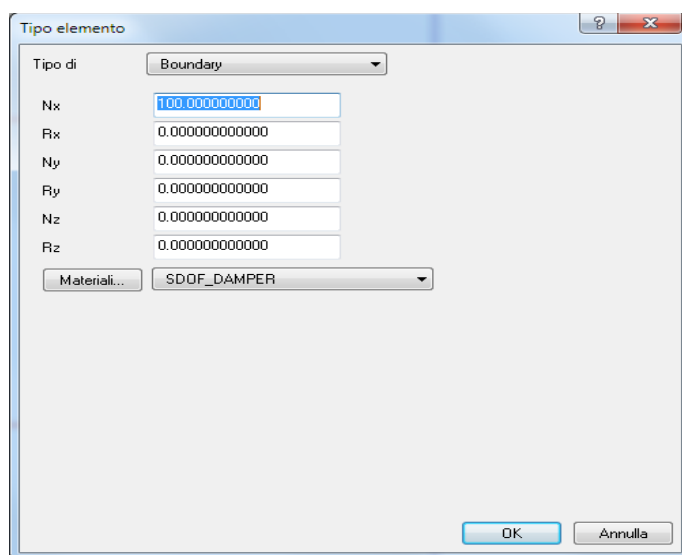
1. passare ad EE
2. Dal menu materiali selezionare la voce Materiali
3. si aprirà il dialogo riportato nella figura seguente:



4. selezionare il materiale uniassiale, “viscoso”, assegnare un nome al materiale ed inserire i dati inerenti il materiale e cioè il coefficiente $C=150$ Il coefficiente Alfa (esponente)=0,2 e la rigidezza del dispositivo $k=25\text{Nmmq}$
5. creato il materiale in EE collegarlo ad un metamateriale generico



6. assegnate il metamateriale appena creato all'elemento boundary

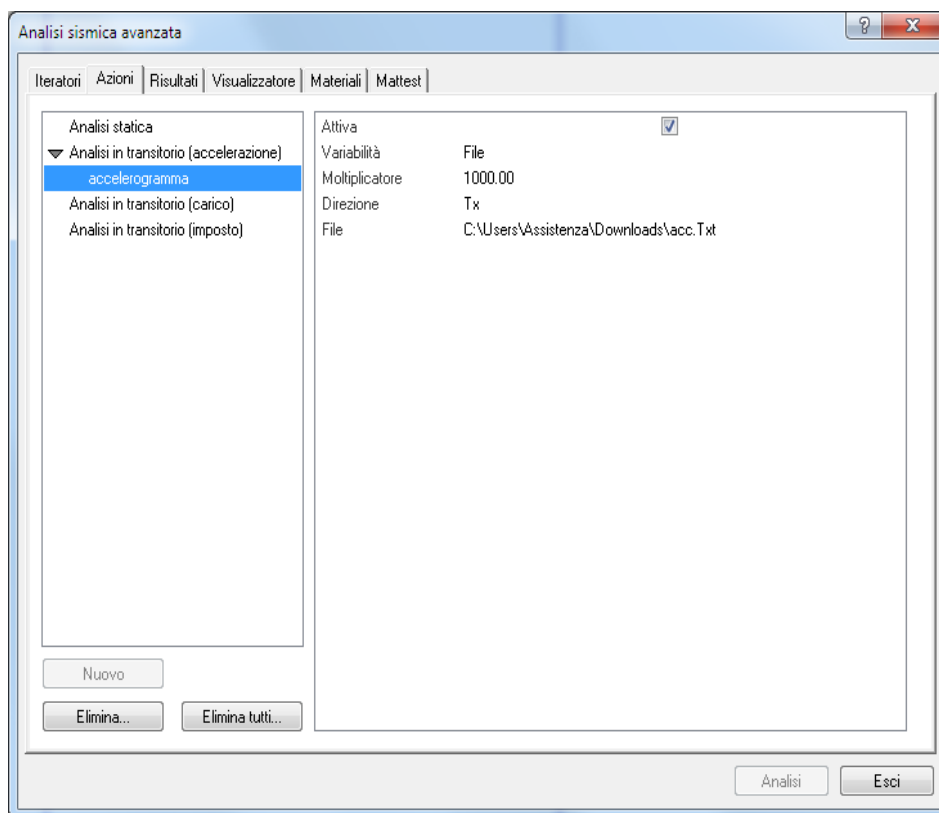


N. B. la presenza dell'elemento 1 come asta generica molto rigida è necessaria per attivare l'elemento viscoso.

Assegnazione delle azioni

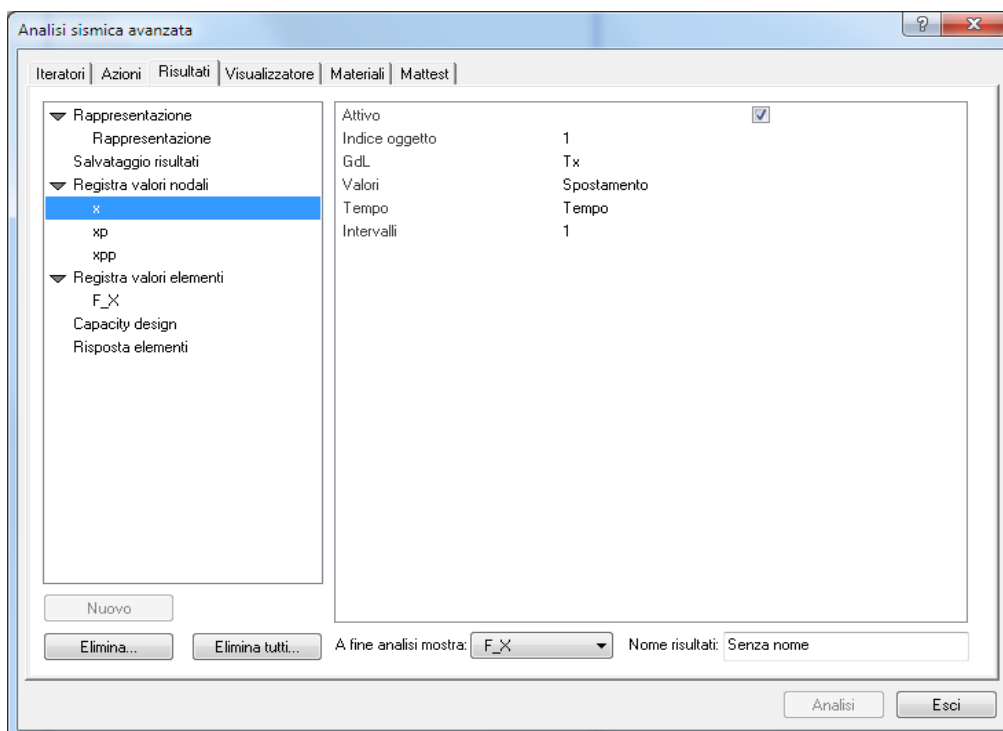
Nelle figure che seguono vediamo come assegnare:

Le azioni sismiche e nella fattispecie l'accelerogramma. Essendo in metri e secondi è stato amplificato di 1000 per passarlo a millimetri.

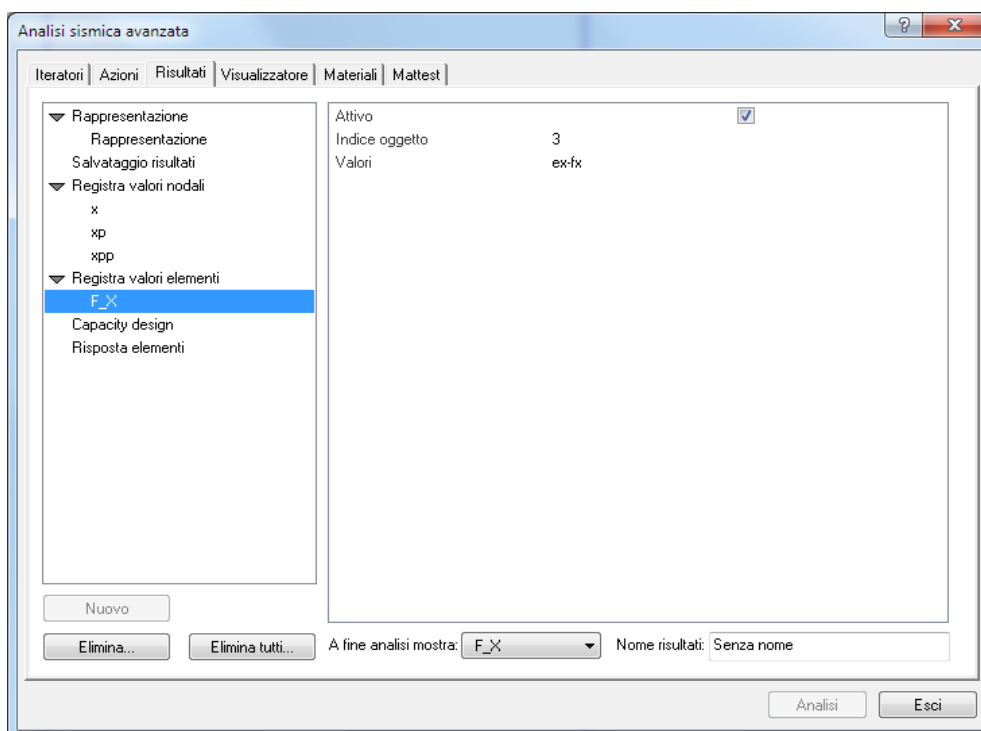


Definizione dei risultati

In questo esempio si è scelto di monitorare il nodo alla base in termini di spostamento, velocità ed accelerazione.



Inoltre si è registrato il valore di elemento per il monitoraggio del ciclo di dissipazione del nostro smorzatore.



Analisi

Per quanto riguarda l'analisi si è considerata un'analisi dinamica non lineare (Metodo di Newmark).

Per effettuare le analisi si passa alla scheda iteratori che configureremo come nella seguente figura.

The screenshot shows the 'Analisi sismica avanzata' dialog box with the 'Iteratori' tab selected. The dialog has a title bar with a question mark and a close button. The tabs are 'Iteratori', 'Azioni', 'Risultati', 'Visualizzatore', 'Materiali', and 'Matteat'. The 'Iteratori' tab contains several sections:

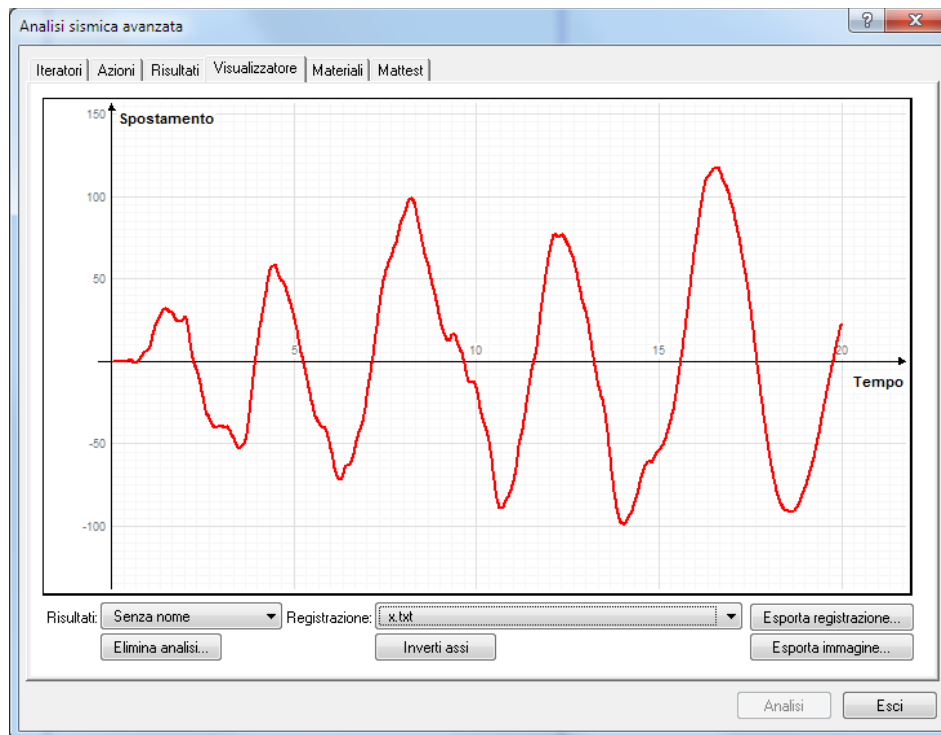
- Metodi:** Radio buttons for 'Lineare', 'Newton-Raphson', and 'Newton-Raphson con Line Search' (selected).
- Modale:** Radio button for 'Modale' and a text box for 'N. autovalori' with the value '3'.
- Solutori:** Radio buttons for 'Matrici sparse simmetriche' (selected) and 'Matrici sparse non simmetriche'.
- Integratori statici:** Radio buttons for 'Controllo di carico', 'Controllo di spostamento', and 'ArcLength'.
- Integratori transitorio:** Radio button for 'Newmark' (selected).
- Test di convergenza:** Radio buttons for 'Equilibrio', 'Spostamenti', and 'Energia' (selected). Text boxes for 'Massimo numero iterazioni' (50) and 'Tolleranza' (0.0100000).
- Smorzamento di Rayleigh:** Text boxes for 'Massa' (0.000000) and 'Rigidizza' (0.000000).
- Parametri numerici:** Text boxes for 'Numero di passi' (2000), 'Incremento' (1.0000000), 'Variabilità di passo' (0.0000000), 'Usa lista' (checkbox), 'Lista' (button), 'Nodo di riferimento' (-1), 'Gdl' (Tx), 'Lunghezza arco' (10.000000), 'Alfa' (1.0000000), and 'Intervallo temporale' (0.0100000).
- Options at the bottom:** 'Apri questo dialogo prima di ogni analisi' (checked), 'Inizia analisi dallo stato di quella precedente' (unchecked), and 'Applica azioni gravitazionali prima' (unchecked).

At the bottom right are 'Analisi' and 'Esci' buttons.

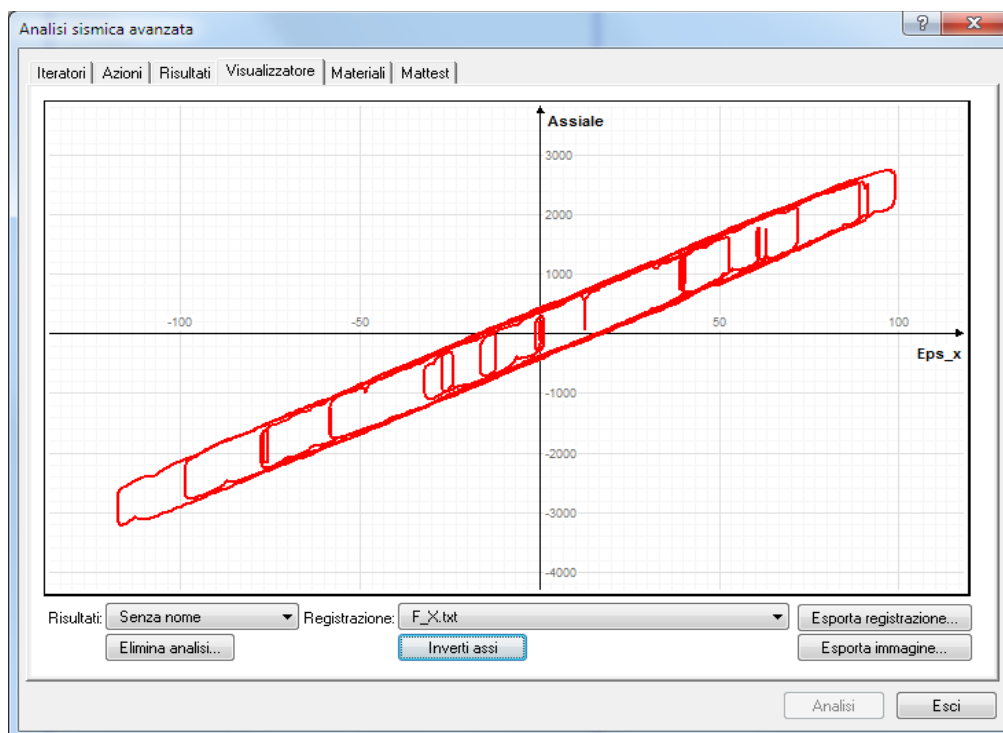
Per effettuare l'analisi si preme sul tasto omonimo.

Visualizzazione dei risultati

Effettuata l'analisi si ottiene la time history dello spostamento alla base,

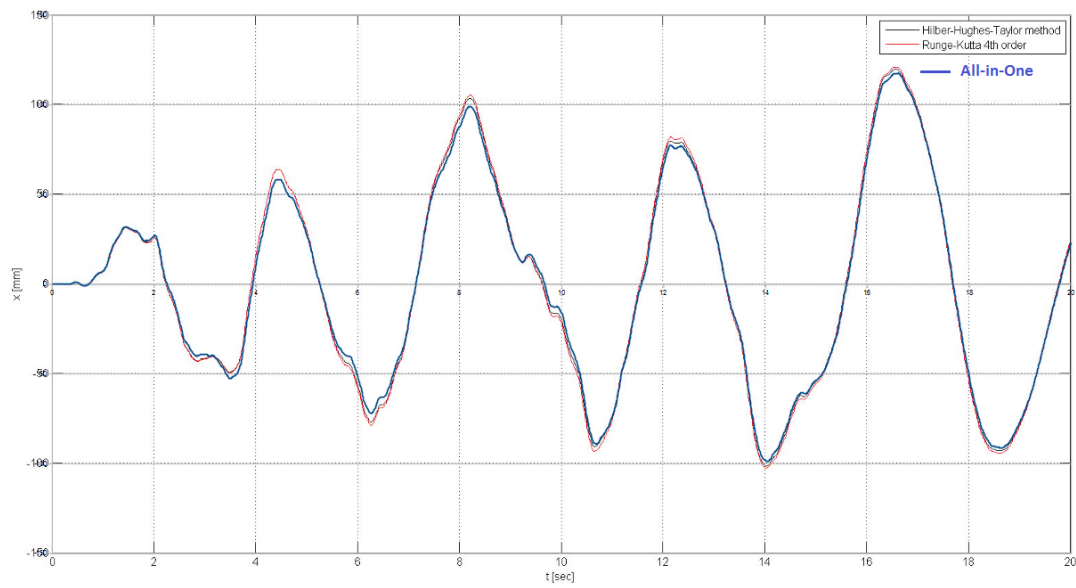


e il ciclo di dissipazione del nostro smorzatore:



Praticamente coincidenti alle analisi effettuate con Matlab.

A riprova di quanto affermato si riporta una immagine con la sovrapposizione dei due grafici.

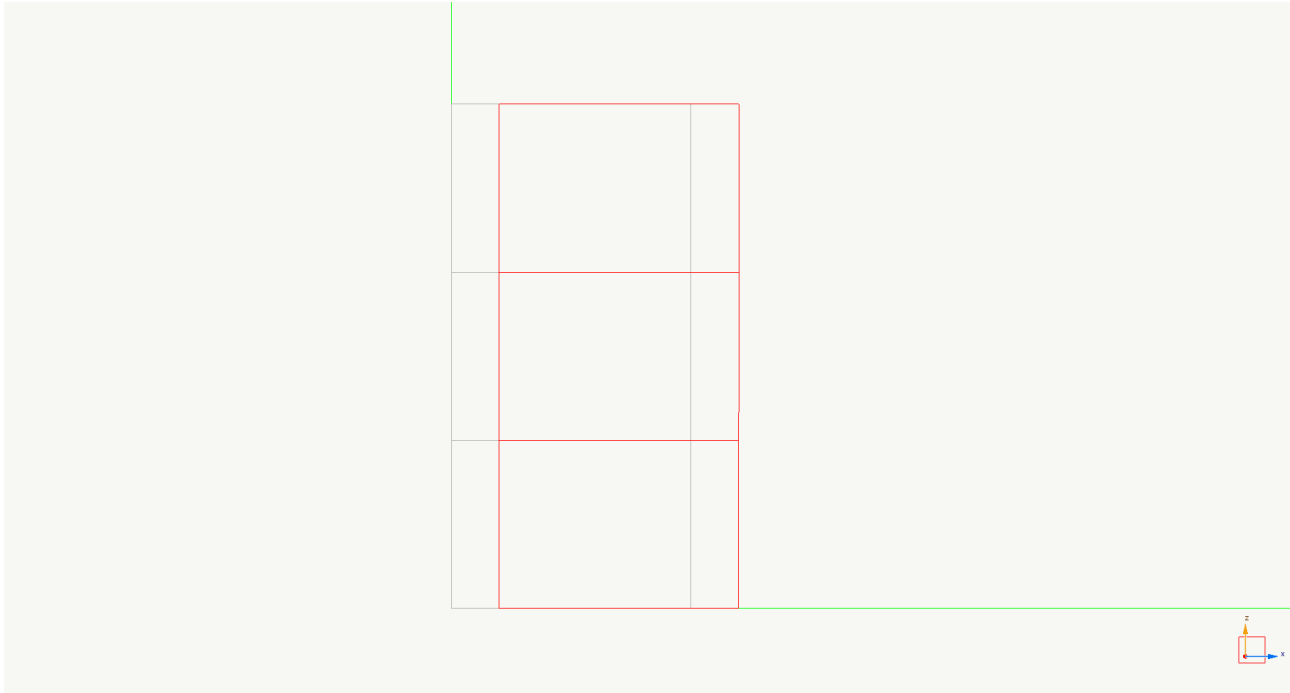


Come si vede i risultati risultano del tutto sovrapponibili utilizzando metodi di soluzione in forma chiusa delle matrici della struttura e il metodo FEM di Nòlian All-In-One.

Analisi dei risultati

Deformate della struttura

Nella figura seguente è riportata la deformata della struttura. Come si vede la struttura isolata si deforma come fosse un corpo rigido quindi il sisma viene dissipato completamente dal damper viscoso di cui alle pagine precedenti è visibile il diagramma isteretico.

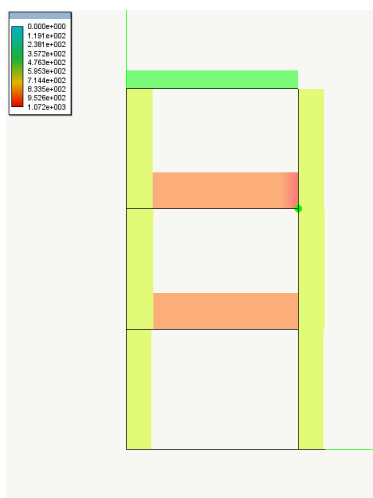


Lo spostamento massimo si ha al passo 1661 ed è pari a 117,36mm al nodo 1 e 118,29mm al nodo 7 in testa al telaio. Lo spostamento differenziale che deve sopportare la struttura è pari alla differenza e cioè a 0,93mm.

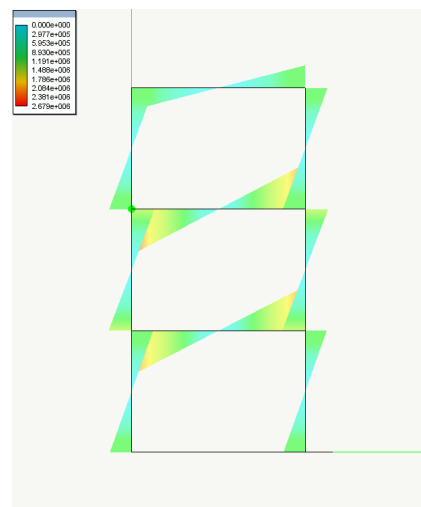
In queste condizioni la struttura si comporterà come soggetta ai soli carichi verticali.

Sotto vediamo le sollecitazioni massime sulla struttura al medesimo passo che risultano essere molto basse:

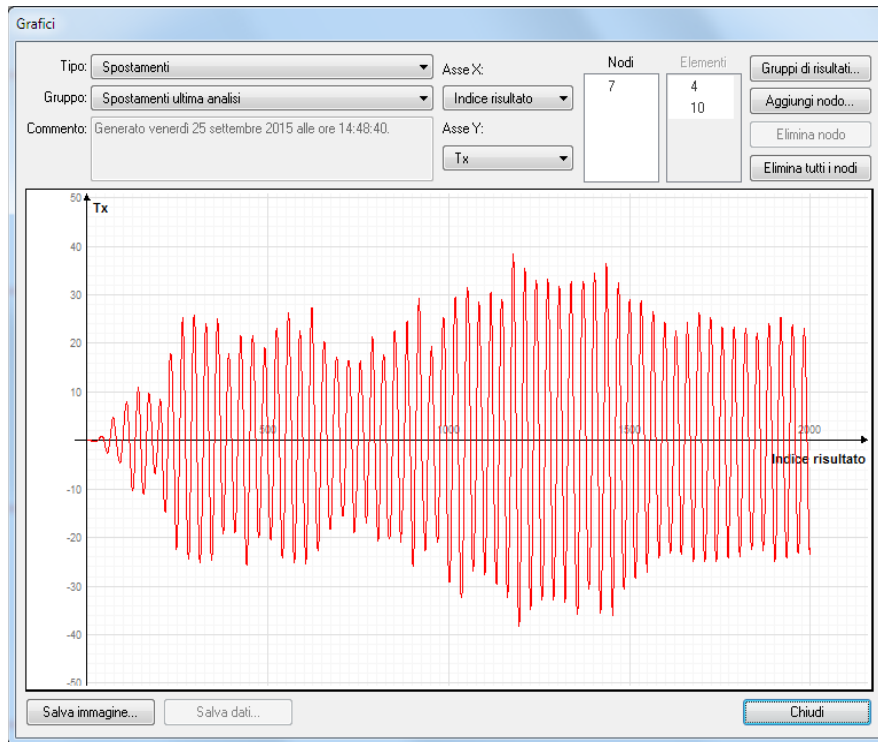
$$T_{max} = 1000N = 1.00KN$$



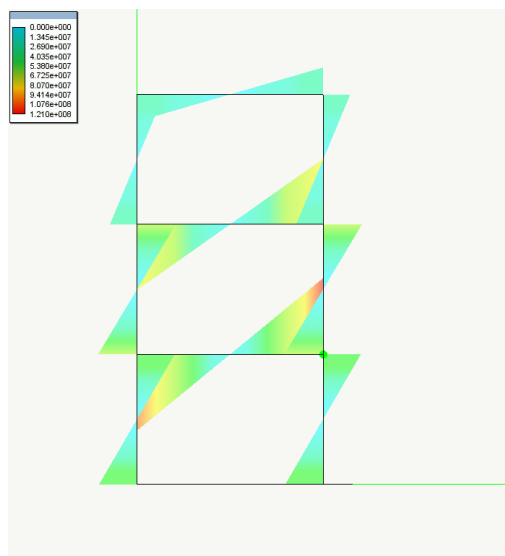
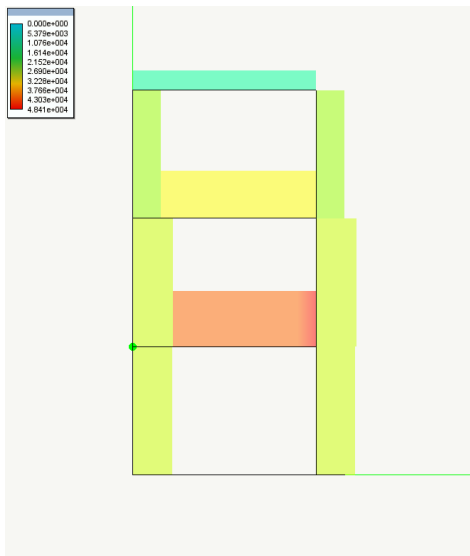
$$M_{max} = 2,679KNm$$



Per controllo si effettua lo stesso calcolo senza il sistema di isolamento. Lo spostamento differenziale massimo che deve sopportare la struttura risulta essere di circa 39 mm. Il grafico dell'andamento dello spostamento nel tempo è il seguente.



Sotto vediamo le sollecitazioni massime sulla struttura al medesimo passo che risultano essere molto più alte passando da 1,00KN a 48,00 KN per il taglio e 121,0KNm per il momento:



Conclusioni

Durante questo breve excursus abbiamo trattato l'utilizzo dei sistemi di isolamento nelle strutture.

Dopo aver elencato i tipi più diffusi di isolatori, abbiamo effettuato una modellazione di test con Nòlian All-In-One ambiente Earthquake Engineering, dapprima con un singolo elemento per valutare i diversi parametri e le caratteristiche meccaniche da utilizzare nelle diverse tipologie di isolatore successivamente abbiamo applicato tali isolatori ad un telaio tipo per valutare l'effetto di questi sistemi su strutture complesse.

Dalle analisi effettuate si è riscontrato che l'inserimento degli isolatori nelle strutture porta un grande beneficio con una diminuzione drastica delle sollecitazioni dovute al sisma sulla sovrastruttura. La diminuzione è tale da consentire il dimensionamento delle sovrastrutture i soli carichi verticali senza che queste abbiano danni in fase sismica.

Ciò significa che, anche nel caso di adeguamento di strutture l'utilizzo degli isolatori, seppur abbastanza costoso, porterebbe a degli ottimi risultati.

In questa fase Nòlian All-In-One si è rivelato uno strumento efficace nel calcolo e nella valutazione di questi sistemi. Durante la nostra trattazione abbiamo anche avuto la possibilità di valutarne l'estrema affidabilità procedendo all'integrazione diretta delle equazioni del moto di un sistema equivalente a masse concentrate ottenendo risultati completamente sovrapponibili.