



Earthquake Engineering (EE)

Tutorial base

**APPLICAZIONE DI ANALISI NON LINEARI
PER STRUTTURE IN C.A.**

© 2016, Softing srl

Riproduzione consentita citando la fonte

rev. 2 160720

Indice

1. 1.Generalità	3
2. 2.Panoramica dell'ambiente Earthquake Engineering	5
2.1 Interfaccia grafica	5
2.2 Procedimenti per l'esecuzione di analisi non lineari	7
a) Analisi sismica avanzata	7
Iteratori.....	7
Azioni.....	8
Risultati.....	9
Visualizzatore.....	10
Materiali.....	11
Mattest.....	12
b) Pushover	13
c) Instabilità	14
3. 3.Utilizzo dell'ambiente EE	15
3.1 Analisi statica lineare di un telaio piano in C.A.	15
a) 1) Materiali non lineari per elementi “trave” in C.A. (Metodi manuali)	19
Materiali non lineari a plasticità diffusa (mod.a fibre) - Uniassiali c.a. - Passo 1.....	19
Materiali non lineari a plasticità diffusa (mod. a fibre) – Passo 2a – Sez. – Fibre CLS.....	32
Materiali non lineari a plasticità diffusa (mod. a fibre) – Passo 2b – Sez. – Sez. fibre.....	38
b) 2) Materiali non lineari per elementi “trave” in C.A. (Metodo automatizzato)	49
c) Assegnazione delle azioni per analisi non lineari	55
Assegnazione azioni: Analisi sismica avanzata.....	55
d) Risultati	58
Attivazione dei registratori.....	58
e) Iteratori	71
Metodi di iterazione.....	71
Modale.....	72
Solutori.....	72
Integratori statici.....	72
Integratori transitorio.....	73
Test di convergenza.....	74
Parametri numerici.....	74
f) Impostazioni per l'analisi Pushover	80
g) Risultati Fibre	91
4. 4.Configuratore specializzato per l'analisi Pushover	95
4.1 Genera spinta	98
a) Pulsanti di generazione Spinte	101
4.2 Analisi Pushover	102
5. 5.Note sulla mancata convergenza	109

1. Generalità

L'ambiente Earthquake Engineering (EE), è l'ambiente di AllInOne dedicato alle analisi NON LINEARI.

Le analisi non lineari

I tipi di analisi supportati sono: analisi statica non lineare, analisi dinamica non lineare, analisi di instabilità. Le analisi non lineari, hanno avuto negli ultimi anni un'importanza sempre crescente, entrando come strumenti di lavoro, in svariati campi di applicazione e per tale ampio spettro di applicazioni è richiesta sia una gran flessibilità nella modellazione, sia una gran varietà sulle proprietà non lineari necessarie. Oltre ad una interfaccia che consente la configurazione di analisi non lineari del tutto generali, questo ambiente offre un percorso di configurazione specifico per la analisi “pushover” secondo la normativa italiana rendendo questo tipo di analisi molto agevole. Per l'analisi “pushover”, ad esempio, è possibile generare automaticamente le azioni per l'analisi statica non lineare secondo i seguenti gruppi di forze definiti dalla normativa (gruppi 1a, 1b, 1c, e 2a), è possibile impostare il nodo di controllo per il tracciamento della curva di capacità e lo spostamento massimo a cui troncare l'analisi, registrare automaticamente i risultati dell'analisi per l'esecuzione delle verifiche, ed elaborare automaticamente le curve di capacità secondo il metodo del DM '08 con la bilineare, o secondo il metodo del CSM, e, alla fine dell'analisi, si possono controllare i risultati con l'esplicazione delle grandezze maggiormente significative nel riepilogo restituito automaticamente dal software. Questa scelta di “automatizzare” le operazioni più consuete consente di non limitare in alcun modo la generalità delle analisi non lineari disponibili

I materiali

L'ambiente EE dispone di una vasta libreria di materiali e di elementi a comportamento non lineare (sia per elementi monodimensionali che bidimensionali). Si hanno in particolare:

Materiali uniassiali : Elastico, elastico perfettamente plastico, elastico perfettamente plastico con gap, no tension, cavo, hardening, viscoso, isteretico, unione serie, unione parallelo. armatura, scorrimento armatura, calcestruzzo.

Materiali pluriassiali: Alcuni materiali pluriassiali: elastico, elasto plastico: Drucker-Prager, von Mises, cam-clay. j2. materiali a layer per shell 8 nodi: elastico, elastoplastico, armatura, calcestruzzo.

Sezioni, formate dall'aggregazione di più materiali: omogenea, fibre, sezione aggregata, cerniera di estremità, etc.

Elementi, formati da più sezioni: Sono presenti sia elementi a plasticità diffusa (modelli a fibre) che elementi a Plasticità concentrata (cerniere puntuali), inoltre sono implementati anche elementi “Isolatori” (a frizione, elastomerico e a pendolo).

Metodi di risoluzione

Fattorizzazione sparse in-core. Integrazioni nel dominio del tempo (Wilson), integratori statici Newton-Raphson, Newton-Raphson con line-search, controllo in carico o in spostamento, lunghezza d'arco, tolleranza su spostamento, equilibrio, energia, solutori per matrici sparse anche non simmetriche.

Il MattTest

Il programma è dotato di una funzione, il “MatTest”, ossia un'interfaccia grafica di controllo delle proprietà dei materiali a comportamento non lineare, che permette di imporre deformazioni al materiale e visualizzarne il comportamento sul diagramma tensioni-deformazioni. Ciò per “testare” le assegnazioni ed il comportamento dei materiali tramite grafici immediati sforzo-deformazione o dominio plastico.

Le azioni

In EE le “azioni” sono definibili come carichi, spostamenti, accelerazioni etc. variabili anche nel tempo (statiche, costanti o crescenti linearmente, transitorie: carichi, spostamenti, accelerazioni). Le azioni possono essere di numero illimitato ed applicate a differenti punti della struttura. La variabilità delle azioni nel tempo può essere descritta anche tramite comodi file in formato TXT (ad esempio accelerogrammi con tre componenti di velocità, accelerazione o spostamento).

I registratori

La possibilità di documentare i risultati delle analisi è affidata ai “registratori” che sono appositamente studiati per registrare i voluti valori in nodi o elementi della struttura a passo voluto. I registratori sono di moltissimi tipi e ne possono essere attivati anche più di uno contemporaneamente. Vi sono dei registratori che consentono di realizzare dei filmati che mostrano il comportamento non lineare della struttura e l'evoluzione dello stato plastico dei vari elementi.

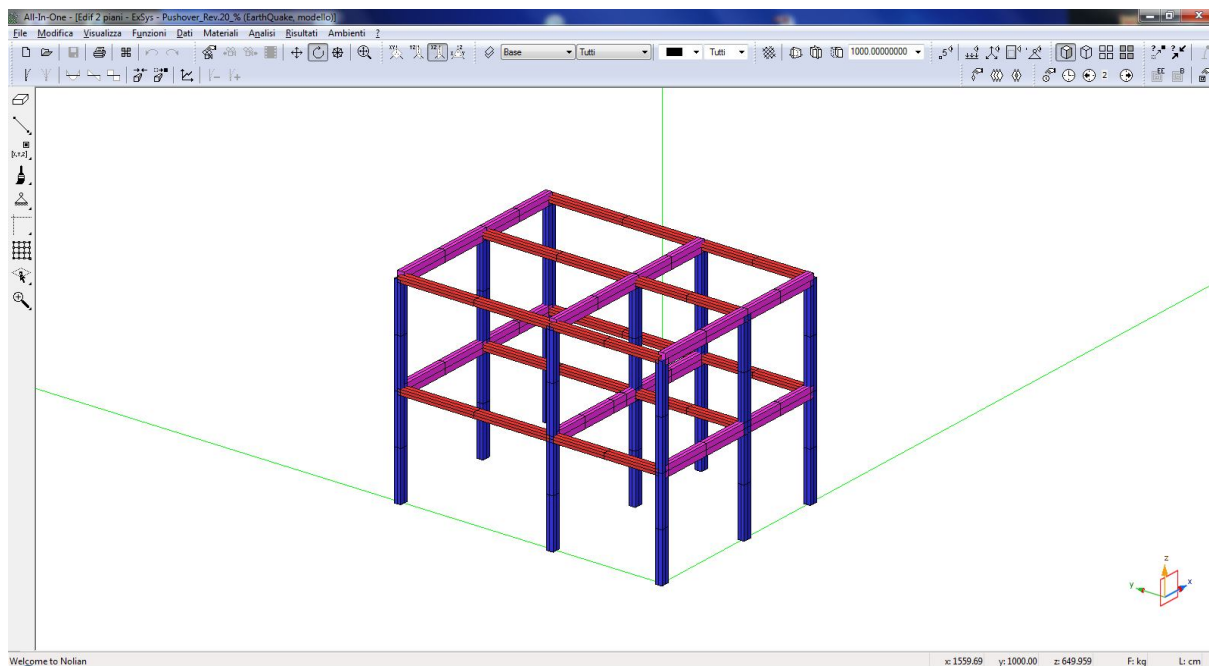
Analisi pushover

Vi è una sezione totalmente dedicata all'analisi pushover secondo DM2008 che permette la generazione automatica delle 16 condizioni di carico da analizzare, con la distribuzione delle forze relativa al Gruppo 1 e Gruppo 2, e che, a calcolo eseguito, mostra i risultati delle 16 analisi fornendo la curva di capacità, l'elaborazione con la bilineare associata ad un sistema equivalente ad un grado di libertà, e fornisce tutti i dati salienti calcolati, registrando le azioni in corrispondenza dello spostamento massimo, con le quali devono essere eseguite le verifiche di resistenza, come è richiesto, ad esempio, per un edificio in cemento armato esistente.

2. Panoramica dell'ambiente Earthquake Engineering

2.1 Interfaccia grafica

All'accesso nell'ambiente EE si trova la presente interfaccia grafica:

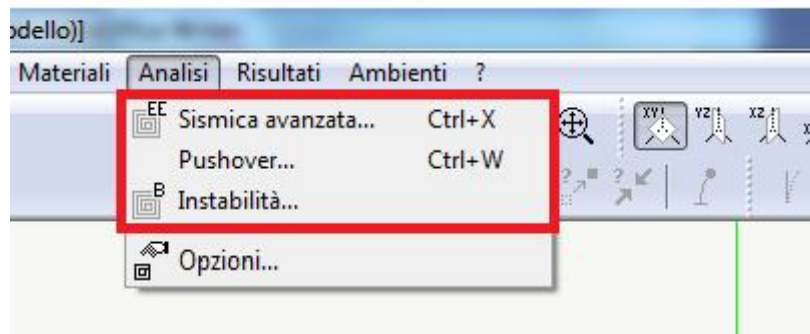


L'interfaccia dell'ambiente EE è del tutto identica a quella dell'ambiente Nòlian, ed il suo funzionamento è il medesimo, ossia i comandi per il tracciamento degli elementi, per l'assegnazione delle condizioni di carico, delle sezioni, dei vincoli e di tutti quei dati di input che devono essere definiti e/o assegnati indipendentemente dal tipo di analisi che si intenda eseguire, (lineare o non lineare), sono gli stessi che si trovano nell'ambiente Nòlian, e per i quali si rimanda al relativo tutorial.

I comandi aggiuntivi di cui dispone EE rispetto all'ambiente Nòlian sono quelli attivabili tramite le icone evidenziate nell'immagine sotto:



o equivalentemente dal menù a tendina “Analisi” nella barra in alto:



Tali comandi permettono di accedere alle finestre di dialogo da cui si possono impostare le analisi non lineari.

2.2 Procedimenti per l'esecuzione di analisi non lineari

I comandi di accesso all'impostazione dei vari tipi di analisi non lineari sono:

- Analisi sismica avanzata
- Pushover
- Instabilità

a) Analisi sismica avanzata

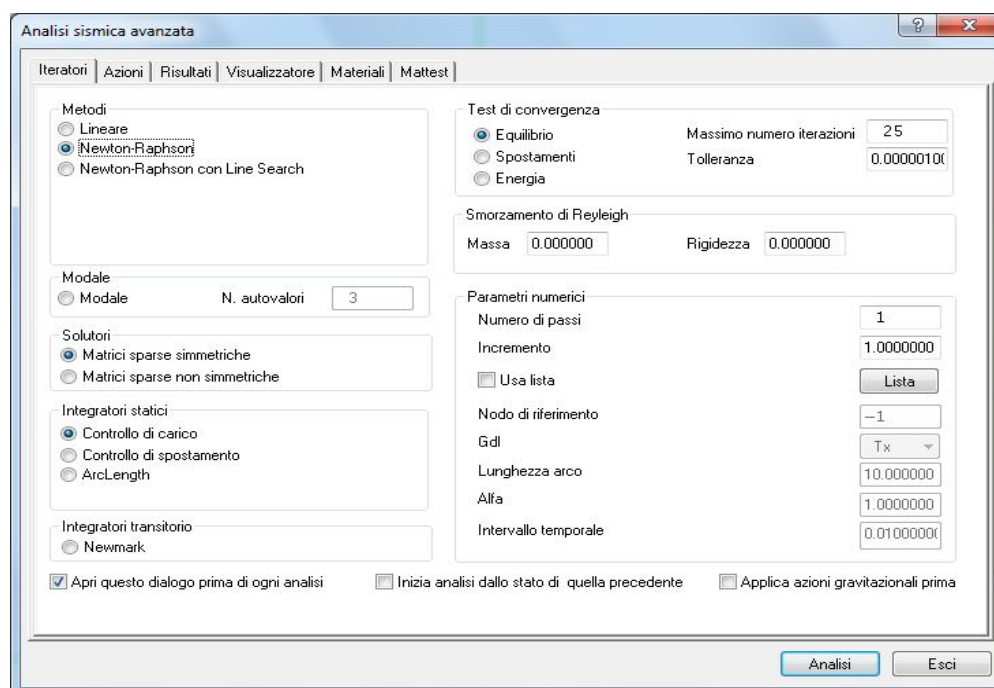
Il comando “Analisi sismica avanzata” permette di accedere al quadro di controllo generale di tutto l'ambiente EE, tale finestra di dialogo che contiene al suo interno tutte le opzioni ed impostazioni per la definizione di analisi non lineari.

In tale finestra di dialogo l'utente può impostare tutti i tipi di analisi, nelle modalità e tramite i metodi che preferisce, con qualsiasi tipo di materiale a comportamento non lineare, implementato nel programma, con una gestione totalmente manuale in totale libertà.

Più avanti spiegheremo il funzionamento completo delle funzionalità e dell'utilizzo dei vari comandi, in questo paragrafo elencheremo soltanto a carattere generale le funzioni che hanno i temi trattati nei vari dialoghi.

Iteratori

In tale dialogo vengono impostati dall'utente tutti quei parametri e le opzioni di esecuzione dell'analisi, ad esempio il tipo di algoritmo iterativo (Lineare, Newton-Raphson,..), il tipo di integratore, il tipo di solutore, il test di convergenza, il numero di iterazioni, la tolleranza, il numero di passi, l'incremento della grandezza di integrazione tra il passo successivo ed il precedente, ecc..



Azioni

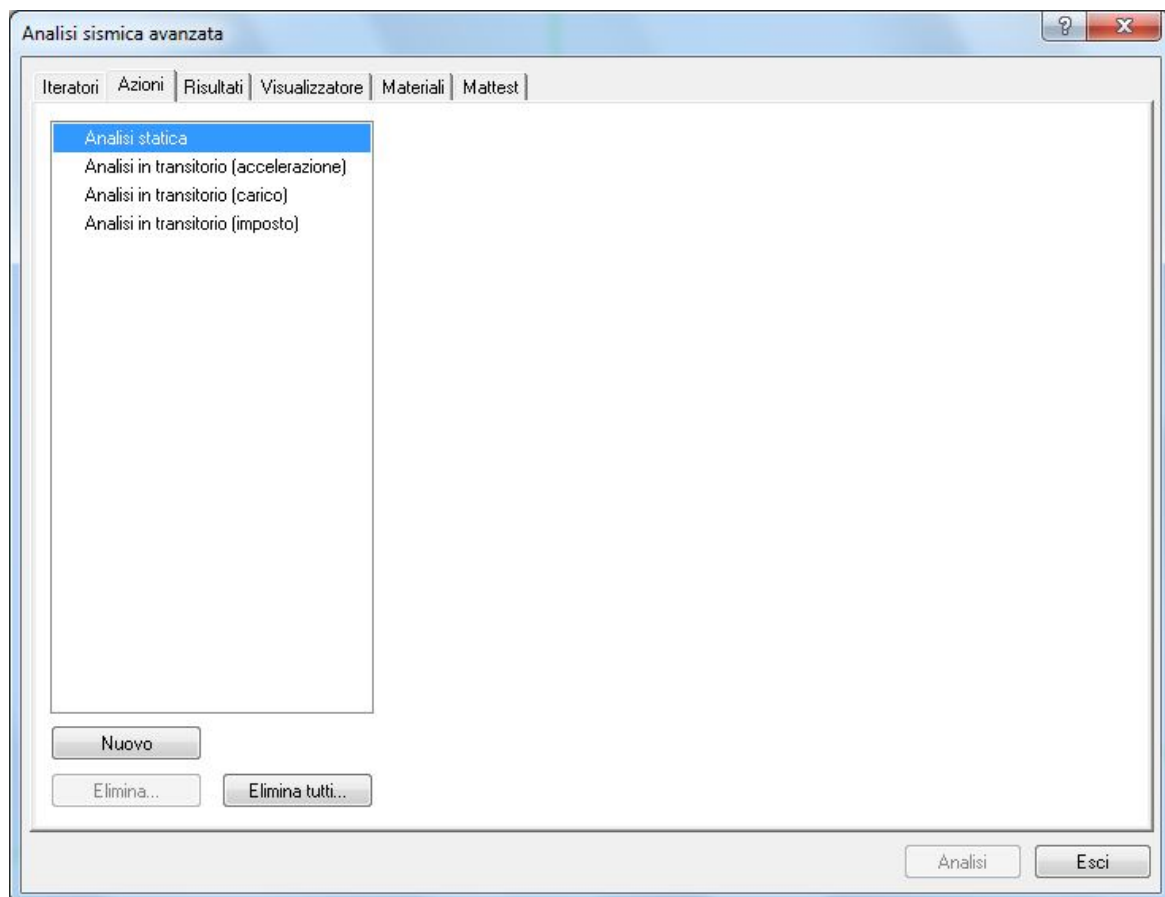
In tale dialogo vengono impostate dall'utente il tipo di analisi non lineare che si intende eseguire (statica non lineare, dinamica non lineare) e la natura delle azioni che si intende applicare alla struttura.

Ad esempio una azione inserita sotto il tipo “Analisi statica” imposta una analisi statica non lineare, la cui azione (che nella analisi può essere considerata costante o variabile linearmen-
te) è un sistema di forze concentrate e/o di carichi distribuiti, che l'utente ha assegnato tramite una condizione di carico, (come in Nòlian);

mentre tutte le azioni inserite sotto i tipi “Analisi in transitorio” impostano una analisi dinamica non lineare in cui le “azioni” possono essere assegnate tramite una serie di accelerazioni, o di forze, o di spostamenti indotti sul modello, che hanno una legge di variabilità che segue i seguenti criteri:

Costante, Lineare, Rettangolare, Triangolare, Sinusoidale, o da File

Il tipo di variabilità “da File” permette di inserire tramite un file .txt con all'interno i valori che descrivono nel tempo, la legge di variazione del tipo di azione da indurre alla struttura; ad esempio è in questo modo che si può assegnare un acellerogramma o uno spostogramma, registrati in un evento sismico reale.



Risultati

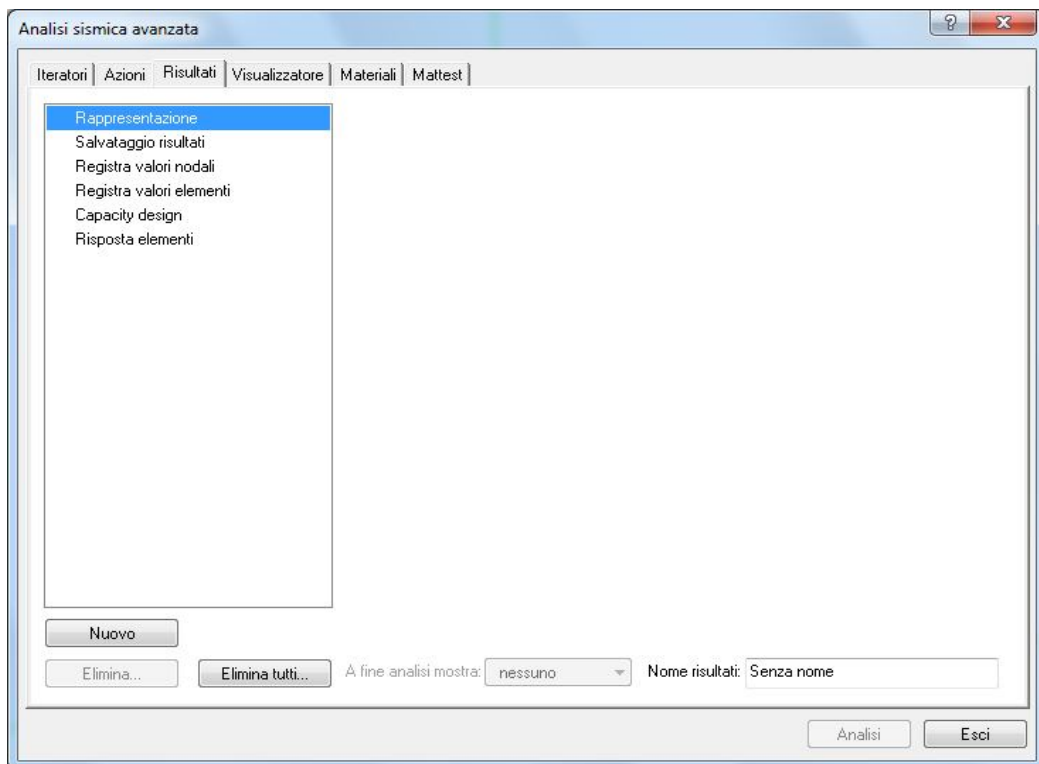
In tale dialogo vengono impostati i cosiddetti “Registratori”.

A parte i registratori attivabili sotto la voce “Rappresentazione”, definire un “Registratore” consiste per il programma, nell'attivare un'entità che durante l'analisi monitora e scrive su un file esterno (in formato .txt), per un certo elemento del modello (un nodo, un'asta, un elemento shell o un brick) come varia una grandezza in relazione ad un'altra grandezza; ad esempio è possibile ottenere la curva di capacità di una struttura se eseguendo una analisi statica lineare, viene attivato per il “nodo di controllo” definibile dall'utente, (che potrebbe essere il nodo master di copertura), attivando un “Registratore” sotto la voce “Registra valori nodali”, ed impostando come grandezze da registrare lo spostamento in direzione X, subito dal nodo durante l'analisi, in relazione alla somma delle reazioni vincolari in direzione X (somma dei tagli alla base), alla fine quello che si otterrà sarà un file in formato .txt che potrà essere aperto nella tendina “Visualizzatore” e che mostrerà appunto la curva di capacità della nostra struttura.

Per quanto riguarda i “Registratori” attivabili invece sotto la voce “Rappresentazione”, questi consistono in una vera e propria rappresentazione grafica delle varie grandezze registrabili, che viene effettuata direttamente sul modello durante l'analisi, e che può essere anche salvata su un file video ed essere visualizzata successivamente esternamente al programma.

Le rappresentazioni supportate sono:

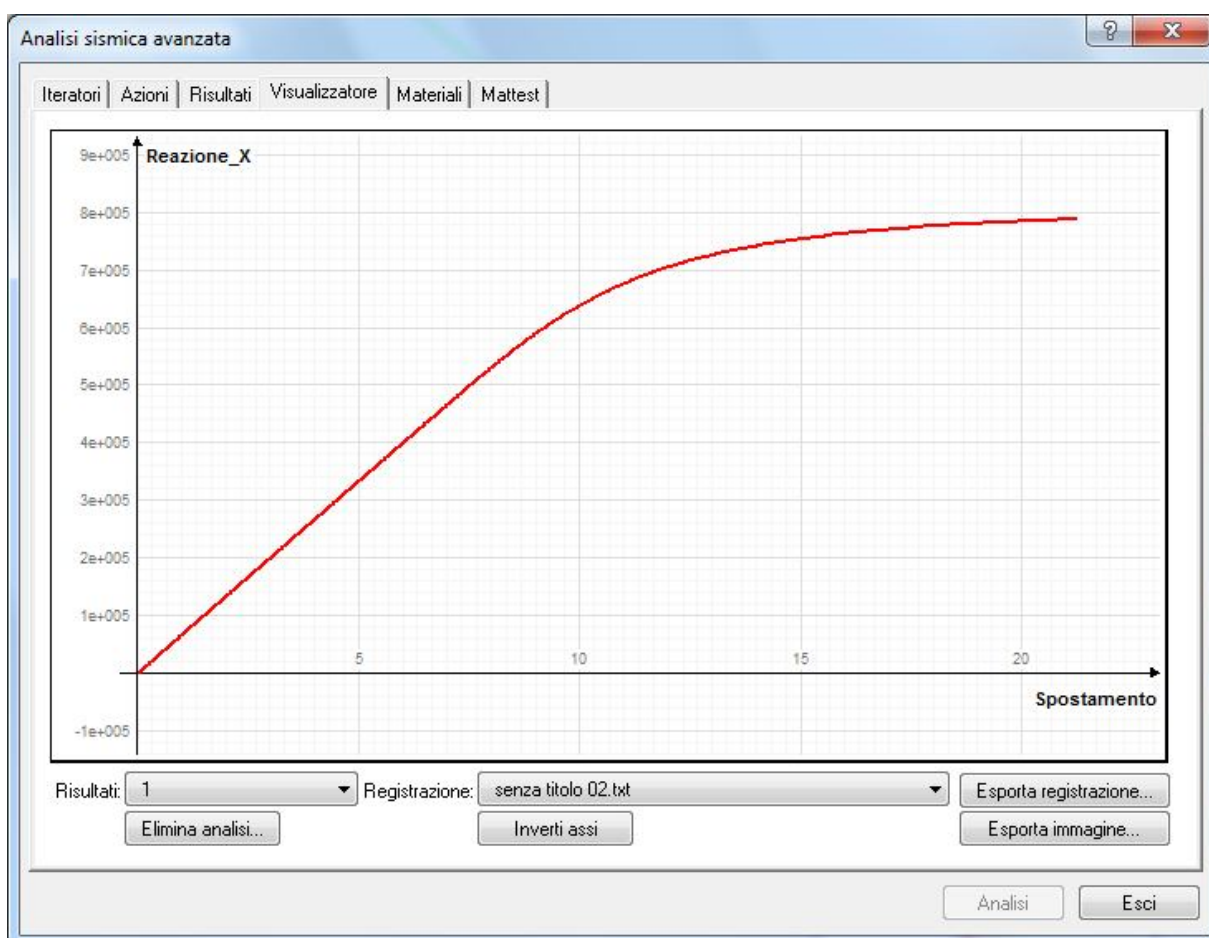
Diagramma deformato, Diagramma sforzi flessionali, Diagramma sforzi di taglio, Diagramma sforzi assiali, Direzioni principali flessionali, Direzioni principali membranali, Isosforzi equivalenti flessionali, Isosforzi equivalenti membranali, Isosforzi equivalenti guscio, Isosforzi principali trazione, Isosforzi principali compressione, Isosforzi principali taglio membranale, Isospostamenti, Stato plastico.



Visualizzatore

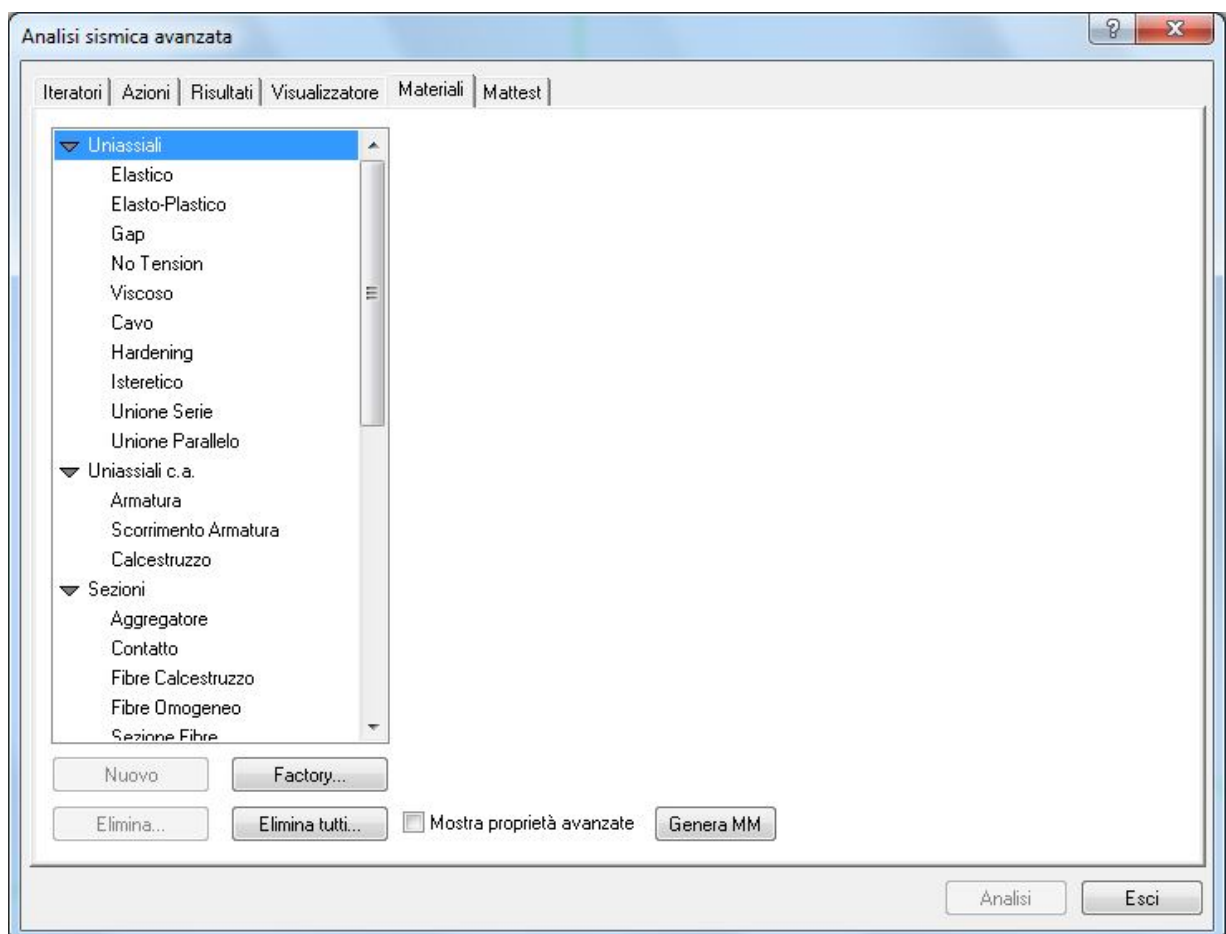
In tale dialogo come accennato in precedenza è possibile caricare i file con estensione .txt scritti dal programma durante l'analisi, che mostrano i grafici ed i diagrammi che l'utente ha imposto di registrare.

Allo stesso modo è possibile caricare e visualizzare i contenuti di file da caricare come azioni “da File” per analisi in regime transitorio (accelerogrammi, spostogrammi, forzanti variabili nel tempo, ecc.).



Materiali

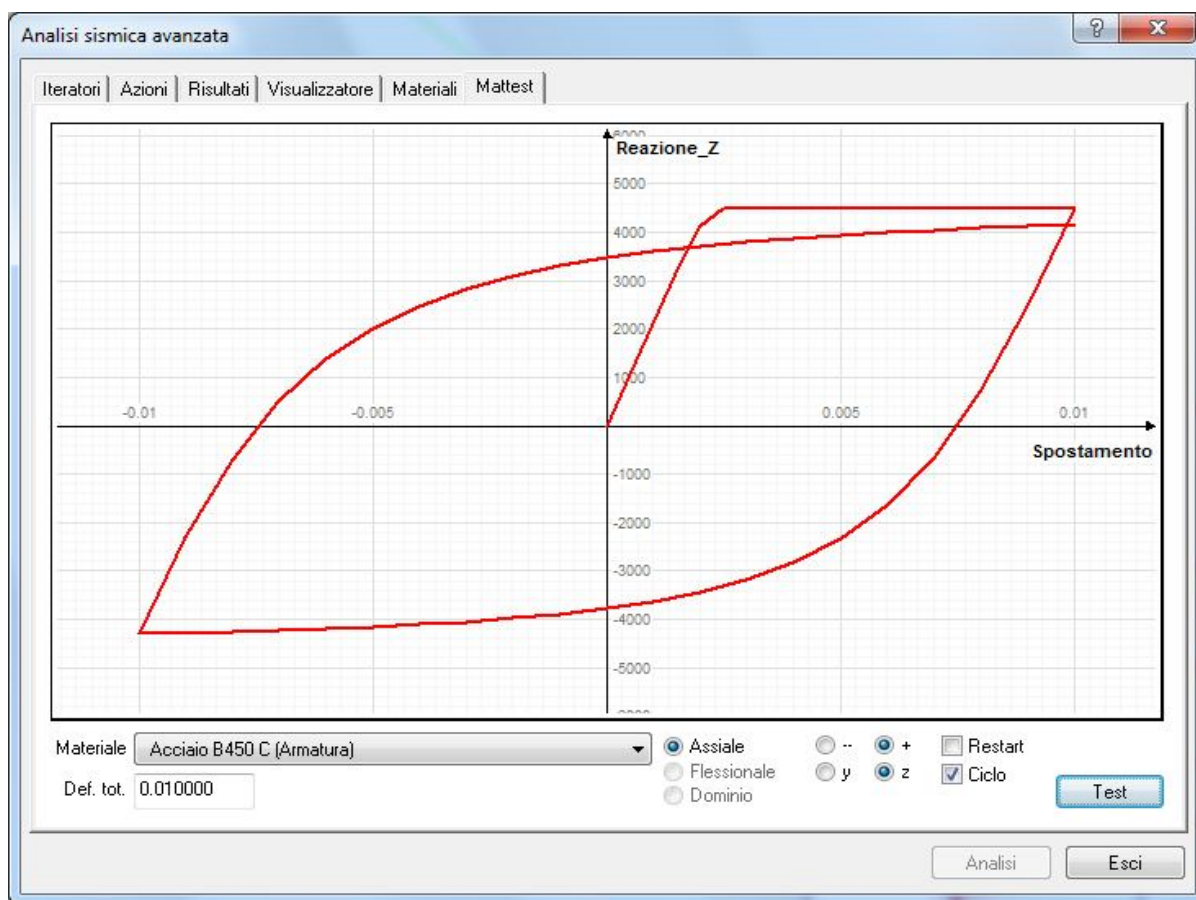
Tale dialogo è quello ove vengono definiti i materiali o gli elementi, aventi comportamento non lineare, in base al tipo di elemento strutturale, di materiale, e di modellazione di cui vuole usufruire l'utente, si deve definire in tale finestra tutti i materiali o gli elementi a comportamento non lineare che si vuole adottare nell'analisi, da ognuno di essi deve essere generato un metamateriale, che a sua volta sarà assegnato come “Proprietà non lineari” nella finestra di gestione dei metamateriali “Edit materiale”.



Mattest

Tale dialogo è simile al “Visualizzatore”, ma la differenza è che in questo vengono visualizzati i grafici ed i domini rappresentativi del comportamento non lineare dei materiali generati dall'utente, infatti scegliendo un materiale da sottoporre a test, viene inserito un valore di deformazione che si vuole assegnare ad un ideale provino costituito dal materiale non lineare scelto, e viene mostrato il diagramma tensioni-deformazioni corrispondente alla deformazione imposta, o addirittura è possibile assegnare un intero ciclo completo di deformazione imposte.

Ciò al fine di consentire un controllo sull'effettivo comportamento del materiale, e della correttezza dei dati inseriti da parte dell'utente.

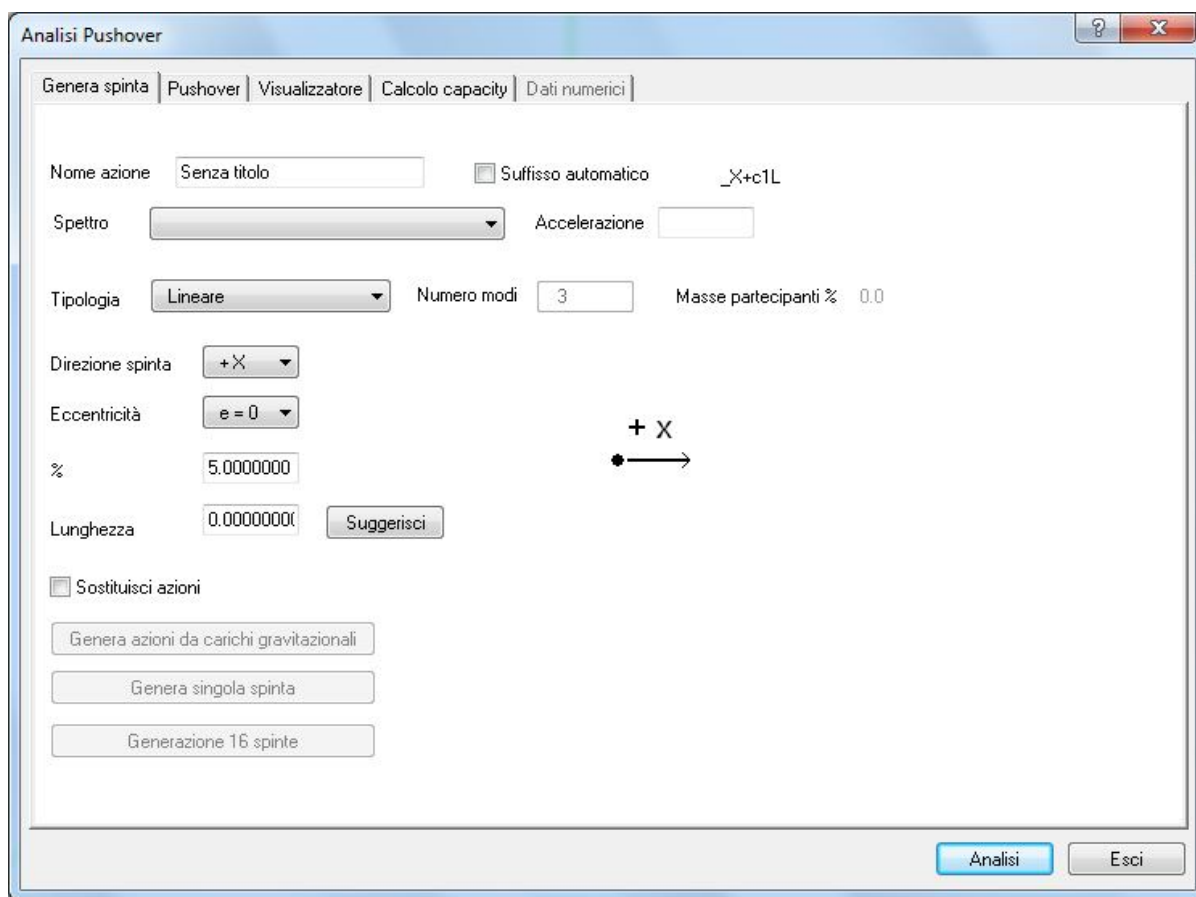


L'utilizzo del “Mattest” verrà approfondito più avanti.

b) Pushover

Il comando “Pushover” permette di accedere alla finestra di comando per la generazione automatica di una analisi Pushover in accordo alle istruzioni ed alle prescrizioni delle NTC 2008.

Nella finestra di dialogo “Pushover” vengono inserite dall'utente tutte le impostazioni ed i parametri necessari per far generare automaticamente al programma le condizioni di carico relative alle analisi pushover da eseguire, vengono automaticamente assegnati alla struttura i sistemi di forze secondo le istruzioni di normativa (Gruppi 1a, o 1b, o 1c, e Gruppo 2a in base alle opzioni selezionate agenti in ogni verso con le opportune eccentricità), vengono settati in maniera più agevole i parametri in base ai quali deve essere eseguita l'analisi (passi di analisi, tolleranza, ecc.), e vengono creati automaticamente i registratori riferiti al punto di controllo fissato dall'utente, per il tracciamento delle curve di capacità riferita ad ogni condizione di carico.



Le funzionalità e l'utilizzo di tale finestra di dialogo verrà approfondito più avanti.

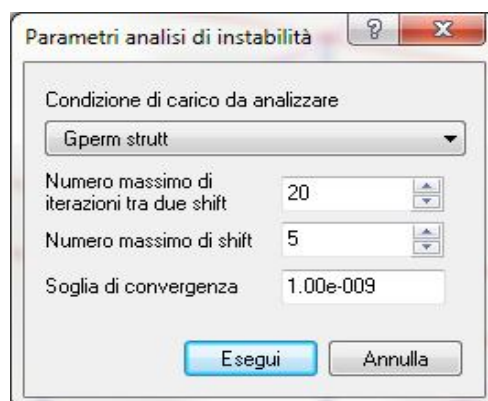
c) Instabilità

Il comando Instabilità permette di accedere alla finestra di comando per l'esecuzione di una analisi di instabilità, (o di Buckling).

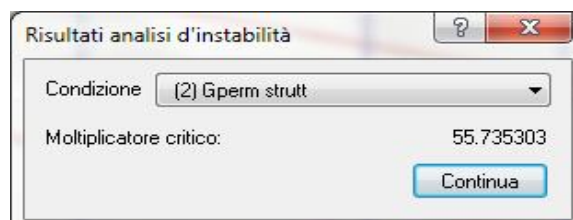
Assegnando una certa condizione di carico, tale tipo di analisi è volta alla determinazione del moltiplicatore critico dei carichi ed al suo corrispondente autovettore che individua la forma di instabilità.

Il dialogo mostra una tendina nella quale deve essere selezionata la condizione di carico rispetto alla quale si vuole determinare il moltiplicatore critico dei carichi, il numero di iterazioni che si vuole far eseguire al programma tra due shift, il numero massimo di shift che si vuole eseguire nell'analisi, e la soglia di convergenza.

Lo shift è un'operazione di scalamento sulla matrice rispetto all'autovalore calcolato nell'ultima iterazione, tale scalamento è operato se in una analisi viene superato il numero di iterazioni massimo indicato dall'utente. (si rimanda alla guida del programma per ulteriori approfondimenti).



Lanciando una analisi di instabilità viene restituito dal programma il risultato che mostra il moltiplicatore critico che se applicato a tutti i carichi sotto la condizione di carico selezionata, rende instabile la struttura:



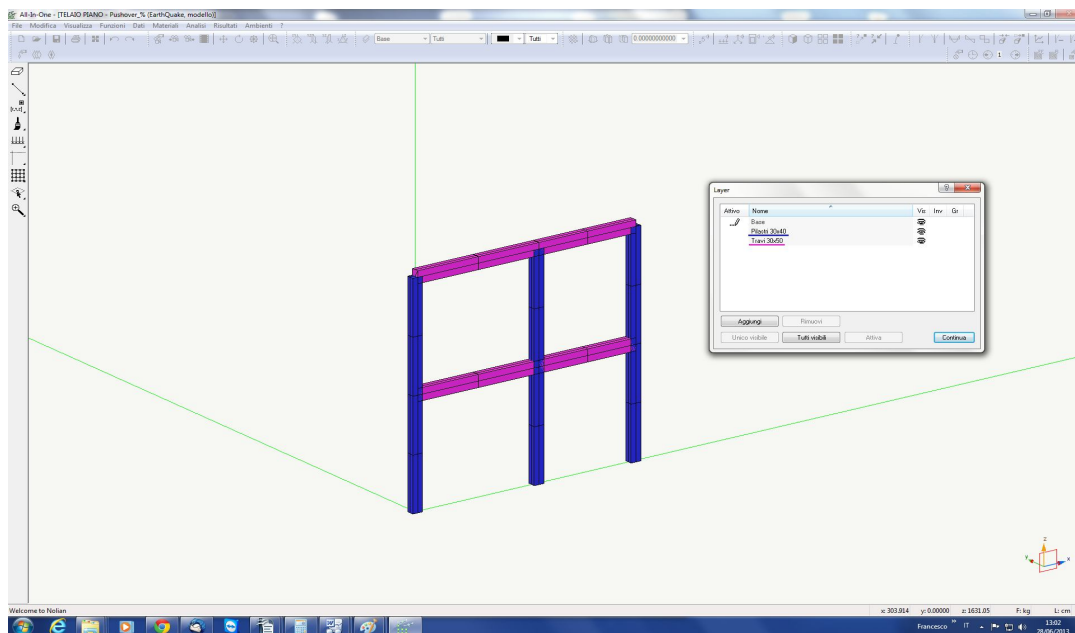
Se il moltiplicatore dei carichi restituito dal programma ha segno algebrico negativo, il carico critico ha verso opposto a quello assegnato ai carichi nella condizione di carico analizzata.

3.Utilizzo dell'ambiente EE

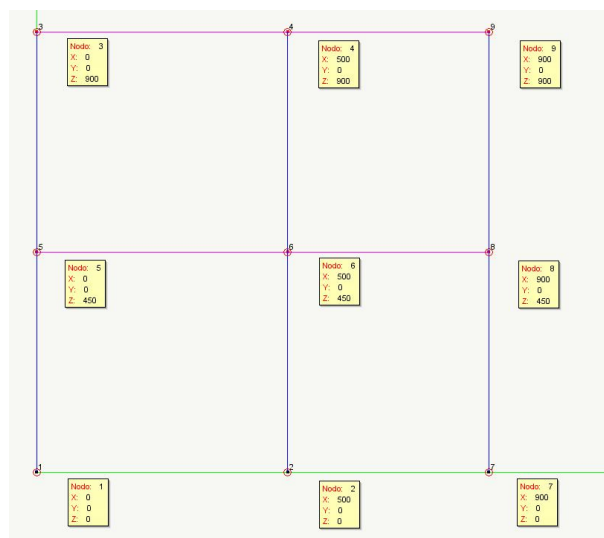
Dati i molteplici campi di applicazione che può avere un ambiente di calcolo non lineare in un modellatore F.E.M. puro quale è EE, e considerata la vasta gamma di materiali a comportamento non lineare, uniti ai vari tipi di elementi finiti messi a disposizione dal programma, gli utilizzi e gli studi che possono essere condotti con tale ambiente sono tanti, pertanto si descriverà nel seguito il funzionamento e l'utilizzo di tale ambiente, partendo dai tipi di applicazione ordinari.

3.1 Analisi statica lineare di un telaio piano in C.A.

Avendo la seguente struttura:



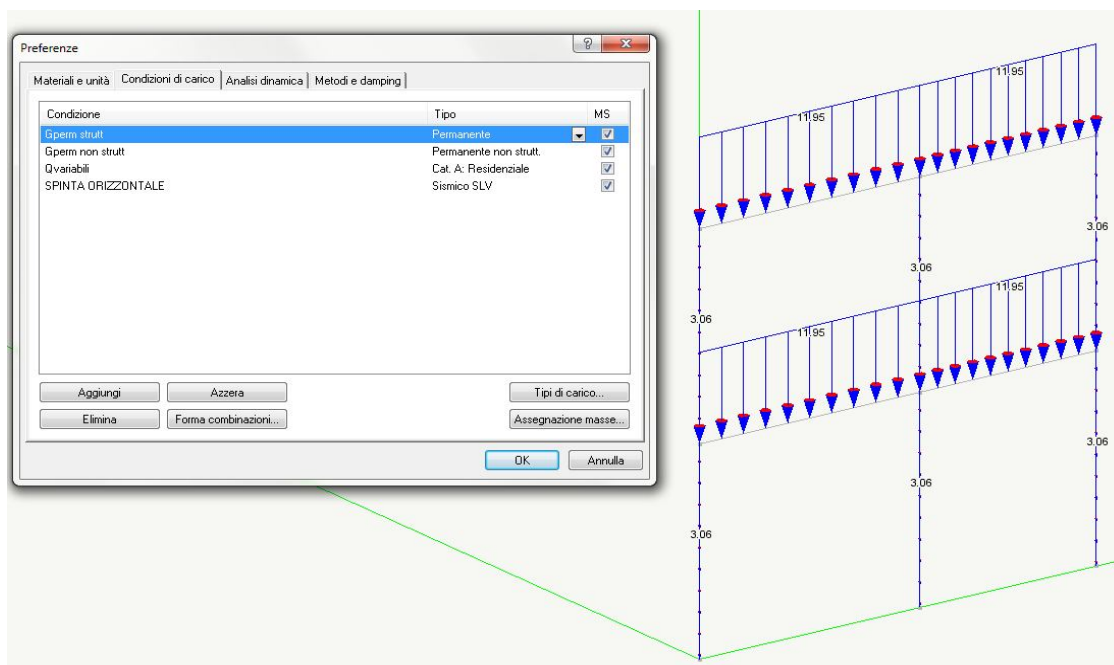
Telaio piano in C.A.



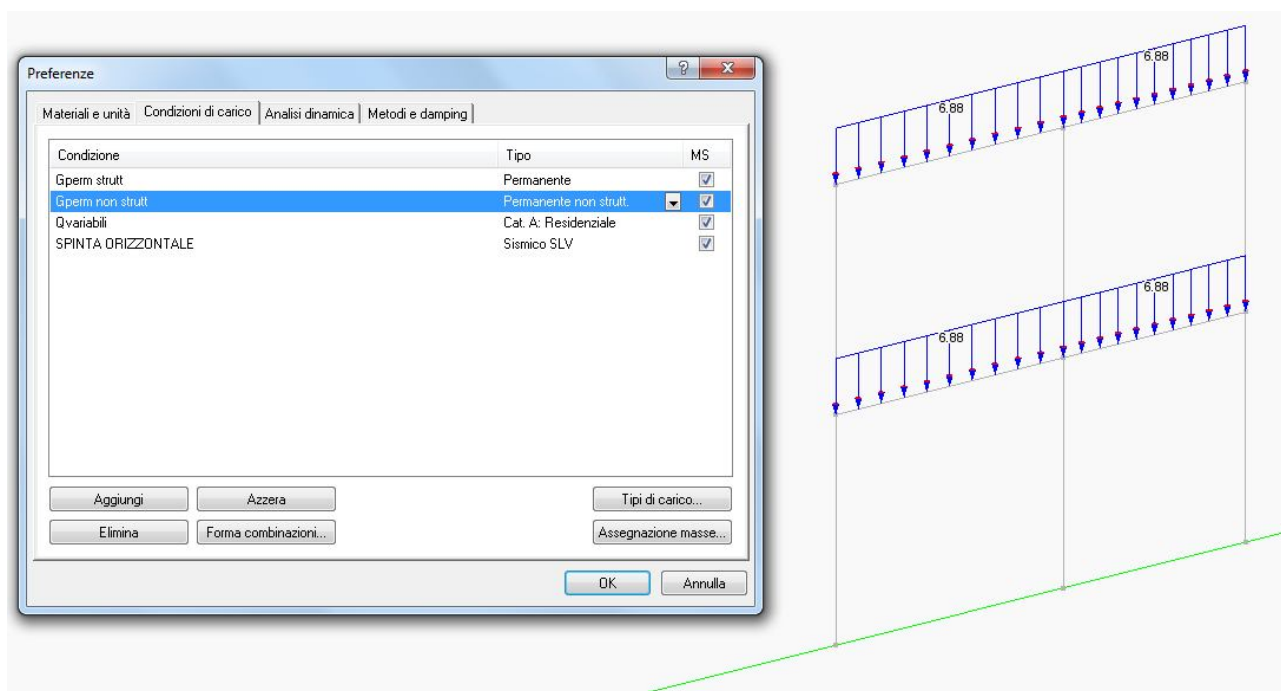
Il modello preso in esame è costituito da un telaio a 2 piani e due campate, ed è stato vincolato al piede tramite incastrì.

Come carichi statici verticali sono state assegnate le seguenti condizioni di carico:

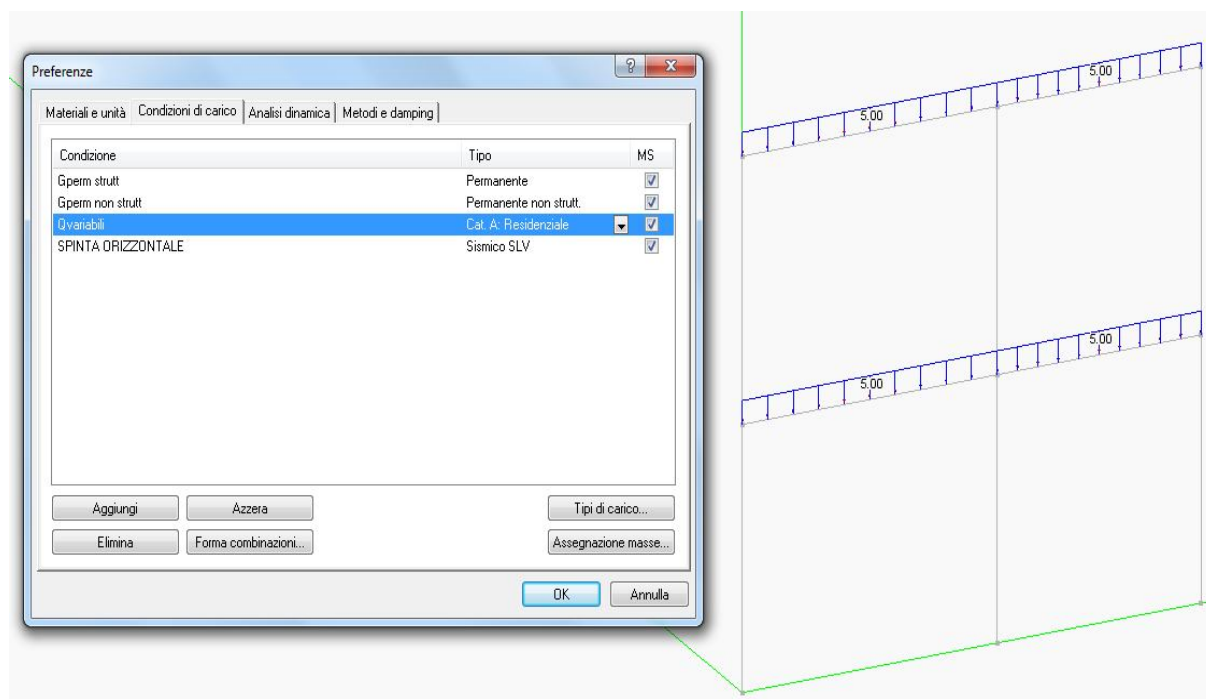
GPPerm STRUTT



GPPerm NON SRUTT

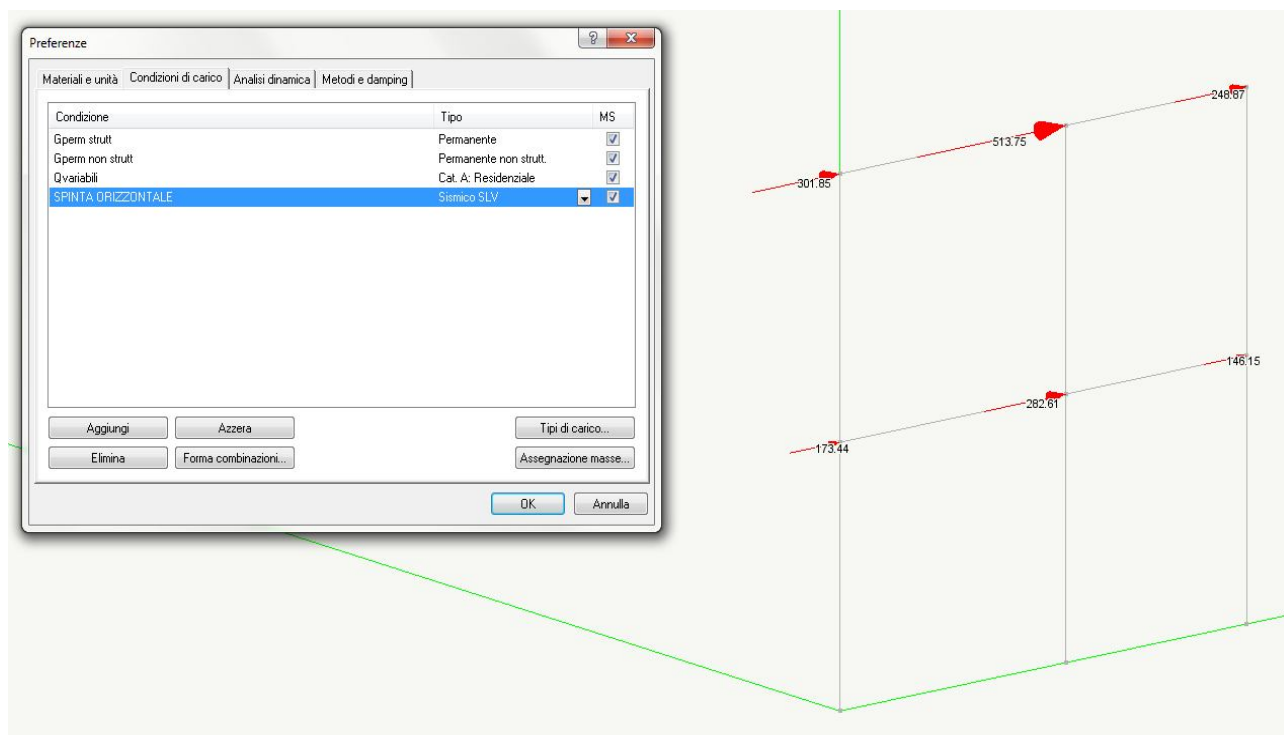


QVARIABILI

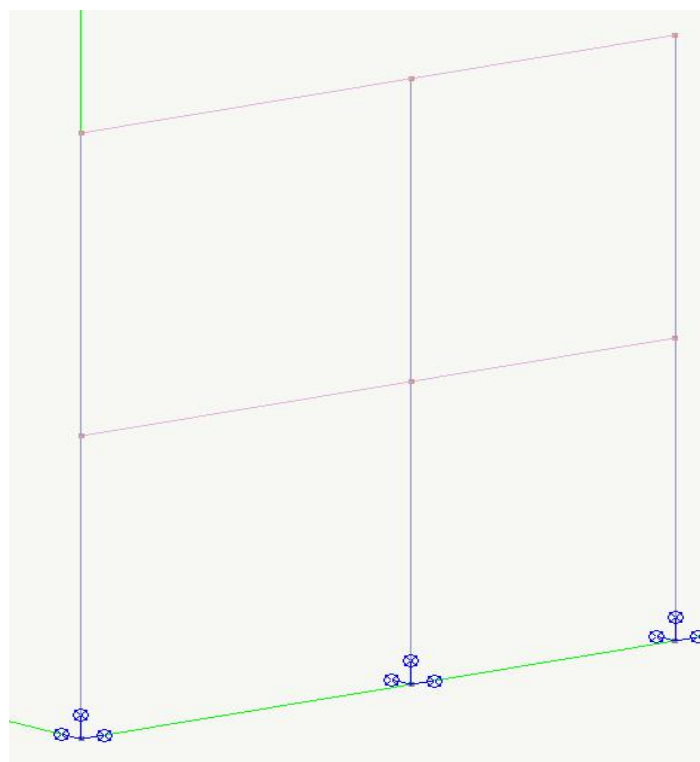


Come carico orizzontale con il quale verrà eseguita l'analisi non lineare è stato applicato il seguente sistema di forze sotto la condizione di carico:

SPINTA ORIZZONTALE



I vincoli assegnati alla struttura sono incastri al piede dei pilastri, mentre essendo in questo modello poco significativo (modello piano), non è stato assegnato il vincolo di Master-slave.



In EE il disegno della struttura, l'assegnazione delle sezioni degli elementi, dei vincoli, dei master-slave, ecc., è analoga a quella dell'ambiente Nòlian, mentre la prima differenza sostanziale si incontra nell'assegnazione dei materiali.

Per effettuare una analisi non lineare su una struttura in C.A. occorre specificare per ogni elemento oltre che le dimensioni della sezione, anche la quantità di armatura presente al suo interno.

In EE sono presenti vari tipi di elementi e materiali non lineari, che possono essere utilizzati per la simulazione del comportamento in campo inelastico di elementi in C.A., vedremo ora quali sono tali tipi di materiale, e come vadano assegnati alla struttura.

Si anticipa che per le modellazioni non lineari degli elementi in c.a. esistono in EE, 3 procedure, due di queste prevedono una generazione tramite assegnazioni manuali operate dall'utente nell'ambiente EE, la terza procedura prevede invece un procedimento automatizzato che viene operato dal programma tramite un comando presente all'interno dell'ambiente EasyBeam.

In questo tutorial spiegheremo prima i procedimenti manuali, che risultano di più difficile comprensione e richiedono un maggior onere di modellazione ed una maggior consapevolezza da parte dell'utente, tuttavia la loro comprensione garantisce di avere piena coscienza delle modalità in cui opera il programma e quindi di avere anche totale comprensione delle operazioni automatiche che esegue il programma, operando con il metodo automatizzato, che sarà spiegato successivamente.

a) 1) Materiali non lineari per elementi “trave” in C.A. (Metodi manuali)

Per gli elementi a 2 nodi, in EE vi sono sia materiali a plasticità diffusa (modelli a fibre) che a plasticità concentrata (cerniere plastiche localizzate).

Materiali non lineari a plasticità diffusa (mod.a fibre) - Uniassiali c.a. - Passo 1

I materiali non lineari in EE vengono gestiti come visto in precedenza nella finestra di dialogo “Analisi sismica avanzata”.

Per assegnare il comportamento non lineare in un modello a fibre, bisogna dapprima creare il singolo materiale comprensivo del suo comportamento plastico, e successivamente tali materiali devono essere assegnati nell'elemento a fibre, ognuno nelle opportune quantità.

La creazione di un materiale a fibre per gli elementi in c.a. si effettua nella finestra “Analisi sismica avanzata”, nella tendina “Materiali” sotto la categoria:

“Uniassiali c.a.”

Composta dalle seguenti 3 sottocategorie:

Armatura

Scorrimento Armatura

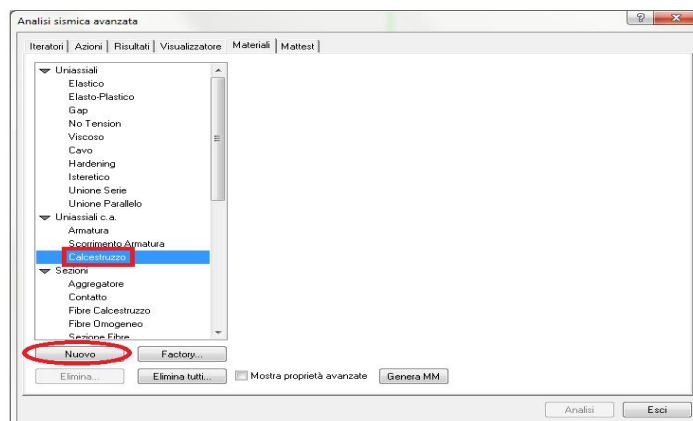
Calcestruzzo

La creazione dei materiali “Uniassiali” è il punto di partenza delle varie operazioni da compiere per la completa definizione ed assegnazione agli elementi beam nel modello, dei materiali a comportamento non lineare.

Tutti i materiali creati nella categoria “Uniassiali c.a.” definiscono il comportamento non lineare delle fibre costituenti la sezione di un elemento; tali materiali non possono essere assegnati direttamente ad un elemento finito, ma dopo essere stati creati, devono essere successivamente inseriti in un nuovo materiale non lineare di una diversa categoria, di gerarchia superiore, che vedremo successivamente.

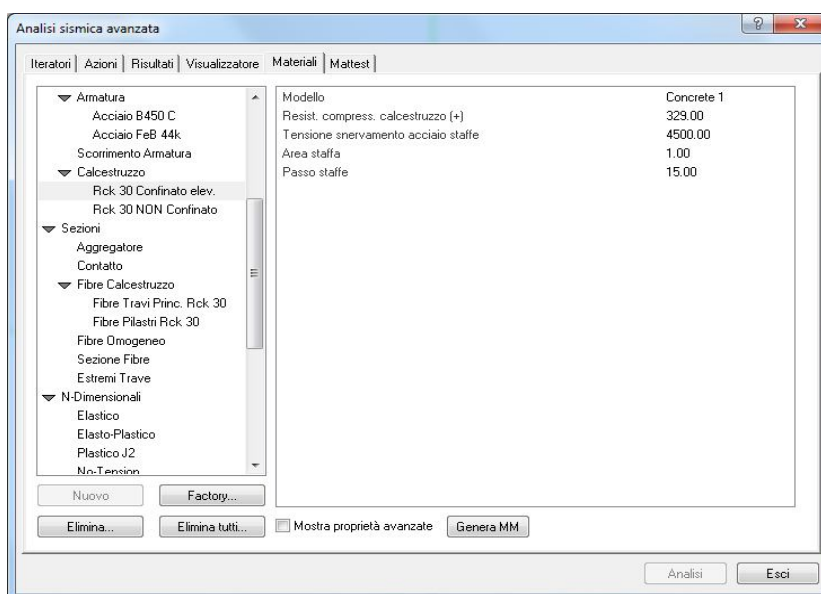
“Calcestruzzo”

Cliccando sopra alla sotto-categoria “Calcestruzzo” e poi sul pulsante “Nuovo” viene generato il nuovo materiale,



noi creeremo due nuovi materiali che chiameremo “Rck 30 Confinato” ed “Rck 30 NON Confinato”.

Una volta creato il materiale nella sezione di destra della finestra compaiono ora i parametri da inserire per definire compiutamente il comportamento:



Sotto la voce “Modello” viene definito il tipo di legame costitutivo del calcestruzzo



Nel particolare si hanno i modelli:

“Concrete 1”: modello con legge costitutiva dovuta a Kent e Park senza resistenza a trazione

“Concrete 2”: modello con legge costitutiva dovuta a Kent e Park con resistenza a trazione

La legge costitutiva di Kent-Park con diminuzione lineare di rigidità per carico-scarico. E' caratterizzata dai parametri:

- Resistenza a compressione cilindrica del calcestruzzo (f_c)

Per l'analisi non lineare di strutture in c.a. tale valore può essere posto pari alla resistenza cilindrica media ($f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ [N/mm}^2] = 0,83 \times R_{ck} + 8 \text{ [N/mm}^2]$)

- Valori di armatura trasversale che contribuiscono all'aumento di resistenza del calcestruzzo per il suo confinamento.

Scegliendo il modello “Concrete 1” gli altri dati da inserire risultano essere:

Modello	Concrete 1
Resist. compress. calcestruzzo (+)	249.00
Tensione snervamento acciaio staffe	4300.00
Area staffa	1.00
Passo staffe	15.00

- Resistenza a compress. Calcestruzzo (+) → f_{cm}
- Tensione di snervamento acciaio staffe → f_{yk}
- Area staffa → Area barra impiegata per le staffe moltiplicata per il numero di bracci
- Passo staffe

I valori relativi all'armatura trasversale consentono il calcolo della deformazione di crushing. Se il calcestruzzo non è confinato questi valori vanno lasciati a zero. I valori, come di consueto, sono assegnati nelle unità di misura del modello. La deformazione corrispondente alla massima resistenza non è assegnabile, a livello di interfaccia, e è assunta -0.002

Scegliendo il modello “Concrete 2” gli altri dati da inserire risultano essere:

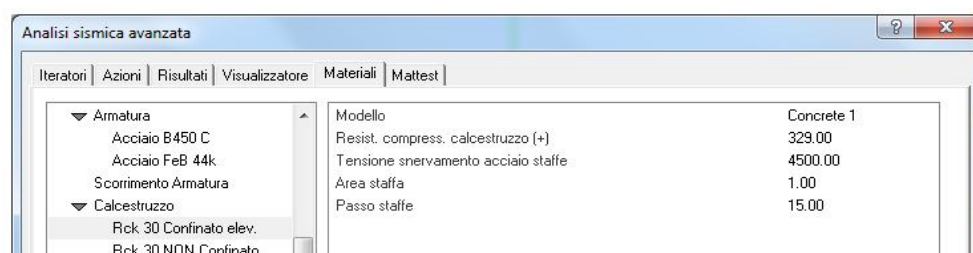
Modello	Concrete 2
Resist. compress. calcestruzzo (+)	249.00
Def. per massima resist. (+)	0.002000
Def. ultima (+)	0.010000
Resist. ultima (+)	0.00
Resist. trazione (-)	0.00
Modulo trazione (+)	0.00

- Resistenza a compress. Calcestruzzo (+) → f_{cm}
- Def. Per massima resistenza (+) → deformazione di inizio campo plastico

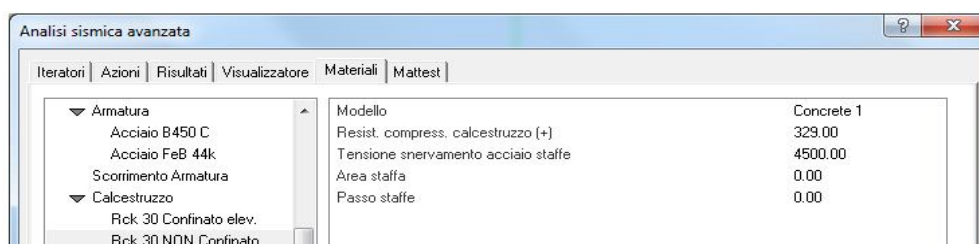
- Def. Ultima (+) → deformazione ultima che tenga conto di eventuale confinamento
- Resist. Ultima (+) → resistenza ultima che tenga conto di eventuale confinamento
- Resist. Trazione (-)
- Modulo trazione (-)

Deve essere creato un materiale calcestruzzo confinato, tanti quanti sono all'interno della struttura i tratti con passo differente delle staffe, ma se nelle zone dove si prevede la formazione delle cerniere plastiche, il passo è sempre lo stesso, (estremità delle travi e dei pilastri) si può operare dappertutto con lo stesso tipo di calcestruzzo confinato.

Abbiamo quindi creato i nostri due materiali “Rck 30 Confinato”

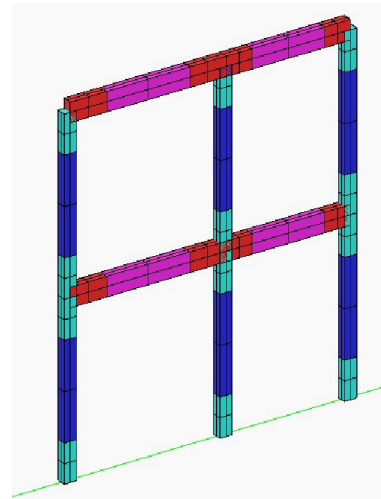
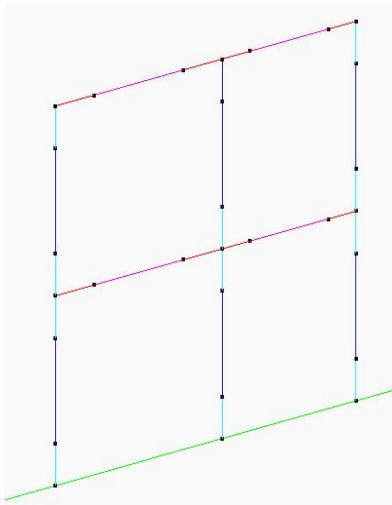


ed “Rck 30 NON Confinato”



Si deve notare che nella nostra struttura stiamo inserendo un unico tipo di materiale di calcestruzzo confinato, perchè si assume che il passo delle staffe sia identico per tutti gli elementi, e sia costante lungo gli elementi, ma va sottolineato che se ad esempio i pilastri avessero avuto un passo delle staffe differente da quello delle travi, avremmo dovuto creare due differenti materiali non lineari ognuno con il rispettivo quantitativo di staffature, ed assegnarlo agli elementi corrispondenti.

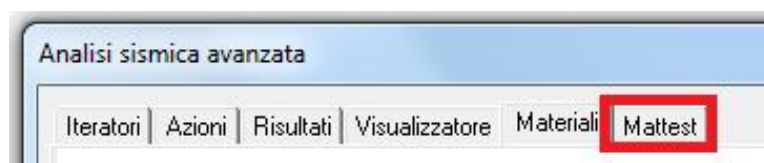
Allo stesso modo si dovrebbe procedere se si volesse differenziare il passo di staffatura lungo uno stesso elemento, ossia si deve nel modello inserire un nodo di interruzione lungo gli elementi, ad esempio volendo modellare nel nostro telaio l'infittimento delle staffe che si riscontra tipicamente all'intorno dei nodi, si deve suddividere gli elementi come indicato in figura (differenza di colore):



Si crea un materiale non lineare corrispondente ad ogni quantitativo di staffatura che successivamente verrà assegnato al rispettivo tratto di elemento.

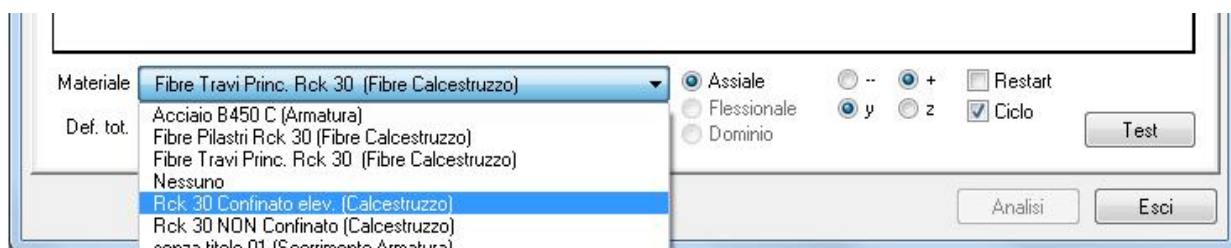
Approfondimenti sul Mattest

Una volta creati i materiali è possibile verificarne la corrispondenza con il comportamento voluto attraverso il “Mattest”, infatti cliccando sulla corrispondente tendina:

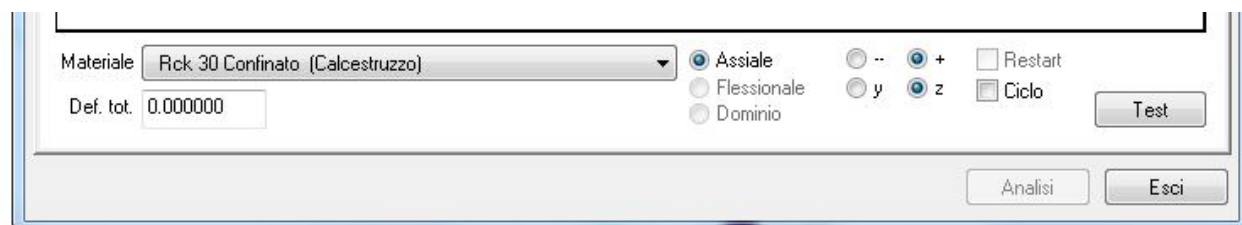


si entra nella schermata del “Mattest”.

Nella tendina in basso bisogna selezionare il materiale che si vuole testare:



Successivamente si deve:

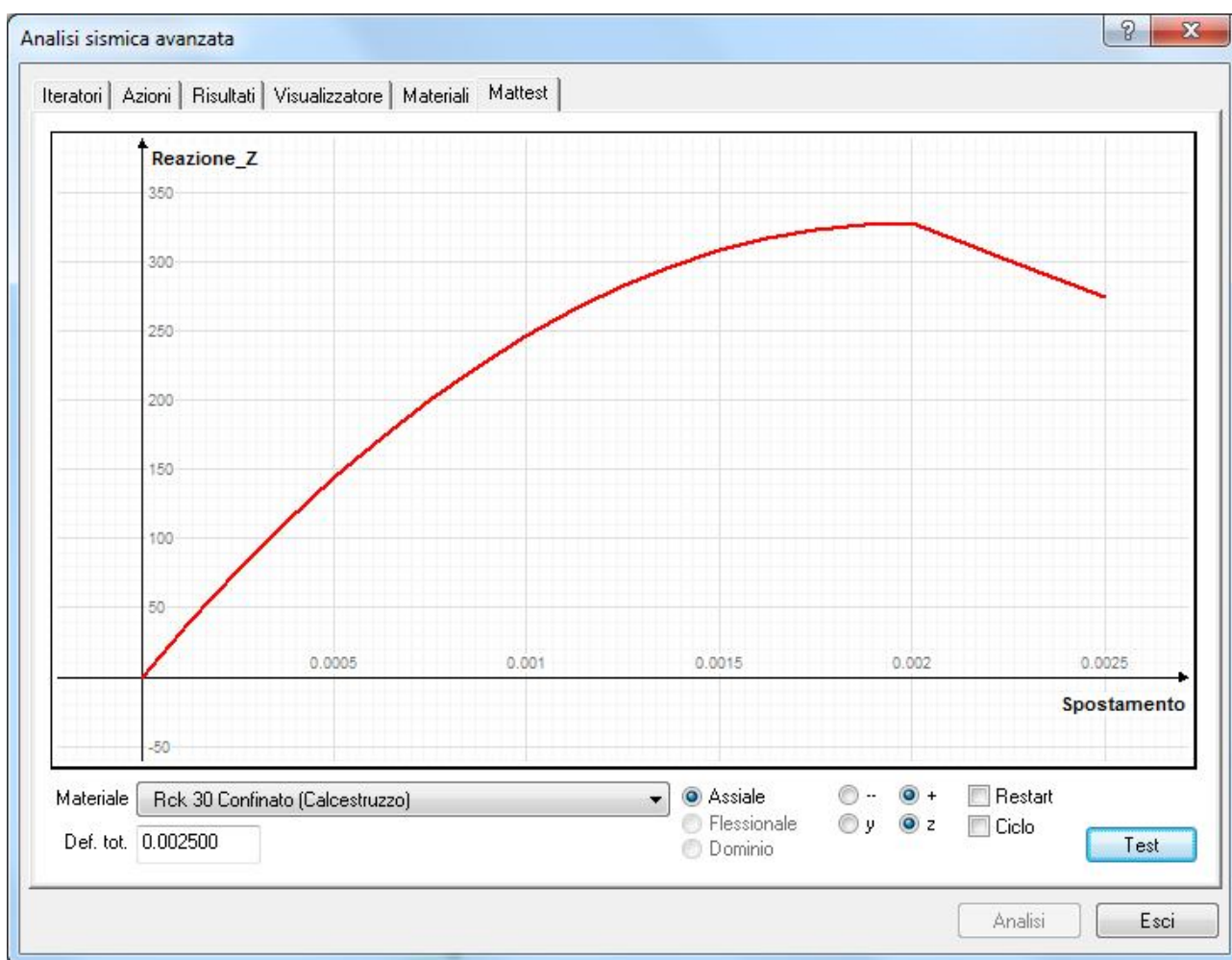


- assegnare nella casella “Def. tot.” una deformazione (ϵ) da imporre al materiale;
- definire il tipo di test, ossia definire se eseguirlo in termini di deformazione “Assiale”, “Flessionale”, o il “Dominio” del materiale, (tali opzioni non sono disponibili con tutti i tipi di materiale, ad esempio per i materiali “Uniassiali” sarà disponibile esclusivamente la deformazione “Assiale”);
- definire se la deformazione che si vuole assegnare è positiva (+) o negativa (-);
- assegnare la direzione (y o z) in cui eseguire il test (per i materiali “Uniassiali” sarà in-differente eseguire il test in una direzione o nell'altra);
- definire se si vuole eseguire una deformazione singola, o eseguire un ciclo completo (“Ciclo”) o se si vuole eseguire una serie di deformazioni progressive, (“Restart”);

Una volta impostati tutti i parametri, cliccando sul pulsante “Test” si ottiene il grafico identificativo del comportamento non lineare del materiale:

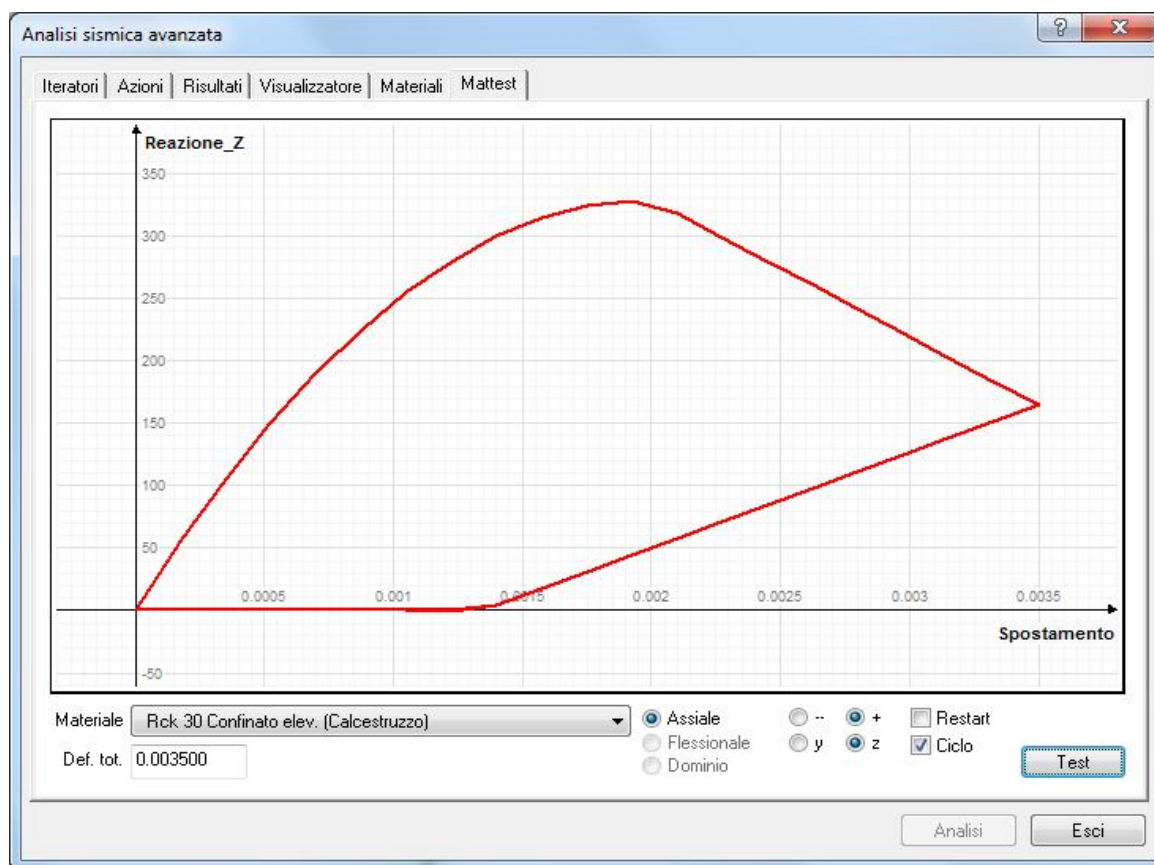
Nel caso le opzioni “Restart” e “Ciclo” non vengano spuntate viene applicata esclusivamente una deformazione singola pari al valore imposto nella tendina “Def. tot.”

Ad esempio applicando una deformazione massima pari allo 0.0025 e cliccando il pulsante “Test” si ha:



Nel caso venga spuntata l'opzione "Ciclo" viene applicato un intero ciclo di carico e scarico con deformazione massima pari al valore indicato nella tendina "Def. tot.", e ritorno al val. 0.

Ad esempio applicando una deformazione massima pari allo 0.0035 e cliccando il pulsante "Test" si ha:



Nel caso venga spuntata l'opzione "Restart" viene applicata una serie di deformazioni progressive in cui viene descritta graficamente l'evoluzione e la storia delle deformazioni impresse.

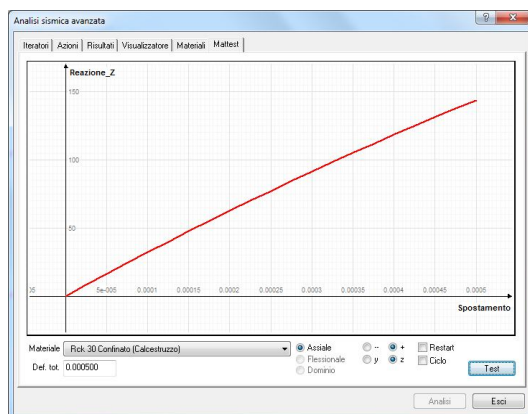
Nell'opzione "Restart" applicando una serie di deformazioni, dopo la prima, ogni nuova deformazione assegnata viene sommata a quella precedentemente applicata.

Ad esempio applicando le seguenti deformazioni in successione che portano all'esecuzione di un ciclo completo:

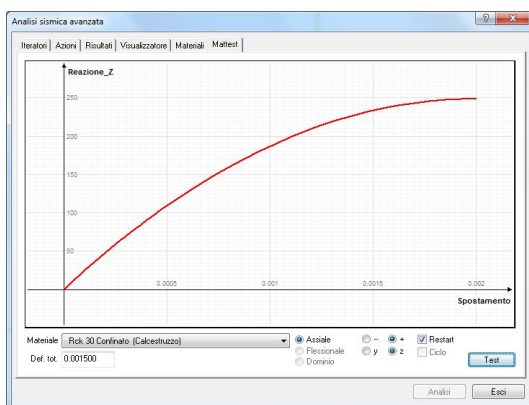
1) 0,0005 + 2) 0,0015 + 3) 0,0005 + 4) -0,0004 + 5) 0,0009 + 6) -0,003

si ottiene la seguente successione di grafici:

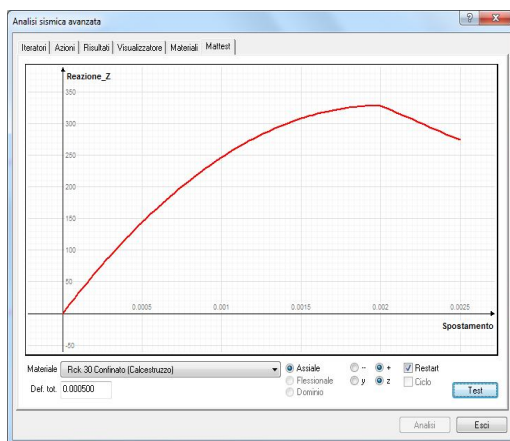
1. Def. finale = **0,0005**



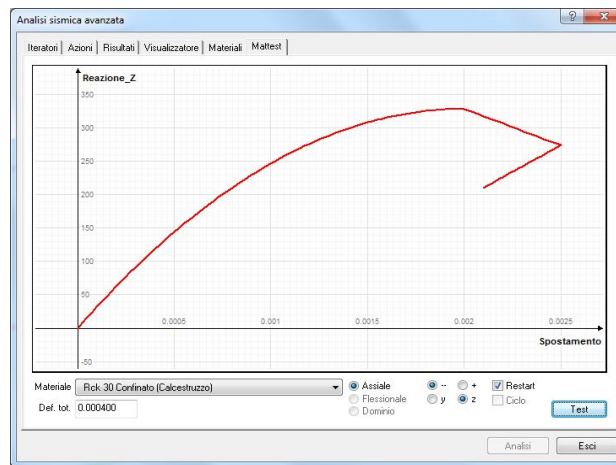
2. Def. finale = 0,0005 + **0,0015** = **0,002**



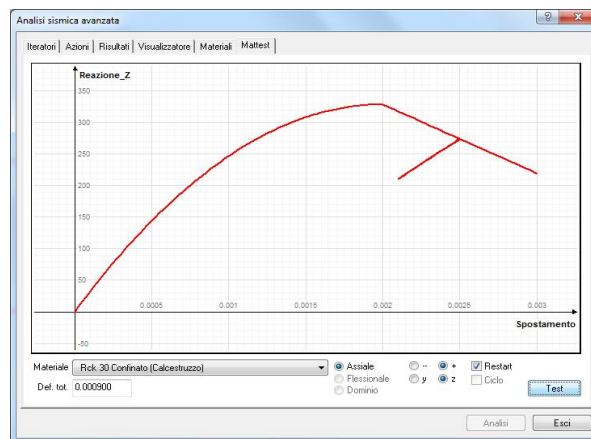
3. Def. finale = 0,0005 + 0,0015 + **0,0005** = **0,0025**



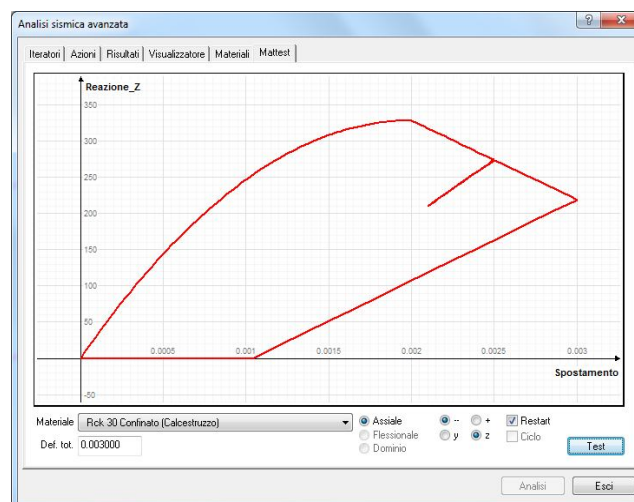
4. Def. finale = $0,0005 + 0,0015 + 0,0005 - \mathbf{0,0004} = \mathbf{0,0021}$



5. Def. finale = $0,0005 + 0,0005 + 0,0005 + 0,00005 + 0,0005 - 0,0004 + \mathbf{0,0009} = \mathbf{0,003}$

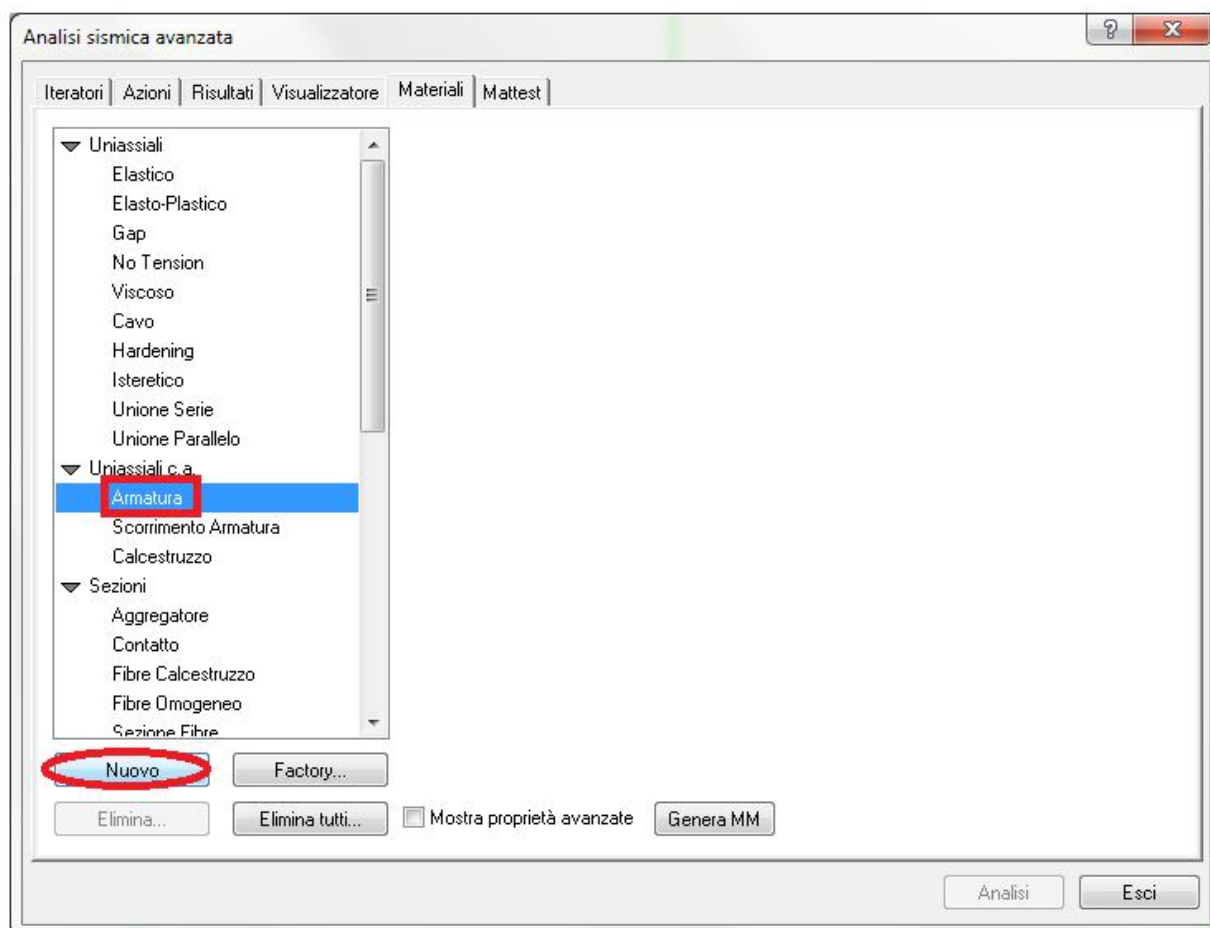


6. Def. Finale = $0,0005 + 0,0005 + 0,0005 + 0,00005 + 0,0005 - 0,0004 + 0,0009 - \mathbf{0,003} = \mathbf{0,00}$



“Armatura”

Dopo aver generato i materiali relativi al calcestruzzo, si passa alla generazione del materiale non lineare per le armature, cliccando sopra alla Sottocategoria “Armatura” e poi sul pulsante “Nuovo” viene generato il nuovo materiale:



noi creeremo un materiale corrispondente agli acciai ordinari da c.a. del tipo B450 C.

Per l'acciaio si è assunta la legge costitutiva di Pinto-Menegotto con incrudimento isotropico.

Sceondo tale legge il materiale è' caratterizzato dai parametri:

- “Modulo tangente iniziale” → Modulo elastico dell'acciaio
- “Tensione di snervamento” → f_{yk}
- “Rapporto di hardening” → Rapporto tra il modulo elastico dopo lo snervamento e il modulo elastico iniziale.

Il modello di Pinto-Menegotto è caratterizzato da molti altri parametri che però qui vengono assegnati come costanti e non sono modificabili per rendere più agevole l'uso di questo materiale.

I valori assunti sono i seguenti:

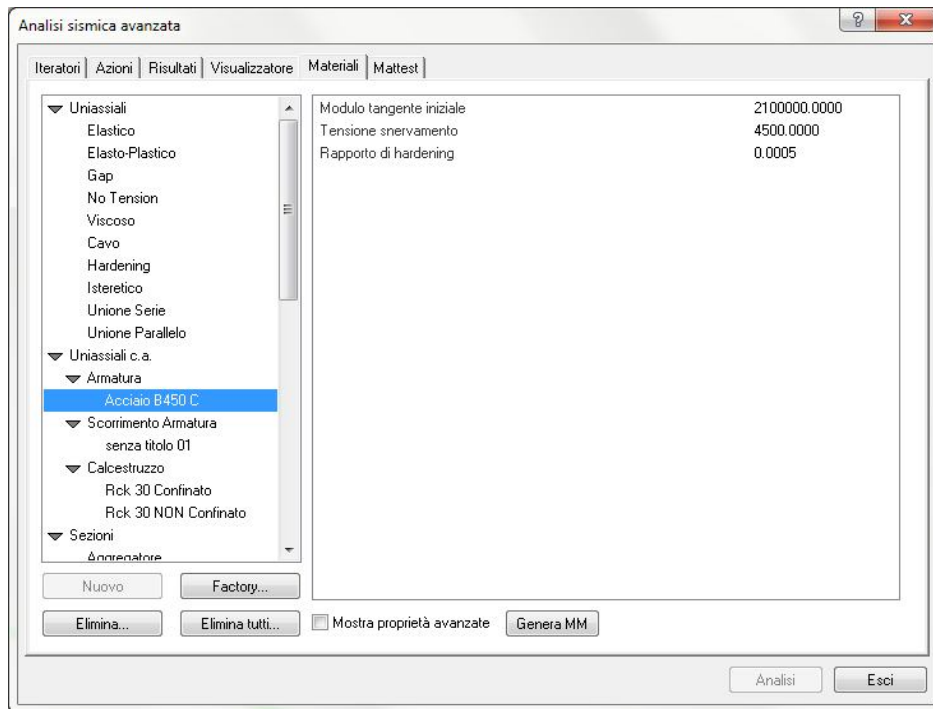
Valori di transizione elastico-plastica:

$$r_0 = 15.0;$$

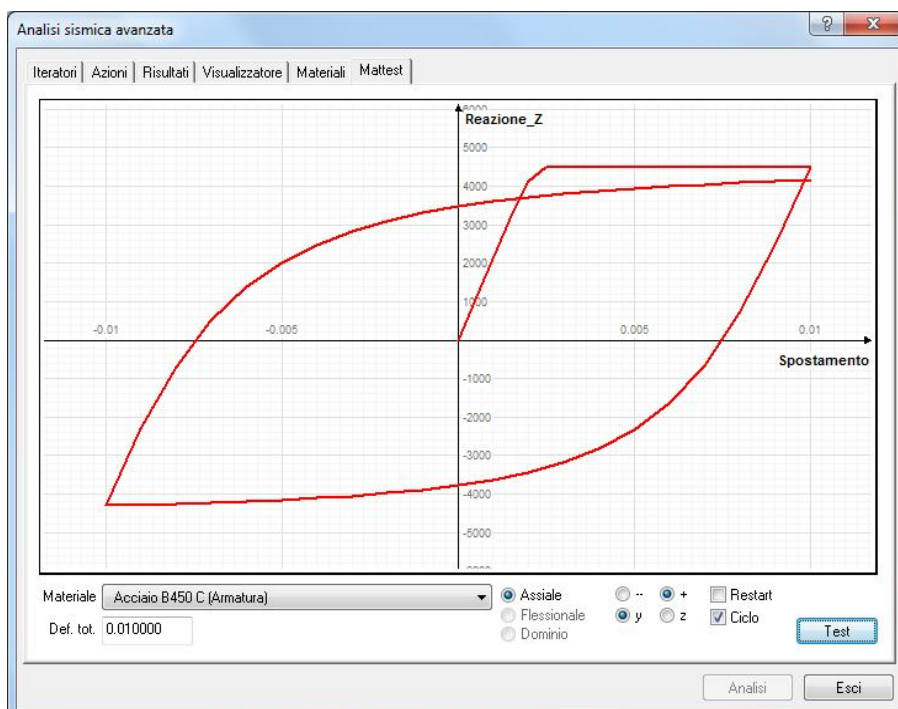
$$r_1 = 0.925;$$

$$r_2 = 0.15;$$

Creiamo quindi un materiale “Acciaio B450 C”



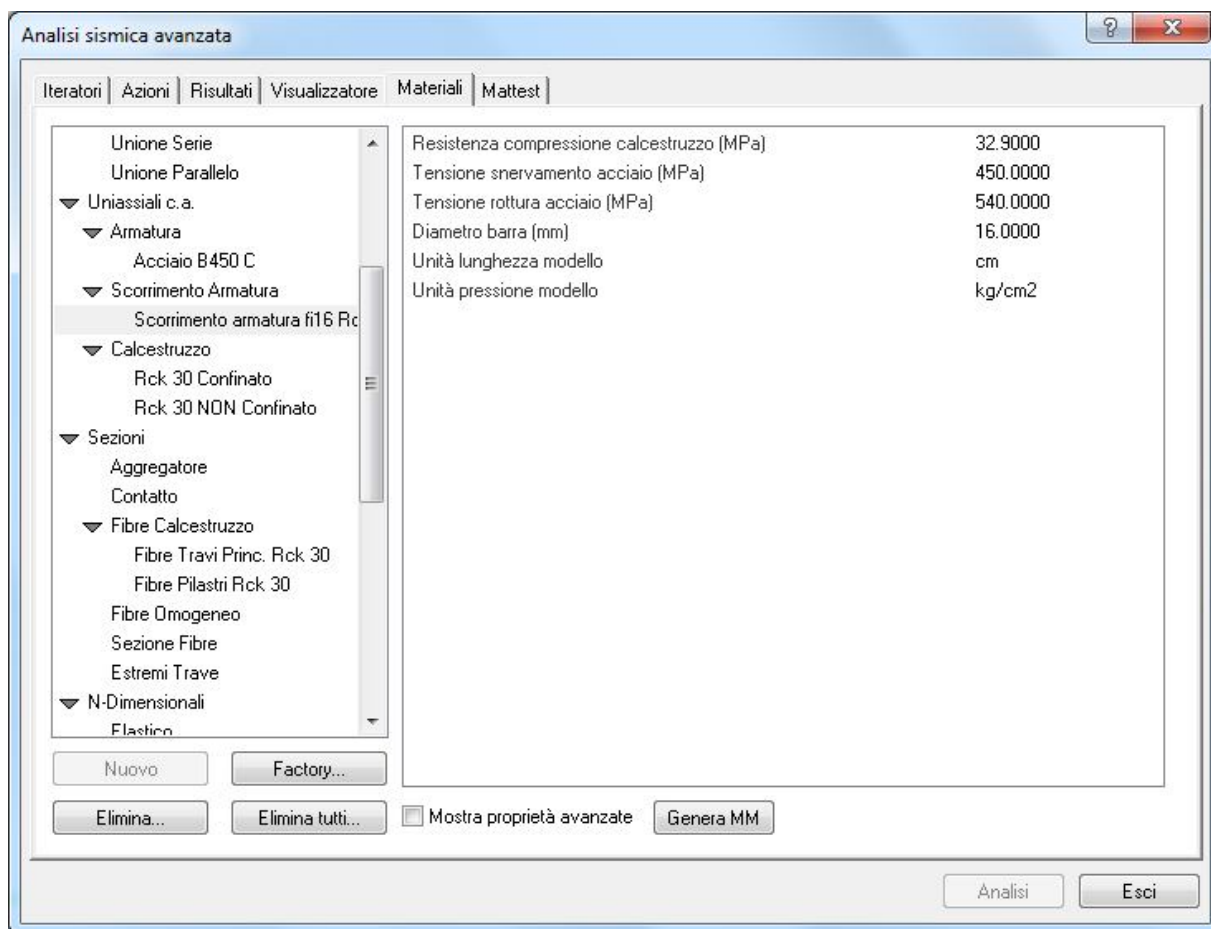
Effettuando anche per il materiale armatura un controllo sul “Mattest” si ha:



“Scorrimento Armatura”

Materiale uniassiale “Scorrimento armatura” è ideato per modellazioni più sofisticate, ed è atto a modellare lo slittamento delle armature all'ancoraggio.

Questo materiale è idoneo ad essere impiegato all'estremità delle travi per descrivere sia lo scorrimento dell'ancoraggio che gli effetti dello scorrimento modellandoli come concentrati alle estremità di una trave a fibre. La sezione di estremità sarà cioè una sezione a fibre con assegnato l'acciaio di questo materiale che non raggiungerà lo snervamento in base alla sua resistenza ma in base allo scorrimento rispetto alle fibre in calcestruzzo.



I parametri richiesti sono:

- Resistenza a compressione calcestruzzo espressa in MPa → f_{cm}
- La tensione di snervamento dell'acciaio espressa in MPa → $f_{y,nom}$
- La tensione di rottura dell'acciaio espressa in MPa → $f_{t,nom}$
- Il diametro della barra espressa in mm → ϕ
- Unità di lunghezza utilizzata nel modello
- Unità di pressione utilizzata nel modello

Materiali non lineari a plasticità diffusa (mod. a fibre) – Passo 2a – Sez. – Fibre CLS

Una volta creati tutti i materiali “Uniassiali c.a.” componenti la struttura, si deve passare alla generazione del materiale a comportamento non lineare costituito dalla aggregazione dei materiali uniassiali; tale operazione si effettua sempre nella finestra “Analisi sismica avanzata”, alla tendina “Materiali”, e si deve andare a selezionare sotto la categoria “Sezioni”.

All'interno della categoria “Sezioni” sono presenti due materiali che possono essere utilizzati per la modellazione del comportamento non lineare di elementi monodimensionali in c.a.,

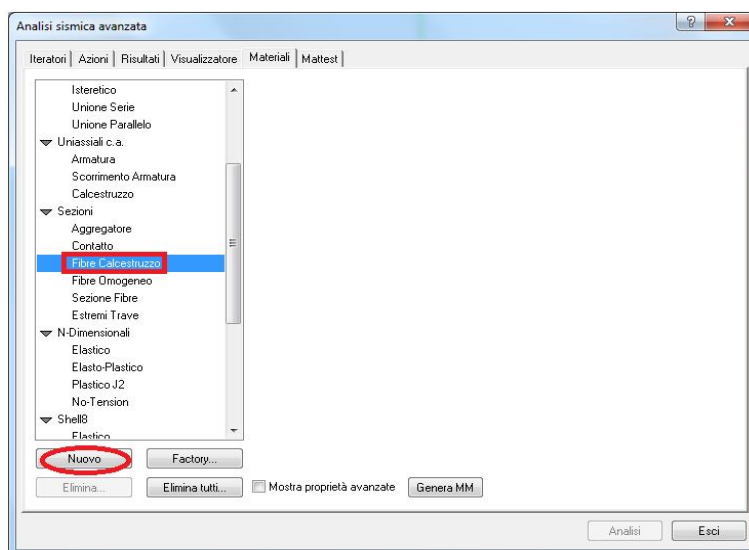
tali sotto-categorie sono:

- “Fibre Calcestruzzo”
- “Sezioni Fibre”

L'applicazione del materiale “Fibre Calcestruzzo” sarà oggetto di questo paragrafo, mentre il materiale “Sezioni Fibre” sarà esplicitato nel prossimo paragrafo.

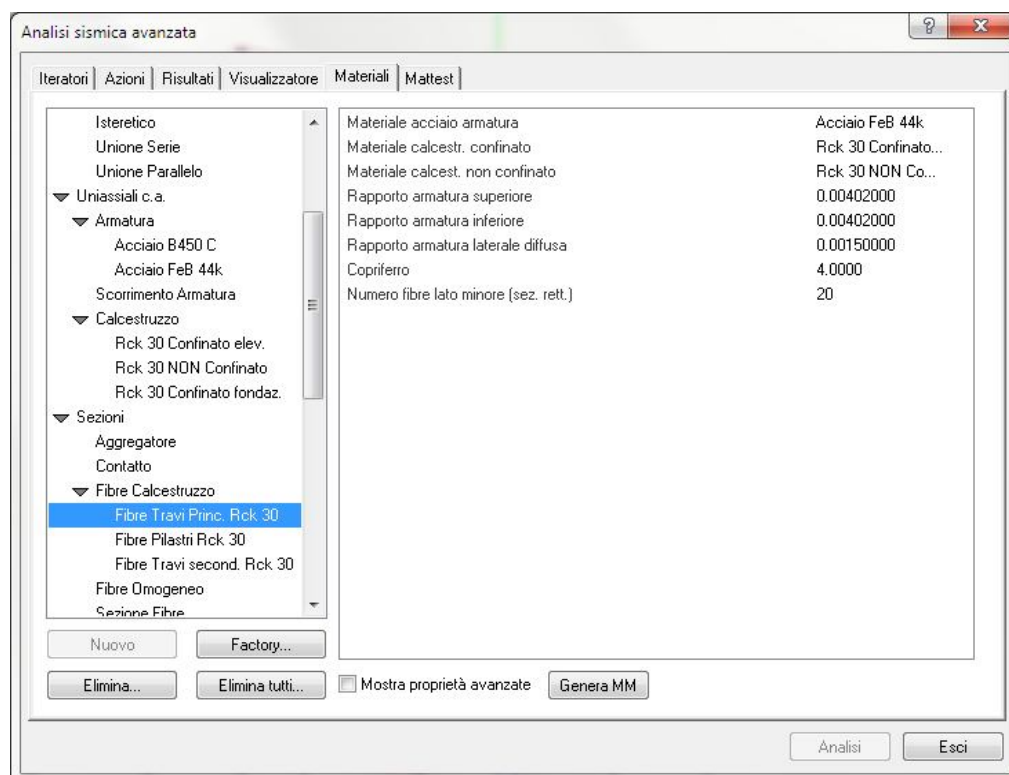
“Fibre Calcestruzzo”

Cliccando sopra alla sotto-categoria “Fibre Calcestruzzo” e poi sul pulsante “Nuovo” viene generato il nuovo materiale,



creeremo due nuovi materiali che chiameremo “Fibre Travi Rck 30 ” e “Fibre Pilastri Rck 30”.

Una volta creato il materiale nella sezione di destra della finestra compaiono ora i parametri da inserire per definirne compiutamente la costituzione della sezione a fibre:



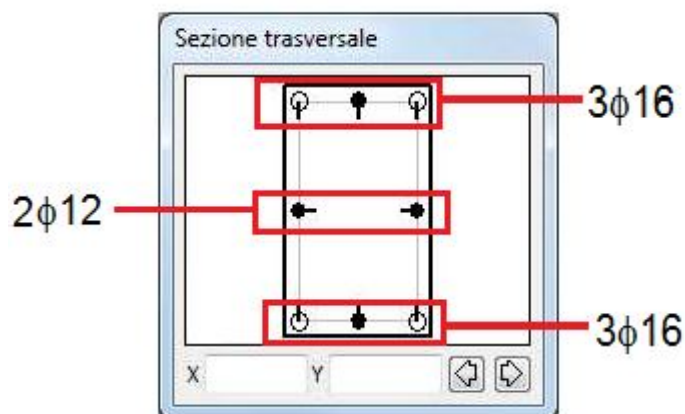
I parametri da inserire risultano essere:

- Materiale acciaio armatura: in tale tendina si assegna il materiale “Uniassiale c.a.” → “Armatura” → Acciaio B450 C - precedentemente creato;
- Materiale calcestr. confinato: in tale tendina si assegna il materiale “Uniassiale c.a.” → “Calcestruzzo” → Rck 30 Confinato - precedentemente creato;
- Materiale calcestr. non confinato: in tale tendina si assegna il materiale “Uniassiale c.a.” → “Calcestruzzo” → Rck 30 NON Confinato - precedentemente creato;
- Rapporto armatura superiore: rapporto tra l'area di armatura presente al lembo superiore e l'area della sezione in calcestruzzo;
- Rapporto armatura inferiore: rapporto tra l'area di armatura presente al lembo inferiore e l'area della sezione in calcestruzzo;
- Rapporto armatura laterale diffusa: rapporto tra l'area di armatura presente ai lembi laterali e l'area della sezione in calcestruzzo;
- Copriferro: distanza tra il baricentro dell'armatura ed il lembo esterno della sezione;
- Numero fibre lato minore (sez.rett.): numero di fibre lungo il lato minore della sezione dell'elemento a fibre (è un parametro per la definizione della meshatura della sezione dell'elemento a fibre, maggiore è tale numero, più accurato è il calcolo, ma aumentano proporzionalmente anche i tempi di analisi);

I parametri “Rapporto di armatura [...]” devono essere chiariti, dato che comprenderne il significato è determinante per la corretta definizione della quantità di armature presente nella sezione.

Inserimento rapporti di armatura per elementi trave

Avendo una trave di sezione $b = 30,0$ cm ed $h = 50,0$ cm, armata in questo modo:

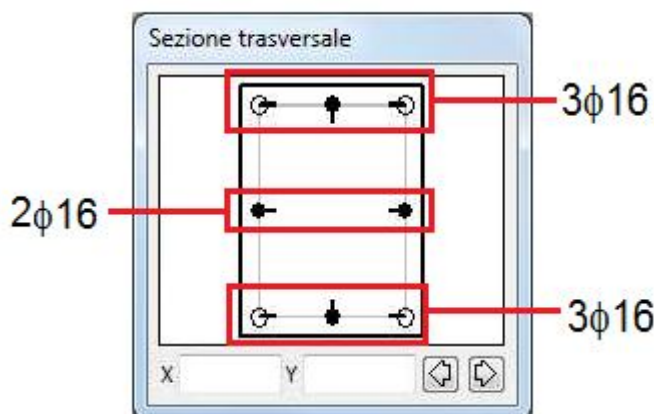


I corretti rapporti di armatura da inserire sono:

- Rapporto armatura superiore: $(A_{3\phi16})/(bxh) = (6,03/1500) = \mathbf{0,00402}$
- Rapporto armatura inferiore: $(A_{3\phi16})/(bxh) = (6,03/1500) = \mathbf{0,00402}$
- Rapporto armatura laterale diffusa: $(A_{2\phi12})/(bxh) = (2,26/1500) = \mathbf{0,00150}$

Inserimento rapporti di armatura per elementi pilastro

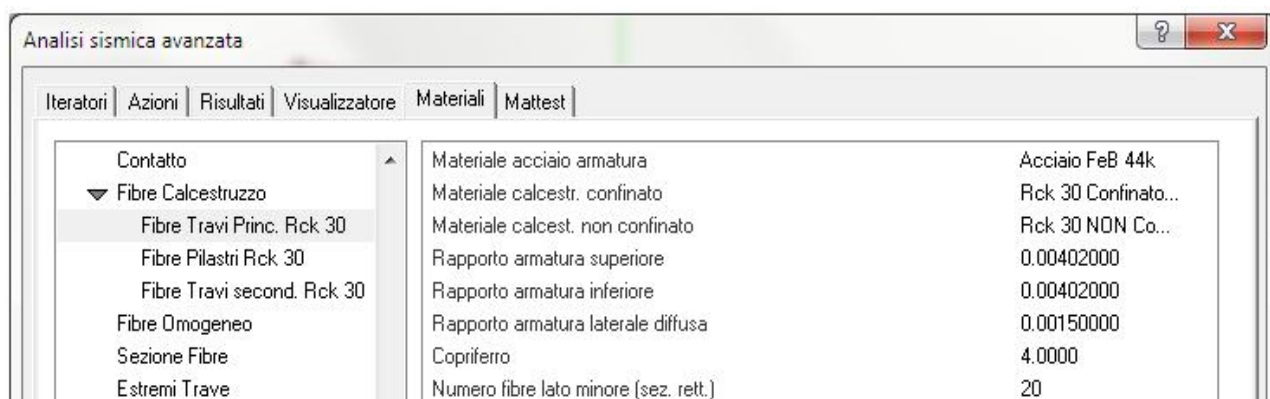
Avendo un pilastro di sezione $b = 30,0$ cm ed $h = 40,0$ cm, armata in questo modo:



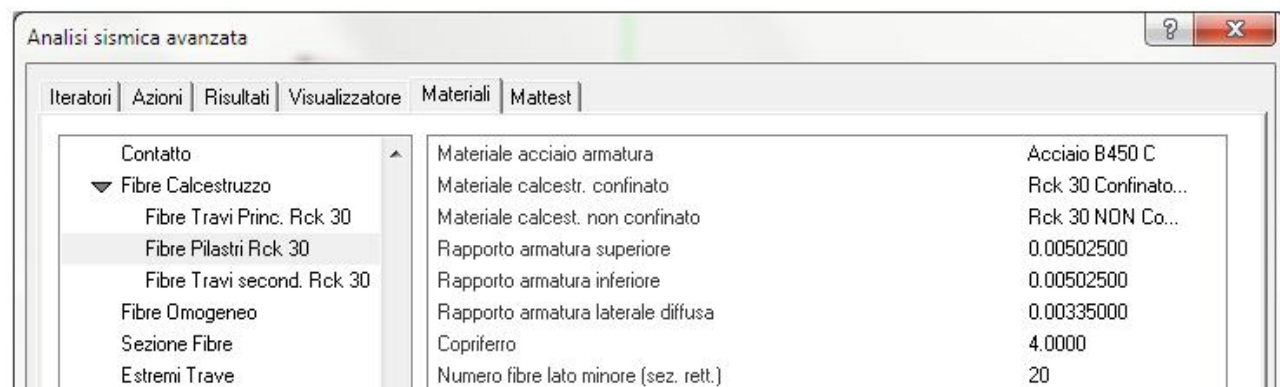
I corretti rapporti di armatura da inserire sono:

- Rapporto armatura superiore: $(A_{3\phi16})/(bxh) = (4,02/1200) = \mathbf{0,005025}$
- Rapporto armatura inferiore: $(A_{3\phi16})/(bxh) = (6,03/1200) = \mathbf{0,005025}$
- Rapporto armatura laterale diffusa: $(A_{2\phi16^*})/(bxh) = (4,02/1200) = \mathbf{0,00335}$

Creiamo quindi i nostri due materiali “Sezione”, “Fibre di calcestruzzo” → “Fibre Travi Rck 30 ”



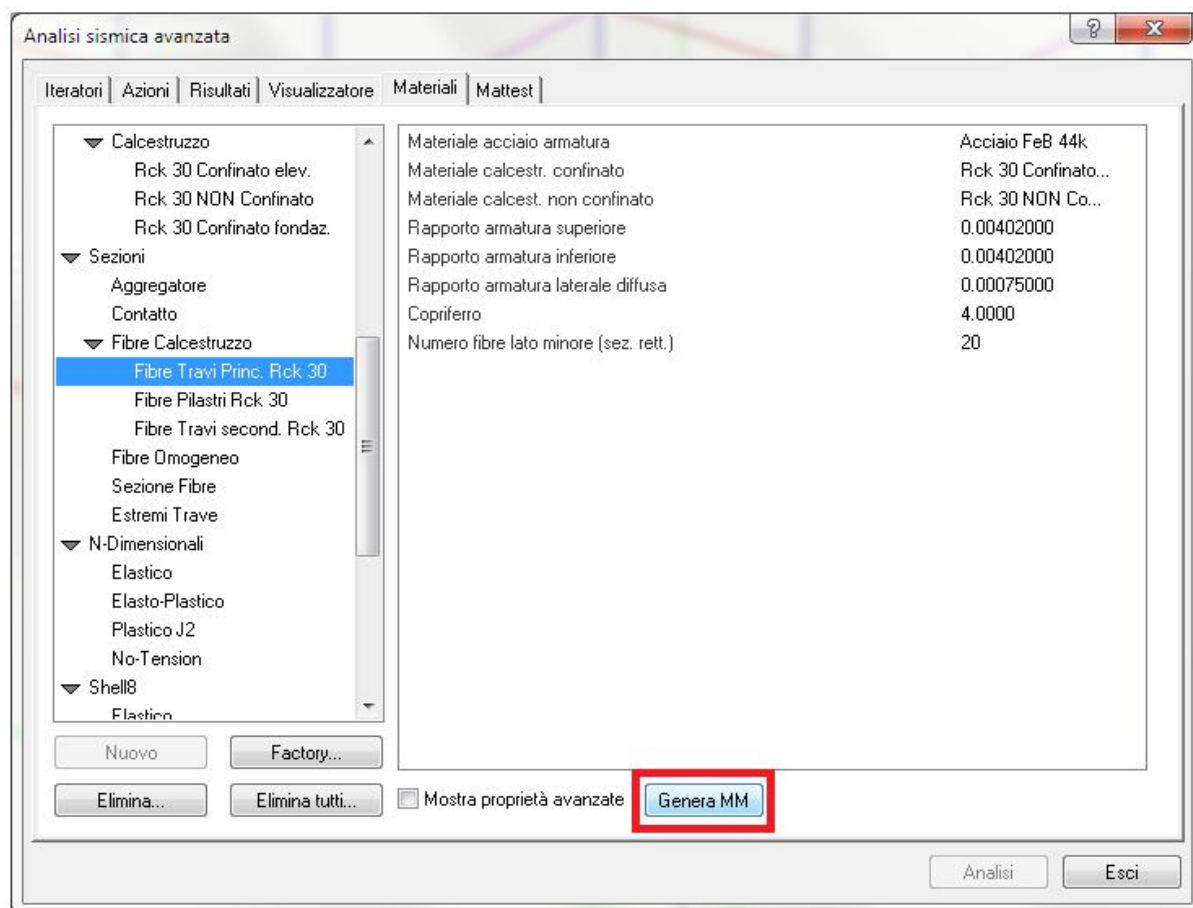
e “Fibre Pilastri Rck 30”



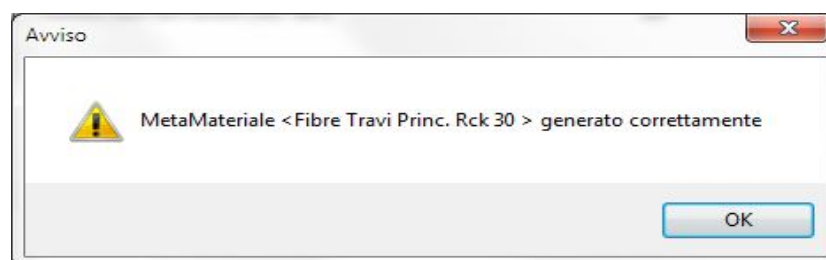
Si deve notare che nella nostra struttura stiamo creando un unico tipo di materiale “Sezione”, “Fibre di calcestruzzo”, per le travi, ed un altro per i pilastri, perchè si assume che la quantità di armatura presente sia uguale per tutte le travi, e sia uguale per tutti i pilastri, e sia costante lungo gli elementi, ma va sottolineato che se ad esempio i pilastri avessero avuto una quantità di armatura differente, o dimensioni delle sezioni differenti da pilastro a pilastro, avremmo dovuto creare differenti materiali “Sezione”, “Fibre di calcestruzzo”, ognuno con il rispettivo rapporto di armature, ed assegnarlo agli elementi corrispondenti, procedimento concettualmente analogo a quanto già esplicitato in precedenza per la definizione del passo di staffatura nel materiale “Uniassiale c.a.”, “Calcestruzzo”.

Una volta che sono stati creati tutti i materiali “Sezione”, “Fibre di calcestruzzo”, per poter assegnare tale materiale agli elementi finiti che costituiscono il modello di calcolo si deve generare il Metamateriale non lineare, per effettuare tale operazione è sufficiente selezionare

nell'elenco di destra il materiale non lineare di cui si vuole generare il Metamateriale, e poi andare a cliccare il tasto “Genera MM” (Genera MetaMateriale):



e dovrà apparire la finestra di avviso:

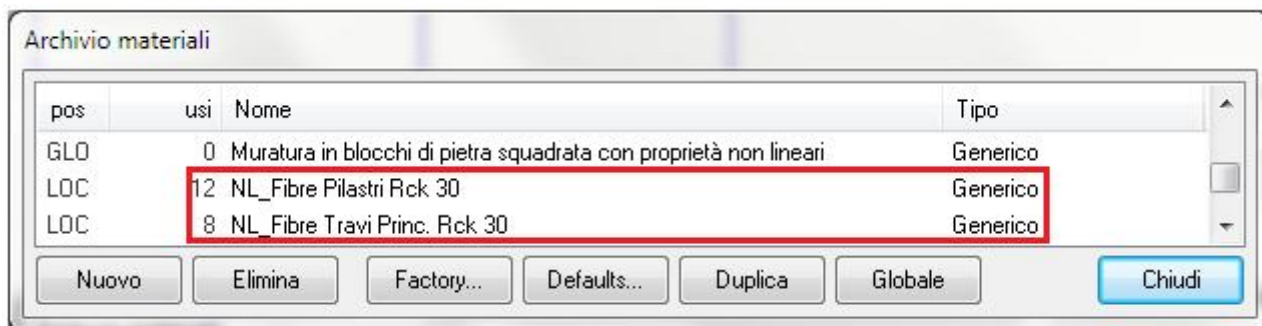


si deve effettuare tale operazione per tutti i materiali non lineari che si vuole assegnare nel modello.

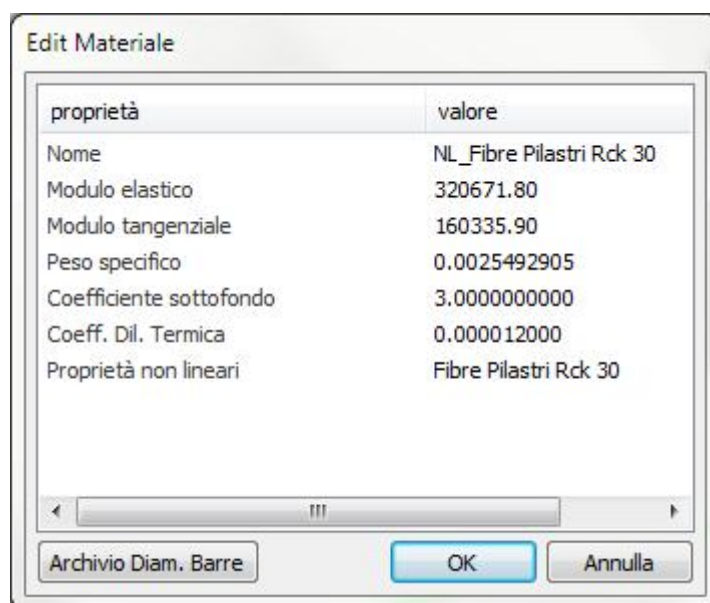
Dopo che ogni Metamateriale a comportamento non lineare è stato generato, per assegnarlo all'elemento finito si deve andare nella tendina “Analisi” → “Opzioni” → “Materiali e unità”. Successivamente si deve aprire l'elenco dei Metamateriali e creare un Metamateriale che come “Tipo” deve essere dichiarato “Generico” (può essere scelto anche un MM esistente), nel nostro caso creeremo due nuovi MM che chiameremo:

NL_Fibre Pilastrì Rck 30

NL_Fibre Travi Princ. Rck 30



a tali MM, assegneremo nella finestra “Edit Materiale” (che si apre con doppio clic sul nome) le proprietà meccaniche lineari del materiale costituente gli elementi, mentre nell'etichetta “Proprietà non lineari” si dovrà assegnare dalla libreria dei materiali non lineari quello voluto:



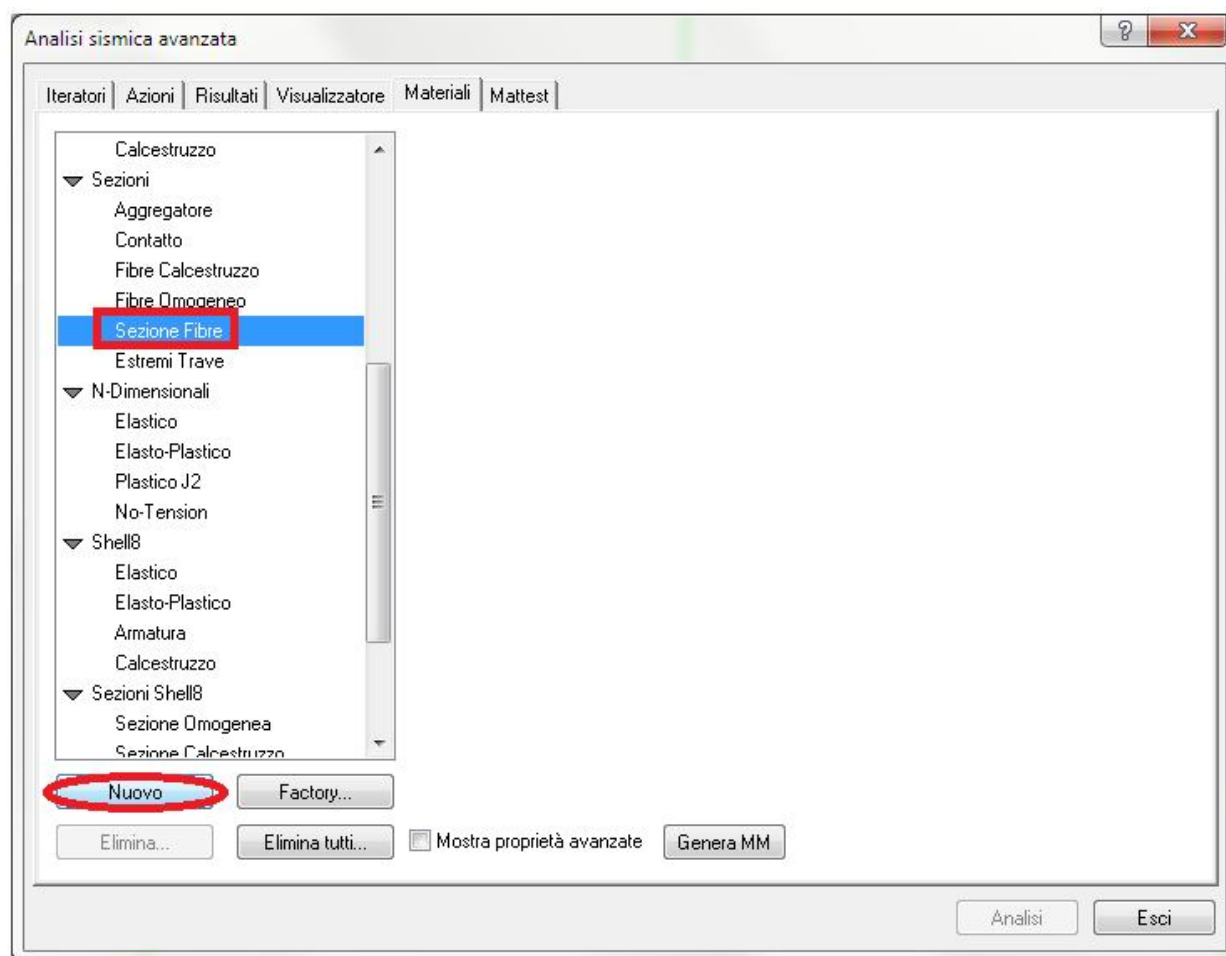
Dato che la assegnazione delle proprietà non lineari agli elementi avviene per Metamateriale, deve essere creato un Metamateriale per ogni Materiale non lineare che si intende assegnare nel modello, procedimento concettualmente analogo a quanto già esplicitato in precedenza per la definizione del passo di staffatura nel materiale “Uniassiale c.a.”,”Calcestruzzo”.

Materiali non lineari a plasticità diffusa (mod. a fibre) – Passo 2b – Sez. – Sez. fibre

Come anticipato nel paragrafo precedente, si descrive ora l'altra procedura di creazione di materiali a comportamento non lineare con plasticità diffusa (modelli a fibre), tale procedura contempla l'utilizzo del materiale contenuto nella categoria "Sezioni", sottocategoria → "Sezioni Fibre"

"Sezioni Fibre"

Cliccando sopra alla sotto-categoria "Sezioni Fibre" e poi sul pulsante "Nuovo" viene generato il nuovo materiale.

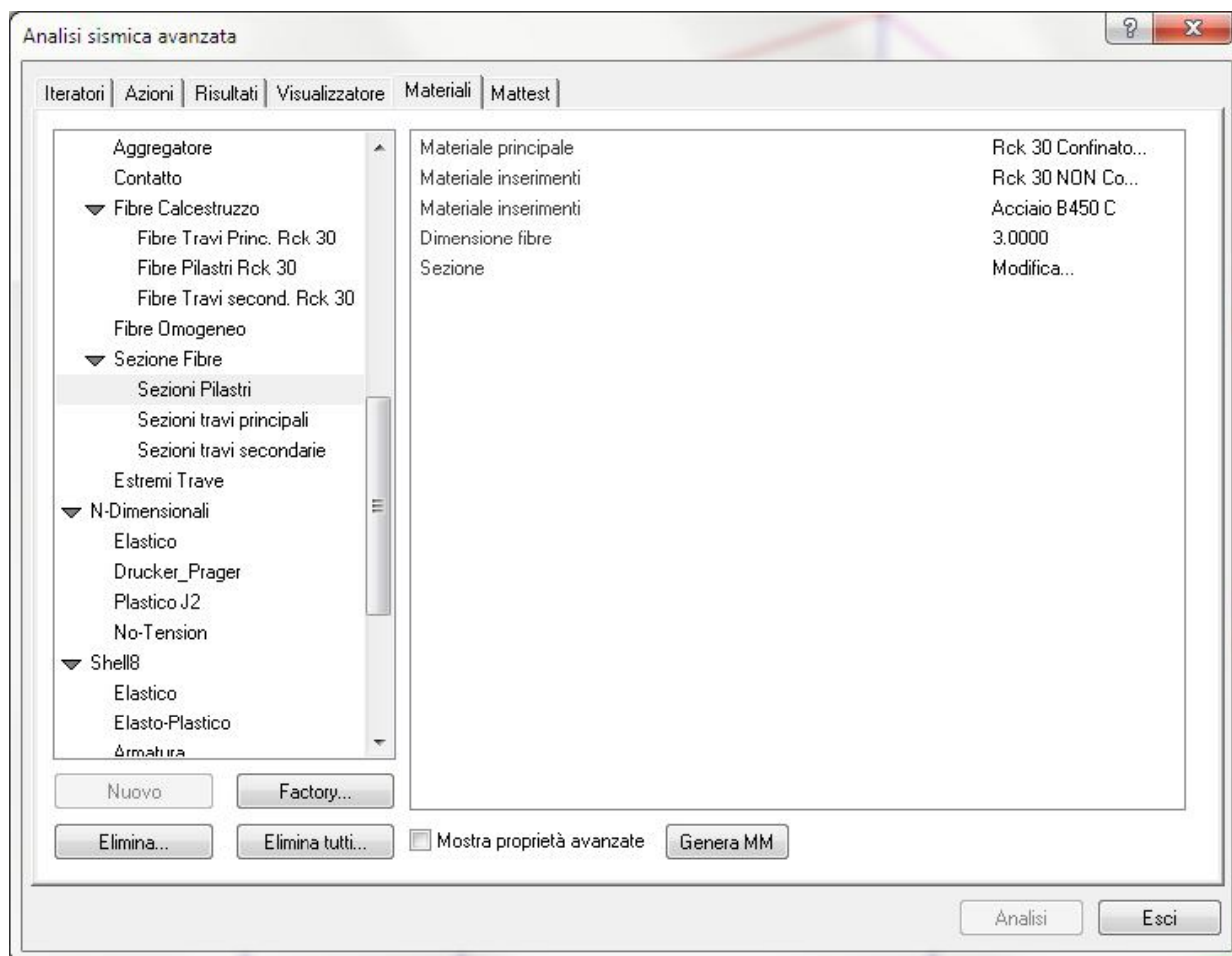


Creeremo due nuovi materiali che chiameremo "Sezioni pilastri" e "Sezioni Travi principali".

Una volta creato il materiale nella sezione di destra della finestra compaiono ora i parametri da inserire per definirne compiutamente la costituzione della sezione a fibre.

Le modalità di inserimento dei parametri sono differenti a seconda dei seguenti due casi:

1) Inserimento di un materiale “Uniassiale c.a.” calcestruzzo differente tra nucleo e porzione di copriferro:

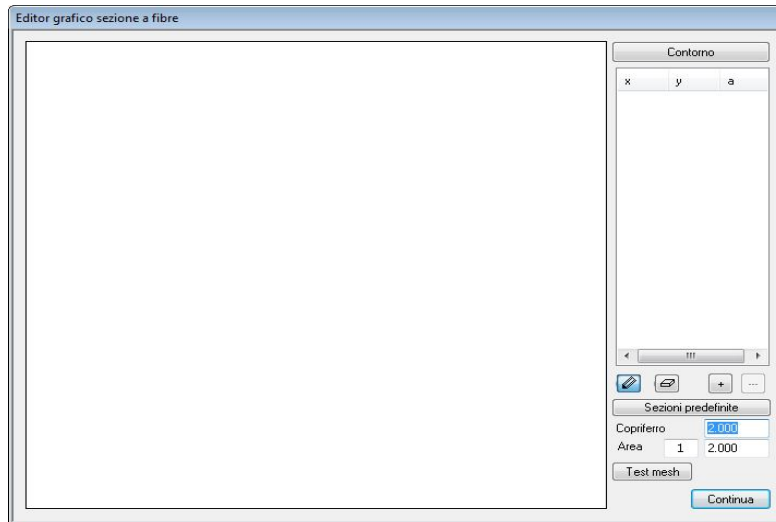


In questo caso se l'utente desidera tenere in conto gli effetti del confinamento esercitato dalla staffatura, i parametri da inserire risultano essere:

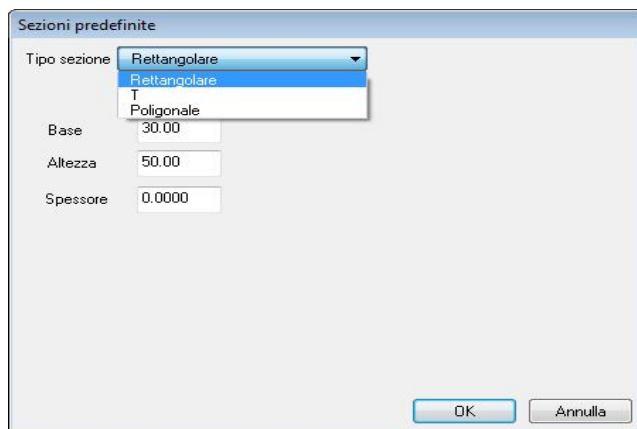
- Materiale principale: in tale tendina si assegna il materiale “Uniassiale c.a.” → “Calcestruzzo” → Rck 30 Confinato - precedentemente creato;
- Materiale inserimenti': in tale tendina si assegna il materiale “Uniassiale c.a.” → “Calcestruzzo” → Rck 30 NON Confinato - precedentemente creato;
- Materiale inserimenti": in tale tendina si assegna il materiale “Uniassiale c.a.” → “Armatura” → Acciaio B450 C - precedentemente creato;
- Dimensioni fibre: dimensione delle fibre che costituiscono la sezione dell'elemento (dimensione media della meshatura della sezione), espressa nell'unità di misura corrente nel modello entro cui si sta operando;
- Sezione: permette di accedere alla finestra di dialogo per la definizione delle dimensioni della sezione e della quantità di armatura in essa presente;

Sezione

Cliccando sulla riga “Sezione”, viene aperta la seguente finestra:



In essa la prima operazione da effettuare è andare a cliccare il pulsante “Sezioni predefinite” che aprirà il seguente dialogo:



In cui si sceglie prima di tutto la forma della sezione tra: Rettangolare, a T e Poligonale;

In base alla tipologia prescelta si inseriscono le opportune dimensioni della sezione, i comandi sono i medesimi che si trovano nel Nòlian.

Se viene definito uno spessore, il programma considererà automaticamente la sezione cava con uno spessore pari al valore inserito

Nel nostro caso creeremo una sezione per i pilastri ed un'altra per le travi con le dimensioni rispettivamente pari a 30x40 e 30x50.

Dopo aver dato le dimensioni della sezione, si deve andare a definire lo strato costituito dal calcestruzzo non confinato, per fare tale operazione bisogna inserire nell'elenco in alto a destra, nella colonna del termine “a” il valore del copriferro, (se non si effettua tale operazione, il programma considererà tutta la sezione costituita da materiale con caratteristiche non lineari del “Materiale principale”).

Tramite i pulsanti “Aggiungi” e “Rimuovi”



è possibile aggiungere successivamente alla sua creazione, dei vertici aggiuntivi della sezione.

A questo punto devono essere inserite le armature, per farlo si deve cliccare sul pulsante “Contorno” che in automatico passa al dialogo di inserimento delle barre.

Le armature possono essere inserite o tramite inserimento grafico con i pulsanti “Disegna” e “Cancella”

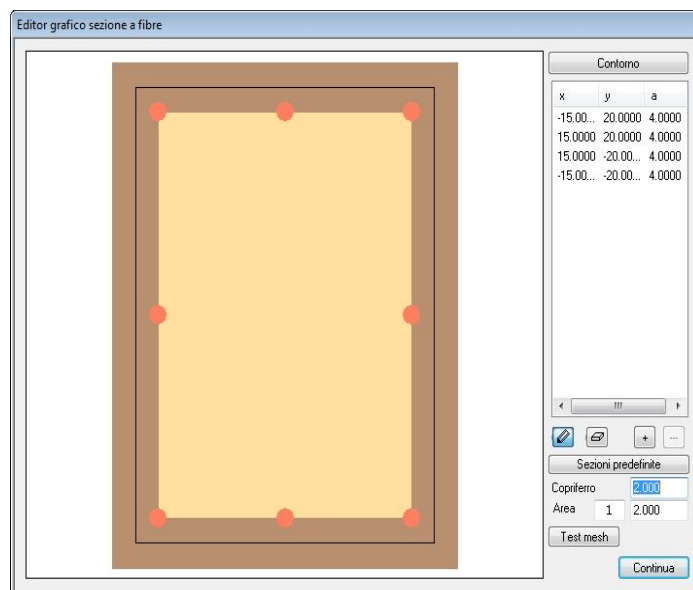


Oppure tramite i pulsanti “Aggiungi” e “Rimuovi”

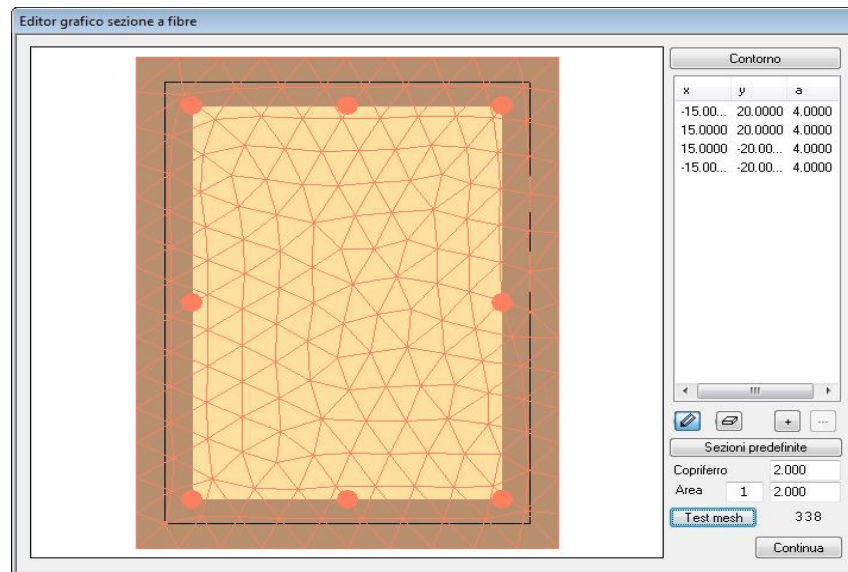


Operando con i primi si disegna direttamente sulla sezione, dove si vuole posizionare la barra, mentre con “Aggiungi” e “Rimuovi” vengono inserite nell'elenco in alto a destra il numero di barre che si vuole.

Dopo l'inserimento, editando i valori delle coordinate della posizione di ogni singola barra, ed inserendo nella colonna “a”, l'area della barra, viene costruita la sezione desiderata.



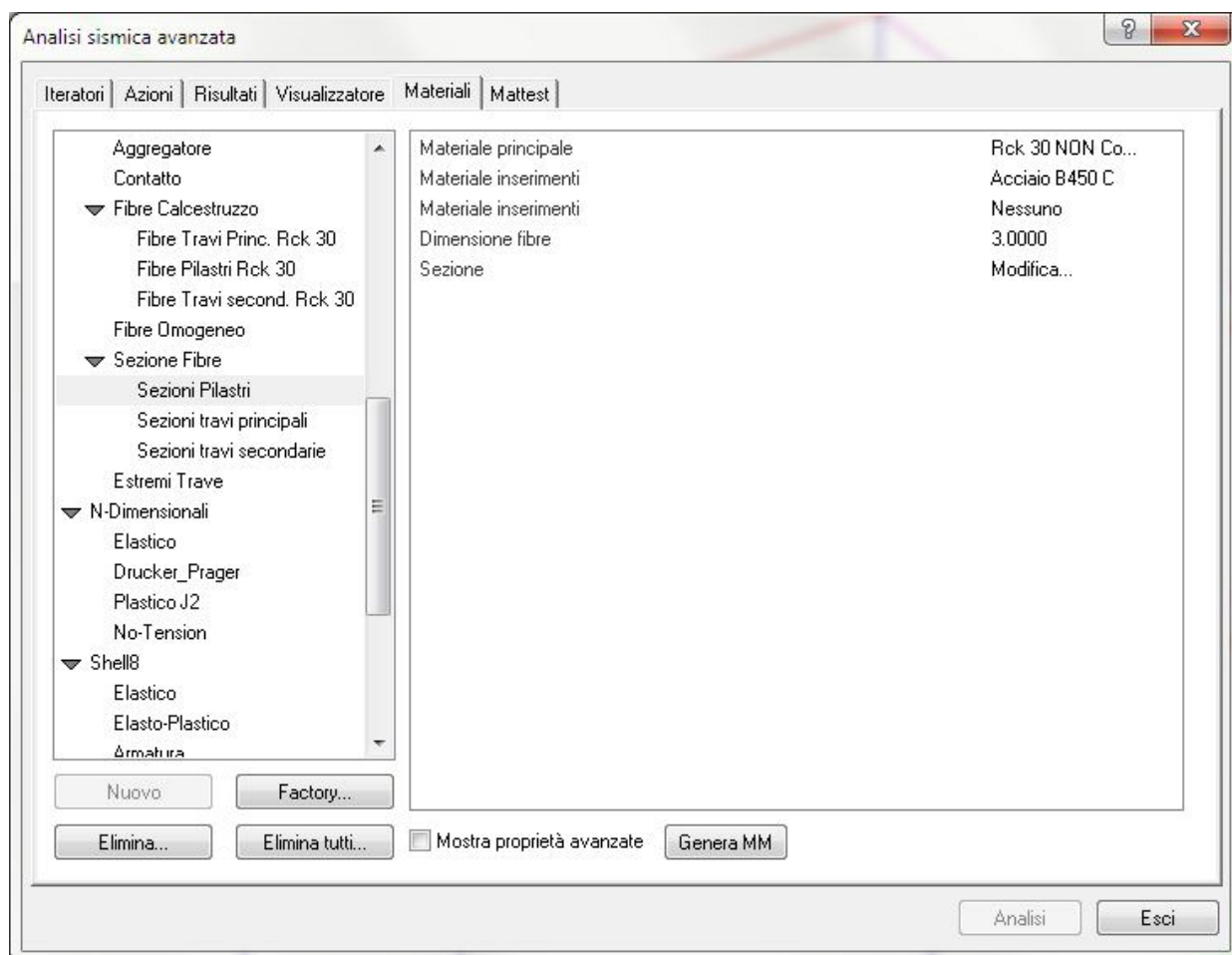
Dopo aver costruito la nostra sezione a comportamento non lineare, è possibile anche visualizzare la mesh con cui verrà discretizzata la sezione a fibre, cliccando sul pulsante “Test mesh”



Il valore riportato accanto al pulsante “Test mesh” indica il numero di nodi della mesh.

In questo esempio noi abbiamo costruito una sezione a comportamento non lineare in C.A., ma essendo tale entità composta da inserimenti di materiali uniassiali, è intuitivo immaginare di poter realizzare sezioni con qualunque tipo di materiale compreso nella categoria dei materiali “Uniassiali”.

1) Inserimento di un materiale “Uniassiale c.a.” calcestruzzo uguale sia per il nucleo che per la porzione di copriferro:



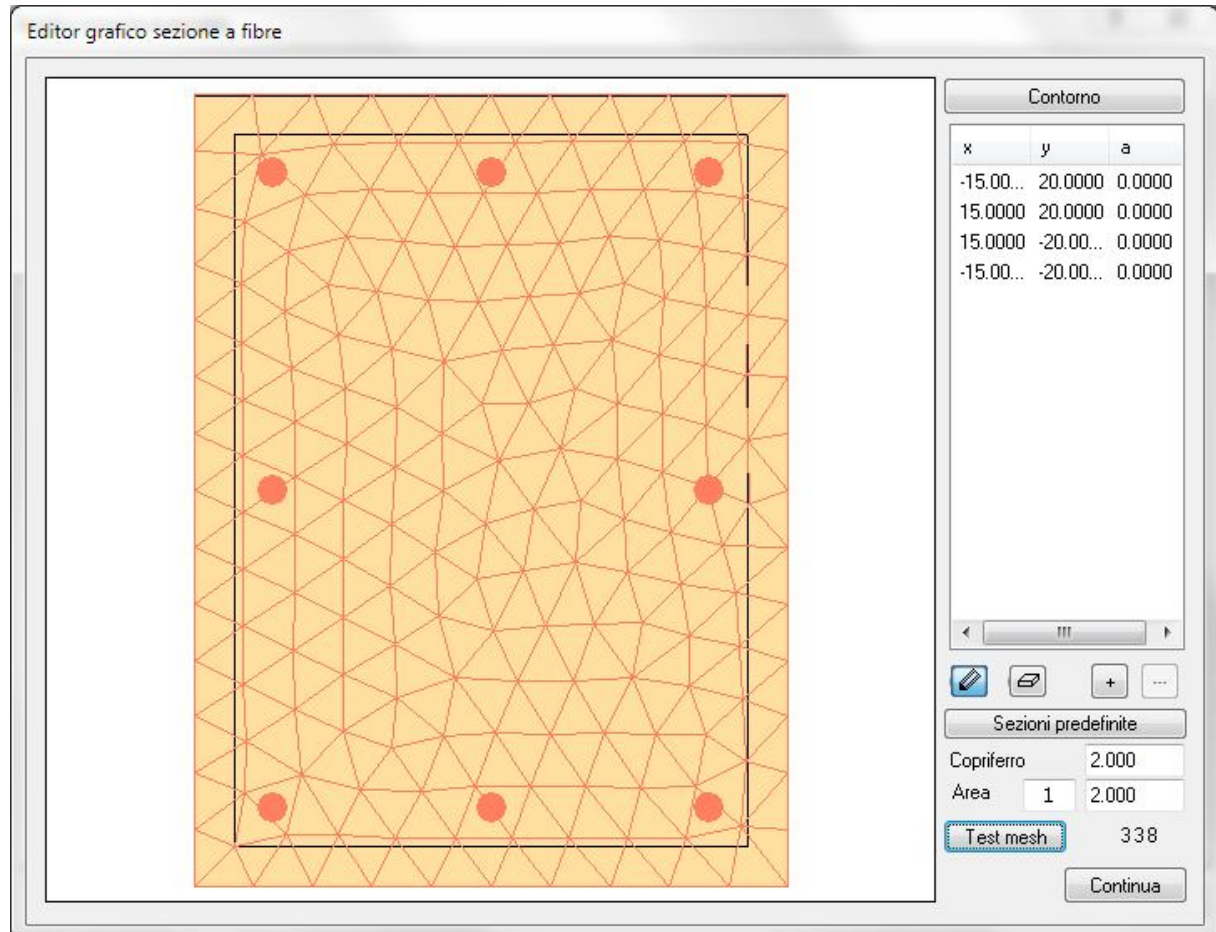
In questo caso se l'utente non desidera tenere in conto gli effetti del confinamento esercitato dalla staffatura, i parametri da inserire risultano essere:

- Materiale principale: in tale tendina si assegna il materiale “Uniassiale c.a.” → “Calcestruzzo” → Rck 30 NON Confinato - precedentemente creato;
- Materiale inserimenti': in tale tendina si assegna il materiale “Uniassiale c.a.” → “Armatura” → Acciaio B450 C - precedentemente creato, (si noti che se non vengono assegnati tutti materiali “Uniassiali c.a.” le armature devono essere assegnate nella prima cella di Materiale inserimenti';
- Materiale inserimenti'': in questo caso in tale tendina si lascia la voce di Default “Nessuno”;
- Dimensioni fibre: dimensione delle fibre che costituiscono la sezione dell'elemento (dimensione media della meshatura della sezione), espressa nell'unità di misura corrente nel modello entro cui si sta operando;
- Sezione: permette di accedere alla finestra di dialogo per la definizione delle dimensioni della sezione e della quantità di armatura in essa presente;

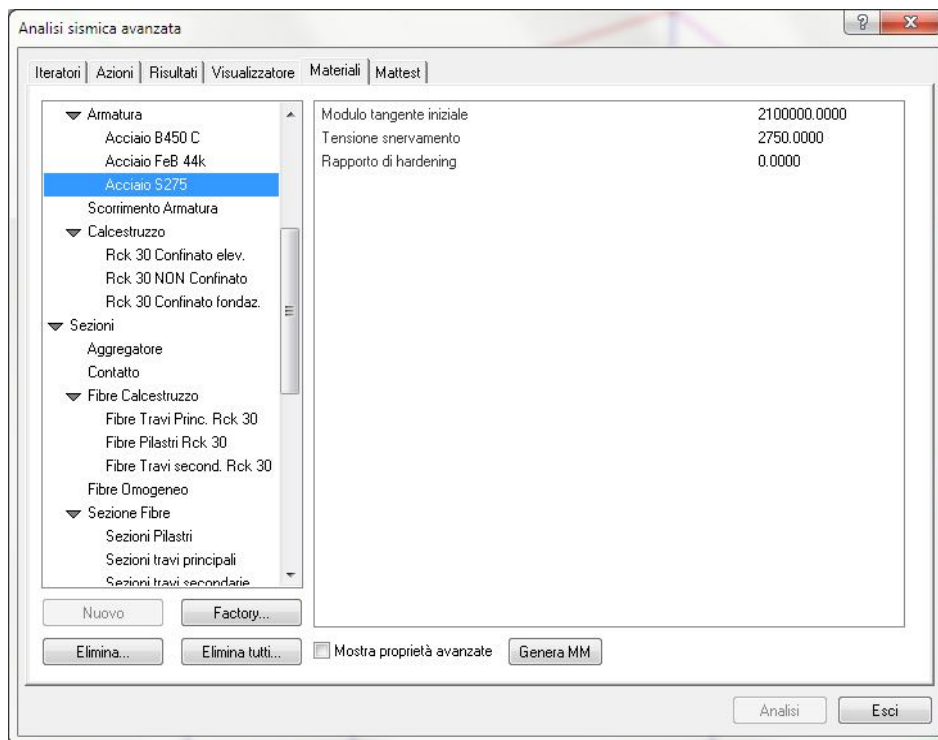
Sezione

I passaggi in questo caso sono analoghi a quelli descritti sopra per il caso 1), l'unica differenza è che in questo caso nella colonna “a” dell'interfaccia → Sezione → Contorno

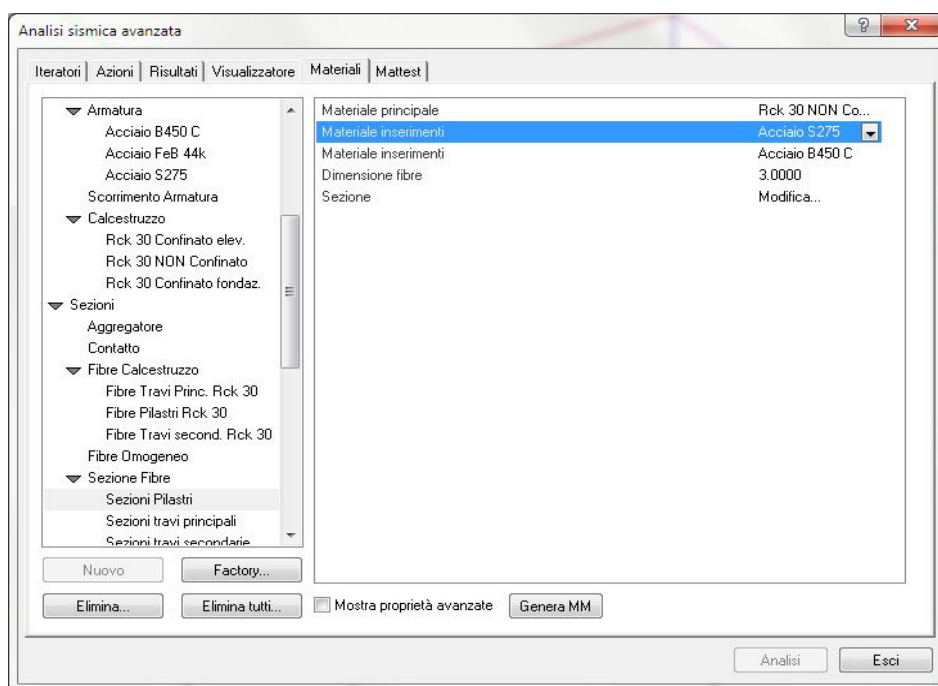
deve essere lasciato il valore 0.00:



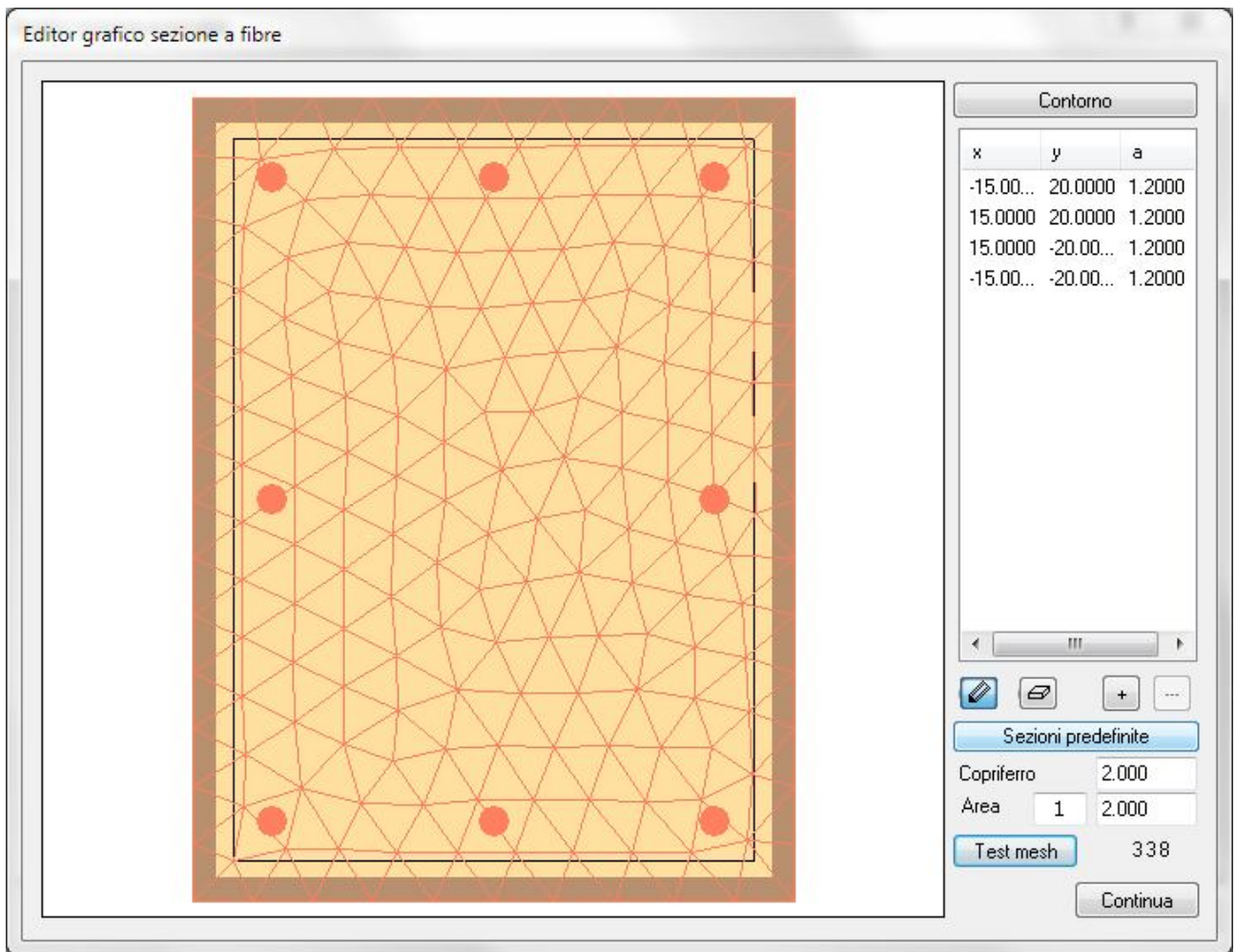
NOTA: Si noti che tale modalità di differenziazione tra le procedure di inserimento dei materiali nel Caso 1) e nel Caso 2) permettono di modellare in analisi non lineare anche sezione Miste Acciaio/C.A. formate da tubolari a sezione rettangolare riempiti da un getto di calcestruzzo, infatti in tal caso basta creare tra i materiali “Uniassiali c.a.” un materiale acciaio con le caratteristiche del materiale che costituisce i profilati:



Assegnarlo come materiale componente lo strato di copriferro:

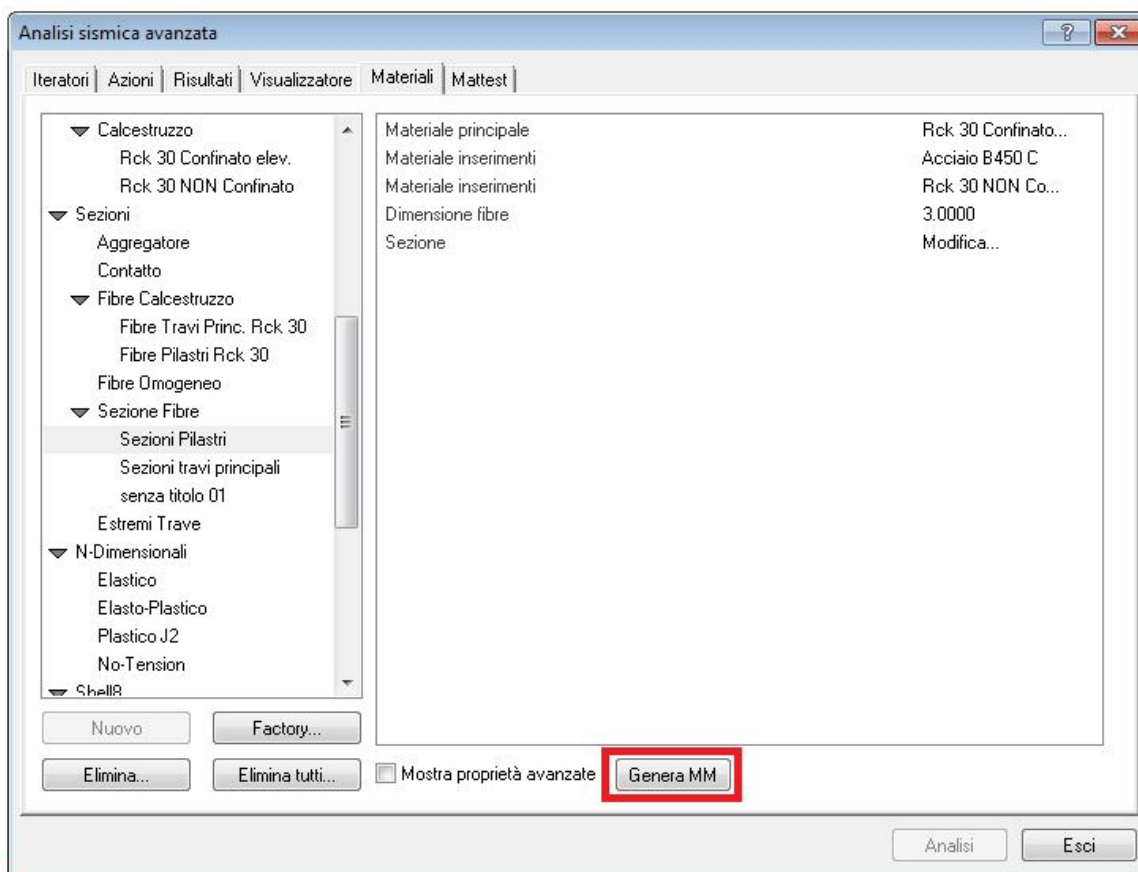


E nella composizione della sezione, nella colonna “a” dell'interfaccia → Sezione → Contorno si deve assegnare lo spessore della lamiera del profilato scatolare:

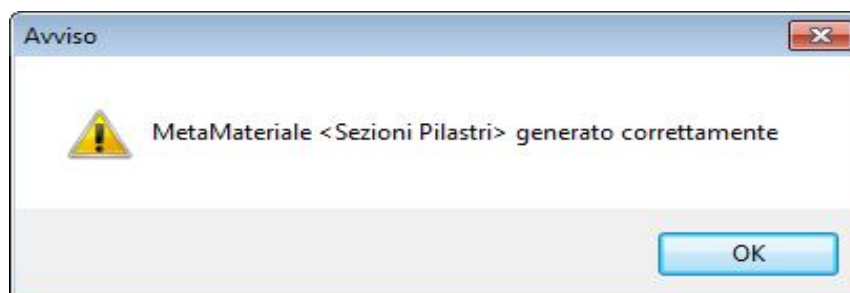


FINE NOTA

Una volta che sono stati creati tutti i materiali “Sezione”, “Sezione fibre”, per poter assegnare tale materiale agli elementi finiti che costituiscono il modello di calcolo si deve generare il Metamateriale non lineare, per effettuare tale operazione è sufficiente selezionare nell'elenco di destra il materiale non lineare di cui si vuole generare il Metamateriale, e poi andare a cliccare il tasto “Genera MM” (Genera MetaMateriale):



e dovrà apparire la finestra di avviso:

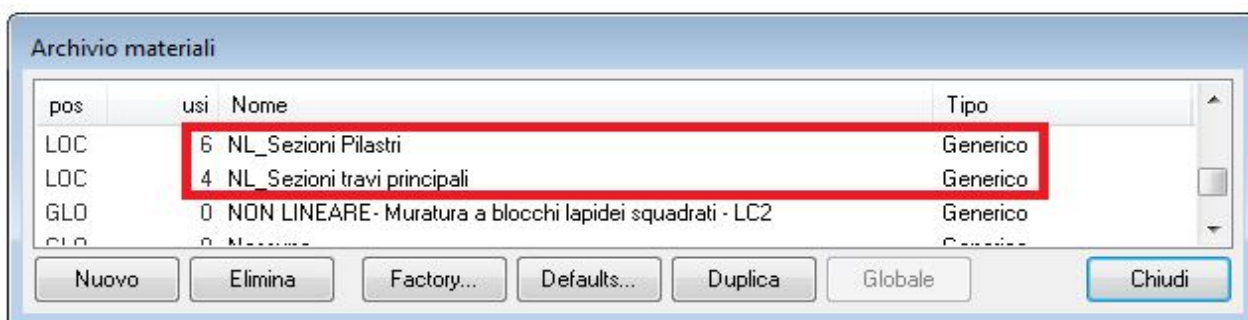


si deve effettuare tale operazione per tutte le sezioni a comportamento non lineare che si vuole assegnare nel modello.

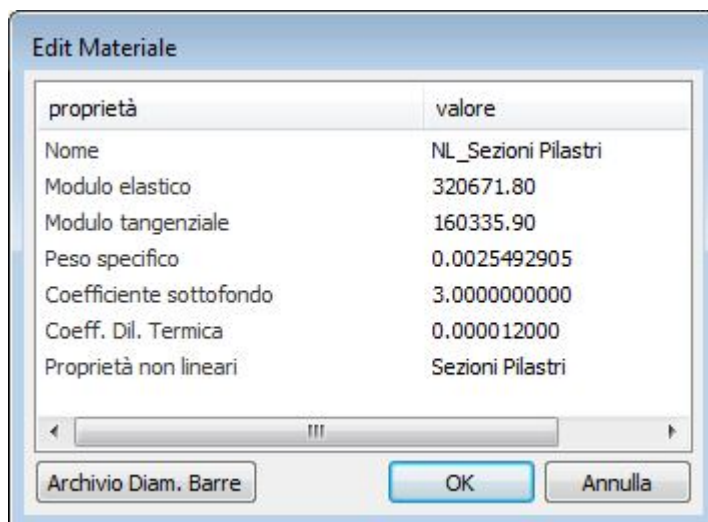
Dopo che ogni Metamateriale derivante dalle “Sezione fibre” a comportamento non lineare è stato generato, per assegnarlo all'elemento finito si deve andare nella tendina “Analisi” → “Opzioni” → “Materiali e unità”

dopo si deve aprire l'elenco dei Metamateriali e creare un Metamateriale che come “Tipo” deve essere dichiarato “Generico” (può essere scelto anche un MM esistente), nel nostro caso creeremo due nuovi MM che chiameremo:

- NL_Sezioni Pilastri
- NL_Sezioni travi principali



a tali MM, assegneremo nella finestra “Edit Materiale” (che si apre con doppio clic sul nome) le proprietà meccaniche lineari del materiale costituente gli elementi, mentre nell'etichetta “Proprietà non lineari” si dovrà assegnare dalla libreria dei materiali non lineari quello voluto:



Dato che la assegnazione delle proprietà non lineari agli elementi avviene per Metamateriale, deve essere creato un Metamateriale per ogni tipo di “Sezione fibre” che si intende assegnare nel modello, procedimento concettualmente analogo a quanto già spiegato in precedenza per la definizione del passo di staffatura nel materiale “Uniassiale c.a.”,”Calcestruzzo”.

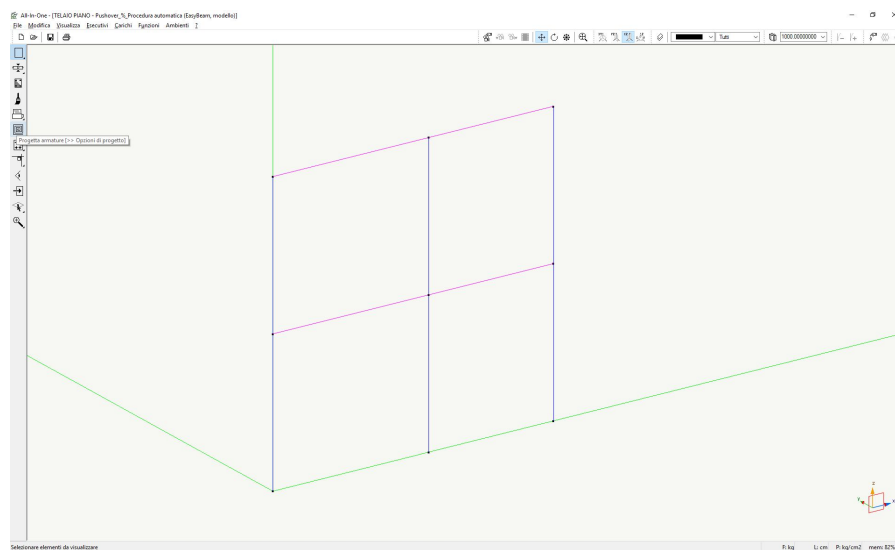
b) 2) Materiali non lineari per elementi “trave” in C.A. (Metodo automatizzato)

Al fine di rendere più veloci le procedure di creazione del modello di calcolo non lineare per strutture in C.A., soprattutto per quanto riguarda l’assegnazione delle armature presenti all’interno delle varie sezioni degli elementi, è stata aggiunta in EasyBeam una procedura di generazione automatica dei materiali non lineari e di inserimento delle armature longitudinali e trasversali.

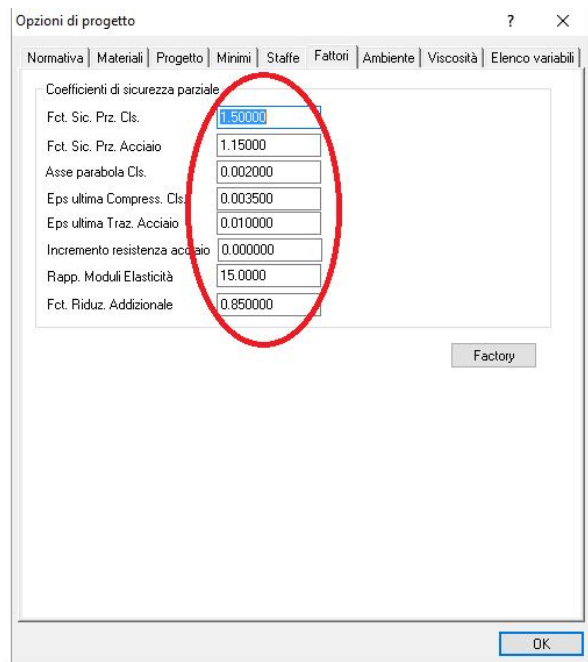
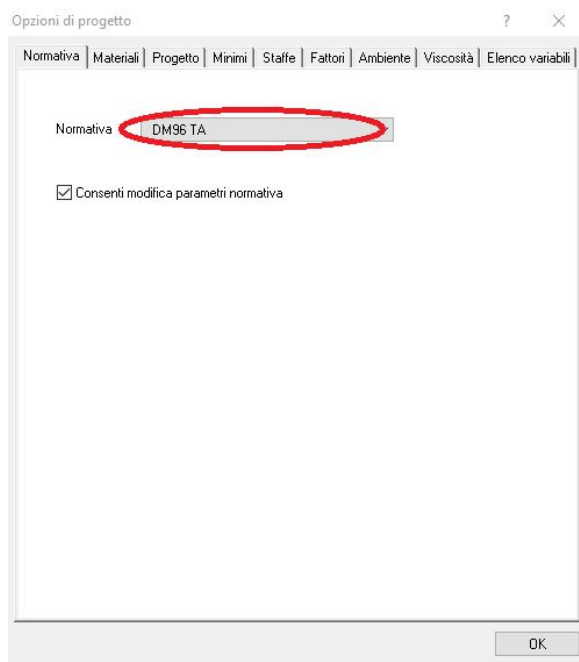
La procedura automatica può essere utilizzata sia a seguito di una preventiva esecuzione di una analisi lineare in Nòlian, sia a seguito di una semplice creazione del modello in Nòlian e successivo inserimento in EasyBeam delle armature tramite il comando di inserimento manuale che agevola notevolmente il lavoro.

Nel primo caso si procede in questo modo:

si crea il modello in Nòlian come per una normale analisi lineare, si esegue il calcolo e si passa in EasyBeam. Qui si procede al progetto automatico delle armature con i comandi ordinari che si utilizzano come nel progetto di nuove costruzioni:

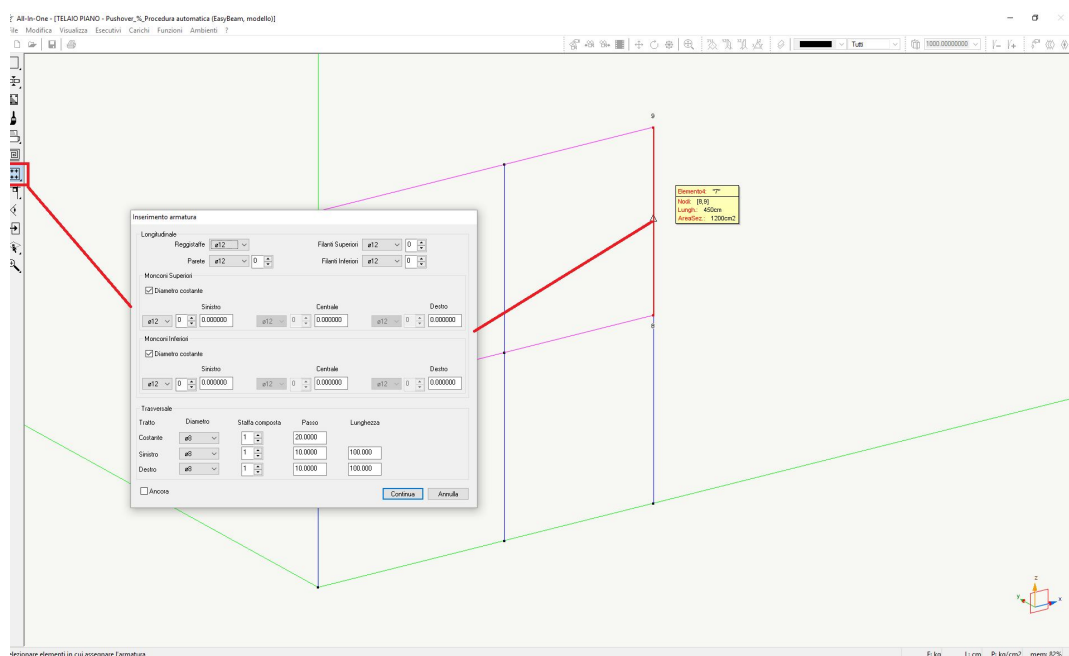


Questo sistema risulta utile quando nella verifica di edifici esistenti, quando non si dispone di informazioni sufficienti sulle armature presenti all’interno degli elementi, e si deve determinare la quantità di barre, tramite progetto simulato selezionando una norma precedente a quella attualmente vigente, oppure assegnando manualmente i fattori ed i coefficienti di progettazione nel dialogo delle opzioni di verifica di EasyBeam.



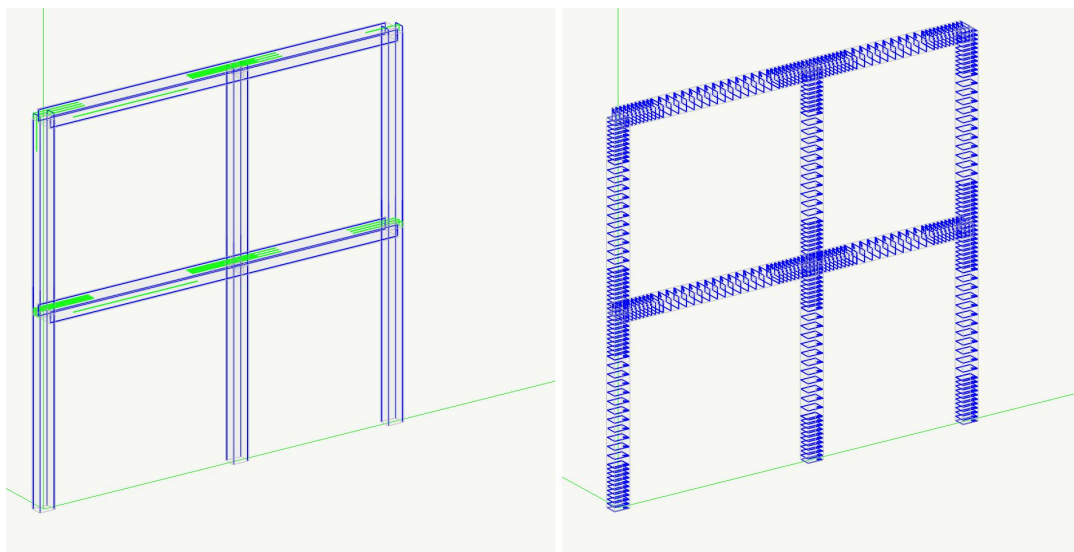
Nel secondo caso si procede in questo modo:

una volta creato il modello in Nòlian, senza eseguire l'analisi si passa direttamente all'ambiente EasyBeam, e tramite il comando di assegnazione manuale delle barre, che consente di inserire compiutamente in maniera molto veloce, le barre longitudinali con eventuali spezzoni e le staffe con eventuali infittimenti:

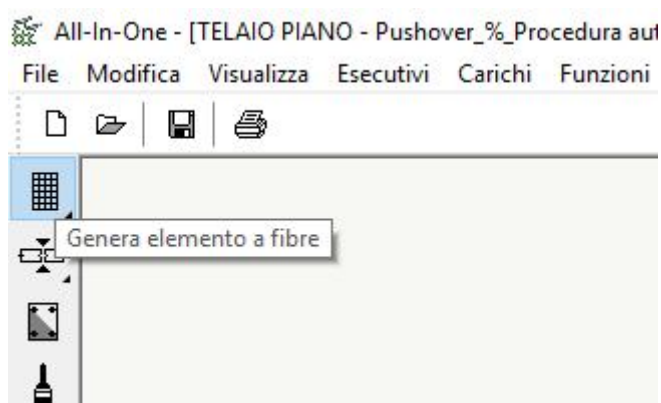


Tale procedimento, risulta molto utile nei casi in cui si sta operando la verifica di un edificio esistente e si dispone di informazioni sufficienti sulla quantità di armatura presente all'interno degli elementi, e non risulta necessario operare il progetto simulato.

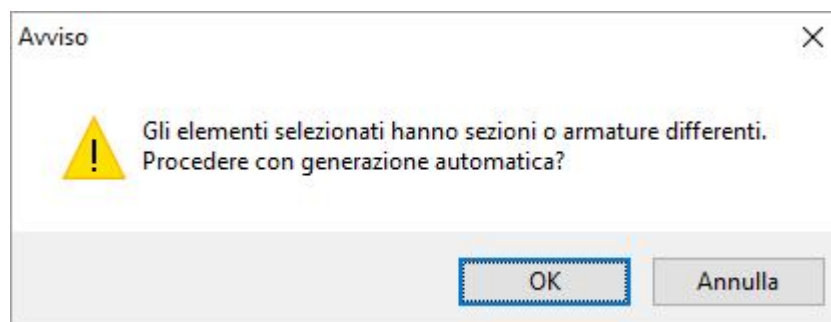
Qualunque sia dei due procedimenti che vengono adottati per l'inserimento delle armature, una volta che queste risultino assegnate a tutti gli elementi:



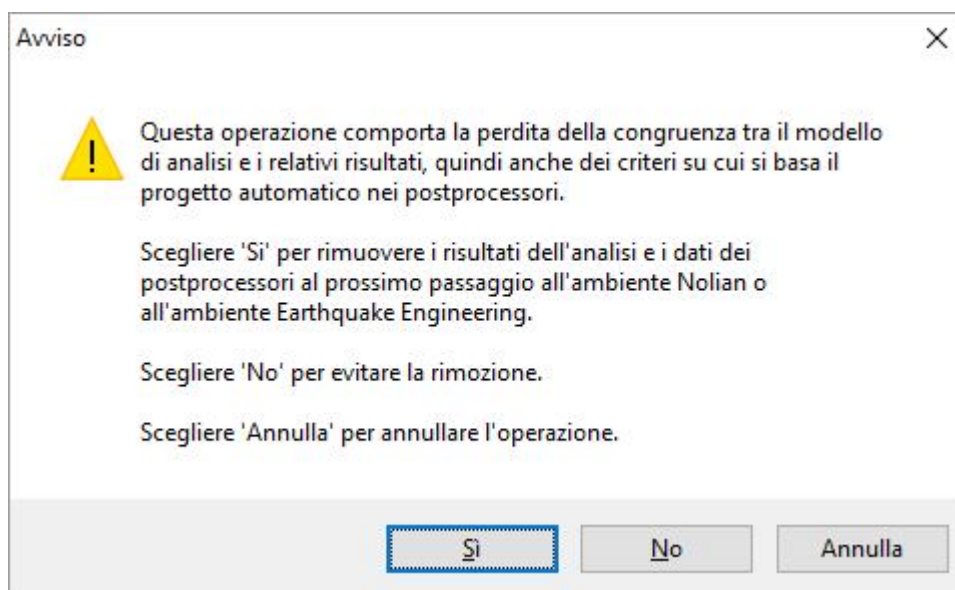
sarà possibile procedere con la generazione automatica degli elementi non lineari. Selezionando il comando nell'apposita icona a palette:



e selezionando con il lazo tutti gli elementi della struttura, e comparirà il messaggio:



premendo "OK" il programma eseguirà la trasformazione degli elementi, assegnando proprietà non lineari. Al termine della procedura apparirà il seguente messaggio:



Tale messaggio è per richiedere conferma all'utente affinché sia cosciente dell'operazione che sta eseguendo, infatti i post-processor di Nòlian-AllInOne hanno varie modalità di utilizzo, dato che la generazione automatica di materiali non lineari assegnati agli elementi, è un'operazione che negli ambienti Nòlian ed EE genera una modifica delle proprietà degli elementi come se venisse modificata una sezione, il programma avverte l'utente di tale modifica e chiede come debba comportarsi con i dati delle armature memorizzati nel post-processore.

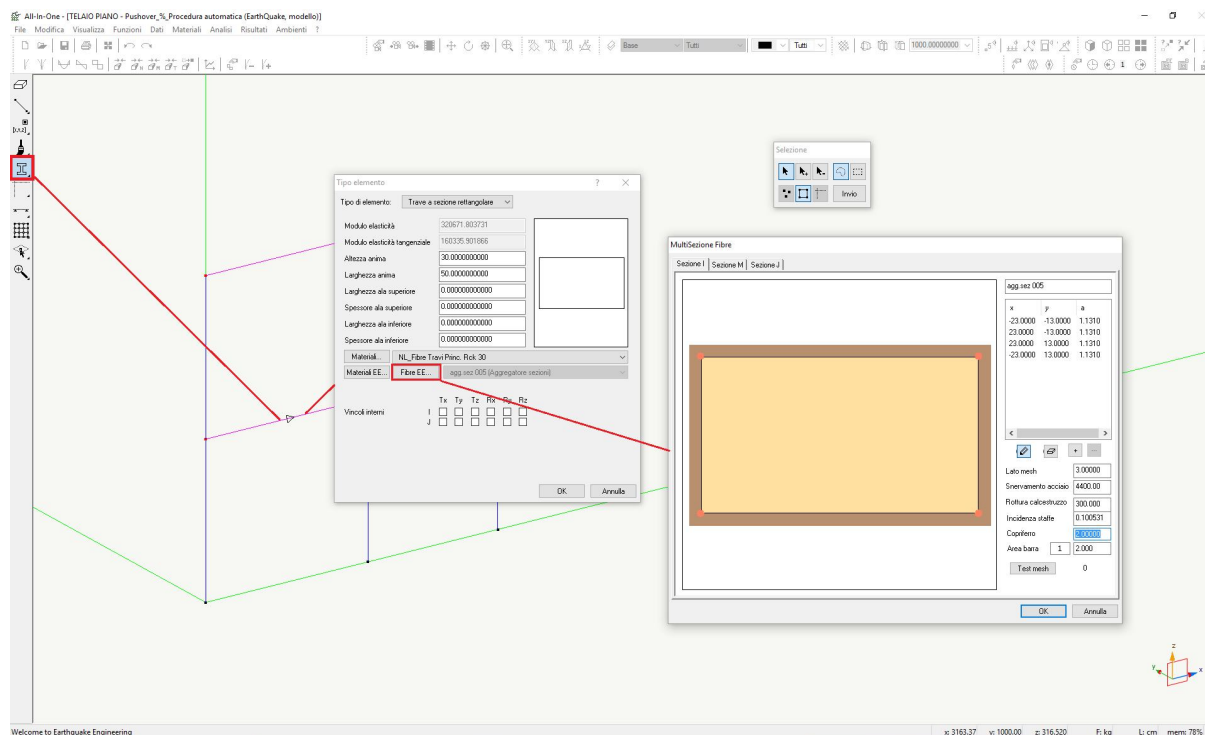
Scegliendo “Sì” verranno assegnati i materiali NON lineari, ma verranno eliminate le armature presenti negli elementi in EasyBeam.

Scegliendo “NO” verranno assegnati i materiali NON lineari, e verranno mantenute le armature presenti negli elementi in EasyBeam.

Scegliendo “Annulla” non verranno assegnati i materiali NON lineari, e verranno mantenute le armature presenti negli elementi in EasyBeam.

Dato che le circostanze di utilizzo di tale comando sono o per valutare la sicurezza di un edificio esistente, o per valutare la capacità duttile di un edificio di nuova costruzione in cui sono state progettate le armature secondo metodi lineari, in entrambi i casi risulta utile mantenere memoria delle armature degli elementi in EasyBeam, pertanto si consiglia di scegliere “NO”.

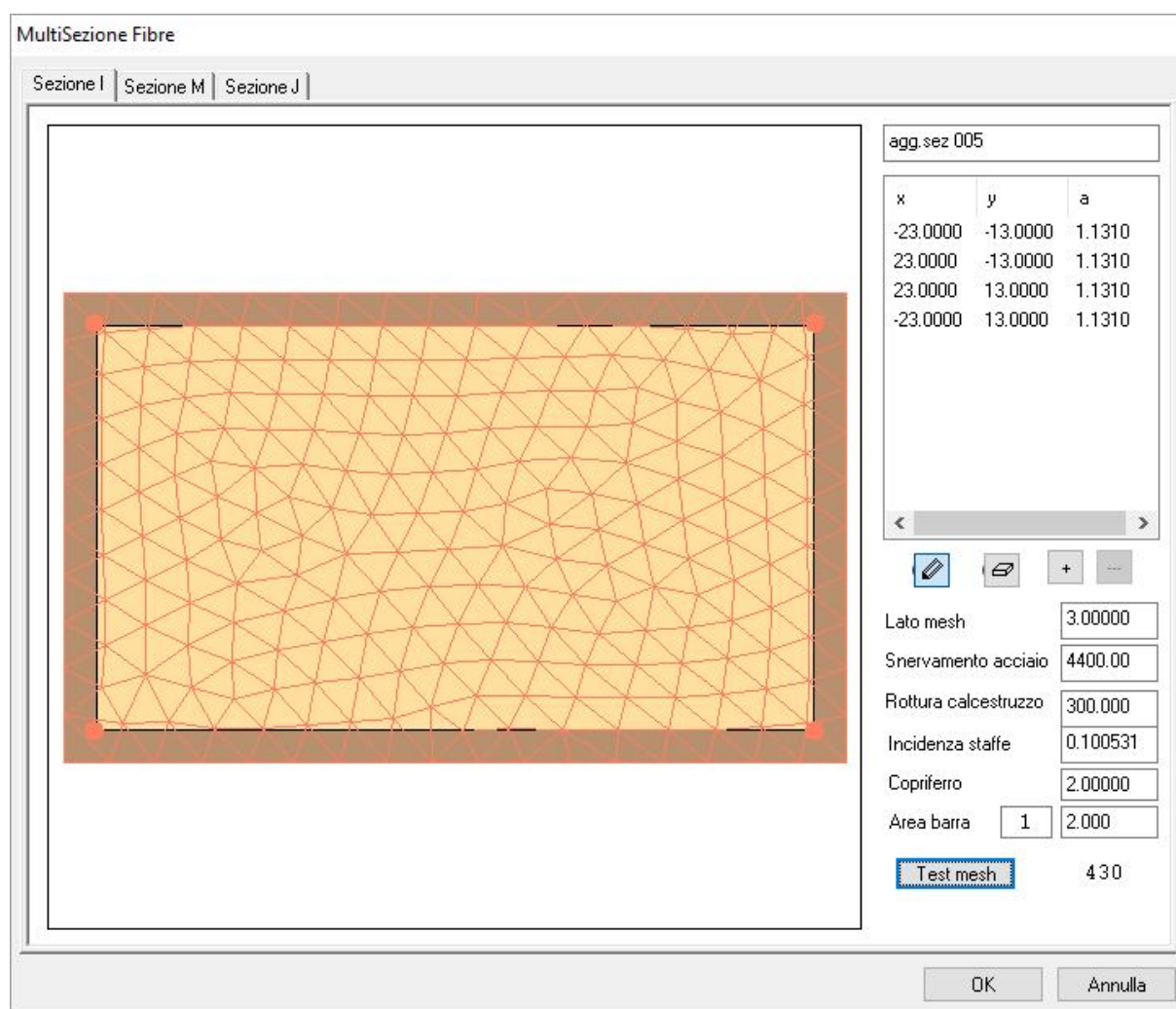
A questo punto passando all'ambiente EE, scegliendo il comando “Assegna caratteristiche elemento” e selezionando un elemento della struttura, si riscontra l'assegnazione di un materiale Non lineare a fibre, cliccando sul bottone corrispondente, viene aperta la finestra di dialogo “MultiSezione Fibre”



Il dialogo “MultiSezione Fibre” presenta tre pagine: “Sezione I”, “Sezione M”, “Sezione J”, corrispondenti alle tre sezioni dell'elemento rispettivamente iniziale, di mezzeria e finale;

per ogni sezione sono riportate le seguenti informazioni:

- Lato della mesh: Indica le dimensioni con cui vengono meshate le fibre all'interno della sezione;
- Snervamento acciaio: è la tensione di snervamento delle armature assegnata precedentemente in EasyBeam;
- Rottura del calcestruzzo: è la Rck assegnata al materiale dell'elemento in fase di creazione del modello iniziale;
- Incidenza staffe: è calcolata con la relazione $\rightarrow (\text{Area singola staffa} \times \text{n.bracci})/\text{passo staffe}$ nell'immagine sotto il valore 0,10 corrisponde ad un F8/10 a due bracci;
- Copriferro: è il copriferro assegnato al materiale dell'elemento in fase di creazione del modello iniziale, e con il quale il programma nel calcolo non lineare tiene conto della porzione di sezione in cui il calcestruzzo è confinato, da quella in cui invece il confinamento è assente;
- Test mesh: è il bottone con il quale l'utente può visionare l'accuratezza della mesh delle fibre in relazione alle dimensioni della sezione ed eventualmente modificarla cambiando il valore “Lato della mesh”;



Con questa procedura automatizzata, è il programma che esegue la creazione ed assegnazione dei materiali non lineari, ed a parte gli eventuali controlli, l'utente può procedere con le successive operazioni descritte nel seguito.

NOTA: Il materiale non lineare che viene generato nella procedura automatica, è del tipo "Sezione fibre", pertanto consente anche la registrazione dei risultati dell'analisi su ogni singola fibra, attivando il registratore "Salvataggio risultati" (tramite la procedura descritta più avanti), in tal modo l'utente può indagare intimamente tutti i risultati di analisi, di ogni singola fibra degli elementi strutturali.

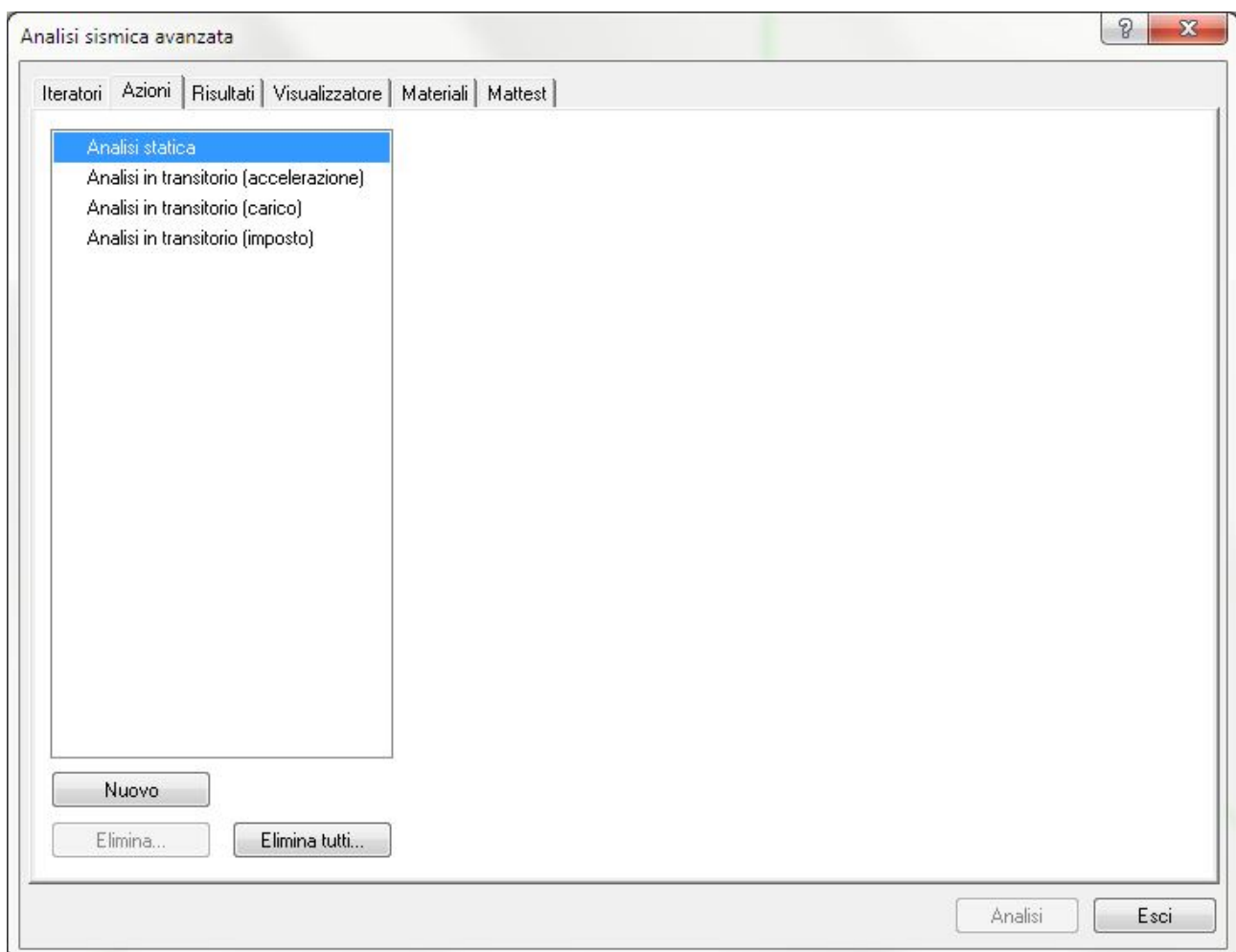
c) Assegnazione delle azioni per analisi non lineari

L'assegnazione delle azioni per eseguire l'analisi non lineare può essere fatta tramite due differenti procedure; la prima prevede l'utilizzo dell'interfaccia attivabile tramite il comando “Analisi sismica avanzata”, mentre l'altra tramite il comando “Pushover”, andremo nel seguito a descrivere entrambi i metodi.

Assegnazione azioni: Analisi sismica avanzata

Per poter assegnare le azioni per analisi non lineari tramite il quadro comandi della finestra “Analisi sismica avanzata”, devono essere stati assegnati al modello tutti i carichi statici (sotto opportune condizioni di carico) che si desidera considerare agenti durante l'analisi non lineare, e deve essere stata creata una condizione di carico nella quale viene assegnato il sistema di forze rispetto al quale si vuole eseguire l'analisi non lineare. Tale sistema di forze può essere assegnato dall'utente manualmente, oppure fatto generare tramite la funzione “Forze statiche equivalenti”.

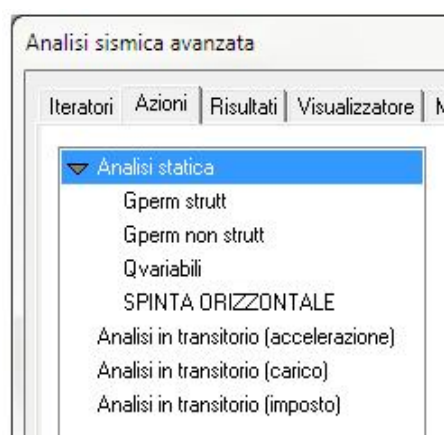
Una volta assegnate tutte le condizioni di carico, si procede selezionando il comando “Analisi sismica avanzata” e si clicca la tendina “Azioni”.



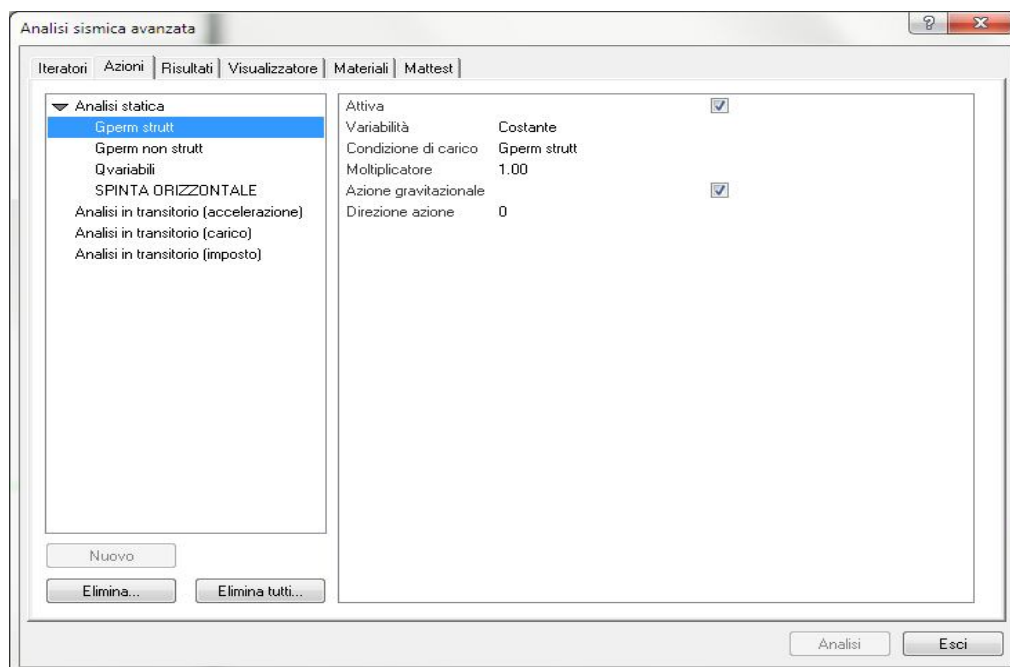
In tale finestra si trovano le famiglie di analisi sotto le quali devono essere inserite le azioni.

Volendo noi eseguire sul nostro telaio una analisi statica non lineare, per assegnare le azioni si deve cliccare la riga “Analisi statica”, e poi sul pulsante “Nuovo”, per ogni condizione di carico che deve essere considerata nell'analisi, nel nostro caso abbiamo tre condizioni di carichi statici ed una condizione di carichi sismici (SPINTA ORIZZONTALE), sotto quest'ultima è stato assegnato il sistema di forze orizzontali su cui verrà eseguito il calcolo non lineare.

Vengono così create le azioni per analisi statiche non lineari che vengono inserite sotto la categoria “Analisi statica” ed alle quali diamo il medesimo nome della condizione di carico che vogliamo inserire in esse:



Una volta eseguita questa operazione, si clicca su ogni singola “Azione” e si impostano i parametri richiesti dal programma:



Azioni sotto “Analisi statica”

I parametri da inserire sotto le “Analisi statica” risultano essere:

- Attiva: in tale tendina si va a specificare se nella analisi che i carichi inseriti sotto tale azione devono essere considerati attivi o meno;
- Variabilità: in tale tendina si specifica se rispetto a tale azione debba essere eseguito il calcolo non lineare (quindi applicato per passi), oppure se deve essere considerata come una condizione di carico statica che agisce in maniera costante. Le opzioni disponibili sotto tale etichetta sono:

Variabilità	Costante
Condizione di carico	Costante
Moltiplicatore	Lineare

Costante = l'azione sarà considerata come una condizione di carico statica che agisce in maniera costante

Lineare = l'azione sarà considerata come una condizione di carico variabile linearmente che viene incrementata secondo i criteri che dovranno essere impostati nella finestra “Iteratori” (lo vedremo successivamente), la “Variabilità” lineare, nel nostro caso sarà assegnata all'azione “SPINTA ORIZZONTALE”;

- Condizione di carico: in tale tendina si assegna quale condizione di carico, assegnata nel modello, deve ricadere sotto l'azione corrente;

Condizione di carico	Gperm strutt
Moltiplicatore	Gperm strutt
Azione gravitazionale	Gperm non strutt
Direzione azione	Qvariabili
	SPINTA ORIZZONTALE

- Moltiplicatore: in tale tendina si assegna un eventuale moltiplicatore da applicare al sistema di forze assegnato sotto la condizione di carico impostata al passo precedente;
- Azione gravitazionale: spuntare tale opzione, specifica al programma che la condizione di carico che si associa all’Azione” corrente, risulta essere di carichi gravitazionali, ed in tal caso, nella tendina “Iteratori” a seconda di quale opzione scelga l'utente, si può impostare l'applicazione dei carichi dichiarati come gravitazionali prima del lancio del calcolo non lineare, o concomitantamente all'esecuzione del calcolo lineare, (lo vedremo meglio dopo), in ogni caso se la condizione di carico associata è gravitazionale, è bene spuntare tale cella;

Una volta impostati tutti i parametri delle varie azioni si passa alla definizione dei “Risultati”

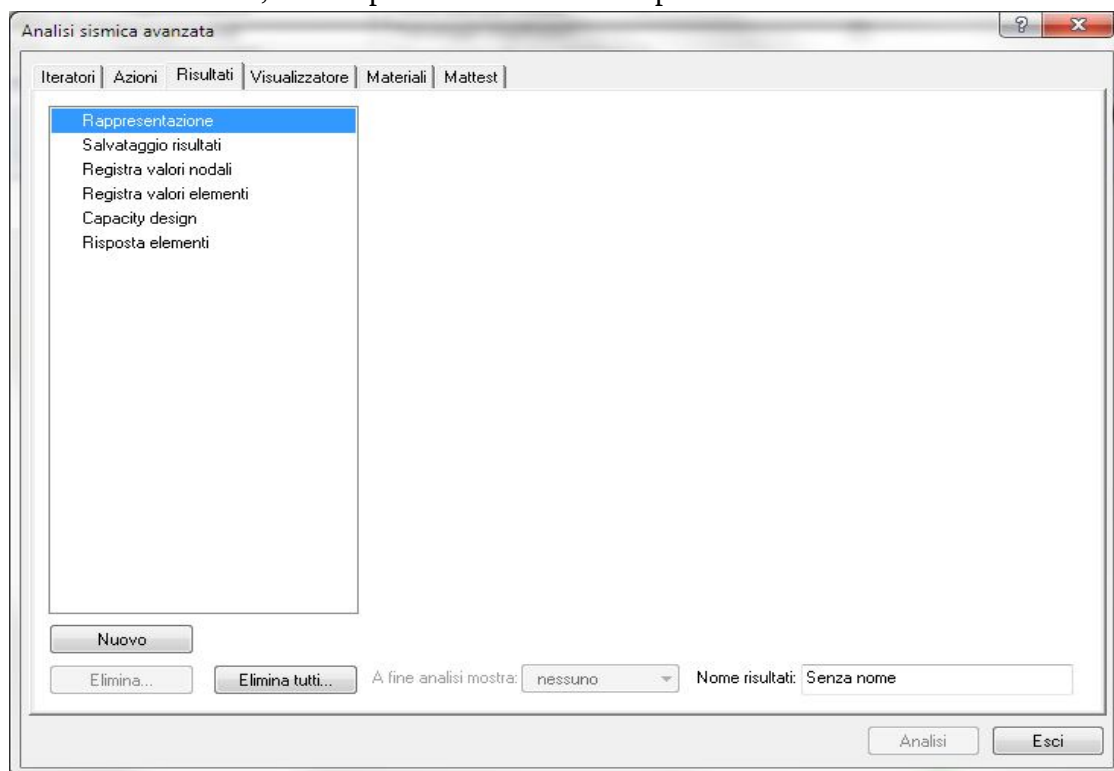
d) Risultati

Definire una categoria di “Risultati”, consiste per il programma nell'attivare un'entità che durante l'analisi monitora e registra vari tipi di grandezze e le rende disponibili in sede di post-processione per consentire tutte le indagini e le valutazioni che l'utente desidera e per l'esecuzione delle eventuali verifiche da eseguire nei post-processor.

Per quanto riguarda i “Risultati” attivabili invece sotto la voce “Rappresentazione”, questi consistono in una vera e propria rappresentazione grafica da visualizzare durante l'esecuzione dell'analisi.

Attivazione dei registratori

Dalla finestra di dialogo “Analisi sismica avanzata”, andando alla tendina “Risultati” si trovano nell'elenco a sinistra, i vari tipi di “Risultati” che è possibile attivare:



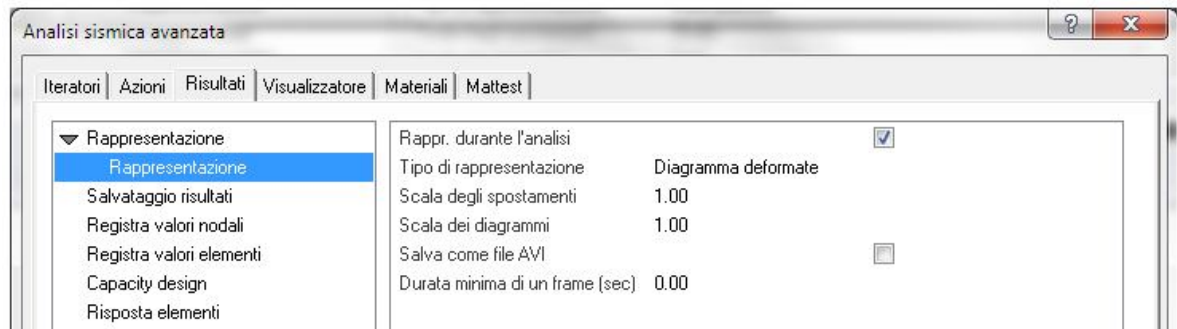
Per definire un nuovo tipo di “Risultati” basta cliccare sulla riga che indica la categoria voluta e successivamente cliccare sul bottone “Nuovo”.

Illustreremo ora i vari tipi di registratori.

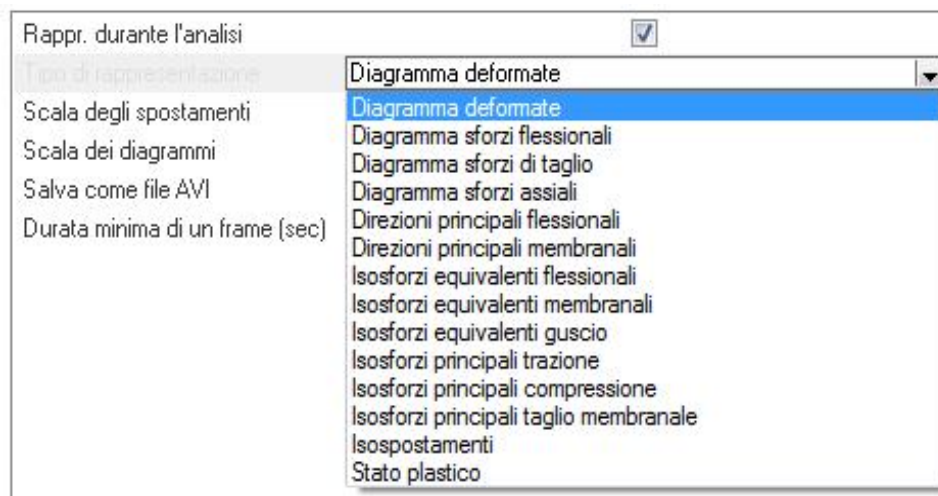
Rappresentazione

Il risultato “Rappresentazione” consiste in una vera e propria rappresentazione grafica delle varie grandezze calcolate dal programma, che viene effettuata direttamente sul modello durante l'analisi, e che può essere anche salvata su un file video ed essere visualizzata successivamente, esternamente al programma.

I parametri da inserire sotto tale “Risultato” sono:



- Rappr. durante l'analisi: spuntando tale opzione il programma mostrerà durante l'esecuzione dell'analisi l'evoluzione della rappresentazione prescelta;
- Tipo di rappresentazione: in tale tendina si specifica quale tipo di rappresentazione si intende ottenere, nell'immagine sotto sono riportate in elenco le possibili rappresentazioni:



Particolarmente interessante è la rappresentazione dello “Stato plastico” della struttura che sostanzialmente mostra l'evoluzione delle plasticizzazioni degli elementi durante il progredire dell'analisi;

- Scala degli spostamenti: in tale cella si assegna il fattore di scala con il quale verrà rappresentata la deformata della struttura durante l'analisi;
- Scala dei diagrammi: in tale cella si assegna il fattore di scala con il quale verrà rappresentato il diagramma o la mappatura che si è scelto di visualizzare;

- Salva come file AVI: spuntando tale opzione, il programma permette di ottenere un file video con la riproduzione di quanto verrà rappresentato durante l'analisi.

Al lancio dell'analisi, il programma chiederà in quale cartella ed in che formato video si vuole salvare la rappresentazione;

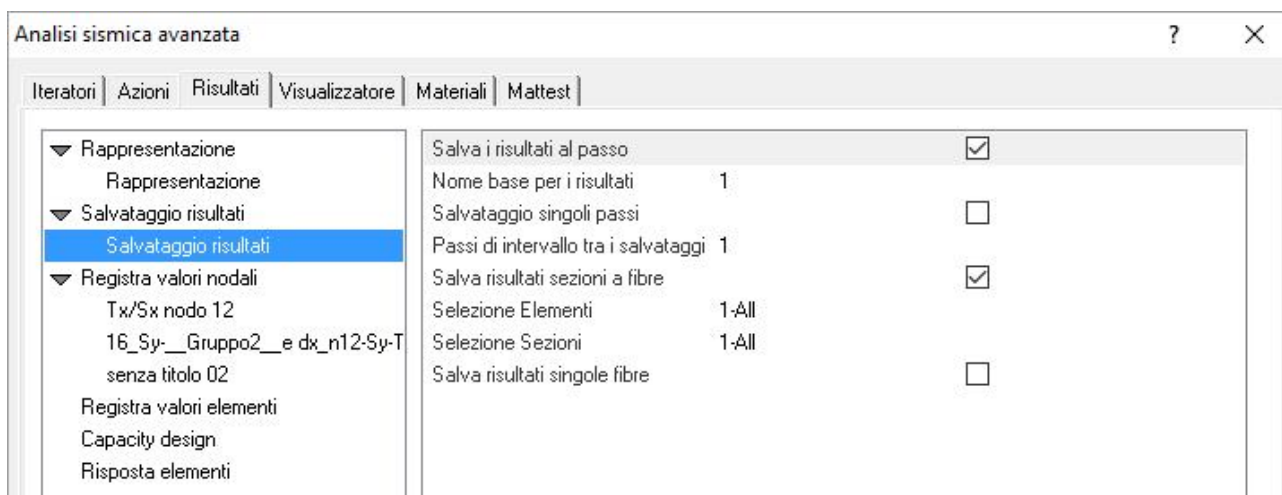
- Durata minima di un frame (sec): in tale cella viene definita la durata di ogni frame, (che corrisponde ad un passo di analisi) nel video salvato spuntando l'opzione “Salva come file AVI”;

Salvataggio risultati

Le analisi non lineari vengono eseguite per passi, incrementando le azioni o gli spostamenti, nelle modalità settate dall'utente (tendina “Iteratori”).

Il risultato “Salvataggio risultati” imposta nel programma la registrazione di tutte le grandezze che interessano la struttura (sollecitazioni, spostamenti, ecc.) nei vari passi di calcolo dell'analisi non lineare.

I parametri da inserire sotto tale “Risultato” sono:



- Salva i risultati al passo: spuntando tale opzione si attiva il registratore di salvataggio dei risultati ed il programma salverà i risultati dell'analisi non lineare che ci si appresta ad eseguire, per ogni passo od ogni tot passi a seconda delle impostazioni che vengono date successivamente;
- Nome base per i risultati: in tale tendina si può specificare un nome diverso da quello assegnato di default dal programma, per facilitare l'utente al ritrovamento di tale set di risultati. Tale comando è utile nel caso si intendono eseguire diverse analisi non lineari, e delle quali di ognuna occorre registrare i risultati, infatti modificando il nome il programma non sovrascrive il set di risultati registrato nell'analisi precedente;
- Salvataggio singoli passi: spuntando tale opzione il programma salverà i risultati dell'analisi non lineare che ci si appresta ad eseguire, ad ogni singolo passo;
- Passi di intervallo tra i salvataggi: specificando un numero in tale casella, per esempio 10, il programma salverà i risultati dell'analisi non lineare che ci si appresta ad eseguire, ogni 10

passi. Inserire il numero 1 in tale tendina, equivale ad aver spuntato la casella di “Salvataggio singoli passi”;

- Salva risultati sezioni a fibre: nel caso si stia analizzando un modello in cui sia stato utilizzato un materiale Non Lineare del tipo “Sezione Fibre”, attivando tale check-box, è possibile registrare anche i risultati delle fibre degli elementi;
- Selezione elementi: in tale cella possono essere indicati gli indici degli elementi strutturali di cui si vuole registrare i risultati delle fibre, lasciando l’assegnazione di default “1-All” i risultati saranno registrati per tutti gli elementi presenti nel modello, se invece interessa solo qualche elemento in particolare, per ottimizzare la memoria è possibile specificare un singolo indice, o l’indice di più elementi separati da un trattino (es.:1-4-6-34);
- Selezione sezioni: gli elementi a fibre nell’analisi non lineare calcolano la soluzione su un certo numero di sezioni lungo gli elementi (7), in tale cella possono essere indicati gli indici delle sezioni nelle quali si intende registrare i risultati delle fibre, lasciando l’assegnazione di default “1-All” i risultati saranno registrati per tutte le sezioni degli elementi, se invece interessa solo qualche sezione in particolare, per ottimizzare la memoria è possibile specificare un singolo indice, o l’indice di più sezioni separati da un trattino (es.:1-4-6);
- Salva risultati singole fibre: spuntando tale check-box saranno salvati i risultati delle singole fibre della sezione, in modo da poter visionare per ogni sezione l’andamento della tensione assiale e deformazione per i passi di analisi registrati.

Registra valori nodali

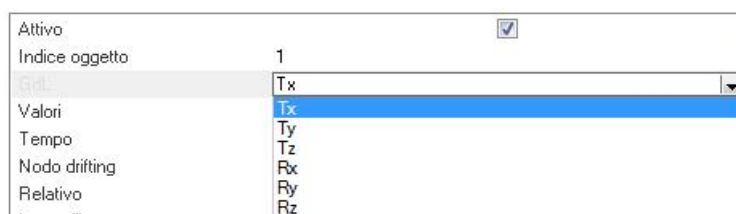
Definire un risultato “Registra valore nodale” consiste per il programma, nell'attivare un'entità che durante l'analisi monitora e scrive su un file esterno (in formato .txt), per un certo nodo del modello, come varia una grandezza in relazione ad un'altra grandezza; ad esempio è possibile ottenere la curva di capacità di una struttura se eseguendo una analisi statica lineare, viene attivato per il “nodo di controllo” definibile dall'utente, (che potrebbe essere il nodo master di copertura), attivando un “Risultato” sotto la voce “Registra valori nodali”, ed impostando come grandezze da registrare lo spostamento in direzione X, subito dal nodo durante l'analisi, in relazione alla somma delle reazioni vincolari in direzione X (somma dei tagli alla base), alla fine quello che si otterrà sarà un file in formato .txt che potrà essere aperto nella tendina “Visualizzatore” e che mostrerà appunto la curva di capacità della nostra struttura.

Possono essere definiti tutti i registratori che l'utente desidera, ed è possibile modificare il nome che viene assegnato di default cliccando sulla casella.

I parametri da inserire sotto tale “Risultato” sono:



- Attivo: spuntando tale opzione si attiva il registratore;
- Indice oggetto: in tale casella si deve inserire l'indice del nodo a cui si vuole associare il registratore, l'indice può essere inserito sia manualmente digitando il numero del nodo voluto, o cliccando prima nella casella dell'indice oggetto e successivamente cliccando il nodo che si vuole associare direttamente sul modello di calcolo;
- GdL: in tale tendina bisogna andare a specificare quale tipo di “Grado di Libertà” si vuole andare a monitorare per il nodo associato al registratore:



con T sono indicate le Traslazioni, mentre con R le Rotazioni;

- Valori: in tale tendina si deve andare a scegliere una delle due grandezze che il registratore dovrà registrare, le opzioni possibili sono visibili nell'immagine:

Attivo	☒
Indice oggetto	1
GdL	Tx
Valori	Spostamento
Tempo	Spostamento
Nodo drifting	Accelerazione
Relativo	Velocità
Intervalli	Reazione
	Equilibrio
	Drift

L'opzione Drift intende lo spostamento relativo tra due nodi;

- Tempo: in tale tendina si deve andare a scegliere la seconda delle due grandezze che il registratore dovrà registrare, le opzioni possibili sono:

Attivo	☒
Indice oggetto	1
GdL	Tx
Valori	Spostamento
Tempo	Nessuno
Nodo drifting	Nessuno
Relativo	Tempo
Intervalli	Reazione X
	Reazione Y
	Reazione Z

con la dicitura “Reazione” è intesa la somma di tutte le reazioni nella direzione prescelta calcolate in tutti i vincoli esterni presenti nel modello di calcolo;

- Nodo Drifting: nel caso alla tendina “Valori” si sia impostato “Drift”, in tale tendina si deve andare a specificare l'indice del nodo di drifting, le modalità di inserimento sono le medesime descritte per l'”Indice oggetto”;
- Relativo: se viene spuntata tale casella, nel caso alla tendina “Valori” si sia impostato “Drift”, viene calcolato il rapporto tra spostamento relativo e distanza tra i due nodi.
- Intervalli: specificando un numero in tale casella, per esempio 10, il programma registrerà i valori delle grandezze da registrare, ogni 10 passi.

Esempio di definizione di un registratore per curva di Pushover:

▼ Rappresentazione Rappresentazione ▼ Salvataggio risultati Salvataggio risultati ▼ Registra valori nodali Tx/Sx nodo 11	<table> <tr> <td>Attivo</td> <td>☒</td> </tr> <tr> <td>Indice oggetto</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td>GdL</td> <td>Tx</td> </tr> <tr> <td>Valori</td> <td>Spostamento</td> </tr> <tr> <td>Tempo</td> <td>Reazione X</td> </tr> <tr> <td>Intervalli</td> <td>1</td> </tr> </table>	Attivo	☒	Indice oggetto	11	GdL	Tx	Valori	Spostamento	Tempo	Reazione X	Intervalli	1
Attivo	☒												
Indice oggetto	11												
GdL	Tx												
Valori	Spostamento												
Tempo	Reazione X												
Intervalli	1												

Per attivare un registratore che tracci una curva di capacità per un sistema di forze orizzontali in direzione X si deve creare un registratore sotto la voce “Registra valori nodali” e bisogna spuntare

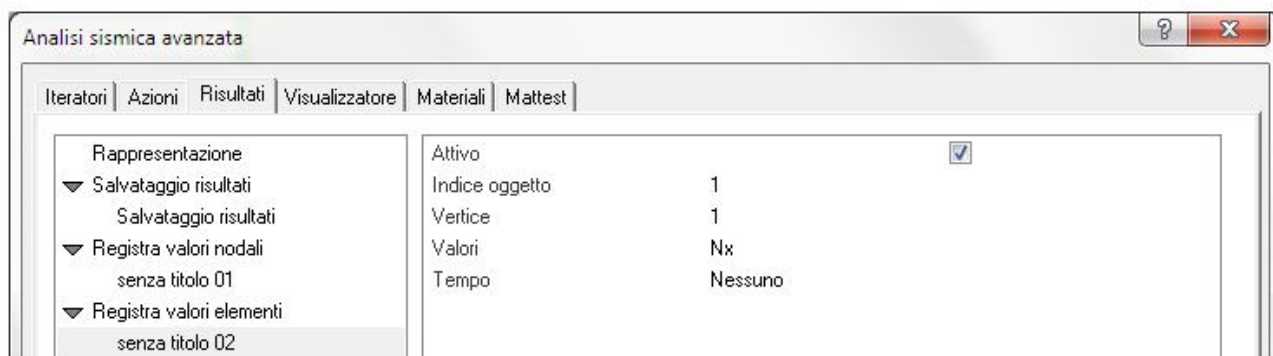
la riga “Attiva”, inserire l'indice del nodo che si vuole monitorare, poi come GdL si attiva Tx, nella riga “Valori” si imposta “Spostamento”, nella riga “Tempo” si imposta “Reazione X”, come intervalli si lascia 1, in modo da registrare i valori ad ogni passo.

Registra valori elemento

Definire un risultato “Registra valore elemento” (analogamente a quanto già descritto per il risultato “Registra valori nodali”), consiste per il programma, nell'attivare un'entità che durante l'analisi monitora e scrive su un file esterno (in formato .txt), per un nodo di un certo elemento del modello (un'asta, un elemento shell o un brick) come varia una grandezza in relazione ad un'altra grandezza, alla fine quello che si otterrà sarà un file in formato .txt che potrà essere aperto nella tendina “Visualizzatore” e che mostrerà il grafico con l'andamento delle grandezze scelte.

Possono essere definiti tutti i registratori che l'utente desidera, ed è possibile modificare il nome che viene assegnato di default cliccando sulla casella.

I parametri da inserire sotto tale “Risultato” sono:



- Attivo: spuntando tale opzione si attiva il registratore;
- Indice oggetto: in tale casella si deve inserire l'indice dell'elemento a cui si vuole associare il registratore, l'indice può essere inserito sia manualmente digitando il numero dell'elemento voluto, o cliccando prima nella casella dell'indice oggetto e successivamente cliccando l'elemento che si vuole associare direttamente sul modello di calcolo;
- Vertice: in tale casella bisogna andare a specificare quale nodo dell'elemento deve essere monitorato. Per un elemento asta deve essere specificato o il vertice 1 o il vertice 2, per un elemento shell si può specificare uno qualunque dei 4 vertici dell'elemento;
- Valori: in tale tendina si deve andare a scegliere una delle due grandezze che il registratore dovrà registrare, le opzioni possibili sono:

Attivo	☒
Indice oggetto	1
Vertice	1
Valori	Nx
Tempo	Nx Vy Vz Mx My Mz ex-fx gy-my gz-mz e-q p-q Fy-Dy Fz-Dz

Le grandezze N_x , V_y , V_z , M_x , M_y , M_z rappresentano le classiche caratteristiche di sollecitazione, che vengono diagrammate o nel tempo, o rispetto ad una delle tre reazioni di base.

I comandi $ex-fx$, $gy-my$, $gz-mz$ consentono di avere diagrammi di coppie deformazione-tensione, ove l'elemento finito cui si associa il registratore lo consenta, (tipicamente travi con sezioni)

I comandi $e-q$, $p-q$, sono relativi alle variabili nello spazio $p-q$ dei modelli del suolo, ossia le componenti idrostatiche e deviatoriche dei tensori di sforzo e di deformazione (tipicamente usate nelle modellazioni con elementi Brick).

I comandi F_y-D_y e F_z-D_z sono invece diagrammi forza spostamento disponibili solo per gli isolatori.

- Tempo: in tale tendina si deve andare a scegliere la seconda delle due grandezze che il registratore dovrà registrare, le opzioni possibili sono:

Attivo	☒
Indice oggetto	1
Vertice	1
Valori	Nx
Tempo	Tempo Nessuno Tempo Reazione X Reazione Y Reazione Z

con la dicitura “Reazione” è intesa la somma di tutte le reazioni nella direzione prescelta calcolate in tutti i vincoli esterni presenti nel modello di calcolo;

Capacity design

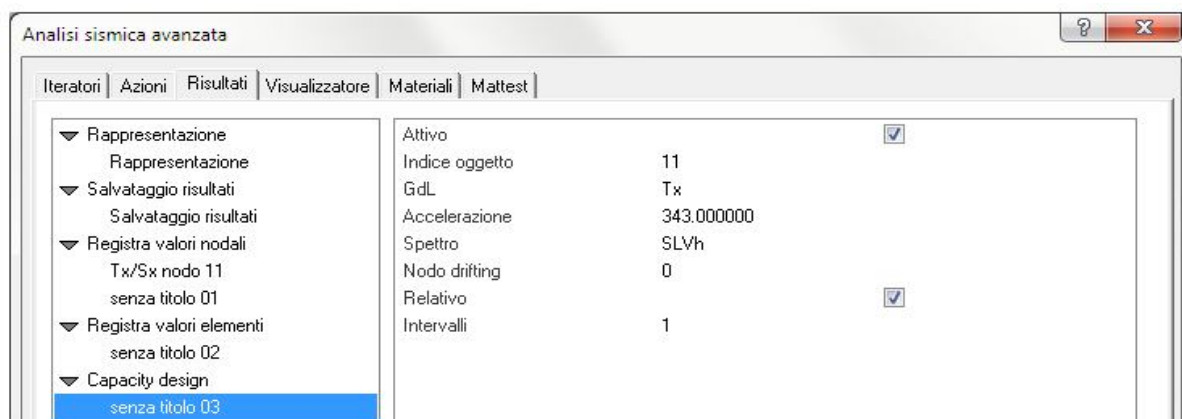
Definire un risultato “Capacity design” consiste per il programma, nell'attivare un'entità che effettua la medesima registrazione che si può effettuare attivando un registratore sotto la categoria “Registra valori nodali”, la differenza sostanziale è che sotto tale registratore è possibile successivamente all'esecuzione dell'analisi effettuare delle elaborazioni della curva di capacità ottenuta secondo le prescrizioni delle NTC 2008, o secondo il metodo CSM.

In pratica una volta eseguita l'analisi non lineare, ottenuta la curva di capacità, con questo registratore si può nel dialogo dell'analisi “Pushover” raggiungibile dalla tendina “Analisi” posta sulla barra degli strumenti in alto, andare ad elaborare la curva, associando il sistema a più gradi di libertà (MDOF) ad un sistema equivalente ad un grado di libertà (SDOF), ottenendo la bilatera alla curva pushover secondo il criterio di uguaglianza delle aree, ed eseguendo la verifica dello spostamento ultimo della nostra struttura nei confronti della richiesta di spostamento, (questo parte verrà meglio descritta più avanti).

Possono essere definiti tutti i registratori che l'utente desidera, ed è possibile modificare il nome che viene assegnato di default cliccando sulla casella.

Attivando un registratore “Capacity design” non è possibile tenere attivi risultati delle categorie “Rappresentazione” e “Salvataggio risultati”.

I parametri da inserire sotto tale “Risultato” sono:



- Attivo: spuntando tale opzione si attiva il registratore;
- Indice oggetto: in tale casella si deve inserire l'indice del nodo a cui si vuole associare il registratore, l'indice può essere inserito sia manualmente digitando il numero del nodo voluto, o cliccando prima nella casella dell'indice oggetto e successivamente cliccando il nodo che si vuole associare direttamente sul modello di calcolo;
- GdL: in tale tendina bisogna andare a specificare quale tipo di “Grado di Libertà” si vuole andare a monitorare per il nodo associato al registratore:

Attivo	☒
Indice oggetto	1
GdL	Tx
Valori	Tx
Tempo	Ty
Nodo drifting	Tz
Relativo	Rx
Intervalli	Ry
	Rz

con T sono indicate le Traslazioni, mentre con R le Rotazioni;

- Accelerazione: in tale casella deve essere inserito il valore dell'accelerazione di ancoraggio dello spettro del sito di progetto in modo da consentire il rapporto tra la curva di capacità e lo spettro di progetto.

Il valore da inserire è quello dell'accelerazione adimensionalizzata moltiplicata per l'accelerazione gravitazionale g espressa in relazione alle unità di misura in uso nel modello, in modo da consentire al programma le opportune equivalenze, ad esempio in un sito con accelerazione adimensionalizzata pari a 0.08, ed unità di misura adottate kg e cm, bisogna inserire il valore $\rightarrow 0,08 \times 981,00 = 78,48$ mentre nel caso di unità di misura adottate kN e m, bisogna inserire il valore $\rightarrow 0,08 \times 9,81 = 7,848$;

- Spettro: in tale tendina sono elencati tutti gli spettri che l'utente ha definito all'interno del modello, per poter relazionare la curva di capacità ottenuta con lo spettro del sito in esame deve essere selezionato lo spettro corrispondente;

Ovviamente tale spettro deve essere riferito ad uno stato limite ultimo e non deve essere stato ridotto con il fattore di struttura;

- Nodo Drifting: in tale tendina si deve andare a specificare l'indice dell'eventuale nodo di drifting, le modalità di inserimento sono le medesime descritte per l' "Indice oggetto";
- Relativo: se viene spuntata tale casella viene calcolato il rapporto tra spostamento relativo e distanza tra i due nodi.;
- Intervalli: specificando un numero in tale casella, per esempio 10, il programma registrerà i valori delle grandezze da registrare, ogni 10 passi.

Risposta elementi

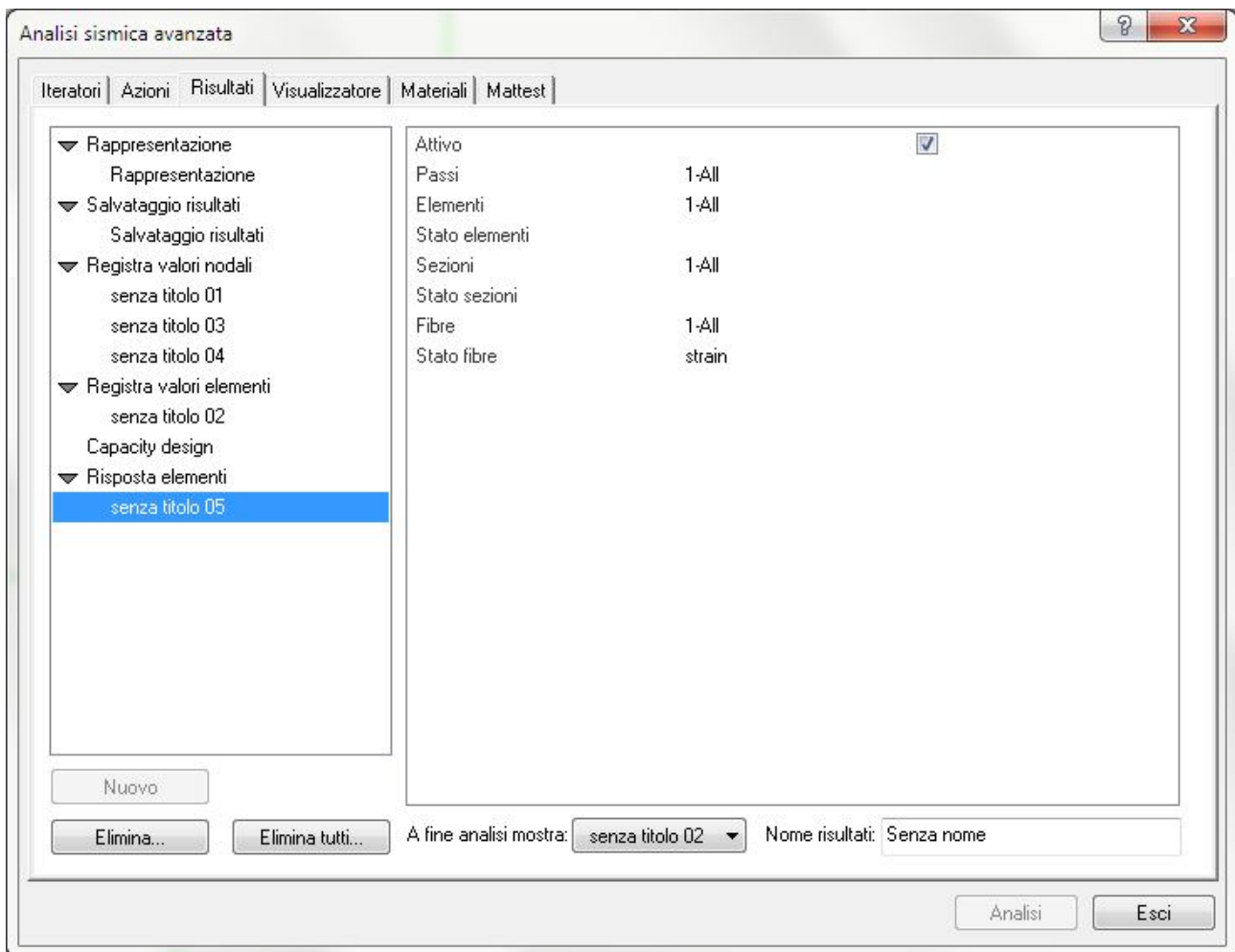
Questo tipo di registratore di risultati non è visualizzabile nel “Visualizzatore”, ma può essere solo visualizzato tramite il file di testo in formato .rtf che viene generato durante l'analisi nella cartella dei file EE (C:\Users\Utente\AppData\Roaming\Softing\EWS 38\EE).

Si tratta di un registratore specifico per impieghi di ricerca in quanto consente di ottenere la risposta delle componenti base dell'elemento. L'uso di questo registratore non è impiegato per impieghi professionali, il suo utilizzo è più rivolto ad attività di ricerca e modellazione avanzata.

Il registratore in riferimento agli elementi finiti del modello, riporta la risposta per:

- uno o più passi pseudo temporali
- uno o più elementi
- uno o più sezioni dell'elemento, se presenti
- una o più fibre della sezione, se presenti

I parametri da inserire sotto tale “Risultato” sono:



- Attivo: spuntando tale opzione si attiva il registratore;

- Passi: in tale casella si deve inserire l'indice dei passi in cui si vuole considerare effettivamente attivo il registratore, (lasciando l'indicazione di default "1-All" Esso rimarrà attivo per tutti i passi di analisi;
- Elementi: in tale casella si deve inserire l'indice degli elementi finiti del modello per i quali si vuole registrare i dati, (lasciando l'indicazione di default "1-All" esso registrerà i dati per tutti gli elementi del modello);
- Stato elementi: tale casella deve essere indicato il codice dei parametri che si vogliono registrare per gli elementi indicati nella casella "Elementi", l'indicazione deve essere data digitando "BeamGeneric n" ove n indica un numero, vedremo tra poco più approfonditamente la corretta sintassi di tale comando;
- Sezioni: in tale casella si deve inserire l'indice delle sezioni degli elementi per le quali si vuole registrare i dati, (lasciando l'indicazione di default "1-All" esso registrerà i dati per tutte le sezioni degli elementi indicati nella casella "Elementi");
- Stato sezioni: tale casella è presente per consentire agevolmente futuri sviluppi e approfondimenti del programma, ma allo stato attuale non è disponibile nessuna opzione;
- Fibre: n tale casella si deve inserire l'indice delle fibre delle sezioni degli elementi finiti del modello per le quali si vuole registrare i dati, (lasciando l'indicazione di default "1-All" esso registrerà i dati per tutte le fibre di tutte le sezioni indicate nella casella "Sezioni" di tutti gli elementi indicati nella casella "Elementi");
- Stato fibre: in tale casella si deve inserire il codice dei parametri che si vogliono registrare per le fibre indicate nella casella "Fibre", l'indicazione deve essere data digitando o "stress" o "strain" ove per stress si intende lo stato di tensione della fibra, mentre strain indica lo stato di plasticizzazione della fibra;

Sintassi caselle "Elementi" e "Sezioni"

Per gli elementi finiti, o per le sezioni degli elementi finiti, la sintassi per indicare gli indici degli elementi o delle sezioni nelle rispettive caselle, è la seguente:

- Indicazione degli estremi dell'intervallo separati da un trattino, (ad esempio digitando 1-5 vengono compresi gli elementi 1, 2, 3, 4, 5);
- Indicando tutti gli elementi compresi nell'intervallo separati da una virgola, (ad esempio digitando 1,2,3,4,5);
- Indicando l'indice e lo slash per registrare i dati degli elementi con un certo passo (ad esempio digitando 10/ verranno registrati i dati degli elementi 1,5,10,15,20,...);
- Indicando la concatenazione tramite la separazione con una virgola, (ad esempio digitando 1-5,8 verranno registrati i dati degli elementi 1, 2, 3, 4, 5, 8)

Sintassi casella "Fibre"

Per le fibre la sintassi per indicare gli indici delle fibre costituenti le sezioni degli elementi finiti è differente da quella vista sopra, l'indicazione deve essere data tramite materiale e coordinate della fibra, in pratica la sintassi è del tipo: **mat,x,y**;

- mat è opzionale ed indica il materiale della fibra,
- x ed y indicano la posizione della fibra nella sezione.

Verrà considerata la fibra del materiale mat più vicina al punto indicato. Se il materiale non è indicato, verrà considerata la fibra più vicina tra tutte. Se si indicano più fibre, è necessario separarle con un ; (punto e virgola).

Un esempio di indicazione di due fibre di materiale specificato è la seguente:

Rck 30 Confinato,10,20;Rck 30 NON Confinato,30,40

se il materiale è omissso la sintassi è invece la seguente: **,10,20;,30,40**

si noti che la virgola dopo il materiale anche se non assegnato è obbligatoria.

La diagnostica di questa sintassi è molto essenziale per cui in caso di errore il risultato sarà falsato senza dare specifiche indicazioni.

Sintassi casella “Stato elementi”

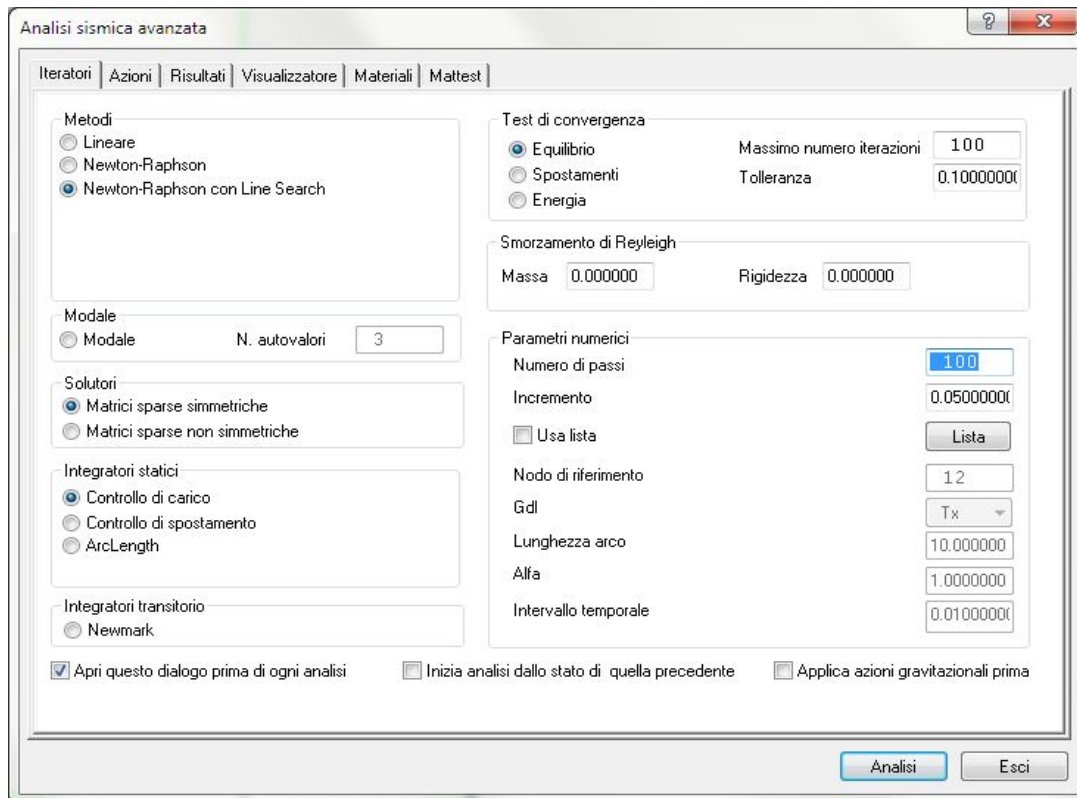
Come già anticipato, per tale casella l'indicazione deve essere data digitando il codice “Beam- Generic n” ove n indica un numero, i valori di n accettati dal programma sono i seguenti:

- 1 - Assegnando tale valore viene registrata la **rotazione rispetto alla corda** congiungente i due estremi. Vengono riportati i 12 valori (sei per ognuno dei due estremi), delle deformazioni nel riferimento locale, con base cioè presa sulla corda dell'elemento deformato.
- 2 - Assegnando tale valore viene registrata la **rotazione plastica totale calcolata su tutta la lunghezza della trave**. Come per la rotazione alla corda, ma vengono addizionati agli spostamenti alla corda quelli ottenuti come prodotto, sempre nel sistema basico, tra matrice di flessibilità e reazioni nodali.
- 3 - Assegnando tale valore viene registrata la posizione del **punto di inflessione**, ossia le distanze del punto di inflessione dai due estremi.
- 4 - Assegnando tale valore viene registrato il **Drift rispetto alla tangente**, ossia le rotazioni, nei due piani locali e per i due estremi, determinate dalla tangente dell'elemento deformato.
- 9 - Assegnando tale valore viene registrata la **rotazione della cerniera plastica come il codice 4**, ma secondo il metodo illustrato nella guida in linea di EE per la Analisi Pushover

e) Iteratori

Una volta assegnati i carichi, i materiali non lineari ed i registratori dei risultati d'analisi, si passa ad impostare i parametri che definiscono compiutamente l'analisi non lineare che si vuole andare ad eseguire.

Tale operazione si effettua dalla tendina “Iteratori”.



Metodi di iterazione

I metodi di iterazione disponibili sono:

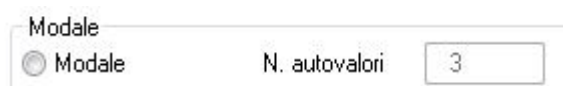
- Lineare;
- Newton-Raphson;
- Newton-Raphson con Line Search (ricerca lineare di passo);



Per eseguire una pushover può essere utilizzato uno qualsiasi dei tre metodi sopra, ma in generale dovrà essere l'utente a scegliere in funzione dei mille fattori in gioco (tipo di analisi, tipi di carichi, comportamento non lineare della struttura, ecc.) quale sia il tipo di iteratore più idoneo da utilizzare ad ogni analisi.

Modale

Spuntando tale opzione può essere eseguita la sola analisi modale usando gli elementi assegnati nell'ambiente EarthQuake Engineering.



Modale

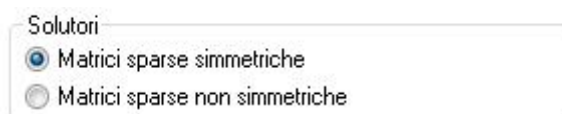
☒ Modale N. autovalori 3

Viene eseguita solo l'analisi modale e non un'analisi con il metodo dello spettro di risposta (per la quale si rimanda all'ambiente Nòlian), pertanto alla fine vengono restituiti esclusivamente i valori dei periodi propri.

Solutori

I tipi di solutori messi a disposizione da EarthQuake Engineering sono entrambi per matrici sparse

- Matrici sparse simmetriche;
- Matrici sparse asimmetriche;



Solutori

☒ Matrici sparse simmetriche

☐ Matrici sparse non simmetriche

Essi operano in memoria centrale. L'ottimizzazione di semibanda è quella impiegata nei metodi di analisi lineari (Kuthill-MacKee). Il solutore per matrici sparse simmetriche risulta ovviamente più efficiente.

Nel caso venga impostata l'esecuzione di una Analisi Modale viene attivato automaticamente il solutore per Matrici sparse asimmetriche.

Integratori statici

I metodi di integrazione statica forniti dal programma sono i seguenti:

- Controllo di carico:
- Controllo di spostamento:
- ArcLenght (Controllo dalla lunghezza d'arco nello spazio carico-spostamento):

Integratori statici

☒ Controllo di carico

☐ Controllo di spostamento

☐ ArcLength

Gli integratori statici sono guidati dal “Numero di passi” e/o dall’ampiezza “dell’Incremento” di ogni singolo passo, definiti nella sessione “Parametri numerici”.

Nel caso di una integrazione a “Controllo di carico” il programma considera le forze assegnate sotto le condizioni di carico che nella tendina “Azioni” sono state definite con variabilità “Lineare”, e scala linearmente tali sistemi di forze in modo che nel numero di passi indicato dall’utente venga raggiunto il valore assegnato nel modello agli elementi.

Nel caso di una integrazione a “Controllo di spostamento” deve essere indicato nella sessione “Parametri numerici” il nodo ed il grado di libertà in cui lo spostamento deve essere assegnato.

Con tale integratore il programma considera le forze assegnate sotto le condizioni di carico che nella tendina “Azioni” sono state definite con variabilità “Lineare”, e scala tali sistemi di forze in modo che ad ogni passo, il nodo impostato nella sessione “Parametri numerici” subisca uno spostamento pari al valore assegnato come “Incremento”.

Nel caso del “Controllo della lunghezza d’arco”, devono essere indicati nella sessione “Parametri numerici” la lunghezza d’arco da considerare ed un parametro (alfa) che scala lo spazio dimetrico di carico-spostamento.

Si può assegnare un intervallo di variabilità di passo. In caso si assegni un valore diverso da zero, l’integratore tenterà di determinare il passo ottimale (quindi diverso per ogni ciclo) limitandolo nell’intervallo assegnato. Se, ad esempio, si assegna 0.5, il passo s potrà, variare tra 0.5 s e 1.5 s . La variabilità di passo consente di ottenere una più agevole convergenza. Va però considerato che poiché il numero di passi è fisso e il passo è variabile, lo spostamento o il livello di carico assegnato come valore massimo da raggiungere non sarà di norma raggiunto.

Parametri numerici

Numero di passi	1
Incremento	1.0000000
☐ Usa lista	Lista
Nodo di riferimento	-1
Gdl	Tx
Lunghezza arco	10.000000
Alfa	1.0000000
Intervallo temporale	0.01000000

Integratori transitorio

Gli integratori nel transitorio integrano le equazioni non lineari del moto nel dominio del tempo, utili quando devono essere eseguite analisi dinamiche non lineari.

Integratori transitorio

☒ Newmark

L'integratore implementato è quello di Newmark. Va assegnato il passo temporale di integrazione. L'integrazione comprende i termini di smorzamento che deve essere assegnato come smorzamento di Rayleigh.

Smorzamento di Rayleigh

Decidendo di assegnare lo smorzamento di Rayleigh, esso viene applicato a tutti gli elementi, ed opera sulla matrice consistente delle masse M tramite un parametro α ; e sulla matrice di rigidità K tramite un parametro β .

Opera quindi sulla matrice di smorzamento D come segue: $D = \alpha M + \beta K$.

I valori di α e β vengono assegnati nelle rispettive caselle:



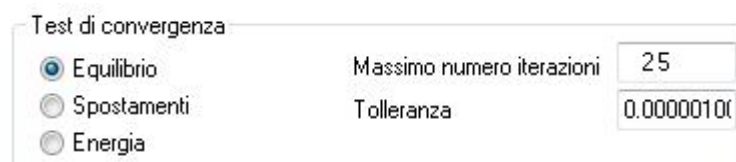
Questi valori si sommano ai termini di smorzamento eventualmente assegnati agli elementi.

Test di convergenza

Le iterazioni per la soluzione del sistema non lineare operata dagli iteratori si arrestano quando risulta soddisfatto un test. Eseguire il test di convergenza è necessario per evitare che un processo iterativo cada in un ciclo infinito (loop).

In EE tale test può essere fatto sull'equilibrio, sullo spostamento tra due iterazioni o sull'energia.

E' lasciata all'utente la scelta su quale test debba essere eseguito.



E' anche possibile fissare il numero di iterazioni massimo nella risoluzione di ogni singolo passo, e la tolleranza con cui è accettabile il test di convergenza.

Parametri numerici

In tale sezione devono essere assegnati alcuni parametri in funzione delle impostazioni di analisi assegnate nelle sezioni precedentemente descritte.

Nei paragrafi precedenti sono stati descritti quali parametri devono essere assegnati per i vari tipi di analisi, pertanto in tale paragrafo andremo a descrivere l'unico "argomento" che ancora non è stato affrontato, la "Lista".

Lista

Spuntando l'opzione "Usa lista":

Parametri numerici	
Numero di passi	1
Incremento	1.0000000
☒ Usa lista	Lista
Nodo di riferimento	-1
Gdl	Tx
Lunghezza arco	10.000000
Alfa	1.0000000
Intervallo temporale	0.0100000

e cliccando successivamente il pulsante “Lista” viene aperta una nuova finestra di dialogo:

Storia di carico										
Analisi	Controllo	Iterazioni	Passo totale	Nodo	Gdl	Azione	Attiva	Registratore	Salva come	Ripresa
Aggiungi Elimina Continua										

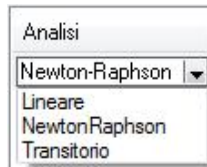
Come è tipico della filosofia dei prodotti Softing, in cui non vi sono procedure obbligate, ma strumenti base che possono essere articolati, se necessario, nel modo voluto dall'utente per aumentare la produttività individuale, anche la “Lista” è uno strumento che permette di impostare con altro metodo, le medesime analisi non lineari precedentemente descritte, nelle modalità e successioni definite dall'utente.

La lista consente di definire più "passi" per ognuno dei quali viene eseguita una analisi, ed al passo successivo si può avere una analisi "concatenata" alla precedente (nel senso che stato tensionale e deformativo viene "congelato") (restart) oppure un nuovo inizio (reset).

In tale finestra l'utente definisce quante analisi vuole, inserendo per ognuna i seguenti dati di Input:

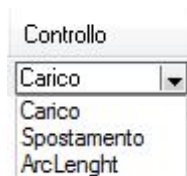
- Tipo di analisi

Può essere Lineare, Newton-Raphson, Transitorio (nella versione attuale è supportato solo Newton-Raphson)



- Tipo di controllo

Si può avere il controllo sullo spostamento, sul carico, sulla lunghezza d'arco



- Iterazioni

Numero di iterazioni per quel passo

- Passo totale

Valore di spostamento o moltiplicatore di carico da raggiungere con quel passo

- Nodi di riferimento

Usato in controllo di spostamento (non impiegato per controllo di carico o arc-length)

- Grado di libertà di riferimento

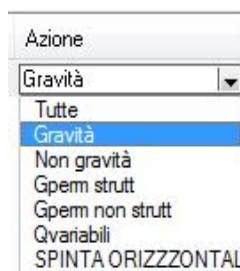
Usato in controllo di spostamento (non impiegato per controllo di carico o arc-length)

- Azioni

Si possono abilitare le azioni volute. Si seleziona dal menu popup l'azione voluta e si opera sul check-box laterale per attivarla o disattivarla.

Le prime tre voci del menu consentono una attivazione/disattivazione rapida. Infatti contrassegnando la voce Tutte si attivano tutte le azioni; con Gravità si attivano quelle azioni che sono state definite gravitazionali; con Non gravità si attivano tutte quelle azioni che sono state definite non gravitazionali.

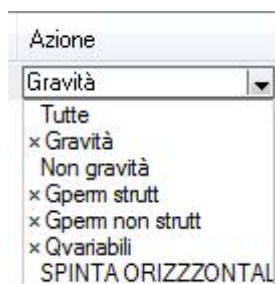
- Ad esempio per attivare tutte le azioni definite gravitazionali, si seleziona dalla tendina la voce “Gravità”



dopo si deve andare a spuntare la casella sotto la colonna “Attiva”



a questo punto percorrendo la tendina sotto la colonna “Azione” si possono visualizzare le azioni che il programma ha attivato per quel passo:



che sono per l'appunto tutte quelle azioni per le quali era stata spuntata la casella “Azione gravitazionale” nella tendina “Azioni” della finestra “Analisi sismica avanzata”.

Con la stessa modalità si possono deselezionare tutte le azioni eventualmente attivate di quel tipo. Ad esempio scegliendo Tutte e disattivando il check-box, si disattiveranno tutte le azioni.

Questo comando consente di far agire in un passo le azioni volute che agiranno contemporaneamente nell'analisi.

• Registratori

In tale tendina viene selezionato il registratore da tenere attivo per quel passo, il programma mostra nell'elenco tutti i registratori che l'utente ha definito nella tendina “Risultati” della finestra “Analisi sismica avanzata”.

Si può associare un unico registratore per ogni passo. Esso registrerà fino al raggiungimento di un comando Reset.

Se vi sono più passi con registratori diversi assegnati ai diversi passi, essi opereranno fino all'attivazione del registratore successivo. Per consentire un controllo contemporaneo dell'operatore, se si assegna una attività a fine passo del tipo "Restart e pausa", alla fine del calcolo del passo verrà mostrato il dialogo con i risultati grafici dell'ultimo registratore assegnato.

Per visualizzare i risultati di eventuali altri registratori, si può scegliere il nome del registratore dal dialogo del visualizzatore.

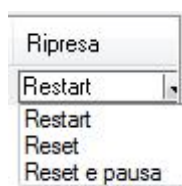
- Nome file di salvataggio

Consente di assegnare un nome che verrà attribuito all'insieme di risultati salvati (diagrammi di sollecitazioni, spostamenti, deformate, ecc.). Se non si assegna alcun nome, non vi sarà registrazione. La registrazione avviene alla fine del passo al qual è stato assegnato il nome del file di risultati.

- Metodi di ripresa della prossima analisi

Con il termine "Ripresa" si intende la modalità con cui il programma si predispone per riprendere il calcolo al passo successivo.

Le opzioni disponibili sono le seguenti:



Si può avere la possibilità Restart che attua una ripresa al passo successivo conservando lo stato tensionale e deformativo ottenuto al passo precedente.

L'opzione Reset invece reinizializza per riprendere da una situazione iniziale consentendo di attuare più analisi del tutto indipendenti in maniera automatica: è il caso dell'analisi pushover con più azioni di spinta.

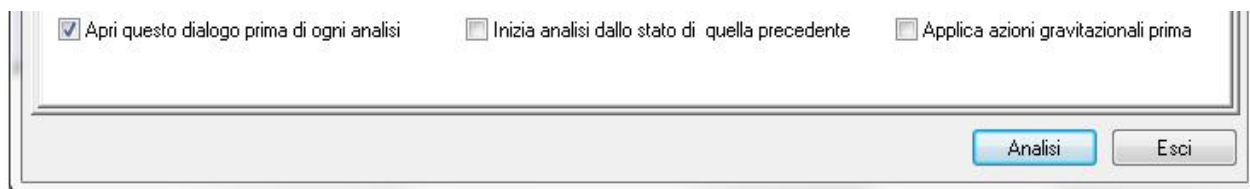
Infine l'opzione "Reset e pausa" consente di fermare l'esecuzione per visualizzare i risultati grafici dell'ultimo registratore assegnato. Dopo la visualizzazione, saranno eseguiti i passi successivi.

Nella immagine che segue, una tipica assegnazione di un'analisi di spinta (pushover). Nel primo passo si applicano le azioni gravitazionali che determineranno uno stato tensionale e deformativo necessario per la successiva applicazione della spinta, nel secondo si applicano le azioni di spinta. Si registrano i valori dell'analisi di capacità per il secondo passo e si registrano infine i risultati. Il registratore "capacity" assegnato al primo passo registrerà i valori relativi all'azione gravitazionale, generalmente non necessario in questo caso, ma che illustra la possibilità di avere più registratori. Questo registratore non sarà aperto al restart, ma si dovrà aprire dal dialogo del visualizzatore come già in precedenza illustrato.

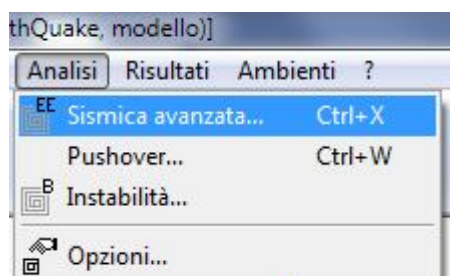
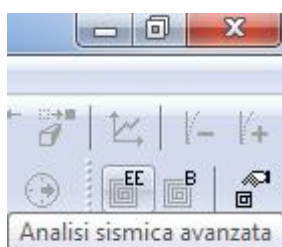
Storia di carico										
Analisi	Controllo	Iterazioni	Passo totale	Nodo	Gdl	Azione	Attiva	Registratore	Salva come	Ripresa
Newton-Raphson	Carico	10	1.000000			Tutte	☐	capacity		Restart
Newton-Raphson	Spostamento	10	100.000000	9	Tx	Tutte	☐	capacity 2	capacità	Reset e pausa

Check-box del dialogo

Prima di considerare conclusa la descrizione dei comandi presenti nella finestra di dialogo “Analisi sismica avanzata”, rimangono da affrontare i 3 check-box presenti nella parte bassa del dialogo:



- Apri questo dialogo prima di ogni analisi: consigliamo di lasciare sempre spuntata tale opzione, infatti la sua spuntatura consente l'apertura della finestra ogni volta che l'utente richiama il comando “Analisi sismica avanzata”, o dall'icona della barra degli strumenti o dal menù a tendina posto in alto:



se tale opzione è despuntata, al richiamo del comando il programma farà partire direttamente l'analisi della struttura, mostrando la finestra “Analisi sismica avanzata” soltanto alla fine del calcolo;

- Inizia analisi dallo stato precedente: tale comando ha la stessa funzione del comando “Restart” nella colonna “Ripresa” nella finestra della “Lista”; in pratica spuntando tale opzione il programma lancia l'analisi considerando che sulla struttura sia agente lo stato di sollecitazione corrispondente a quello calcolato nell'ultimo passo dell'analisi precedentemente eseguita;

- Applica azioni gravitazionali prima: spuntando tale opzione, il programma al lancio dell'analisi eseguirà una prima analisi statica, composta da 10 passi in cui applica sulla struttura tutte le condizioni di carico definite “gravitazionali”, e solo successivamente a tale analisi, (considerando lo stato di sollecitazione indotto da tali condizioni come stato iniziale della struttura), lancerà l'analisi non lineare secondo le impostazioni impostate dall'utente.

f) Impostazioni per l'analisi Pushover

Tornando allo studio di un'analisi Pushover sul nostro semplice Telaio, con le assegnazioni dei carichi precedentemente viste, le impostazioni “tipo” da assegnare nella finestra “Analisi sismica avanzata” sono le seguenti:

The screenshot shows the 'Analisi sismica avanzata' (Advanced seismic analysis) dialog box. It has a tabbed interface with tabs for 'Iteratori', 'Azioni', 'Risultati', 'Visualizzatore', 'Materiali', and 'Mattest'. The 'Azioni' (Actions) tab is currently selected. The settings are organized into several groups:

- Metodi** (Methods):
 - ☐ Lineare
 - ☒ Newton-Raphson
 - ☐ Newton-Raphson con Line Search
- Modale** (Modal):
 - ☐ Modale
 - N. autovalori: 3
- Solutori** (Solvers):
 - ☒ Matrici sparse simmetriche
 - ☐ Matrici sparse non simmetriche
- Integratori statici** (Static integrators):
 - ☒ Controllo di carico
 - ☐ Controllo di spostamento
 - ☐ ArcLength
- Integratori transitorio** (Transient integrators):
 - ☐ Newmark
- Test di convergenza** (Convergence test):
 - ☒ Equilibrio
 - ☐ Spostamenti
 - ☐ Energia
 - Massimo numero iterazioni: 100
 - Tolleranza: 0.1000000
- Smorzamento di Rayleigh** (Rayleigh damping):
 - Massa: 0.000000
 - Rigidezza: 0.000000
- Parametri numerici** (Numerical parameters):
 - Numero di passi: 90
 - Incremento: 0.0500000
 - ☐ Usa lista (with a 'Lista' button)
 - Nodo di riferimento: 12
 - Gdl: Tx
 - Lunghezza arco: 10.000000
 - Alfa: 1.0000000
 - Intervallo temporale: 0.0100000

At the bottom, there are three checkboxes:

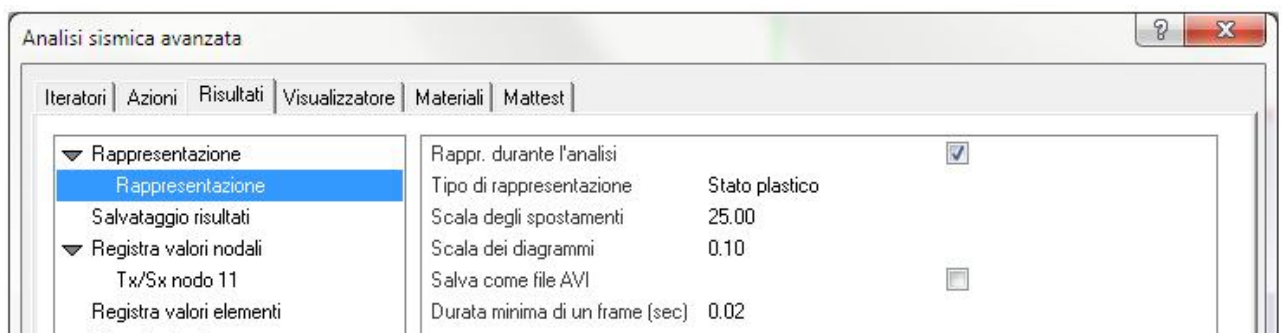
- ☒ Apri questo dialogo prima di ogni analisi
- ☐ Inizia analisi dallo stato di quella precedente
- ☒ Applica azioni gravitazionali prima

Buttons at the bottom right: 'Analisi' (highlighted in blue) and 'Esci'.

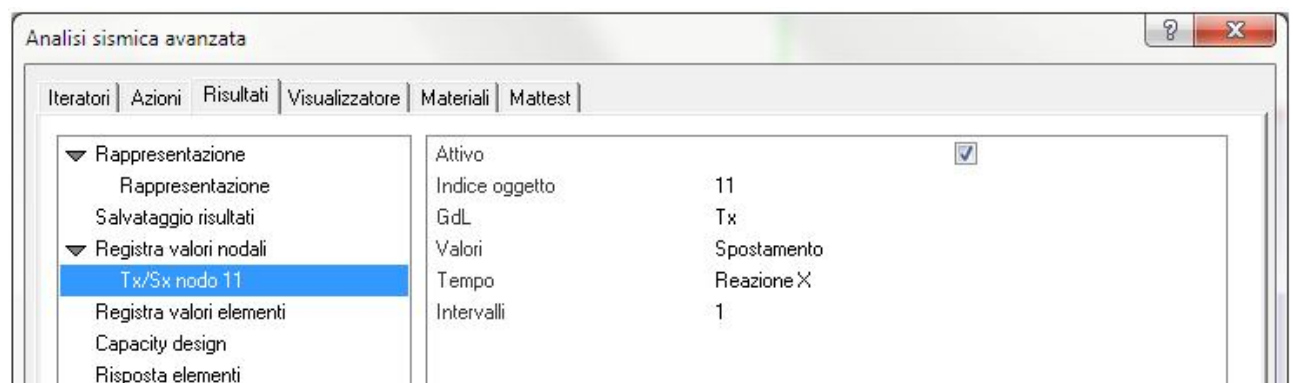
In sostanza viene eseguita una analisi statica non lineare con Metodo di Newton-Raphson, solutore a matrici sparse simmetriche, in Controllo di carico, test di convergenza eseguito sull'equilibrio, e numero di passi assegnato 90, con tale impostazione il programma scalerà il sistema di forze sotto la condizione di carico definita variabile linearmente, in modo che si raggiunga il valore dei carichi assegnati, in 90 passi.

Come “Risultati” sono stati invece attivati i seguenti:

Un risultato “Rappresentazione” dello stato plastico durante l'analisi:



Un risultato “Registra valori nodali” che tratterà la curva di capacità della nostra struttura prendendo in riferimento il nodo n. 11



Lanciando l'analisi il programma durante il calcolo mostra l'evoluzione dello stato di plasticizzazione della struttura, del quale riportiamo di seguito alcune immagini, riferite ai primi passi di analisi, (struttura ancora in campo elastico), ed agli ultimi passi di analisi, (cerniere plastiche formate in diverse sezioni della struttura):



Immagine 1

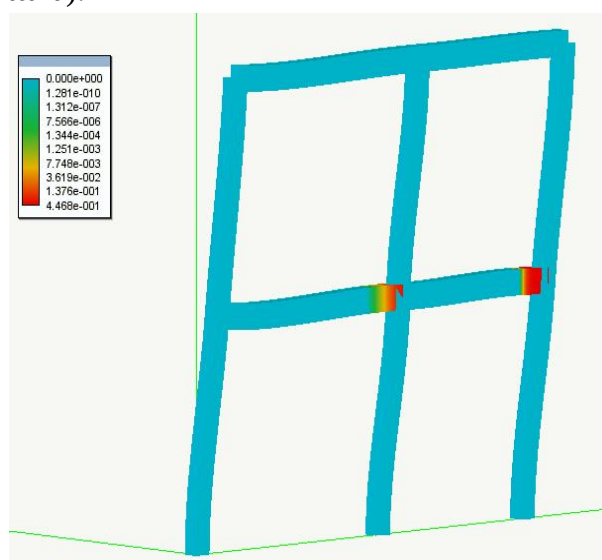


Immagine 2

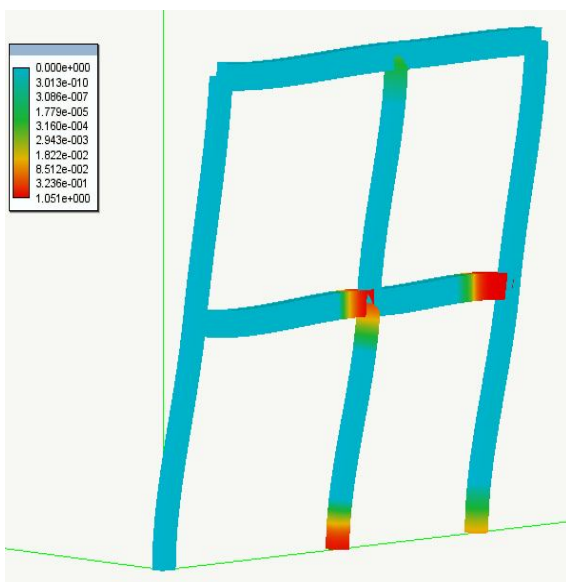


Immagine 3

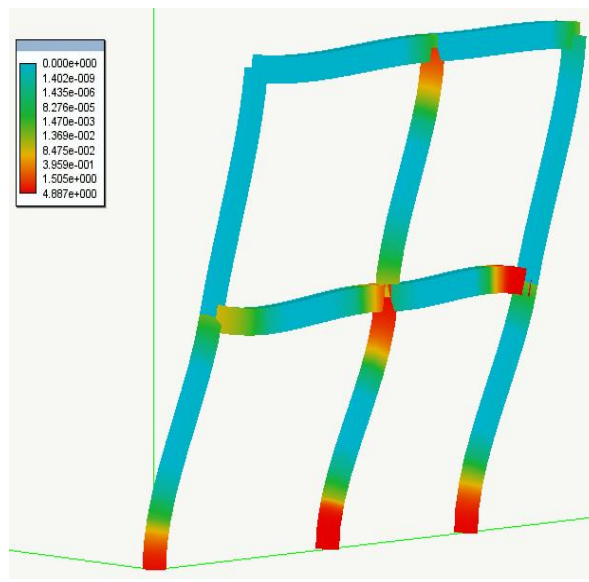
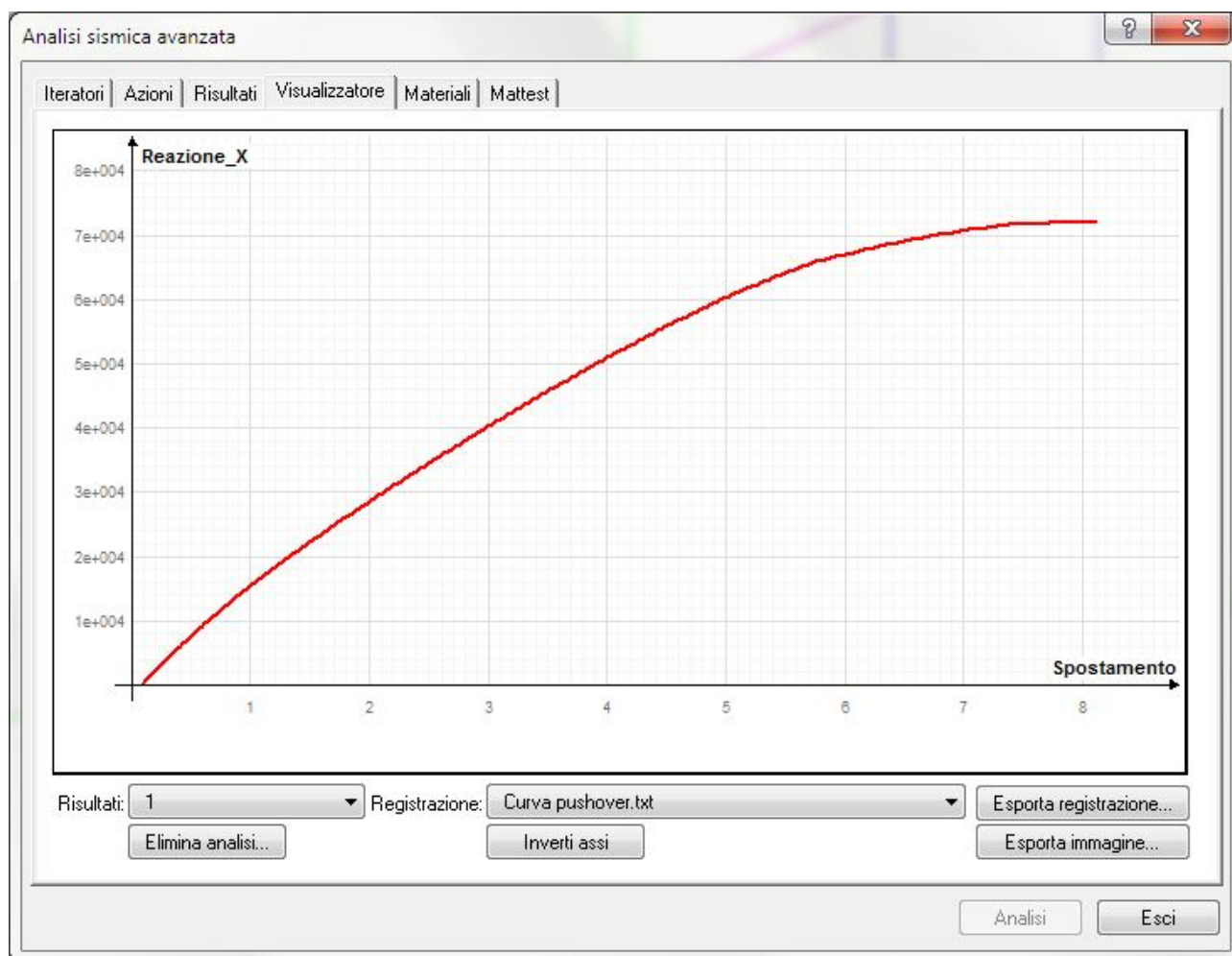


Immagine 4

Al termine dell'analisi, riaprendo la finestra “Analisi sismica avanzata”, ed andando al visualizzatore viene mostrata la curva di capacità della struttura.

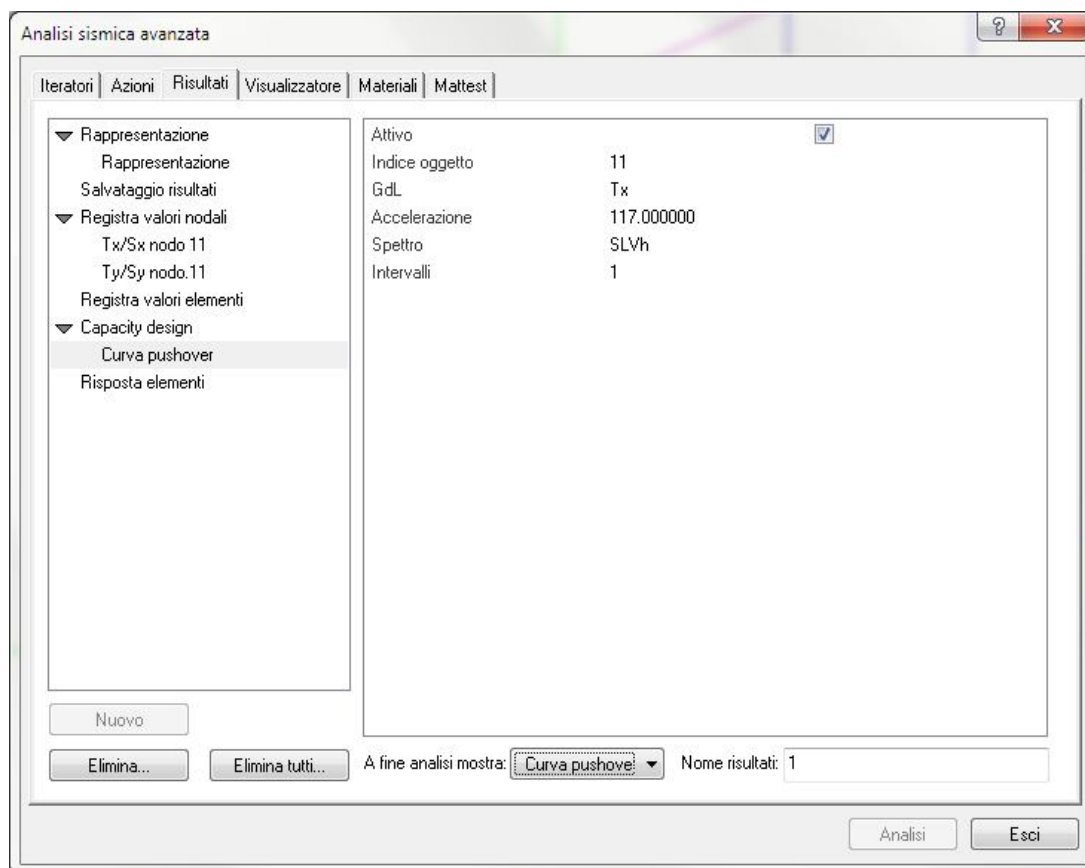


Al fine di eseguire le verifiche richieste dalla normative per una analisi pushover su tale curva di capacità bisogna, effettuare lo scalamento della curva dividendo ordinate ed ascisse per il fattore Γ , e ricondurlo quindi da un sistema a più gradi di libertà (MDOF) ad sistema equivalente ad un grado di libertà (SDOF), poi si dovrebbe andare a tracciare la bilineare, con tale manipolazione della curva di capacità si può poi calcolare la capacità di spostamento della nostra struttura e confrontarla poi con la domanda anelastica, tutte operazioni che non è possibile lasciare all'utente il compito di eseguirle.

Per far fare tali operazioni automaticamente al programma, è però necessario andare a definire il “Risultato” sotto la categoria di registrazione “Capacity design” come già anticipato nel relativo paragrafo.

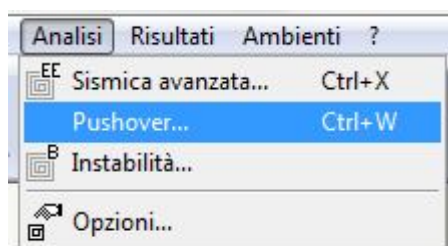
Sotto tale registratore è possibile successivamente all'esecuzione dell'analisi effettuare delle elaborazioni della curva di capacità ottenuta secondo le prescrizioni delle NTC 2008, o secondo il metodo CSM.

Pertanto definendo il seguente registratore sotto la categoria “Capacity Design”:



e rieseguendo l'analisi, abbiamo registrato la curva di capacità della nostra struttura in una modalità su cui il programma può operare.

A questo punto andando nella tendina “Analisi” e selezionando “Pushover”:



viene aperta la seguente finestra di dialogo, nella quale dobbiamo direttamente selezionare la tendina “Calcolo Capacity”:

Analisi Pushover

Genera spinta | Pushover | Visualizzatore | **Calcolo capacity** | Dati numerici

Capacity: (1) Curva pushover

Accelerazione: 117.000

Spettro: SLVh

Nodo: 11 Gdl: Tx

Calcola: Curva pushover

Elimina

Salva

Analisi Esci

I dati di input che vengono richiesti sono i seguenti:

- Capacity: bisogna selezionare il registratore “Capacity design” definito prima;
- Accelerazione: Il valore da inserire è quello dell'accelerazione adimensionalizzata di ancoraggio dello spettro, moltiplicata per l'accelerazione gravitazionale g espressa in relazione alle unità di misura in uso nel modello, nel nostro caso avendo una accelerazione adimensionale pari a 0,119 e avendo impostato come unità di misura kg e cm, abbiamo moltiplicato il valore 0,119 per 981;
- Spettro: Bisogna selezionare lo spettro di SLU rispetto al quale si vuole eseguire la verifica della Pushover;
- Nodo: Bisogna indicare l'indice del nodo di controllo a cui si riferisce il registratore “Capacity design” selezionato;
- Gdl: Bisogna indicare il grado di libertà a cui si riferisce il registratore “Capacity design” selezionato;

Una volta inseriti tutti i dati si clicca sul pulsante “Calcola”, ed il programma effettuerà automaticamente le operazioni da eseguire sulla curva, se a questo punto si passa alla tendina “Visualizzatore”:



Il programma mostra la curva di capacità scalata (curva del sistema equivalente ad un grado di libertà) secondo il fattore Γ , dalla quale viene costruita la bilineare secondo la seguente procedura prescritta dalla normativa (circolare al punto C7.3.4.1):

Il tratto elastico (obliquo) si individua imponendo il passaggio per il punto $0,6F^*b_u$ della curva di capacità del sistema equivalente;

La forza di plasticizzazione F^*y (tratto orizzontale) si individua imponendo l'uguaglianza delle aree sottese dalla curva bilineare e dalla curva di capacità ottenuta dall'analisi, considerata al massimo fino ad uno spostamento massimo du^* .

Nel caso di curve di capacità con ramo discendente, lo spostamento ultimo du^* , al massimo può essere preso in corrispondenza di una riduzione di resistenza $\leq 0,15Fb_u^*$.

Oltre alla bilatera, nel caso della visualizzazione secondo il DM08, si ha la rappresentazione di:

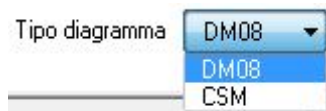
- un segmento verticale che indica il valore di d^*_{max} (domanda in spostamento per il sistema anelastico)
- tre punti di cui:

- uno che rappresenta il punto corrispondente al valore di d^*u (spostamento ultimo della struttura) e che viene rappresentato in verde se $d^*u > d^*_{max}$, mentre è rappresentato in rosso se $d^*u < d^*_{max}$.
- gli altri due punti, corrispondono ai valori di spostamento di prima plasticizzazione, e di danno severo.

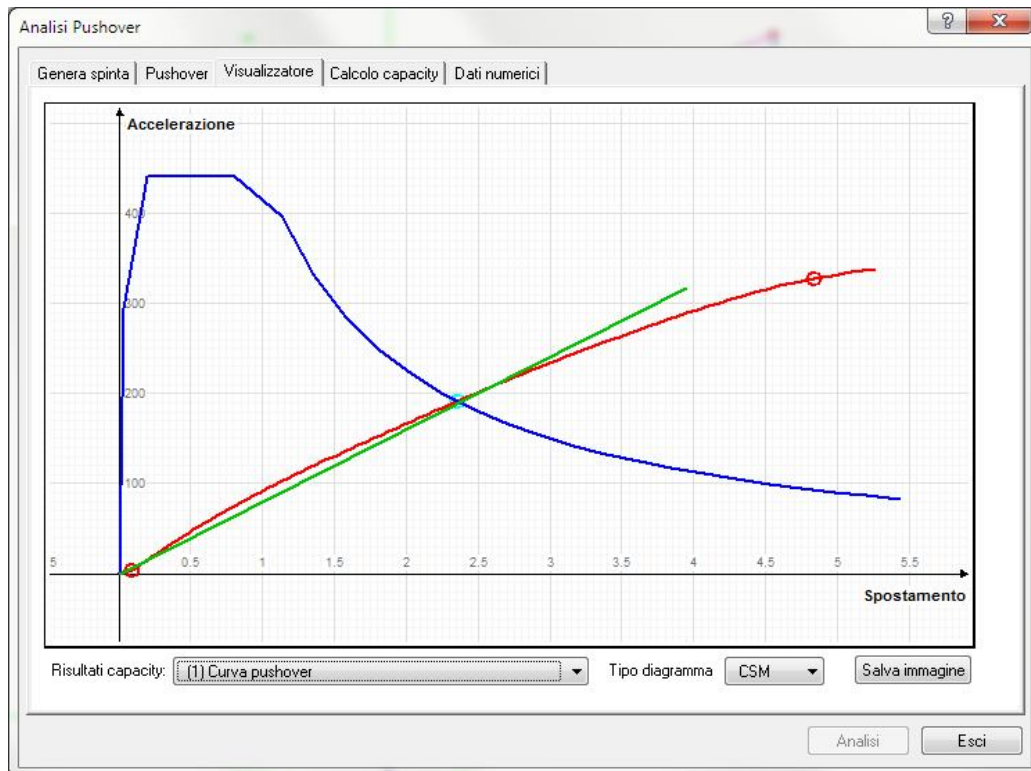
Se sono disponibili più registratori “Capacity design” (anche relativi ad analisi precedentemente eseguite), possono essere richiamati dal visualizzatore tramite la seguente casella:



Mentre dalla casella “Tipo di diagramma”, è possibile selezionare l'elaborazione della curva di capacità secondo il metodo del DM 2008, o secondo il metodo CSM (Capacity Spectrum Method):



Il metodo di rappresentazione CSM risulta essere molto efficace nel chiarire la capacità di una struttura analizzata in campo non lineare.



In questo metodo si trasforma la curva forza-spostamento in una curva accelerazione-spostamento e lo spettro di risposta viene egualmente espresso in forma analoga (ADSR ovvero Acceleration Displacement Response Spectrum). In tal modo si hanno due curve espresse in quantità omogenee e pertanto confrontabili.

In questo spazio (accelerazione-spostamento), troviamo la curva di capacità rappresentata in rosso, mentre lo spettro di risposta viene disegnato in blu.

La retta verde passante per l'origine, è la retta il cui coefficiente angolare corrisponde al periodo proprio equivalente della struttura.

Nel metodo CSM deve essere rilevato il Performance Point (PP) che si ottiene all'intersezione tra lo spettro di progetto e la curva di capacità.

Se la retta rappresentativa del periodo proprio della struttura, risulta passare sotto tale punto, la struttura risulta essere verificata, e pertanto la capacità della struttura è maggiore della domanda di spostamento.

Passando alla tendina “Dati numerici” si trovano elencati tutti i risultati dell'analisi non lineare.

The screenshot shows the 'Analisi Pushover' window with the 'Dati numerici' tab selected. The window is divided into three main sections: Pushover DM 2008, CSM, and Stato plastico.

Pushover DM 2008

Gamma	1.2247741	Tc	0.30165317	d* max	1.1045521
m*	166.29875	Se(T*)	248.64929	d* u	5.2643178
Fy*	52702.608				
dy*	3.9446056				
T*	0.70098722				

1.10 <= 5.26

CSM

Teq	0.69692070	Nieq	4.9876521	PPd	2.3527298	PPa	191.23402
-----	------------	------	-----------	-----	-----------	-----	-----------

Stato plastico

Prima plasticizzazione		Danno severo		Prima rottura	
Spostamento	0.11538918	Spostamento	5.9259728	Spostamento	n.d.
Elemento	1	Elemento	7	Elemento	n.d.
Ascissa	0.00000000	Ascissa	0.00000000	Ascissa	n.d.
Curvatura	0.00002877	Curvatura	0.00037361	Curvatura	n.d.
Rotazione	0.00043669	Rotazione	0.00751091	Rotazione	n.d.
Lunghezza cp	23.818488	Lunghezza cp	21.628808	Lunghezza cp	n.d.
PGA	2.8064345	PGA	144.12838	PGA	n.d.

Buttons: Analisi, Esci

Questo dialogo è diviso in tre parti.

Nella parte superiore sono mostrati i dati relativi al metodo prescritto nel DM 2008:

L'asterisco indica che un dato si riferisce al modello equivalente ad un solo grado di libertà (SDOF)

- Gamma, (Γ): fattore di correlazione tra il modello a più gradi di libertà (MDOF) e quello ad un singolo grado di libertà (SDOF) (punto C7.3.5 della Circolare)
- m^* : massa equivalente del modello SDOF
- F_y^* :forza di snervamento del modello SDOF, calcolato sulla curva bilatera equivalente
- δ_y^* :spostamento di snervamento del modello SDOF, calcolato sulla curva bilatera equivalente
- T^* :periodo proprio del modello SDOF
- T_c : periodo corrispondente alla fine della soglia dello spettro elastico
- $S_e(T^*)$:risposta spettrale in accelerazione per il periodo T^*
- $d^* u$:spostamento demand del sistema SDOF per il periodo T^*
- $d^* \max$:Spostamento corrispondente a $d^* \max$ per il sistema MDOF

La verifica è soddisfatta quando:

$$d^* u > d^* \max$$

perché la struttura possa subire uno spostamento senza collasso maggiore di quello demand.

La seconda parte del dialogo riguarda i dati relativi al metodo CSM e vengono riportati i seguenti parametri:

- T_{eq} , periodo proprio equivalente
- N_{ieq} , smorzamento in percentuale equivalente
- PP_a , accelerazione del Performance Point (PP)
- PP_d , spostamento del Performance Point (PP)

I dati nella parte bassa del pannello riguardano tre punti notevoli della curva pushover:

- il punto in cui si raggiunge la rotazione di prima plasticizzazione;
- il punto dove si raggiunge una rotazione pari al 75% di quella di rottura;
- il punto in cui si raggiunge la rotazione di rottura;

Questi tre punti sono identificati come stati limite rispettivamente di

- DL (danno lieve),
- CO (collasso)
- DS (danno severo) caratterizzato da una rotazione che sia 0.75 quella ultima

I dati hanno, per i tre punti, i seguenti significati:

- Spostamento: spostamento del sistema MDOF per cui si raggiunge la rotazione indicata
- Elemento :elemento in cui si è verificata la rotazione indicata
- Ascissa :ascissa della sezione dell'elemento in cui si è verificata la rotazione indicata
- Curvatura :curvatura della sezione (inverso di una lunghezza e quindi dipendente dall'unità di misura impiegata)
- Rotazione :rotazione delle cerniera plastica
- Lunghezza cp :lunghezza convenzionale della cerniera plastica
- PGA :accelerazione di picco dello spettro relativo al punto

Se i dati relativi al punto di collasso non sono calcolati, vuol dire che nell'analisi la struttura non ha raggiunto il suo punto di collasso, pertanto aveva ancora riserve plastiche da offrire.

Note:

Fattore di struttura

Il fattore di struttura è un fattore che adegua lo spettro elastico a quello inelastico di progetto che tenga conto appunto delle riserve inelastiche della struttura. Quindi la valutazione dello spostamento al primo snervamento e lo spostamento ultimo consentono di ottenere il fattore di struttura.

Accelerazioni di picco

Le accelerazioni di picco (PGA — peak ground acceleration) sono facilmente ottenute per ogni spostamento. Si deve cioè scalare lo spettro demand in modo che "passi" per il punto accelerazione-spostamento voluto e l'accelerazione di picco di tale spettro è il valore cercato di PGA. Queste accelerazioni sono confrontabili con le accelerazioni di requisito prescritte dalla norma.

Rotazioni

Calcolando le rotazioni si può attuare un facile confronto tra rotazione della struttura e rotazione di requisito. I punti per cui si calcolano questi valori sono in genere il primo snervamento e il primo punto in cui una sezione arriva a rottura. Per il metodo di calcolo di queste rotazioni con Nòlian si rimanda alla sezione Calcolo delle capacità di rotazione. Per questi punti si forniscono anche le PGA che sono anch'esse confrontabili con i valori di normativa. Questi ultimi valori sono essenziali per la valutazione del rischio in strutture esistenti. Questi punti sono definiti dalla normativa italiana come stati limite di Danno Lieve (DL), Danno severo (DS) e Collasso (CO).

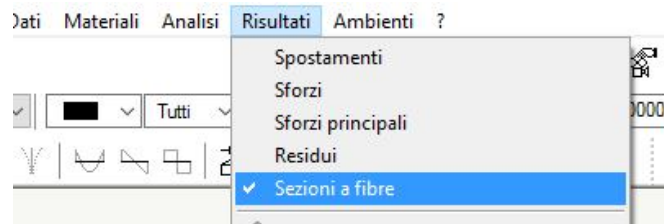
Le rotazioni vengono calcolate solo per l'elemento trave a fibre.

Per il metodo di integrazione numerica adottato, la lunghezza della cerniera plastica può essere valutata solo se l'analisi raggiunge il punto di rotazione ultima. Se ciò non avviene, i valori relativi agli altri punti significativi non vengono esposti anche se l'analisi ha portato l'elemento oltre tali punti.

g) Risultati Fibre

Nel caso si sia analizzato un modello nel quale sono presenti degli elementi “Sezione fibre”, e sia stato attivato il registratore “Salvataggio risultati” attivando il salvataggio dei risultati delle fibre come spiegato precedentemente, è possibile andare a visualizzare tutti i risultati d’analisi relativi alle fibre che compongono le sezioni degli elementi.

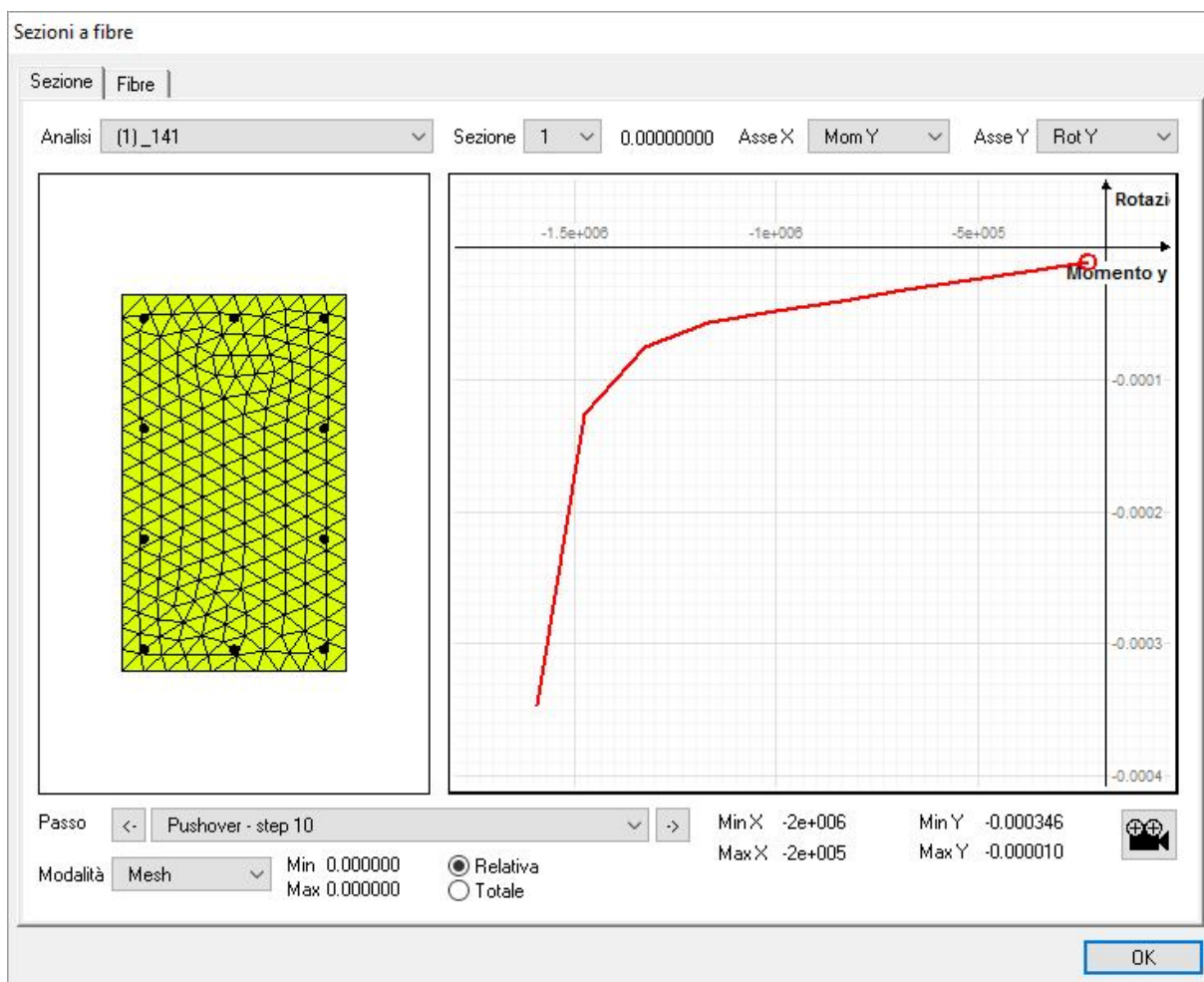
Attivando dal menù a tendina “Risultati”, il comando “Risultati fibre” :



selezionando un elemento viene aperta la finestra di controllo risultati sulle fibre.

In tale finestra sono presenti due pagine:

- Sezione: Vengono mostrati i risultati relativi alla sezione nel suo complesso;
- Fibre: Vengono mostrati i risultati relativi ad ogni singola fibra della sezione.

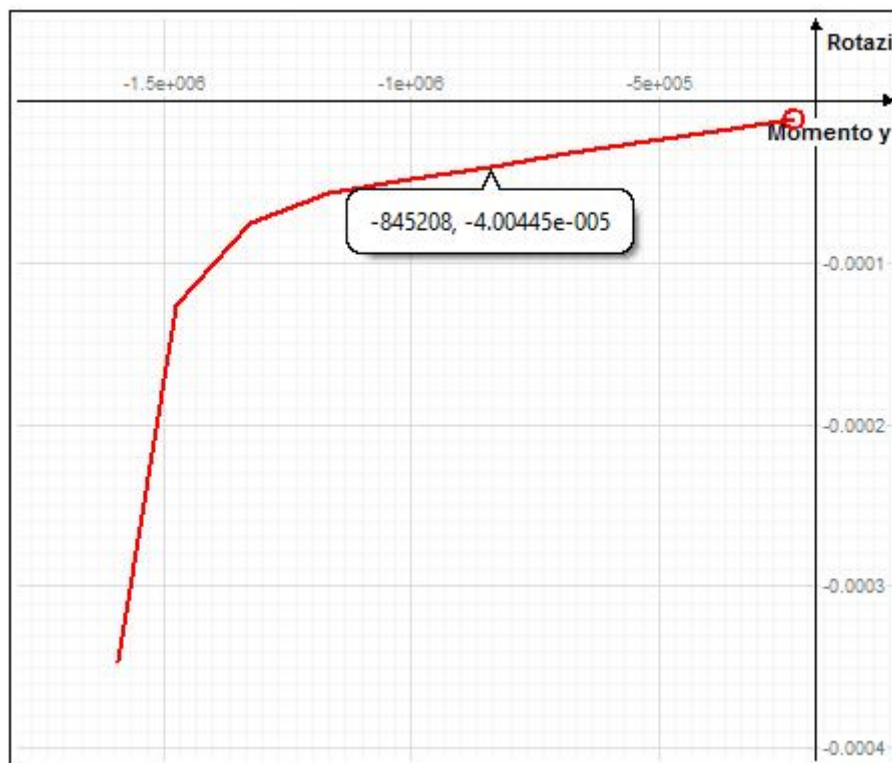


La finestra di dialogo è strutturata nel seguente modo:

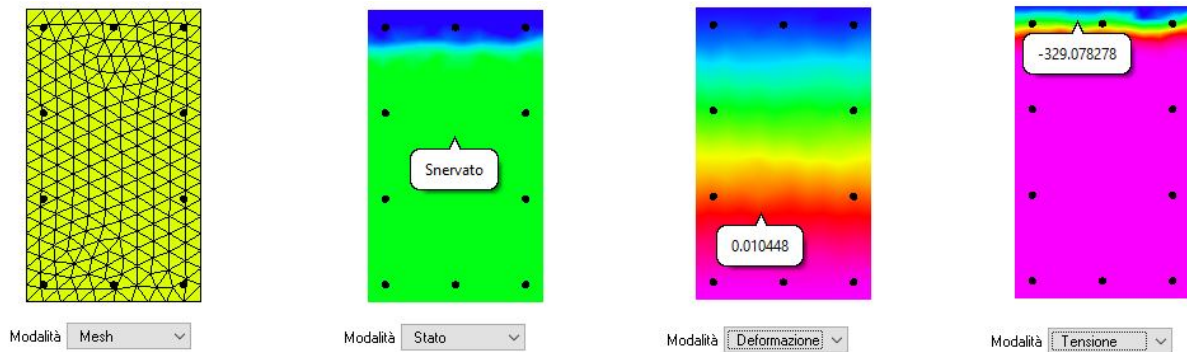
- Analisi: da tale menù a tendina è possibile scegliere il set di risultati delle eventuali molteplici analisi che sono state condotte;
- Sezione: da tale menù a tendina è possibile selezionare quale delle 7 sezioni lungo l'elemento, su cui il programma esegue l'integrazione dei risultati, si intende indagare;
- Asse X, Asse Y: da questi menù a tendina è possibile scegliere le grandezze che si vogliono rappresentare nel grafico, per entrambi gli assi si può scegliere i seguenti parametri:
 - Frz Ass: Forza assiale
 - Mom Y: Momento attorno all'asse Y
 - Mom z: Momento attorno all'asse Z
 - Def Ass: Deformazione assiale
 - Rot Y: Rotazione attorno all'asse Y
 - Rot Z: Rotazione attorno all'asse Z

Nel diagramma viene mostrato un pallino che indica lo stato corrispondente al passo di analisi che si sta interrogando.

Avvicinando il cursore alla curva rappresentata viene mostrato un "popup" con i valori del punto interrogato.



- Passo: permette di selezionare il passo di analisi rispetto al quale vengono mostrati i risultati
- Modalità: permette di scegliere la rappresentazione che viene riportata sull'immagine della sezione, è possibile scegliere la rappresentazione della mesh delle fibre, lo stato di plasticizzazione della sezione, la deformazione delle fibre o le tensioni;



Per ogni tipo di rappresentazione, passando il cursore nei vari punti della sezione, viene mostrato un “popup” che indica il valore o lo stato del punto selezionato.

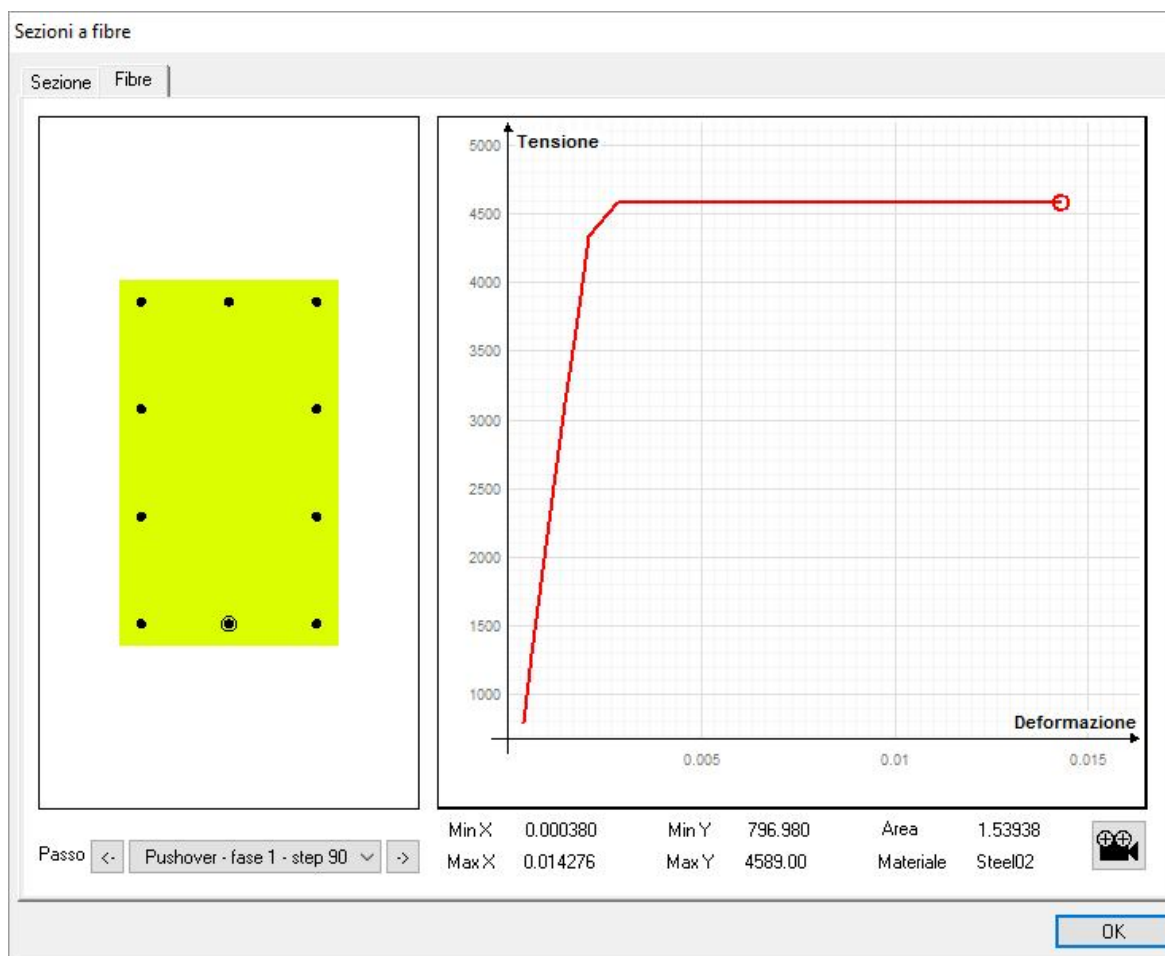
Accanto al menù a tendina “Modalità”, nel caso sia impostata la rappresentazione delle deformazioni o delle tensioni, vengono riportati i valori minimo e massimo.

Allo stesso modo nella parte in basso a destra vengono mostrati i valori minimi e massimo relativi all'asse Y e Z delle grandezze rappresentate nel grafico.

I check-box “Relativa” e “Totale” permettono di selezionare se le rappresentazioni operate sull'immagine della sezione devono riferirsi alla sezione corrente impostata nella cella “Sezione”, oppure devono riferirsi in maniera assoluta ai risultati di tutte e 7 le sezioni di integrazione sull'elemento.

Il bottone con l'immagine della cinepresa permette di ottenere un'animazione delle grandezze selezionate per tutti i passi di analisi registrati.

Passando alla pagina “Fibra”:



Si deve cliccare un punto della sezione, ed il programma mostra il diagramma tensione-deformazione della fibra selezionata.

- Passo: permette di selezionare il passo di analisi rispetto al quale vengono mostrati i risultati

Anche in questo caso vengono mostrati i valori massimo e minimi rispetto agli assi Y e Z, mentre “Area” indica l’area della fibra che è stata selezionata, mentre materiale indica se la fibra selezionata, discretizza l’armatura, o una porzione dell’area di calcestruzzo.

Anche in questo caso il bottone con l’immagine della cinepresa permette di ottenere un’animazione delle grandezze selezionate per tutti i passi di analisi registrati.

E’ evidente come da questo dialogo sia possibile interrogare intimamente ogni elemento della struttura per ogni passo di analisi.

NOTA: nella pagina “Fibre” non è presente il menù a tendina sezione, poiché i risultati mostrati sono relativi alla sezione corrente che è impostata nella pagina “Sezione”.

NOTA: Per strutture molto grandi, al fine di non avere file enormi, che saranno molto lenti a causa della gestione di una mole di dati enorme, si consiglia di ridurre i passi di registrazione dei risultati delle fibre, ad 1 ogni 10, o ogni 20.

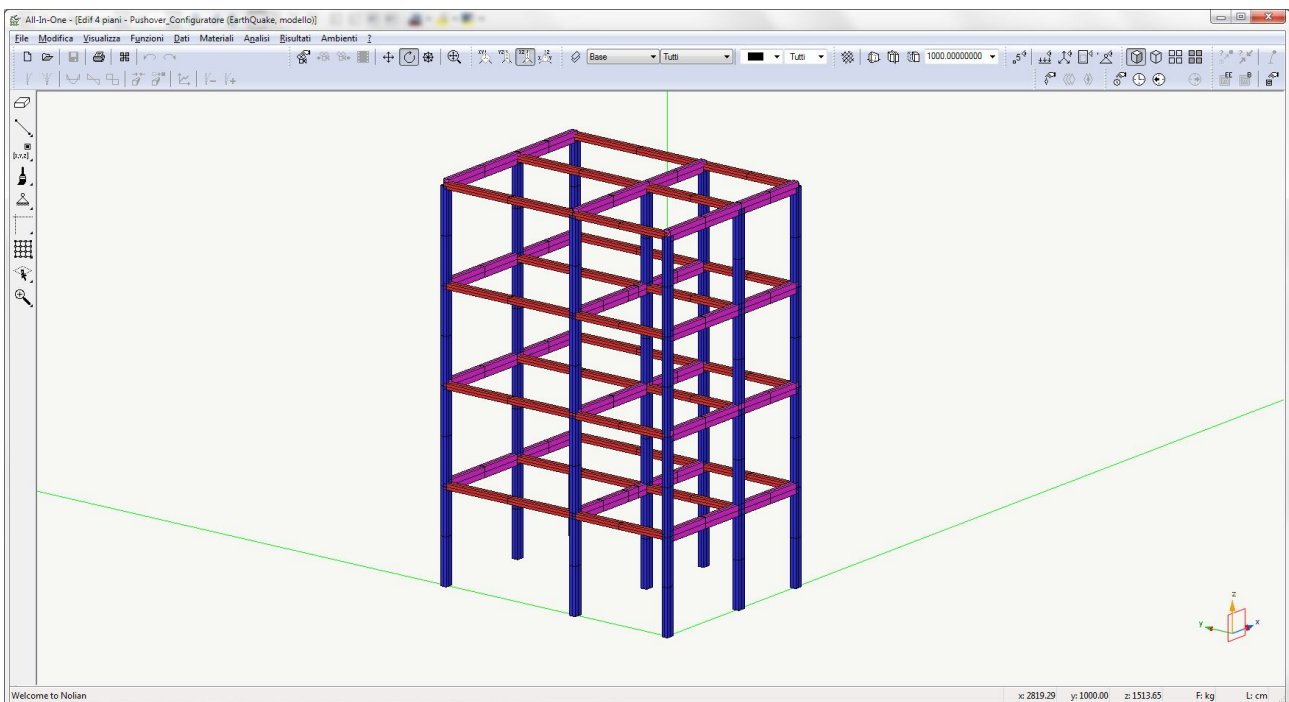
4. Configuratore specializzato per l'analisi Pushover

Dopo aver visto come assegnare manualmente tutti i dati di input richiesti dal programma e definire manualmente tutti i registratori di analisi, per eseguire una analisi Statica Non Lineare su una struttura in c.a., verrà descritto ora il funzionamento del “Configuratore specializzato per l'analisi Pushover”.

Tale configuratore è uno strumento per agevolare l'inserimento degli input necessari ad eseguire una analisi Statica Non Lineare, esso opera in accordo alle istruzioni ed alle prescrizioni delle NTC 2008.

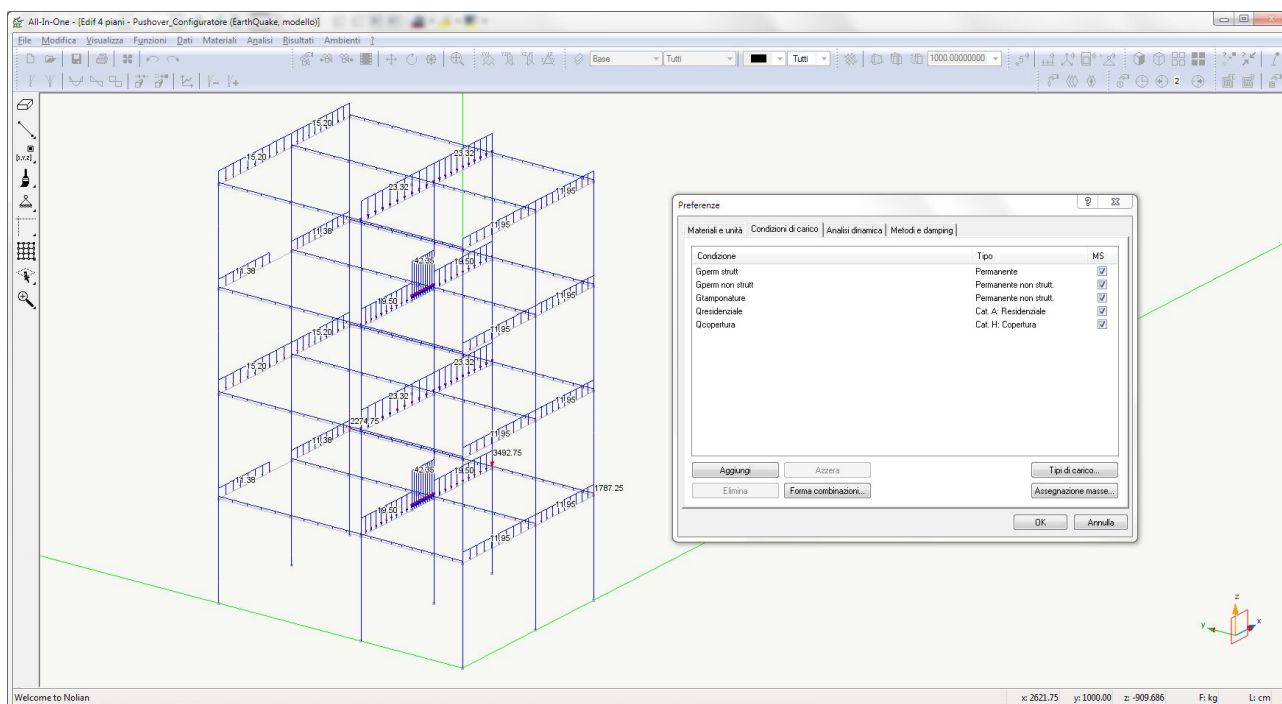
Prima di passare all'inserimento dei parametri nel configuratore, deve essere stato realizzato il modello della struttura, con la generazione e l'assegnazione ai vari elementi di tutti materiali a comportamento non lineare, presenti, devono essere state assegnate le condizioni di vincolo, (vincoli esterni, master-slave), e devono essere stati assegnati tutti i carichi statici verticali.

Per descrivere il funzionamento del configuratore utilizzeremo la seguente struttura di esempio:



è il modello di un edificio a 4 piani in c.a., i materiali non lineari adottati sono del tipo “Sezioni”→ “Fibre calcestruzzo”, il modello è stato considerato incastrato alla base ed è stato considerata l'infinita rigidezza nel proprio piano tramite il vincolo Master-Slave

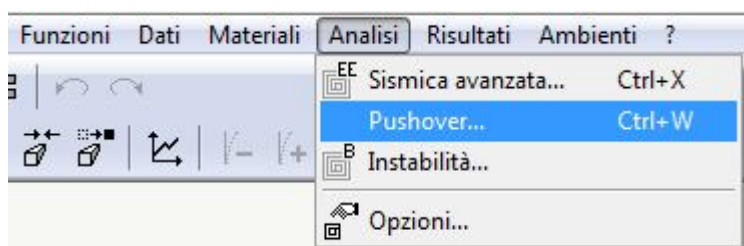
Sono state assegnate tutte le condizioni di carico statiche visibili nell'immagine sotto:



e da queste sono state generate le masse da considerare sotto azione sismica.

A questo punto volendo andare ad eseguire una analisi statica non lineare della struttura tramite la procedura automatica, si deve procedere in questo modo:

Il comando che permette di accedere al configuratore della Pushover, si trova sotto la tendina Analisi, nella barra in alto:



All'avvio del comando viene visualizzato il configuratore:

Analisi Pushover

Genera spinta | Pushover | Visualizzatore | Calcolo capacity | Dati numerici

Nome azione: Spinta ☐ Suffisso automatico: _X+d1L

Spettro: SLVh Accelerazione: 115.33798

Tipologia: Lineare Numero modi: 3 Masse partecipanti %: 0.0

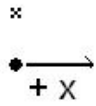
Direzione spinta: +X

Eccentricità: e dx

%: 5.0000000

Lunghezza: 0.0000000

☐ Sostituisci azioni

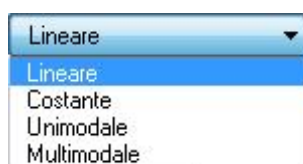


4.1 Genera spinta

La prima tendina “Genera spinta” richiede tutti i dati necessari per la generazione automatica delle condizioni di carico orizzontali nei confronti delle quali si vuole eseguire l'analisi non lineare.

I dati richiesti sono i seguenti

- Nome azione: in tale casella deve essere indicato il nome che l'utente desidera assegnare alla condizione di carico che si accinge a creare;
- Suffisso automatico: spuntando tale check-box, nel caso di generazione automatica delle 16 spinte per la Pushover, il programma creerà le condizioni di carico assegnando a tutti il prefisso indicato nella casella “Nome azione”, seguito da _ e dal suffisso costituito da 5 simboli ognuno dei quali indica rispettivamente:
 - 1) Direzione dell'azione
 - 2) Verso dell'azione
 - 3) Eccentricità rispetto al centro di massa
 - 4) Gruppo di appartenenza tra quelli previsti al punto 7.3.4.1 del DM 2008
 - 5) Distribuzione, tra quelle dei gruppi previste al punto 7.3.4.1 del DM 2008
- Spettro: in tale casella deve essere indicato lo spettro di risposta tra quelli presenti nella libreria del file, che si vuole utilizzare per creare le condizioni di carico sismiche rispetto alle quali si vuole eseguire l'analisi Pushover;
- Accelerazione: Il valore da inserire è quello dell'accelerazione adimensionalizzata di ancoraggio dello spettro, moltiplicata per l'accelerazione gravitazionale g espressa in relazione alle unità di misura in uso nel modello;
- Tipologia: in tale casella si trovano elencate le distribuzioni dei gruppi indicate al punto 7.3.4.1,



La norma in tale paragrafo prescrive per l'analisi statica non lineare, di considerare almeno due distribuzioni di forze d'inerzia, ricadenti l'una nelle distribuzioni principali (**Gruppo 1**) e l'altra nelle distribuzioni secondarie (**Gruppo 2**).

Gruppo 1 - Distribuzioni principali:

- **Lineare**: a tale distribuzione nel suffisso corrisponde la lettera **1L**

Definizione di norma: distribuzione proporzionale alle forze statiche di cui al § 7.3.3.2, applicabile solo se il modo di vibrare fondamentale nella direzione considerata ha una partecipazione di massa non inferiore al 75% ed a condizione di utilizzare come seconda distribuzione la 2 a);

- **Unimodale:** a tale distribuzione nel suffisso corrisponde la lettera **1U**

Definizione di norma: distribuzione corrispondente ad una distribuzione di accelerazioni proporzionale alla forma del modo di vibrare, applicabile solo se il modo di vibrare fondamentale nella direzione considerata ha una partecipazione di massa non inferiore al 75%;

- **Multimodale:** a tale distribuzione nel suffisso corrisponde la lettera **1M**

Definizione di norma: distribuzione corrispondente alla distribuzione dei tagli di piano calcolati in un'analisi dinamica lineare, applicabile solo se il periodo fondamentale della struttura è superiore a T_c .

Gruppo 2 - Distribuzioni secondarie:

- **Costante:** a tale distribuzione nel suffisso corrisponde la lettera **2C**

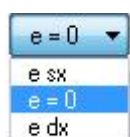
Definizione di norma: distribuzione uniforme di forze, da intendersi come derivata da una distribuzione uniforme di accelerazioni lungo l'altezza della costruzione;

- **Adattiva:** allo stato attuale non è prevista nel programma tale distribuzione

Definizione di norma: distribuzione adattiva, che cambia al crescere dello spostamento del punto di controllo in funzione della plasticizzazione della struttura.

Se vengono generate automaticamente le 16 spinte, per il gruppo 2 il programma considererà automaticamente la distribuzione Costante.

- Numero di modi: nel caso per il gruppo 1 venga selezionata la distribuzione multimodale, in tale casella deve essere inserito il numero di modi che l'utente intende prendere in considerazione nel calcolo della distribuzione;
- Direzione spinta: in tale casella deve essere indicata la direzione ed il verso della spinta, e le opzioni sono ovviamente +X, -X, +Y, -Y, che vengono anche riportate nel "Suffisso automatico";
- Eccentricità: in tale casella viene indicata l'eccentricità da considerare nella generazione della spinta rispetto al baricentro delle masse,



per eccentricità nulla si assegna e = 0 a cui nel suffisso corrisponde la lettera **c**

per eccentricità a destra si assegna e dx a cui nel suffisso corrisponde la lettera **d**

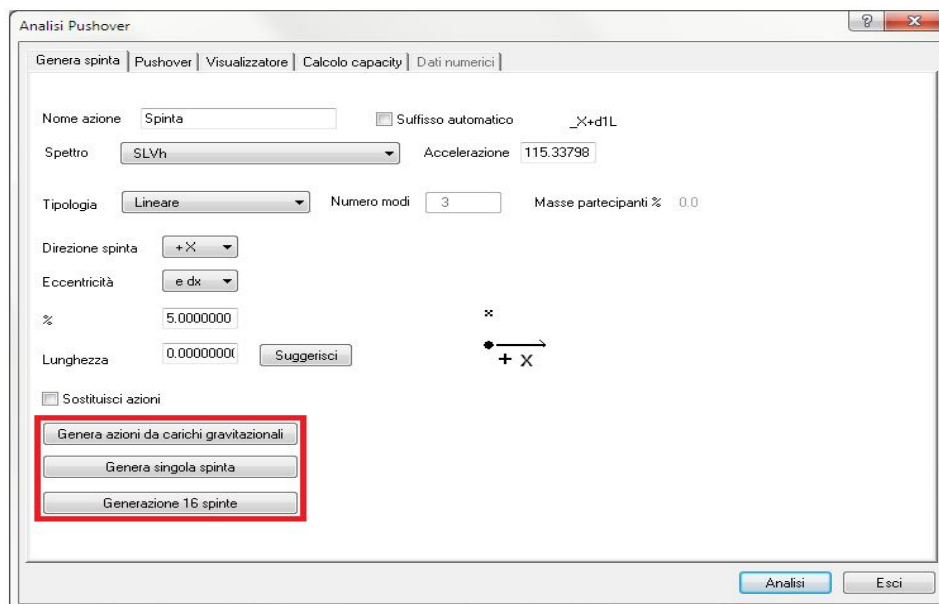
per eccentricità a sinistra si assegna e sx a cui nel suffisso corrisponde la lettera **s**

- %: in tale casella viene indicata la percentuale di eccentricità da considerare rispetto al lato misurato dell'edificio, per il calcolo del disassamento tra la risultante delle forze di piano ed il baricentro delle masse;
- Lunghezza: in tale casella viene indicata la lunghezza del lato misurato dell'edificio, da considerare per il calcolo dell'eccentricità. Se viene cliccato il tasto "Suggerisci", il programma considera la distanza tra la proiezione su uno dei due piani coordinati verticali, dei due nodi del modello più distanti tra loro;

- Sostituisci azioni: spuntando tale check-box, nel caso si sono precedentemente generate delle spinte, ad una nuova generazione, le spinte esistenti saranno eliminate e sostituite da quelle appena generate;

a) Pulsanti di generazione Spinte

Dopo aver inserito tutti i dati sopra elencati si procede alla generazione automatica delle spinte, le opzioni disponibili sono:



- Genera azioni da carichi gravitazionali: tale comando genera i carichi verticali da tenere in conto durante la pushover, cliccando su tale bottone il programma creerà le azioni di carico verticale, sulla base delle condizioni di carico statiche assegnate al modello, le azioni gravitazionali possono anche essere create manualmente inserendole nell'elenco delle "Azioni" del Comando "Analisi sismica avanzata" definendole come "Gravitazionali";
- Genera singola spinta: tale comando genera una singola condizione di carico coerentemente ai dati di input assegnati dall'utente;
- Generazione 16 spinte: tale comando genera le 16 spinte, che sono il numero minimo di condizioni da prendere in considerazione per eseguire un'analisi Pushover secondo il DM 2008.

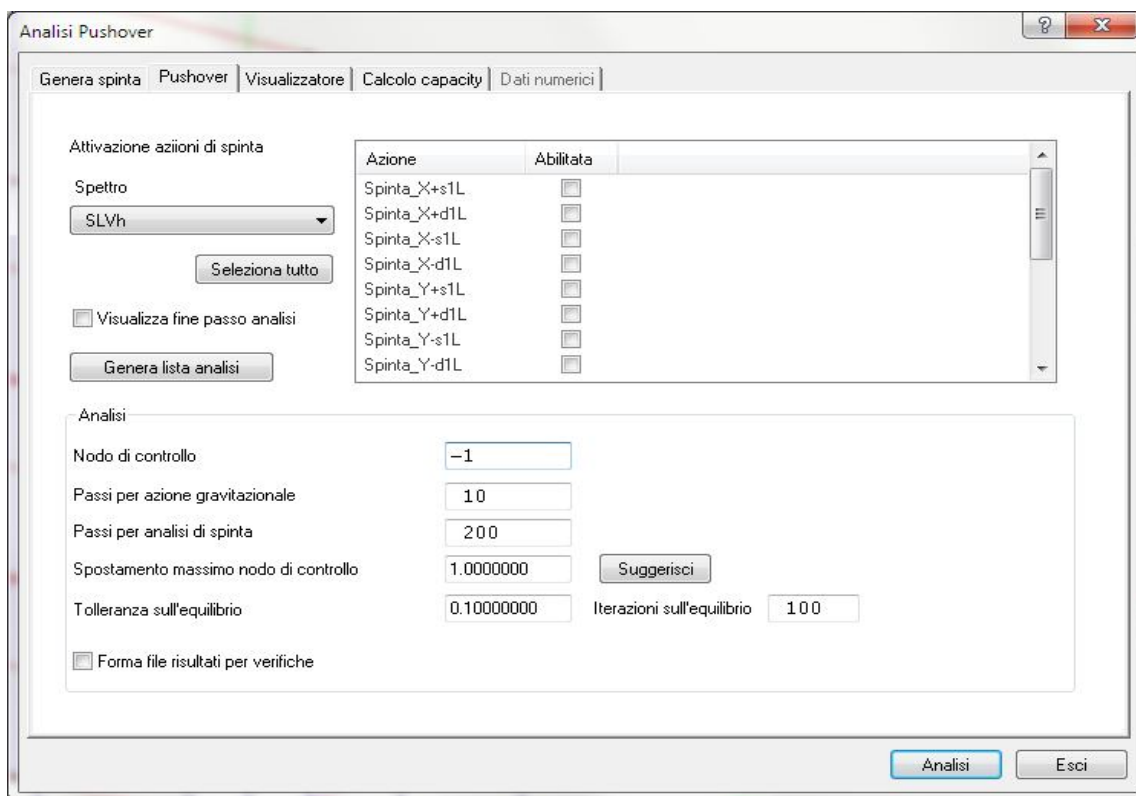
Cliccando su tale bottone il programma creerà 16 condizioni di carico, di cui:

- 8 condizioni di carico con la distribuzione del Gruppo 1 assegnata dall'utente, in cui si alternano la direzione (X,Y), sia il verso (+, -), sia l'eccentricità (dx, sx), le azioni di carico verticale, sulla base delle condizioni di carico statiche assegnate al modello;
- 8 condizioni di carico con la distribuzione del Gruppo 2 (distribuzione Costante), in cui si alternano la direzione (X,Y), sia il verso (+, -), sia l'eccentricità (dx, sx), le azioni di carico verticale, sulla base delle condizioni di carico statiche assegnate al modello;

Ogni analisi creata, consta due analisi distinte: una applicando le azioni gravitazionali (se sono state create) e quella successiva applicando l'azione di spinta.

4.2 Analisi Pushover

La seconda pagina del configuratore è dedicata all'attivazione delle analisi create precedentemente ed alla definizione di alcuni parametri di analisi, come si vede dall'immagine sotto sono presenti tutte le condizioni di spinta, con i relativi suffissi automatici.

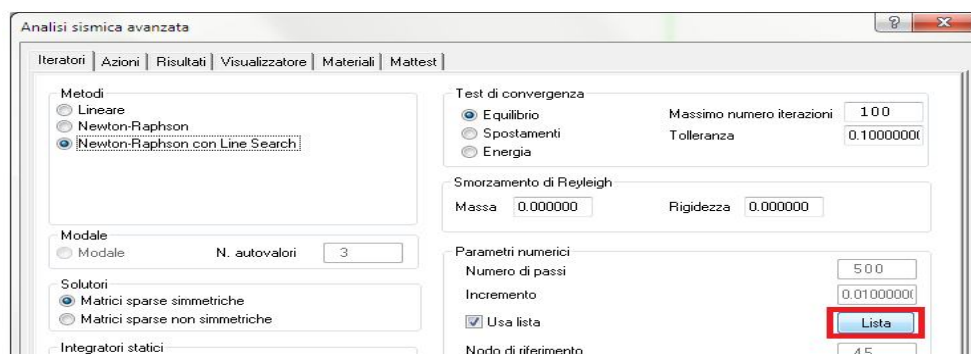


Nella parte alta della pagina sono richieste:

- L'abilitazione dall'elenco ove si trovano tutte le condizioni di “Spinta” generate dal programma, con il relativo check-box che ne consente l'attivazione, cliccando il bottone “Seleziona tutto” verranno automaticamente attivate tutte le condizioni;
- Spettro: in tale tendina sono elencati tutti gli spettri che l'utente ha definito all'interno del modello, per poter relazionare la curva di capacità ottenuta con lo spettro del sito in esame deve essere selezionato lo spettro corrispondente;
- Visualizza fine passo analisi: come già detto ogni analisi presente nell'elenco, consta due analisi distinte: una applicando le azioni gravitazionali e quella successiva applicando l'azione di spinta, se si spunta il check-box “Visualizza fine passo analisi”, eseguendo l'analisi, il programma mostrerà alla fine di ogni singola analisi di spinta (quindi non dei gravitazionali) le curve di capacità relative a quella condizione di spinta, o eventualmente avvisi su anomalie riscontrate durante l'analisi di quella condizione;
- Genera lista analisi: cliccando tale bottone vengono create nella “Lista” della sezione “Iteratori” del comando “Analisi sismica avanzata” tutte le analisi create qui nel Configuratore automatico.

- Nella parte inferiore della pagina del dialogo, sono richiesti i parametri per l' esecuzione dell'analisi:
- Nodo di controllo: in tale casella deve essere inserito l'indice del nodo di controllo della struttura da prendere come riferimento per il tracciamento della curva di capacità;
- Passi per azione gravitazionale: in tale casella viene inserito il numero di passi da eseguire nella prima analisi, ossia quella dove vengono applicati i carichi gravitazionali, (si consiglia di lasciare il valore 10);
- Passi per l'analisi di spinta: in tale casella viene inserito il numero di passi da eseguire nella seconda analisi, ossia quella dove viene eseguita l'analisi di spinta, il valore ottimale è dipendente dal tipo di struttura e dal modello di calcolo realizzato;
- Spostamento massimo del nodo di controllo: in tale casella viene inserito il valore di massimo spostamento che può essere raggiunto dal nodo di controllo, in base a tale valore ed al valore inserito nella casella “Passi per l'analisi di spinta”, il programma scala linearmente il sistema di forze assegnato per l'analisi di spinta, in modo che il nodo di controllo, nel numero di passi assegnati, raggiunga lo spostamento massimo imposto, cliccando sul bottone “Suggerisci” viene assegnato automaticamente dal programma un valore pari a 1/50 della quota z del nodo di controllo;
- Tolleranza sull'equilibrio: in tale casella viene inserito il valore di tolleranza con cui si considera accettabile il test di convergenza;
- Iterazioni sull'equilibrio: in tale casella viene inserito il numero massimo di iterazioni da eseguire nel test di convergenza;
- Forma file risultati per verifiche: spuntando tale check-box , il programma eseguirà le analisi pushover come precedentemente spiegato, ed oltre a fornire i risultati di verifica precedentemente descritti ($d^*u > d^*max$), registrerà in un blocco di risultati, tutti i valori di sollecitazione e deformazione degli elementi, calcolati con uno spostamento del nodo di controllo della struttura correlato al d^*max del sistema equivalente ad un grado di libertà, in modo da consentire all'utente anche l'esecuzione delle verifiche di resistenza degli elementi, nei post-processor, per effettuare tale operazione però dopo l'esecuzione una prima volta dell'analisi, il programma rieseguirà l'analisi sulla struttura per calcolare le sollecitazioni correlate al d^*max ;

Tutte le analisi di spinta generate automaticamente con il Configuratore specializzato per l'analisi pushover, sono impostate di default sul “Controllo di spostamento”, se l'utente desidera modificare il tipo di controllo (“Controllo di carico”, “ArcLenght”), si deve cliccare il comando “Genera lista analisi”, dopodichè andando nella finestra “Analisi sismica avanzata” e cliccando il bottone “Lista”



si può anche avere un quadro più chiaro di come viene effettivamente eseguita l'analisi:

Storia di carico											
Analisi	Controllo	Iterazioni	Passo totale	Nodo	Gdl	Azione	Attiva	Registratore	Salva come	Ripresa	
Newton-Raphson	Carico	10	1.000000			Tutte	☒			Restart	
Newton-Raphson	Spostamento	300	36.000000	45	Tx	Tutte	☒	Spinta_X+s1L	Spinta_X+s1L	Reset	
Newton-Raphson	Carico	10	1.000000			Tutte	☒			Restart	
Newton-Raphson	Spostamento	300	36.000000	45	Tx	Tutte	☒	Spinta_X+d1L	Spinta_X+d1L	Reset	
Newton-Raphson	Carico	10	1.000000			Tutte	☒			Restart	
Newton-Raphson	Spostamento	300	-36.000000	45	Tx	Tutte	☒	Spinta_X-s1L	Spinta_X-s1L	Reset	
Newton-Raphson	Carico	10	1.000000			Tutte	☒			Restart	
Newton-Raphson	Spostamento	300	-36.000000	45	Tx	Tutte	☒	Spinta_X-d1L	Spinta_X-d1L	Reset	
Newton-Raphson	Carico	10	1.000000			Tutte	☒			Restart	
Newton-Raphson	Spostamento	300	36.000000	45	Ty	Tutte	☒	Spinta_Y+s1L	Spinta_Y+s1L	Reset	
Newton-Raphson	Carico	10	1.000000			Tutte	☒			Restart	
Newton-Raphson	Spostamento	300	36.000000	45	Ty	Tutte	☒	Spinta_Y+d1L	Spinta_Y+d1L	Reset	
Newton-Raphson	Carico	10	1.000000			Tutte	☒			Restart	
Newton-Raphson	Spostamento	300	-36.000000	45	Ty	Tutte	☒	Spinta_Y-s1L	Spinta_Y-s1L	Reset	
Newton-Raphson	Carico	10	1.000000			Tutte	☒			Restart	
Newton-Raphson	Spostamento	300	-36.000000	45	Ty	Tutte	☒	Spinta_Y-d1L	Spinta_Y-d1L	Reset	
Newton-Raphson	Carico	10	1.000000			Tutte	☒			Restart	
Newton-Raphson	Spostamento	300	36.000000	45	Tx	Tutte	☒	Spinta_X+s2C	Spinta_X+s2C	Reset	
Newton-Raphson	Carico	10	1.000000			Tutte	☒			Restart	
Newton-Raphson	Spostamento	300	36.000000	45	Tx	Tutte	☒	Spinta_X+d2C	Spinta_X+d2C	Reset	

nella lista sono presenti 32 azioni, alternate in questo modo, le analisi sulle righe dispari riguardano le azioni statiche verticali (si noti nella colonna di ripresa il comando “Restart” che permette di eseguire l'analisi di spinta successiva tenendo conto della presenza dei carichi verticali); le analisi sulle righe pari riguardano appunto le Pushover generate (si noti nella colonna di ripresa il comando “Reset” che permette di azzerare lo stato di sollecitazione in modo da consentire la successiva analisi ripartendo da uno stato di struttura scarica).

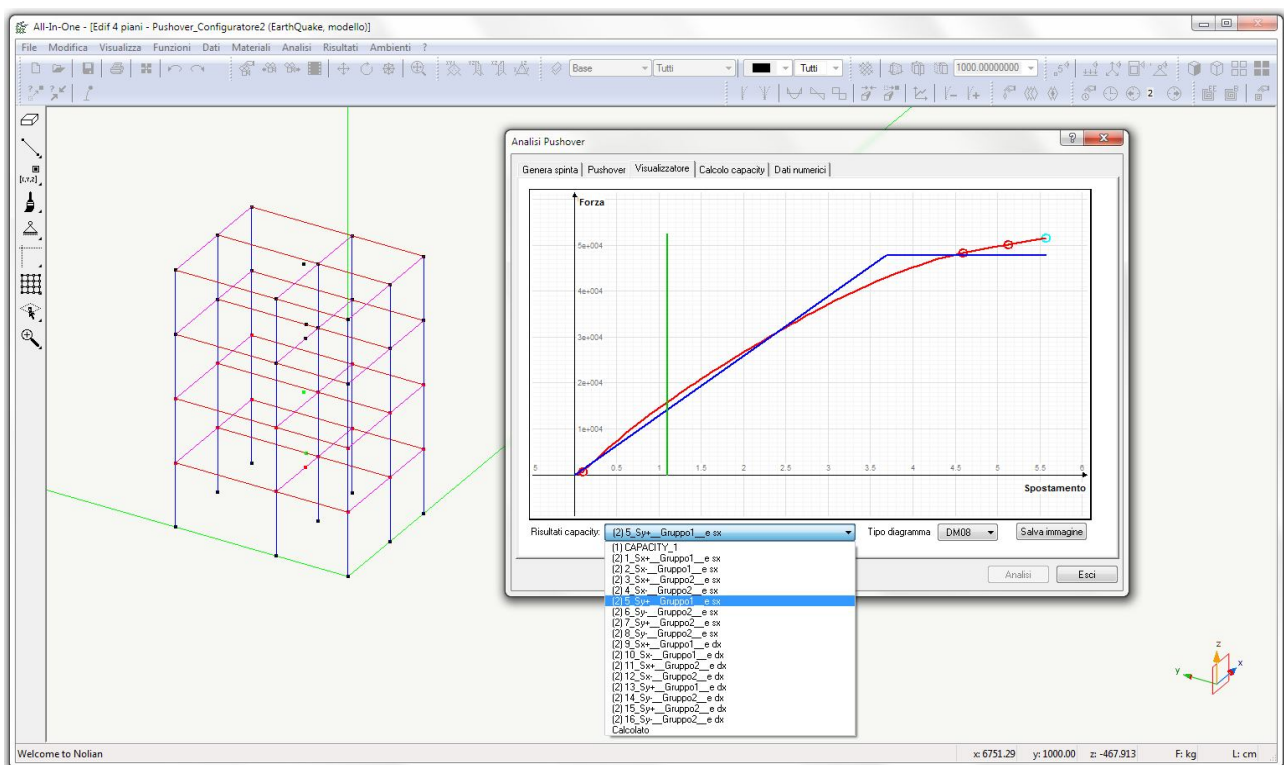
In tale lista l'utente può operare le modifiche che vuole, quindi può variare sia le iterazioni, il tipo di controllo, e tutti gli altri parametri presenti:

Storia di carico		
Analisi	Controllo	Iterazioni
Newton-Raphson	Carico	10
Newton-Raphson	Spostamento	300
Lineare	Carico	10
Newton-Raphson	Spostamento	300
Transitorio	ArcLength	10

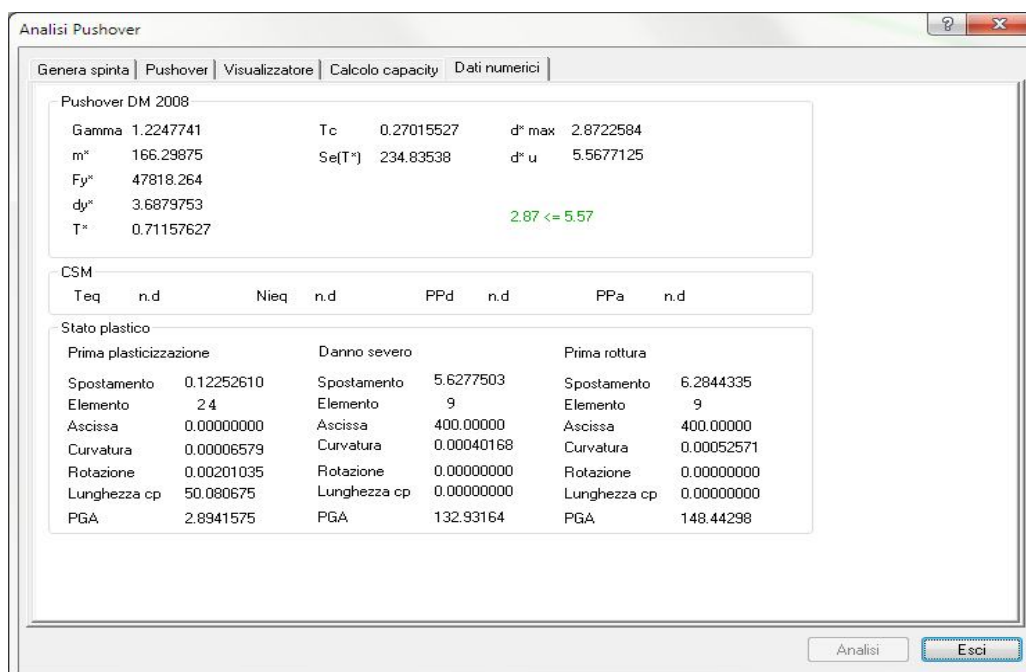
Una volta inseriti tutti i dati richiesti, cliccando sul bottone “Analisi” viene eseguita in automatico l'analisi rispetto a tutte le azioni presenti nella Storia di carico.

Alla conclusione dell'analisi si può andare nella finestra del “Configuratore specializzato per l'analisi Pushover” e visualizzare le curve di capacità ed i risultati numerici per tutte le analisi eseguite, tramite la procedura illustrata precedentemente, che qui riassumeremo in breve.

Andando nella pagina del “Visualizzatore” dalla tendina dei “Risultati Capacity” si seleziona l'analisi di spinta di cui si vuole visionare la curva di capacità, e si sceglie la visualizzazione del tipo di diagramma, (DM 2008, CSM).



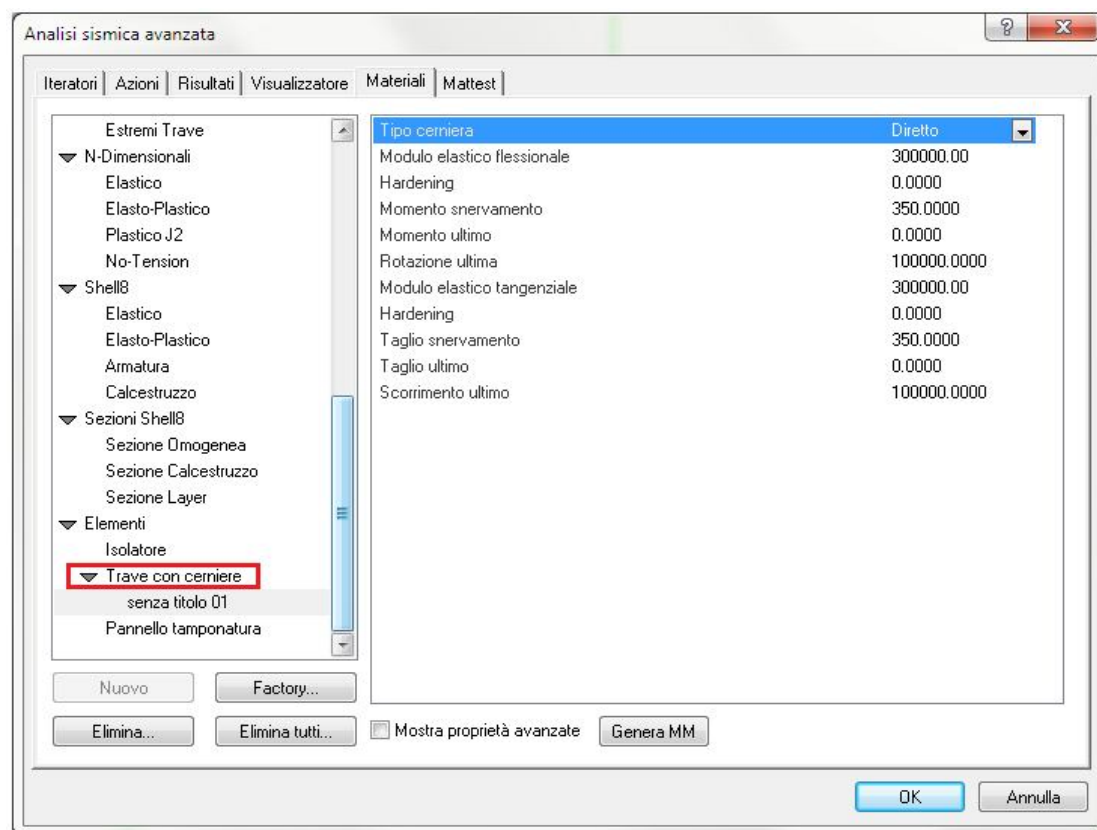
Andando alla pagina “Dati numerici” vengono visualizzati tutti i parametri numerici risultanti dall'analisi.



A questo punto, se per tutte e 16 le analisi di spinta risulta:

$$d*u > d*max$$

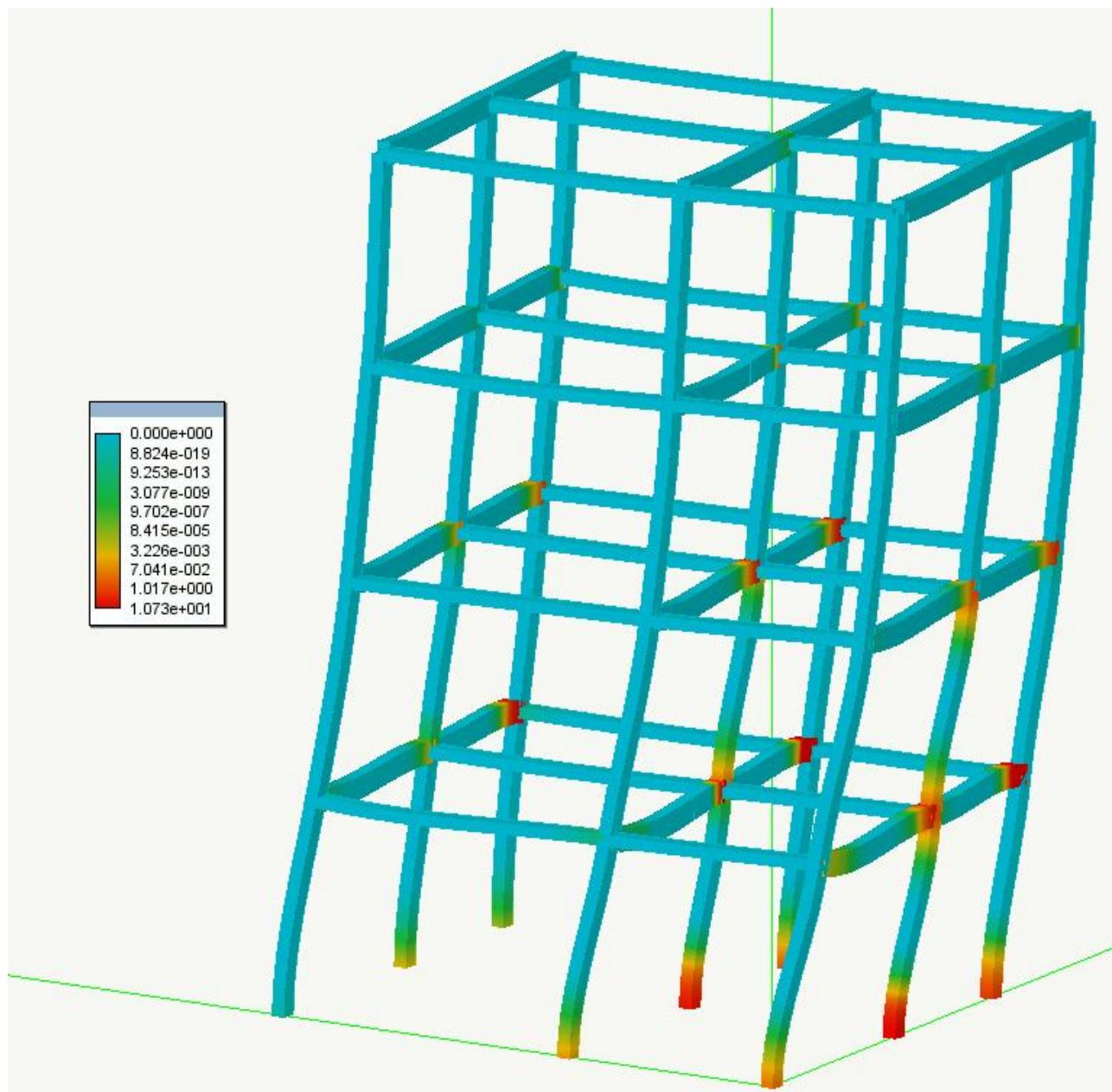
ed assumendo di aver spuntato l'opzione “Forma file risultati per verifiche”, se l'edificio oggetto di analisi è di nuova costruzione, ed è stato realizzato un modello con comportamento non lineare tramite modellazione di elementi a fibre , bisogna passare all'ambiente EasyBeam ed effettuare le verifiche (tramite il blocco di risultati creato da EE) degli elementi travi e pilastri nei confronti del taglio, (dato che il comportamento flessionale è automaticamente verificato nel comportamento a fibre durante l'esecuzione dell'analisi), mentre se gli elementi a comportamento non lineare sono stati modellati con l'elemento “Trave con cerniere”:



per essi è sufficiente eseguire la verifica dello spostamento ($d^*u > d^*max$) dato che le capacità resistenti sono automaticamente verificate durante l'analisi, che altrimenti non avrebbe trovato l'equilibrio e la convergenza.

Se invece l'edificio oggetto di analisi, è un edificio in c.a. Esistente, bisogna procedere alla verifica delle capacità resistenti, secondo il metodo degli edifici esistenti in c.a., pertanto l'ambiente da adottare è Exsys, che ha un comando di dialogo con i blocchi di risultati uscenti dall'analisi di EE.

Si noti che quando sono attivi dei registratori “Capacity design” (quali sono quelli che attiva automaticamente il “Configuratore specializzato”) non è disponibile durante l'analisi la rappresentazione dell'evoluzione dello stato plastico, pertanto se si vuole avere anche una rappresentazione di questo tipo:



bisogna rieseguire l'analisi attivando un registratore della categoria “Rappresentazione” e lanciare l'analisi dalla finestra di dialogo “Analisi sismica avanzata”.

5. Note sulla mancata convergenza

Uno dei più frequenti ed irritanti problemi delle analisi non lineari è la "mancata convergenza". Per informazioni sulle tecniche di soluzione di sistemi non lineari, si rimanda alla brochure di Roberto Spagnuolo "Invito all'analisi non lineare". Qui ci limitiamo ad alcune informazioni essenziali. La mancata convergenza può, sinteticamente, essere causata da una raggiunta labilità della struttura o da una difficoltà di carattere numerico di superare un punto di difficile soluzione. Purtroppo scoprire se la causa è dovuta alla prima o alla seconda causa non è una informazione insita nel processo: numericamente le due situazioni sono identiche. Se si ha una mancata convergenza al primo passo, vi è la fondata ipotesi che la struttura sia già labile e non che divenga labile per l'innescarsi di un meccanismo. pertanto è consigliabile eseguire un'analisi lineare per controllare di non aver per caso dimenticato qualche vincolo. Altra informazione utile è che la difficoltà numerica o l'instabilizzarsi di una parte è indistinguibile dall'instabilizzarsi del tutto. Se cioè, ad esempio, si è assegnata una forza concentrata su un vertice esterno, si può avere una non convergenza della soluzione locale (non dimenticare mai il principio di De Saint Venant). Pertanto è opportuno evitare situazioni di plasticizzazione "concentrata". Si deve inoltre sottolineare che nell'analisi non lineare è indispensabile avere un modello che sia uno "schema statico" e non una descrizione "architettonica" della struttura. Alcuni credono che più il modello è dettagliato, più è rappresentativo del comportamento "reale" della struttura. Ciò non è quasi mai corretto in quanto all'aumentare della complessità del modello, aumenta la possibile "sovraesposizione" di fenomeni locali inessenziali su quelli globali più significativi. Ovviamente più il modello è semplice e più sono semplici le modellazioni non lineari, più è facile che la soluzione converga. Tra un modello che impieghi cerniere elastiche-perfettamente plastiche ed uno che impieghi travi a fibre, è piuttosto ovvio che la raffinatezza del secondo mette in luce fenomeni invisibili al primo modello e pertanto è più sensibile all'insorgere di problemi. Ovviamente una mancata convergenza non è necessariamente una carenza del metodo numerico impiegato, ma denuncia una situazione che andrebbe approfondita. Lo scopo del progettista e cioè di voler essere maggiormente consapevole o meno consapevolmente produttivo, è fatto individuale legata a fatti caratteriali ed anche all'importanza dell'opera.

In ogni caso, i problemi numerici sono più facilmente superati aumentando i passi di carico.

In questo modo la soluzione è più lenta ma più regolare. In modelli semplici, una mancata convergenza indica quasi sempre il raggiungimento di un carico o una deformazione limite. Pertanto, se la curva ottenuta per carichi o spostamenti inferiori a quelli assegnati, risulta sufficiente ai fini dell'analisi, si può tranquillamente ritenere valida la soluzione.

Le raccomandazioni finali sono dunque:

- Modelli più semplici possibili. Non impiegare elementi finiti o materiali più complessi di quanto la situazione non richieda e che, magari, non conosciamo a fondo. Se è necessario si aumenti la definizione gradualmente.
- Usare più passi di carico possibile. Evitare di "mirare" a spostamenti o livelli di carico irrealistici. Eventualmente approssimarli gradatamente.