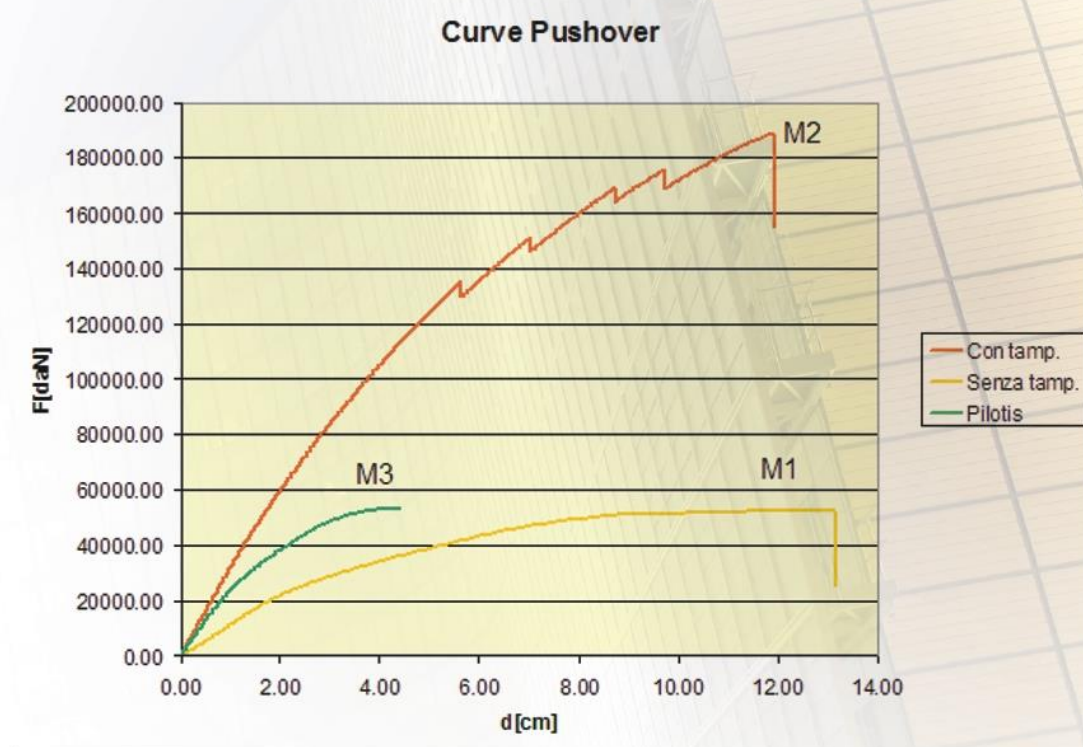


Cenni teorici e di utilizzo dell'analisi Pushover

FaTA-E

Software per il calcolo strutturale

Cenni teorici e di utilizzo dell'analisi Pushover



Cenni teorici e d'utilizzo dell'analisi pushover in FaTA-E

Nel presente documento si tratta l'applicazione dell'analisi statica non lineare (punto 7.3.4.1 del D.M. 14/07/2008 e C7.3.4.1 circ. 617/2009) nel software FaTA-E.

L'analisi non lineare statica consiste nell'applicare alla struttura i carichi gravitazionali e, per la direzione considerata dell'azione sismica, un sistema di forze orizzontali distribuite, ad ogni livello della costruzione, proporzionalmente alle forze d'inerzia ed aventi risultante (taglio alla base). Tali forze sono scalate in modo da far crescere monotonamente, sia in direzione positiva che negativa e fino al raggiungimento delle condizioni di collasso locale o globale, lo spostamento orizzontale dc di un punto di controllo coincidente con il centro di massa dell'ultimo livello della costruzione.

Le caratteristiche di plasticità sono assegnate esclusivamente agli estremi dell'asta. Ai vari passi di incremento dei carichi orizzontali, il diverso stato di sollecitazione determina la formazione di diversi tipi di meccanismi di rottura (per flessione, schiacciamento, taglio), i quali determinano la ridistribuzione delle rigidezze e, di conseguenza, delle sollecitazioni.

La risoluzione del sistema viene eseguita con il metodo di Newton-Raphson.

Il risultato consiste in un diagramma, denominato 'curva di capacità', dove in ascissa viene riportato lo spostamento di un punto di controllo (generalmente si sceglie il livello della copertura), mentre in ordinata viene riportata la forza totale orizzontale applicata alla struttura.

Dalla curva di capacità è possibile ricavare la 'capacità di spostamento' della struttura.

La verifica globale della struttura si considera soddisfatta se la capacità di spostamento è maggiore della 'domanda di spostamento':

$$\begin{aligned} \text{se } T^* \geq T_C &\Rightarrow d^*_{\max} = S_{De}(T^*) \\ \text{se } T_C < T^* &\Rightarrow d^*_{\max} = \frac{S_{De}(T^*)}{q^*} \left[1 + (q^* - 1) \frac{T_C}{T^*} \right] \end{aligned}$$

I parametri utilizzati assumono i seguenti significati:

- d^*_{\max} (domanda di spostamento);
- $T^* = 2\pi\sqrt{m^* / k^*}$ (periodo del sistema equivalente ad un grado di libertà);
- T_C (riportato nella tabella 3.2.VII del punto 3.2.3.2.2 del D.M. 14/01/2008);
- $m^* = \sum m_i \Phi_i^2$ (massa partecipante del sistema equivalente);
- k^* (rigidezza secante del sistema equivalente ad un grado di libertà);
- $q^* = S_e(T^*)m^* / F^*_y$ (rapporto tra la forza di risposta elastica e la forza di snervamento del sistema equivalente);
- $S_{De}(T^*)$ (valore dello spettro di risposta elastico degli spostamenti in corrispondenza del periodo T^*);
- $S_e(T^*)$ (valore dello spettro di risposta elastico delle accelerazioni in corrispondenza del periodo T^*);
- M_i (massa di ogni impalcato della struttura);
- Φ_i (vettore che rappresenta il primo modo di vibrare della struttura);
- F^*_y (forza di snervamento del sistema equivalente).

Il calcolo viene eseguito separatamente nelle due direzioni principali della struttura considerando due distribuzioni di forze applicate al baricentro delle masse di ogni impalcato: una di forze proporzionali alle masse ed una di forze proporzionali all'altezza degli impalcati (analisi statica lineare).

Nel primo caso le forze sono computate secondo le seguenti formule:

$$F_{ih} = F_H W_i / (\sum W_i);$$

$$F_H = S_d(T_i) W_{tot} \lambda$$

Nel secondo caso le forze sono computate secondo le seguenti formule:

$$F_{ih} = F_H (W_i z_i) / (\sum W_i z_i);$$

Dove:

z_i (quota dell'impalcato)

$S_d(T_i)$ ordinata spettro di risposta;

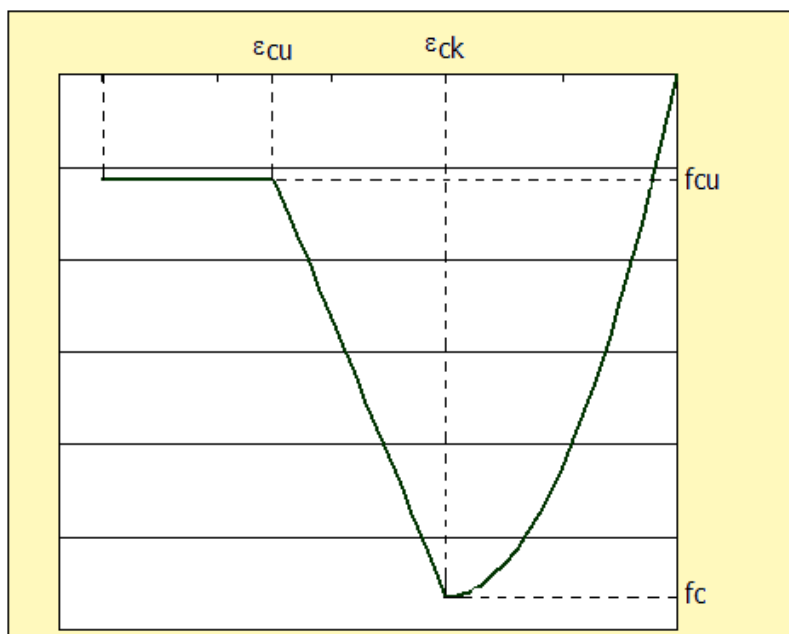
$\lambda = 0.85$ (se $N_{piani} \geq 3$ e se $T_I \leq 2 T_C$) oppure 1.00 (in tutti gli altri casi);

$W_i = (G_K + \sum \Psi E_i Q_{iK})$;

La struttura, per questo tipo di analisi, verrà discretizzata con elementi monodimensionali, in cui le caratteristiche di non-linearità di materiale sono assegnate esclusivamente agli estremi dell'asta. Pertanto la formazione delle cerniere plastiche viene assunta come possibile solo alle estremità dell'elemento resistente. Per tale motivo le zone a non linearità di comportamento del materiale sono concentrate per una lunghezza pari alla lunghezza della cerniera plastica, stimata con una delle formulazioni descritto in seguito. Ai vari passi di incremento dei carichi orizzontali, il diverso stato di sollecitazione determina la formazione di diversi tipi di meccanismi di rottura (per flessione, schiacciamento, taglio, resistenza dei nodi), i quali determinano, a loro volta, la ridistribuzione delle rigidezze e, di conseguenza, delle sollecitazioni. Le non linearità geometriche (effetto PDelta), se attivate, vengono considerate su tutto l'elemento.

Modelli di comportamento dei materiali

Il diagramma momento-curvatura viene creato ad ogni passo di incremento considerando la sezione discretizzata secondo una mesh con appositi elementi finiti, in base ai diversi comportamenti dei materiali. Per il materiale "calcestruzzo" verrà usato il modello di Kent & Park (1971) con calcestruzzo non resistente a trazione:



Dove:

f_c : resistenza a compressione del calcestruzzo;
 f_{cu} : resistenza a compressione residua;
 ϵ_{ck} : deformazione corrispondente alla resistenza massima;
 ϵ_{cu} : deformazione corrispondente alla resistenza ultima.

Il modello è rappresentato dalle seguenti equazioni:

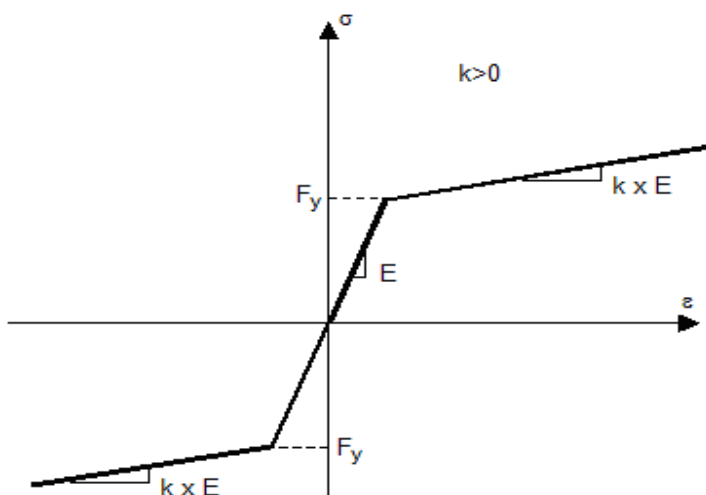
$$\begin{aligned} - \sigma &= f_c \left[2 \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_{ck}} \right) - \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_{ck}} \right)^2 \right] & \text{se } 0 \leq \epsilon \leq \epsilon_{ck} \\ - \sigma &= f_c \left[1 + Z \left(\frac{\epsilon - \epsilon_{ck}}{\epsilon_{cu} - \epsilon_{ck}} \right) \right] & \text{se } \epsilon_{ck} \leq \epsilon \leq \epsilon_{cu} \\ - \sigma &= f_{cu} & \text{se } \epsilon > \epsilon_{cu} \end{aligned}$$

con Z pari a $(f_{cu} - f_c) / [f_c (\epsilon_{cu} - \epsilon_{ck})]$

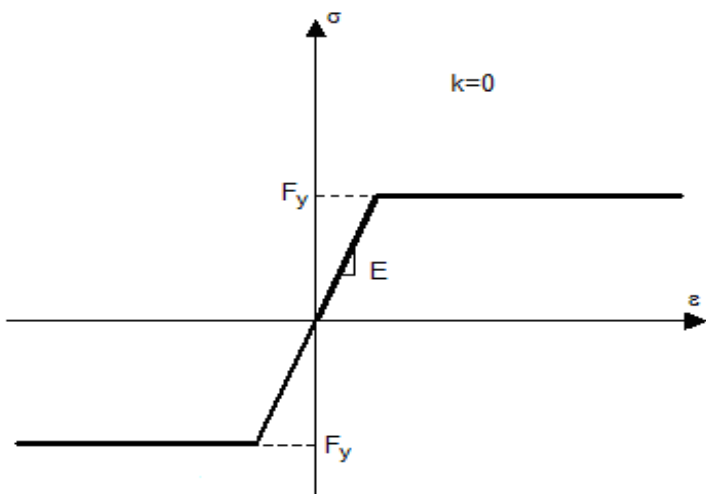
Il modello di comportamento delle barre di armatura può essere:

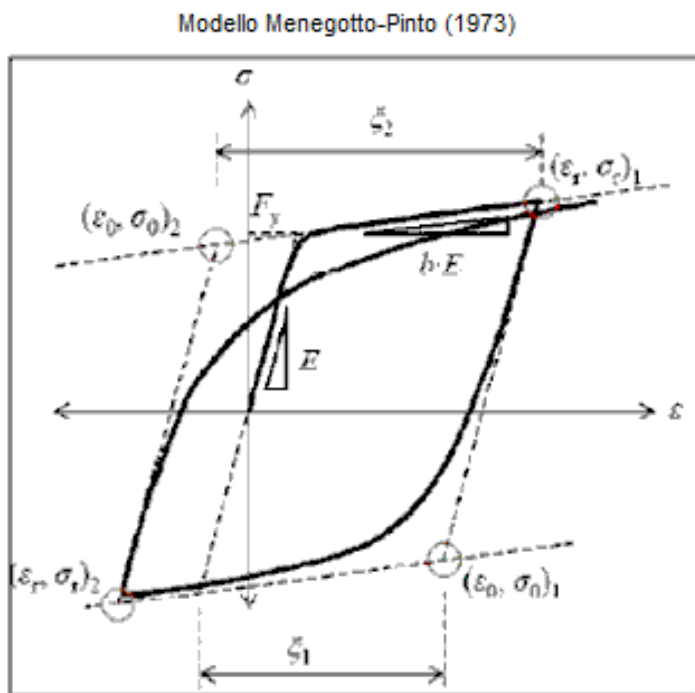
- modello elasto-plastico con incrudimento;
- modello elastico-perfettamente plastico;
- modello Menegotto-Pinto (1973).

Modello elasto-plastico con incrudimento



Modello elastico-perfettamente plastico





Dove:

E : modulo elastico dell'acciaio;

f_y : resistenza dell'acciaio.

Per il modello Menegotto-Pinto, il legame sforzo-deformazione è espresso mediante le seguenti relazioni:

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

Con:

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

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

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

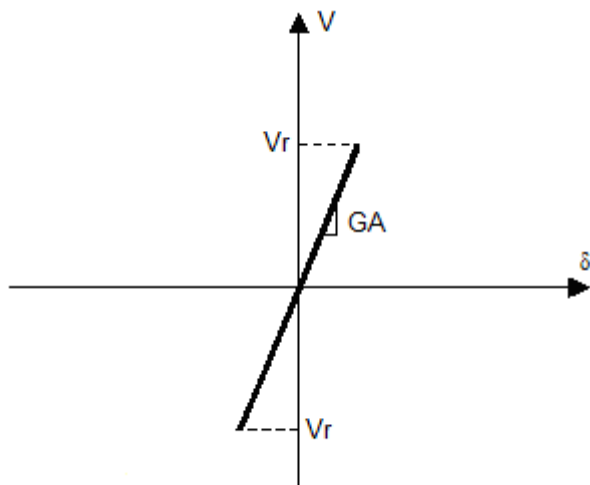
Le costanti utilizzate assumono i seguenti valori:

- R₀ = 20
- a₁ = 18.5
- a₂ = 0.15

Per l'acciaio da carpenteria metallica il modello usato è di tipo elasto-plastico con incrudimento, basato sui valori di resistenza e deformazione di snervamento e a rottura dell'acciaio, come definito nel database dei materiali.

Resistenza a taglio

Per le sezioni in c.a. il modello di rottura a taglio utilizzato è di tipo elasto-fragile con taglio resistente calcolato con il modello di Sezen & Moehle (2005):



$$V_r = k \left(\frac{0.5\sqrt{f'_c}}{L_s/h} \sqrt{1 + \frac{P}{0.5\sqrt{f'_c}A_g}} \right) \cdot 0.8 \cdot A_g + k \frac{A_w f_y h}{s}$$

Dove:

- k : 1 per duttilità < 2 e 0.7 per duttilità > 6 (tra 2 e 6 si interpola, e comunque utilizziamo 1)
- f'_c : resistenza del calcestruzzo
- L_s : lunghezza di taglio (approssimativamente 0.5 L)
- h : altezza della sezione
- P : sforzo normale agente sulla sezione
- A_g : area del calcestruzzo
- A_w : area della staffa (numero bracci * area del tondino)
- f_y : tensione di snervamento delle barre
- s : passo delle staffe

Il valore utilizzato è limitato dal valore massimo a “taglio compressione” dato dalla rottura del calcestruzzo (Par. 4.1.2.1.3.2, formula 4.1.19 NTC).

Per le sezioni in acciaio il modello è sempre di tipo elasto-fragile, ed il valore del taglio resistente viene calcolato a partire dall'area resistente a taglio del profilo secondo le due direzioni principali.

Lunghezza della cerniera plastica

Il calcolo della lunghezza della cerniera plastica può essere effettuato scegliendo tra diversi tipi di modello:

- Circ. 617/2009 (anche Eurocodice 8-3 par. A.5);
- Paulay & Priestley (1992);
- Eurocodice 8-3 par. A.9;
- Panagiotakos & Al. (2001).

Circ. 617/2009:

$$L_p = 0.1 \cdot L_v + 0.17 \cdot h + 0.24 \cdot \frac{d_{bl} \cdot f_y}{\sqrt{f_c}}$$

Eurocodice 8-3 par. A.5:

$$L_p = 0.1 \cdot L_v + 0.17 \cdot h + 0.24 \cdot \frac{d_{bl} \cdot f_y}{\sqrt{f_c}}$$

Paulay & Priestley (1992):

$$L_p = 0.08 \cdot L_v + 0.022 \cdot d_{bl} \cdot f_y$$

Eurocodice 8-3 par. A.9:

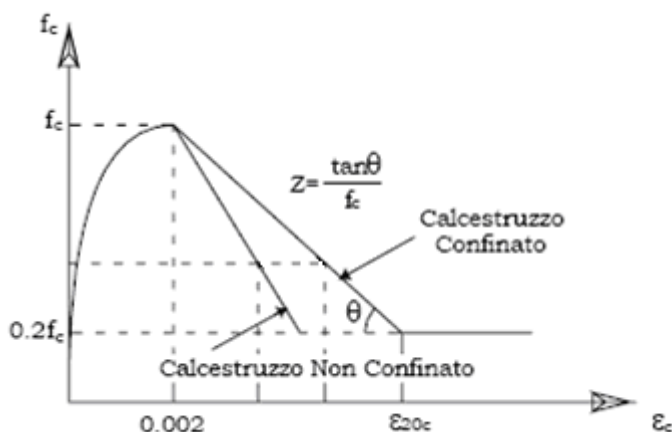
$$L_p = \frac{L_v}{30} + 0.2 \cdot h + 0.11 \cdot \frac{d_{bl} \cdot f_y}{\sqrt{f_c}}$$

Panagiotakos & Al. (2001):

$$L_p = 0.12 \cdot L_v + 0.014 \cdot d_{bl} \cdot f_y$$

Effetto del confinamento delle staffe

L'effetto del confinamento delle staffe viene valutato considerando un opportuno coefficiente Z che caratterizza la parte decrescente della curva di comportamento secondo il modello di Kent & Park (1971) e secondo le indicazioni aggiunte da Scott (1982).



La deformazione ultima (corrispondente alla resistenza ultima a compressione) viene calcolata come:

$$\varepsilon_{cu} = \varepsilon_{ck} + \frac{(f_c - f_{cu})}{Z \cdot f_c}$$

Il parametro Z , che definisce il confinamento, viene calcolato tramite la seguente espressione

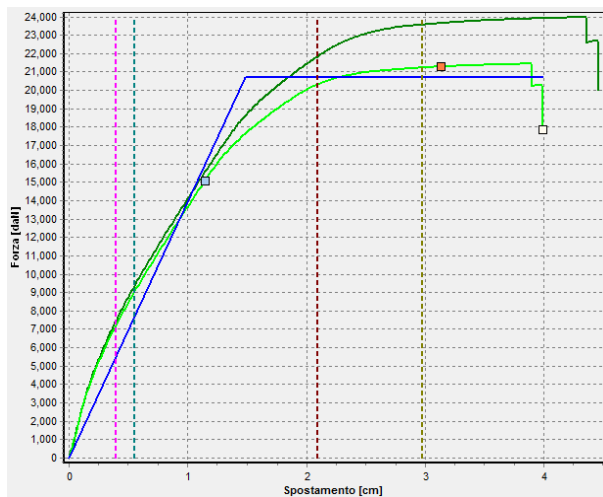
$$Z = \frac{0.5}{\frac{3 + 0.29 f_c}{145 f_c - 1000} + 0.75 \rho_s \sqrt{\frac{d_{\min}}{p}} - \varepsilon_{ck} \left(1 + \frac{\rho_s f_s}{f_c} \right)}$$

Dove:

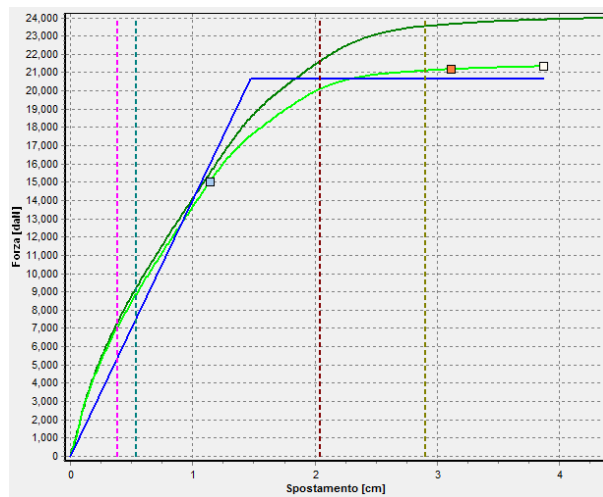
$$\rho_s = \frac{n_{st} A_{st} [2(b + h) - 8\delta]}{(b - 2\delta)(h - 2\delta)100} \quad d_{\min} \text{ dimensione minima della sezione}$$

Metodo di calcolo considerando il softening della struttura

Attivando l'apposita opzione è possibile considerare anche il ramo degradante nel comportamento globale della struttura. Per poter elaborare la curva viene utilizzato il metodo di incremento basato sugli spostamenti. Ciò comporta un maggior tempo di calcolo nell'elaborazione dell'analisi. E' importante non confondere il softening della curva pushover con il comportamento degradante dei materiali, il quale viene sempre considerato secondo i modelli specificati precedentemente.



Curva con ramo degradante



Curva senza ramo degradante

Il valore limite minimo della forza nel ramo degradante viene impostato dall'utente inserendolo nell'apposito campo:

Percentuale riduzione carico massimo %

Scelta del punto di controllo

La scelta del punto di controllo è fondamentale per l'esito dell'elaborazione della curva. In FaTA-E sono presenti le seguenti modalità di scelta:

- Nodo master;
- Nodo/i slave.

La scelta del nodo master sarà possibile solo in presenza di almeno un piano rigido. In assenza di piano rigido è possibile scegliere tra due opzioni:

- Nodo Singolo;
- Nodi Multipli.

Nel caso di nodo singolo verrà scelto il nodo più vicino al baricentro delle masse del piano scelto per l'identificazione. Nel caso di nodi multipli verrà utilizzato lo spostamento mediato calcolato mediante gli spostamenti di tutti i nodi del piano scelto, con un procedura di media pesata sulla massa del nodo. Tale procedura è elaborata in alle indicazioni contenute in "On the use of pushover analysis for existing masonry buildings", A. Galasco, S. Lagomarsino and A. Penna, 1st ECEES, Ginevra, 2006.



La scelta dei nodi multipli è fondamentale per la corretta analisi di strutture senza i piani rigidi, come ad esempio nel caso di coperture a falde o solai molto deformabili.

Tipi di spinte applicate

Il calcolo pushover può essere elaborato con diversi tipi di spinte scelte dall'utente in modo da soddisfare le indicazioni della norma applicata.

I diversi tipi di spinta sono i seguenti:

- Forze proporzionali alle masse (distribuzione uniforme di accelerazioni);
- Forze proporzionali alle altezze (distribuzione triangolare classica per analisi statica);
- Forze proporzionali al 1° modo;
- Forze proporzionali alla combinazioni modale pari all'85% delle masse;

Appartengono al **Gruppo 1**, come definito nel DM 14/01/2008:

- Forze proporzionali alle altezze (distribuzione triangolare classica per analisi statica);
- Forze proporzionali al 1° modo;
- Forze proporzionali alla combinazioni modale pari all'85% delle masse.

Appartiene al **Gruppo 2** la distribuzione di forze proporzionali alle masse relativa all'applicazione dell'accelerazione costante su tutto l'edificio.



L'utilizzo della distribuzione proporzionale alle forze calcolate dalla combinazione modale (fino all'85% delle masse) consente di superare i limiti di applicabilità delle altre distribuzioni che consistono nel superare con il solo primo modo il 75% di partecipazione di massa. C'è da ricordare che, mentre l'Eurocodice 8 consiglia l'uso della distribuzione proporzionale della combinazione modale all'85% per tutte le strutture, le NTC limitano l'utilizzo a quelle strutture aventi il periodo del modo fondamentale superiore a T_c .

Modello di interazione tamponamenti-struttura.

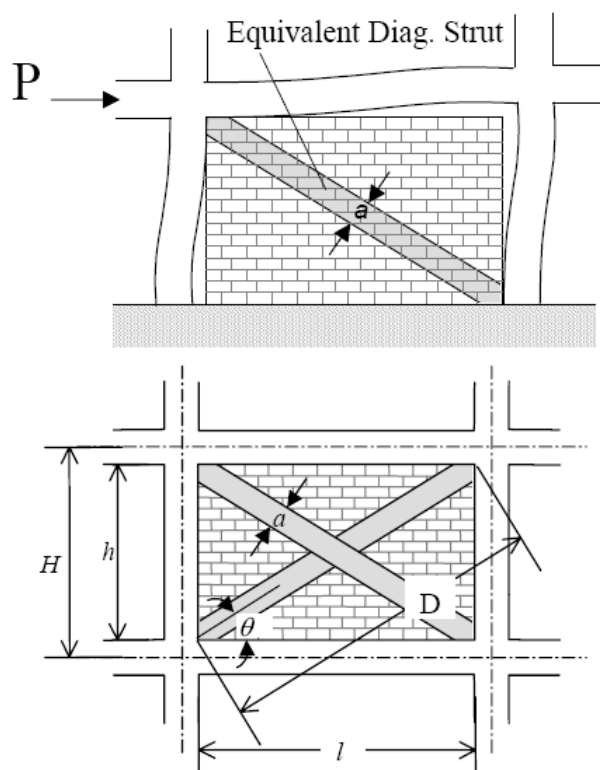
Tra i vari modelli presenti in letteratura è stato scelto il metodo di Ghassan Al-Chaar, descritto in 'Evaluating Strength and Stiffness of Unreinforced Masonry Infill Structures' edito da US Army Corps of Engineers, nel 2002.

Il metodo descritto viene completato con le indicazioni presenti nelle 'NEHRP GUIDELINES FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS' – FEMA 273.

La ricerca proposta nelle linee guida precedentemente citate è la valutazione della resistenza e della rigidezza nel piano di pannelli di tamponatura non armati soggetti a carichi laterali, anche in presenza di aperture.

Il modello utilizzato per l'analisi del sistema telaio-tamponatura consiste nella schematizzazione di un telaio contenente dei puntoni equivalenti eccentrici che rappresentano la muratura.

Il pannello di tamponatura viene rappresentato da un puntone diagonale equivalente resistente a compressione, di larghezza a , lunghezza D e spessore t pari allo spessore netto della muratura:



La larghezza a dipende dalla rigidezza flessionale relativa telaio-pannello, che Stafford Smith & Carter (1969) valutano come segue:

$$\lambda_1 H = H \cdot \sqrt[4]{\frac{E_m t \sin(2\theta)}{4 E_c I_{col} h}}$$

dove: E_c e E_m sono i moduli elastici del calcestruzzo e della muratura;
 I_{col} è il momento d'inerzia del pilastro.

A partire dalla relazione precedente, Mainstone (1971) fornisce l'espressione della larghezza del puntone equivalente:

$$a = 0.175 D (\lambda_1 H)^{-0.4}$$

Se nel pannello sono presenti delle aperture e/o dei danneggiamenti, la larghezza a viene ridotta utilizzando la seguente relazione:

$$a_{red} = a (R_1)_i (R_2)_i$$

Il fattore di riduzione che tiene conto delle aperture, $(R1)_i$, è pari a:

$$(R_1)_i = 0.6 \cdot \left(\frac{A_{open}}{A_{panel}} \right)^2 - 1.6 \cdot \left(\frac{A_{open}}{A_{panel}} \right) + 1$$

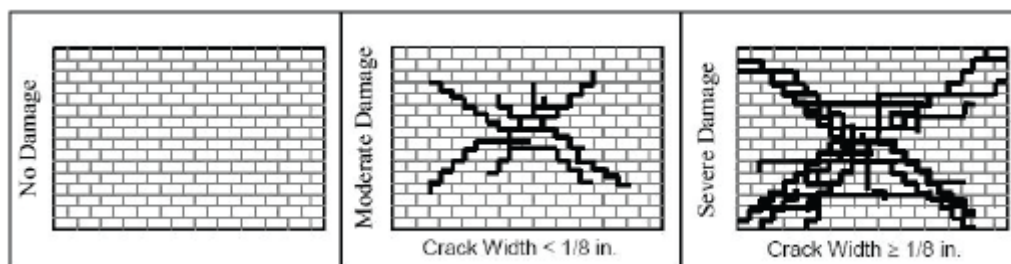
con: A_{open} area delle aperture;
 $A_{panel} = l \times h$ area del pannello.

Se l'area delle aperture è maggiore del 60% di quella del pannello, l'effetto della tamponatura viene trascurato per cui risulta $(R1)_i = 0$.

Il fattore di riduzione che tiene conto del danneggiamento del pannello, $(R2)_i$, è valutabile attraverso la seguente Tabella

h/t	$(R2)_i$ per tipo di danno	
	Moderato	Severo
≤ 21	0.7	0.4
> 21	necessaria la riparazione del pannello	

a seconda che la tamponatura risulti non danneggiata, moderatamente danneggiata o severamente danneggiata:



Il legame carico-scorrimento laterale del puntone equivalente è fornito nella figura sottostante, dove il parametro d , che indica lo scorrimento laterale non lineare associato al pannello, è definito nella Tabella 7-7 della FEMA 273.

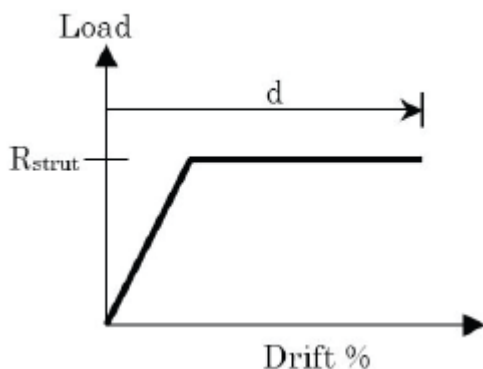


Table 7-7 Nonlinear Static Procedure—Simplified Force-Deflection Relations for Masonry Infill Panels

$\beta = \frac{V_{fre}}{V_{ine}}$	$\frac{L_{inf}}{h_{inf}}$	c	d %	e %	Acceptance Criteria	
					LS %	CP %
$0.3 \leq \beta < 0.7$	0.5	n.a.	0.5	n.a.	0.4	n.a.
	1.0	n.a.	0.4	n.a.	0.3	n.a.
	2.0	n.a.	0.3	n.a.	0.2	n.a.
$0.7 \leq \beta < 1.3$	0.5	n.a.	1.0	n.a.	0.8	n.a.
	1.0	n.a.	0.8	n.a.	0.6	n.a.
	2.0	n.a.	0.6	n.a.	0.4	n.a.
$\beta \geq 1.3$	0.5	n.a.	1.5	n.a.	1.1	n.a.
	1.0	n.a.	1.2	n.a.	0.9	n.a.
	2.0	n.a.	0.9	n.a.	0.7	n.a.

La resistenza a compressione del puntone R_{strut} è determinata calcolando il carico richiesto per raggiungere la resistenza a schiacciamento, R_{cr} , e quello richiesto per raggiungere la resistenza a taglio, R_{shear} , della muratura.


$$R_{strut} = \min\{R_{cr}, R_{shear} / \cos \theta_{strut}\}$$

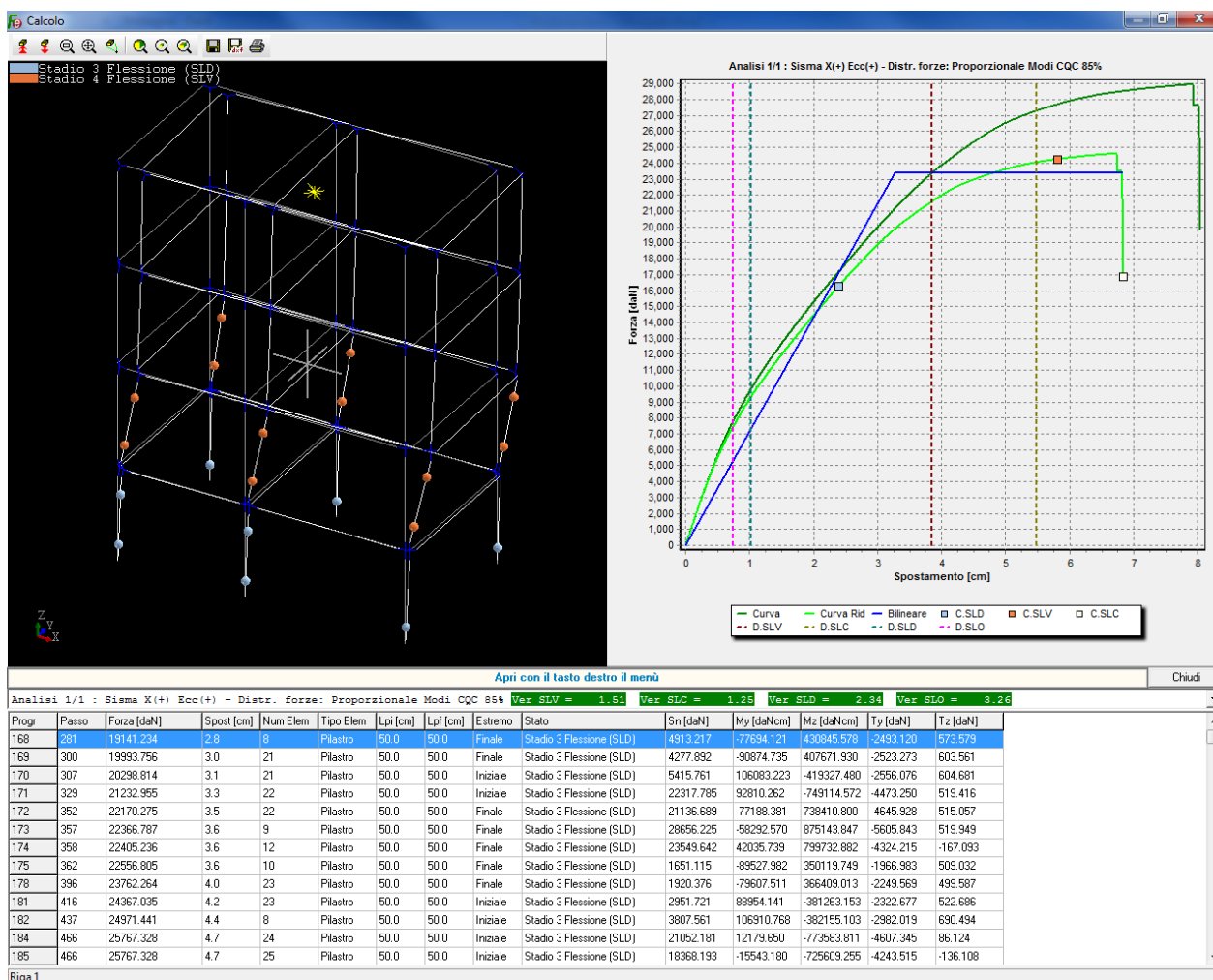
$$\tan \theta_{strut} = \frac{h - 2 l_{column}}{l}$$

$$R_{cr} = a_{red} t f'_m$$

$$R_{shear} = A_n f'_v (R_1)_i (R_2)_i$$

Risultati analisi non lineare.

La visualizzazione dei risultati del calcolo non lineare viene effettuata nell'apposito ambiente di visualizzazione delle curve Pushover. Alla pressione del seguente tasto  viene visualizzata la seguente maschera dei risultati:

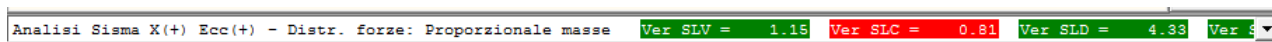


L'ambiente visualizzato è suddiviso in zone:

- Visualizzazione delle deformate (in alto a sinistra);
- Grafico della curva Forza/spostamento (in alto a destra);
- Tabella della "storia" di plasticizzazione

Selezione della curva da visualizzare

La scelta della curva e dei relativi risultati da visualizzare, viene effettuata dal menu a tendina posto al centro della maschera:



Oltre alla descrizione della condizione di carico analizzata vengono riportati i coefficienti di sicurezza delle verifiche per i vari stati limite selezionati. Il colore è indicativo dell'esito della verifica (rosso = non superata).

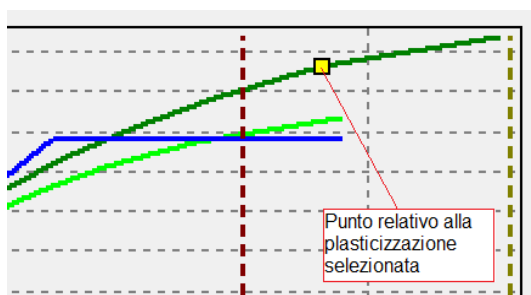
Visualizzazione risultati aste

Lo strumento di selezione attivato nella zona di visualizzazione delle deformate consente di filtrare i risultati della tabella relativamente all'asta corrente.

Così facendo la tabella dei risultati verrà riempita con i soli valori relativi all'asta in esame:

Progr	Passo	Forza [daN]	Spost [cm]	Asta	Lpi [cm]	Lpf [cm]	Estremo	Stato	Sn [daN]	My [daNcm]	Mz [daNcm]	Ty [daN]
17	0	0.000	0.0	9	50.0	50.0	Iniziale	Stadio 2 Flessione	14987.559	87945.679	10504.318	45.438
18	0	0.000	0.0	9	50.0	50.0	Finale	Stadio 1 Flessione	13862.559	-27625.806	-3127.116	45.438
70	6	3021.245	0.1	9	50.0	50.0	Finale	Stadio 2 Flessione	14046.068	-27639.535	111943.253	-495.060
85	25	21254.723	1.9	9	50.0	50.0	Finale	Stadio 3 Flessione	14568.213	-8550.907	669281.265	-4155.139
89	26	22762.400	2.4	9	50.0	50.0	Iniziale	Stadio 3 Flessione	15744.043	41790.071	-685881.230	-4558.036

Cliccando sulle singole righe (evidenziate dal colore giallo) sarà possibile visualizzare nella curva il punto relativo alla plasticizzazione selezionata:



Nella tabella sono riportati i seguenti campi:

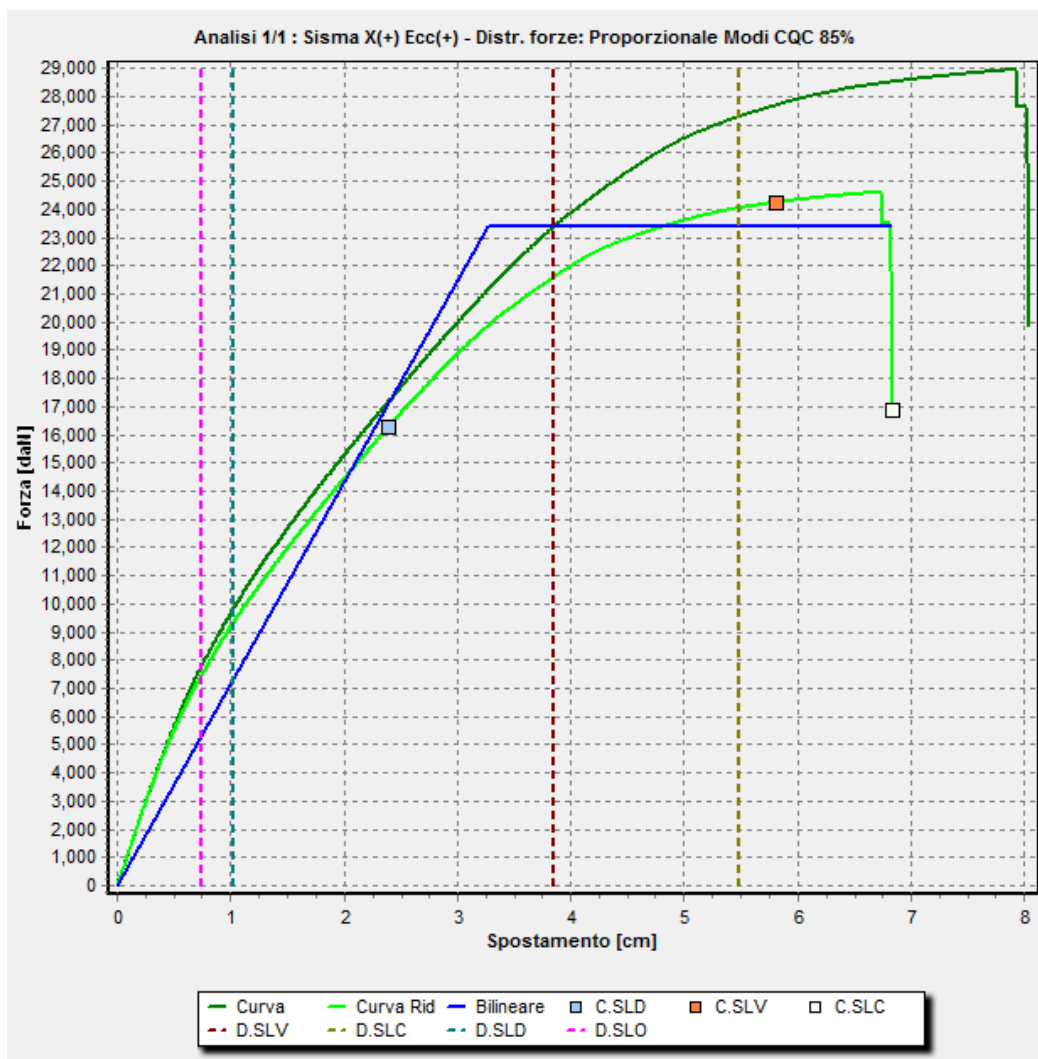
- Passo (valore del moltiplicatore delle forze);
- Forza (valore della forza orizzontale applicata sulla struttura - Taglio alla base della struttura);
- Spost (spostamento corrispondente alla forza applicata);
- Asta (numero dell'asta di calcolo);
- Lpi (lunghezza della cerniera plastica all'estremo iniziale);
- Lpf (lunghezza della cerniera plastica all'estremo finale);
- Estremo (estremo analizzato: iniziale o finale);
- Stato (tipo di plasticizzazione corrente);

In merito allo "Stato" dell'estremo, i possibili casi che si possono presentare sono:

- Stadio 1 Flessione (sezione integra);
- Stadio 2 Flessione (sezione con calcestruzzo fessurato);
- Stadio 3 Flessione (sezione in campo plastico);

- Stadio 4 Flessione (sezione in campo plastico a 3/4 della rottura);
- Rottura Flessione (rottura della sezione a flessione);
- Rottura Compressione (rottura della sezione per schiacciamento del calcestruzzo);
- Rottura Taglio (rottura della sezione per taglio);
- Rottura del nodo travi-pilastro.

Lettura del diagramma Pushover

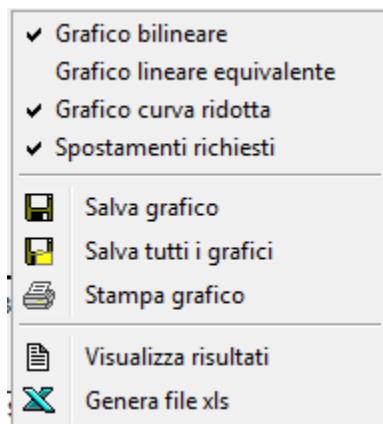


La curva pushover (diagramma forza/spostamento) viene visualizzata nella parte destra dell'ambiente di visualizzazione dei risultati. Nel diagramma sono presenti:

- Curva di capacità della struttura (verde scuro);
- Curva di capacità ridotta (verde chiaro);
- Bilineare equivalente (blu);
- Punto capacità di spostamento SLD;
- Punto capacità di spostamento SLV;
- Punto capacità di spostamento SLC;
- Domanda di spostamento SLO (riga verticale fucsia);
- Domanda di spostamento SLD (riga verticale azzurra);
- Domanda di spostamento SLV (riga verticale marrone);
- Domanda di spostamento SLC (riga verticale grigia).

La verifica è superata se lo spostamento massimo della bilineare equivalente è superiore alla domanda di capacità per i vari stati limite.

Cliccando con il tasto destro sul diagramma viene visualizzato il menu delle opzioni:



Cliccando su “Visualizza risultati” vengono visualizzati i dettagli relativi ai parametri delle curve e della verifiche effettuate. Si riporta un esempio di output generato:

VISUALIZZA RISULTATI CALCOLO

Analisi Sisma X(+) Ecc(+) - Distr. forze: Proporzionale masse

Struttura

Massa partecipante del sistema bilineare equivalente (m*)	58.7 kgm
Fattore di partecipazione massa	89.0 %
Rigidezza del sistema bilineare equivalente (k*)	15096.7 kg/cm
Periodo di vibrazione del sistema bilineare equivalente (T*)	0.392 sec
Forza di snervamento del sistema bilineare equivalente (F*y)	17592.8 kg
Spettro di risposta elastico (Se(T*))	430.8 cm/sec ²
Fattore di struttura (q* = m* Se(T*) / F*y)	1.44
Coefficiente di partecipazione	1.22
Rapporto au/a1	1.36

Verifica SLV

Capacità di spostamento	1.92893 cm
Spostamento richiesto	1.67525 cm
Coefficiente di sicurezza	1.15
Verifica Soddisfatta	

Verifica SLC

Capacità di spostamento	1.92893 cm
Spostamento richiesto	2.38234 cm
Coefficiente di sicurezza	0.81
Verifica Non Soddisfatta	

Verifica SLD

Capacità di spostamento	1.92893 cm
Spostamento richiesto	0.44524 cm
Coefficiente di sicurezza	4.33
Verifica Soddisfatta	

Verifica SLO

Capacità di spostamento	1.92893 cm
Spostamento richiesto	0.31993 cm
Coefficiente di sicurezza	6.03
Verifica Soddisfatta	

PGA SLV

Fattore di suolo (Ss)	1.00
Fattore di amplificazione topografica (St)	1.00
Ag_CLV (Accelerazione massima di base)	0.225
Ag_DLV (Accelerazione di riferimento)	0.194
PGA_CLV = Ss*St*Ag_CLV	0.225
PGA_DLV = Ss*St*Ag_DLV	0.194
TR_CLV (Tempo di ritorno)	685.000
TR_DLV (Tempo di ritorno di riferimento)	476.000
Indicatore di rischio accelerazioni (PGA_CLV/PGA_DLV)	1.160
a	1/2.43
Indicatore di rischio tempi di ritorno (TR_CLV/TR_DLV)^a	1.162

PGA SLC

Fattore di suolo (Ss)	1.00
Fattore di amplificazione topografica (St)	1.00
Ag_CLC (Accelerazione massima di base)	0.700
Ag_DLC (Accelerazione di riferimento)	0.260
PGA_CLC = Ss*St*Ag_CLC	0.700
PGA_DLC = Ss*St*Ag_DLC	0.260
TR_CLC (Tempo di ritorno)	2475.000
TR_DLC (Tempo di ritorno di riferimento)	977.000
Indicatore di rischio accelerazioni (PGA_CLC/PGA_DLC)	2.692
a	1/2.43



```
Indicatore di rischio tempi di ritorno (TR_CLD/TR_DLC)^a.....1.466

PGA SLD
Fattore di suolo (Ss).....1.00
Fattore di amplificazione topografica (St).....1.00
Ag_CLD (Accelerazione massima di base).....0.425
Ag_DLD (Accelerazione di riferimento).....0.065
PGA_CLD = Ss*St*Ag_CLD.....0.425
PGA_DLD = Ss*St*Ag_DLD.....0.065
TR_CLD (Tempo di ritorno).....2475.000
TR_DLD (Tempo di ritorno di riferimento).....49.000
Indicatore di rischio accelerazioni (PGA_CLD/PGA_DLD).....6.538
a.....1/2.43
Indicatore di rischio tempi di ritorno (TR_CLD/TR_DLD)^a.....5.023

PGA SLO
Fattore di suolo (Ss).....1.00
Fattore di amplificazione topografica (St).....1.00
Ag_CLO (Accelerazione massima di base).....0.455
Ag_DLO (Accelerazione di riferimento).....0.050
PGA_CLO = Ss*St*Ag_CLO.....0.455
PGA_DLO = Ss*St*Ag_DLO.....0.050
TR_CLO (Tempo di ritorno).....2475.000
TR_DLO (Tempo di ritorno di riferimento).....30.000
Indicatore di rischio accelerazioni (PGA_CLO/PGA_DLO).....9.100
a.....1/2.43
Indicatore di rischio tempi di ritorno (TR_CLO/TR_DLO)^a.....6.147
```

Link Utili.

<http://host.uniroma3.it/dipartimenti/dis/didattica/Sismica/Dispense/2007/Pushover-dispensa-07-05-13.pdf>

http://www.dica.unict.it/users/agheresi/AggProfess/Corsi3274/Teramo/Altro/Sismica_Pushover.pdf