

Test di validazione

www.stacec.com



Software per edifici in muratura



INFORMATIVA SULL'AFFIDABILITÀ DEI CODICI

D.M. 17.01.2018 – “Norme tecniche per le costruzioni” – paragrafo 10.2

TEST DI VALIDAZIONE DEL SOFTWARE VEM_{NL}

Confronto dei risultati tra il software VEM_{NL} e il metodo SAM proposto dall’Unità di Ricerca dell’Università di Pavia.



Stacec s.r.l.
Software e servizi per l'ingegneria
Corso Umberto I, 358
89034 – Bovalino (RC)

Tel. 0964/67211
Fax. 0964/61708



Data revisione. 04/2019
VEM_{NL} 25.0.0

TEST DI VALIDAZIONE DEL SOFTWARE VEM_{NL}

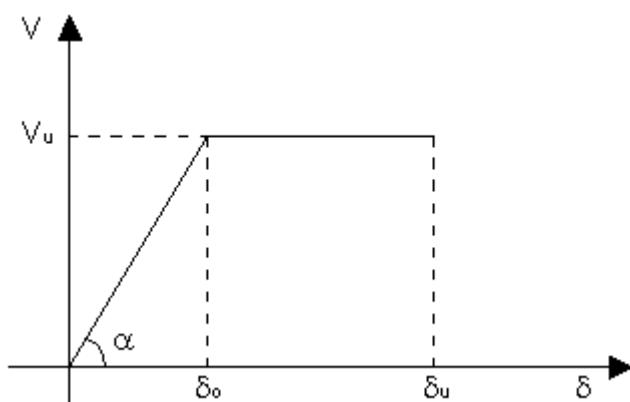
In questo documento vengono confrontati i risultati delle analisi effettuati su edifici in muratura ordinaria ottenuti con il software **VEM_{NL}** ed il metodo **SAM** proposto dall'Unità di Ricerca dell'Università di Pavia.

Il software **VEM_{NL}** consente di effettuare l'analisi statica non lineare (pushover) per edifici in muratura soggette ad azioni orizzontali.

La discretizzazione delle pareti murarie avviene per macro elementi considerando la parete costituita da maschi murari, fasce di piano e conci rigidi (sistema bilineare equivalente).

1. MASCHI MURARI

I maschi murari vengono modellati con un legame costitutivo (Taglio-Spostamento) elastico - perfettamente plastico definito dalla rigidezza **k**, taglio ultimo **V_u**, spostamento elastico **δ₀** e spostamento plastico **δ_u**:



La rigidezza **k** dell'elemento si ottiene tenendo conto della deformazione a flessione e taglio (Timoshenko) data dalla seguente relazione:

$$k = \frac{1}{\frac{h^3}{12EI} + \frac{1.2 \cdot h}{GA}}$$

dove:

- h: è l'altezza del maschio
- E: è il modulo elastico normale della muratura
- G: è il modulo elastico tangenziale della muratura
- I: è il momento d'inerzia della sezione trasversale del maschio
- A: è l'area della sezione trasversale del maschio

Il taglio ultimo V_u del maschio si ottiene dalle seguenti relazioni:

$$V_1 = \frac{l^2 \cdot t \cdot \sigma_0}{2 \cdot h} \left(1 - \frac{\sigma_0}{0.85 \cdot f_d} \right) \quad (\text{Rottura per flessione: punto 7.8.2.2.1 del NTC 17/01/2018})$$

$$V_2 = l' \cdot t \cdot f_{vd} \quad (\text{Rottura per taglio scorimento: punto 7.8.2.2.2 del NTC 17/01/2018})$$

$$V_3 = l \cdot t \cdot \frac{f_{td}}{b} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{f_{td}}} \quad (\text{Rottura per taglio con fessure diagonali: punto C8.7.1.5 della circ. 617/2009})$$

$$V_u = \min(V_1, V_2) \quad (\text{Per edifici di nuova costruzione})$$

$$V_u = \min(V_1, V_3) \quad (\text{Per edifici esistenti})$$

dove:

- h: è l'altezza del maschio
- l: è la lunghezza del maschio
- t: è lo spessore del maschio
- σ_0 : è la tensione normale media riferita all'area totale della sezione trasversale del maschio
- f_d : è la resistenza a compressione della muratura
- l' : è la lunghezza della parte compressa del maschio
- f_{vd} : è la resistenza a taglio del maschio
- f_{td} : è la resistenza a trazione (convenzionale) per fessure diagonali
- b: è un coefficiente correttivo (punto C8.7.1.5 della circ. 617/2009)

Lo spostamento elastico δ_0 si ottiene da:

$$\delta_0 = \frac{V_u}{k}$$

Per lo spostamento ultimo δ_u si possono assumere i seguenti valori:

- 0.008 · h (rottura per flessione)
- 0.006 · h (rottura per flessione)
- 0.004 · h (rottura per taglio)

2. FASCE DI PIANO

Le fasce di piano vengono modellate con un legame costitutivo elastico lineare la cui resistenza è definita dalle seguenti relazioni (punto 7.8.2.2.4 del NTC 17/01/2018):

$$V_t = h \cdot t \cdot f_{vd0} \quad (\text{Rottura per taglio: punto 7.8.2.2.4 del NTC 17/01/2018})$$

$$M_u = \frac{H_p \cdot h}{2} \left[1 - \frac{H_p}{0.85 \cdot f_{hd} \cdot h \cdot t} \right] \quad (\text{Rottura per flessione: punto 7.8.2.2.4 del NTC 17/01/2018})$$

dove:

h : è l'altezza della fascia

t : è lo spessore della fascia

f_{vd0} : è la resistenza di calcolo a taglio in assenza di compressione

f_{hd} : è la resistenza di calcolo a compressione della muratura in direzione orizzontale

H_p : è il minimo tra la resistenza a trazione dell'elemento tesio disposto orizzontalmente ed il valore medio $0.4 \cdot f_{hd} \cdot h \cdot t$

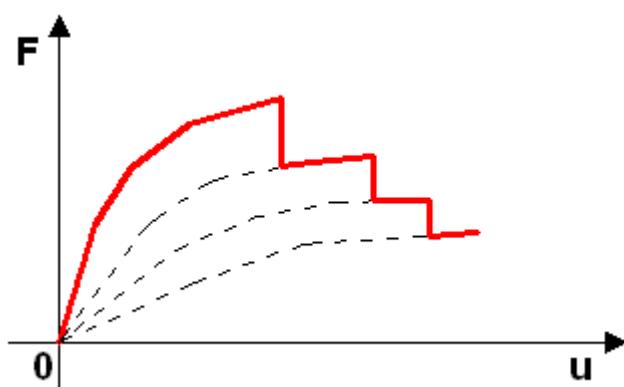
3. CONCI RIGIDI

I conci rigidi sono elementi in muratura non in grado di subire deformazioni che hanno la funzione di collegare i maschi murari e le fasce di piano.

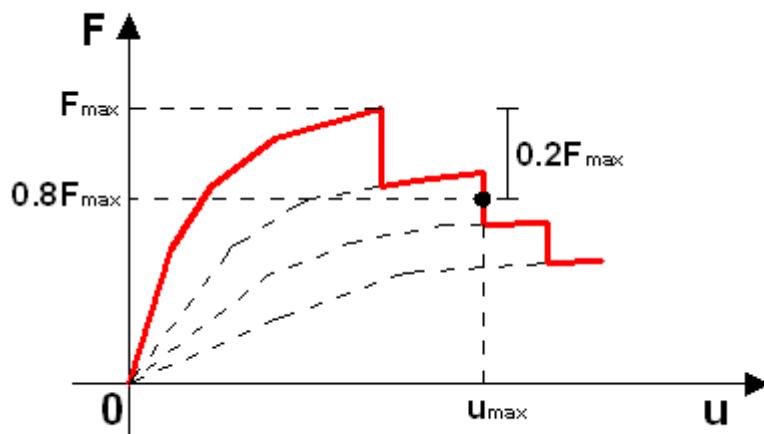
4. CALCOLO DELLA CURVA DI CAPACITA'

La curva di capacità della struttura si ottiene incrementando i carichi orizzontali fino al raggiungimento del collasso della struttura.

Aumentando gradualmente la forza orizzontale, uno o più elementi che compongono la struttura raggiungeranno il taglio limite ' V_u '. A questo punto tali elementi non sono più in condizioni di assorbire ulteriori incrementi per cui si plasticizzano. I successivi incrementi saranno assorbiti dagli elementi che sono ancora in fase elastica ($V < V_u$). Il calcolo termina quando in un piano della struttura non ci sono più elementi in grado di assorbire ulteriori incrementi di carico sismico.

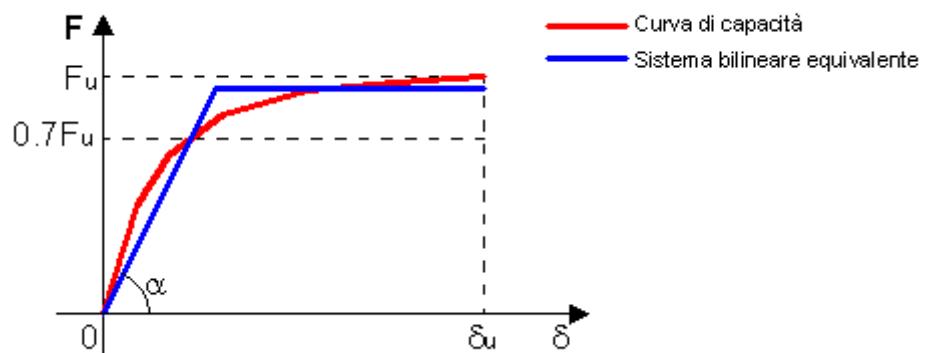


Dalla curva di capacità della struttura si ottiene la "capacità di spostamento" (u_{max}), che definisce lo spostamento massimo che la struttura raggiunge ai fini della verifica. Secondo le normative tale spostamento si ottiene dalla curva di capacità per una riduzione della forza massima (F_{max}) non superiore al 20 % (vedi figura successiva).



5. SISTEMA BILINEARE EQUIVALENTE

La struttura reale viene approssimata ad una struttura ad un solo grado di libertà con comportamento elasto-plastico (sistema bilineare equivalente) definita da una massa partecipante m^* , da una rigidezza k^* ed un periodo di vibrare T^* .



La rigidezza $k^* = \tan(\alpha)$ del sistema equivalente si ottiene dalla corda che unisce l'origine con il punto corrispondente $0.7 \cdot F_u$ della curva di capacità. Il tratto orizzontale della bilatera si ottiene dall'uguaglianza delle aree delimitate dalle due curve. L'area delimitata dalla curva rossa con l'asse delle ascisse (Curva di capacità) e quella delimitata dalla curva blu (Sistema bilineare equivalente) devono essere uguali.

La massa partecipante m^* si ottiene dalla somma di tutte masse dei vari piani moltiplicate per l'autovettore normalizzato del primo modo di vibrare.

Il periodo del sistema bilineare equivalente si ottiene dalla seguente relazione:

$$T^* = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m^*}{k^*}}$$

Dal sistema bilineare equivalente si ottiene lo “**spostamento richiesto**”:

$$d_{max} = \Gamma \cdot d_{max}^*$$

dove:

$$d_{\max}^* = S_{De}(T^*) \quad \text{per} \quad T^* \geq T_c$$

$$d_{\max}^* = \frac{S_{De}(T^*)}{q^*} \left[1 + (q^* - 1) \frac{T_c}{T^*} \right] \quad \text{per} \quad T^* < T_c$$

$$q^* = \frac{S_e(T^*) \cdot m^*}{F_y^*}$$

$$\Gamma = \frac{\sum m_i \cdot \phi^2}{\sum m_i \cdot \phi}$$

6. VERIFICA SISMICA GLOBALE

La verifica consiste nel confrontare la capacità di spostamento (u_{\max}) con lo spostamento richiesto (d_{\max}). La verifica si ritiene soddisfatta quando è soddisfatta la seguente relazione:

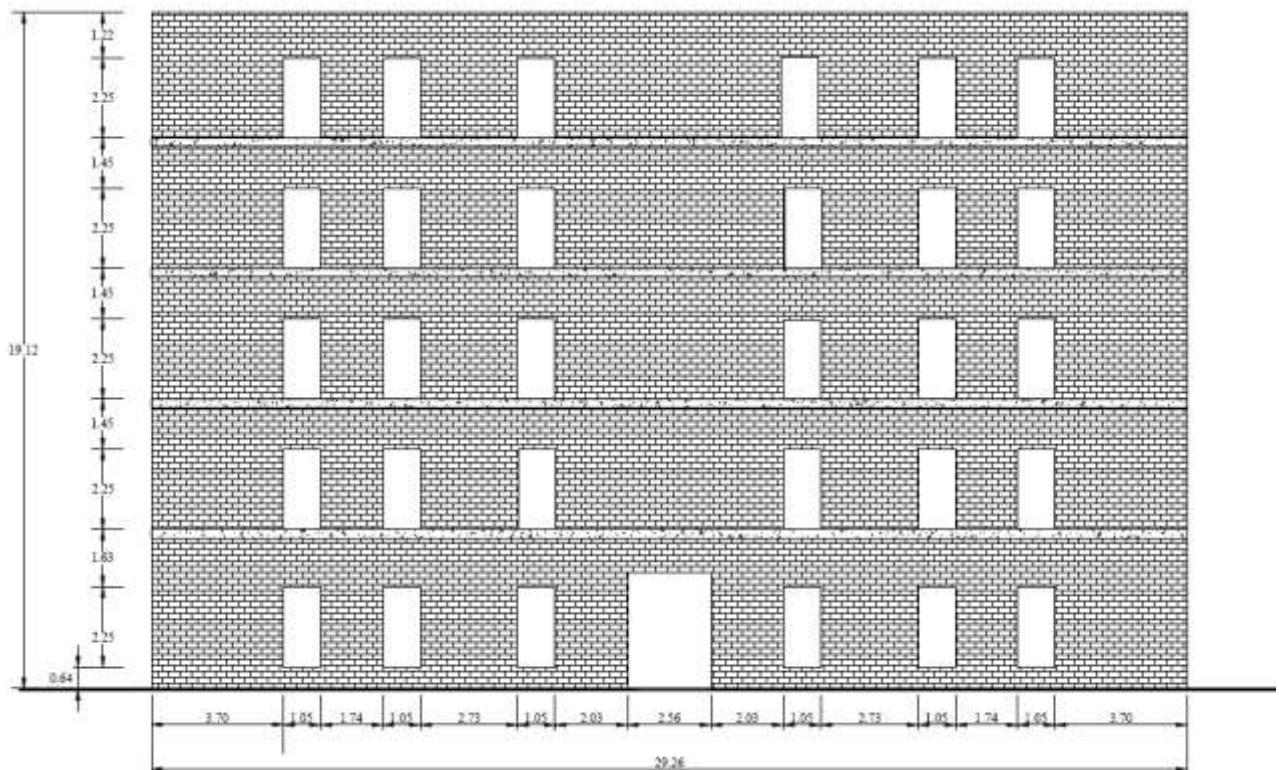
$$u_{\max} \geq d_{\max}$$

7. ESEMPIO 1 (Edificio sito in via Martoglio nel comune di Catania)

Come esempio si confrontano i risultati ottenuti dal software VEM_{NL} con il metodo SAM proposto dall'università di Pavia dal prof. Guido Magenes.

L'edificio in oggetto è sito in via Martoglio nel comune di Catania e si analizza la parete interna della quale si conosce la geometria, i carichi che gravano su di essa e le caratteristiche dei materiali.

La parete è costituita da cinque piani fuori terra, ed ha uno spessore costante nei primi quattro piani di 30 cm, mentre all'ultimo piano ha uno spessore di 16 cm. I cordoli, presenti sui primi 4 livelli hanno dimensione 30x24 cm. La geometria della parete è di seguito riportata:



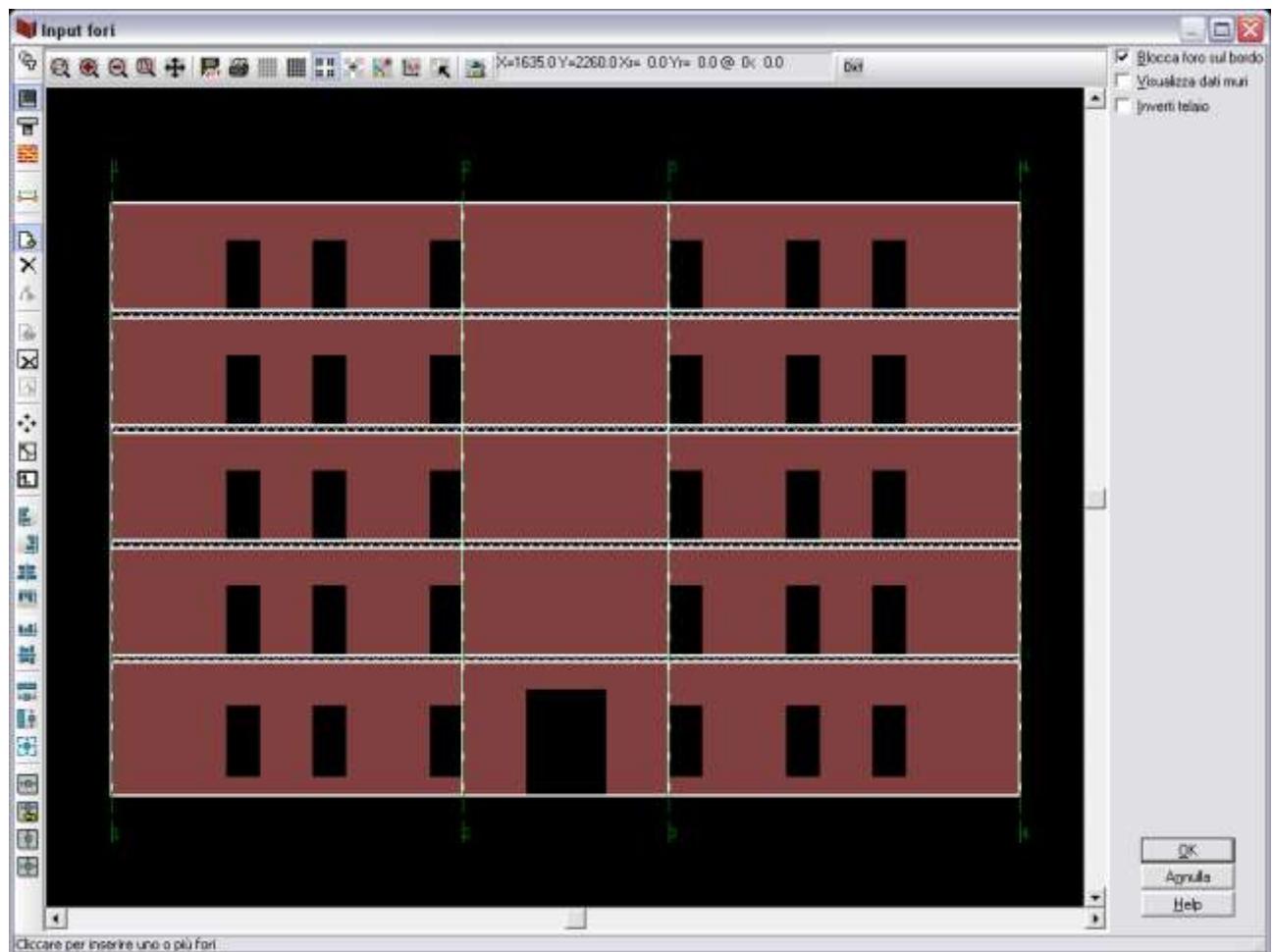
Nella seguente tabella vengono riportate le caratteristiche meccaniche della muratura:

Modulo elastico normale N [kg/cmq]	16000
Modulo elastico tangenziale G [kg/cmq]	3000
Peso specifico [kg/mc]	1700
Resistenza a compressione f_u [kg/cmq]	60
Resistenza tangenziale f_{vk0} [kg/cmq]	1.5
Resistenza normale a trazione f_{tk} [kg/cmq]	1.0

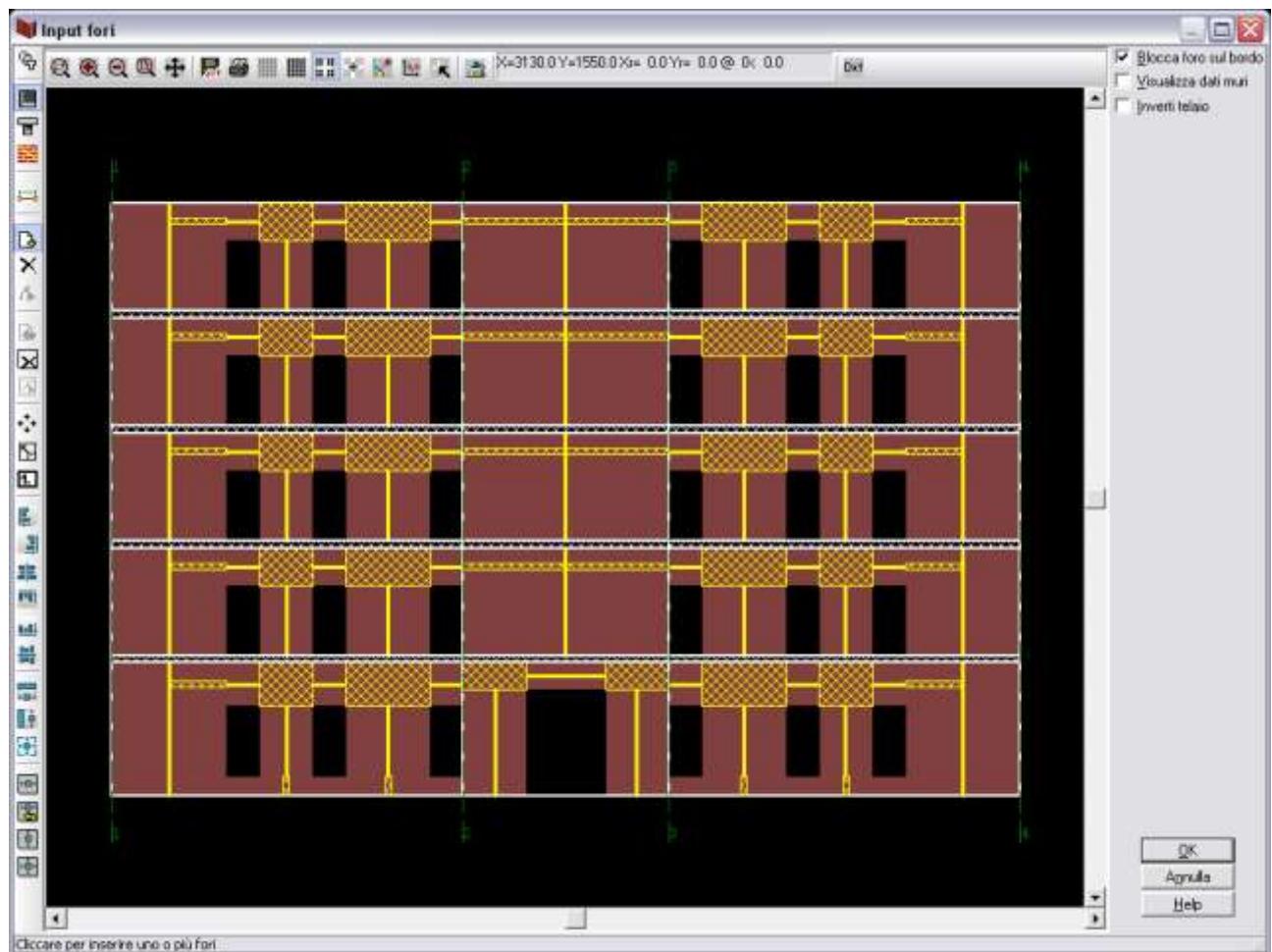
Il peso totale della struttura analizzata è pari a 333524 kg (332700 nell'articolo citato) distribuiti sui vari piani come riportato nella seguente tabella:

Livello	1	2	3	4	5	Totale
Peso [kg]	79006	82587	82587	70970	18192	333342

Nella seguente immagine viene visualizzata la finestra dalla quale è possibile visualizzare la geometria della parete analizzata:



Nella seguente immagine si può osservare come il software VEM_{NL} schematizza tutti gli elementi maschio, fascia e concio rigido:

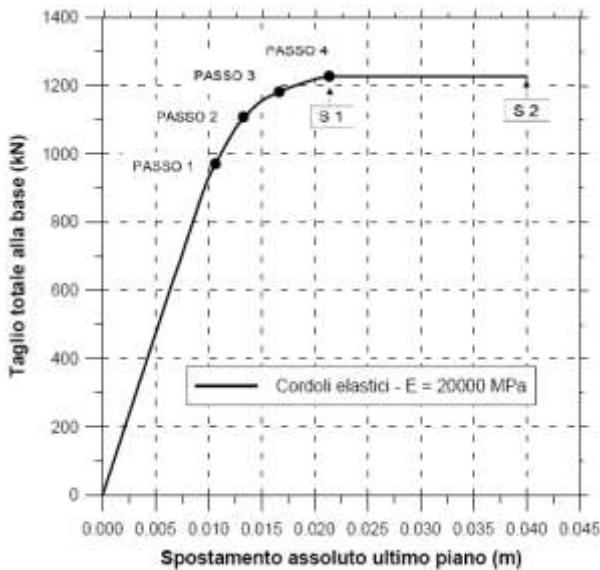


7.1 Confronto dei risultati

In questo paragrafo vengono confrontate le curve di capacità ottenute dal metodo SAM e dal software VEM_{NL}.

	Peso totale struttura [kg]	Forza sismica [kg]	% Forza sismica
SAM	332700	122766	36.90
VEM_{NL}	333342	118435	35.52

Nel caso SAM la forza orizzontale massima che si raggiunge è del 36.90 % di quella dei carichi verticali, mentre nel caso di VEM_{NL} la forza orizzontale massima raggiunge il 35.52 %. Di seguito vengono riportate le curve di capacità ottenute con i due metodi:



Curva ottenuta con il metodo SAM



Curva ottenuta con il metodo VEM_{NL}

Nel caso SAM la forza massima alla base è 122766 kg, mentre lo spostamento ultimo è di circa 2.20 cm (corrispondente al punto S1 in figura). Nel nostro confronto, la curva tra i punti S1 ed S2 non si prende in considerazione in quanto avviene dopo la formazione del meccanismo di piano.

Nel caso del software VEM_{NL} la massima forza raggiunta è di 118435 kg, mentre lo spostamento ultimo è 1.61 cm.

Prendendo in considerazione la curva del metodo SAM fino al punto S1 (corrispondente alla formazione del meccanismo di piano), si può osservare che le due curve sono molto simili.

7.2 Risultati numerici ottenuti dal software VEM_{NL}

7.2.1 Stato degli elementi maschio al collasso della struttura.

- Imp. : numero dell'impalcato
- Fili : numero dei fili fissi iniziale e finale
- Stato : stato al quale si trova l'elemento al collasso della struttura (E = elastico; P = plastico; C = collassato)
- δ : spostamento dell'elemento al collasso della struttura
- δ_0 : spostamento elastico dell'elemento al collasso della struttura
- δ_u : spostamento ultimo dell'elemento al collasso della struttura
- k : rigidezza dell'elemento
- N : sforzo normale raggiunto dalla parete al collasso della struttura
- V : taglio raggiunto dalla parete al collasso della struttura
- V_e : taglio massimo raggiunto dalla parete in fase elastica
- V_u : taglio ultimo dell'elemento al collasso della struttura
- % $_{\delta_0}$: percentuale dello spostamento elastico dell'elemento al collasso della struttura
- % $_{\delta_u}$: percentuale dello spostamento plastico dell'elemento al collasso della struttura

Imp.	Fili	Stato	δ [cm]	δ_0 [cm]	δ_u [cm]	k [daN/cm]	N [daN]	V [daN]	V_e [daN]	V_u [daN]	% $_{\delta_0}$	% $_{\delta_u}$
1	1 - 2	P	0.73	0.37	1.7120	40422	-28146.75	14993.40	7053.95	14993.40	100.0000	26.9302
1	1 - 2	P	0.73	0.40	0.9000	30733	-29582.56	12286.61	6629.73	12286.61	100.0000	66.4292
1	1 - 2	P	0.73	0.48	0.9000	68651	-52434.33	33048.42	12713.67	33048.42	100.0000	59.8840
1	2 - 3	P	0.73	0.51	1.3600	18305	-28895.21	9302.67	6931.96	9302.67	100.0000	26.2810
1	2 - 3	P	0.73	0.57	1.3600	18305	-33034.58	10398.29	6931.96	10398.29	100.0000	20.7092
1	3 - 4	P	0.73	0.62	0.9000	68651	-73418.39	42738.63	16528.78	42738.63	100.0000	39.4756
1	3 - 4	P	0.73	0.58	0.9000	30733	-50631.27	17960.51	8315.56	17960.51	100.0000	46.7916

1	3 - 4	P	0.73	0.72	1.7120	40422	-61521.86	28905.40	13444.42	28905.40	100.0000	1.7038
2	1 - 2	P	0.39	0.29	1.3840	59366	-25886.09	17056.91	7261.09	17056.91	100.0000	8.9971
2	1 - 2	P	0.39	0.28	0.9000	31092	-21003.39	8847.14	6184.15	8847.14	100.0000	16.4810
2	1 - 2	P	0.39	0.34	0.9000	69255	-36075.17	23719.30	11063.51	23719.30	100.0000	7.8005
2	2 - 3	P	0.39	0.32	0.9000	212058	-65465.20	68743.22	27472.35	68743.22	100.0000	10.7347
2	3 - 4	E	0.39	0.43	0.0000	69255	-46955.54	26731.11	11063.51	29904.11	89.3894	0.0000
2	3 - 4	E	0.39	0.40	0.0000	31092	-31917.28	12000.87	6184.15	12563.67	95.5204	0.0000
2	3 - 4	E	0.39	0.49	0.0000	59366	-47292.53	22914.55	9660.83	28852.61	79.4193	0.0000
3	1 - 2	E	0.22	0.21	0.0000	59366	-19785.79	12949.67	6850.10	12711.08	100.0000	0.0000
3	1 - 2	E	0.22	0.21	0.0000	31092	-15545.60	6781.93	6078.11	6546.82	100.0000	0.0000
3	1 - 2	E	0.22	0.25	0.0000	69255	-26081.75	15106.27	10873.79	17545.66	86.0969	0.0000
3	2 - 3	E	0.22	0.29	0.0000	212058	-45775.89	46256.47	27972.68	60867.50	75.9954	0.0000
3	3 - 4	E	0.22	0.31	0.0000	69255	-31976.64	15106.27	10873.79	21187.46	71.2982	0.0000
3	3 - 4	E	0.22	0.28	0.0000	31092	-21458.65	6781.93	6078.11	8823.86	76.8589	0.0000
3	3 - 4	E	0.22	0.33	0.0000	59366	-31383.63	12949.67	6850.10	19733.91	65.6214	0.0000
4	1 - 2	E	0.09	0.18	0.0000	70561	-12151.05	6540.14	6538.71	12714.74	51.4374	0.0000
4	1 - 2	E	0.09	0.15	0.0000	45985	-9305.48	4261.95	4261.34	6944.65	61.3703	0.0000
4	1 - 2	E	0.09	0.22	0.0000	82268	-15308.41	7624.67	7623.58	17893.17	42.6121	0.0000
4	2 - 3	E	0.09	0.24	0.0000	216754	-26086.58	20090.45	19611.53	52991.77	37.9124	0.0000
4	3 - 4	E	0.09	0.25	0.0000	82268	-17777.67	7624.67	7623.58	20651.85	36.9200	0.0000
4	3 - 4	E	0.09	0.19	0.0000	45985	-11782.35	4261.95	4261.34	8708.36	48.9409	0.0000
4	3 - 4	E	0.09	0.25	0.0000	70561	-17009.17	6540.14	6538.71	17642.15	37.0711	0.0000
5	1 - 2	E	0.05	0.08	0.0000	31491	-3772.72	1496.90	1119.07	2470.88	60.5816	0.0000
5	1 - 2	E	0.05	0.07	0.0000	16570	-2755.39	787.53	1024.24	1207.39	65.2256	0.0000
5	1 - 2	E	0.05	0.08	0.0000	36916	-4349.35	1754.49	1832.38	3057.32	57.3866	0.0000
5	2 - 3	E	0.05	0.11	0.0000	113083	-6910.56	5375.31	4602.46	12506.21	42.9811	0.0000
5	3 - 4	E	0.05	0.08	0.0000	36916	-4440.77	1754.49	1832.38	3120.28	56.2287	0.0000
5	3 - 4	E	0.05	0.08	0.0000	16570	-2847.10	787.53	1024.24	1246.75	63.1662	0.0000
5	3 - 4	E	0.05	0.08	0.0000	31491	-3952.07	1496.90	1119.07	2586.79	57.8670	0.0000

7.2.2 Stato degli elementi fascia al collasso della struttura.

Imp. : numero dell'impalcato

Fili : numero dei fili fissi iniziale e finale

Stato : stato al quale si trova la fascia al collasso della struttura (E = elastico; C = collassato)

P : posizione (S = superiore; I = inferiore)

h : altezza della fascia

t : spessore della fascia

l : lunghezza della fascia

V_{sol} : taglio sollecitante

V_u : taglio resistente

Rottura : tipo di rottura (T = taglio; F = flessione)

Imp.	Fili	Stato	P	h [cm]	t [cm]	l [cm]	V _{sol} [daN]	V _u [daN]	Rottura
1	1 - 2	C	S	139.00	30.00	105.00	23436.8	6255.0	T
1	1 - 2	C	S	139.00	30.00	105.00	17832.9	6255.0	T
1	1 - 2	C	S	139.00	30.00	105.00	30105.4	6255.0	T
1	2 - 3	C	S	88.00	30.00	256.00	7660.8	3960.0	T
1	3 - 4	C	S	139.00	30.00	105.00	30105.4	6255.0	T
1	3 - 4	C	S	139.00	30.00	105.00	17832.9	6255.0	T
1	3 - 4	C	S	139.00	30.00	105.00	27413.4	6255.0	T
2	1 - 2	C	S	121.00	30.00	105.00	16481.1	5445.0	T
2	1 - 2	C	S	121.00	30.00	105.00	15047.4	5445.0	T
2	1 - 2	C	S	121.00	30.00	105.00	10347.3	5445.0	T
2	3 - 4	C	S	121.00	30.00	105.00	10347.3	5445.0	T
2	3 - 4	C	S	121.00	30.00	105.00	15047.4	5445.0	T
2	3 - 4	C	S	121.00	30.00	105.00	16481.1	5445.0	T
3	1 - 2	C	S	121.00	30.00	105.00	9950.4	5445.0	T
3	1 - 2	C	S	121.00	30.00	105.00	6547.5	5445.0	T
3	1 - 2	C	S	121.00	30.00	105.00	6634.2	5445.0	T
3	3 - 4	C	S	121.00	30.00	105.00	6634.2	5445.0	T
3	3 - 4	C	S	121.00	30.00	105.00	6547.5	5445.0	T
3	3 - 4	C	S	121.00	30.00	105.00	9950.4	5445.0	T
4	1 - 2	E	S	121.00	30.00	105.00	5264.7	5445.0	-
4	1 - 2	E	S	121.00	30.00	105.00	2730.6	5445.0	-
4	1 - 2	E	S	121.00	30.00	105.00	3890.6	5445.0	-
4	3 - 4	E	S	121.00	30.00	105.00	3890.6	5445.0	-
4	3 - 4	E	S	121.00	30.00	105.00	2730.6	5445.0	-

4	3 - 4	E	S	121.00	30.00	105.00	5264.7	5445.0	-
5	1 - 2	C	S	122.00	16.00	105.00	1189.3	904.6	F
5	1 - 2	C	S	122.00	16.00	105.00	1316.4	904.6	F
5	1 - 2	C	S	122.00	16.00	105.00	915.7	904.6	F
5	3 - 4	C	S	122.00	16.00	105.00	915.7	904.6	F
5	3 - 4	C	S	122.00	16.00	105.00	1316.4	904.6	F
5	3 - 4	C	S	122.00	16.00	105.00	1189.3	904.6	F

7.2.3 Calcolo della curva di capacità della struttura.

- Num. Prog. : numero progressivo della parete che si plasticizza
 Tipo Elem. : Tipo di elemento che si plasticizza (parete in muratura, pilastro in c.a.)
 Imp. : numero dell'impalcato
 Fili : numero dei fili fissi iniziale e finale
 L : lunghezza della parete
 H : altezza della parete
 t : spessore della parete
 Vu : resistenza a taglio dell'elemento
 k : rigidezza dell'elemento
 δ_0 : spostamento al limite elastico dell'elemento
 δ_u : spostamento ultimo dell'elemento
 F : forza orizzontale totale applicata (taglio alla base)
 u : spostamento del punto di controllo (copertura della struttura)
 S : moltiplicatore di collasso

Num. Prog.	Tipo Elem.	Imp.	Fili	L [cm]	H [cm]	t [cm]	Vu [daN]	k [daN/cm]	δ_0 [cm]	δ_u [cm]	F [daN]	u [cm]	S
1	Fascia	1	1 - 2	105.00	139.00	30.00	6255.00	-	-	-	48114.30	0.3113	130.00
2	Fascia	1	3 - 4	105.00	139.00	30.00	6255.00	-	-	-	48114.30	0.3113	130.00
3	Fascia	2	1 - 2	105.00	121.00	30.00	5445.00	-	-	-	57367.05	0.3626	155.00
4	Fascia	2	3 - 4	105.00	121.00	30.00	5445.00	-	-	-	57367.05	0.3626	155.00
5	Fascia	1	1 - 2	105.00	139.00	30.00	6255.00	-	-	-	59217.60	0.3754	160.00
6	Fascia	1	3 - 4	105.00	139.00	30.00	6255.00	-	-	-	59217.60	0.3754	160.00
7	Fascia	1	1 - 2	105.00	139.00	30.00	6255.00	-	-	-	61068.16	0.3889	165.00
8	Fascia	1	3 - 4	105.00	139.00	30.00	6255.00	-	-	-	61068.16	0.3889	165.00
9	Fascia	1	2 - 3	256.00	88.00	30.00	3960.00	-	-	-	74022.01	0.5149	200.00
10	Fascia	2	1 - 2	105.00	121.00	30.00	5445.00	-	-	-	74022.01	0.5149	200.00
11	Fascia	2	3 - 4	105.00	121.00	30.00	5445.00	-	-	-	74022.01	0.5149	200.00
12	Fascia	3	1 - 2	105.00	121.00	30.00	5445.00	-	-	-	74022.01	0.5149	200.00
13	Fascia	3	3 - 4	105.00	121.00	30.00	5445.00	-	-	-	74022.01	0.5149	200.00
14	Fascia	2	1 - 2	105.00	121.00	30.00	5445.00	-	-	-	75872.56	0.5335	205.00
15	Fascia	2	3 - 4	105.00	121.00	30.00	5445.00	-	-	-	75872.56	0.5335	205.00
16	Fascia	5	1 - 2	105.00	122.00	16.00	904.56	-	-	-	85125.31	0.6671	230.00
17	Fascia	5	3 - 4	105.00	122.00	16.00	904.56	-	-	-	85125.31	0.6671	230.00
18	Fascia	3	1 - 2	105.00	121.00	30.00	5445.00	-	-	-	96228.61	0.8336	260.00
19	Fascia	3	1 - 2	105.00	121.00	30.00	5445.00	-	-	-	96228.61	0.8336	260.00
20	Fascia	3	3 - 4	105.00	121.00	30.00	5445.00	-	-	-	96228.61	0.8336	260.00
21	Fascia	3	3 - 4	105.00	121.00	30.00	5445.00	-	-	-	96228.61	0.8336	260.00
22	Parete (P)	1	1 - 2	370.0	428	30	14993.40	40421.96	0.3709	1.7120	96228.61	0.8613	260.00
23	Parete (P)	1	1 - 2	174.0	225	30	12286.61	30733.43	0.3998	0.9000	99929.71	0.9295	270.00
24	Parete (P)	1	1 - 2	273.0	225	30	33048.42	68651.38	0.4814	0.9000	107331.91	1.0741	290.00
25	Parete (P)	2	1 - 2	370.0	346	30	17056.91	59366.31	0.2873	1.3840	107331.91	1.0741	290.00
26	Parete (P)	2	1 - 2	174.0	225	30	8847.14	31091.95	0.2845	0.9000	107331.91	1.0741	290.00
27	Parete (P)	1	2 - 3	203.0	340	30	9302.67	18304.53	0.5082	1.3600	109182.46	1.1187	295.00
28	Fascia	5	1 - 2	105.00	122.00	16.00	904.56	-	-	-	111033.01	1.1187	300.00
29	Fascia	5	3 - 4	105.00	122.00	16.00	904.56	-	-	-	111033.01	1.1187	300.00
30	Fascia	5	1 - 2	105.00	122.00	16.00	904.56	-	-	-	112883.56	1.1666	305.00
31	Fascia	5	3 - 4	105.00	122.00	16.00	904.56	-	-	-	112883.56	1.1666	305.00
32	Parete (P)	2	2 - 3	662.0	225	30	68743.22	212057.60	0.3242	0.9000	112883.56	1.2148	305.00
33	Parete (P)	1	2 - 3	203.0	340	30	10398.29	18304.53	0.5681	1.3600	114734.11	1.2701	310.00
34	Parete (P)	1	3 - 4	174.0	225	30	17960.51	30733.43	0.5844	0.9000	114734.11	1.2701	310.00
35	Parete (P)	1	3 - 4	273.0	225	30	42738.63	68651.38	0.6225	0.9000	116584.66	1.3401	315.00
36	Parete (P)	2	1 - 2	273.0	225	30	23719.30	69255.17	0.3425	0.9000	116584.66	1.3401	315.00
37	Parete (P)	1	3 - 4	370.0	428	30	28905.40	40421.96	0.7151	1.7120	118435.21	1.3401	320.00

7.3 Sistema bilineare equivalente

Per questa fase di verifica non è possibile fare dei confronti in quanto non riportato nell'articolo citato.

- m^* : massa partecipante del sistema bilineare equivalente;
- m_t : massa totale della struttura;
- $\%m^*/m_t$: percentuale della massa partecipante;
- k^* : rigidezza del sistema bilineare equivalente;
- T^* : periodo fondamentale del sistema bilineare equivalente;
- F_y^* : forza di snervamento del sistema bilineare equivalente;
- $S_e(T^*)$: Spettro di risposta elastico al periodo T^*
- q : fattore di struttura del sistema bilineare equivalente;
- Γ : Coefficiente di partecipazione

m^* [kgm]	m_t [kgm]	$\% m^*/m_t$	k^* [kg/cm]	T^* [sec]	F_y^* [kg]	$S_e(T^*)$ [cm/sec ²]	q^*	Γ
238.1	339.9	70.04	127063.4	0.2720	87881.3	442.6	1.19	1.295

7.4 Esito della verifica

- u_{max} : capacità di spostamento della struttura;
- d_{max} : spostamento richiesto;
- S : coefficiente di sicurezza;
- Esito : esito della verifica;

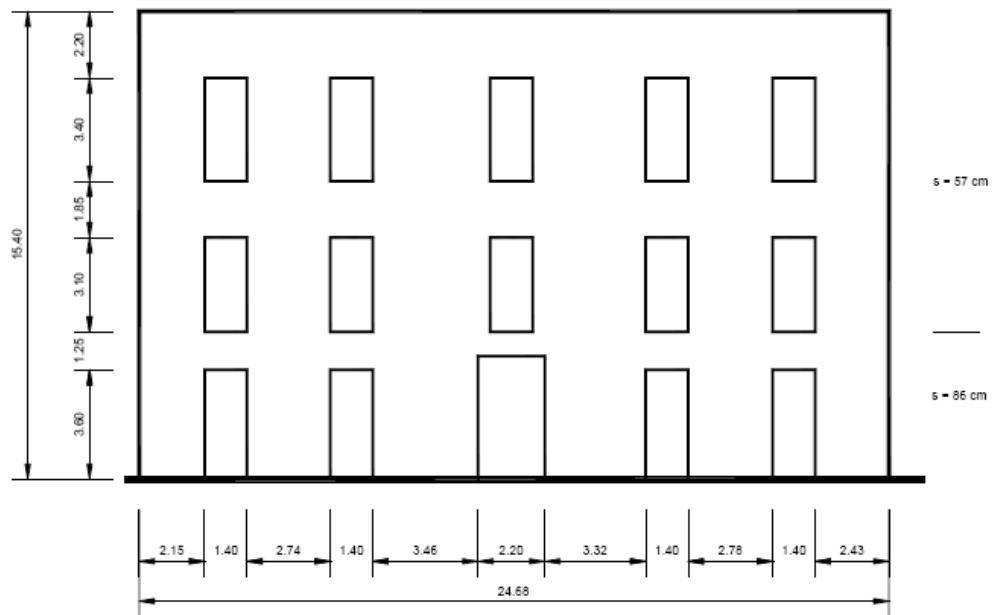
u_{max} [cm]	d_{max} [cm]	S	Esito
1.61	1.14	1.41	V

8. ESEMPIO 2 (Edificio sito in via Capuana nel comune di Catania)

Come secondo esempio si confrontano i risultati ottenuti dal software VEM_{NL} e dal metodo SAM proposto dall'università di Pavia dal prof. Guido Magenes relativo all'edificio in via Capuana nel comune di Catania.

8.1 Parete A

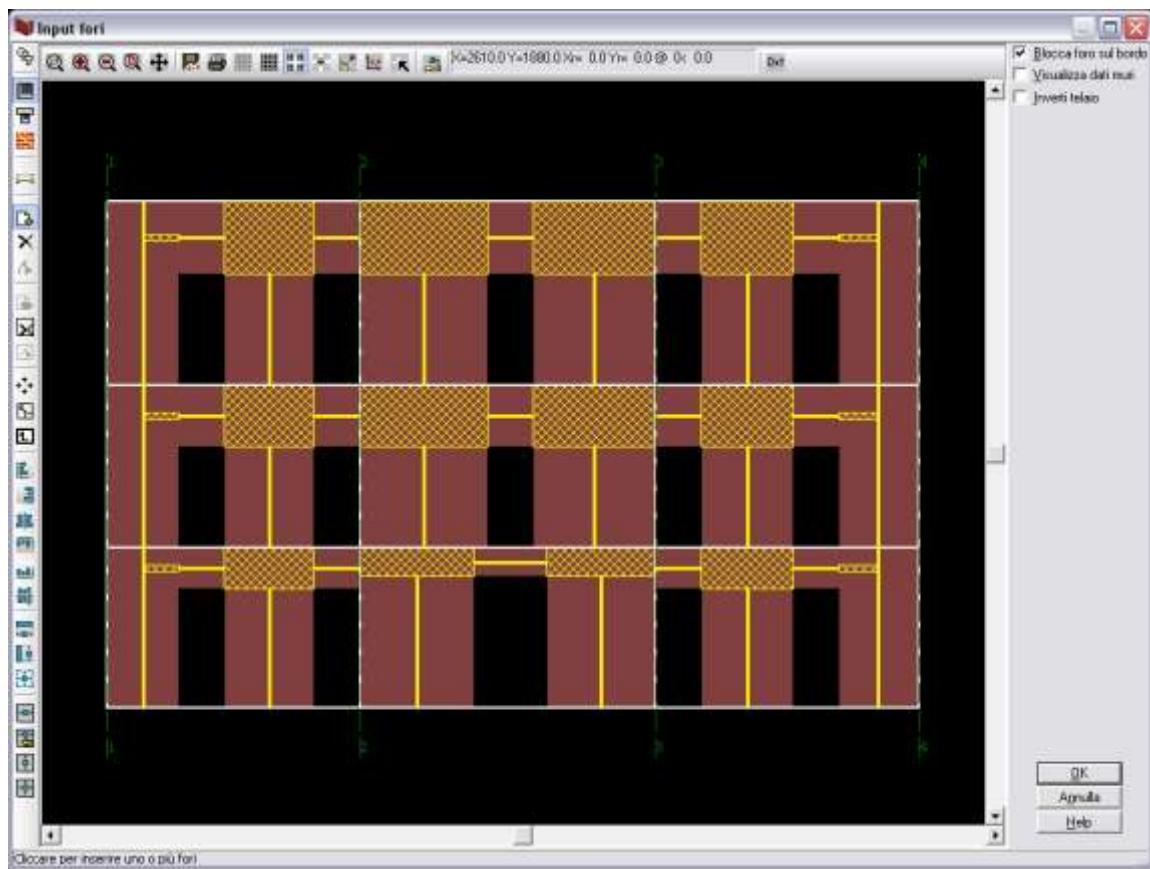
La parete A è costituita da tre piani fuori terra, ed ha uno spessore costante nel primo piano di 86 cm, mentre al piano 2 e 3 la muratura ha uno spessore di 57 cm. In questo caso non sono presenti cordoli in c.a.:



Nella seguente tabella vengono riportati le caratteristiche meccaniche della muratura:

Modulo elastico normale N [kg/cmq]	15000
Modulo elastico tangenziale G [kg/cmq]	1500
Peso specifico [kg/mc]	1900
Resistenza a compressione f_u [kg/cmq]	24
Resistenza tangenziale [kg/cmq]	2.0
Resistenza normale a trazione f_{tk} [kg/cmq]	2.0

Nella seguente immagine si può osservare come il software VEM_{NL} schematizza tutti gli elementi maschio, fascia e concio rigido:

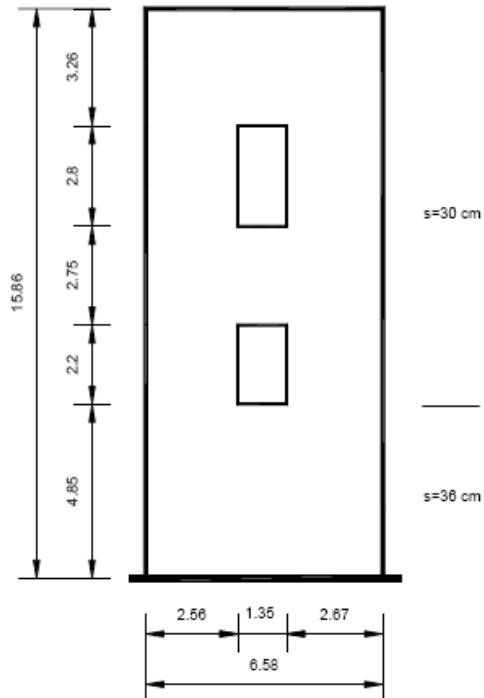


Confronto tra il metodo SAM e VEM_{NL}

	Peso totale struttura [kg]	Forza sismica [kg]	% Forza sismica
SAM	376200	111000	29.50
VEM_{NL}	377021	108346	28.73

8.2 Parete B

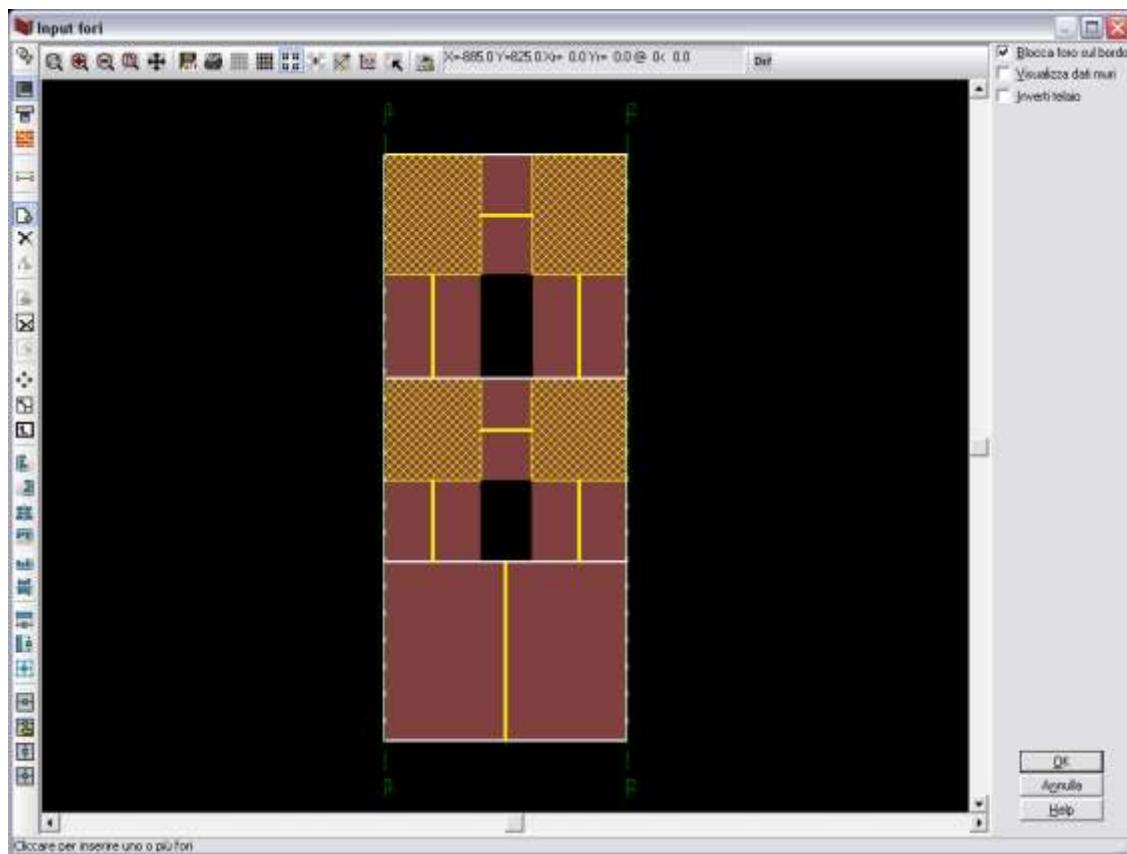
La parete B è costituita da tre piani fuori terra, ed ha uno spessore costante nel primo piano di 36 cm, mentre al piano 2 e 3 la muratura ha uno spessore di 30 cm. In questo caso non sono presenti cordoli in c.a.:



Nella seguente tabella vengono riportati le caratteristiche meccaniche della muratura:

Modulo elastico normale N [kg/cmq]	15000
Modulo elastico tangenziale G [kg/cmq]	1500
Peso specifico [kg/mc]	1900
Resistenza a compressione f_u [kg/cmq]	24
Resistenza tangenziale [kg/cmq]	2.0
Resistenza normale a trazione f_{tk} [kg/cmq]	2.0

Nella seguente immagine si può osservare come il software **VEM_{NL}** schematizza tutti gli elementi maschio, fascia e concio rigido:

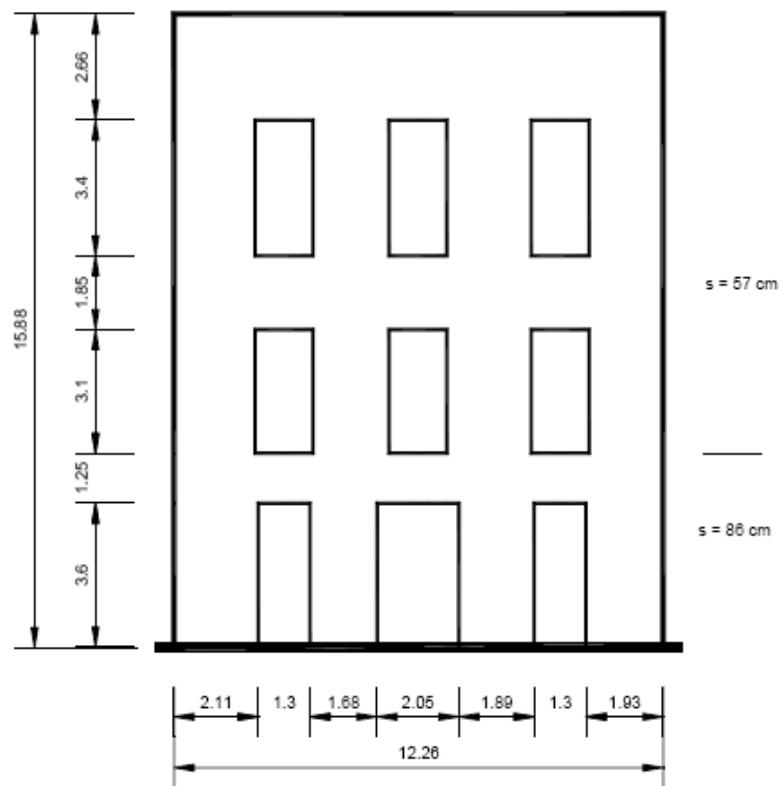


Confronto tra il metodo SAM e VEM_{NL}

	Peso totale struttura [kg]	Forza sismica [kg]	% Forza sismica
SAM	77952	19800	25.40
VEM_{NL}	77267	20413	26.42

8.3 Parete D

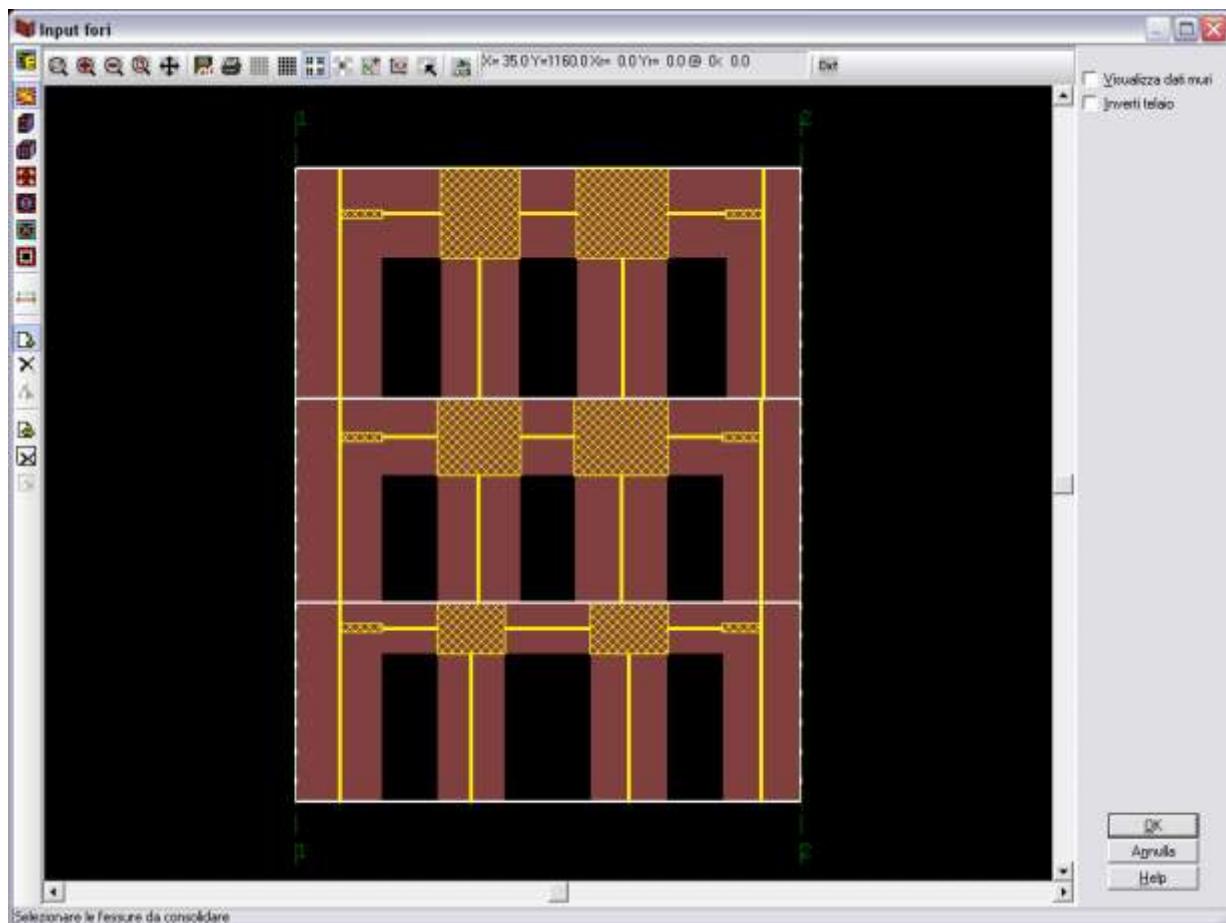
La parete D è costituita da tre piani fuori terra, ed ha uno spessore costante nel primo piano di 86 cm, mentre al piano 2 e 3 la muratura ha uno spessore di 57 cm. In questo caso non sono presenti cordoli in c.a.:



Nella seguente tabella vengono riportati le caratteristiche meccaniche della muratura:

Modulo elastico normale N [kg/cmq]	15000
Modulo elastico tangenziale G [kg/cmq]	1500
Peso specifico [kg/mc]	1900
Resistenza a compressione f_u [kg/cmq]	24
Resistenza tangenziale [kg/cmq]	2.0
Resistenza normale a trazione f_{tk} [kg/cmq]	2.0

Nella seguente immagine si può osservare come il software VEM_{NL} schematizza tutti gli elementi maschio, fascia e concio rigido:



Confronto tra il metodo SAM e VEM_{NL}

	Peso totale struttura [kg]	Forza sismica [kg]	% Forza sismica
SAM	190612	46700	24.50
VEM_{NL}	190708	45798	24.01

9. CONCLUSIONI

In questo breve documento sono stati confrontati i risultati della curva di capacità ottenuti con il software VEM_{NL} ed il metodo SAM.

Nei test effettuati si è cercato di mantenere per quanto più possibile le stesse caratteristiche della struttura nei due casi. Tuttavia, nei risultati ci possono essere differenze dovute ad esempio, alla schematizzazione degli elementi maschio e fasce, alla distribuzione dei carichi sismici sui vari piani ed alla schematizzazione dei cordoli.

Nella successiva tabella vengono riportate le differenze in percentuale tra le due applicazioni:

	SAM (%)	VEM_{NL} (%)	Differenze (%)
Esempio 1	36.90	35.52	- 3.73
Esempio 2 (Parete A)	29.50	28.73	- 2.61
Esempio 2 (Parete B)	25.40	26.42	+ 4.02
Esempio 2 (Parete D)	24.50	24.01	- 2.00