

DOCUMENTO redatto da AEDES Software (31.07.2015)

a cura di: Ing. Francesco Pugi

Pilastri consolidati con angolari: traccia operativa e alcune considerazioni

In base ad una richiesta di assistenza, è stato elaborato un esempio che condividiamo con tutti gli Utenti di PCM, avendo l'occasione di alcune interessanti osservazioni, in particolare in analisi pushover.

Preso come riferimento il progetto Ex_ECS_702 fornito con l'installazione di PCM nel gruppo di esempi di ECS, si è salvata una copia per apportare alcune modifiche.

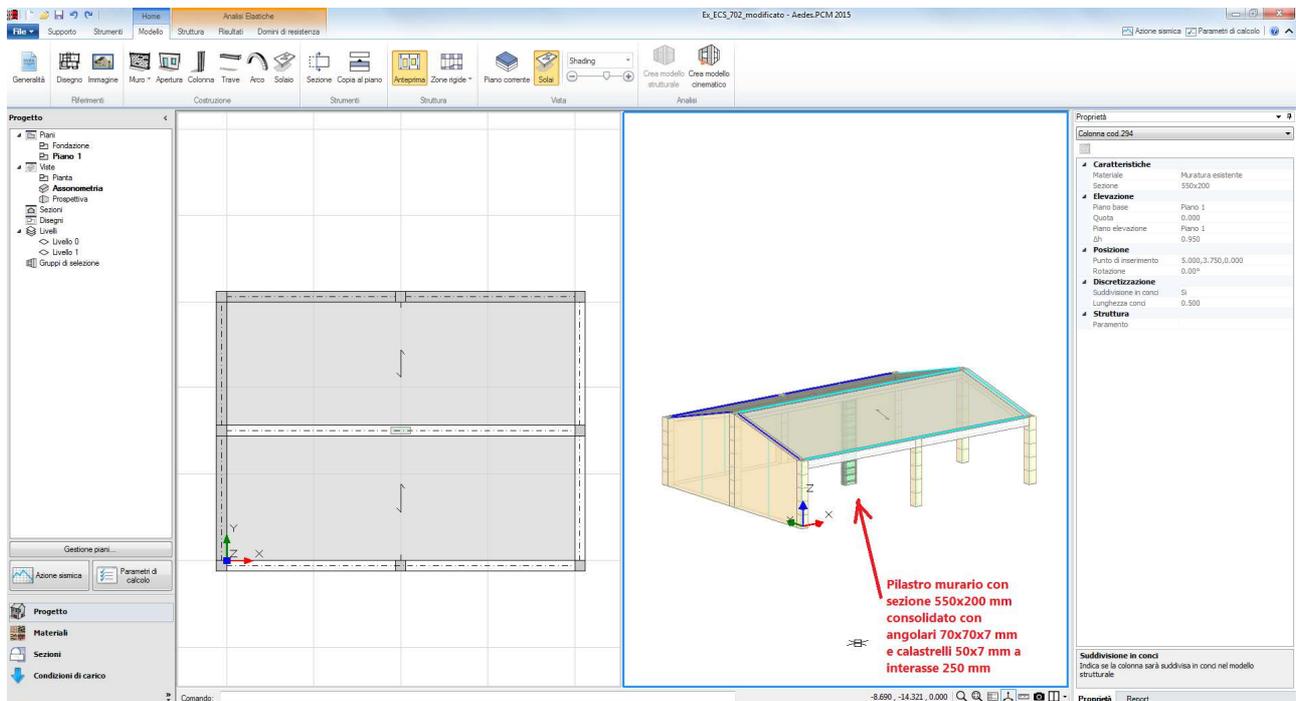
Il file modificato: *Ex_ECS_702_modificato.vdml* è disponibile nella documentazione di approfondimento di Supporto di www.aedes.it.

In sintesi, si sono apportate le seguenti modifiche: l'altezza di piano è stata ridefinita pari a 250 cm., mentre l'altezza di colmo si trova 95 cm. sopra; avendo la trave di colmo sezione 30x30 cm, si è formato un pilastro centrale di altezza 315 cm, a cui è stata assegnata la sezione 55x20 cm.; gli altri pilastri murari sono stati ricondotti alla sezione 30x30 cm; i solai di falda sono stati ridefiniti, con tipologia strutturale e carichi del tutto analoghi all'esempio di riferimento.

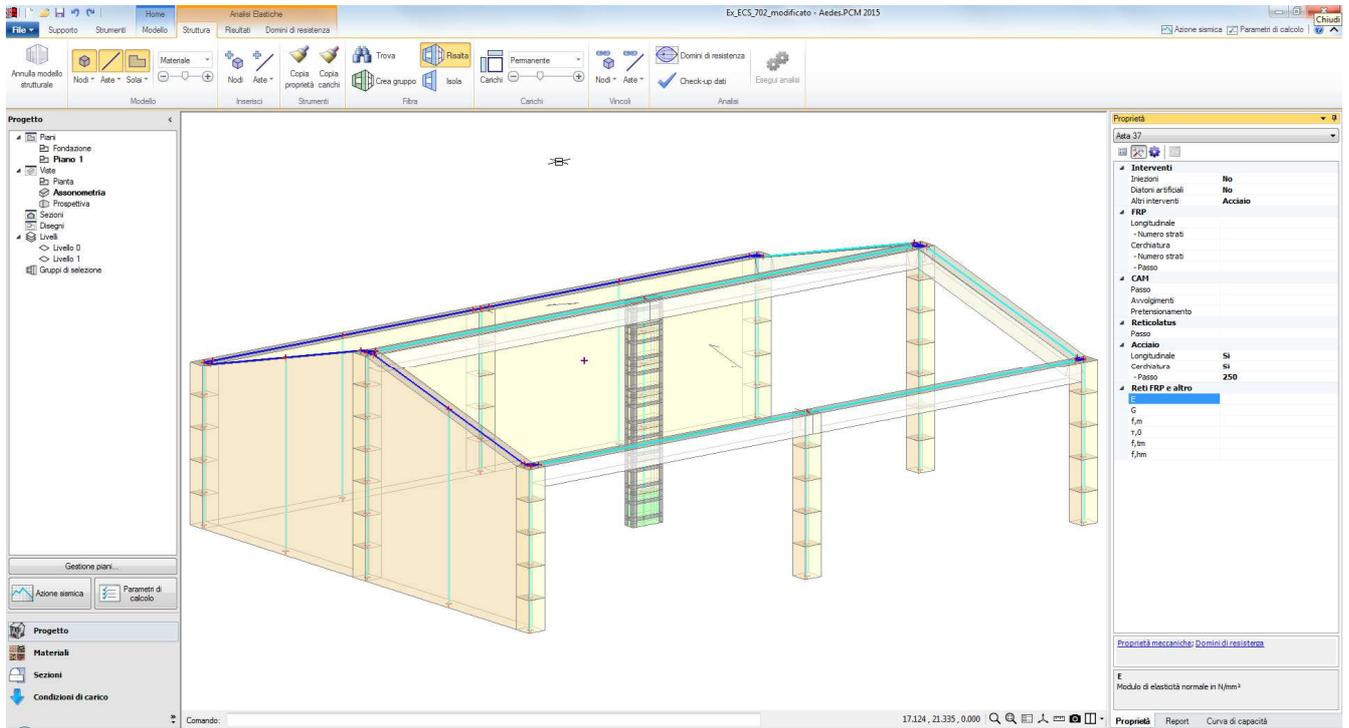
Il pilastro centrale verrà rafforzato da angolari in acciaio, di sezione 70x70x7 mm., con calastrelli di dimensioni 50x7 mm. posti ad interasse di 250 mm.

Si desidera elaborare il dominio di resistenza di questo pilastro, e nell'occasione vengono eseguite anche le analisi sismiche (dinamica modale, pushover).

Il modello architettonico è riportato in figura seguente:



Nella figura seguente è rappresentato il modello strutturale, con evidenziati i concetti del pilastro murario:



Nella griglia delle proprietà, nel gruppo degli Interventi è scelto l'intervento con acciaio strutturale, le cui caratteristiche sono completate mediante la scheda Interventi dei Parametri di Calcolo:

Parametri di Calcolo

OK Annulla Reimposta Importa

Generale Sismica Modale Muratura Analisi Verifiche Pushover (1) Pushover (2) Muratura armata Calcestruzzo armato **Interventi**

Acciaio: modello elastico - perfettamente plastico (tensioni in N/mm², deformazioni in ‰)

Nastro standard duttile
 Tensione di snervamento: caratteristica $f_{yk} = 220$ di calcolo $f_{yd} = 200.0$
 Deformazione: ultima $\epsilon_{ud} = 144.70$ di snervamento $\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s = 0.95$
 Sezione del singolo nastro (mm): spessore $t_f = 0.9$ larghezza $b_f = 19.0$ Raggio di curvatura degli spigoli $R (> 20)$ (mm) = 30

Nastro migliorato duttile
 $f_{yk} = 330$ $f_{yd} = 300.0$ $\epsilon_{ud} = 125.40$ $\epsilon_{yd} = 1.43$ t_f (mm) = 0.9 b_f (mm) = 19.0 R (mm) = 30

Nastro ad alte prestazioni di resistenza elastico
 $f_{yk} = 850$ $f_{yd} = 560.0$ $\epsilon_{ud} = 2.80$ $\epsilon_{yd} = 2.67$ t_f (mm) = 0.9 b_f (mm) = 19.0 R (mm) = 30

Per maschi murari rinforzati con sistema CAM
 Considerare per effetto del confinamento l'incremento di: deformazione ultima resistenza ultima

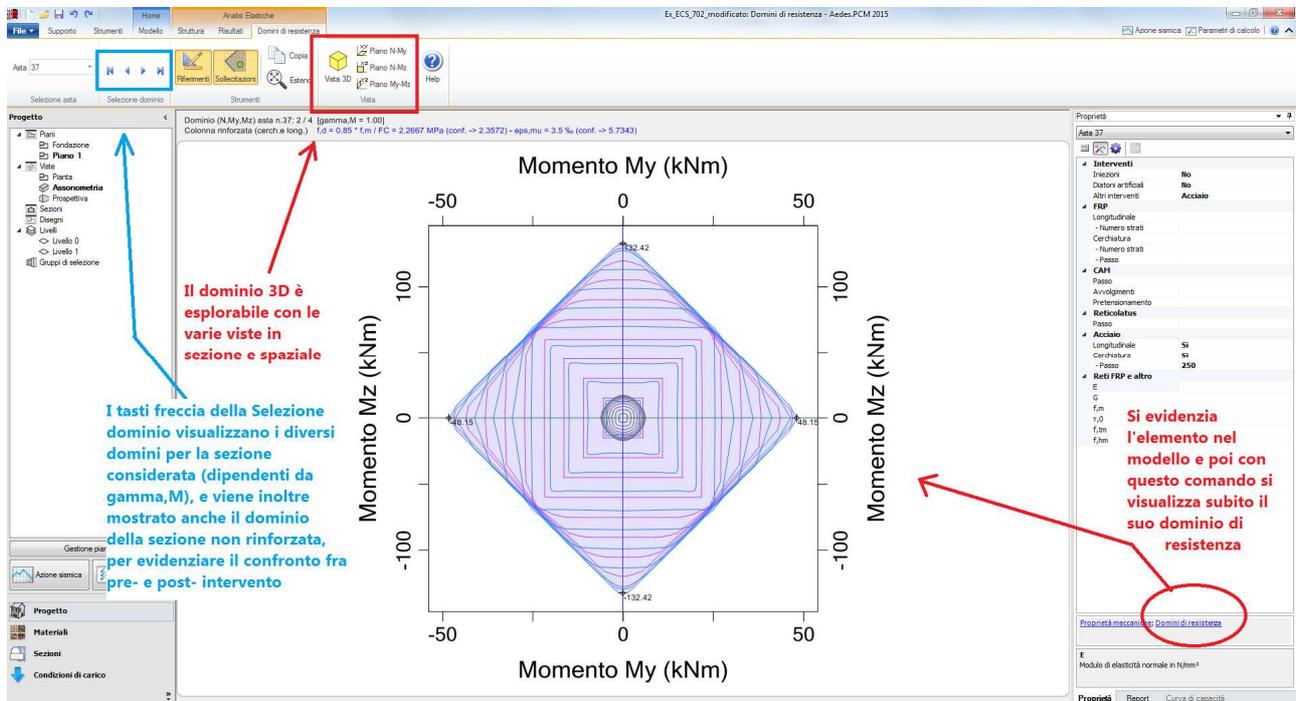
Reticolatus
 Trefoli in acciaio ad alta resistenza: modello elastico - lineare fino a rottura (tensioni in N/mm², deformazioni in ‰)
 Tensione di calcolo a trazione $f_{yd} = 2820.0$ Modulo di elasticità $E_s = 190000$ \Rightarrow Deformazione di calcolo $\epsilon_{yd} = f_{yd} / E_s = 14.84$
 Sezione del trefolo (mm²) = 1.00 larghezza fascia $b_f = 50.0$ Raggio di curvatura per confinamento R (mm) = 50

Acciaio per rinforzo pilastri
 Acciaio strutturale per cerchiatura e rinforzo longitudinale di pilastri in muratura (tensioni in N/mm², deformazioni in ‰)
 Tensione di snervamento: caratteristica $f_{yk} = 235$ di calcolo $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S = 223.8$ ($\gamma_S = 1.05 \Rightarrow f_{yd} = 223.8$)
 Limite per la deformazione ultima $\epsilon_{ud} = 10.00$ Modulo di elasticità $E_s = 210000$ Deformazione di snervamento $\epsilon_{yd} = (f_{yd} / E_s) = 1.07$

Per cerchiatura (fasce, o calastrelli)
 Sezione della singola fascia (mm): spessore $t_f = 7.0$ larghezza $b_f = 50.0$
 Eventuale raggio di curvatura degli spigoli R (mm) = 35 (per angolare di lato l e spessore t : $R = \min\{l, 5t\}$)

Per rinforzo longitudinale (angolari agli spigoli)
 Larghezza dell'ala (mm): $l = 70.0$ spessore $s = 7.0$

Si elaborano anzitutto i Domini di Resistenza, attraverso il comando del gruppo Analisi della scheda Struttura; attraverso l'asta selezionata (il concio del pilastro) ed il comando apposito posto nella parte inferiore della griglia (vd. fig. seg.) è possibile accedere al dominio della sezione del pilastro murario:

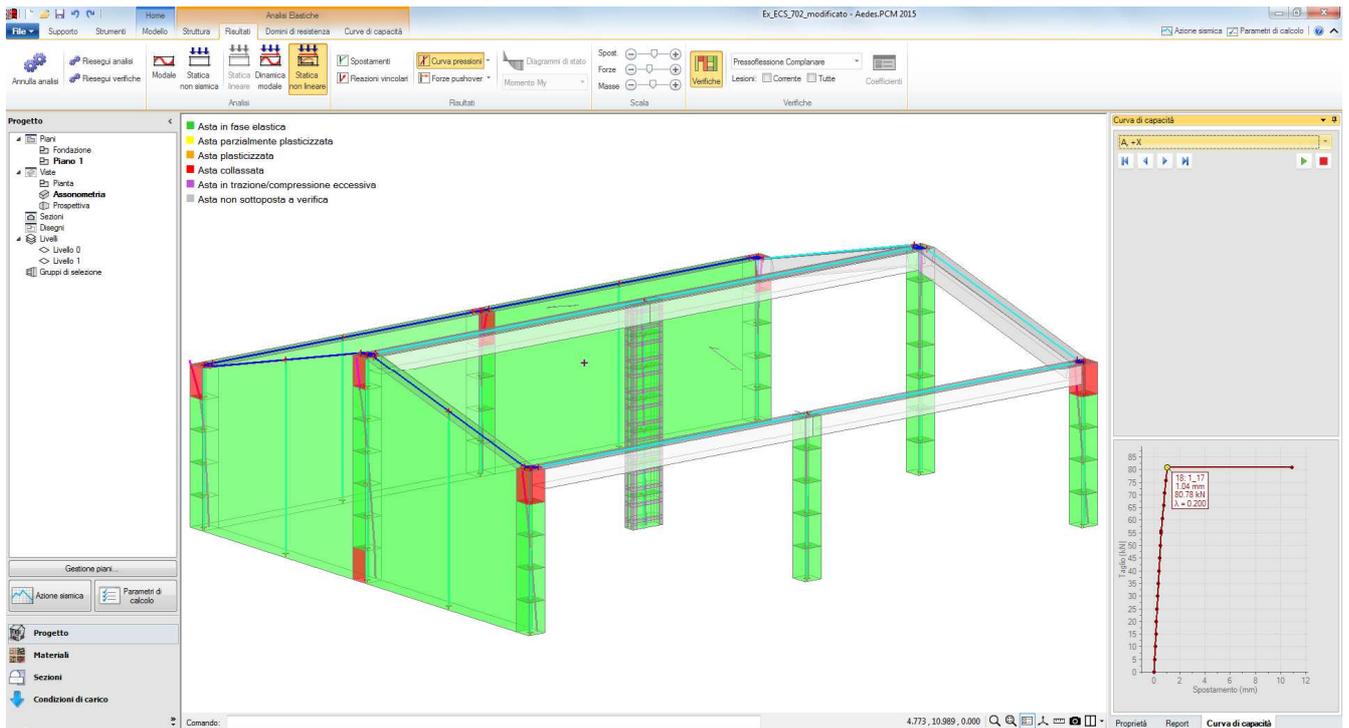


Come nella generalità dei casi di rinforzi con angolari, si consegue una resistenza a trazione elevata (assente nella sezione originaria, con muratura non rinforzata resistente a sola compressione), e un piccolo miglioramento della resistenza a compressione dovuto al confinamento esercitato dai calastrelli.

E' ora possibile eseguire le analisi; in particolare, si consultano i risultati dell'analisi pushover. Durante l'analisi, un messaggio indica che non è stato possibile definire un taglio di prima plasticizzazione: ciò si riferisce al fatto che al termine della curva nessun maschio murario si è plasticizzato. Infatti, la crisi della struttura sopraggiunge a causa dei pilastri murari, senza che i maschi presenti raggiungano il limite di resistenza.

La curva di capacità presenta uno spostamento massimo legato alla massima capacità deformativa dei maschi murari, che, pur non avendo ancora raggiunto un limite di resistenza, possono teoricamente manifestare uno spostamento fino ad un valore che può essere assunto pari al minimo tra il drift a taglio e quello a pressoflessione (0.4%H in questo caso). Si noti bene che il valore del drift dipende (secondo l'attuale Norma) solo da condizioni geometriche, non è legato quindi all'avvenuto raggiungimento del limite elastico (cioè al conseguimento della forza resistente, a taglio o a pressoflessione).

Questo è quanto propone la curva di capacità, con spostamenti quindi piuttosto elevati e con verifica di sicurezza soddisfatta (figure seguenti):



Come risulta dalla figura, corrispondente all'assetto delle verifiche in corrispondenza dell'ultimo passo (prima del tratto plastico), la crisi dipende da sezioni estreme dei pilastri murari e non dai maschi presenti. Il tratto plastico è lo spostamento residuo consentito, attraverso la formulazione dei drift di piano, dai maschi stessi. La verifica pushover è ampiamente soddisfatta (indicatore di rischio sismico $\alpha_V, PGA > 1$):

N° curva	Corrente	Vista	Distr.	Direz.	Mt.	aV,PGA	aV,TR	aD,PGA	aD,TR
1	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	A	+X		1.690	5.211	1.648	3.529
2	<input type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	A	+Y		1.571	4.053	1.407	2.390

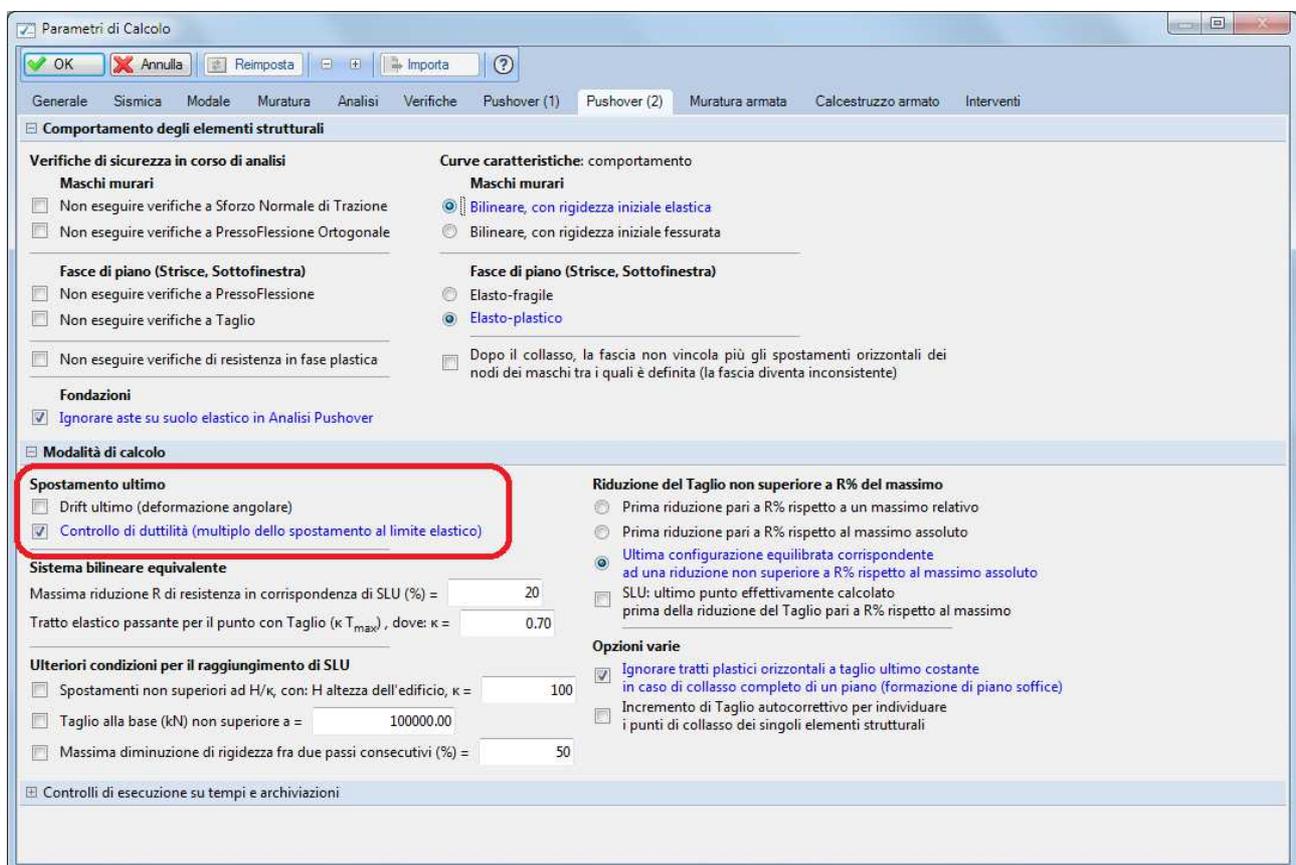
Può tuttavia trovare giustificazione un'altra interpretazione: quando tutti i maschi presenti sono in fase elastica al momento della crisi (determinata, appunto, da altre tipologie, come archi o pilastri murari), il fatto che nel maschio la cerniera plastica non si sia ancora formata, cioè la non raggiunta plasticizzazione, determina l'impossibilità del tratto orizzontale: secondo questa interpretazione, non si possono avere spostamenti a taglio costante se non ci sono le labilità interne che lo consentono. Pertanto, la curva andrebbe interrotta in corrispondenza proprio dell'ultimo punto calcolato prima del tratto plastico.

Si potrebbe osservare che sempre, quando la crisi avviene con maschi tutti in fase elastica, si dovrebbe evitare la plasticizzazione. Ma anche questa posizione è talora discutibile, soprattutto nei casi di sollecitazione nel maschio tale da mantenerlo ancora in fase elastica, molto vicino però alla plasticizzazione: entro un range di piccola differenza di taglio, corrispondente alle approssimazioni

di calcolo, verremmo a considerare grandi differenze di spostamenti, fra il caso di fase plastica iniziata (e quindi con riserva plastica attivabile) e quello di fase plastica imminente ma non ancora iniziata (e quindi senza riserva plastica attivabile).

Per lasciare quindi all'Utente la possibilità di decidere come operare, nel caso del drift PCM comprende la deformazione complessiva residua anche se la crisi della struttura avviene mentre il maschio è in fase elastica, in accordo col fatto che lo spostamento massimo è legato a sole condizioni geometriche e non al raggiungimento o meno della fase elastica, diversamente dal vecchio approccio in duttilità (tipo metodo Por).

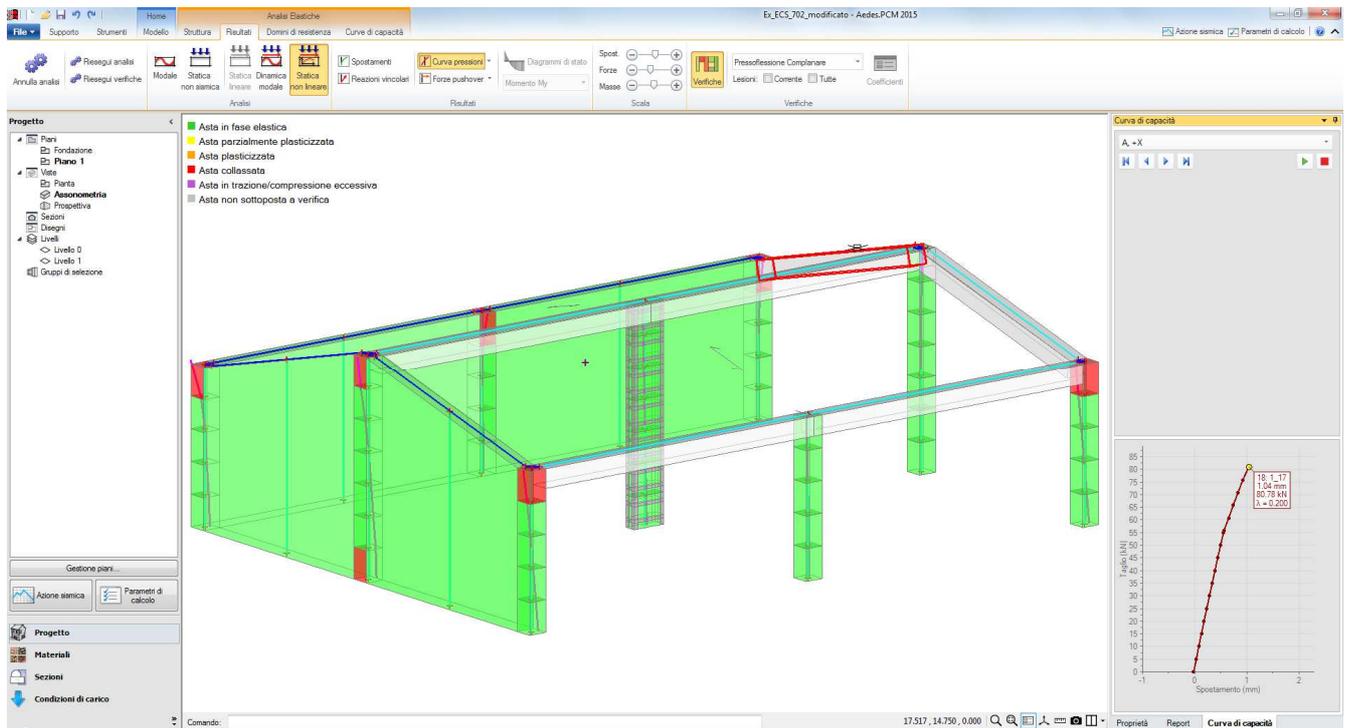
PCM rende però possibile aderire all'interpretazione alternativa semplicemente scegliendo l'approccio in duttilità invece che col drift, selezionando quindi la diversa opzione nei Parametri di Calcolo:



Poiché tale opzione considera lo spostamento plastico residuo legato al raggiungimento del limite elastico, disabilita in pratica il tratto plastico qualora il maschio sia ancora in fase elastica.

Ciò permette di interpretare il collasso della struttura in esame come crisi 'fragile': improvviso cedimento dei pilastri con assenza di duttilità complessiva (questa nota è valida in generale per i pilastri murari. E' però vero che in presenza di angolari si potrebbe considerare lo snervamento dell'acciaio, ma in attesa di valutazioni sperimentali sulla duttilità di pilastri rivestiti con angolari, attualmente in PCM si preferisce non considerare mai la possibilità di spostamenti plastici residui per i pilastri murari, anche se consolidati con angolari, dopo la sopraggiunta crisi).

Grazie alla diversa scelta sullo spostamento ultimo (duttilità invece di drift), le curve non mostrano più il tratto plastico e diventano come in figura seguente:



La modalità di crisi ovviamente non cambia, ma il tratto plastico nella curva non c'è più e la conseguente verifica basata sull'oscillatore monodimensionale equivalente è più penalizzante, ma probabilmente più vicina al comportamento reale: appare poco plausibile che i maschi in fase elastica riescano a garantire uno spostamento complessivo di tipo plastico; in ogni caso, al di là di altre considerazioni sulle condizioni sfavorevoli che caratterizzano quest'esempio a causa delle dissimmetrie, questa ipotesi alternativa agisce a favore di sicurezza: l'indicatore di rischio minimo scende da 1.571 a 0.611, cambiando nettamente la valutazione complessiva.

N° curva	Corrente	Vista	Distr.	Direz.	Mt.	aV,PGA	aV,TR	aD,PGA	aD,TR
1	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	A	+X		0.683	0.340	1.574	3.225
2	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	A	+Y		0.611	0.261	1.426	2.479

Buttons: Vista, Reset, Tutte, Distr. corrente, Direz. corrente, Chiudi

Si osservi infine che l'esempio è stato condotto consolidando il solo pilastro centrale: mantenendo comunque l'ipotesi di spostamento ultimo come duttilità e non come drift, ma intervenendo su tutti i pilastri con angolari e calastrelli, si otterrebbero risultati più favorevoli (si poteva immaginarlo vedendo che la crisi dipendeva da tutti pilastri non consolidati), seppur ancora non corrispondenti ad un adeguamento (difficile da raggiungere per questo fabbricato senza modificare le geometrie resistenti, oltre a consolidare le strutture preesistenti).