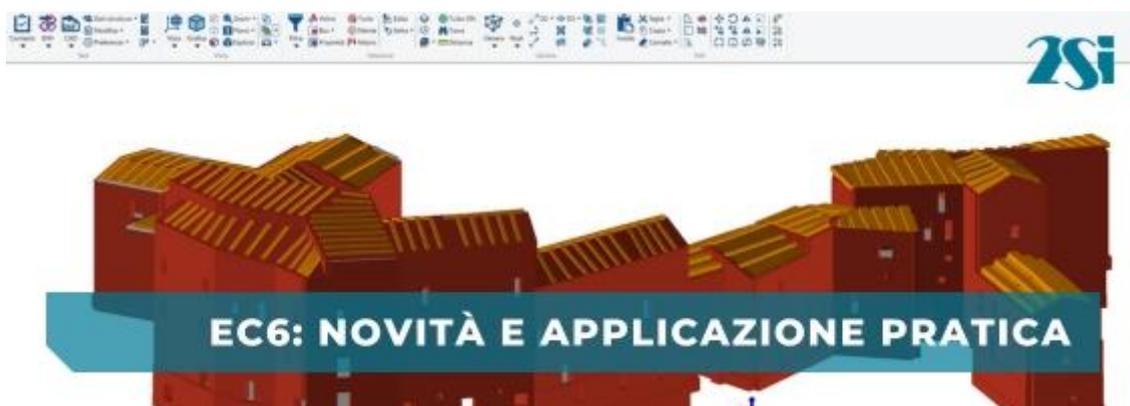


## Verifiche di edifici in muratura con Eurocodice 6 di seconda generazione: novità e applicazioni pratiche

In questo articolo analizziamo le principali novità introdotte dall'Eurocodice 6 di seconda generazione (UNI EN 1996-1-1:2022) per le verifiche di strutture in muratura non armata e come queste sono implementate nel software di calcolo strutturale PRO\_SAP.



### Cosa sono gli Eurocodici di seconda generazione

Gli Eurocodici di seconda generazione sono stati sviluppati con l'intento di offrire norme più chiare e rispondenti alle esigenze dei progettisti, rendendone così più agevole l'utilizzo. Le nuove versioni mirano ad allinearsi ai progressi tecnico-scientifici e all'evoluzione dell'industria delle costruzioni, migliorando al contempo la facilità d'uso delle norme e riducendo il numero di parametri da determinare a livello nazionale.

Nel maggio 2022, la norma europea UNI EN 1996-1-1:2022 è stata ratificata dal Presidente dell'UNI, entrando a far parte del corpo normativo nazionale come "*Eurocodice 6 - Progettazione delle strutture in muratura - Parte 1-1: Regole generali per strutture di muratura armata e non armata*".

Nell'articolo:

<https://www.ingenio-web.it/articoli/il-nuovo-eurocodice-6-per-la-progettazione-delle-strutture-in-muratura/>

a cui si rimanda per approfondimenti, sono ampiamente dettagliate organizzazione, contenuti e principali novità rispetto alle versioni precedenti del nuovo Eurocodice per costruzioni in muratura.

### L'implementazione delle novità introdotte dall'Eurocodice 6:

In generale la norma fornisce regole per **edifici di tipo ordinario**; per tipologie che non vengono specificamente trattate, potrà comunque applicarsi la norma stessa, apportando le necessarie integrazioni.

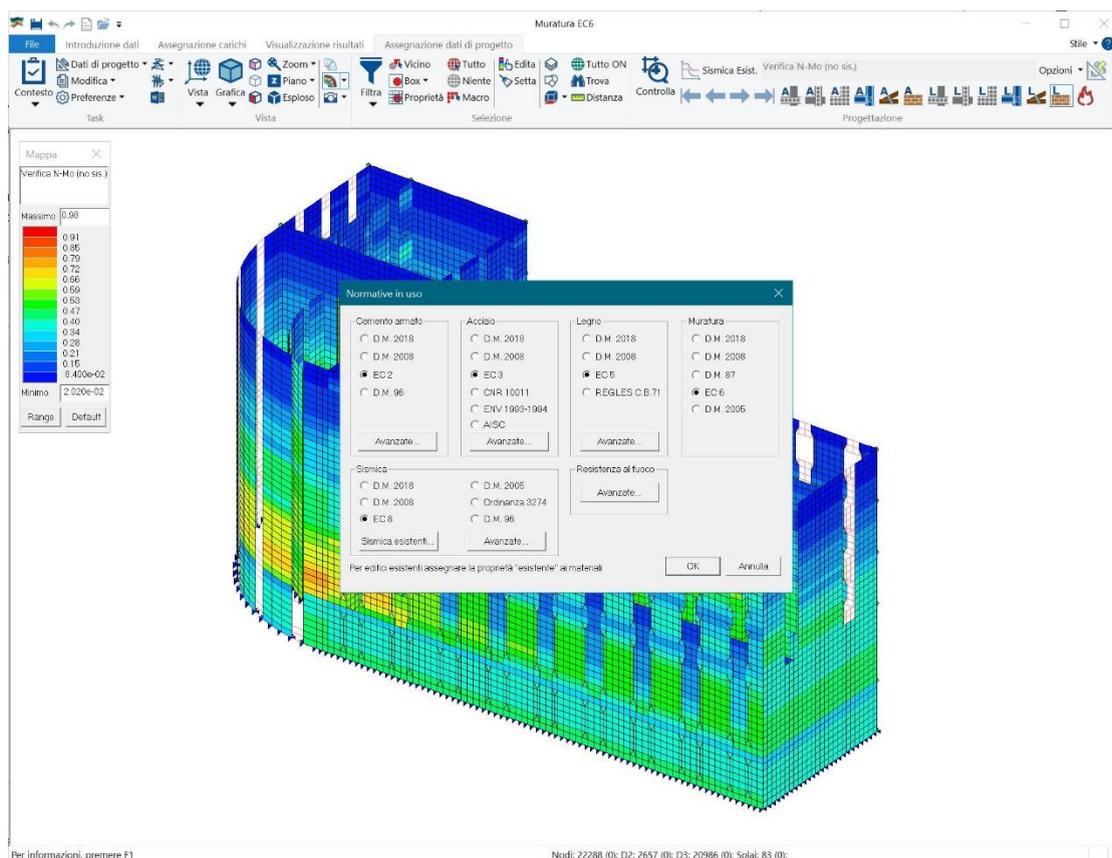


Figure 1 Menu selezione normative all'interno di Pro\_SAP - 2S.I.

Le innovazioni introdotte dall'Eurocodice 6 relativamente alle strutture in muratura ordinaria sono state implementate all'interno di Pro\_SAP e di seguito descritte, sottolineando in particolare analogie e differenze rispetto a quanto presente nel DM 17/01/2018 (NTC): è importante precisare infatti che l'implementazione ha ricalcato quanto più possibile quella già presente per le NTC in modo da semplificare il passaggio dall'una all'altra norma.

Per quanto riguarda la muratura armata, questa sarà oggetto di un futuro approfondimento e per quanto riguarda la muratura non portante, quale i tamponamenti, è disponibile un utile riferimento nell'articolo:

<https://www.ingegno-web.it/articoli/verifica-delle-tamponature-alcuni-aspetti-da-non-trascurare/>.

Le principali novità implementate in Pro\_SAP riguardano i paragrafi 8.2, 8.3 e 8.5 dell'Eurocodice 6.

## 8.2 Verification of unreinforced masonry walls subjected to mainly vertical loading (Verifica di pareti con carichi prevalentemente verticali)

La verifica si basa sul confronto domanda-capacità in termini di forza assiale totale  $N_{Ed}$ , utilizzando il fattore di riduzione della capacità  $\Phi$ , funzione dell'eccentricità e del materiale.

$$N_{Rd} = \Phi l t f_d$$

Il fattore  $\Phi$  è dato dal prodotto dei fattori  $\Phi$  longitudinale e  $\Phi$  trasversale.

Questo metodo è presente, con molte analogie, nella normativa italiana già a partire dal DM 1987 e nelle successive edizioni delle norme tecniche (vedasi 4.5.6.2 del DM 17/01/2018 e C4.5.6.2 della circolare 21/01/2019)

E' utile segnalare che per elementi di area  $A$  inferiore a 0.1 mq la capacità è ulteriormente ridotta del fattore  $(0.7 + 3A)$ .

Il fattore  $\Phi$  longitudinale, è unicamente legato all'eccentricità  $e_l$  della forza assiale:

$$\phi_l = 1 - \frac{2 \cdot e_l}{L}$$

Il calcolo del fattore  $\Phi$  trasversale si distingue in base alla posizione di calcolo: per sommità e base della parete esso è legato unicamente all'eccentricità del carico assiale ed è indicato come  $\Phi_i$  secondo la formula seguente:

$$\Phi_i = 1 - \frac{2e_i}{t}$$

Per le sezioni intermedie viene indicato con  $\Phi_m$  e contempla gli effetti legati sia alla snellezza della parete che alle proprietà meccaniche della muratura e deve essere assunto secondo quanto indicato nell'Appendice F della UNI EN 1996-1-1:2022.

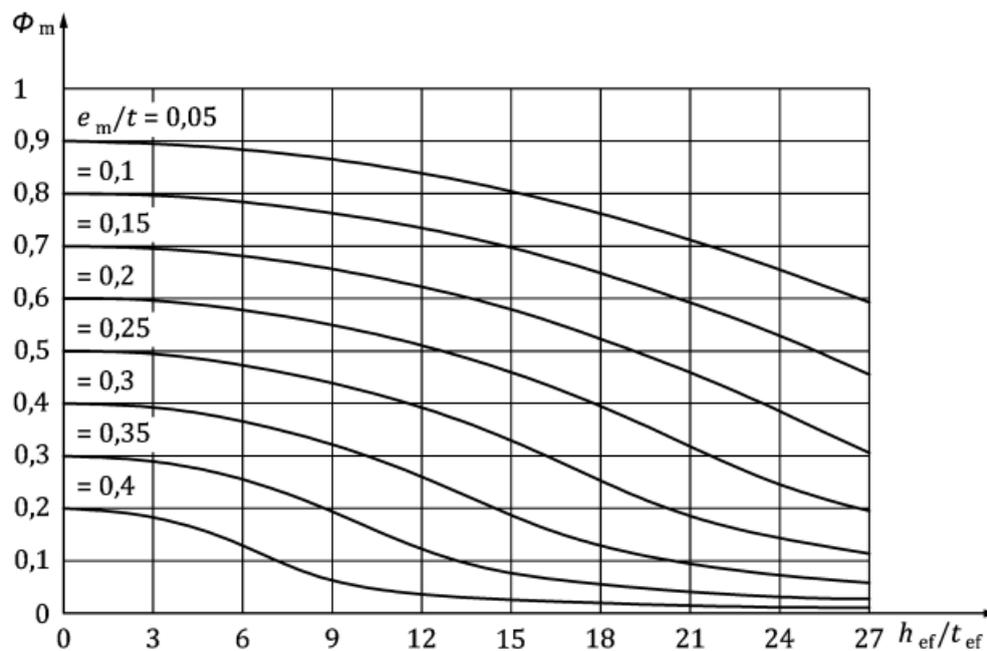
L'appendice riporta infatti un aggiornamento dei valori del fattore di riduzione di capacità  $\Phi_m$  che deriva da recentissimi studi numerici e attività sperimentali.

$$\Phi_m = \begin{cases} A_1 - \frac{\lambda^2}{2,58A_1} & \text{if } \lambda < 1,14A_1 \\ 0,65 \frac{A_1^3}{\lambda^2} & \text{if } \lambda \geq 1,14A_1 \end{cases}$$

where

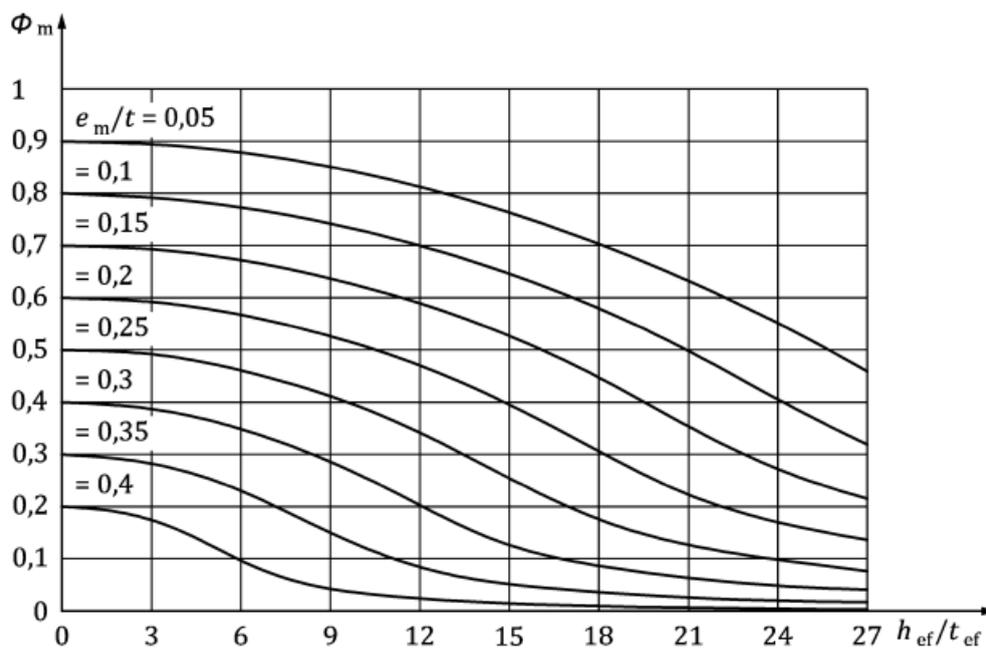
$$A_1 = 1 - 2 \frac{e_m}{t},$$

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \sqrt{\frac{f_k}{E}}$$



**Figure F.1 — Values of  $\Phi_m$  against slenderness ratio for different eccentricities, based on an  $E$  of  $1000 f_k$**

*Figure 2 UNI EN 1996-1-1:2022*

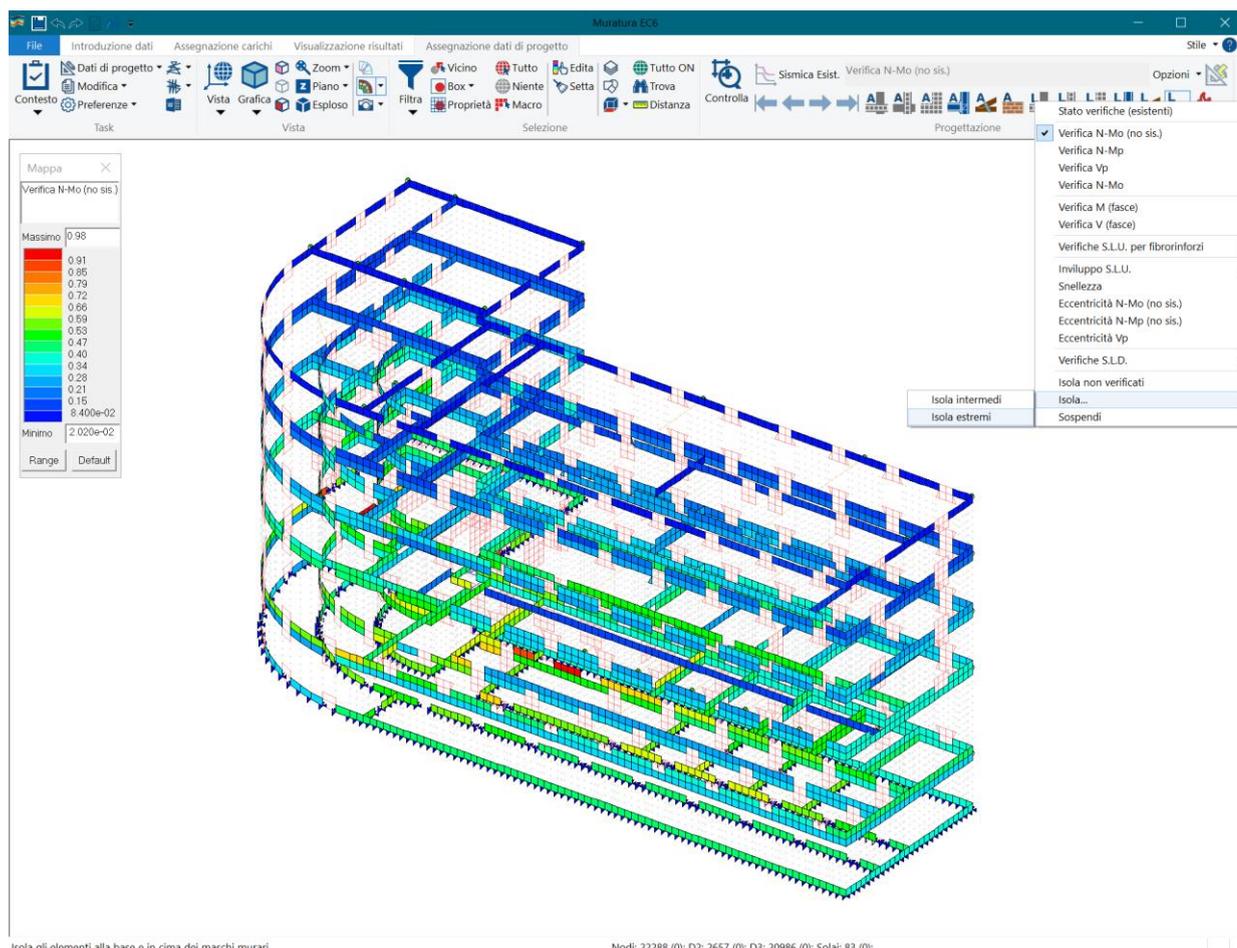


**Figure F.2 — Values of  $\Phi_m$  against slenderness ratio for different eccentricities, based on an  $E$  of  $700 f_k$**

*Figure 3 UNI EN 1996-1-1:2022*

Il programma opera automaticamente la distinzione tra sezioni di sommità, base e intermedie sia nell'ambito della modellazione a telaio che a elementi finiti triangolari e quadrangolari consentendo un agevole controllo puntuale.

Questa verifica è implementata per le combinazioni non sismiche, in analogia con le NTC.



Isola gli elementi alla base e in cima dei maschi murari

Nodi: 22288 (0); D2: 2657 (0); D3: 20986 (0); Solai: 83 (0);

Figure 4 Verifica per azioni verticali con visualizzazione dei soli estremi delle pareti in Pro\_SAP - 2S.I.

Il nuovo EC, nell'annesso C introduce, inoltre, una verifica semplificata per carichi prevalentemente verticali nel caso di sezioni delle pareti che presentino elevate eccentricità con limitato carico assiale. Questa condizione è frequente negli edifici, in generale ai piani più alti e nelle pareti parallele all'orditura del solaio.

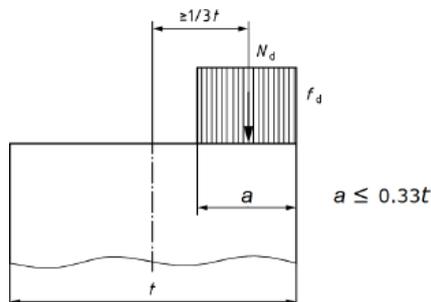


Figure 5 <https://www.ingenio-web.it/articoli/il-nuovo-eurocodice-6-per-la-progettazione-delle-strutture-in-muratura/>

Nel dettaglio, in presenza di uno sforzo assiale inferiore a un terzo della capacità ( $N_{Ed} < 0.33 t f_d$ ) e di eccentricità maggiore di un terzo dello spessore ( $e > 0.33t$ ) è consentito utilizzare uno stress block

e verificare la sezione che altrimenti potrebbe avere capacità nulla.  
Con semplici calcoli si può dimostrare che questa modellazione conduce a una verifica unitaria in quanto la capacità coincide con la domanda (con riferimento all'immagine soprariportata):

$$a = N_{Ed} / f_d$$

$$e = (t - a) / 2$$

$$\Phi_i = 1 - 2e/t = 1 - t/t + a/t = a/t$$

$$N_{Rd} = a/t f_d t = a f_d = N_{Ed}$$

Si osserva che questa semplificazione trova applicazione quando le concomitanti azioni nel piano sono trascurabili.

Qualora le condizioni per effettuare tale verifica semplificata siano soddisfatte, automaticamente Pro\_SAP la attiva.

### 8.3 Verification of unreinforced masonry walls subjected to combined vertical and horizontal loading in the plane of the wall (Verifica con carichi combinati verticali e orizzontali nel piano)

In caso di carichi verticali e orizzontali nel piano, UNI EN 1996-1-1:2022 introduce la verifica di pressoflessione nel piano in termini di momento sollecitante e momento resistente, che nel caso di sezione rettangolare si riporta in linea alla formula 7.8.2 delle NTC 2018 con l'unica differenza dell'introduzione del fattore  $\Phi$  per tener conto dell'eventuale eccentricità trasversale:

$$M_{Rd} = \frac{N_{Ed} l}{2} \left( 1 - \frac{N_{Ed}}{t l \eta_f \Phi f_d} \right) \geq 0$$

Il fattore  $\Phi$  si calcola in funzione della sola eccentricità trasversale nelle sezioni di verifica secondo quanto indicato al punto precedente ( $\Phi_i$  e  $\Phi_m$ ).

Questa verifica è implementata per le combinazioni sismiche, in analogia con le NTC.

Per quanto riguarda le verifiche a taglio, previste al punto 8.3.1 "In-plane shear resistance", è previsto il criterio di Mohr-Coulomb, in analogia con il punto 7.8.2.2.2 delle NTC.

### 8.5 Verification of unreinforced masonry walls subjected to combined vertical and lateral loading (Verifica con carichi combinati verticali e orizzontali ortogonali)

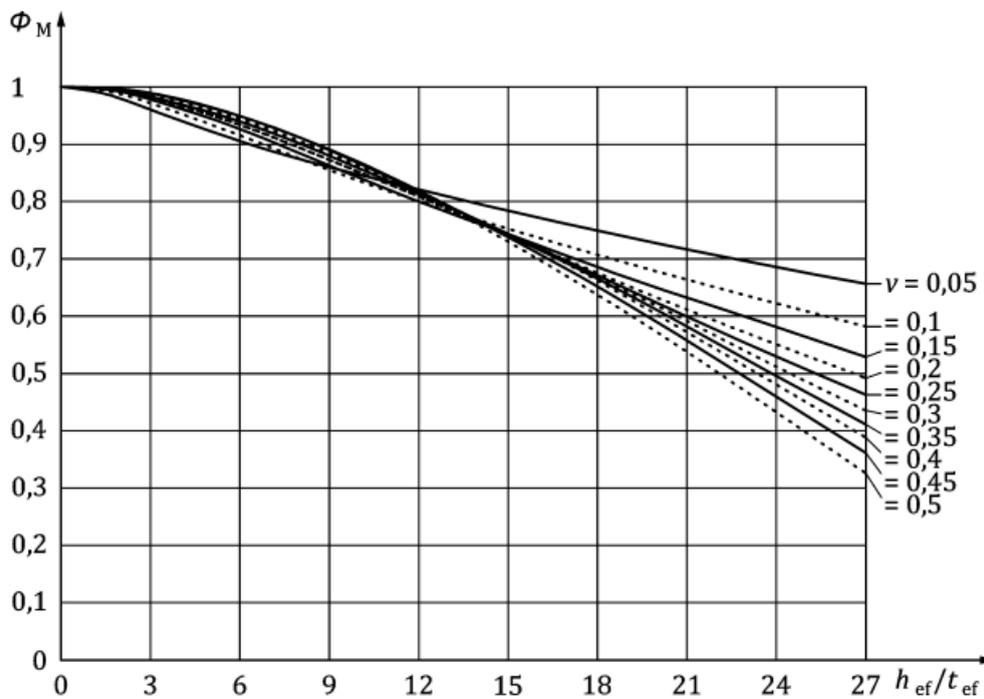
In caso di carichi verticali e orizzontali ortogonali alla parete, UNI EN 1996-1-1:2022 richiede che il momento agente  $M_{Ed}$  sia inferiore al momento resistente  $M_{Rd}$  considerando gli effetti del second'ordine. Come semplificazione, qualora  $M_{Ed}$  sia ottenuto da una analisi che non considera gli effetti del second'ordine, è possibile ridurre il momento resistente in funzione della snellezza della parete e delle caratteristiche meccaniche della muratura introducendo il fattore  $\Phi_M$ . L'annesso 4 con le formule (F.4) e (F.5) consente di valutare il fattore di riduzione  $\Phi_M$ .

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} = \phi_M \frac{N_{Ed} \cdot t}{2} \left( 1 - \frac{N_{Ed}}{t \cdot l \cdot \eta_f \cdot f_d} \right) \geq 0$$

$$\phi_M = \frac{1 - A_1}{1 - \nu}$$

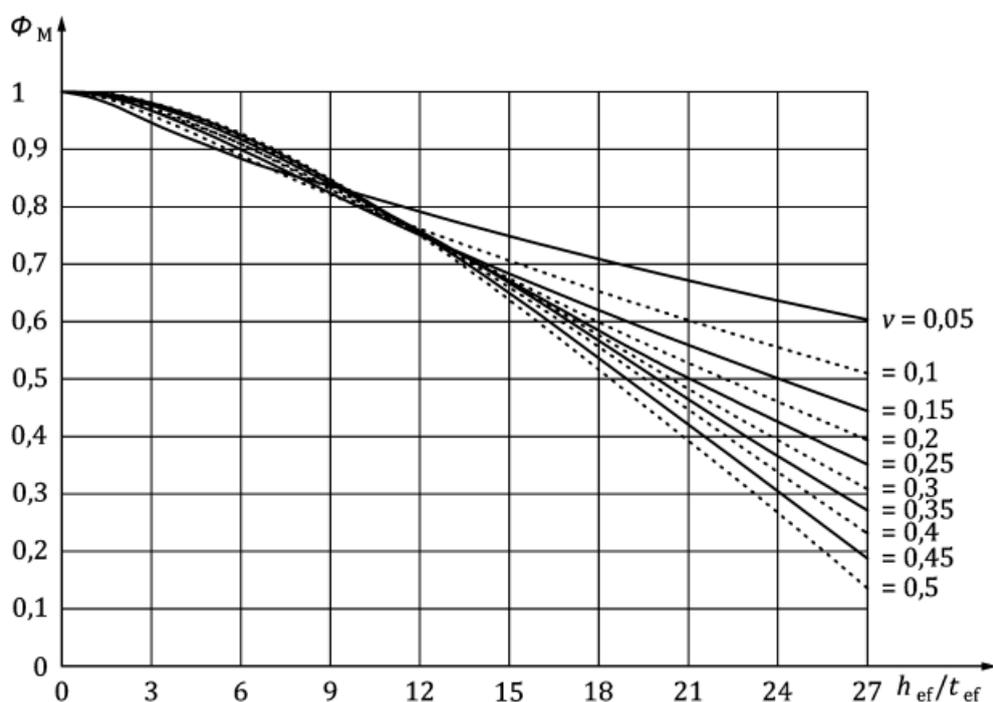
where

$$A_1 = \begin{cases} \frac{2,58\nu + \sqrt{(2,58\nu)^2 + 10,33\lambda^2}}{5,17} & \text{if } \lambda < 1,14A_1 \\ \left( \frac{\lambda^2 \nu}{0,65} \right)^{1/3} & \text{if } \lambda \geq 1,14A_1 \end{cases},$$



**Figure F.3 — Values of  $\phi_M$  against slenderness ratio for different load ratios, based on an  $E$  of  $1000 f_k$**

*Figure 6 UNI EN 1996-1-1:2022*



**Figure F.4 — Values of  $\Phi_M$  against slenderness ratio for different load ratios, based on an  $E$  of  $700 f_k$**

*Figure 7 UNI EN 1996-1-1:2022*

Il momento resistente viene determinato con lo stress block, esattamente come avviene nelle NTC al punto 7.8.2.2.3.

Tabella riassuntiva: differenze principali tra NTC 2018 e Eurocodice 6 (UNI EN 1996-1-1:2022)

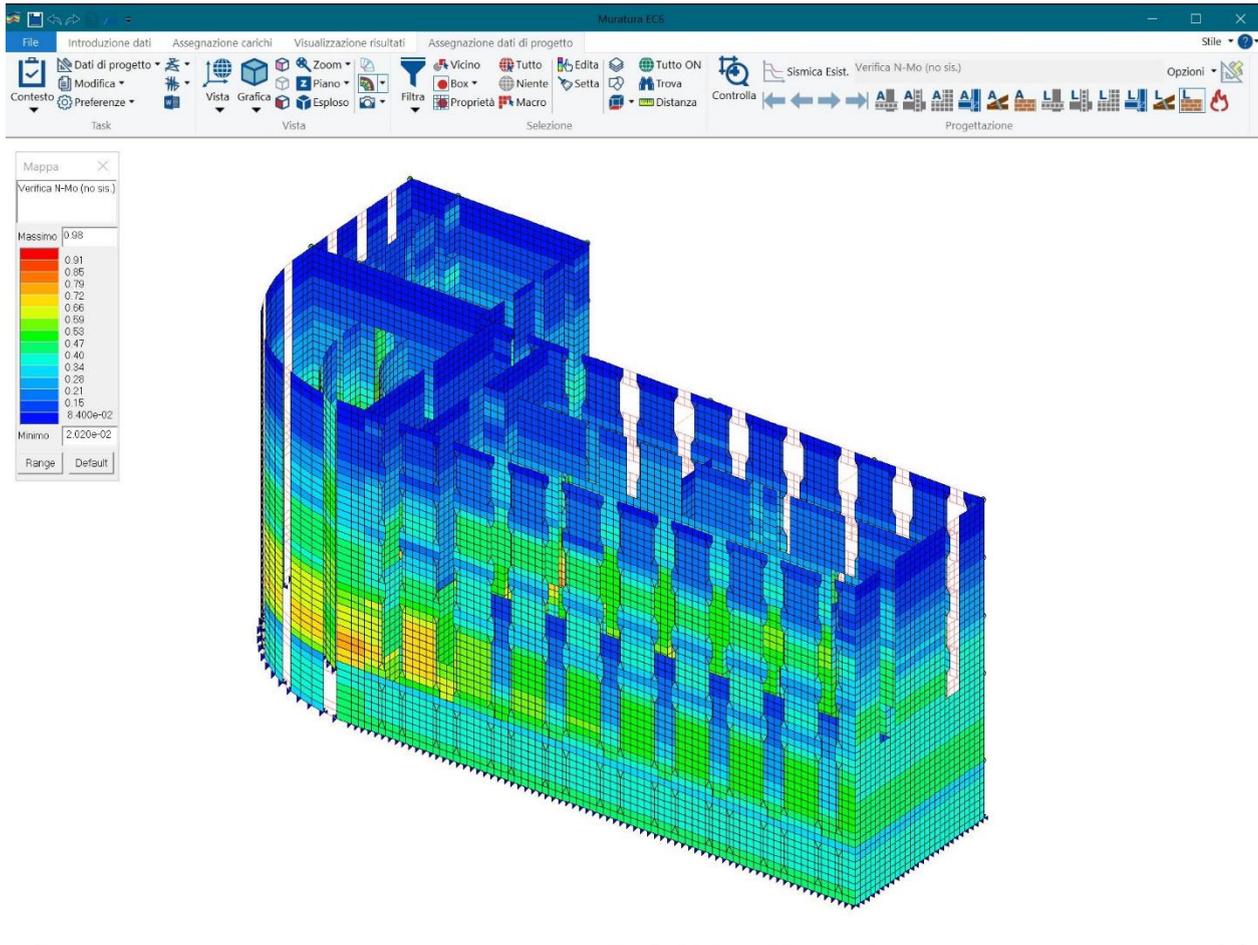
	NTC 2018	Eurocodice 6 (UNI EN 1996-1-1:2022)
Verifica carichi verticali	Domanda-Capacità con riduzione $\Phi$ funzione dell'eccentricità e della snellezza	Stesso principio, ma aggiornamento dei valori $\Phi$ da nuovi studi numerici e sperimentali
Verifica combinata verticale-orizzontale (nel piano)	Pressoflessione con formula 7.8.2	Introduzione di $\Phi$ trasversale per eccentricità non nulla
Verifica carichi ortogonali (fuori piano)	Momento resistente con stress block	Momento resistente con stress block e introduzione del fattore $\Phi_M$ per snellezza meccanica

		parete
Sezioni con basso sforzo assiale ed elevata eccentricità	Nessuna specifica indicazione	Possibilità di stress block semplificato (Annex C)
Implementazione nel software	Basata su norma italiana	Adattamento con analogie operative, con controlli automatici su sezioni base, sommità e intermedie

## Conclusioni

L'introduzione dell'Eurocodice 6 di seconda generazione rappresenta un passo importante verso una progettazione delle strutture in muratura più moderna e scientificamente aggiornata. Le modifiche introdotte, pur mantenendo una sostanziale continuità con le normative previgenti, offrono strumenti più precisi e flessibili, migliorando la chiarezza e l'efficienza delle verifiche. L'integrazione operativa nel software Pro\_SAP garantisce ai progettisti una transizione fluida, permettendo di applicare fin da subito le nuove disposizioni in modo semplice e affidabile.

E' possibile trovare riferimenti in merito nel pdf delle news che accompagnano il rilascio della versione 24.10 di Pro\_SAP scaricabile al seguente link: [https://www.2si.it/it/download-pro\\_sap](https://www.2si.it/it/download-pro_sap)



Per informazioni, premere F1

Figure 8 Verifica per azioni verticali in Pro\_SAP - 2S.I.

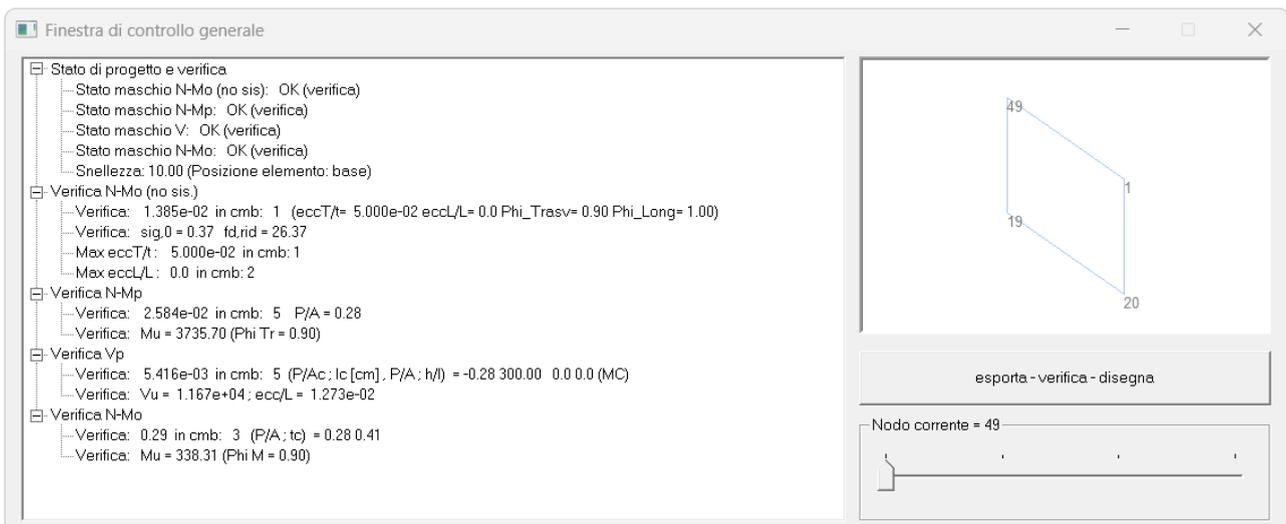


Figure 9 Finestra di report delle verifiche dettagliata per singolo elemento shell - 2S.I.