

Interventi locali sulle murature

20 maggio 2016

Normativa di riferimento

- ◆ Norme Tecniche per le Costruzioni 2008
- ◆ Circolare Ministeriale 02/02/2009 n. 617
- ◆ Decreto del Presidente della Giunta regionale 9 luglio 2009, n. 36R
- ◆ Orientamenti interpretativi Comitato Tecnico Scientifico Regione Toscana del 2/6/2012

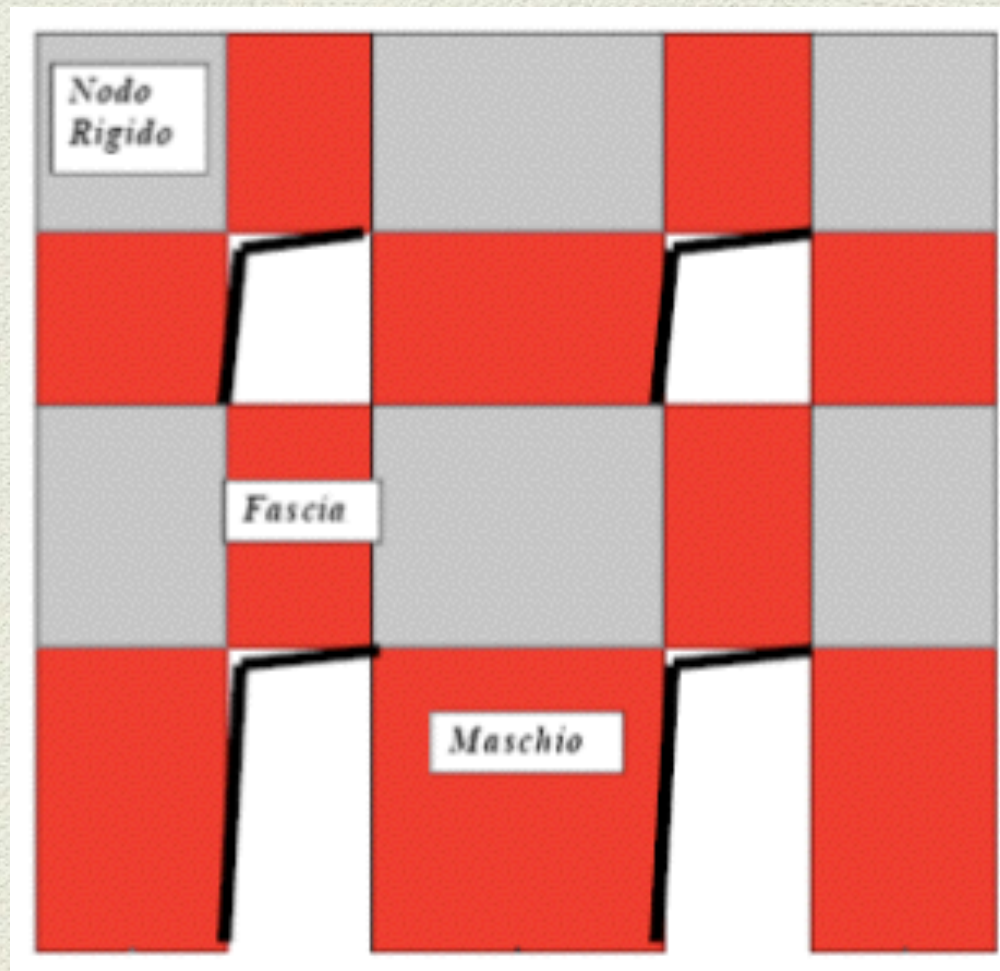
Interventi locali per le aperture

- ◆ L'apertura di un vano di una parete può essere considerata un intervento locale se non altera significativamente lo schema strutturale dell'edificio e i carichi.
- ◆ In pratica questo obiettivo si considera raggiunto se (art. 1.2 - Comitato Tecnico Scientifico Regione Toscana del 2/6/2012)
 - ◆ La variazione di rigidezza della parete rientri nell'intervallo -15% - $+15\%$
 - ◆ La resistenza e la capacità di deformazione non peggiorino rispetto alle azioni orizzontali
 - ◆ Le verifiche si effettuano comparando la parete nello stato ante-operam e la parete post-operam

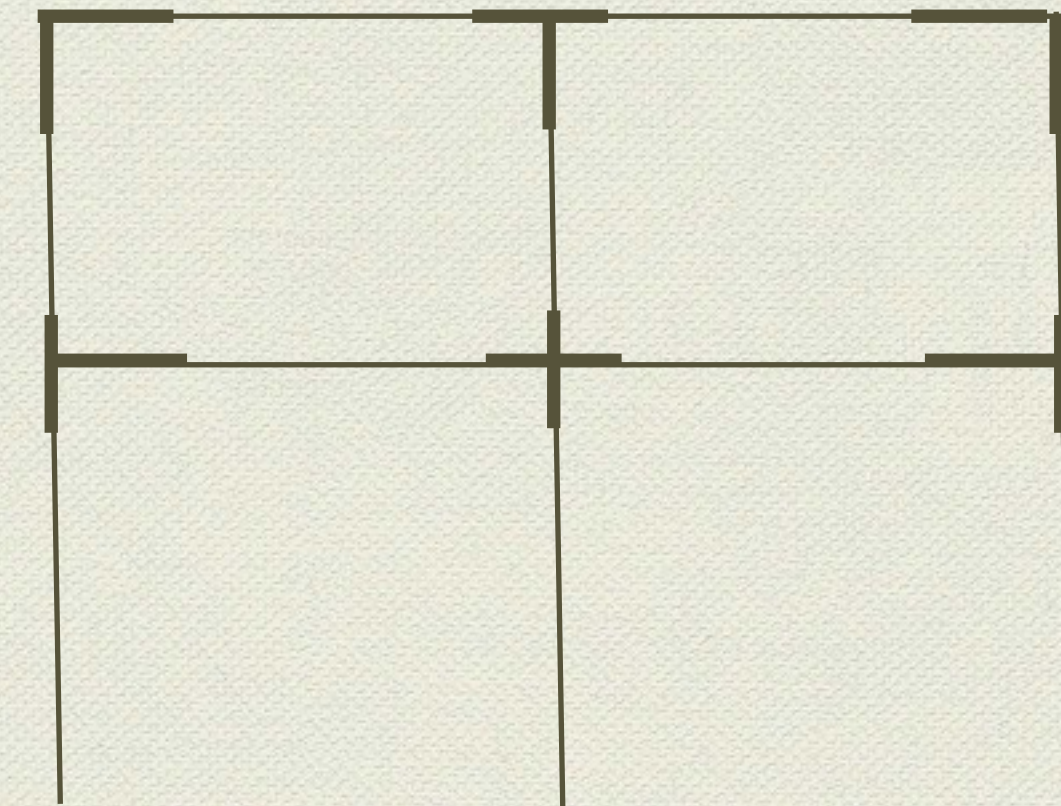
Indicazioni dimensionali per le aperture

- Per poter considerare un'apertura un intervento locale devono essere osservati i seguenti vincoli:
 - Non è ammesso togliere completamente una parete
 - Deve essere lasciata una mazzetta di almeno 50 cm di muratura (oltre l'eventuale cerchiatura)
 - Non sono ammesse cerchiature a cavallo di murature portanti
 - Non sono ammessi montanti nell'incrocio di murature portanti
 - Distanza dagli angoli degli edifici di almeno 1 m
 - L'area totale della muratura del piano non deve diminuire oltre il 15%

Telaio equivalente



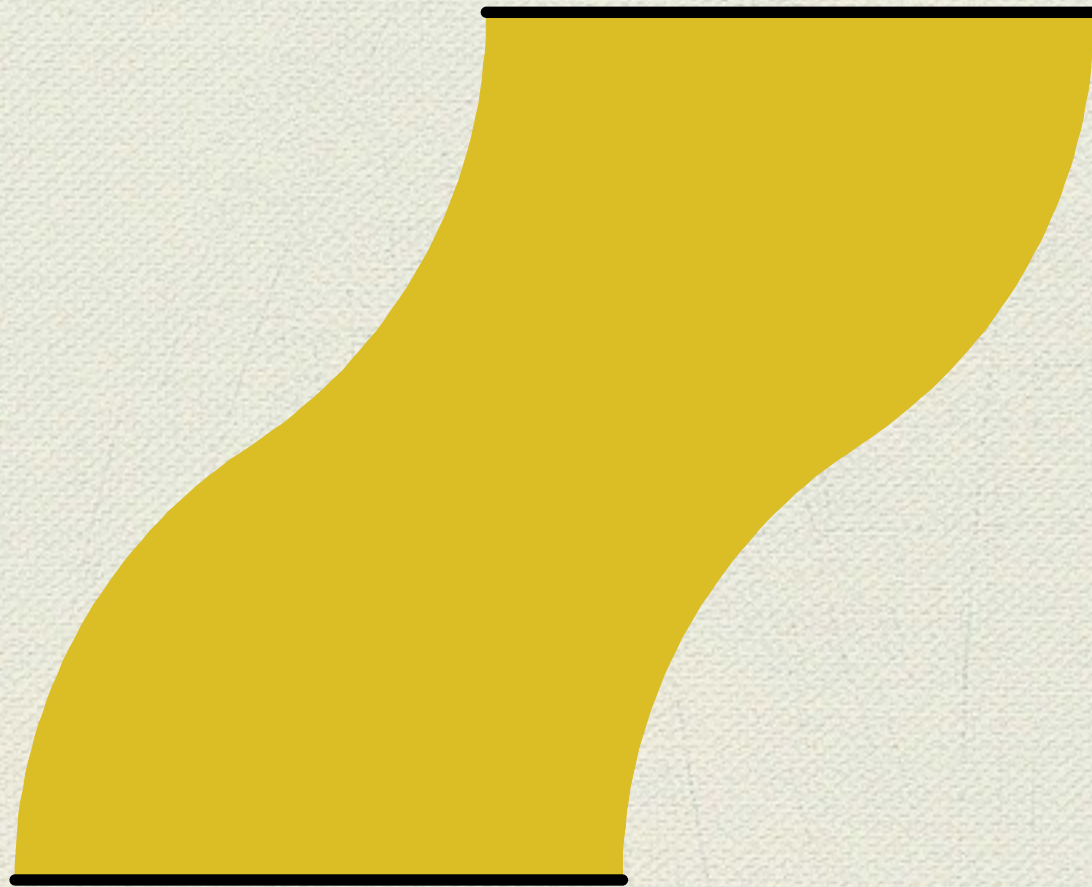
Le intersezioni tra fasce e pannelli verticali sono considerate infinitamente rigide



- E' una semplificazione accettabile solo per edifici con setti molto snelli. dove il nodo è molto piccolo
- Per edifici in muratura tradizionale è uno schema molto distante dalla realtà
- In edifici con setti tozzi e aperture piccole porta ad una sovrastima della rigidezza
- Le fasce sono rigide per la deformazione a flessione, ma non per la deformazione a taglio

Shear Type e mensola

Incastro scorrevole (shear type)



h: altezza del setto
A: area della sezione
E: modulo elastico normale
G: modulo elastico tangenziale
J: momento d'inerzia

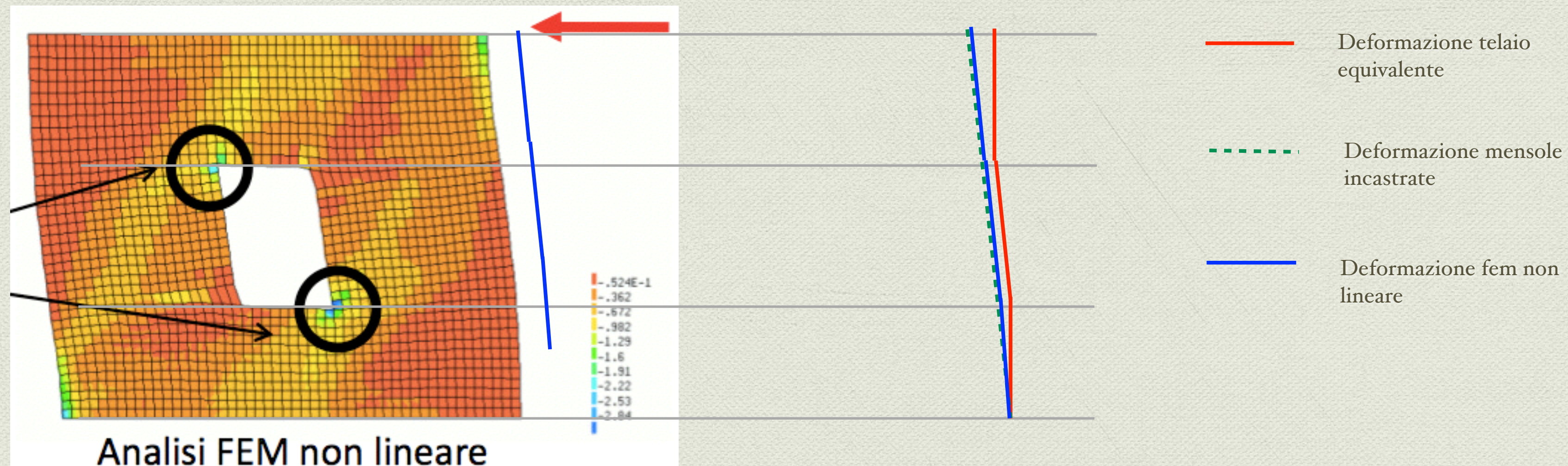
$$k = \frac{1}{\frac{1,2h}{GA} + \frac{h^3}{12EJ}}$$

Mensola



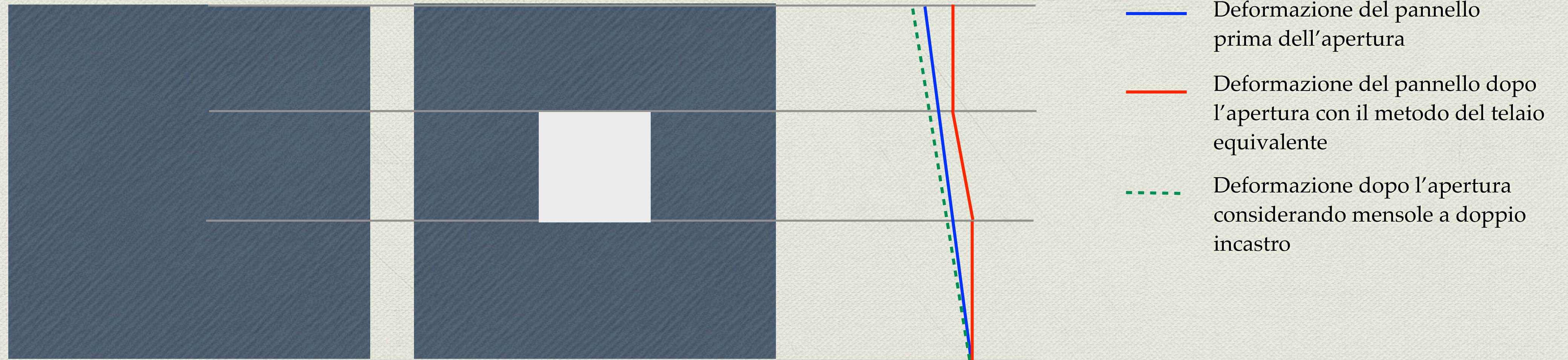
$$k = \frac{1}{\frac{1,2h}{GA} + \frac{h^3}{3EJ}}$$

Telaio equivalente e realtà

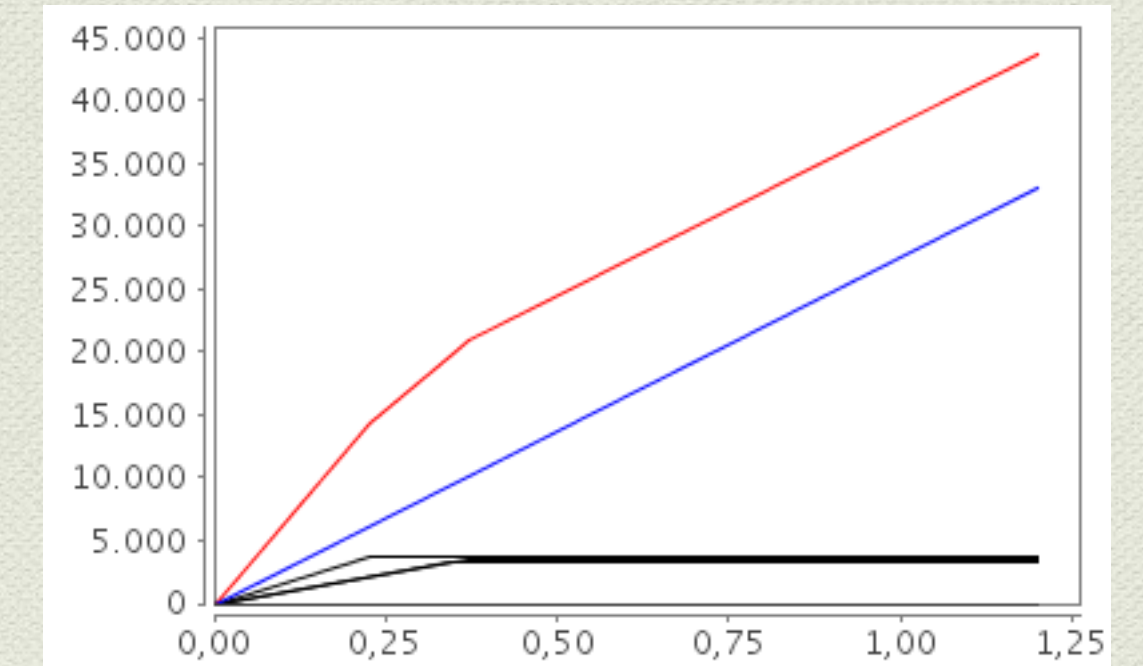
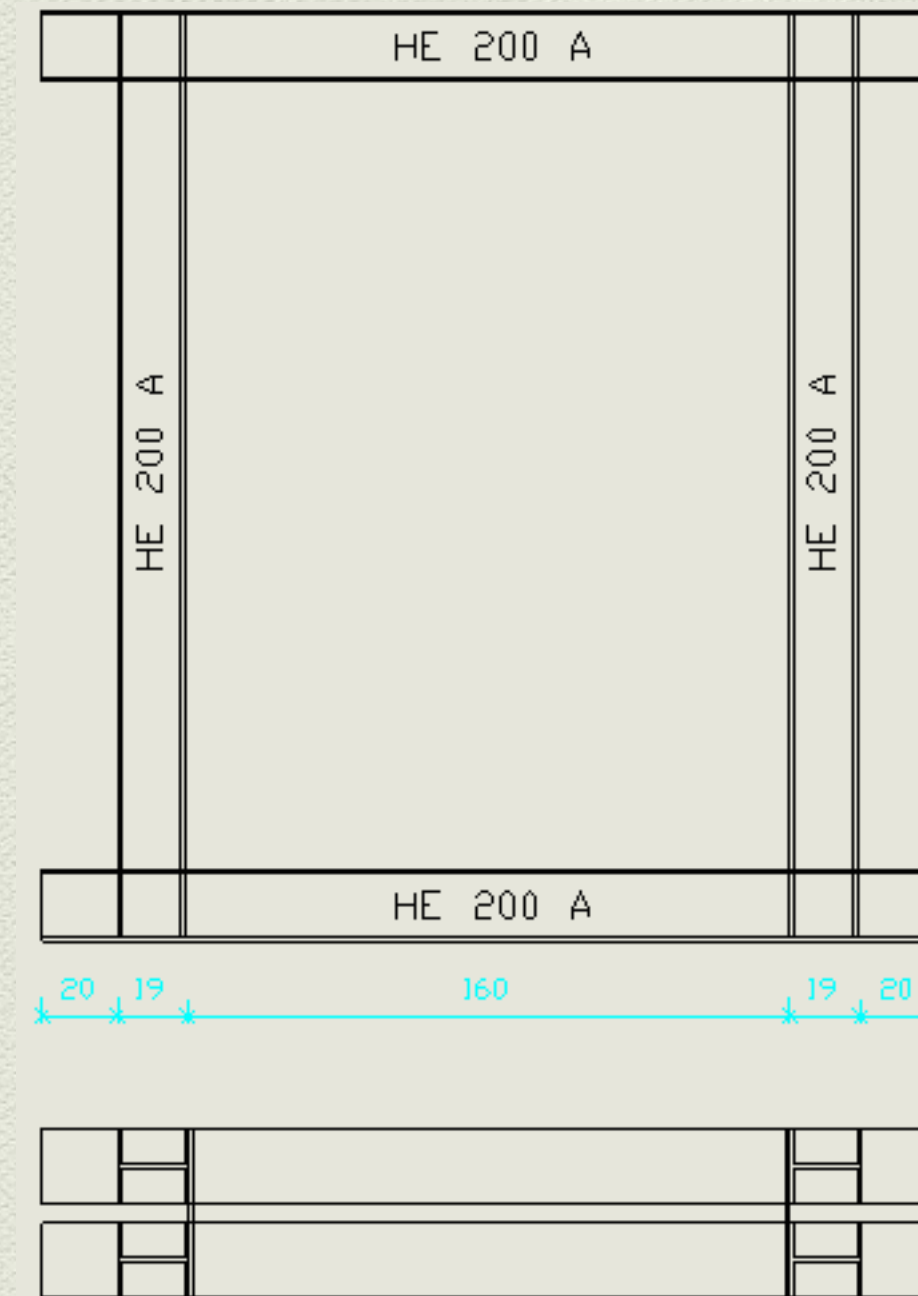
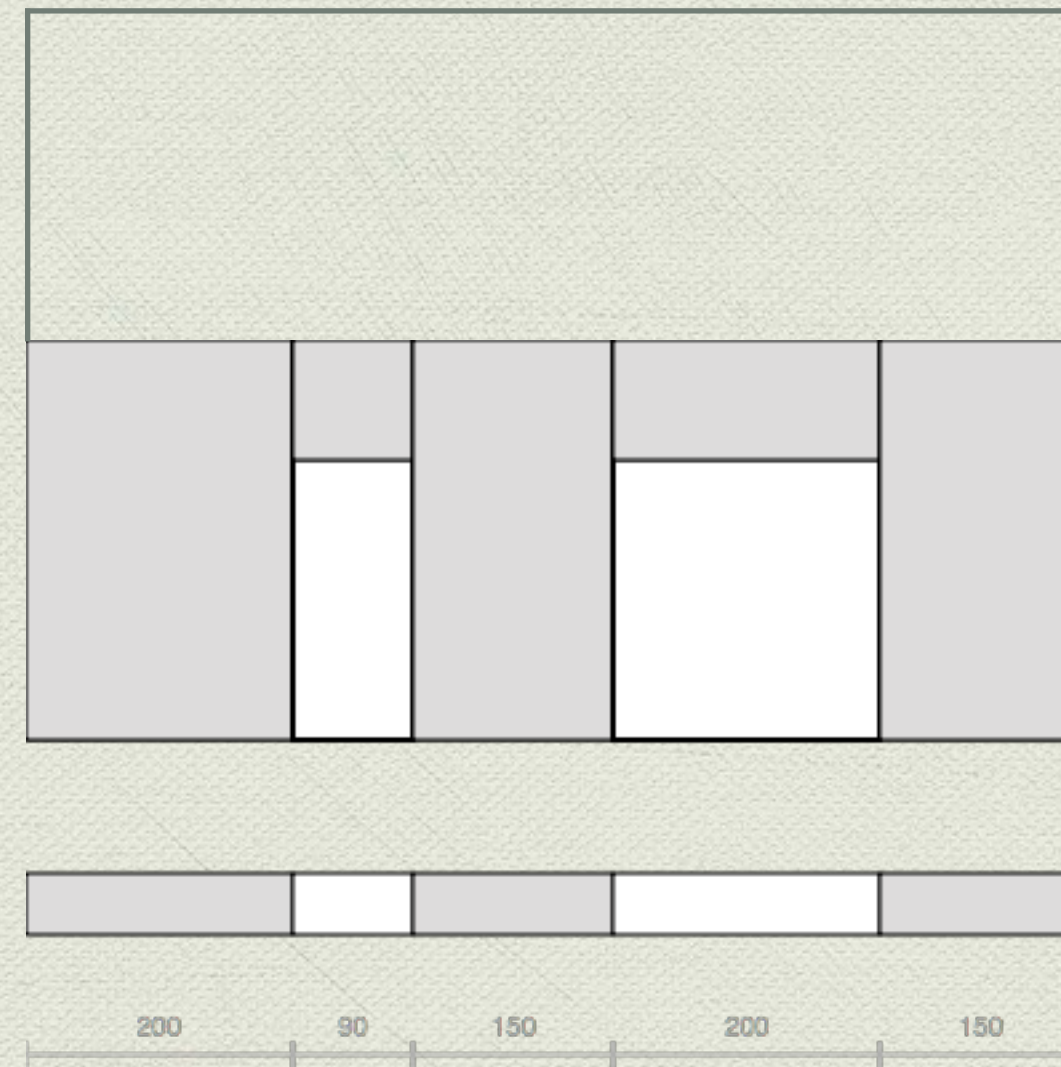
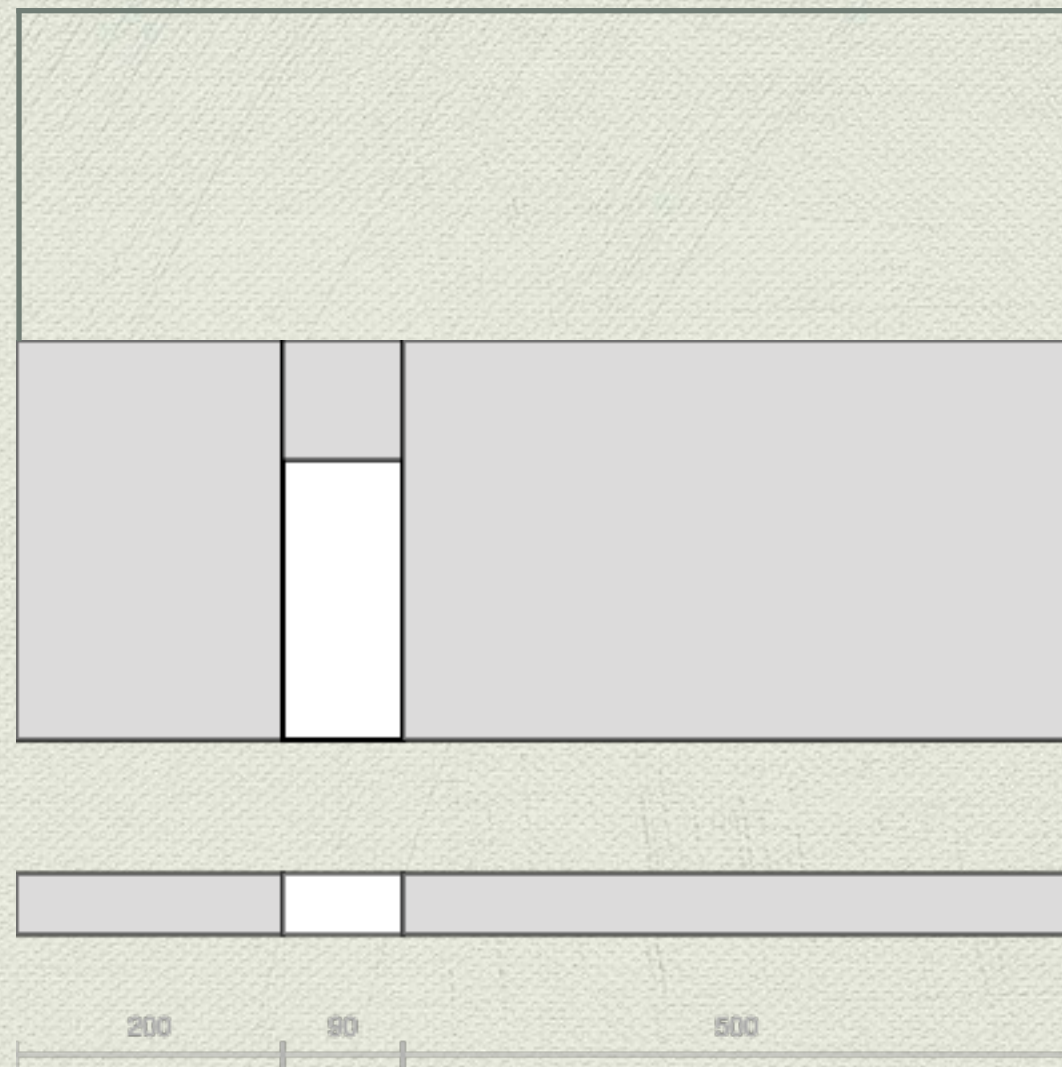


- Le fasce superiori e inferiori si deformano a taglio per scorrimento orizzontale
- La deformazione orizzontale a taglio delle fasce è dello stesso ordine di grandezza di quella dei maschi murari
- Per murature con aperture piccole rispetto ai pannelli murari la deformazione a taglio è predominante e quella a flessione spesso trascurabile
- Il considerare le fasce rigide porta ad un errato calcolo della deformazione e della rigidezza a sfavore della sicurezza con una sovrastima a volte anche esagerata

Risultati assurdi



- Confrontiamo un pannello prima e dopo l'apertura di una finestra
- Con il metodo del telaio equivalente la deformazione dopo la creazione dell'apertura è minore di quella del pannello senza apertura!
- La rigidità del pannello con l'apertura risulta quindi superiore a quella del pannello con senza l'apertura!
- Considerare i maschi murari alti quanto il piano e a doppio incastro fornisce un risultato molto più vicino alla realtà.



Esempio di calcolo di una cerchiatura in acciaio

Effettuiamo un calcolo di una cerchiatura con l'applicazione WEB iT-cerchiature

Analisi dei carichi sui setti

- ◆ Devono essere considerati tutti i carichi sui setti dalla copertura fino al piano superiore
- ◆ La combinazione è quella sismica $G1 + G2 + Q_{psi21}$
- ◆ Se un setto è completamente scarico non sarà mai verificato
- ◆ Se l'orditura dei solai è parallela al setto se ne considera comunque una striscia gravante sul setto la cui larghezza dipende dal tipo di solaio:
 - ◆ metà travicello per i solai in legno
 - ◆ metà interasse per i solai in profilati metallici
 - ◆ circa interasse travetti per i solai in laterizio (tenendo conto di un effetto lastra)

Analisi dei carichi sull'architrave

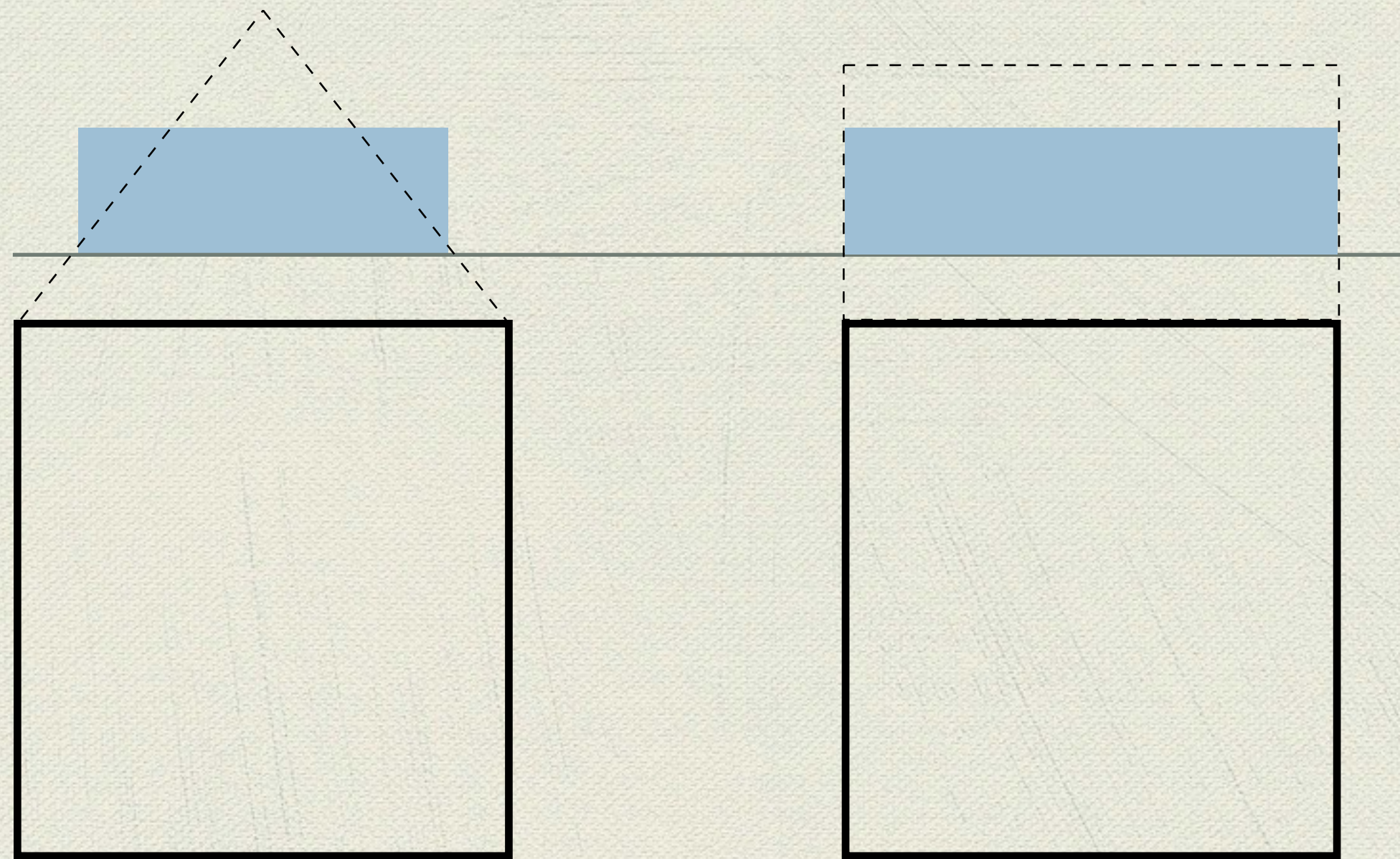


Figura A

Figura B

- ◆ Considerando l'effetto arco, i carichi sono quelli che cadono dentro il triangolo equilatero sopra l'architrave (fig A)
- ◆ Si può semplificare, in sicurezza, considerando un quadrato con il lato = luce dell'architrave / 2 (fig B)
- ◆ La combinazione per SLU è la principale $G1*1,3+G2*1,5+Q*1,5$
- ◆ La combinazione per SLE è $G1+G2+\psi_2*Q$

Verifica a taglio

Murature ordinate

$$V_t = l' t f_{vd} \quad (7.8.3)$$

l' lunghezza della parte compressa

t spessore della parete

$f_{vd} = f_{vk} / \gamma_M$ è definito al § 4.5.6.1 delle norme NTC, calcolando la tensione normale media (indicata con σ_n nel paragrafo citato) sulla parte compressa della sezione ($\sigma_n = P / (l't)$).

In caso di analisi statica non lineare, la resistenza a taglio può essere calcolata ponendo **$f_{vd} = f_{vk}/0,7 + 0,4\sigma_n$** .

Murature disordinate

$$V_t = l \cdot t \frac{1,5\tau_{0d}}{b} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{1,5\tau_{0d}}} = l \cdot t \frac{f_{td}}{b} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{f_{td}}} \quad (C 8.7.1.6)$$

l lunghezza del setto

t spessore del setto

b snellezza = h/l , con un minimo di 1 e un massimo di 1,5

- E' considerata resistente a taglio solo la parte compressa del setto
- Se la risultante delle forze verticali cade fuori del setto, il setto non è verificato, indipendentemente dalle caratteristiche del materiale
- La circolare del 2009 propone una relazione diversa per murature disordinate o di cattiva qualità
- Lo spostamento ultimo può essere assunto pari allo 0,4% dell'altezza del piano

In caso di sezione interamente reagente abbiamo

$$T_u = lt \left(\frac{f_{vk}}{0,7} + 0,4\sigma_m \right)$$

Altrimenti

$$T_u = l't \left(\frac{f_{vk}}{0,7} + 0,4\sigma_m \right)$$

$$l' = 3 \left(\frac{l}{2} + \frac{T_u h}{2N} \right)$$

Risolvendo il sistema di 2 equazioni in 2 incognite

$$T_u = \frac{6Nl + 0,4N^2 h}{2N + 3th \frac{f_{vk}}{0,7}}$$

Tu: taglio ultimo
l: lunghezza setto
t: spessore setto
l': lunghezza compressa
N: carico assiale

Taglio ultimo e lunghezza compressa sono tra loro correlate. In caso di doppio incastro Tu genera un momento

$$M = T_u \cdot h / 2$$

un'eccentricità

$$e = M / N$$

per cui

$$l' = 3 \cdot (l/2 - e)$$

Il taglio ultimo è quello che risulta dall'equilibrio delle equazioni al lato, infatti un taglio maggiore genererebbe un l' minore e non sarebbe possibile.

Pressoflessione nel piano

$$M_u = (l^2 t \sigma_0 / 2) (1 - \sigma_0 / 0,85 f_d) \quad (7.8.2)$$

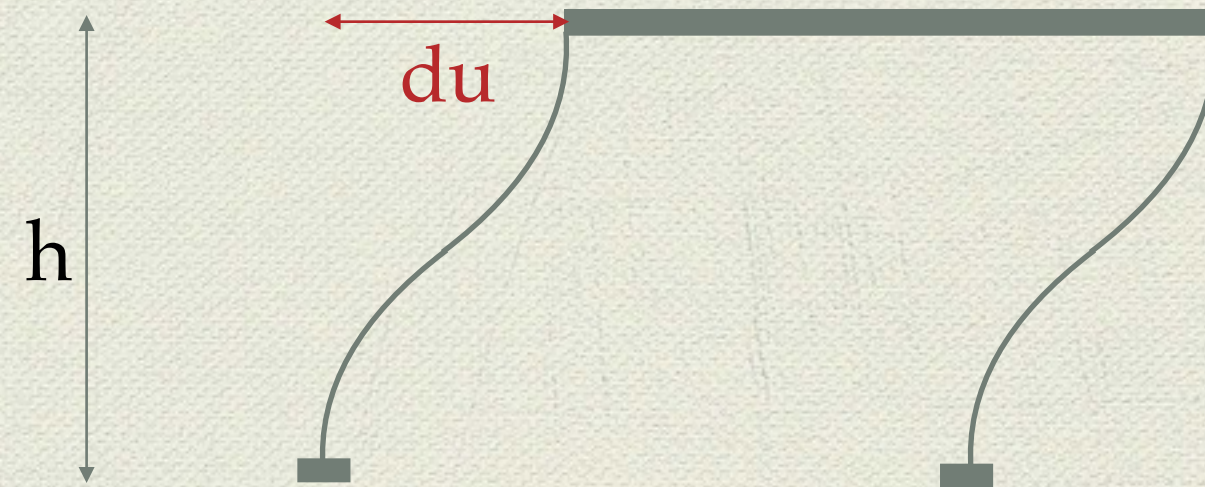
$f_d = f_k / \gamma_M$ è la resistenza a compressione di calcolo della muratura in caso di calcolo lineare.

in caso di calcolo non lineare $\gamma_M = 1$

- Anche questo caso è fortemente influenzato dai carichi verticali e i setti scarichi sono fortemente penalizzati
- Rispetto alle norme precedenti non si considera la resistenza a trazione del materiale
- Lo spostamento ultimo può essere assunto pari allo 0,6% dell'altezza del piano

Rigidezza e resistenza cerchiatura in acciaio

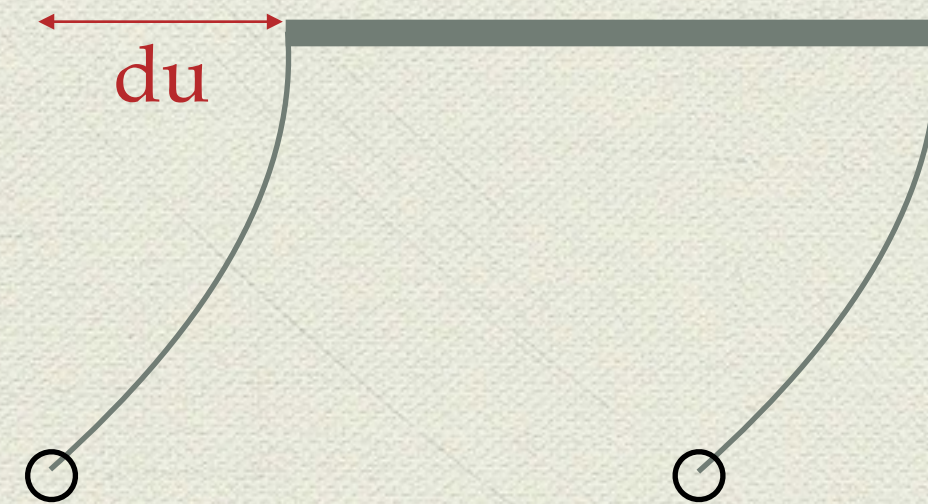
Incastro - Incastro



$$k = \frac{12EJn}{h^3}$$

$$F_u = \frac{2M_u}{h}$$

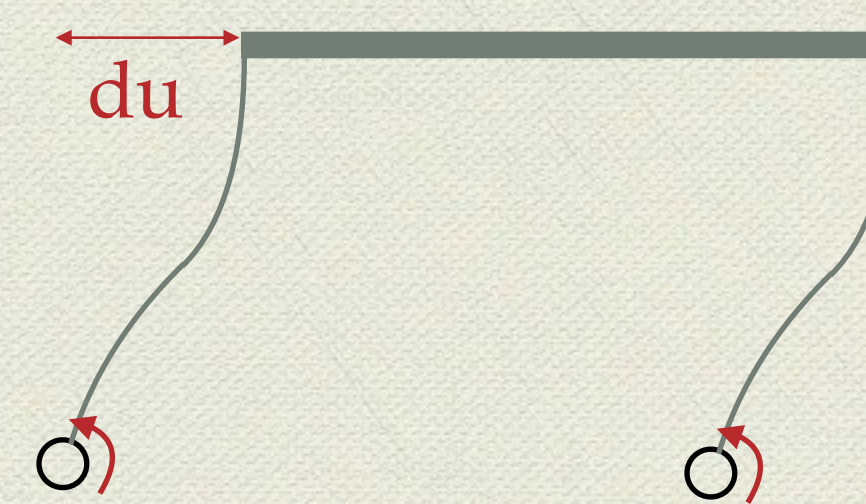
Incastro - Cerniera



$$k = \frac{3EJn}{h^3}$$

$$F_u = \frac{M_u}{h}$$

Incastro - Semincastro



$$k = \frac{8EJn}{h^3}$$

$$F_u = \frac{1,5M_u}{h}$$

$$M_u = \frac{W f_{tk}}{\gamma_m^n}$$

$$F_t = k \, du$$

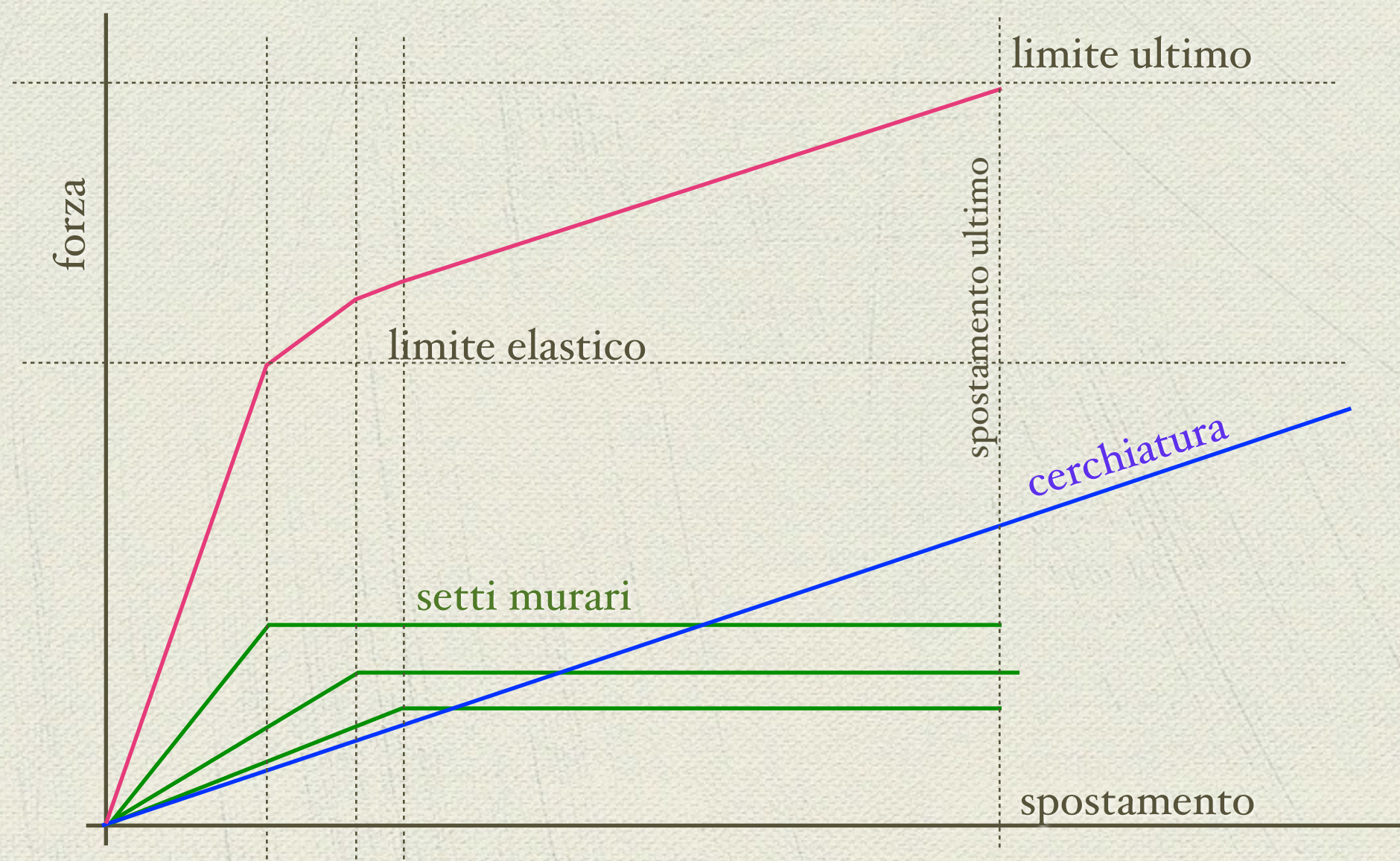
$$\text{se } F_t > F_u$$

$$F_t = F_u$$

- du: spostamento ultimo del pannello murario
- n: numero dei montanti
- k: rigidezza cerchiatura
- Fu: forza ultima cerchiatura
- Mu: momento ultimo totale
- Ft: forza reattiva cerchiatura

Valutazione della resistenza totale

Grafico forze-spostamenti



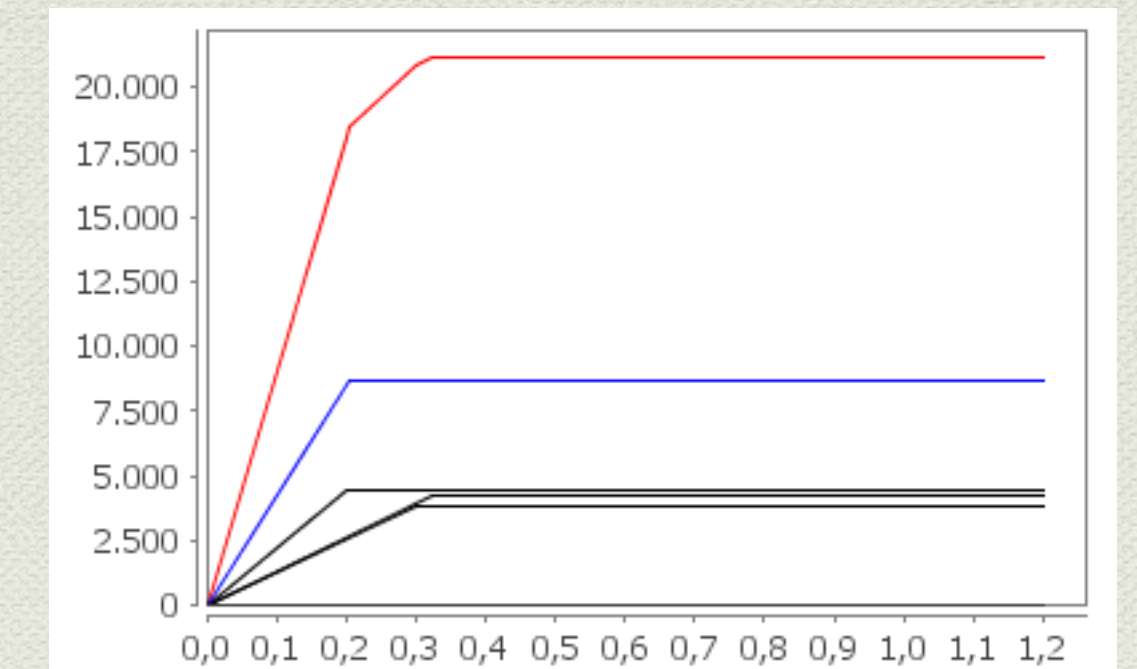
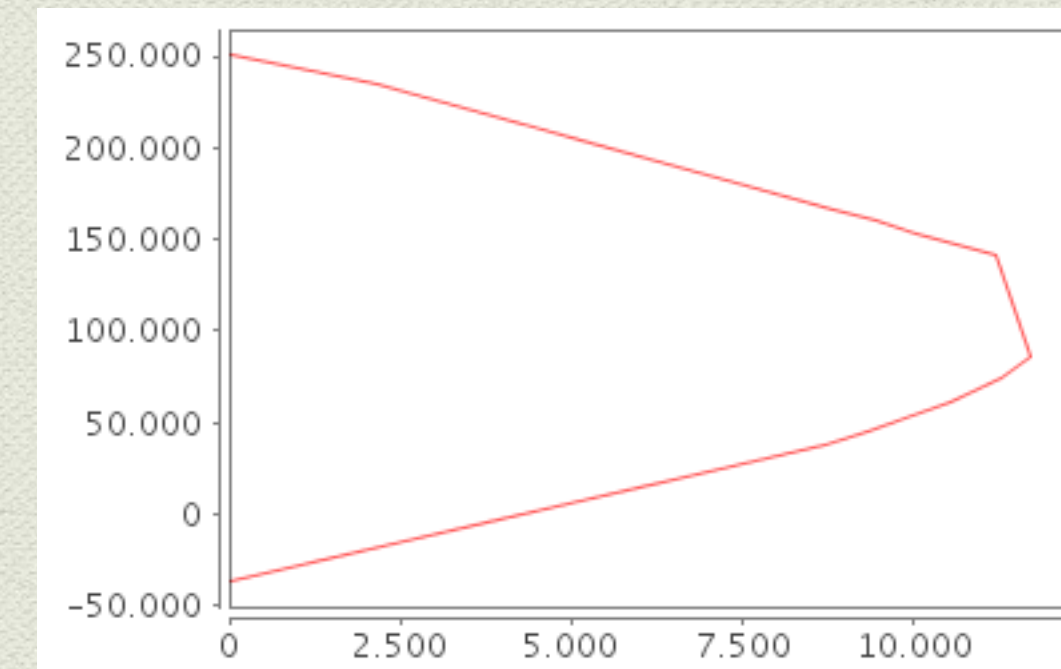
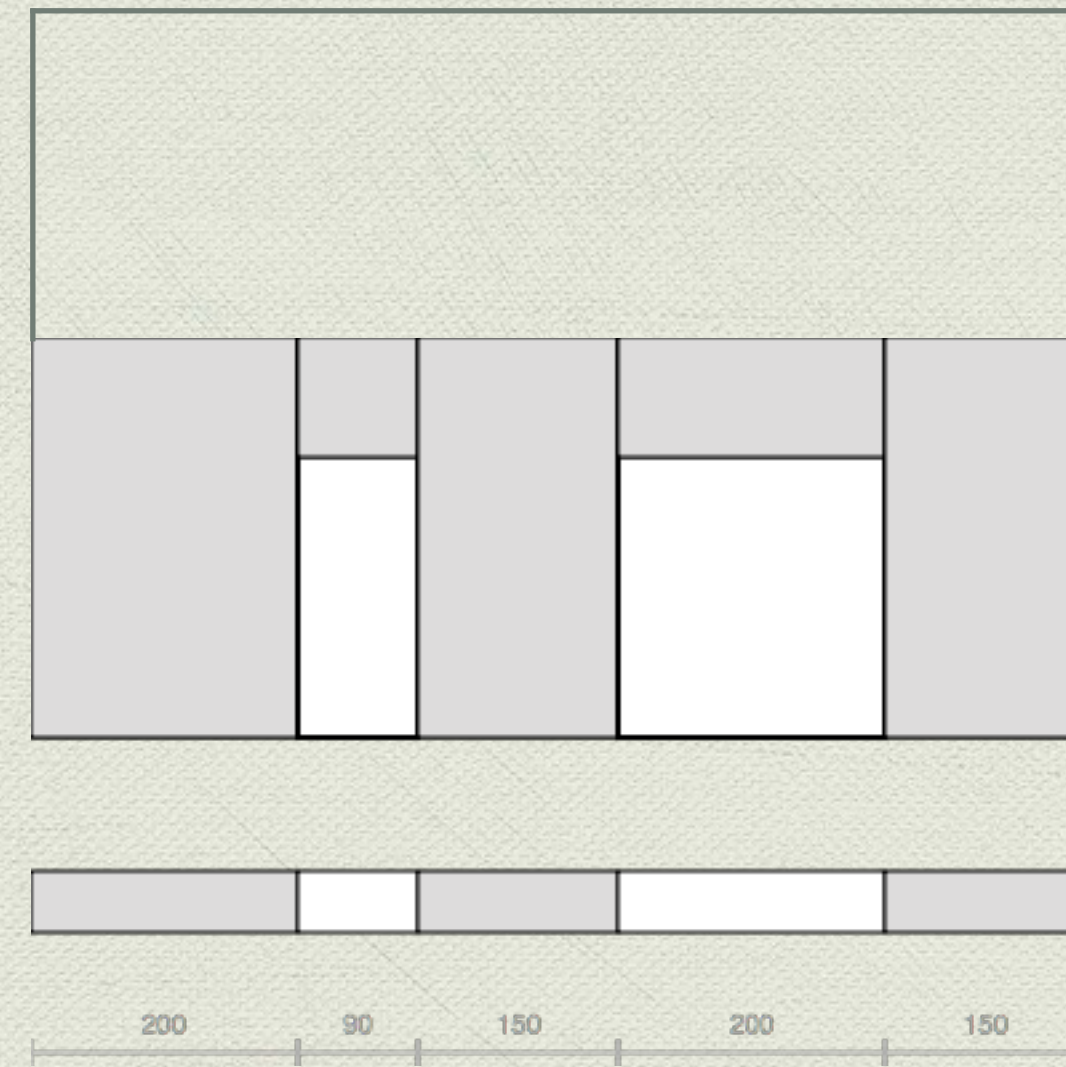
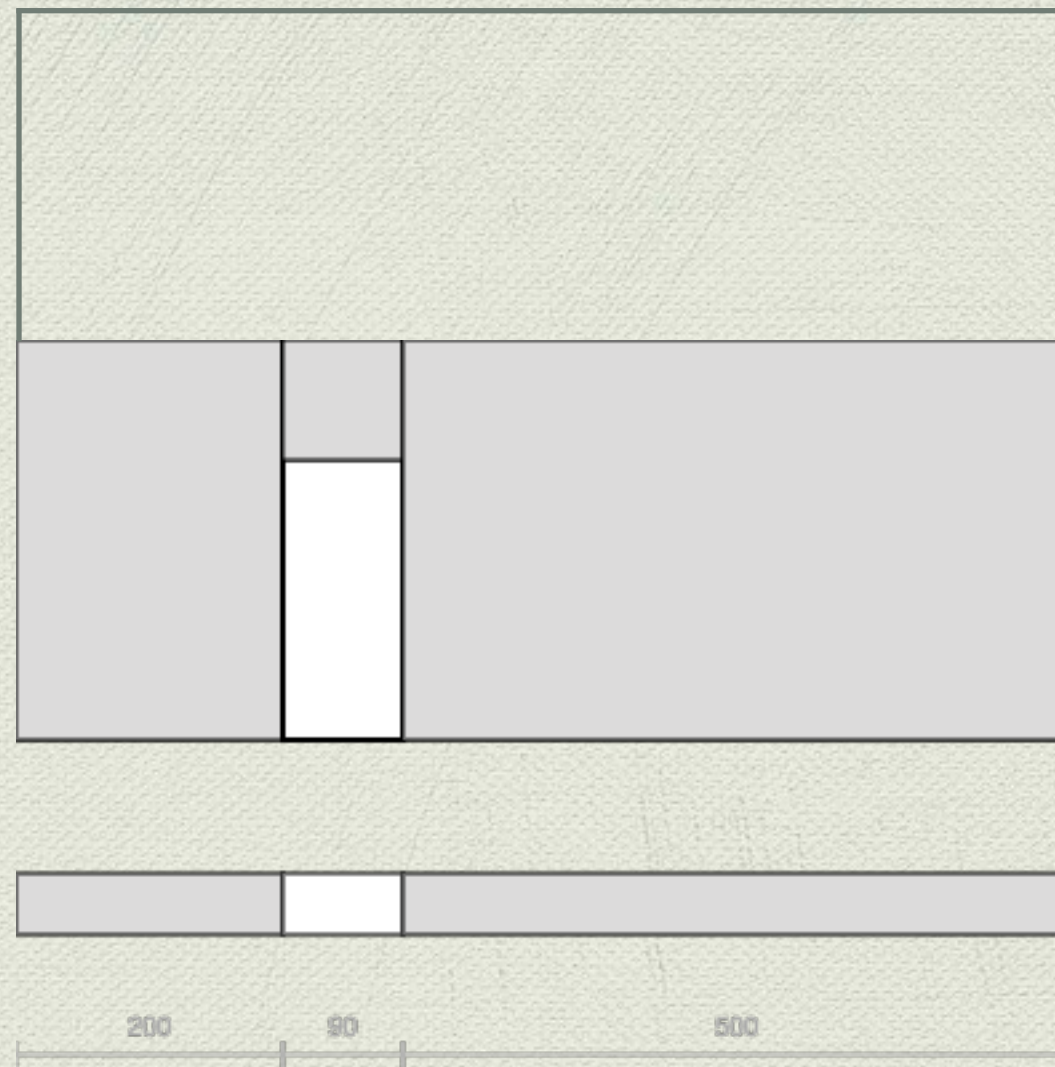
Per i setti murari si considera un comportamento elasto-plastico semplificato con una bilatera. Per la parte elastica si considera la rigidezza fessurata.

L'acciaio è considerato sempre in campo elastico nei confronti della muratura. Almeno fino alla deformazione di collasso del primo setto

Il limite elastico corrisponde al raggiungimento della forza ultima del primo pannello.

La capacità reattiva del pannello è quella corrispondente allo spostamento che genera il collasso di uno dei setti.

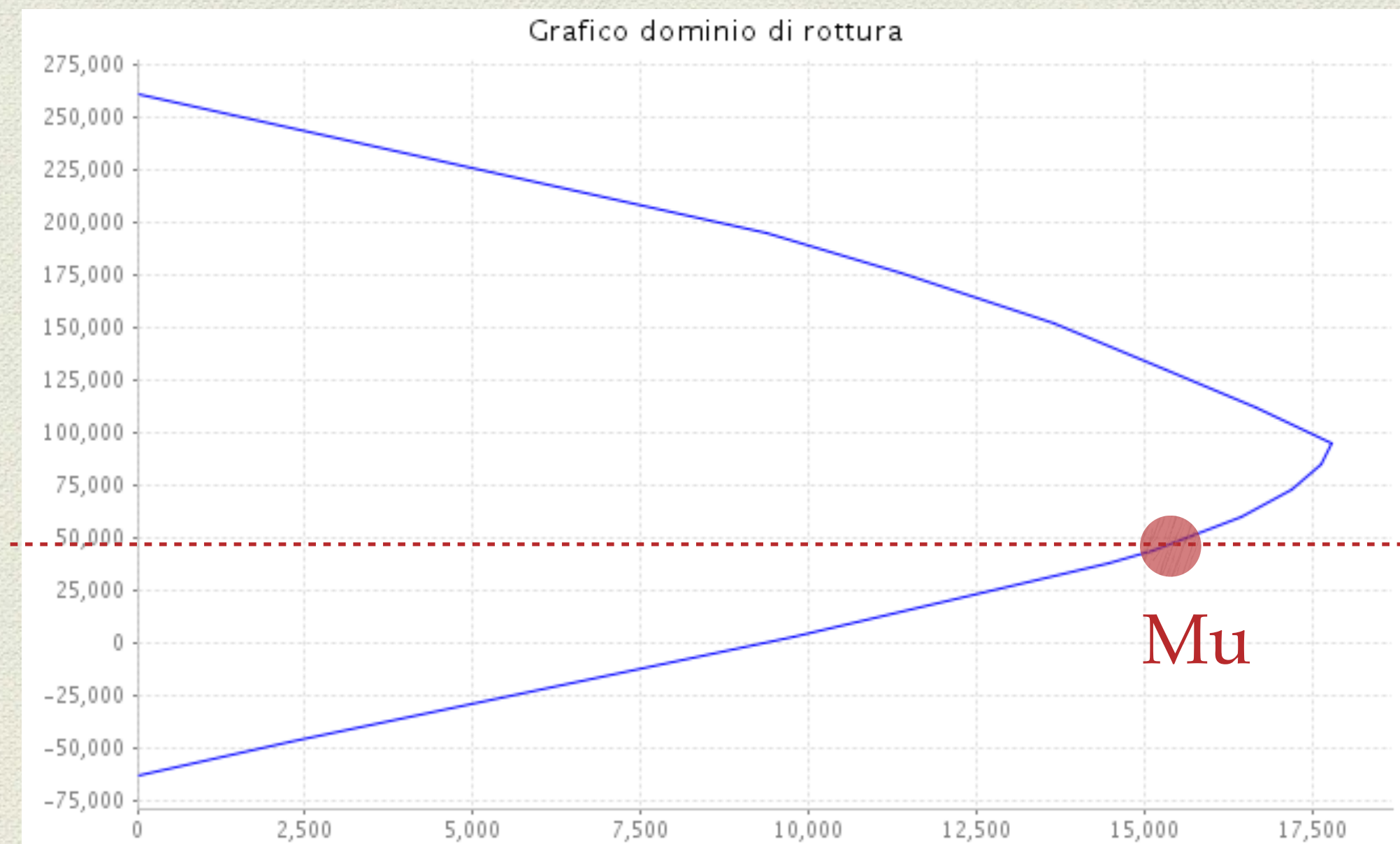
La resistenza totale è la somma delle resistenze dei pannelli e della cerchiatura



Esempio di calcolo di una cerchiatura in CA

Effettuiamo un calcolo di una cerchiatura con l'applicazione WEB iT-cerchiature-CA

Resistenza dei montanti in calcestruzzo



- Il momento ultimo deriva dal dominio di rottura della sezione a pressoflessione
- La forza ultima F_u è determinata in base a M_u in modo analogo alle cerchiature in acciaio
- Il comportamento elasto-plastico dei montanti è schematizzato con una bilatera in modo analogo a quella dei setti in muratura

Incastro-Incastro

$$k = \frac{12EJn}{h^3}$$

$$F_u = \frac{2M_u}{h}$$

Incastro-cerniera

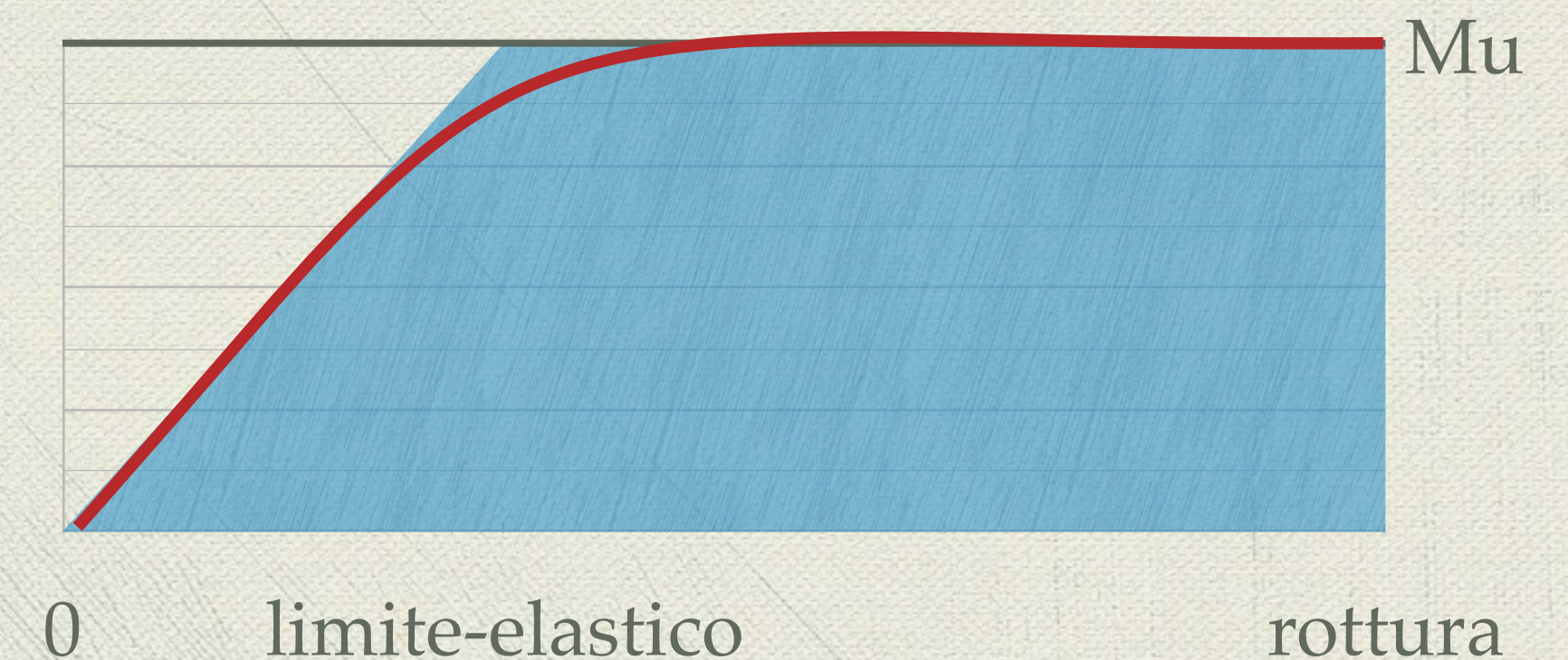
$$k = \frac{3EJn}{h^3}$$

$$F_u = \frac{M_u}{h}$$

Incastro-semincastro

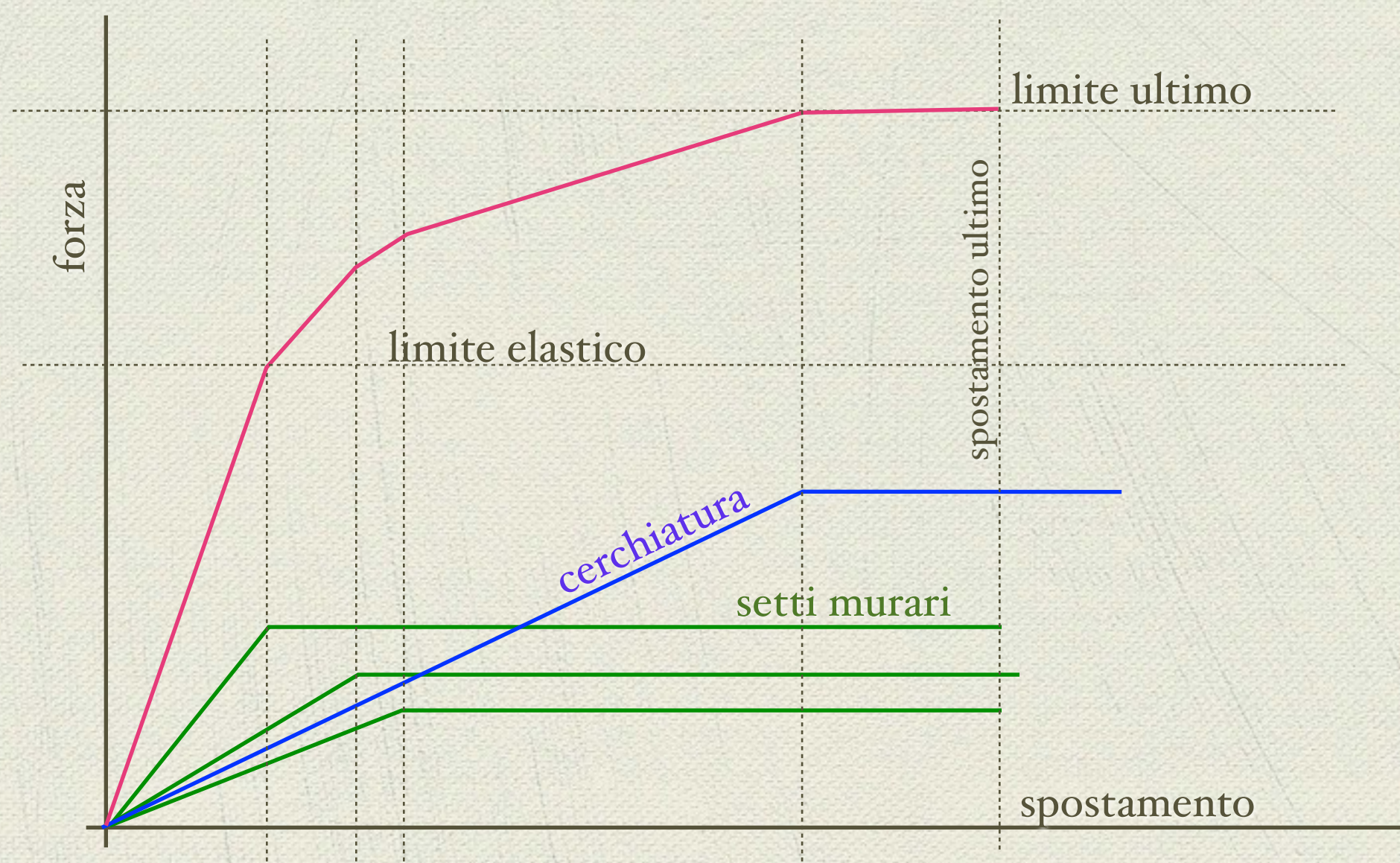
$$k = \frac{8EJn}{h^3}$$

$$F_u = \frac{1,5M_u}{h}$$



Valutazione della resistenza totale

Grafico forze-spostamenti



Per i setti murari si considera un comportamento elasto-plastico semplificato con una bilatera. Per la parte elastica si considera la rigidezza fessurata.

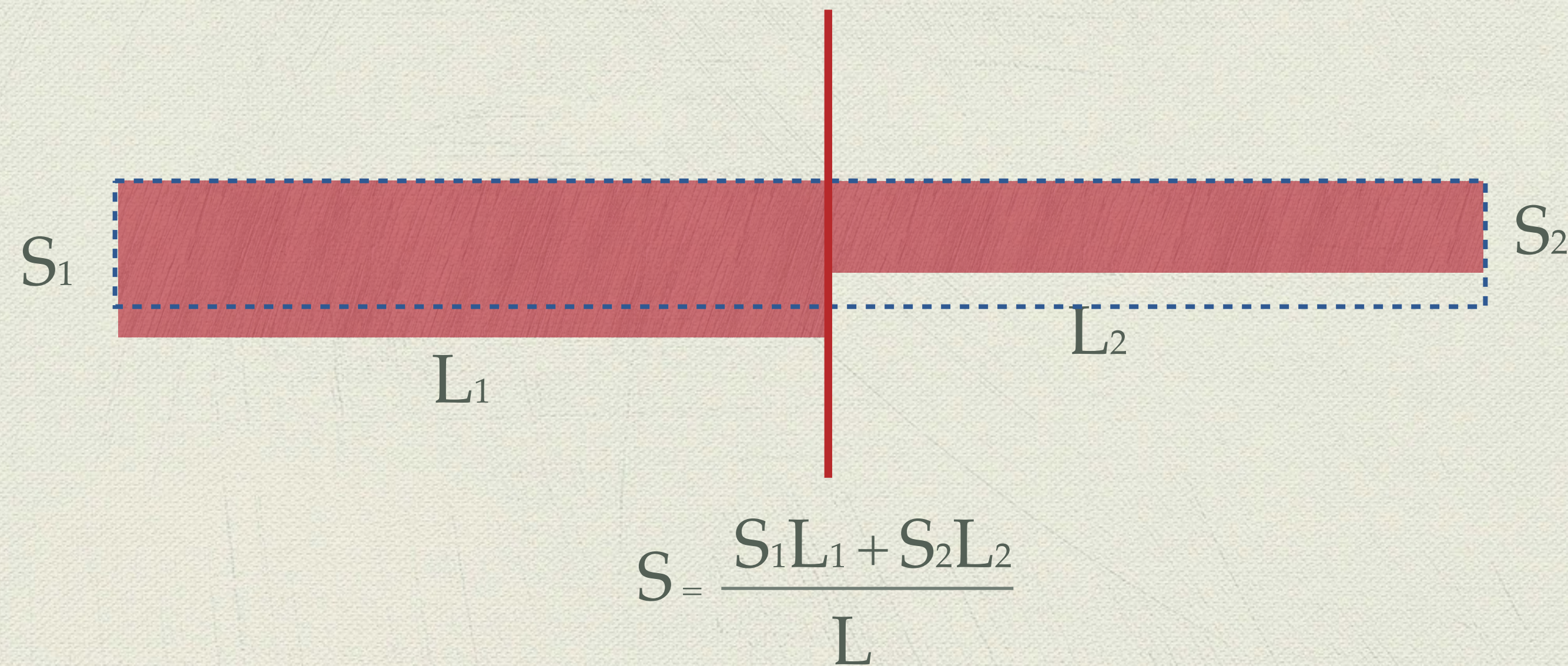
La cerchiatura in calcestruzzo ha un comportamento elasto-plastico

Il limite elastico corrisponde al raggiungimento della forza ultima del primo pannello.

La capacità reattiva del pannello è quella corrispondente allo spostamento che genera il collasso di uno dei setti.

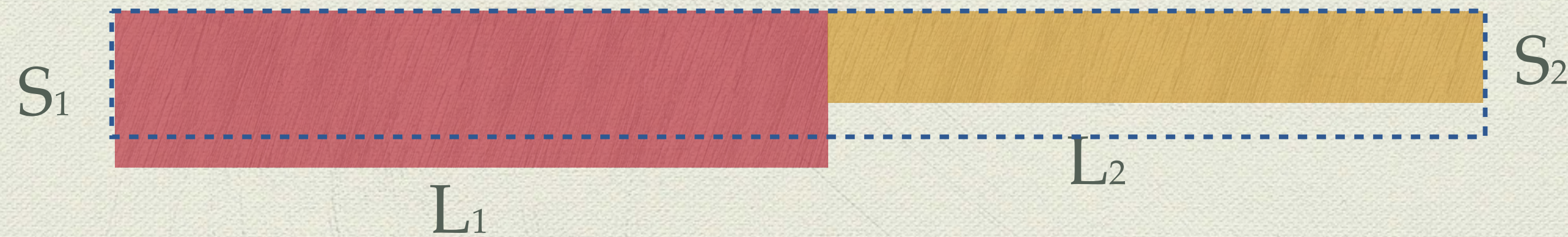
La resistenza totale è la somma delle resistenze dei pannelli e della cerchiatura

Casi particolari - Spessori variabili



- E' errato considerare i setti separati, perché dà luogo ad una rigidezza inferiore a quella effettiva
- Una approssimazione migliore è considerare un setto unico di area equivalente

Casi particolari - Spessori e materiali variabili



$$S = \frac{S_1 L_1 + S_2 L_2}{L}$$

$$f_{vk} = \frac{f_{vk1} S_1 L_1 + f_{vk2} S_2 L_2}{S_1 L_1 + S_2 L_2}$$

$$f_k = \min(f_{k1}, f_{k2})$$

$$E = \frac{E_1 S_1 L_1 + E_2 S_2 L_2}{S_1 L_1 + S_2 L_2}$$

$$G = \frac{G_1 S_1 L_1 + G_2 S_2 L_2}{S_1 L_1 + S_2 L_2}$$

- E' errato considerare i setti separati, perché dà luogo ad una rigidezza inferiore a quella effettiva
- Una approssimazione migliore è considerare un setto unico di area equivalente

Alternative alle cerchiature

- E' possibile recuperare la rigidezza e la resistenza perdute tramite il miglioramento delle caratteristiche delle murature invece di inserire delle cerchiature
 - Aumentando lo spessore, ad esempio raddoppiando lo spessore delle murature ad una testa
 - Con placature con betoncino di calcestruzzo e reti in acciaio o altro materiale
 - Anche quando non è sufficiente, il miglioramento delle caratteristiche delle murature riduce comunque le dimensioni delle cerchiature
 - La normativa prevede dei coefficienti di miglioramento tabellati

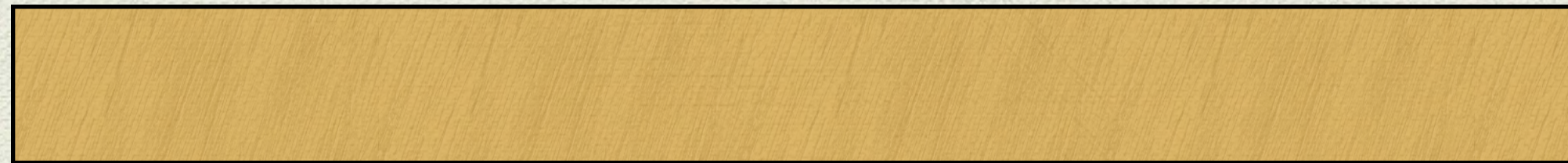
Tabella C8A.2.2 - Coefficienti correttivi dei parametri meccanici (indicati in Tabella C8A.2.1) da applicarsi in presenza di: malta di caratteristiche buone o ottime; giunti sottili; ricorsi o listature; sistematiche connessioni trasversali; nucleo interno particolarmente scadente e/o ampio; consolidamento con iniezioni di malta; consolidamento con intonaco armato.

Tipologia di muratura	Malta buona	Giunti sottili (<10 mm)	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Nucleo scadente e/o ampio	Iniezione di miscela leganti	Intonaco armato *
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	-	1,3	1,5	0,9	2	2,5
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e	1,4	1,2	1,2	1,5	0,8	1,7	2
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	-	1,1	1,3	0,8	1,5	1,5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	1,5	-	1,5	0,9	1,7	2
Muratura a blocchi lapidei squadriati	1,2	1,2	-	1,2	0,7	1,2	1,2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5	1,5	-	1,3	0,7	1,5	1,5

- La tabella C8A.2.2 delle norme propone una serie di coefficienti correttivi per l'intonaco armato. I valori sono indicativi e devono essere ridotti per murature di spessore maggiore di 70 cm.
- Le norme non lo dicono espressamente, ma i valori dovrebbero essere aumentati per murature di piccolo spessore, come ad esempio murature ad una testa.
- Lo spessore strutturale del setto con intonaco armato deve essere comprensivo dello spessore della parte strutturale in betoncino dell'intonaco stesso, escludendo lo spessore della finitura finale.

Analisi di una placcatura

Prima

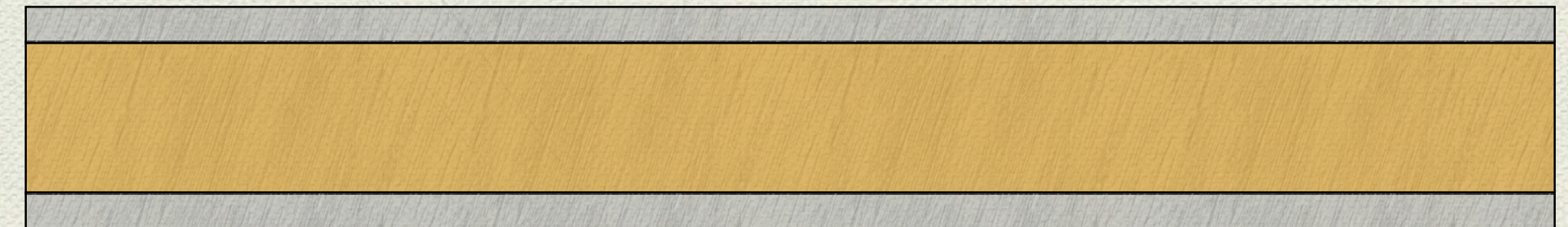


$L = 500 \text{ cm}$
 $S_m = 45 \text{ cm}$

Muratura in pietrame disordinata

$E = 4350 \text{ DaN/cm}^2$
 $G = 1450 \text{ DaN/cm}^2$
 $f_d = 10,00 \text{ DaN/cm}^2$
 $t_{od} = 0,20 \text{ DaN/cm}^2$

Dopo



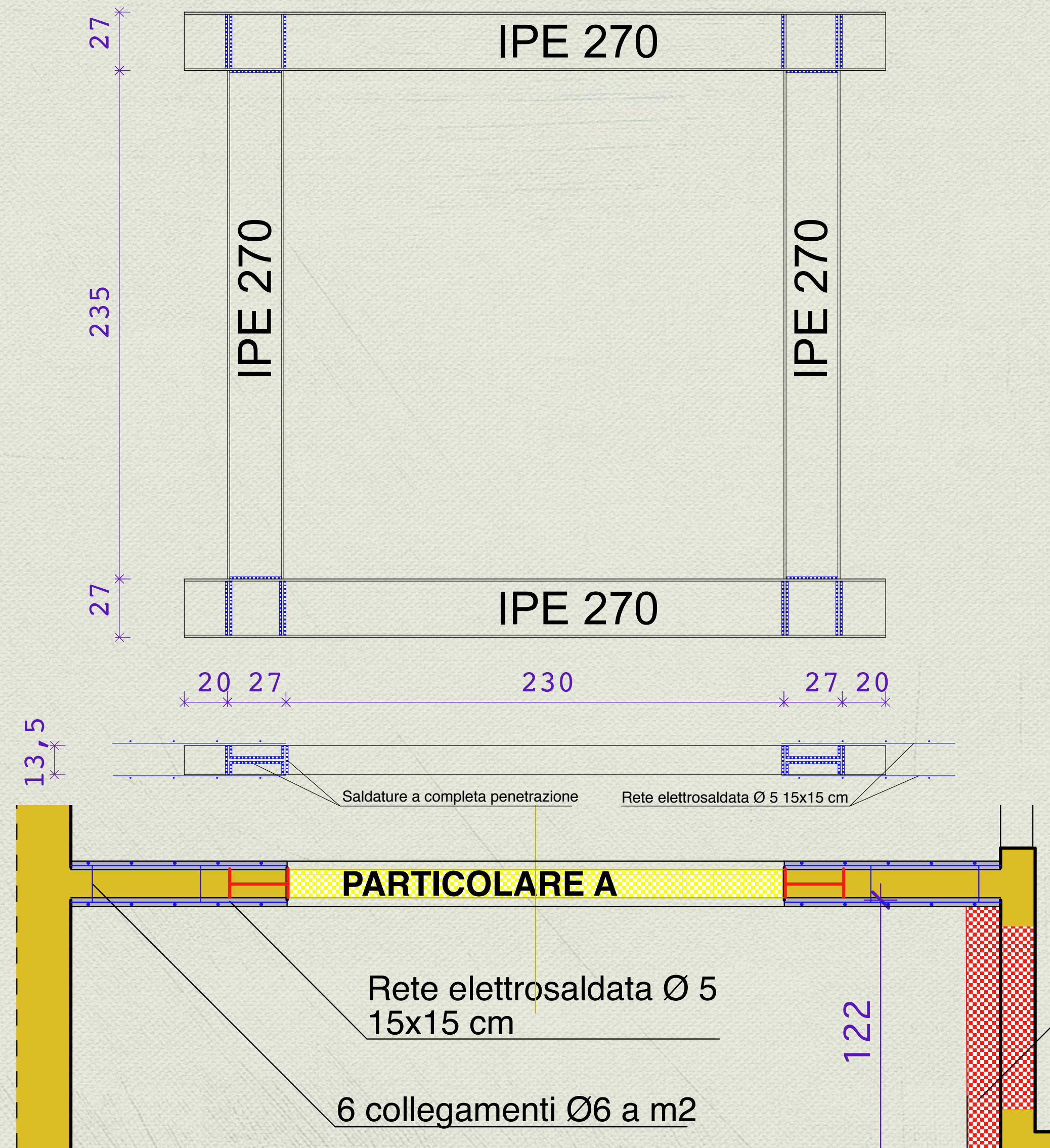
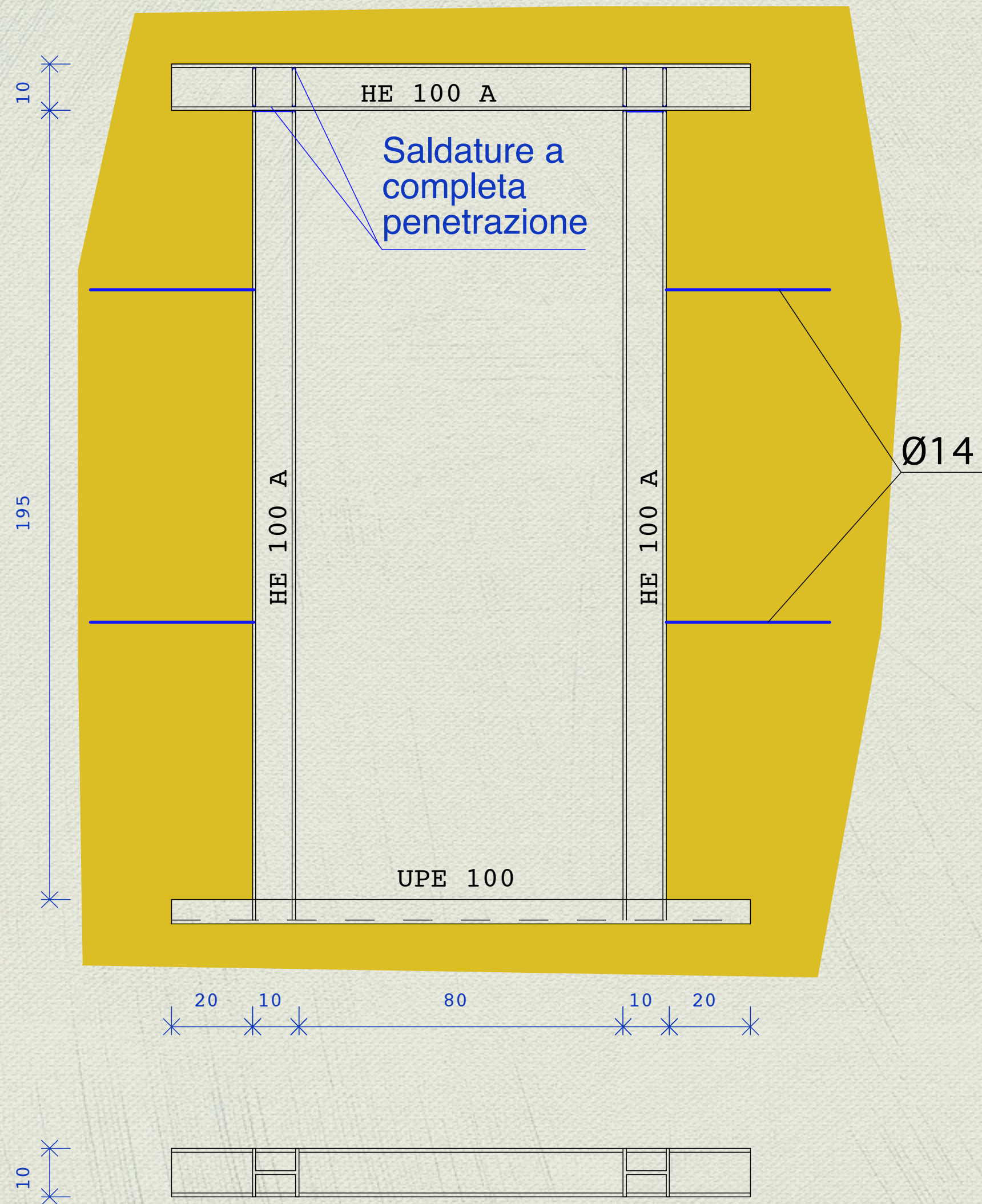
$L = 500 \text{ cm}$
 $S_m = 45 \text{ cm}$
 $S_b = 4 + 4 \text{ cm}$

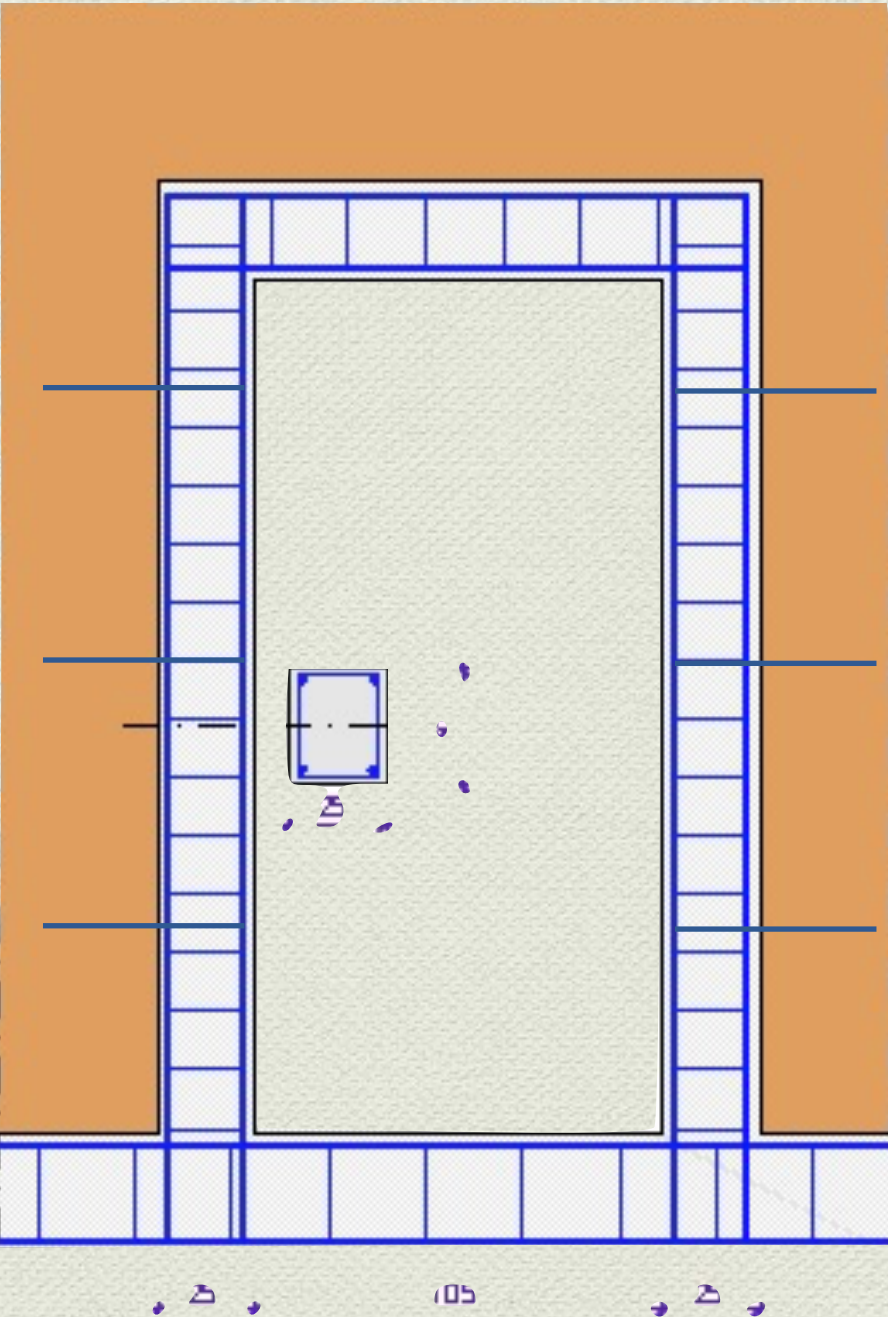
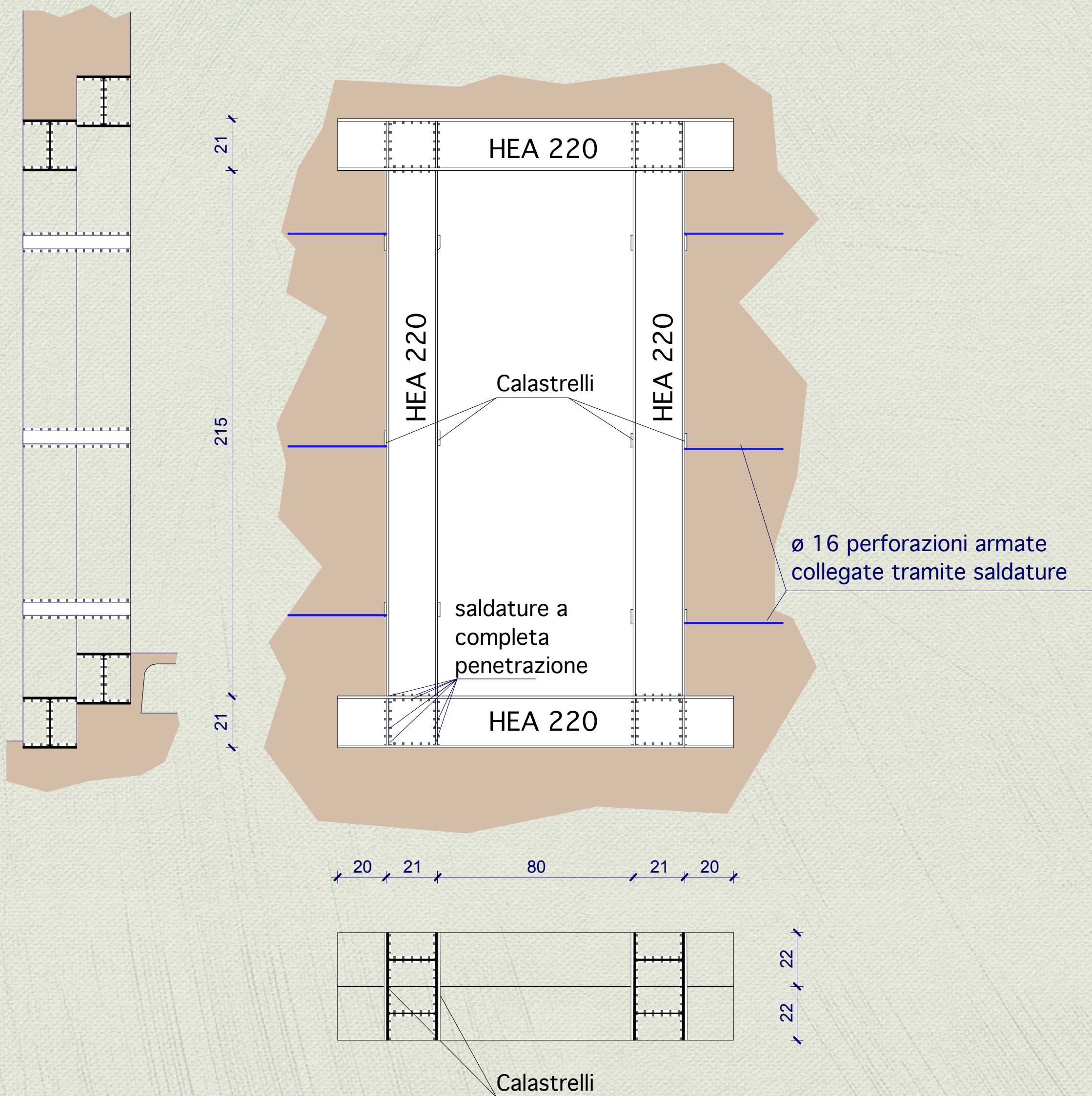
Calcestruzzo

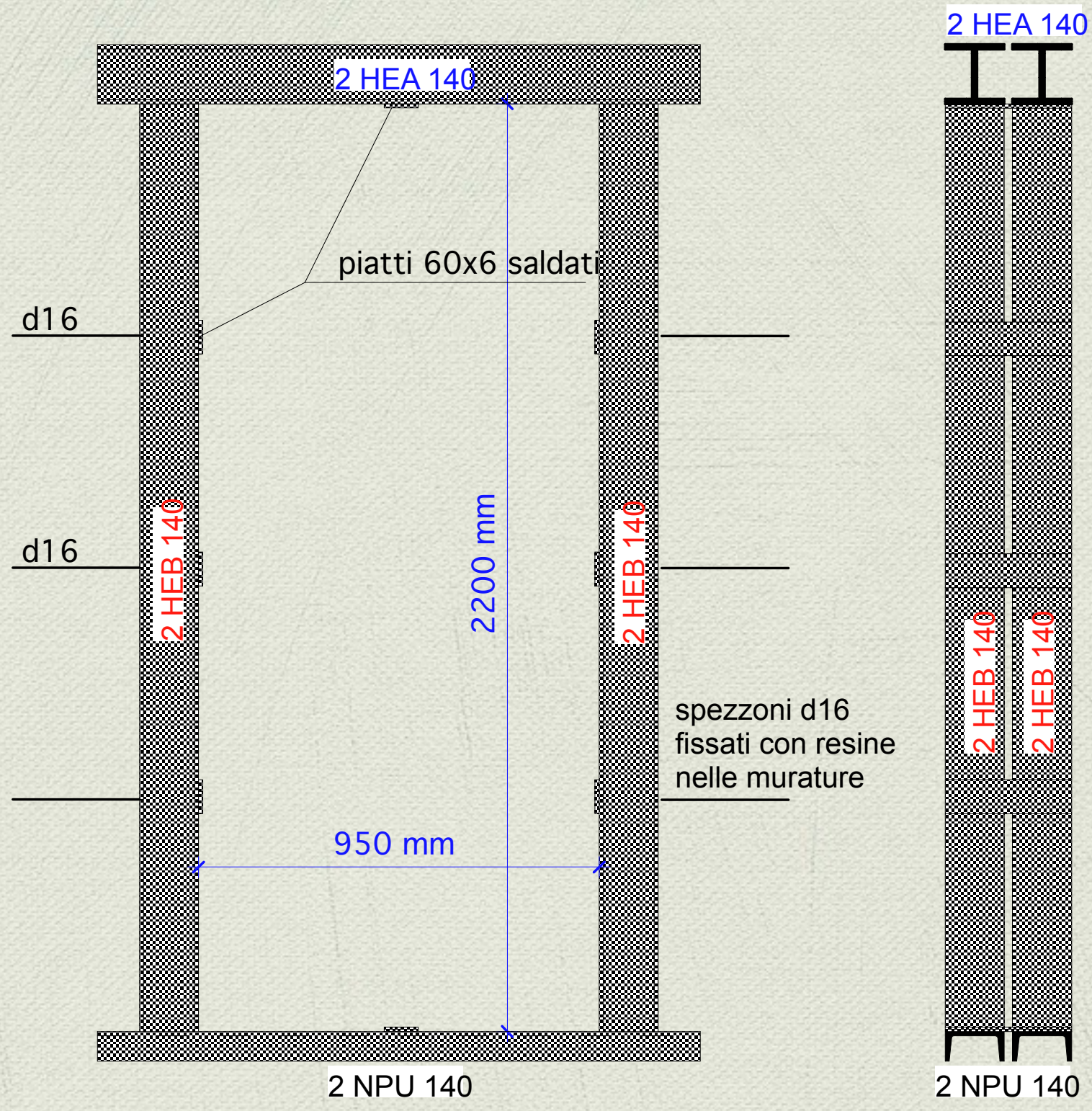
$E = 142300 \text{ DaN/cm}^2$
 $G = 62000 \text{ DaN/cm}^2$
 $f_d = 166,7 \text{ DaN/cm}^2$
 $t_{od} = 5,00 \text{ DaN/cm}^2$

La tabella C8A.2.2 propone un coefficiente di miglioramento = 2,5

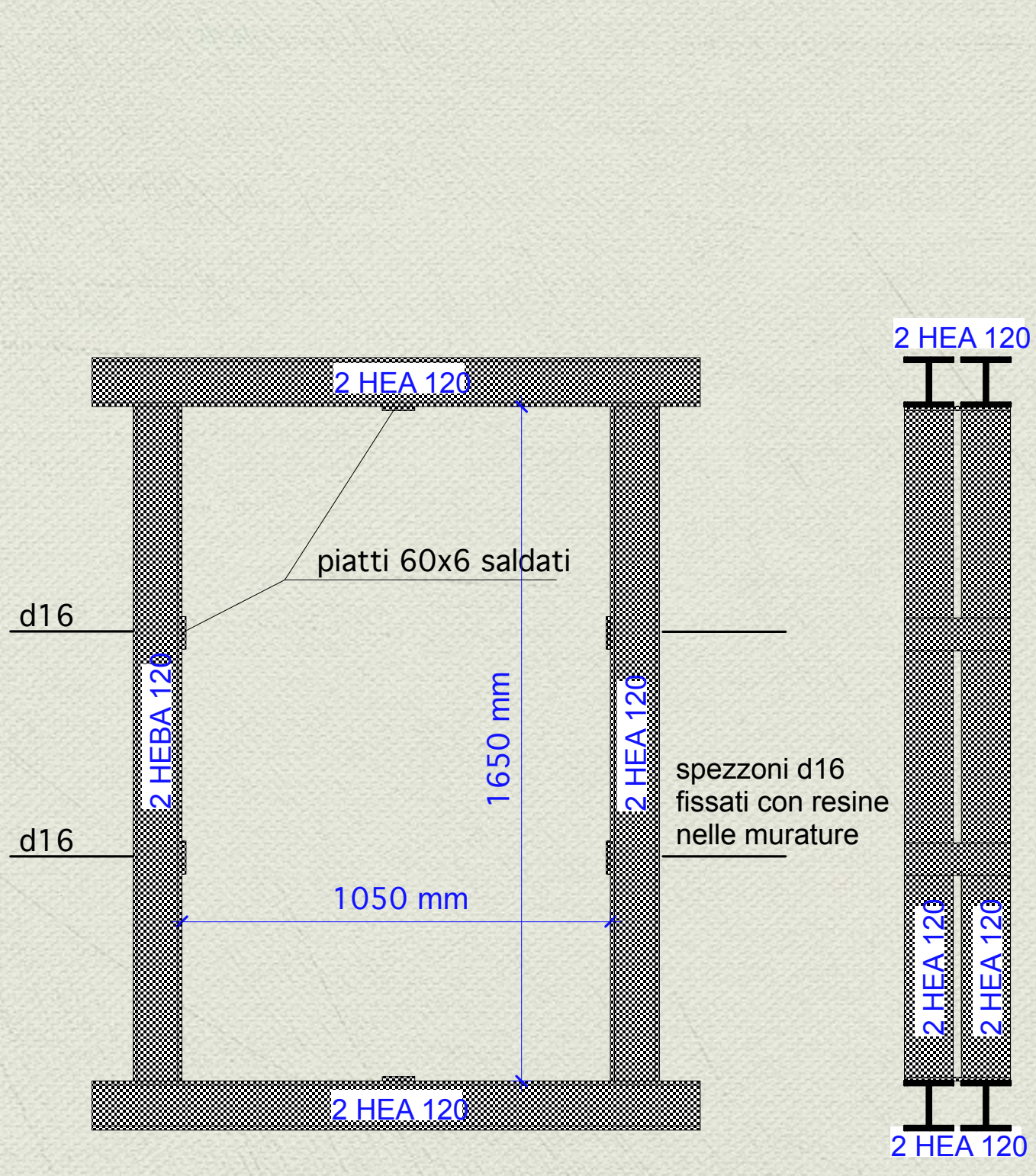
	Prima	Dopo
Rigidezza	82386 DaN/cm	591942 DaN/cm
Forza reattiva	33297 DaN	82386 DaN/cm
Coefficiente rigidezza s=45		7,18
Coefficiente resistenza s=45		4,30
Coefficiente rigidezza s=53		6,10
Coefficiente resistenza s=53		3,65



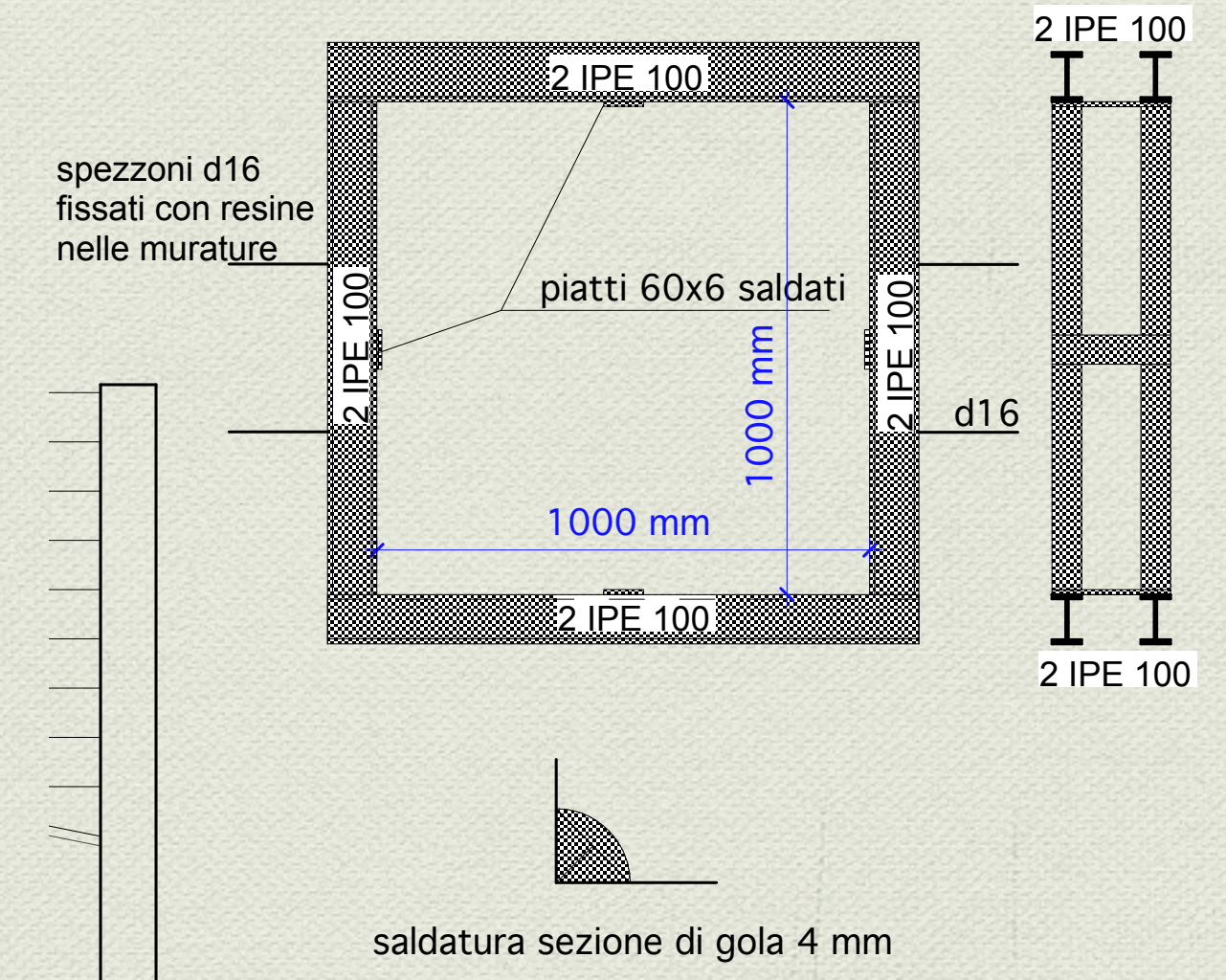


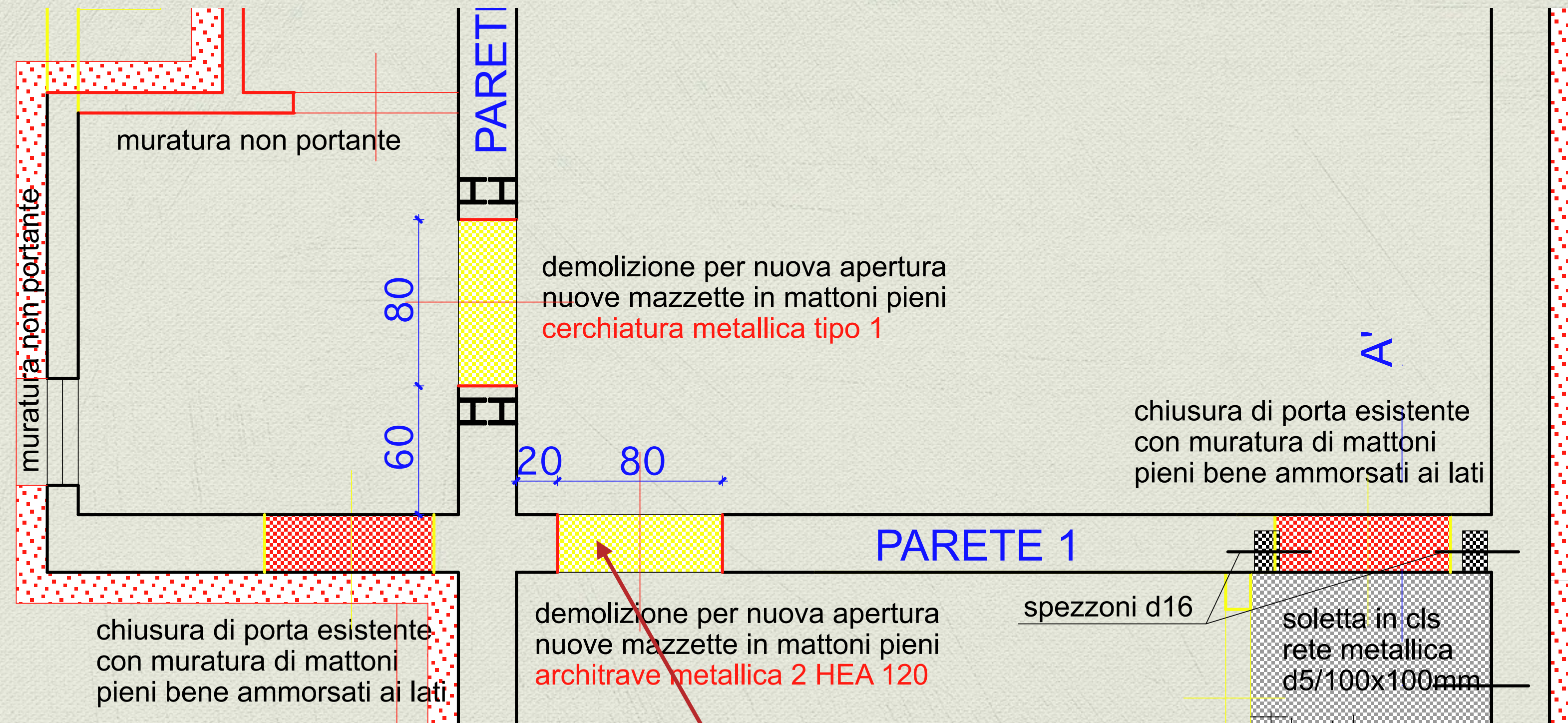


saldatura sezione di gola 6 mm



saldatura sezione di gola 6 mm

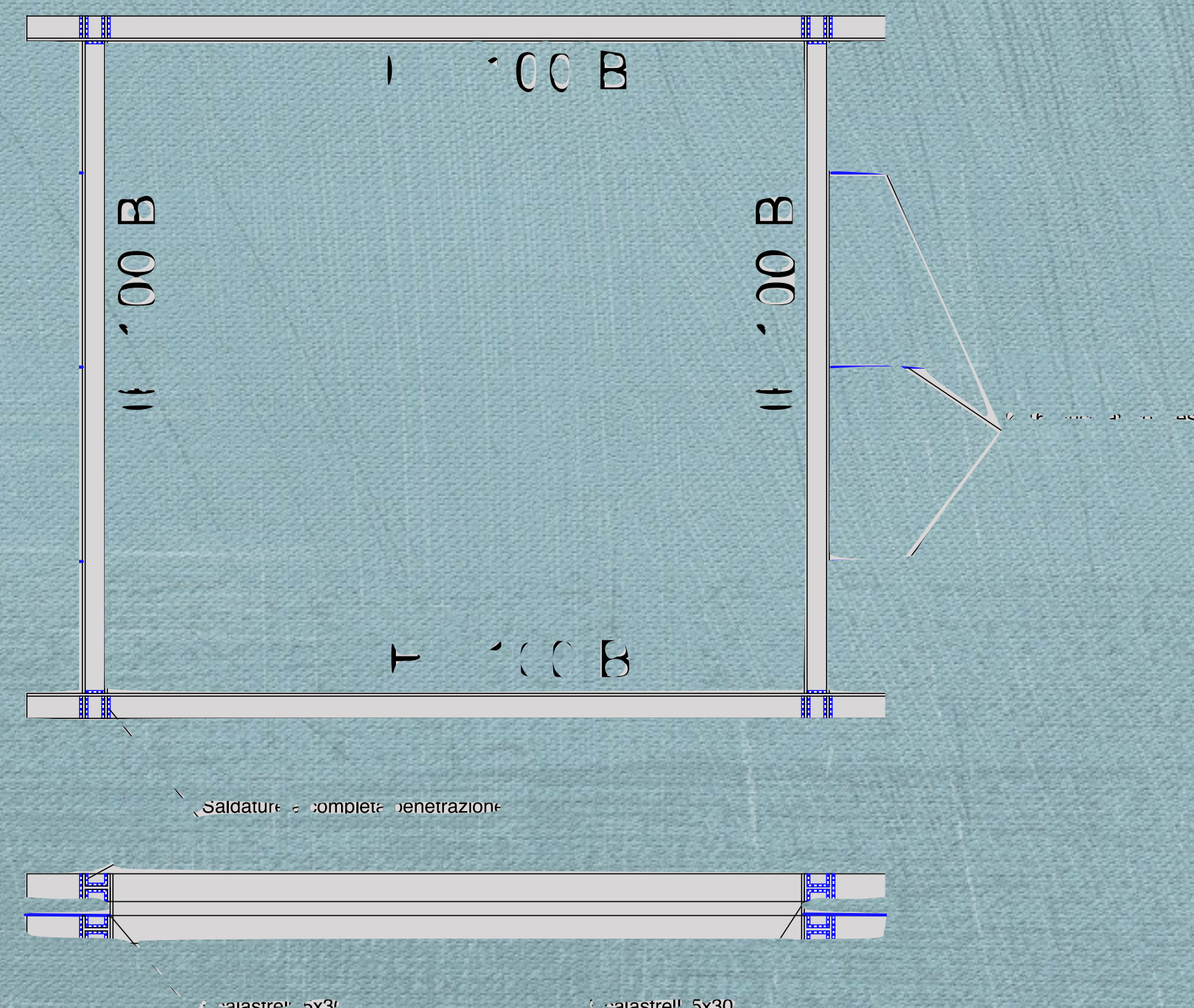
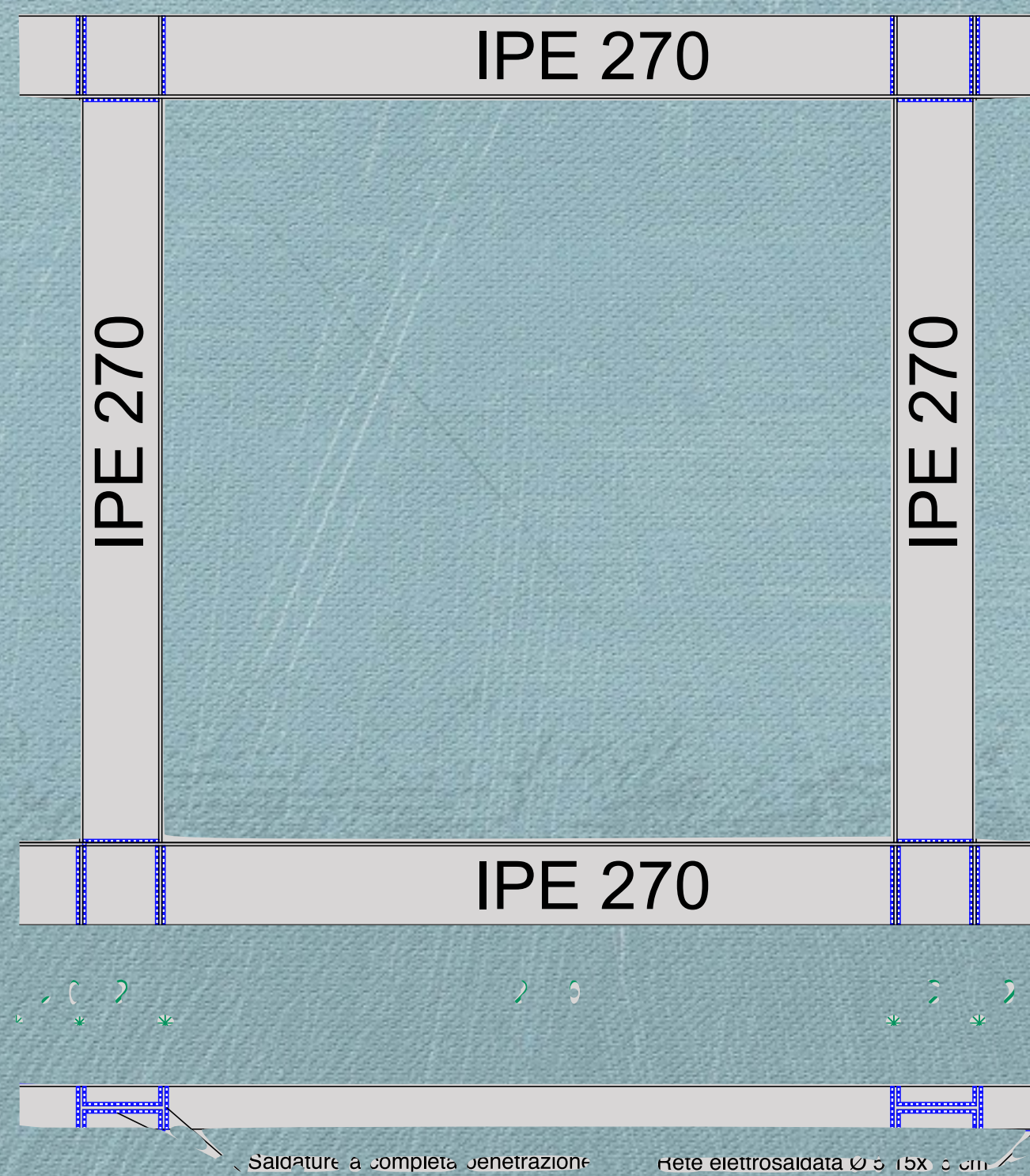




- Nel caso a lato non è necessaria la cerchiatura perché la diminuzione di rigidità e resistenza dovuta alla nuova apertura è compensata dalle 2 aperture chiuse
- Potrebbe succedere che la chiusura delle due aperture aumenti troppo la rigidità finale (oltre +15%). In questo caso una delle due dovrà essere chiusa con murature non strutturali

Non è necessaria la cerchiatura





Grazie per l'attenzione

sagostini@interstudio.net