



Aperture e Cerchiature in Murature portanti,
di Francesco Pugi, ALINEA Editrice, Firenze, 2010
ISBN: 978-88-6055-566-3

ERRATA CORRIGE

Documento pubblicato su www.aedes.it, a cura di Francesco Pugi

Ultimo aggiornamento: 13.12.2010

Le correzioni nel seguito elencate riguardano alcuni valori numerici di calcolo, e non modificano le considerazioni sull'analisi strutturale della parete muraria oggetto di studio.

In colore rosso è evidenziato il testo corretto. In corsivo sono riportate alcune considerazioni integrative rispetto al testo originario.

■ Pag. 14:

$$V_t = l t f_{vd} = l t * \tau_{0d} \sqrt{[1 + \sigma_0 / b \tau_{0d}]}$$

anziché:

$$V_t = l t f_{vd} = * l t * \tau_{0d} \sqrt{[1 + \sigma_0 / b \tau_{0d}]}$$

■ Pag. 44: modifiche numeriche varie. Testi in rosso corretti:

Infine, si valuta il taglio resistente per **scorrimento**, adottando l'ipotesi di andamento delle tensioni lineare. Il corrispondente momento resistente vale (cfr. p. 4.6.3):

$$\begin{aligned} M_{TS,Rd} &= (1.5 l t \tau_{0d} + 0.4 N) / (2 F_c/H + 3 t \tau_{0d}/N) = \\ &= (1.5*5000*250*0.06 + 0.4*174750) / (2*1.35/3500 + 3*250*0.06/174750) = \\ &= 177269932 \text{ Nmm} = 177.27 \text{ kNm, da cui:} \end{aligned}$$

$$V_{TS,Rd} = 2 M_{TS,Rd}/H = 2*177.27*10^6/3500 = 101297 \text{ N}$$

Pertanto, il taglio resistente allo Stato Attuale, determinato dal meccanismo per **fessurazione diagonale**, vale:

$$V_{Rd} = 89303 \text{ N}$$

Spostamento al limite elastico: $\delta_y = 89303 / 130981 = 0.68 \text{ mm}$

Spostamento ultimo: $\delta_u = 0.4\% * 3500 = 14 \text{ mm}$ (con l'approccio in duttilità si avrebbe: $\delta_u = 3.03 * 0.68 = 2.06 \text{ mm}$)

La curva di capacità allo Stato Attuale è quindi caratterizzata dai due seguenti punti:

$$(\delta_1, F_1) = (0.68, 89.30); (\delta_2, F_2) = (14, 89.30).$$

anziché:

Infine, si valuta il taglio resistente per **scorrimento**, adottando l'ipotesi di andamento delle tensioni lineare. Il corrispondente momento resistente vale (cfr. p. 4.6.3):

$$\begin{aligned} M_{TS,Rd} &= (1.5 l t \tau_{0d} + 0.4 N) / (2 F_c/H + 3 t \tau_{0d}/N) = \\ &= (1.5*5000*250*0.044 + 0.4*135380) / (2*1.35/3500 + 3*250*0.044/135380) = \\ &= 134607728 \text{ Nmm} = 134.61 \text{ kNm, da cui:} \end{aligned}$$

$$V_{TS,Rd} = 2 M_{TS,Rd}/H = 2*134.61*10^6/3500 = 76919 \text{ N}$$

Pertanto, il taglio resistente allo Stato Attuale, determinato dal meccanismo per scorrimento, vale:

$$V_{Rd} = 76919 \text{ N}$$

Spostamento al limite elastico: $\delta_y = 76919 / 130981 = 0.59 \text{ mm}$

Spostamento ultimo: $\delta_u = 0.4\% \cdot 3500 = 14 \text{ mm}$ (con l'approccio in duttilità si avrebbe: $\delta_u = 3.03 \cdot 0.59 = 1.78 \text{ mm}$)

La curva di capacità allo Stato Attuale è quindi caratterizzata dai due seguenti punti:

$(\delta_1, F_1) = (0.59, 76.92)$; $(\delta_2, F_2) = (14, 76.92)$.

■ **Pag. 47:** modifiche numeriche varie. Testi in rosso corretti:

- Verifica a taglio (cordoni d'anima).

La resistenza di calcolo del cordone d'anima per unità di lunghezza $F_{w,Rd}$ è pari a (4.2.77):

$$F_{w,Rd} = a \cdot f_{tk} / (\sqrt{3} \cdot \beta \cdot \gamma_{M2})$$

con (acciaio S235): $f_{tk} = 360 \text{ N/mm}^2$, $\beta = 0.8$,

$\gamma_{M2} = 1.25$ (coefficiente di sicurezza per la verifica delle unioni saldate a parziale penetrazione e a cordone d'angolo, cfr. Tab. 4.2.XII in §4.2.8.1.1)

$$\Rightarrow F_{w,Rd} = 6 \cdot 360 / (\sqrt{3} \cdot 0.8 \cdot 1.25) = 1247 \text{ N/mm}$$

La lunghezza del cordone L_3 è pari all'altezza interna dell'anima meno i raggi di raccordo: per l'HE180, $L_3 = 122 \text{ mm}$.

Il taglio che sollecita il cordone d'anima per unità di lunghezza vale dunque:

$$F_{w,Ed} = 91010 / 122 = 746 \text{ N/mm}$$

La verifica è soddisfatta, poiché risulta: $F_{w,Ed} = 746 \leq F_{w,Rd} = 1247 \text{ N/mm}$

- Verifica a flessione (cordoni d'ala).

La verifica di resistenza è espressa da:

$$\sigma_{\perp} \leq f_{tk} / (\beta \cdot \gamma_{M2}) = 360 / (0.8 \cdot 1.25) = 360 \text{ N/mm}^2$$

Si ha (cfr. fig. 4.19): $\sigma_{\perp} = M / W$ ($M = 107.74 \text{ kNm}$)

$$\text{con: } W = a \cdot [(L_1 \cdot h_1) + 2 \cdot (L_2 \cdot h_2)]$$

dove: $L_1 = b - 2 \cdot a = 180 - 2 \cdot 6 = 168 \text{ mm}$, $L_2 = (L_1 - 2r_1 - s)/2 = (168 - 2 \cdot 15 - 8.5)/2 = 64.75 \approx 64 \text{ mm}$

$h_1 = 180 + 6 = 186 \text{ mm}$, $h_2 = h - 2t_f - a = 180 - 2 \cdot 14 - 6 = 146 \text{ mm}$

e quindi: $W = 6 \cdot (168 \cdot 186 + 2 \cdot 64 \cdot 146) = 299616 \text{ mm}^3$

$$\text{Pertanto: } \sigma_{\perp} = 107.74 \cdot 10^6 / 299616 = 359 \text{ N/mm}^2$$

La verifica è soddisfatta, poiché risulta: $\sigma_{\perp} = 359 \leq 360 \text{ N/mm}^2$

anziché:

- Verifica a taglio (cordoni d'anima).

La resistenza di calcolo del cordone d'anima per unità di lunghezza $F_{w,Rd}$ è pari a (4.2.77):

$$F_{w,Rd} = a \cdot f_{tk} / (\sqrt{3} \cdot \beta \cdot \gamma_{M2})$$

con (acciaio S235): $f_{tk} = 360 \text{ N/mm}^2$, $\beta = 0.8$,

$\gamma_{M2} = 1.25$ (coefficiente di sicurezza per la verifica delle unioni saldate a parziale penetrazione e a cordone d'angolo, cfr. Tab. 4.2.XII in §4.2.8.1.1)

$$\Rightarrow F_{w,Rd} = 7 \cdot 360 / (\sqrt{3} \cdot 0.8 \cdot 1.25) = 1455 \text{ N/mm}$$

La lunghezza del cordone L_3 è pari all'altezza interna dell'anima meno i raggi di raccordo: per l'HE180, $L_3 = 122 \text{ mm}$.

Il taglio che sollecita il cordone d'anima per unità di lunghezza vale dunque:

$$F_{w,Ed} = 120130 / 122 = 985 \text{ N/mm}$$

La verifica è soddisfatta, poiché risulta: $F_{w,Ed} = 985 \leq F_{w,Rd} = 1455 \text{ N/mm}$

- Verifica a flessione (cordoni d'ala).

La verifica di resistenza è espressa da:

$$\sigma_{\perp} \leq f_{tk} / (\beta \cdot \gamma_{M2}) = 360 / (0.8 \cdot 1.25) = 360 \text{ N/mm}^2$$

Si ha (cfr. fig. 4.19): $\sigma_{\perp} = M / W$ ($M = 107.74 \text{ kNm}$)

$$\text{con: } W = a \cdot [(L_1 \cdot h_1) + 2 \cdot (L_2 \cdot h_2)]$$

dove: $L_1 = b - 2 \cdot a = 180 - 2 \cdot 6 = 168 \text{ mm}$, $L_2 = (L_1 - 2r_1 - s)/2 = (168 - 2 \cdot 15 - 8.5)/2 = 64.75 \approx 64 \text{ mm}$

$h_1 = 180 + 6 = 186 \text{ mm}$, $h_2 = h - 2t - a = 180 - 2 \cdot 9.5 - 6 = 155 \text{ mm}$

e quindi: $W = 6 \cdot (168 \cdot 186 + 2 \cdot 64 \cdot 155) = 306528 \text{ mm}^3$

$$\text{Pertanto: } \sigma_{\perp} = 107.74 \cdot 10^6 / 306528 = 351 \text{ N/mm}^2$$

La verifica è soddisfatta, poiché risulta: $\sigma_{\perp} = 351 \leq 360 \text{ N/mm}^2$

■ **Fig. 4.17:** curva di capacità

■ **Fig. 4.41:** curva di capacità

■ Fig. 4.42: curva di capacità

La curva dello Stato Attuale della parete, bilineare, non è definita dai punti:

(0.59, 76.92) e (14.00, 76.92)

bensi dai punti:

(0.68, 89.30) e (14.00, 89.30).

Ciò non modifica la rigidezza allo Stato Attuale e conseguentemente la variazione di rigidezza. La forza ultima allo Stato di Progetto rimane in ogni caso superiore allo Stato Attuale.

■ Pagg. 86/87: modifiche numeriche varie. Testi in rosso corretti:

Per quanto riguarda lo Stato di Progetto, si valutano i parametri relativi ai due maschi adiacenti all'apertura. Rispetto al calcolo già effettuato (cfr. p. 4.1), occorre considerare gli effetti dell'intonaco armato sulla muratura di mattoni pieni. Secondo la Tab. C8A.2.2 della Circ.617 del 2.2.2009, il coefficiente correttivo dei parametri meccanici vale 1.5, e deve essere applicato sia ai parametri di resistenza sia ai moduli elastici. Pertanto:

$$E = 1500 \cdot 1.5 = 2250 \text{ N/mm}^2, G = 500 \cdot 1.5 = 750 \text{ N/mm}^2$$

$$f_d \text{ (cfr. p. 4.6)} = 1.78 \cdot 1.5 = 2.67 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_0 \text{ (cfr. p. 4.6.2)} = 0.044 \cdot 1.5 = 0.066 \text{ N/mm}^2$$

Per ognuno dei due maschi:

$$K_{1P} = K_{2P} = 250 / (1/2250 \cdot (2816/2000)^3 + 1.2 \cdot 2816 / (750 \cdot 2000)) = 71564 \text{ N/mm}$$

(valeva 47709 N/mm in assenza di intonaco armato; è pari al 50% in più, ovviamente a causa del fattore correttivo 1.5)

e quindi per l'insieme dei due maschi:

$$K_P = 2 \cdot 71564 = 143128 \text{ N/mm (anziché 95418 N/mm)}.$$

Si calcola ora la forza ultima, corrispondente al meccanismo di taglio per scorrimento, adottando l'ipotesi di andamento delle tensioni lineare. Per ognuno dei due maschi, il corrispondente momento resistente vale:

(cfr. p. 4.6.3; $N=81390 \text{ kN}$):

$$M_{TS,Rd} = (1.5 \cdot t \cdot \tau_{0d} + 0.4 \cdot N) / (2 \cdot F_c/H + 3 \cdot t \cdot \tau_{0d}/N) =$$

$$= (1.5 \cdot 2000 \cdot 250 \cdot 0.09 + 0.4 \cdot 81390) / (2 \cdot 1.35/2816 + 3 \cdot 250 \cdot 0.09/81390) =$$

$$= 55955130 \text{ Nmm} = 55.96 \text{ kNm, da cui:}$$

$$V_{TS,Rd} = 2 \cdot M_{TS,Rd}/H = 2 \cdot 55.96 \cdot 10^6/2816 = 39741 \text{ N}$$

Pertanto, per i due maschi:

$$V_{Rd} = 79482 \text{ N}$$

$$\text{Spostamento al limite elastico: } \delta_y = 39741 / 79482 = 0.56 \text{ mm}$$

$$\text{Spostamento ultimo: } \delta_u = 0.4\% \cdot 2816 = 11.264 \text{ mm}$$

La curva di capacità allo Stato Attuale è caratterizzata, come noto, dai due seguenti punti:

$$(\delta_1, F_1) = (0.68, 89.30); (\delta_2, F_2) = (14, 89.30).$$

e la curva di capacità allo Stato di Progetto è caratterizzata da:

$$(\delta_1, F_1) = (0.56, 79.48); (\delta_2, F_2) = (11.264, 79.48).$$

Fig. 6.1. Stato di Progetto con intonaco armato anziché telaio di cerchiatura

Svolgendo il confronto fra Stato di Progetto e Stato Attuale, si ha:

- rigidezza: 143128 N/mm rispetto a 130981 N/mm. Si ha un incremento del 9%, accettabile nei confronti di un intervento di Riparazione locale. Confrontando il progetto con intonaco armato rispetto a quello con telaio di cerchiatura (vd. fig. 4.17) la rigidezza risulta nettamente maggiore: 143128 anziché 111699 N/mm (scarto del 28%, entrambe comunque entro l'intervallo di variazione $\pm 15\%$ rispetto allo Stato Attuale);
- forza ultima: 79.48 kN rispetto a 89.30 kN segna una diminuzione di resistenza dell'11%: **inaccettabile** ai fini della sicurezza. Dal confronto con la soluzione a telaio di cerchiatura, risulta da parte dell'intonaco armato una grande difficoltà ad assicurare un incremento - rispetto allo Stato Attuale - della forza ultima, che infatti nel caso in esame addirittura **peggiora**;

anziché:

Per quanto riguarda lo Stato di Progetto, si valutano i parametri relativi ai due maschi adiacenti all'apertura.

Rispetto al calcolo già effettuato (cfr. p. 4.1), occorre considerare gli effetti dell'intonaco armato sulla muratura di mattoni pieni. Secondo la Tab. C8A.2.2 della Circ.617 del 2.2.2009, il coefficiente correttivo dei parametri meccanici vale 1.5, e deve essere applicato sia ai parametri di resistenza sia ai moduli elastici. Pertanto:

$$E = 1500 \cdot 1.5 = 2250 \text{ N/mm}^2, G = 500 \cdot 1.5 = 750 \text{ N/mm}^2$$

$$f_d \text{ (cfr. p. 4.6)} = 1.78 \cdot 1.5 = 2.67 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_0 \text{ (cfr. p. 4.6.1)} = 0.044 \cdot 1.5 = 0.066 \text{ N/mm}^2$$

Per ognuno dei due maschi:

$$K_{1P} = K_{2P} = 250 / (1/2250 \cdot (2816/2000)^3 + 1.2 \cdot 2816 / (750 \cdot 2000)) = 71564 \text{ N/mm}$$

(valeva 47709 N/mm in assenza di intonaco armato; è pari al 50% in più, ovviamente a causa del fattore correttivo 1.5)

e quindi per l'insieme dei due maschi:

$K_p = 2 \cdot 71564 = 143128 \text{ N/mm}$ (anziché 95418 N/mm).

Si calcola ora la forza ultima, corrispondente al meccanismo di taglio per scorrimento, adottando l'ipotesi di andamento delle tensioni lineare. Per ognuno dei due maschi, il corrispondente momento resistente vale:

(cfr. p. 4.6.3; $N=81390 \text{ kN}$):

$$\begin{aligned} M_{TS,Rd} &= (1.5 \cdot t \cdot \tau_{0d} + 0.4 \cdot N) / (2 \cdot F_c/H + 3 \cdot t \cdot \tau_{0d}/N) = \\ &= (1.5 \cdot 2000 \cdot 250 \cdot 0.066 + 0.4 \cdot 81390) / (2 \cdot 1.35/2816 + 3 \cdot 250 \cdot 0.066/81390) = \\ &= 52365375 \text{ Nmm} = 52.37 \text{ kNm}, \text{ da cui:} \end{aligned}$$

$$V_{TS,Rd} = 2 \cdot M_{TS,Rd}/H = 2 \cdot 52.37 \cdot 10^6 / 2816 = 37191 \text{ N}$$

Pertanto, per i due maschi:

$$V_{Rd} = 74382 \text{ N}$$

Spostamento al limite elastico: $\delta_y = 37191 / 71564 = 0.52 \text{ mm}$

Spostamento ultimo: $\delta_u = 0.4\% \cdot 2816 = 11.264 \text{ mm}$

La curva di capacità allo Stato Attuale è caratterizzata, come noto, dai due seguenti punti:

$(\delta_1, F_1) = (0.59, 76.92)$; $(\delta_2, F_2) = (14, 76.92)$.

e la curva di capacità allo Stato di Progetto è caratterizzata da:

$(\delta_1, F_1) = (0.52, 74.38)$; $(\delta_2, F_2) = (11.264, 74.38)$.

Fig. 6.1. Stato di Progetto con intonaco armato anziché telaio di cerchiatura

Svolgendo il confronto fra Stato di Progetto e Stato Attuale, si ha:

- rigidezza: 143128 N/mm rispetto a 130981 N/mm. Si ha un incremento del 9%, accettabile nei confronti di un intervento di Riparazione locale. Confrontando il progetto con intonaco armato rispetto a quello con telaio di cerchiatura (vd. fig. 4.17) la rigidezza risulta nettamente maggiore: 143128 anziché 111699 N/mm (scarto del 28%, entrambe comunque entro l'intervallo di variazione $\pm 15\%$ rispetto allo Stato Attuale);
- forza ultima: 74.38 kN rispetto a 76.92 kN segna una diminuzione di resistenza del 3%: piccola, tuttavia inaccettabile ai fini della sicurezza. Dal confronto con la soluzione a telaio di cerchiatura, risulta da parte dell'intonaco armato una grande difficoltà ad assicurare un incremento - rispetto allo Stato Attuale - della forza ultima, che infatti nel caso in esame addirittura peggiora, seppur di poco;

■ Fig. 6.1: curva di capacità

La curva dello Stato Attuale della parete, bilineare, non è definita dai punti:

(0.59, 76.92) e (14.00, 76.92)

bensi dai punti:

(0.68, 89.30) e (14.00, 89.30).

La curva dello Stato di Progetto della parete, bilineare, non è definita dai punti:

(0.52, 74.38) e (14.00, 74.38)

bensi dai punti:

(0.56, 79.48) e (14.00, 79.48).

Ciò non modifica le considerazioni sulla la rigidezza. Si modificano invece, come indicato nel testo corretto, le considerazioni sulla forza ultima.