



### RESISTENZA DEL MATERIALE

Secondo EC9, per EN AW-5754 possono essere assunti i seguenti valori di resistenza caratteristica:

- Snervamento:  $f_o=80$  MPa
- Resistenza ultima:  $f_u=190$  MPa

Secondo EC3, per i bulloni di classe 8.8 possono essere assunti i seguenti valori di resistenza caratteristica:

- Snervamento:  $f_{yb}=640$  MPa
- Resistenza ultima:  $f_{ub}=800$  MPa

Le stesse normative prevedono i seguenti coefficienti di sicurezza per i materiali:

- Alluminio rottura duttile (EN 1999-1-1 §6.1.3)  $\gamma_{M1}= 1.10$
- Alluminio rottura fragile (EN 1999-1-1 §6.1.3)  $\gamma_{M2}= 1.25$
- Bulloni (EN 1993-1-8 §2.2)  $\gamma_{M2}= 1.25$

### CLASSIFICAZIONE DELLA SEZIONE

La classificazione della sezione della piastra viene fatta in accordo al §6.1.4 dell'EC9. Nel caso della piastra HD40/SH18, a livello della *sezione A* (vedi fig. 2), si ha:

- $\beta = 0,4 b/t = 0,4 \cdot 200/5 = 16$
- $\varepsilon = \sqrt{(250/80)} = 1.77$
- $\beta/\varepsilon = 9.05$

E per la *sezione C* (vedi fig. 2):

- $\beta = 0,4 b/t = 0,4 \cdot 80/5 = 6.4$
- $\varepsilon = \sqrt{(250/80)} = 1.77$
- $\beta/\varepsilon = 3.62$

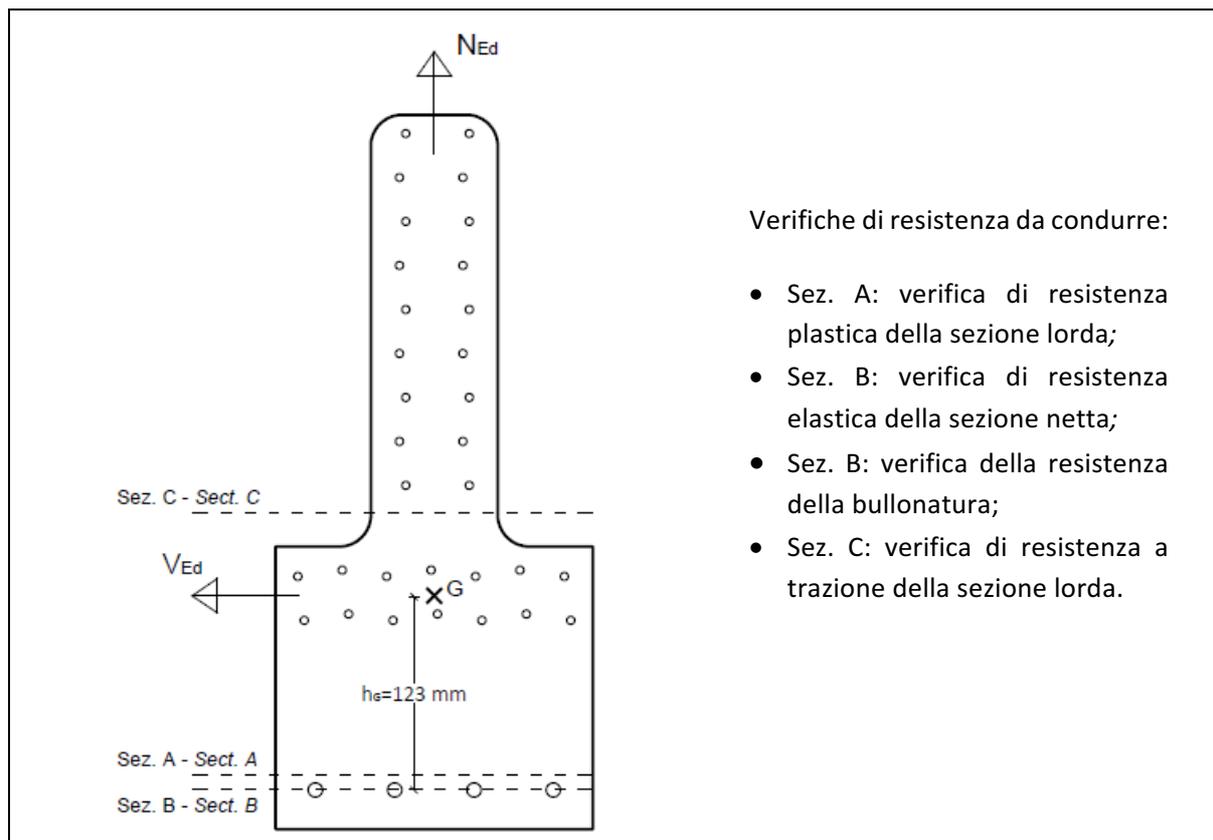
In entrambi i casi la sezione risulta in classe 1, secondo la tabella 6.2 dell'EC9. Per tale classe, la resistenza ultima delle sezioni lorde può essere calcolata con riferimento allo stato limite ultimo di collasso plastico.

### IPOTESI DI PROGETTO

L'ipotesi di progetto prevede che la risultante delle forze agenti passi per il baricentro G della chiodatura sulla parete in legno (vedere Fig. 2). Tale assunzione risulta essere la più cautelativa rispetto alle verifiche di resistenza della staffa e dei bulloni di fissaggio (verifiche lato metallo).

## VERIFICHE DI RESISTENZA

L'insieme delle verifiche di resistenza da condurre è illustrato in fig. 2. Il campo resistente della staffa in termini di forze agenti  $N_{Ed}$  (trazione) e  $V_{Ed}$  (taglio) sarà determinato dal meccanismo resistente più debole.



Verifiche di resistenza da condurre:

- Sez. A: verifica di resistenza plastica della sezione lorda;
- Sez. B: verifica di resistenza elastica della sezione netta;
- Sez. B: verifica della resistenza della bullonatura;
- Sez. C: verifica di resistenza a trazione della sezione lorda.

Fig. 2: Sintesi delle verifiche di resistenza da condurre (Sez. A = Area lorda; Sez. B = Area netta; Sez. C = Area lorda a livello del collo)

I bulloni sono fissati al profilo di alluminio mediante una sbarretta anch'essa in alluminio che scorre all'interno dell'apposita cava realizzata nel profilo.

Test sperimentali hanno dimostrato che il sistema di fissaggio è sempre sovra-resistente rispetto ai bulloni, in quanto la rottura avviene sempre per tranciamento del bullone sulla sezione di contatto fra staffa e sbarretta in alluminio.

### Sezione A: Resistenza plastica della sezione lorda

Data la geometria della staffa e le caratteristiche del materiale, si determinano le seguenti grandezze:

- Massima trazione resistente:

$$N_{o,Rd} = A_g f_o / \gamma_{M1} = 1000 \cdot 80 / 1.10 = 72.73 \text{ kN}$$

- Massimo taglio resistente:

$$V_{o,Rd} = A_g f_o / (\sqrt{3} \gamma_{M1}) = 1000 \cdot 80 / (\sqrt{3} \cdot 1.10) = 41.99 \text{ kN}$$

- Massimo momento resistente:

$$M_{o,Rd} = W_{pl} f_o / \gamma_{M1} = 1/4 \cdot 5 \cdot 200^2 \cdot 80 / 1.10 = 3.64 \text{ kNm}$$

Per ipotesi di calcolo, il momento agente è pari al taglio agente per l'eccentricità tra baricentro della chiodatura e baricentro della sezione.

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot h_G$$

dove  $h_G$  è la distanza tra baricentro della chiodatura e baricentro della bullonatura, pari a 123 mm per la staffa ALUHD40/SH18.

Per sollecitazioni composte di trazione e taglio vale la verifica descritta dalla disequazione:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{o,Rd}} + \frac{V_{Ed} \cdot h_G}{M_{o,Rd}} \leq 1 \quad (I)$$

dove  $V_{Ed}$  è la sollecitazione di taglio e  $N_{Ed}$  quella di trazione agenti sulla staffa, calcolate in combinazione SLU.

L'eurocodice 9 prevede di condurre la verifica (I) con una tensione resistente di progetto ridotta, pari a  $f_{o,v} = f_o (1 - \rho) = f_o (1 - (2V_{Ed}/V_{Rd} - 1)^2)$ , qualora si verifichi la condizione  $V_{Ed} > 0.5V_{o,Rd}$ . Per valori di sollecitazione tagliante maggiori di 21 kN, il dominio di resistenza relativo all'area lorda di alluminio, è caratterizzato quindi da una leggera curvatura.

### Sezione B: verifica area netta della piastra

Data la geometria della staffa e le caratteristiche del materiale, si determinano le seguenti grandezze:

- Calcolo massima trazione resistente attraverso:

$$N_{u,Rd} = 0.9A_{net}f_u/\gamma_{M2} = 0.9 \cdot 830 \cdot 190/1.25 = 113.54 \text{ kN}$$

- Calcolo massimo taglio resistente attraverso:

$$V_{u,Rd} = A_{net}f_o/\sqrt{3}\gamma_{M1} = 830 \cdot 80/\sqrt{3} \cdot 1.10 = 34.85 \text{ kN}$$

- Calcolo massimo momento resistente attraverso

$$M_{u,Rd} = W_{net}f_u/\gamma_{M2} = 2.8 \cdot 10^6 \cdot 190/1.25 = 4.26 \text{ kNm}$$

Determinate le grandezze  $N_{u,Rd}$ ,  $V_{u,Rd}$  e  $M_{u,Rd}$ , il campo resistente si ottiene con le stesse considerazioni del paragrafo precedente, attraverso il rispetto della disequazione

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} + \frac{V_{Ed} \cdot h_G}{M_{u,Rd}} \leq 1 \quad (II)$$

dove  $h_G$  è la distanza tra baricentro della chiodatura e baricentro della bullonatura.

Anche in questo caso vi è interazione tra le sollecitazioni di taglio e di trazione agenti: per valori di taglio  $V_{Ed} > 17.4 \text{ kN}$ , la verifica (II) è stata condotta con la tensione resistente di progetto ridotta  $f_{o,V}$ , in modo analogo a quanto fatto per la verifica di resistenza della sezione lorda.

### Sezione B: verifica resistenza della bullonatura

La resistenza a taglio del singolo bullone M8 cl. 8.8 ( $V_{b,Rd}$ ) è data dal minimo tra la resistenza a rifollamento della piastra in alluminio e la resistenza a taglio del gambo del bullone, date dalle seguenti espressioni:

- Resistenza a tranciamento del bullone

$$F_{V,Rd} = \alpha_V \cdot \frac{f_{ub}A_s}{\gamma_{M2}} = 0.6 \cdot 800 \cdot \frac{36.6}{1.25} = 14.05 \text{ kN}$$

- Resistenza a rifollamento

$$F_{b,Rd} = k_1\alpha_b \cdot \frac{f_u dt}{\gamma_{M2}} = 2.5 \cdot 0.926 \cdot 190 \cdot 8 \cdot \frac{5}{1.25} = 14.07 \text{ kN}$$

Dalle espressioni precedenti deriva che la resistenza a taglio di progetto del bullone è pari a:

$$V_{b,Rd} = \min\{F_{V,Rd}; F_{b,Rd}\} = 14.05 \text{ kN}.$$

Il dominio di resistenza di progetto della bullonatura, in termini di sollecitazioni taglianti  $V_{Ed}$  e di trazione  $N_{Ed}$ , è stato determinato rispettando la seguente relazione:

$$V_{b,Ed} = \sqrt{\left(\frac{N_{Ed}}{4} + \frac{(V_{Ed} \cdot 123) \cdot 75}{(75^2 + 25^2)}\right)^2 + \left(\frac{V_{Ed}}{4}\right)^2} \leq V_{b,Rd}$$

La quale verifica che il taglio agente nel bullone più sollecitato non superi quello resistente.

### Sezione C: verifica a trazione della sezione lorda

Data la geometria della staffa e le caratteristiche dell'alluminio (definite dalla normativa EC9), la massima resistenza di progetto a trazione della staffa a livello della *sezione C* è pari a:

$$N_{o2,Rd} = A_{g2}f_o/\gamma_{M1} = 400 \cdot 80/1,10 = 29.09 \text{ kN}$$

### Considerazioni sulla resistenza a trazione della staffa ALUHD40/SH18

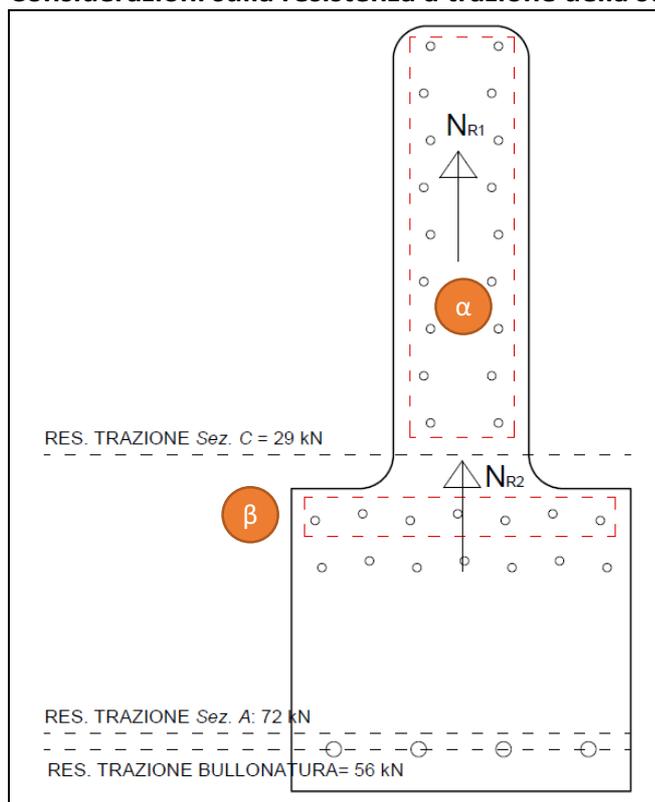


Fig. 3: Valutazione della resistenza a trazione della staffa ALUHD40/SH18 in presenza della chiodatura inferiore

La resistenza di progetto a trazione per il sistema costruttivo ALUHD40/SH18 risulta essere la minore tra quelle calcolate precedentemente:

$$N_{Rd} = \min\{N_{o,Rd}; N_{u,Rd}; 4V_{b,Rd}; N_{o2,Rd}\} = 29.09 \text{ kN}$$

In presenza di chiodi nella parte inferiore della staffa, questa resistenza può essere opportunamente aumentata dalle considerazioni che seguono.

Siano:

- $n_1$ = numero di chiodi della parte superiore della staffa (zona  $\alpha$ );
- $n_2$ = numero di chiodi della parte inferiore della staffa (zona  $\beta$ ) reagenti a trazione;
- $N_{R1}$ = forza di trazione trasmessa alla staffa dai chiodi della zona  $\alpha$ ;
- $N_{R2}$ = forza di trazione trasmessa alla staffa dai chiodi della zona  $\beta$ .

Dato che la piastra è in grado di ridistribuire equamente la trazione su tutti i chiodi resistenti (i 7 chiodi non ricompresi nel campo  $\beta$  in fig. 3 non sono in grado di reagire a trazione perché non rispettano la distanza minima dal bordo dell'elemento in legno),  $N_{R2}$  è calcolabile attraverso la seguente proporzione:

$$N_{R1} : n_1 = N_{R2} : n_2$$

Dove il valore massimo di  $N_{R1}$  è noto, e pari a 29.09 kN.

Per il caso  $n_1=18$  e  $n_2=7$  (ossia nella situazione di completa chiodatura), la resistenza massima a trazione di progetto è quindi pari a:

$$N_{Rd,max} = N_{R1} + N_{R2} = 29 + 11 = 40 \text{ kN}$$

### RAPPRESENTAZIONE DEI DOMINI DI RESISTENZA

Le quattro verifiche portano alla costruzione di tre domini di resistenza, rappresentati in figura 3:

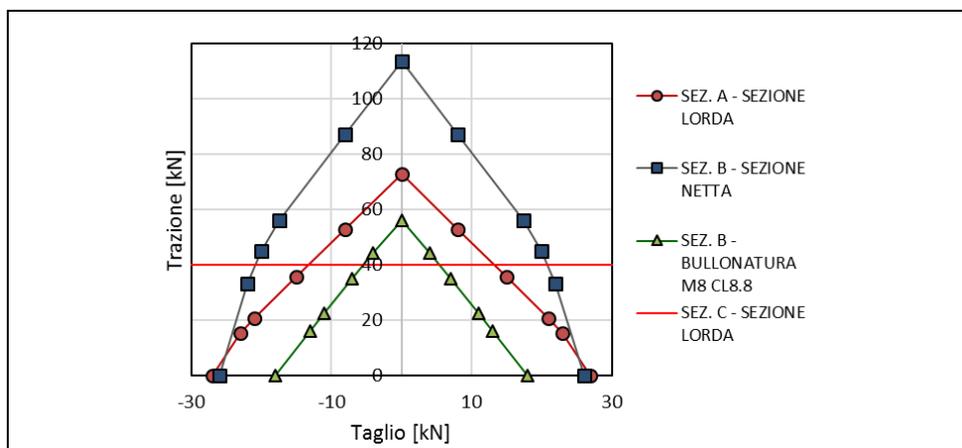


Fig. 4: Sintesi dei risultati ottenuti dalle verifiche di resistenza condotte.

### DOMINIO DI RESISTENZA DI PROGETTO DELLA STAFFA (LATO METALLO)

Il dominio di progetto per il sistema costruttivo ALUHD40/SH18 risulta essere il più piccolo tra quelli visti precedentemente (in particolare quello definito dalla bullonatura e dalla resistenza a trazione in corrispondenza della sez. C), il quale risulta ben approssimato dalle disequazioni:

$$|V_{Ed}| + \frac{N_{Ed}}{3} \leq 18 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq 40 \text{ kN (*)}$$

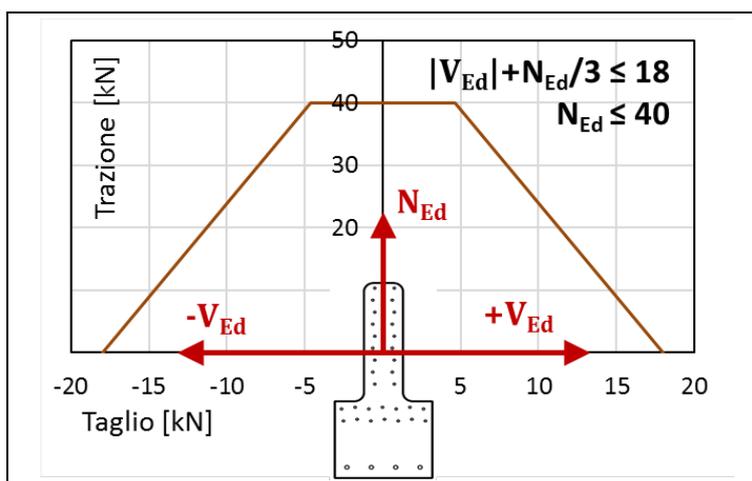


Fig. 5: Rappresentazione grafica del dominio di resistenza di progetto del sistema ALUHD40/SH18.

(\*) È importante ricordare che la resistenza a trazione pari a 40 kN definita precedentemente, è valida solo per la chiodatura totale; per situazioni diverse, seguire quanto indicato nel paragrafo "Considerazioni sulla resistenza a trazione della staffa ALUHD40/SH18".