

RELAZIONE DI CALCOLO

DPGR Toscana 23 novembre 2005, n. 62/R -Art. 5 comma 4" lett. d"

CALCOLO DI VERIFICA STRUTTURALE
del sistema di fissaggio degli ancoraggi

Normativa di riferimento:

Eurocodice 3

Eurocodice 5

UNI 795



INTRODUZIONE

Ogni progettazione che preveda l'uso di dispositivi e sistemi anticaduta costituiti da linee anticaduta (UNI 795) e ancoraggi (UNI 795, UNI 517) deve comprendere sempre una relazione di calcolo redatta da un professionista abilitato in modo da garantire l'efficacia dell'ancoraggio oltre all'idoneità delle caratteristiche strutturali dell'elemento su cui il dispositivo sarà fissato.

Il fabbricante è tenuto a garantire le caratteristiche prestazionali del dispositivo anticaduta; è invece responsabilità di un tecnico abilitato valutare l'idoneità statica e dinamica della struttura dove questo deve essere ancorato, individuando le sollecitazioni trasmesse e determinando conseguentemente il corretto sistema di fissaggio.

Di seguito si riporta il calcolo di verifica per alcuni dei dispositivi da mettere in opera sulla copertura qui esaminata. Vengono trattati, a titolo di esempio, solo gli elementi più significativi, ma resta inteso che la relazione di calcolo dovrà comprendere la verifica di tutti le diverse tipologie di dispositivi presenti sulla copertura. Per prima sarà analizzata la linea anticaduta flessibile (UNI 795 classe C), ancorata alla trave di colmo di sezione cm 20x22 (BxH) in legno di abete, classe di resistenza C30.

La verifica all'evento dinamico è condotta con una forza statica equivalente, indicata dal produttore. Si ricorda che la massima forza che si può sviluppare all'atto della caduta sul cavo di una linea flessibile UNI 795 classe C, è fornita dal fabbricante del dispositivo insieme alla freccia massima in campata; questi dati, normalmente desumibili da tabelle o altro, sono variabili in funzione della geometria del sistema e del numero contemporaneo di utilizzatori.

La forza viene poi trasmessa dal cavo ai paletti in relazione alla geometria della funicolare così come risulta al momento della caduta. Nel caso di linee con geometria complessa sarà necessario individuare su ogni paletto la condizione di carico più gravosa fra tutte quelle che si ottengono al variare della campata dove si ipotizza la caduta. Infatti, se la linea ha uno sviluppo non rettilineo, è possibile che la condizione di carico più gravosa non sia causata dalla caduta sulla campata più lunga.

1. ANCORAGGI DELLA LINEA DI VITA

Il sistema (paletti, cavo, connessioni terminali, assorbitore e quanto altro) è già certificato dal fabbricante e pertanto non necessita di ulteriori verifiche; si allegano tali documenti all'elaborato tecnico della copertura. E' oggetto di questa verifica l'ancoraggio dei paletti sottoposti alla forza massima trasmessa dal cavo all'atto della eventuale caduta.

La linea, in unica campata di 10 m, è costituita da un cavo in acciaio con due paletti di ancoraggio alle estremità alti cm 50; un elemento deformabile è disposto ad una delle estremità della linea.

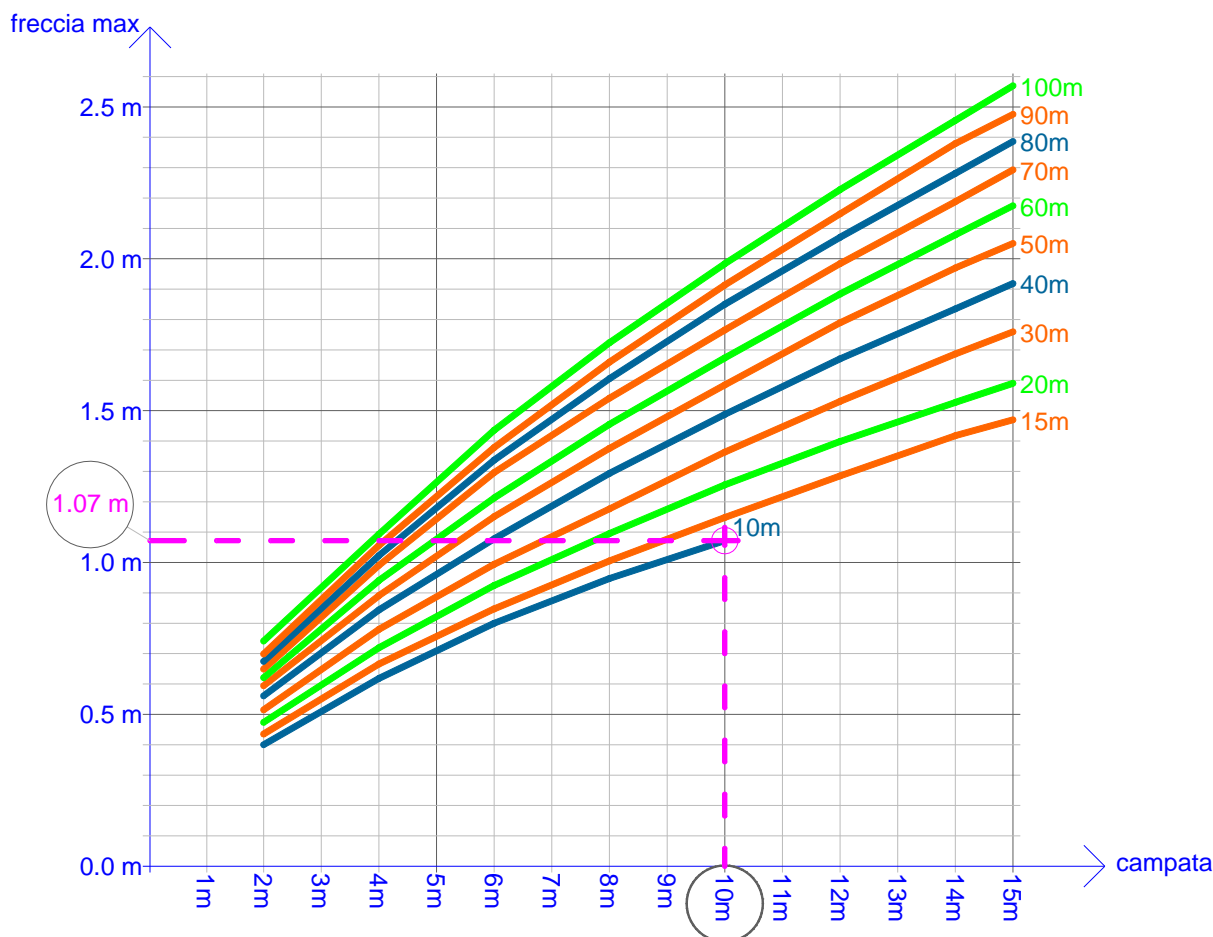
Il fabbricante del sistema adottato fornisce due abachi da cui è possibile ricavare i valori massimi della trazione sul cavo e della freccia che si sviluppano all'atto della caduta, in funzione della lunghezza totale della linea, della lunghezza della campata e del numero di utilizzatori. E' opportuno sottolineare che questi abachi sono da riferirsi solo a questo sistema, e non possono assolutamente essere utilizzati per altri. Ogni prodotto commerciale deve essere certificato e corredato dalla propria documentazione, da cui desumere i valori caratteristici che occorrono per impostare il calcolo di verifica.

Dispositivo permanente di classe C

(Abaco per la determinazione della freccia massima, presente nella nota informativa del prodotto)

Linea di ancoraggio flessibile orizzontale, dati forniti dal costruttore (due lavoratori, caduta di uno)

Freccia del cavo al variare della campata (per diverse lunghezze della linea)

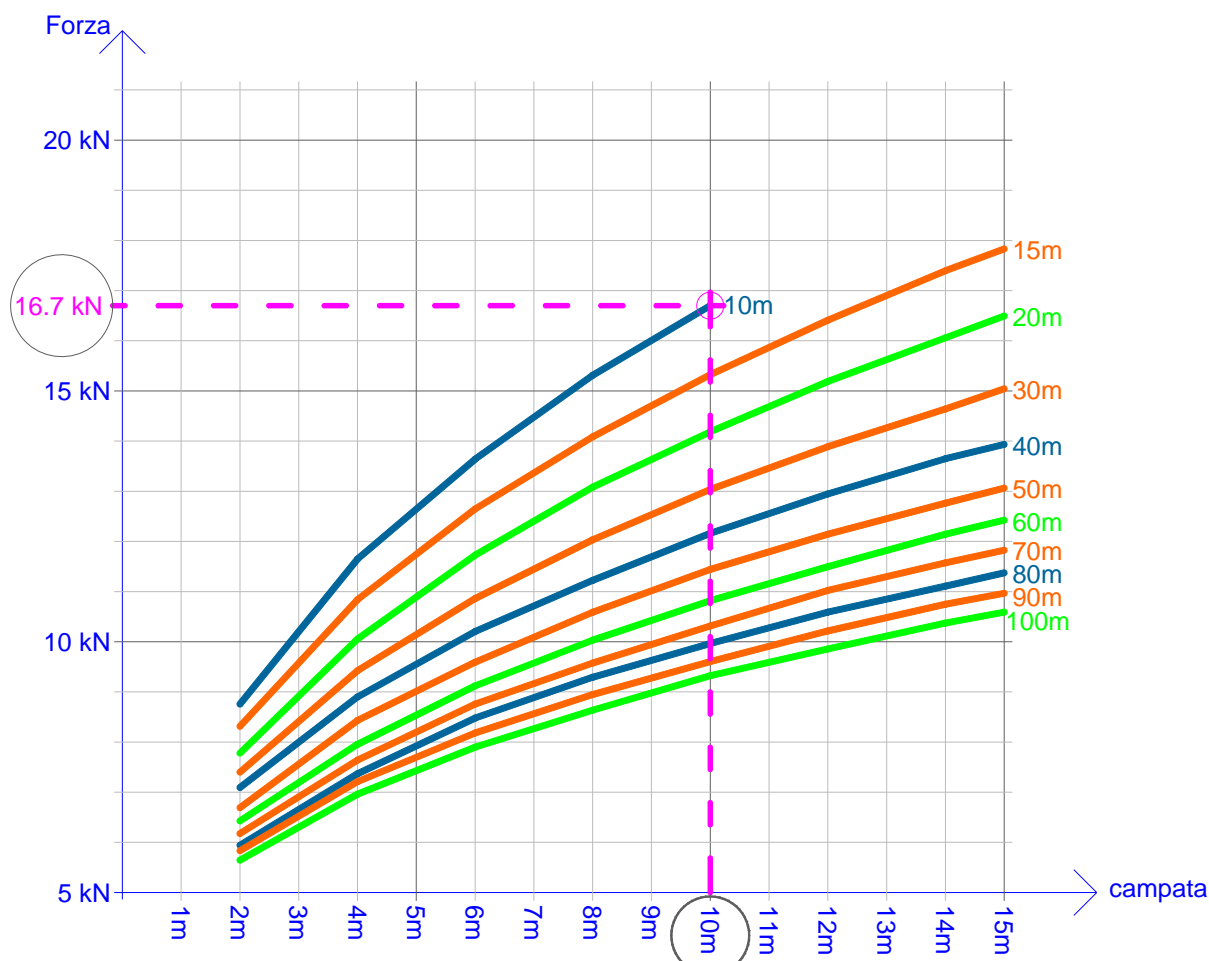


Dispositivo permanente di classe C

(Abaco per la determinazione della forza massima, presente nella nota informativa del prodotto)

Linea di ancoraggio flessibile orizzontale, dati forniti dal costruttore (due lavoratori, caduta di uno)

Forza di trazione sul cavo al variare della campata (per diverse lunghezze della linea)

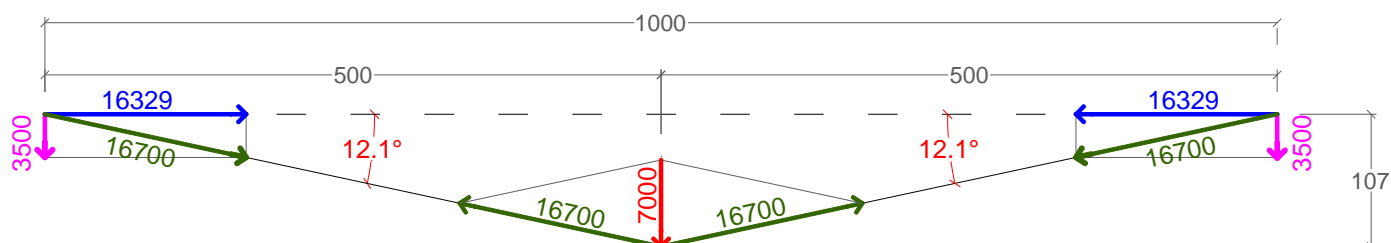


Quindi, conoscendo la geometria della linea e l'allungamento del cavo, possiamo ottenere le azioni caratteristiche trasmesse ai paletti; incrementeremo queste forze moltiplicandole per un coefficiente di sicurezza pari a due (come previsto dalla norma), ottenendo così le azioni di calcolo.

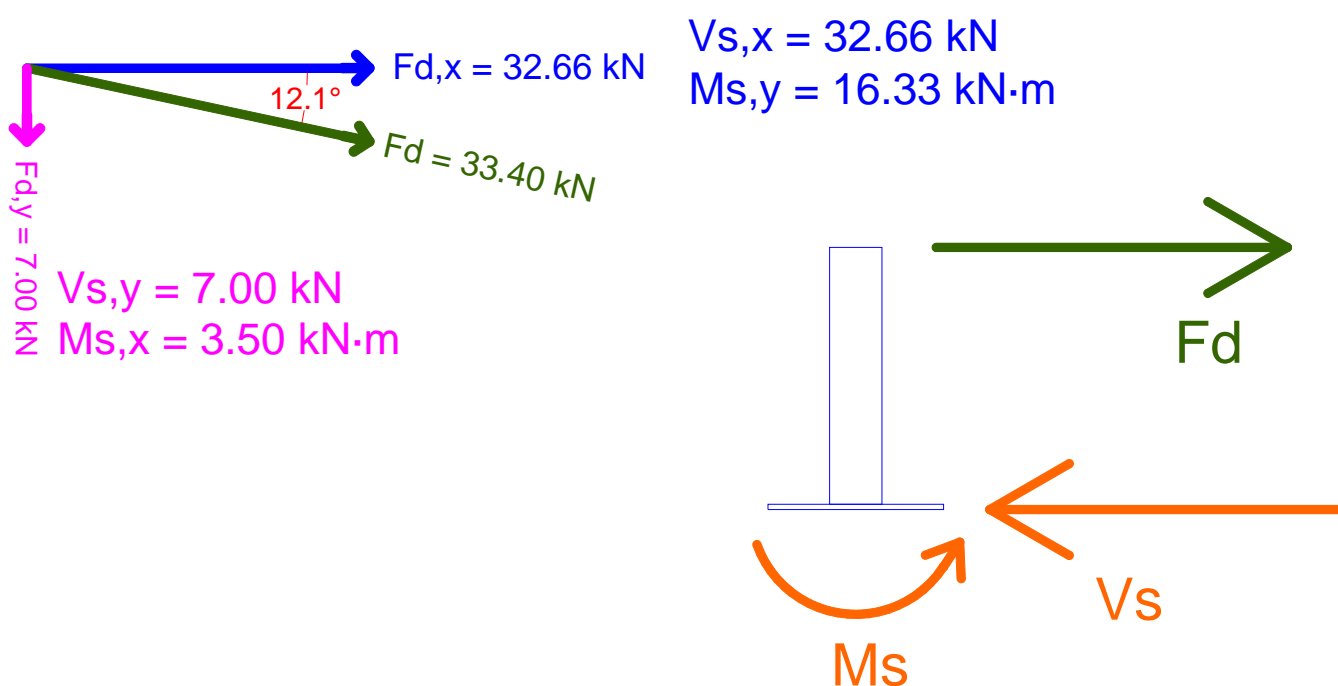
Si può osservare che le sollecitazioni sono deviate rispetto agli assi principali di inerzia della flangia di incastro del paletto, quindi si è scomposta la forza sollecitante nelle due direzioni principali e, dopo avere condotto le due analisi, si sono sovrapposte le sollecitazioni risultanti sugli ancoranti (si veda lo schema grafico della funicolare con i poligoni delle forze, pagina seguente).

Schema della funicolare delle forze ed azioni sui paletti

Valore caratteristico della sollecitazione, in caso di caduta di uno dei due operatori



Azioni massime di calcolo sul paletto di estremità e reazioni di incastro della flangia

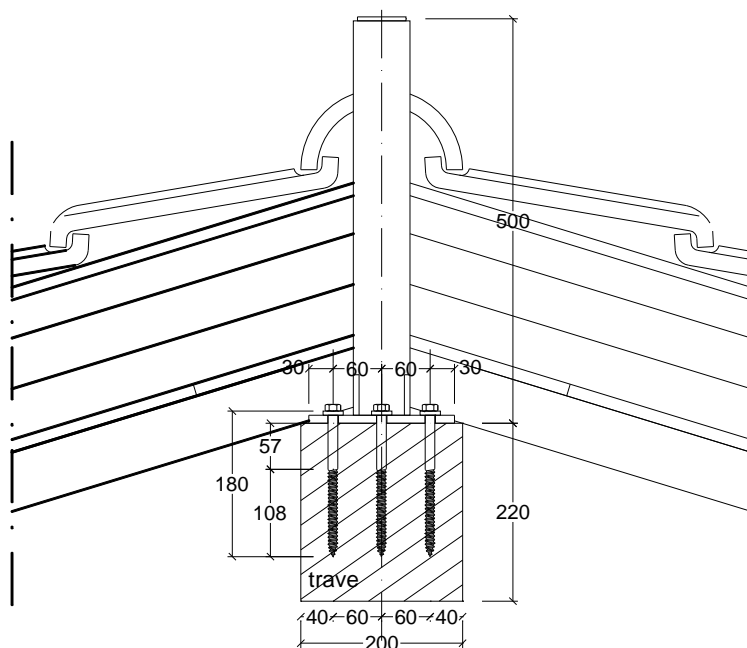


Per l'ancoraggio dei paletti nella trave di colmo si disporranno quattro file di 3 viti tipo DIN 571, in acciaio classe 4.6, di diam. nominale mm 12 (si vedano i particolari esecutivi di montaggio).

La verifica delle viti e della unione vite/legno è condotta con calcolo allo stato limite ultimo, come descritto nel seguito.

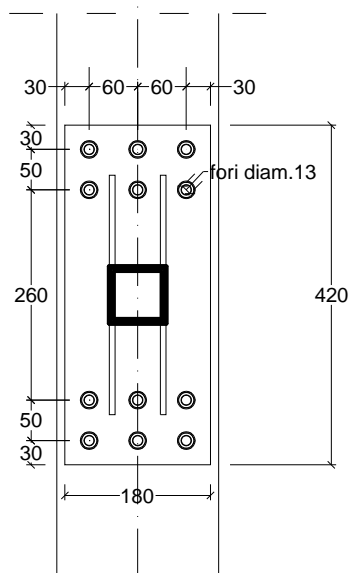
E' opportuno ricordare che, oltre alla verifica degli ancoraggi qui riportata, sarà necessario valutare l'idoneità della struttura del tetto a sopportare le sollecitazioni trasmesse dai paletti, come previsto dal regolamento di attuazione dell'art. 82 della L.R. n.1/2005.

Particolari esecutivi per il montaggio dei paletti

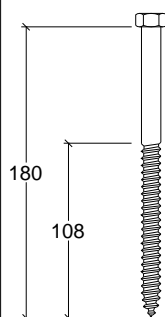


SEZIONE

PIANTA



IMPORTANTE !



12 VITI a LEGNO DIN 571 - acciaio classe 4.6
diam. nom. mm 12

Praticare preforo nel legno della trave diam. mm 9
per l'intera lunghezza di infissione,
allargare il preforo nel legno fino a mm 12
per la profondità di infiss. del gambo liscio,
con punte per legno!

Verifica dell'ancoraggio dei paletti di estremità

Ogni paletto (alto 50 cm) ha una flangia di incastro rettangolare di base cm 18 x cm 42, ed è fissato alla trave con dodici viti di diam 12 mm, lunghezza nominale mm 180, filettatura mm 108.

Azione *caratteristica* agente sul paletto metallico:

$F_k = 16.7 \text{ kN}$ (valore caratteristico del carico sul cavo, ricavato dalle tabelle fornite dal fabbricante del sistema, per il caso di progetto)

Azione orizzontale *di calcolo* sul paletto metallico:

$$F_d = F_k \cdot \gamma_q = 33.4 \text{ kN}$$

dove: $\gamma_q = 2$ (coefficiente di sicurezza parziale per la verifica allo stato limite ultimo, dedotto dalla UNI EN 795, punto 4.3.3.1)

Azioni di calcolo scomposte nelle direzioni principali di inerzia:

$F_{d,x} = 32.7 \text{ kN}$ (valore di calcolo, nella direzione del colmo)

$F_{d,y} = 7.0 \text{ kN}$ (valore di calcolo, perpendicolarmente al colmo)

Reazioni di incastro al piede del paletto (H = 50 cm)

$V_s = F_d = 33.4 \text{ kN}$ (taglio totale)

$M_{s,y} = F_{d,x} \cdot H = 16.3 \text{ kN}\cdot\text{m}$ (momento yy, dovuto a $F_{d,x}$)

$M_{s,x} = F_{d,y} \cdot H = 3.5 \text{ kN}\cdot\text{m}$ (momento xx, dovuto a $F_{d,y}$)

TAGLIO SU OGNI SINGOLA VITE

La sollecitazione su ogni vite viene determinata ipotizzando una ripartizione uniforme della sollecitazione, dividendo il taglio di incastro per il numero delle viti.

$$V_b = V_s / n_t = 2.78 \text{ kN} \quad (\text{Forza di calcolo a taglio per ciascuna vite})$$

$$\text{dove:} \quad n_t = 12 \quad (\text{numero totale delle viti})$$

TRAZIONE SU OGNI VITE DELLA FILA iesima

La sollecitazione di trazione su ogni vite viene determinata ipotizzando un meccanismo di rotazione rigida della flangia sul supporto. Si determina prima l'aliquota dovuta alla componente dell'azione di calcolo in direzione 'x', quindi quella in direzione 'y'.

$$N_{x,i} = \frac{M_{s,y} \cdot x_i}{\sum_{j=1}^m n_j \cdot x_j^2}$$

dove: x_i = distanza dal punto di rotazione alla fila iesima

n_i = numero di barre per fila

m = numero di file

Si pone il centro di rotazione in corrispondenza della prima fila di viti; si misura di conseguenza:

$$x_1 = 0 \text{ mm} \quad (n_1 = 3)$$

$$x_2 = 60 \text{ mm} \quad (n_2 = 3)$$

$$x_3 = 300 \text{ mm} \quad (n_3 = 3)$$

$$x_4 = 360 \text{ mm} \quad (n_4 = 3)$$

Su ogni barra della fila più sollecitata ($i=4$) si ricava la seguente forza di trazione:

$$N_{x,4} = 8.78 \text{ kN}$$

Si determina analogamente l'aliquota della trazione sulle viti dovuta alla componente dell'azione di calcolo in direzione 'y'.

$$N_{y,i} = \frac{M_{s,x} \cdot y_i}{\sum_{j=1}^m n_j \cdot y_j^2}$$

Si pone il centro di rotazione in corrispondenza della prima fila di viti, si misura di conseguenza:

$$y_1 = 0 \text{ mm} \quad (n_1 = 4)$$

$$y_2 = 60 \text{ mm} \quad (n_2 = 4)$$

$$y_3 = 120 \text{ mm} \quad (n_3 = 4)$$

Su ogni barra della fila più sollecitata ($i=3$) si ricava la seguente forza di trazione:

$$N_{y,3} = 5.83 \text{ kN}$$

Forza di trazione sulla vite più sollecitata risultante dalla combinazione delle due azioni:

$$N_b = N_{x,4} + N_{y,3} = 14.6 \text{ kN}$$

VERIFICA DELLA VITE PIU' SOLLECITATA

AZIONI DI CALCOLO:

$$F_{t.Sd} = N_b = 14.6 \text{ kN (Forza di calcolo a trazione)}$$

$$F_{v.Sd} = V_b = 2.78 \text{ kN (Forza di calcolo a taglio)}$$

RESISTENZE DI CALCOLO per la verifica (EC3 - 6.5.5):

$$F_{t.Rd} = 0.9 \cdot f_{ub} \cdot \omega'_b / \gamma_{Mb} = 17.0 \text{ kN (Forza resistente a trazione)}$$

$$F_{v.Rd} = 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \omega_b / \gamma_{Mb} = 20.1 \text{ kN (Forza resistente a taglio, classe 4.6)}$$

dove:

$$\omega_b = 113 \text{ mm}^2 \quad \text{area della sezione della vite (gambo liscio)}$$

$$\omega'_b = 64 \text{ mm}^2 \quad \text{area efficace della sezione ridotta (parte filettata)}$$

$$\gamma_{Mb} = 1.35 \quad \text{coeff. di sicur. del materiale (EC3 - 6.1.1)}$$

$$f_{ub} = 400 \text{ N/mm}^2 \quad \text{tensione ultima della vite (classe 4.6)}$$

CONDIZIONI DI VERIFICA (EC3 - 6.5.5):

$$\text{Taglio:} \quad F_{v.Sd} \leq F_{v.Rd} \quad (\text{VERO})$$

$$\text{Trazione:} \quad F_{t.Sd} \leq F_{t.Rd} \quad (\text{VERO})$$

$$\text{Azioni combinate:} \quad [F_{t.Sd} / (1.4 \cdot F_{t.Rd})] + [F_{v.Sd} / F_{v.Rd}] = 0.75 \leq 1 \quad (\text{VERO})$$

VERIFICA DELLA CONNESSIONE PIASTRA-LEGNO

La connessione è soggetta alla forza di taglio V ed al momento M precedentemente considerati per la verifica delle viti, pertanto le stesse azioni precedentemente considerate per la fila di viti più sollecitate vengono ora applicate alla verifica della connessione legno-vite. Si condurrà prima la verifica all'estrazione, poi quella al rifollamento per taglio ed infine quella alle due azioni combinate.

Verifica a estrazione della vite per effetto dell'azione di trazione parallela al suo asse (EC5 - 8.7.2):

$$F_{t.Sd} = 14600 \text{ N} \quad (\text{Azione di calcolo a trazione})$$

$$\phi = 12 \text{ mm} \quad (\text{diametro della vite})$$

$$L_o = 96 \text{ mm} \quad (\text{Lunghezza efficace di infissione, la sola parte filettata meno un diametro})$$

Resistenza caratteristica all'estrazione (in direzione perpendicolare alla fibratura):

$$F_{ak} = (\pi \cdot \phi \cdot L_o)^{0.8} f_{ak} \quad (\text{risultato in N, con } \phi, L_o \text{ espressi in mm})$$

con:

$$f_{ak} = 3.6 (\rho_k/100)^{1.5} \quad \text{tensione di aderenza caratteristica in N/mm}^2 \quad (\rho_k \text{ espressa in kg/m}^3)$$

$$\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3 \quad \text{massa volumica caratteristica del legno (abete C30)}$$

quindi:

$$f_{ak} = 3.6 (380/100)^{1.5} = 26.67 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{ak} = (\pi \cdot 12 \cdot 96)^{0.8} \cdot 26.67 = 18744 \text{ N}$$

Resistenza di calcolo all'estrazione:

$$F_{ad} = k_{mod} \cdot F_{ak} / \gamma_M = 15860 \text{ N}$$

$$\gamma_M = 1.3 \quad \text{coefficiente di sicurezza parziale (EC5 - prospetto 2.3)}$$

$$k_{mod} = 1.1 \quad \text{coefficiente di correzione in funzione della durata del carico (azioni istantanee per elementi non sottoposti all'azione diretta delle intemperie, EC5 - prospetto 3.1)}$$

Condizione di verifica:

$$F_{t.Sd} \leq F_{ad} \quad (\text{VERO})$$

Verifica all'azione di taglio perpendicolare all'asse della vite (EC5 - 8.7.1 e 8.2.3):

$$\begin{aligned}
 F_{V.sd} &= 2.78 \text{ kN} && \text{(Azione di calcolo a taglio)} \\
 \phi' &= 12 \text{ mm} && \text{(diametro nominale della vite)} \\
 \phi &= 9.9 \text{ mm} && \text{(diametro resistente, nucleo della filettatura x 1.1)} \\
 t &= 148 \text{ mm} && \text{(Lunghezza di infissione della vite nel legno, ridotta di un diametro)}
 \end{aligned}$$

Resistenza caratteristica per connessioni legno-acciaio ad un piano di taglio

$$F_{V_k} = \min \begin{cases} f_{hk} \cdot t \cdot \phi & \text{(collasso per rifollamento del legno)} \\ 2.3 \cdot \sqrt{M_y \cdot f_{hk} \cdot \phi'} + F_{ak} / 4 & \text{(collasso per plasticizzazione del gambo della vite)} \\ f_{hk} \cdot t \cdot \phi \cdot (\sqrt{2 + 4M_y / (f_{hk} \cdot \phi \cdot t^2)} - 1) + F_{ak} / 4 & \text{(collasso per rifollam. e plasticizzazione)} \end{cases}$$

dove:

$$M_y = 0.3 f_t \phi'^{2.6} = 76745 \text{ N}\cdot\text{mm} \quad \text{Momento di plasticizzazione del gambo della vite}$$

$$f_{hk} = 0.082 \cdot \rho_k \cdot (1 - \phi' / 100) = 27.42 \text{ N/mm}^2 \quad \text{tensione di rifollamento caratteristica in N/mm}^2 \text{ (}\rho_k \text{ espressa in kg/m}^3\text{), nel caso di azione parallela alla direzione delle fibre, con preforo nel legno}$$

con:

$$\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3 \quad \text{massa volumica caratteristica del legno (abete C30)}$$

$$f_t = 400 \text{ N/mm}^2 \quad \text{tensione ultima della vite (classe 4.6)}$$

quindi:

$$F_{V_k} = \min \begin{cases} 40177 \text{ N} \\ 16244 \text{ N} \\ 22056 \text{ N} \end{cases} \quad F_{V_k} = 16.2 \text{ kN}$$

Resistenza di calcolo a taglio:

$$F_{V.d} = K_{mod} \cdot F_{V_k} / \gamma_M = 13.7 \text{ kN} \quad (K_{mod}, \gamma_M \text{ sono gli stessi del caso precedente})$$

Condizione di verifica:

$$F_{V.sd} \leq F_{V.d} \quad \text{(VERO)}$$

Verifica alle azioni combinate di estrazione e taglio per la connessione vite-legno (EC5 - 8.7.3):

$$(F_{t.Sd} / F_{ad})^2 + (F_{v.Sd} / F_{Vd})^2 \leq 1 \quad (\text{Condizione di verifica})$$

$$(14.6 / 15.9)^2 + (2.78 / 13.7)^2 = 0.89 < 1 \quad (\text{VERO})$$

Esempio tratto da: www.coperturassicura.toscana.it

2 . ANCORAGGI UNI 795 classe A2 ALL'INCROCIO DELLE FALDE

Come per il dispositivo in classe C, anche per gli ancoraggi A1 od A2 il fabbricante è tenuto a garantire le caratteristiche prestazionali del dispositivo stesso, ed è responsabilità di un tecnico abilitato valutare l'idoneità statica e dinamica della struttura dove questi devono essere ancorati, individuando le sollecitazioni trasmesse e determinando conseguentemente il corretto sistema di fissaggio.

Di seguito si riporta l'esempio del calcolo dell'ancoraggio dei dispositivi A2 da installare sulla copertura dell'edificio, ancorati alla trave che sostiene l'incrocio delle due falde, di tipo e sezione pari alla precedente (abete, classe di resistenza C30, cm 20x22 BxH).

La verifica all'evento dinamico è condotta applicando una forza statica equivalente, indicata dalla norma EN 795. Per il dispositivo in esame la forza è pari a 10 kN (caduta di un solo utilizzatore). Questo è il valore di calcolo, e non va incrementato con coefficienti di sicurezza.

La forza viene considerata sull'estremità del dispositivo, che è ancorato ad un paletto flangiato (certificato dal fabbricante). Al paletto sono ancorati due elementi ortogonali fra loro, uno per ogni falda, ma si considera l'utilizzo di un solo ancoraggio perché nel piano di accesso alla copertura viene vietato l'uso del paletto a due operatori contemporaneamente.

Si conduce il calcolo di verifica per il bullone M12, classe 8.8, che fissa il dispositivo al paletto e per le quattro viti DIN 571, L300, classe 4.6 che fissano la flangia del paletto alla trave.

Anche in questo caso è opportuno ricordare che, oltre alla verifica degli ancoraggi qui riportata, sarà necessario valutare l'idoneità della struttura del tetto a sopportare le sollecitazioni trasmesse in caso di caduta, come previsto dal regolamento di attuazione dell'art. 82 della L.R. n.1/2005.

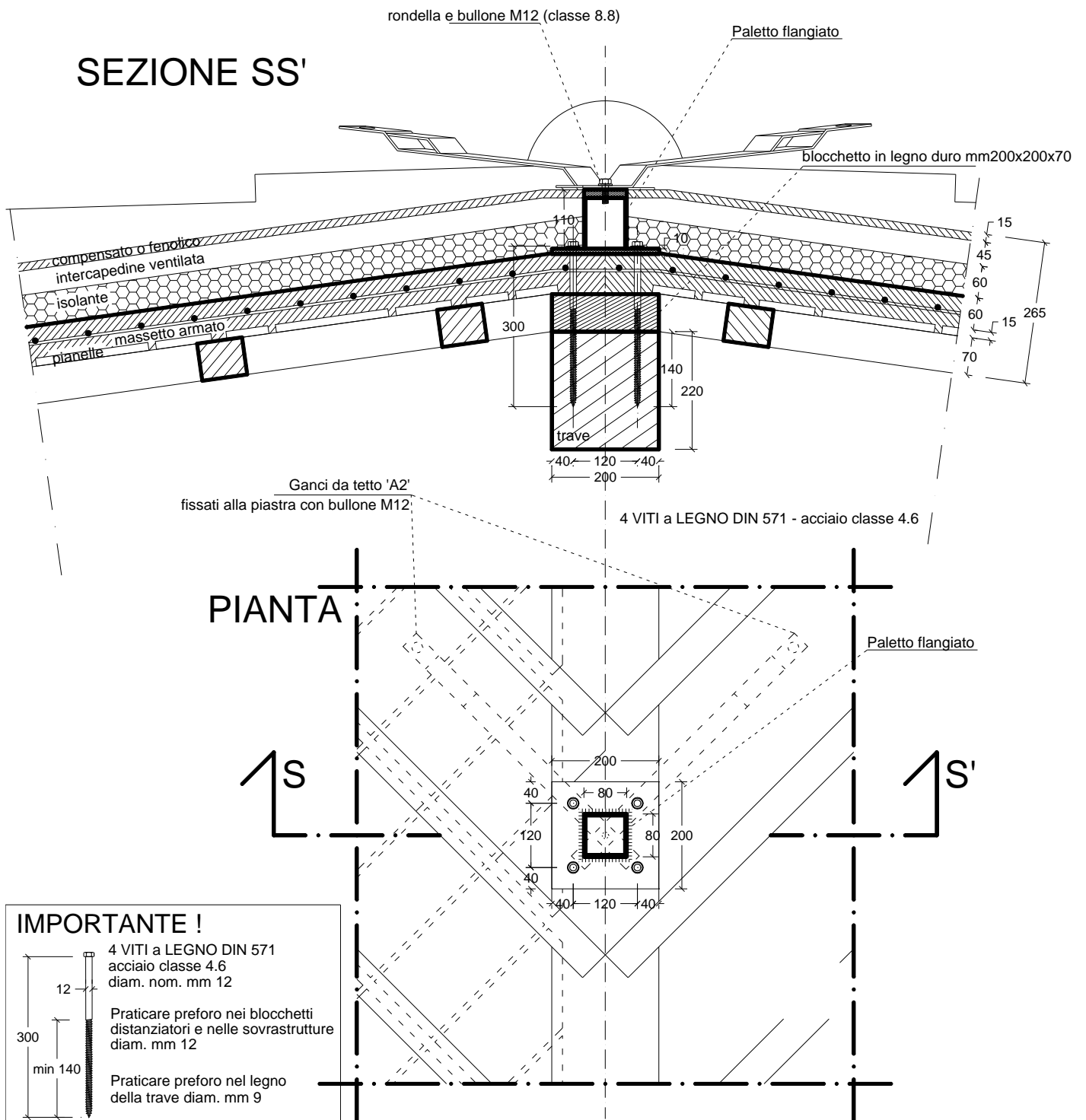
Nella pagina seguente si può vedere lo schema di montaggio degli ancoraggi.

Particolari esecutivi per il montaggio del dispositivo

Piastra per ancoraggi A2 sui puntoni del padiglione

(Questi ganci devono essere ugualmente efficaci nelle due direzioni ortogonali)

N.B. - Due ganci, ma UN SOLO utilizzatore contemporaneo

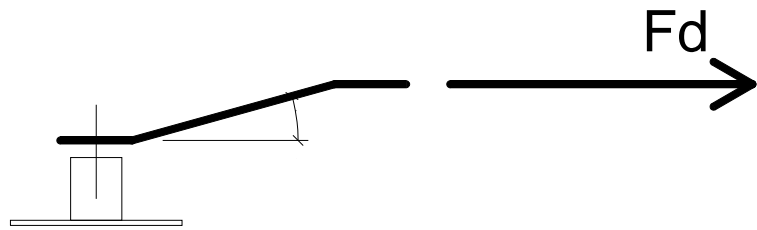


Calcolo di verifica - Bullone M12

Il bullone è sollecitato dalla lamiera del dispositivo, principalmente a taglio. Tuttavia, poiché l'azione non è perfettamente perpendicolare all'asse della vite, ma viene deviata verso l'esterno della falda seguendo la direzione di giacitura dell'ancoraggio, la si può scomporre in due componenti di taglio e trazione sul bullone. A vantaggio di sicurezza si è assunto il taglio sul bullone pari al valore nominale della forza di calcolo e la componente di trazione pari alla metà del taglio.

AZIONI DI CALCOLO:

$$F_d = 10.0 \text{ kN}$$



$$F_{t.Sd} = N_b = 5.0 \text{ kN} \quad (\text{Forza di calcolo a trazione})$$

$$F_{v.Sd} = V_b = 10.0 \text{ kN} \quad (\text{Forza di calcolo a taglio})$$

RESISTENZE DI CALCOLO per la verifica (EC3 - 6.5.5):

$$F_{t.Rd} = 0.9 \cdot f_{ub} \cdot \omega'_b / \gamma_{Mb} = 45.0 \text{ kN} \quad (\text{Forza resistente a trazione})$$

$$F_{v.Rd} = 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \omega'_b / \gamma_{Mb} = 30.0 \text{ kN} \quad (\text{Forza resistente a taglio, classe 8.8})$$

dove:

$$\omega'_b = 84.3 \text{ mm}^2 \quad \text{area efficace della sezione ridotta (parte filettata)}$$

$$\gamma_{Mb} = 1.35 \quad \text{coeff. di sicur. del materiale (EC3 - 6.1.1)}$$

$$f_{ub} = 800 \text{ N/mm}^2 \quad \text{tensione ultima della vite (classe 8.8)}$$

CONDIZIONI DI VERIFICA (EC3 - 6.5.5):

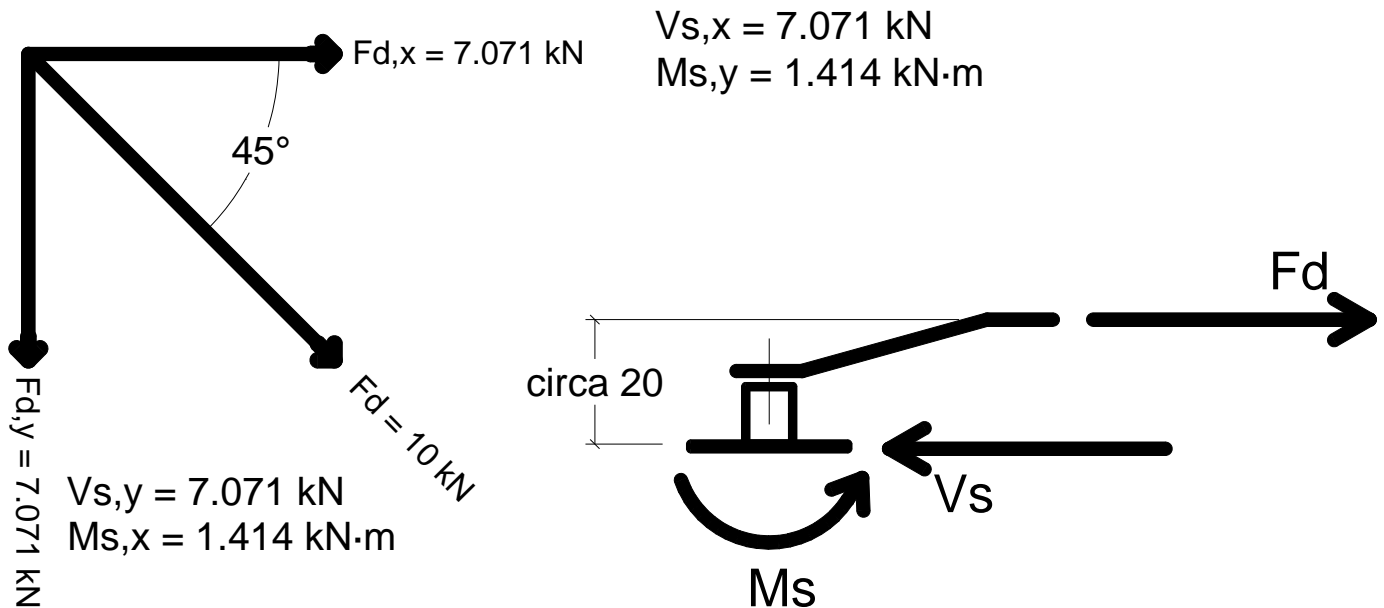
$$\text{Taglio:} \quad F_{v.Sd} \leq F_{v.Rd} \quad (\text{VERO})$$

$$\text{Trazione:} \quad F_{t.Sd} \leq F_{t.Rd} \quad (\text{VERO})$$

$$\text{Azioni combinate:} \quad [F_{t.Sd} / (1.4 \cdot F_{t.Rd})] + [F_{v.Sd} / F_{v.Rd}] = 0.41 \leq 1 \quad (\text{VERO})$$

Calcolo di verifica - Flangia del paletto

Come per il paletto del dispositivo di classe 'C', anche in questo caso le sollecitazioni sono deviate rispetto agli assi principali di inerzia della flangia di incastro. Si scompone la forza sollecitante nelle due direzioni principali e si sovrappongono le sollecitazioni risultanti sugli ancoranti dalle due analisi. ✕



Per l'ancoraggio della flangia alla trave si disporranno quattro viti tipo DIN 571, in acciaio classe 4.6, di diam. nominale mm 12.

Azione orizzontale di calcolo sul dispositivo:

$$F_d = 10.0 \text{ kN} \quad (\text{definito da EN 795:2002, punto A.3 e 4.3.1.2})$$

Azioni di calcolo scomposte nelle direzioni principali di inerzia:

$$F_{d,x} = F_{d,y} = 7.041 \text{ kN}$$

Reazioni di incastro al piede del paletto ($H = 20 \text{ cm}$)

$$V_s = F_d = 10.0 \text{ kN} \quad (\text{taglio totale})$$

$$M_{s,y} = F_{d,x} \cdot H = 1.414 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad (\text{momento yy, dovuto a } F_{d,x})$$

$$M_{s,x} = F_{d,y} \cdot H = 1.414 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad (\text{momento xx, dovuto a } F_{d,y})$$

TAGLIO SU OGNI SINGOLA VITE

La sollecitazione su ogni vite viene determinata ipotizzando una ripartizione uniforme della sollecitazione, dividendo il taglio di incastro per il numero delle viti.

$$V_b = V_s / n_t = 2.50 \text{ kN} \quad (\text{Forza di calcolo a taglio per ciascuna vite})$$

$$\text{dove:} \quad n_t = 4 \quad (\text{numero totale delle viti})$$

TRAZIONE SU OGNI VITE DELLA FILA iesima

La sollecitazione di trazione su ogni vite viene determinata ipotizzando un meccanismo di rotazione rigida della flangia sul supporto. Si determina prima l'aliquota dovuta alla componente dell'azione di calcolo in direzione 'x', quindi quella in direzione 'y'.

$$N_{x,i} = \frac{M_{s,y} \cdot x_i}{\sum_{j=1}^m n_j \cdot x_j^2}$$

$$\begin{aligned} \text{dove:} \quad x_i &= \text{distanza dal punto di rotazione alla fila iesima} \\ n_i &= \text{numero di barre per fila} \\ m &= \text{numero di file} \end{aligned}$$

Si pone il centro di rotazione in corrispondenza della prima fila di viti; si misura di conseguenza:

$$\begin{aligned} x_1 &= 0 \text{ mm} & (n_1 = 2) \\ x_2 &= 120 \text{ mm} & (n_2 = 2) \end{aligned}$$

Su ogni barra della fila più sollecitata ($i=2$) si ricava la seguente forza di trazione:

$$N_{x,2} = 5.89 \text{ kN}$$

Si determina analogamente l'aliquota della trazione sulle viti dovuta alla componente dell'azione di calcolo in direzione 'y', che per simmetria risulta uguale a quella precedente:

$$N_{y,2} = 5.89 \text{ kN}$$

Forza di trazione sulla vite più sollecitata risultante dalla combinazione delle due azioni:

$$N_b = N_{x,2} + N_{y,2} = 11.78 \text{ kN}$$

VERIFICA DELLA VITE PIU' SOLLECITATA

AZIONI DI CALCOLO:

$$F_{t,Sd} = N_b = 11.78 \text{ kN} \quad (\text{Forza di calcolo a trazione})$$

$$F_{v,Sd} = V_b = 2.50 \text{ kN} \quad (\text{Forza di calcolo a taglio})$$

RESISTENZE DI CALCOLO per la verifica (EC3 - 6.5.5):

$$F_{t,Rd} = 0.9 \cdot f_{ub} \cdot \omega'_b / \gamma_{Mb} = 17.0 \text{ kN} \quad (\text{Forza resistente a trazione})$$

$$F_{v,Rd} = 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \omega_b / \gamma_{Mb} = 20.1 \text{ kN} \quad (\text{Forza resistente a taglio, classe 4.6})$$

dove:

$$\omega_b = 113 \text{ mm}^2 \quad \text{area della sezione della vite (gambo liscio)}$$

$$\omega'_b = 64 \text{ mm}^2 \quad \text{area efficace della sezione ridotta (parte filettata)}$$

$$\gamma_{Mb} = 1.35 \quad \text{coeff. di sicur. del materiale (EC3 - 6.1.1)}$$

$$f_{ub} = 400 \text{ N/mm}^2 \quad \text{tensione ultima della vite (classe 4.6)}$$

CONDIZIONI DI VERIFICA (EC3 - 6.5.5):

$$\text{Taglio:} \quad F_{v,Sd} \leq F_{v,Rd} \quad (\text{VERO})$$

$$\text{Trazione:} \quad F_{t,Sd} \leq F_{t,Rd} \quad (\text{VERO})$$

$$\text{Azioni combinate:} \quad [F_{t,Sd} / (1.4 \cdot F_{t,Rd})] + [F_{v,Sd} / F_{v,Rd}] = 0.62 \leq 1 \quad (\text{VERO})$$

VERIFICA DELLA VITE ALL'ESTRAZIONE DALLA TRAVE

In questo caso la flangia è appoggiata al calcestruzzo della soletta armata. Le viti trasmettono ed esauriscono la sollecitazione di taglio nello spessore del calcestruzzo, mentre la trazione è trasferita interamente alla trave. La verifica a rifollamento nel calcestruzzo è superflua, visto il suo considerevole spessore. Si procede quindi alla sola verifica all'estrazione della vite dalla trave.

Verifica a estrazione della vite per effetto dell'azione di trazione parallela al suo asse (EC5 - 8.7.2):

$$F_{t.Sd} = 11780 \text{ N} \quad (\text{Azione di calcolo a trazione})$$

$$\phi = 12 \text{ mm} \quad (\text{diametro della vite})$$

$$L_o = 128 \text{ mm} \quad (\text{Lunghezza efficace di infissione, la sola parte filettata meno un diametro})$$

Resistenza caratteristica all'estrazione (in direzione perpendicolare alla fibratura):

$$F_{ak} = (\pi \cdot \phi \cdot L_o)^{0.8} f_{ak} \quad (\text{risultato in N, con } \phi, L_o \text{ espressi in mm})$$

con:

$$f_{ak} = 3.6 (\rho_k/100)^{1.5} \quad \text{tensione di aderenza caratteristica in N/mm}^2 \quad (\rho_k \text{ espressa in kg/m}^3)$$

$$\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3 \quad \text{massa volumica caratteristica del legno (abete C30)}$$

quindi:

$$f_{ak} = 3.6 (380/100)^{1.5} = 26.67 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{ak} = (\pi \cdot 12 \cdot 128)^{0.8} \cdot 26.67 = 23594 \text{ N}$$

Resistenza di calcolo all'estrazione:

$$F_{ad} = k_{mod} \cdot F_{ak} / \gamma_M = 19965 \text{ N}$$

$$\gamma_M = 1.3 \quad \text{coefficiente di sicurezza parziale (EC5 - prospetto 2.3)}$$

$$k_{mod} = 1.1 \quad \text{coefficiente di correzione in funzione della durata del carico (azioni istantanee per elementi non sottoposti all'azione diretta delle intemperie, EC5 - prospetto 3.1)}$$

Condizione di verifica:

$$F_{t.Sd} \leq F_{ad} \quad (\text{VERO})$$

3. ANCORAGGI UNI 795 classe A2 SULLA FALDA BASSA

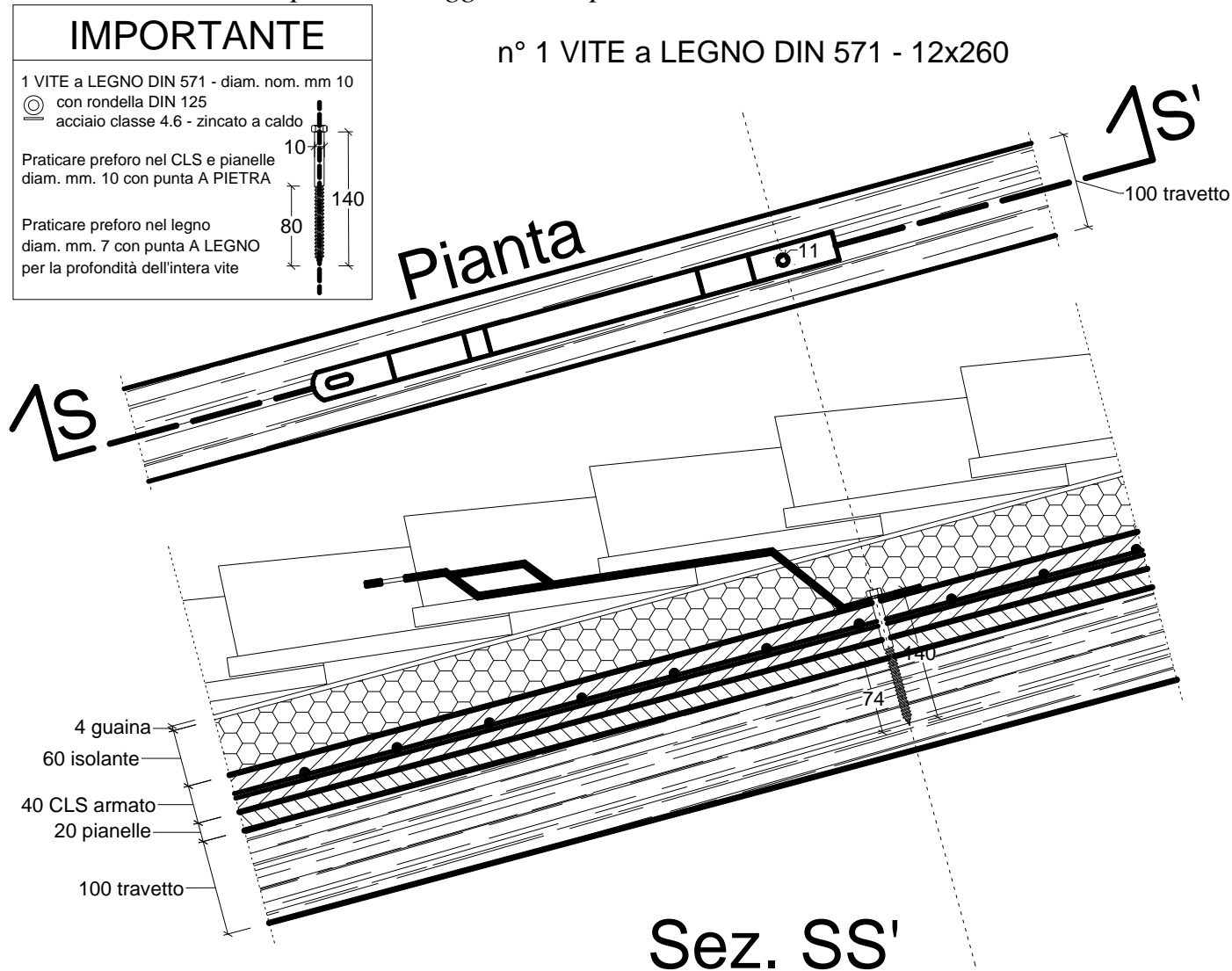
Di seguito si riporta l'esempio del calcolo dell'ancoraggio dei dispositivi A2 da installare sulla copertura dell'edificio, ancorati alla falda del tetto, realizzata con travetti di abete di sezione cm 10x10 (classe di resistenza C30), scempiato in cotto e sovrastante massetto strutturale in calcestruzzo armato con rete elettrosaldata.

La verifica all'evento dinamico è condotta applicando una forza statica equivalente, indicata dalla norma EN 795. Per il dispositivo in esame la forza è pari a 10 kN (caduta di un solo utilizzatore). Questo fornito dalla norma è il valore di calcolo, non va quindi incrementato con coefficienti di sicurezza.

La forza viene considerata applicata all'estremità del dispositivo, che è ancorato alla struttura per mezzo di una vite DIN 571 diam. nom. mm 10, L140, classe acciaio 4.6.

Il dispositivo è certificato dal fabbricante, quindi si condurrà il calcolo di verifica del suo ancoraggio alla struttura. Come per i casi precedenti, sarà inoltre necessario valutare l'idoneità della struttura del tetto a sopportare le sollecitazioni trasmesse in caso di caduta.

Particolari esecutivi per il montaggio del dispositivo



Calcolo di verifica

Azione di calcolo sul dispositivo

$F_d = 10.0 \text{ kN}$ (definito da EN 795:2002, punto A.3 e 4.3.1.2)

Per l'ancoraggio si disporrà una vite tipo DIN 571, in acciaio classe 4.6, di diametro nominale pari a mm 10.

Il dispositivo è appoggiato al calcestruzzo della soletta armata. La vite trasmette ed esaurisce la sollecitazione di taglio nello spessore del calcestruzzo, mentre la trazione è trasferita interamente al travetto.

Il gambo della vite dovrà essere verificato alle sollecitazioni di taglio e trazione ed alla loro azione combinata.

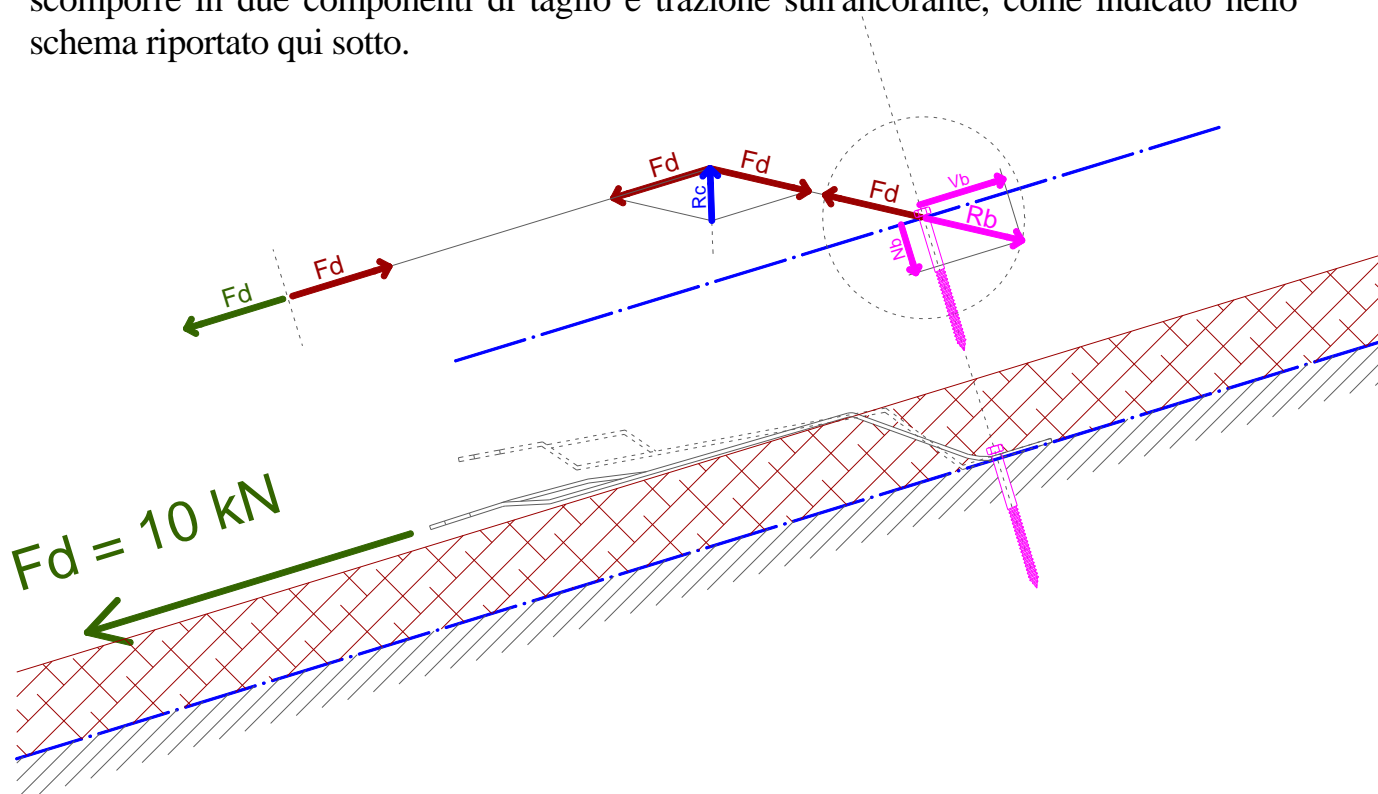
La porzione filettata della vite dovrà essere verificata alla sola sollecitazione di trazione, essendosi esaurito il taglio nella parte non filettata.

La verifica a rifollamento nel calcestruzzo è superflua, visto il suo considerevole spessore.

La connessione vite-legno dovrà essere verificata alla sola estrazione, essendo il taglio assorbito dal calcestruzzo.

Azioni di calcolo sulla vite

La vite è sollecitata dalla lamiera del dispositivo. L'azione trasmessa non è perpendicolare al suo asse, ma viene deviata verso l'esterno della falda seguendo la direzione di giacitura dell'ancoraggio al momento della caduta: la si può quindi scomporre in due componenti di taglio e trazione sull'ancorante, come indicato nello schema riportato qui sotto.



Guardando lo schema si nota che la forza agente sul bullone si avvicinerà alla perpendicolare al gambo quanto più il dispositivo comprimerà il manto di copertura (tegole ed isolante) adagiandosi su di esso. La situazione più gravosa per la vite e per il CLS è quella in cui si ha solo taglio, nell'ipotesi teorica che il dispositivo comprima interamente il manto di copertura allineandosi perfettamente con la superficie della soletta armata. La situazione più gravosa per il collegamento vite/travetto è quella che massimizza l'azione normale di trazione sulla vite, quando non si ha alcuna deformazione del dispositivo e del manto di copertura.

Non volendo affrontare l'analisi esatta di questo problema, che risulta assai difficile ed anche poco affidabile nei risultati, data la oggettiva difficoltà di determinare le caratteristiche meccaniche degli elementi del manto di copertura, si assume a vantaggio di sicurezza che il taglio sulla vite sia pari al valore nominale della forza di calcolo e la componente di trazione sia pari alla metà del taglio.

Azioni di calcolo sulla vite:

$$N_b = 5.0 \text{ kN} \quad (\text{Forza di calcolo a trazione})$$

$$V_b = 10.0 \text{ kN} \quad (\text{Forza di calcolo a taglio})$$

VERIFICA DEL GAMBO DELLA VITE

AZIONI DI CALCOLO:

$$F_{t.Sd} = N_b = 5.0 \text{ kN} \quad (\text{Forza di calcolo a trazione})$$

$$F_{v.Sd} = V_b = 10.0 \text{ kN} \quad (\text{Forza di calcolo a taglio})$$

RESISTENZE DI CALCOLO per la verifica (EC3 - 6.5.5):

$$F_{t.Rd} = 0.9 \cdot f_{ub} \cdot \omega_b / \gamma_{Mb} = 20.9 \text{ kN} \quad (\text{Forza resistente a trazione})$$

$$F_{v.Rd} = 0.6 \cdot f_{ub} \cdot \omega_b / \gamma_{Mb} = 14.0 \text{ kN} \quad (\text{Forza resistente a taglio, classe 4.6})$$

dove:

$$\omega_b = 78.5 \text{ mm}^2 \quad \text{area della sezione della vite (gambo liscio)}$$

$$\gamma_{Mb} = 1.35 \quad \text{coeff. di secur. del materiale (EC3 - 6.1.1)}$$

$$f_{ub} = 400 \text{ N/mm}^2 \quad \text{tensione ultima della vite (classe 4.6)}$$

CONDIZIONI DI VERIFICA (EC3 - 6.5.5):

Taglio: $F_{v.Sd} \leq F_{v.Rd}$ (VERO)

Trazione: $F_{t.Sd} \leq F_{t.Rd}$ (VERO)

Azioni combinate: $[F_{t.Sd} / (1.4 \cdot F_{t.Rd})] + [F_{v.Sd} / F_{v.Rd}] = 0.89 \leq 1$ (VERO)

VERIFICA DELLA PORZIONE FILETTATA DELLA VITE

AZIONI DI CALCOLO:

$F_{t.Sd} = N_b = 5.0 \text{ kN}$ (Forza di calcolo a trazione)

RESISTENZE DI CALCOLO per la verifica (EC3 - 6.5.5):

$F_{t.Rd} = 0.9 \cdot f_{ub} \cdot \omega_b / \gamma_{Mb} = 10.3 \text{ kN}$ (Forza resistente a trazione)

dove:

$\omega'_b = 38.5 \text{ mm}^2$ *area efficace della sezione ridotta (parte filettata)*

$\gamma_{Mb} = 1.35$ *coeff. di secur. del materiale (EC3 - 6.1.1)*

$f_{ub} = 400 \text{ N/mm}^2$ *tensione ultima della vite (classe 4.6)*

CONDIZIONI DI VERIFICA (EC3 - 6.5.5):

Trazione: $F_{t.Sd} \leq F_{t.Rd}$ (VERO)

VERIFICA A ESTRAZIONE DELLA VITE DAL TRAVETTO (EC5 - 8.7.2)

$$F_{t.Sd} = 5000 \text{ N} \quad (\text{Azione di calcolo a trazione})$$

$$\phi = 10 \text{ mm} \quad (\text{diametro della vite})$$

$$L_o = 64 \text{ mm} \quad (\text{Lunghezza efficace di infissione, la sola parte filettata meno un diametro})$$

Resistenza caratteristica all'estrazione (in direzione perpendicolare alla fibratura):

$$F_{ak} = (\pi \cdot \phi \cdot L_o)^{0.8} f_{ak} \quad (\text{risultato in N, con } \phi, L_o \text{ espressi in mm})$$

con:

$$f_{ak} = 3.6 (\rho_k/100)^{1.5} \quad \text{tensione di aderenza caratteristica in N/mm}^2 \quad (\rho_k \text{ espressa in kg/m}^3)$$

$$\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3 \quad \text{massa volumica caratteristica del legno (abete C30)}$$

quindi:

$$f_{ak} = 3.6 (380/100)^{1.5} = 26.67 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{ak} = (\pi \cdot 10 \cdot 64)^{0.8} \cdot 26.67 = 11712 \text{ N}$$

Resistenza di calcolo all'estrazione:

$$F_{ad} = k_{mod} \cdot F_{ak} / \gamma_M = 9910 \text{ N}$$

$$\gamma_M = 1.3 \quad \text{coefficiente di sicurezza parziale (EC5 - prospetto 2.3)}$$

$$k_{mod} = 1.1 \quad \text{coefficiente di correzione in funzione della durata del carico (azioni istantanee per elementi non sottoposti all'azione diretta delle intemperie, EC5 - prospetto 3.1)}$$

Condizione di verifica:

$$F_{t.Sd} \leq F_{ad} \quad (\text{VERO})$$

NOTA

Ancoraggi UNI 795 classe A2 su travetti di ridotte dimensioni

Nel caso di travetti aventi dimensioni inferiori a quello del caso precedente, ad esempio sezione cm 8x8, può essere utile ricorrere ad elaborazioni più accurate del problema, allo scopo di determinare la corretta ripartizione della sollecitazione all'atto della caduta. Una volta trovata la giusta direzione della forza rispetto all'asse della vite, sarà possibile scomporla nelle aliquote di taglio e sforzo normale, e dimensionare con migliore accuratezza l'ancorante. Questo può portare ad una riduzione della lunghezza e/o diametro della vite ed alla possibilità di ancoraggio su travetti di dimensioni più piccole.

E' superfluo ricordare che, oltre a valutare la resistenza della struttura del tetto, in questo caso sarà necessario anche accertarsi del reale comportamento meccanico degli elementi previsti ed effettivamente messi in opera per il manto di copertura.

La presente relazione di calcolo è stata redatta allo scopo di fornire un esauriente quadro delle verifiche necessarie a dimensionare i fissaggi con un ampio margine di sicurezza, descrivendo graficamente e analiticamente i passaggi che giustificano la verifica. Il professionista chiamato a redigere la relazione di calcolo può utilizzare a sua discrezione una diversa rappresentazione e una diversa sintesi, o un diverso approccio metodologico purchè sufficientemente motivato da considerazioni di natura teorica e normativa di cui si assume la piena responsabilità.