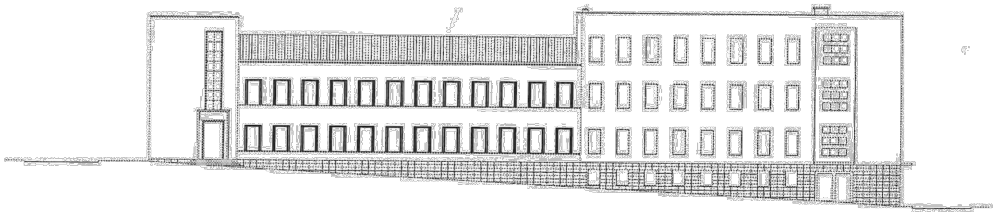
COMUNE DI MILITELLO IN VAL DI CATANIA

PROVINCIA DI CATANIA - REGIONE SICILIA

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA E RIQUALIFICAZIONE DEGLI EDIFICI ADIBITI AD USO SCOLASTICO
FONDO EUROPEO DI SVILUPPO REGIONALE (FESR-PON 2014-2020)
ISTITUO COMPRENSIVO STATALE "PIETRO CARRERA"
VIALE REGINA MARGHERITA N.15

PROGETTO ESECUTIVO (REV. ottobre 2020)



ELABORATO TECNICO COPERTURE

RELAZIONE DI CALCOLO LINEE VITA E ANCORAGGI

R. U. P.	PROGETTISTA
legale rappresentante	tecnico incaricato
IL TECNICO Geom. PAOLO TRAMONTANA	Il Responsabile dell'Area SERVIZI TECNICI Arch. Salvatore Campisi

Visti ed approvazioni

ELABORATO VERIFICATO
art.26 D.Lgs. 50/2016
LICCIARDELLOPROGETTI S.r.l.

10/11/2020

RELAZIONE DI CALCOLO ALLEGATA ALL'ELABORATO
TECNICO DELLA COPERTURA

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. E' oggetto di questa verifica l'ancoraggio dei paletti sottoposti alla forza massima trasmessa dal cavo all'atto della eventuale caduta.
Sulla copertura è prevista l'installazione di due distinte linee vita: una, parallela alla via G. Verga, di lunghezza pari a 20,55m con due campate di 10,30m; l'altra, parallela a viale Regina Margherita lunga 34,85m con tre campate di 11,60m.
Le linee sono costituite da un cavo in acciaio con due paletti di ancoraggio alle estremità e paletti intermedi 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. Qui si impiegano gli abachi relativi alla presenza di due utilizzatori con caduta di uno.
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.
Adottando sistemi di ancoraggio uguali per entrambe le linee si procede di seguito nella determinazione delle sollecitazioni prodotte in ciascuna delle suddette due configurazioni per sottoporre poi a verifica quella che dà luogo alle azioni maggiori.

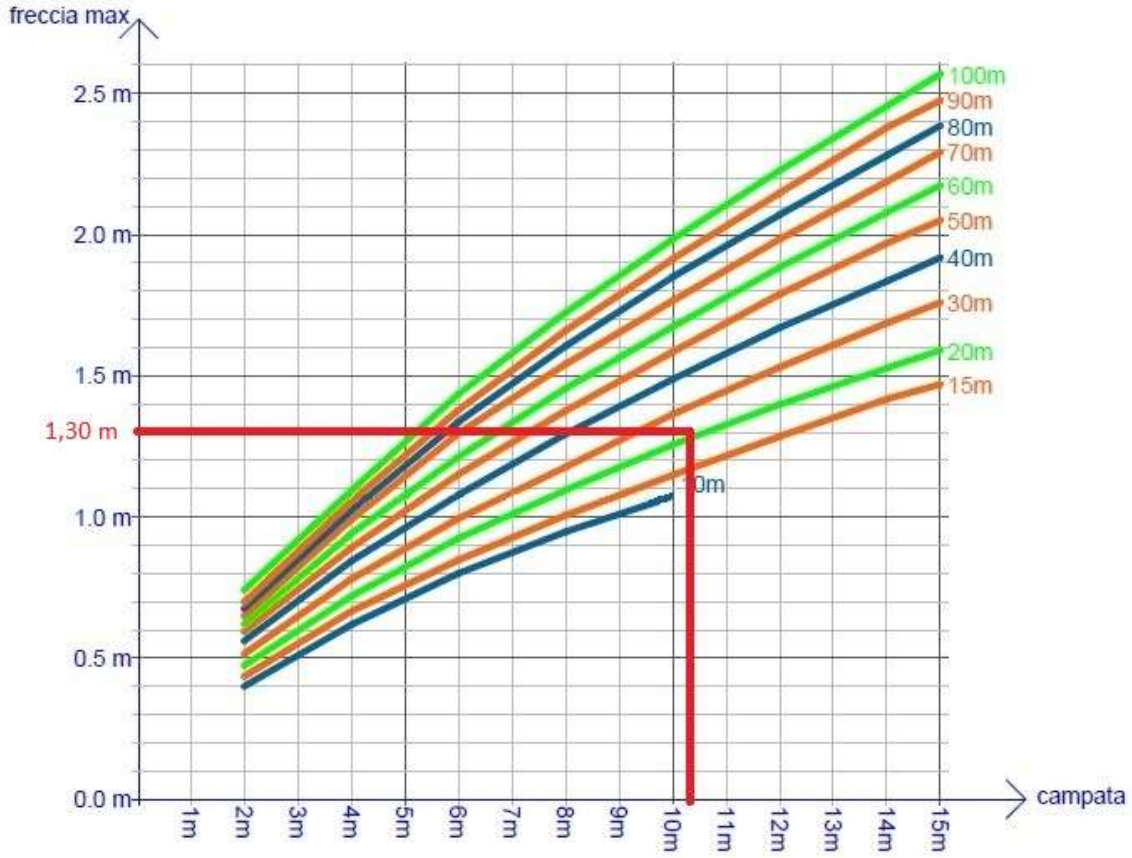
Analisi della configurazione 1

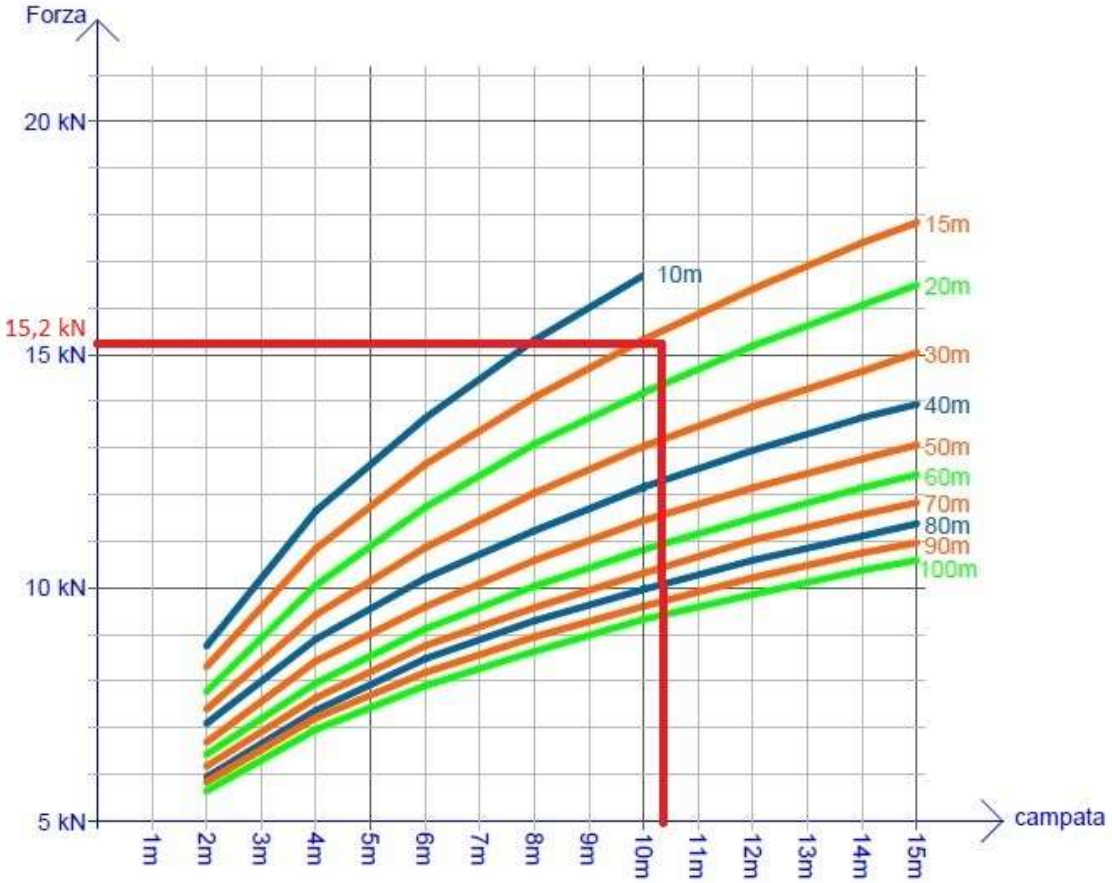
E' caratterizzata dalle seguenti grandezze:

lunghezza della linea vita: 20,55m

lunghezza della campata: 10,30m

dagli abachi forniti dal produttore si ottiene rispettivamente per la freccia e la trazione massima:

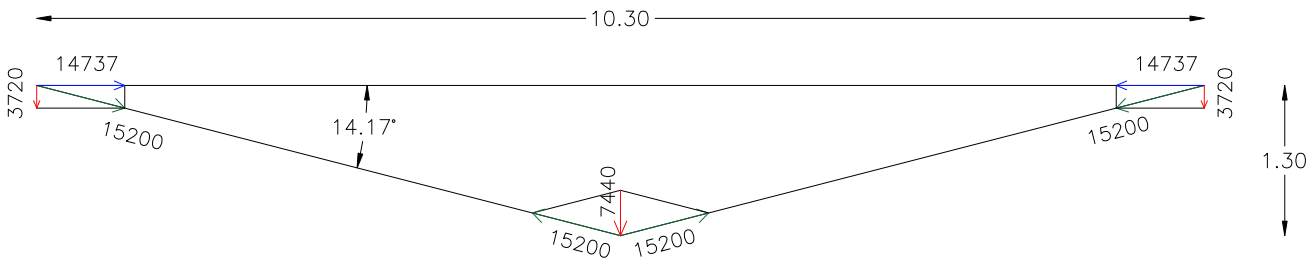

freccia max
2.5 m
2.0 m
1.5 m
1,30 m
1.0 m
0.5 m
0.0 m
100m
90m
80m
70m
60m
50m
40m
30m
20m
15m
10m
1m
2m
3m
4m
5m
6m
7m
8m
9m
10m
11m
12m
13m
14m
15m
campata


Forza
20 kN
15,2 kN
15 kN
10 kN
5 kN
15m
10m
20m
30m
40m
50m
60m
70m
80m
90m
100m
1m
2m
3m
4m
5m
6m
7m
8m
9m
10m
11m
12m
13m
14m
15m
campata

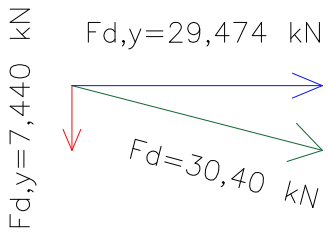
Quindi, conoscendo la geometria della linea e l'allungamento del cavo, possiamo ottenere le azioni caratteristiche trasmesse ai paletti; incrementeremo queste moltiplicandole per un coefficiente di sicurezza pari a due (come previsto dalla norma), ottenendo così le azioni di calcolo.
Si può osservare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

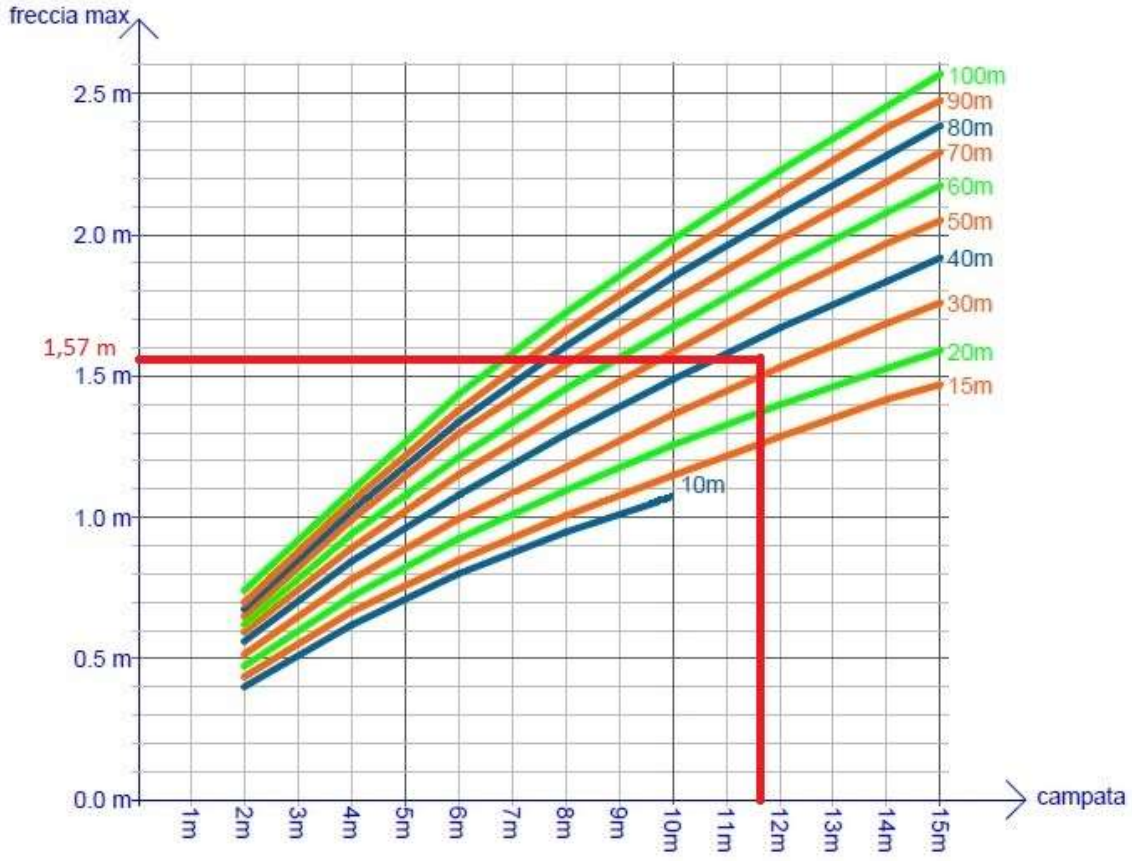


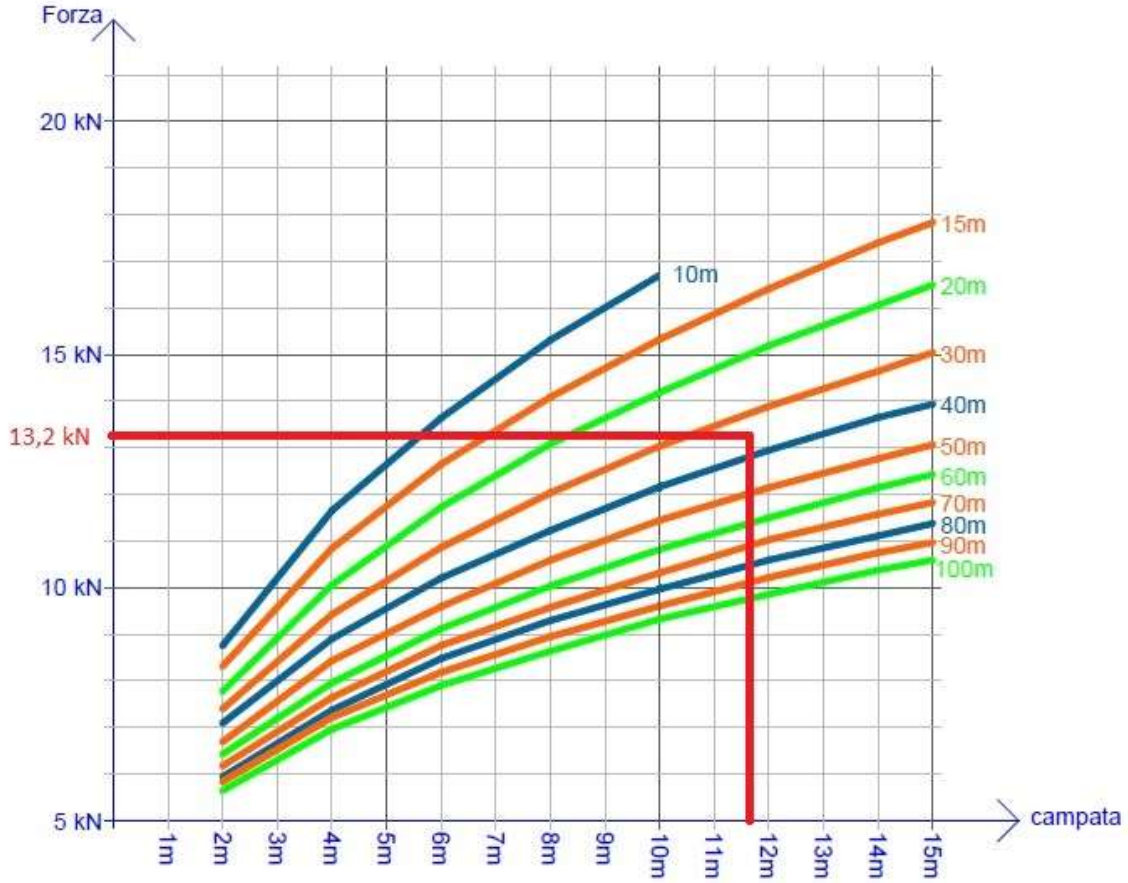
Aumentando le azioni sul paletto tramite il coefficiente di sicurezza (γ_q=2) della UNI EN 795 si ha:



Analisi della configurazione 2

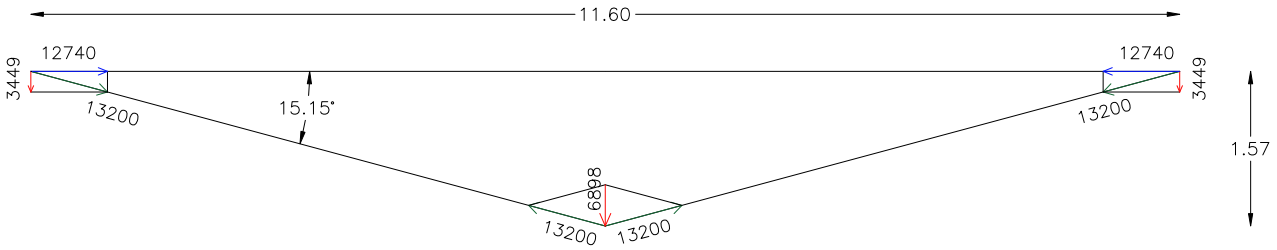
E' caratterizzata dalle seguenti grandezze:
lunghezza della linea vita: 34,85m
lunghezza della campata: 11,60m
Ripetendo le considerazioni della configurazione 1:


freccia max
2.5 m
2.0 m
1,57 m
1.5 m
1.0 m
0.5 m
0.0 m
100m
90m
80m
70m
60m
50m
40m
30m
20m
15m
10m
1m
2m
3m
4m
5m
6m
7m
8m
9m
10m
11m
12m
13m
14m
15m
campata

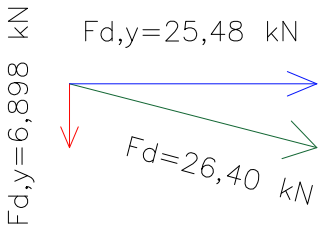

Forza
20 kN
15 kN
13,2 kN
10 kN
5 kN
15m
10m
20m
30m
40m
50m
60m
70m
80m
90m
100m
1m
2m
3m
4m
5m
6m
7m
8m
9m
10m
11m
12m
13m
14m
15m
campata

Schema della funicolare delle forze ed azioni sui paletti

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

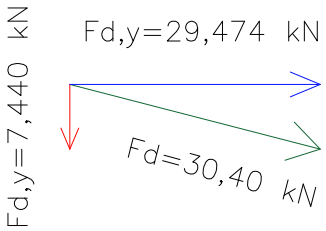


Aumentando le azioni sul paletto tramite il coefficiente di sicurezza (γ_q=2) della UNI EN 795 si ha:



Scelta delle condizioni di carico di progetto

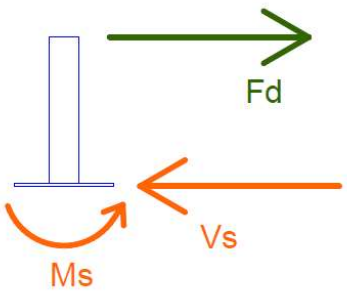
Dal confronto delle sollecitazioni nelle due configurazioni si evince che quella che di maggior cimento è la configurazione 1, per cui in fase di verifica si considerano le azioni:



Vs,x = 29.474 kN
Ms,y = 14.737 kN m

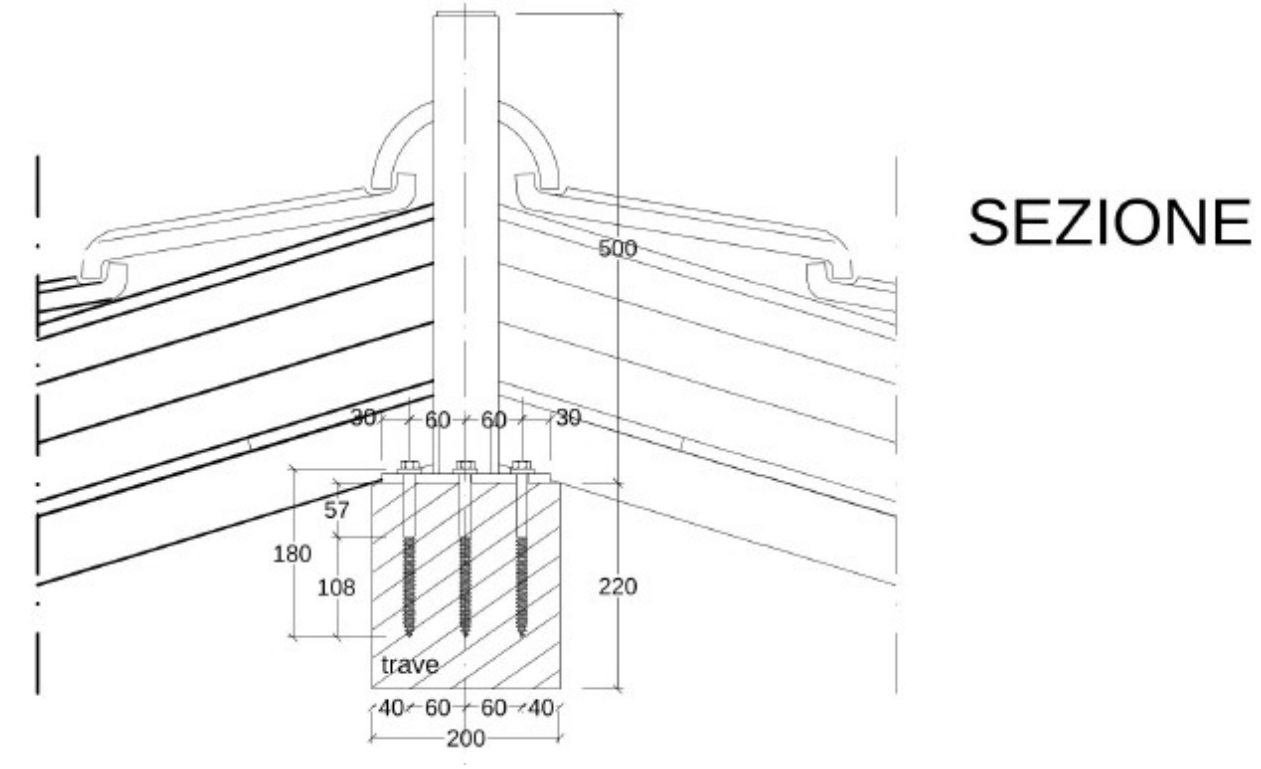
Vs,y = 7.44 kN
Ms,x = 3.72

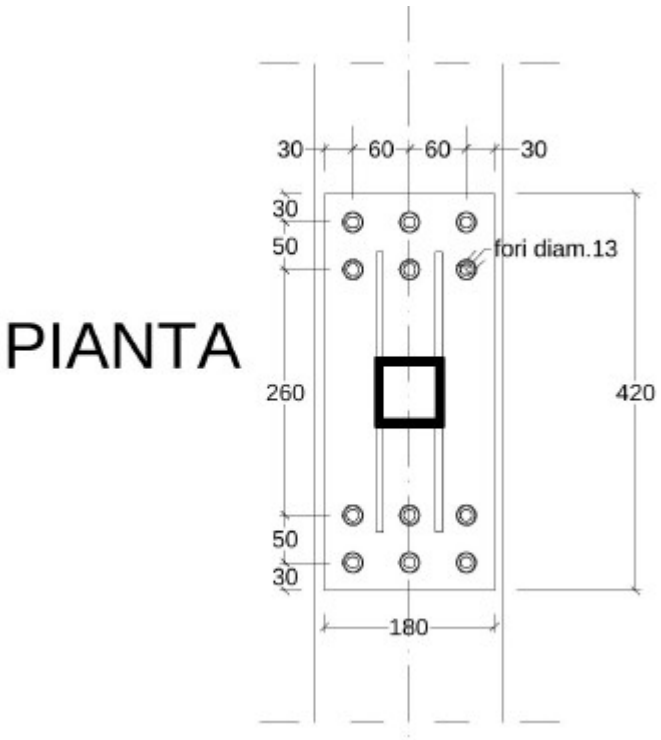
Azioni massime di calcolo sul paletto di estremità e reazioni di incastro della flangia



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

Particolari esecutivi per il montaggio dei paletti





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 : 15.2 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

$F_d = F_k \gamma_q = 30.4$ 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

$F_{d,x} = 29.474$ kN (valore di calcolo nella direzione del colmo)
$F_{d,y} = 7.44$ kN (valore di calcolo, perpendicolarmente al colmo)

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

$V_s = F_d = 30.4$ kN (taglio totale)

$M_{s,y} = F_{d,x}\ H = 14.737$ kN m (momento yy dovuto a $F_{d,x}$)
$M_{s,x} = F_{d,y}\ H = 3.72$ kN 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.

$V_b = V_s / n_t = 2.53$ kN (forza di calcolo a taglio per ciascuna vite)
dove: $n_t = 12$

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:

$x_1 = 0$ mm ($n_1 = 3$)
$x_2 = 60$ mm ($n_2 = 3$)
$x_3 = 300$ mm ($n_3 = 3$)
$x_4 = 360$ mm ($n_4 = 3$)

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

$N_{x,4} = 7.14$ 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:

$y_1 = 0$ mm ($n_1 = 4$)
$y_2 = 60$ mm ($n_2 = 4$)

$y_3 = 120$ mm $(n_3 = 4)$

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

$N_{y,3} = 5.83$ kN

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

$N_b = N_{x,4} + N_{y,3} = 12.97$ kN

VERIFICA DELLA VITE PIU' SOLLECITATA

AZIONI DI CALCOLO:

$F_{t,Sd} = N_b = 12.97$ kN (forza di calcolo a trazione)
$F_{V,Sd} = V_b = 2.53$ kN (forza di calcolo a taglio)

RESISTENZE DI CALCOLO perla verifica (EC3 - 6.5.5)

$F_{t,Rd} = 0.9\ f_{ub}\ \omega'_b / \gamma_{Mb} = 17.0$ kN (forza resistente a trazione)
$F_{v,Rd} = 0.6\ f_{ub}\ \omega_b / \gamma_{Mb} = 20.1$ kN (forza resistente a taglio, classe 4.6)

dove:
$\omega_b = 113\ mm^2$ area della sezione della vite (gambo liscio)
$\omega'_b = 64\ mm^2$ area della sezione ridotta (parte filettata)
$\gamma_{Mb} = 1.35$ coef. di sicur. del materiale (EC3 - 6.1.1)
$f_{ub} = 400\ N/mm^2$ 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:	$[\ F_{t,Sd} / (1.4\ F_{t,Rd})\ ] + [\ F_{v,Sd} / F_{v,Rd}\ ] = 0.66 \leq 1$	(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):

$F_{t,Sd}$ = 12970 N (azione di calcolo a trazione)
ϕ = 12 mm (diametro della vite)
L_0 = 96 mm (Lunghezza efficace di infissione, la sola parte filettata meno un diametro)

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

$F_{ak} = (\pi\ \phi\ Lo)^{0.8}\ f_{ak}$ (risultato in N, con ϕ ed L_0 espressi in mm)

con:

$f_{ak} = 3.6\ (\rho_k / 100)^{1.5}$ tensione di aderenza caratteristica in N/mm^2, con ρ_k espressa in kg/m^3
ρ_k = 380 kg/m^3 massa volumica caratteristica del legno (abete)

quindi:
f_{ak} = 26.67 N/mm^2
F_{ak} = 18744 N

Resistenza di calcolo all'estrazione:

$F_{ad} = k_{mod}\ F_{ak} / \gamma_M$ = 15860 N
γ_M = 1.3 coefficiente di sicurezza parziale (EC5 - prospetto 2.3)
k_{mod} = 1.1 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:

$F_{t,Sd} \leq F_{ad}$ (VERO)

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

$F_{V,Sd}$ = 2.53 kN (Azione di calcolo a taglio)
ϕ' = 12 mm (diametro nominale della vite)
ϕ = 9.9 mm (diametro resistente, nucleo della filettatura x 1.1)
t = 148 mm (Lunghezza di infissione della vite nel legno, ridotta di un diametro)

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

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

dove:

$M_y = 0.3\ f_t\ \phi'^{\ 2.6} = 76745$ N mm — momento plasticizzazione del gambo della vite

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

con:

$\rho_k = 380$ kg/m^3 — massa volumica caratteristica del legno (abete)

$f_t = 400$ N/mm^2 — tensione ultima della vite (classe 4.6)

quindi:

$$F_{Vk} = \min. \begin{cases} 40177 \text{ N} \\ 16244 \text{ N} \\ 22056 \text{ N} \end{cases} \qquad F_{Vk} = 16.2 \text{ kN}$$

Resistenza di calcolo a taglio:

$F_{Vd} = K_{mod}\ F_{Vk} / \gamma_M = 13.7$ kN — (K_{mod} e γ_M sono gli stessi del caso precedente)

Condizione di verifica:

$F_{V,Sd} \leq F_{Vd}$ — (VERO)

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

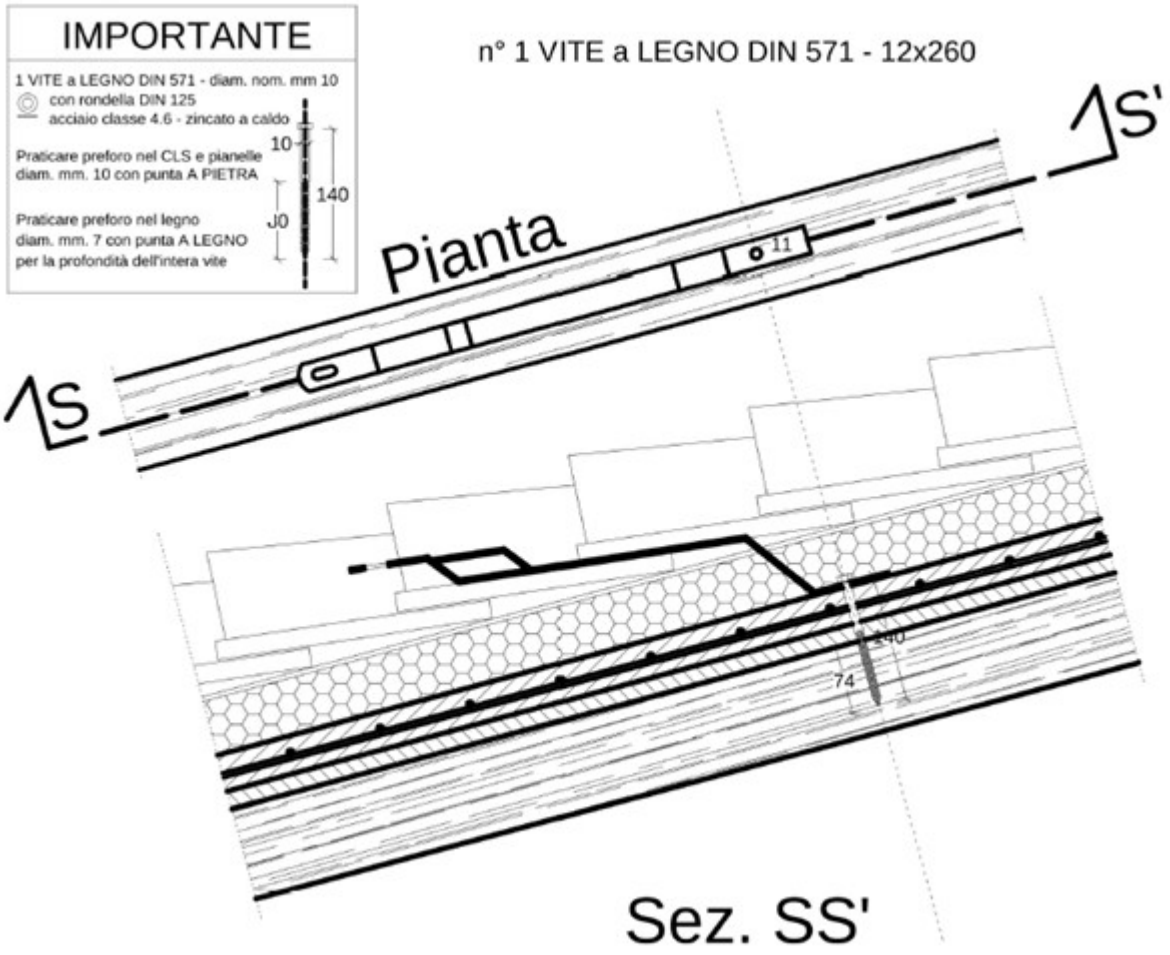
$(F_{t,Sd} / F_{ad})^2 + (F_{V,Sd} / F_{Vd})^2 \leq 1$ — (Condizione di verifica)

$(12.97/15.86)^2 + (2.53/13.7)^2 = 0.69 < 1$ — (VERO)

2. ANCORAGGI UNI 795 CLASSE A2 SULLA FALDA BASSA

Di seguito si riporta il calcolo dell'ancoraggio dei dispositivi di tipo A da installare sulla copertura dell'edificio, ancorati alla falda del tetto, realizzata con arcarecci in legno lamellare di sezione cm 14x20, classe di resistenza GL24H (BS11), sui quali sono messi in opera uno strato di tavolato e gli strati di impermeabilizzazione e coibentazione, completati dal manto di copertura.
La verifica all'evento dinamico è condotta applicando una forza statica equivalente, indicata dalla norma EN 795. Per il dispositivo in esame la è paria 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.

Particolari esecutivi per il montaggio del dispositivo



CALCOLO DI VERIFICA

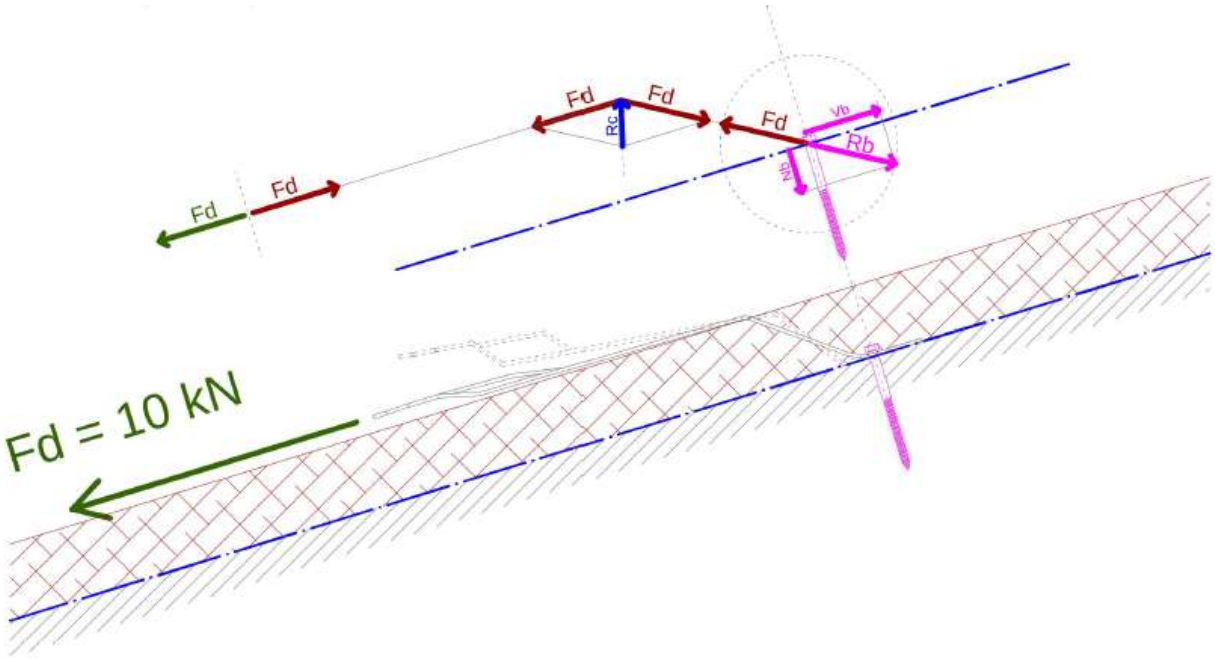
Azione di calcolo sul dispositivo

F_d = 10.0 kN (definito da EN 795:2002, punto A3 e 4.3.1.2)

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

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 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 del travetto. 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 kN (Forza di calcolo a trazione)
V_b = 10.0 kN (Forza di calcolo a taglio)

VERIFICA DEL GAMBO DELLA VITE

Azioni di calcolo:

$F_{t,Sd}$ = 5.0 kN (forza di calcolo a trazione)
$F_{v,Sd}$ = 10.0 kN (forza di calcolo a taglio)

RESISTENZE DI CALCOLO PER LA VERIFICA (EC3 - 6.5.5):

$F_{t,Rd} = 0.9\ f_{ub}\ \omega_b / \gamma_{Mb}$ = 20.9 kN (forza resistente a trazione)
$F_{v,Rd} = 0.6\ f_{ub}\ \omega_b / \gamma_{Mb}$ = 14.0 kN (forza resistente a taglio, classe 4.6)

dove:
ω_b = 78.5 mm^2 area della sezione della vite (gambo liscio)
γ_{Mb} = 1.35 coef. di sicur. del materiale (EC3 - 6.1.1)
f_{ub} = 400 N/mm^2 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:	$[\ F_{t,Sd} / (1.4\ F_{t,Rd})\ ] + [\ F_{v,Sd} / F_{v,Rd}\ ] = 0.89 \leq 1$	(VERO)

VERIFICA DELLA PORZIONE FILETTATA DELLA VITE

AZIONI DI CALCOLO:

$Ft_{,Sd} = N_b$ = 5.0 kN

RESISTENZE DI CALCOLO PER LA VERIFICA (EC3 - 6.5.5):

$F_{t,Rd} = 0.9\ f_{ub}\ \omega_b / \gamma_{Mb}$ = 10.3 kN (forza resistente a trazione)

dove:
ω'_b = 38.5 mm^2 area efficace della sezione ridotta (parte filettata)
γ_{Mb} = 1.35 coef. di sicur. del materiale (EC3 - 6.1.1)
f_{ub} = 400 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)

$F_{t,Sd} = 500$ N (azione di calcolo a trazione)
$\phi = 10$ mm (diametro della vite)
$L_0 = 64$ mm (lunghezza efficace di infissione, la sola parte filettata meno un diametro)

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

$F_{ak} = (\pi\ \phi\ L_0)^{0.8}\ f_{ak}$ (risultato in N, con ϕ ed L_0 espressi in mm)

con:

$f_{ak} = 3.6\ (\rho_k / 100)^{1.5}$ tensione di aderenza caratteristica in N/mm^2 (ρ_k espressa in kg/m^3)
$\rho_k = 380$ kg/m^3 massa volumica caratteristica del legno (abete)

quindi:

$f_{ak} = 3.6\ (380/100)^{1.5} = 26.67$ N/mm^2
$F_{ak} = (\pi\ 10\ 64)^{0.8}\ 26.67 = 11712$ N

Resistenza di calcolo all'estrazione:

$F_{ad} = k_{mod}\ F_{ak} / \gamma_M = 9910$ N
$\gamma_M = 1.3$ coefficiente di sicurezza parziale (EC5 - prospetto 2.3)
$k_{mod} = 1.1$ 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:

$F_{t,Sd} \leq F_{ad}$ (VERO)