

1- Descrizione intervento

L'intervento attiene alla proprietà di

SERRALUNGA DI CREA (AL). Interessa i fabbricati accatastati al foglio

L'intervento oggetto di SCIA prevede : **Ripristino della copertura danneggiata da eventi atmosferici con la sostituzione dell'orditura e del manto di copertura in cotto come preesistenti. Verranno inoltre sistemati canali di gronda, discese e converse.**

Si qualifica come **"Intervento di manutenzione straordinaria di cui all'articolo 3, comma 1, lettera b) del d.P.R. n. 380/2001, che riguardino le parti strutturali dell'edificio o i prospetti (art. 22 comma 1, lettera a), del d.P.R. n. 380/2001"** non comporta mutamento di destinazione d'uso di una singola unità immobiliare o di un intero immobile.

La destinazione d'uso è qualificata come Residenziale

L'immobile è stato oggetto di permesso di costruire / licenza edil. / concessione edilizia n. 2 del 19/04/2012.

L'orditura è costituita da due travi di colmo 28/30 uso fiume che corrono in direzione longitudinale del tetto. Falsi puntoni di sezione cm 10 x 20.

Sono presenti correnti orizzontali, arcarecci porta tegole 5 x 4 cm disposti ogni 33 cm

Il manto di copertura in tegole marsigliesi.

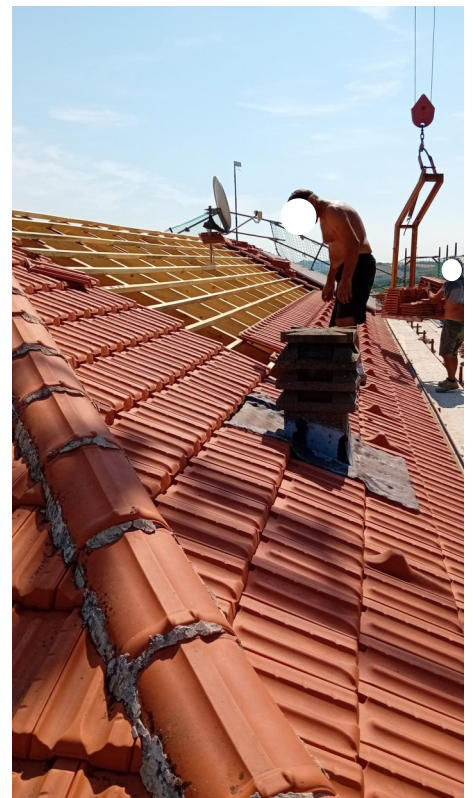
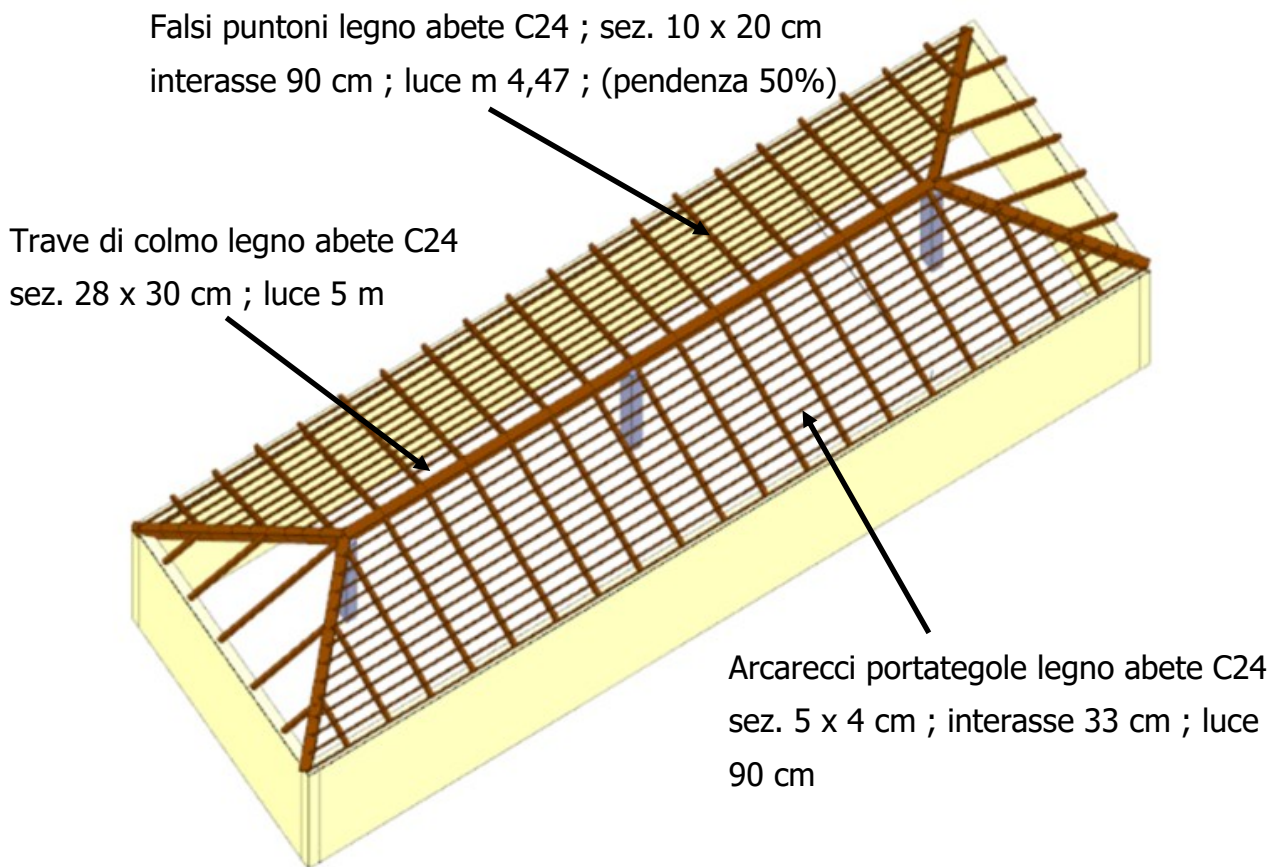
Si tratta quindi di una struttura semplice a travatura inclinata.

La copertura a padiglione ha larghezza massima di m 8,00 e lunghezza complessiva di m 24.

La trave di colmo risulta lunga complessivamente m 10 e oltre alle due murature agli estremi, poggia su un pilastro intermedio a 5 metri.



Schema statico adottato

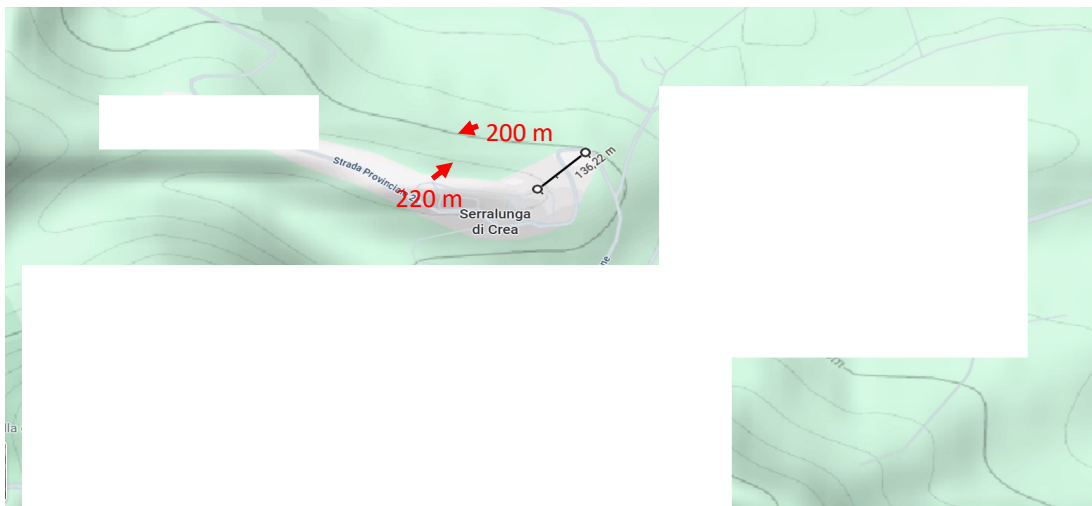




Posizionamento immobile nel contesto



Quote e posizionamento ai fini del vento



2 - Norme in materia

Adeguamento sismico: Secondo NTC 2018 – §8.4 (Interventi sulle costruzioni esistenti) se l'intervento non modifica in modo sostanziale il comportamento strutturale dell'edificio non è richiesto l'adeguamento sismico.

Modifiche sostanziali possono essere:

- l'aumento significativo dei carichi (es. peso proprio del tetto).
- l'alterazione delle condizioni statiche o sismiche generali.

Quindi rientrano in questa categoria la sostituzione di singoli elementi del tetto, ripristino delle travi, rifacimento del pacchetto di copertura con materiali equivalenti.

Le NTC 2018 – §8.4.3 esplicitano quando è richiesto il miglioramento o adeguamento sismico:

Se l'intervento comporta incremento dei carichi permanenti rilevante.

Se si eseguono modifiche significative alla struttura portante, come:

Rinforzo o sostituzione sistematica di travi e capriate.

Aggiunta o sostituzione di elementi che alterano la rigidità globale.

Variazioni della geometria della copertura (pendenza, forma, vincoli).

Se il tetto partecipa al comportamento sismico (es. diaframmi rigidi o connessioni con pareti portanti). In quali casi, si applica:

Adeguamento sismico: per ampliamenti rilevanti o mutamenti sostanziali d'uso.

Miglioramento sismico: per interventi che migliorano la struttura senza raggiungere i livelli dell'adeguamento completo richiederebbero almeno il 10% di miglioramento delle prestazioni sismiche. Nella fattispecie si tratta di un ripristino a seguito di danno atmosferico che non muta le condizioni statiche preesistenti dell'opera.

In conclusione l'intervento NON richiede adeguamento sismico e quindi la verifica strutturale può essere condotta considerando i soli carichi statici previsti dalla tradizionale scienza delle costruzioni senza considerare anche quelli dinamici.

3 - Parametri adottati

Dimensioni massime del tetto m 25 x m 8,00 con elevazione del colmo rispetto alla gronda di m 2,00 con pendenza del 50% pari a 26,67°

Travi di colmo

La Trave di colmo è realizzata in legno di abete uso fiume con sezione rettangolare di 28 x 30 cm. Con una lunghezza di 10 m articolato su due luci di 5 metri.

Si tratta di elementi lignei tradizionale, tagliati lungo il tronco seguendo la conicità naturale dell'albero, mantengono una forma irregolare, non completamente squadrata, con fianchi grezzi o poco lavorati.

Caratteristiche principali:

- Essenza: è stato indicato abete
- Sezione: irregolare, rastremata, tondeggianti (angoli arrotondati)

- Lavorazione: minima, solo taglio a sega
- Aspetto: rustico e naturale, con fiammature e nodi evidenti
- Utilizzo tipico per coperture e solai di edifici storici o rurali

Aspetti strutturali secondo NTC 2018:

- Le travi uso fiume non sono classificate secondo EN 338 (es. C24)
- Devono essere valutate tramite ispezione visiva (UNI 11035-1 e 2)
- Richiedono applicazione di coefficienti riduttivi e di confidenza
- La resistenza va stimata in modo conservativo

A tale fine lo scrivente ha effettuato in data 16/7 la classificazione visiva secondo UNI 11035-2 su legno massiccio uso fiume fornito per la costruzione oggetto di verifica. Le sezioni esaminate rientrano nella classe visiva S1, corrispondente alla classe di resistenza C24. Pertanto, in base al capitolo 8 delle NTC2028 si può assumere un livello di conoscenza LC1 con fattore di confidenza $FC = 1,35$.

Implicazioni progettuali:

- Sezione resistente cm 28 x 30
- Utilizzabili in interventi di restauro o miglioramento compatibile
- Non appropriate per strutture nuove se non adeguatamente verificate

Le travi uso fiume rappresentano una soluzione strutturale storica, con valore estetico e culturale, ma richiedono attenzione nella progettazione e verifica strutturale in conformità alle NTC 2018.

Falsi puntoni

I falsi puntoni sono di sezione rettangolare cm 10x20 sempre in legno di abete, sono disposti ad interasse di cm 90 hanno lunghezza in pianta di circa 4 m ed inclinata di m 4,47. Vengono considerati appoggiati agli estremi anche se la luce è inferiore; approssimazione in favore di sicurezza.

Arcarecci portategole

Sempre in abete con sezione cm 5 x 4 ed interasse pari alla lunghezza netta della tegola marsigliese (33 cm). Anche in questo caso vengono considerati con luce di 90 cm anche se realizzati con elementi su più appoggi (staticamente travi continue) e quindi in favore di sicurezza.

Carichi

Le NTC 2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni – D.M. 17/01/2018) definiscono i carichi da considerare per i tetti (coperture) all'interno del Capitolo 3 "Azioni sulle costruzioni".

1. Carichi permanenti (G)

Secondo §3.1 delle NTC, includono:

Peso proprio degli elementi strutturali (travi, assito, coppi, ecc.)

Manto di copertura (coppi, tegole, guaine, ecc.)

Strati isolanti e impermeabilizzanti

Impianti fissi (canne fumarie, pannelli solari/fotovoltaici, ecc.)

Controsoffitti, se solidali alla struttura

Vanno valutati puntualmente in base alle densità reali dei materiali.

2. Carichi variabili (Q)

a) Neve (§3.4)

b) Vento (§3.3)

Agisce ortogonalmente alla superficie del tetto (pressione o depressione)

Dipende da zona e topografia, esposizione, altezza edificio

3. Sovraccarichi d'uso (solo in alcuni casi)

Tetti accessibili per manutenzione o traffico occasionale: min. $1,0 \text{ kN/m}^2$ o carico concentrato locale. Le coperture classificate come non praticabili, ma accessibili occasionalmente per manutenzione, devono essere progettate per supportare un carico puntuale concentrato:

"Un carico concentrato verticale di $1,0 \text{ kN}$ su un'area circolare di $0,05 \text{ m}^2$ ". Questo equivale a: 100 kg concentrati su 20 cm di diametro (circa un piede umano)

Valido per tetti dove si può accedere solo per operazioni saltuarie (pulizia, controllo impianti, manutenzione antenne o pannelli)

4. Altri carichi occasionali

Pannelli solari o fotovoltaici (se fissi → considerati come permanenti)

Macchinari, antenne, camini → da valutare localmente

Effetti termici o sismici se rilevanti

4 - Carichi di progetto

Tegole marsigliesi

Le tegole marsigliesi pesano mediamente tra 40 e 45 kg/m^2 , a seconda del produttore e del tipo di argilla utilizzata.

Peso singola tegola $2,8 - 3,2 \text{ kg}$

Numero di tegole per m^2 $13 - 15$

Peso per m^2 $40 - 45 \text{ kg/m}^2$

In kN/m^2 $0,40 - 0,45 \text{ kN/m}^2$

Considerando 14 tegole/m^2 da $3,1 \text{ kg}$ l'una: $14 \times 3,1 = 43,4 \text{ kg/m}^2 = 0,434 \text{ kN/m}^2$

Arcarecci porta tegole

Peso proprio al m^2 degli arcarecci porta tegole in legno di abete con sezione: $5 \times 4 \text{ cm} = 0,05 \text{ m} \times 0,04 \text{ m}$ e interasse: $33 \text{ cm} = 0,33 \text{ m}$

Densità del legno (abete): $\gamma_{\text{abete}} \approx 450 \text{ kg/m}^3 = 4,5 \text{ kN/m}^3$

Nelle norme, si usa spesso un valore compreso tra 350 e 450 kg/m^3 a seconda dell'uso e del grado di essiccazione, anche per tener conto di: tolleranze produttive; tipo di abete (bianco, rosso, nordico); variabilità tra piccoli listelli e travi grosse.

350 kg/m^3 è un valore tipico per abete massiccio da carpenteria essiccato all'aria o in forno, usato per elementi leggeri come listelli o arcarecci.

450 kg/m^3 è un valore più prudentiale, medio-reale, per abete stagionato ma con sezioni maggiori, dove l'umidità residua può essere leggermente più alta e la compattazione più densa.

Si ritiene di adottare un unico valore prudenziale di 450 kg/m^3 per tutti i componenti in quanto non si ha la garanzia di essiccazione industriale certificata per tutti gli elementi (350 kg/m^3).

Calcolo del peso al m^2

1. Volume di legno per m^2 :

Per ogni metro quadrato, il numero di arcarecci è:

$$n = 1 / \text{interasse} = 1 / 0,33 \approx 3,03 \text{ arcarecci/m}^2$$

Volume di ciascun arcareccio per 1 m di lunghezza:

$$V_{\text{singolo}} = 0,05 \times 0,04 = 0,002 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume totale per } \text{m}^2: V_{\text{tot}} = 3,03 \times 0,002 = 0,00606 \text{ m}^3$$

2. Peso proprio:

$$P = V_{\text{tot}} \times \gamma_{\text{abete}} = 0,00606 \times 4,5 = 0,02727 \text{ kN/m}^2$$

Risultato: Il peso proprio degli arcarecci da $5 \times 4 \text{ cm}$ con interasse 33 cm in abete è circa: $0,02727 \text{ kN/m}^2$ ($\approx 2,7 \text{ kg/m}^2$)

Falsi puntoni

Calcoliamo il peso al m^2 dei falsi puntoni in legno di abete con:

Sezione: $10 \times 20 \text{ cm} = 0,10 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}$

Interasse: $90 \text{ cm} = 0,90 \text{ m}$

Densità abete $\sim 450 \text{ kg/m}^3$

Calcolo peso al m^2

1. Numero di puntoni per m^2

$$n = 1 / \text{interasse} = 1 / 0,90 \approx 1,111 \text{ puntoni/m}$$

2. Volume di legno per m^2

Volume per puntone (lungo 1 m):

$$V_{\text{singolo}} = 0,10 \times 0,20 \times 1 = 0,02 \text{ m}^3$$

Volume totale a metro quadro:

$$V_{\text{tot}} = 1,111 \times 0,02 = 0,02222 \text{ m}^3$$

Massa e peso

$$\text{Massa: } 0,02222 \times 450 = 10,0 \text{ kg/m}^2$$

Convertito in carico:

$$10,0 \text{ kg/m}^2 \approx 0,098 \text{ kN/m}^2$$

Risultato

Il peso proprio dei falsi puntoni di abete sezione $10 \times 20 \text{ cm}$, con interasse 90 cm , è circa: $0,10 \text{ kN/m}^2$ ($\approx 10 \text{ kg/m}^2$)

Trave di colmo

Base rettangolo = $28 \text{ cm} = 0,28 \text{ m}$

Altezza rettangolo = $30 \text{ cm} = 0,30 \text{ m}$

Densità abete = $450 \text{ kg/m}^3 = 4,5 \text{ kN/m}^3$

Smussi angolari: 4 triangoli rettangoli di $5 \times 5 \text{ cm}$ ciascuno

Lato smusso = 5 cm = 0,05 m

Area di uno smusso = $1/2 \times 0,05 \times 0,05 = 0,00125 \text{ m}^2$

Area netta della sezione:

$A_{\text{rettangolo}} = 0,28 \times 0,30 = 0,084 \text{ m}^2$

$A_{\text{smussi totali}} = 4 \times 0,00125 = 0,005 \text{ m}^2$

$A_{\text{netta}} = 0,084 - 0,005 = 0,079 \text{ m}^2$

2. Volume per metro lineare:

$V = A_{\text{netta}} \times 1 = 0,079 \text{ m}^3$

3. Peso proprio al metro lineare:

$P = V \times \gamma = 0,079 \times 4,5 = 0,355 \text{ kN/m } (\approx 36,2 \text{ kg/m})$

Pannelli solari

Valore tipico usato nei calcoli per impianti fotovoltaici con pannelli standard su struttura metallica (installazione su tetto inclinato):

$0,15 \text{ kN/m}^2 (\approx 15 \text{ kg/m}^2)$

Questo valore comprende pannello + struttura di fissaggio in alluminio.

Sovraccarico accidentale

Verrà considerato "Un carico concentrato verticale di 1,0 kN su un'area circolare di $0,05 \text{ m}^2$ ".

Questo equivale a: 100 kg concentrati su 20 cm di diametro (circa un piede umano) con verifica locale sulla resistenza dell'arcareccio.

Neve

Per calcolare il carico neve sulla copertura secondo le NTC 2018, bisogna seguire i parametri della norma e utilizzare i dati specifici della località.

Località: Serralunga di Crea (AL), Piemonte ; Altitudine stimata: circa 400 m s.l.m.

NTC 2018 – Carico neve al suolo q_{sk} :

Formula base:

$q_{sk} = \mu \times C_e \times C_t \times q_s$

Dove:

q_s = carico neve al suolo caratteristico, funzione dell'altitudine

μ = coefficiente di forma del tetto (dipende da inclinazione e forma) (vedi allegato)

C_e = coefficiente di esposizione (1 se non ci sono particolari ostacoli)

C_t = coefficiente termico (1 se il tetto non è riscaldato)

1. Carico neve al suolo q_s

Secondo la tabella C.4.II delle NTC 2018:

Per altitudine 200 m, zona 2 (preappennino/alta pianura):

$q_s = 1,00 \text{ kN/m}^2$

2. Calcolo del carico neve sulla copertura

Con tetto a doppia falda inclinata ($28,6^\circ < 30^\circ \rightarrow \mu = 0,8$

$C_e = 1, C_t = 1$

$$q_{\text{neve_copertura}} = \mu \times C_e \times C_t \times q_s = 0,8 \times 1 \times 1 \times 1,00 = 0,80 \text{ kN/m}^2$$

Risultato

Per Serralunga di Crea (AL) a 200 m s.l.m., il carico neve da considerare sulla copertura è: 0,80 kN/m² (in condizioni normali)

Si allega verifica svolta con software dedicato a conferma della analisi svolta (all. 1)

Vento

Il calcolo del carico da vento secondo le NTC 2018 si basa su una procedura codificata che tiene conto della posizione geografica, altitudine, esposizione, altezza dell'edificio, direzione del vento e forma della struttura.

Formula base : $p = q_b \times c_e(z) \times c_p \times c_d$

Simbolo	Significato
p	pressione del vento sulla superficie (in kN/m ²)
q_b	pressione cinetica di riferimento = $0,5 \times \rho \times V_b^2$
$c_e(z)$	coeff. di esposizione in funzione dell'altezza e della categoria del terreno
c_p	coeff. di pressione (dipende dalla forma e inclinazione delle superfici)
c_d	coeff. dinamico (normalmente = 1,0)

Dall'analisi sviluppata secondo le indicazioni delle NTC 2018 oggetto di allegato alla presente relazione (all. 2) la copertura verrà verificata con un carico negativo di -1,28 kN/mq applicato in via semplificata su tutta la superficie in favore di sicurezza.

Carichi che verranno considerati

Nella progetto in esame verrà considerato quanto segue:

Tipo di carico	Interasse	Luce	Valore tipico
Copertura tegole marsigliesi			0,434 kN/m ²
Arcarecci portategole (5 x 4 cm)	33 cm	90 cm	0,027 kN/m ²
Falsi puntoni (10 x 20 cm)	90 cm	447 cm	0,10 kN/m ²
Trave di colmo		5 m	0,355 kN/m
Neve (400 m s.l.m.)			0,80 kN/m ²
Vento (depressione)			- 1,28 kN/m ²
FV (impianto solare)			0,15 kN/m ²
Sovraccarico accidentale	verifica su arcarecci		1 kN

5 - Resistenza di calcolo $f_{md \text{ eff}}$

Materiale impiegato legno abete

Proprietà	Simbolo	Valore
Resistenza caratteristica a flessione	$f_{m,k}$	24 N/mm ²
Resistenza caratteristica a taglio	$f_{v,k}$	4 N/mm ²
Modulo elastico medio (a flessione)	E_m	11.000 N/mm ²

Coefficiente parziale di sicurezza	γ_M	1,3
Resistenza di progetto a flessione	$f_{m,d}=f_{m,k}/\gamma_M$	18,46 N/mm ²

Il coefficiente parziale di sicurezza 1,3 è desunto dalle NTC 2018 – Capitolo 11.7.1.1 (Materiali strutturali – Legno) *"I valori caratteristici delle resistenze del legno devono essere divisi per il coefficiente parziale γ_M assunto pari a: 1,30 per legno massiccio, legno lamellare incollato e prodotti a base di legno."*

Il valore della resistenza caratteristica a flessione è stabilito nella norma europea EN 338, recepita in Italia, che classifica i legni strutturali in base alle loro proprietà meccaniche.

Considerando il valore di confidenza LC1 = 1,35

Valore effettivo di calcolo $f_{md\ eff} = f_{md}/LC1 = 18,46/1,35 = 13,67\text{ N/mm}^2$

Analogamente per il taglio avente un resistenza caratteristica di 4 N/mm² Secondo le EN 338) si adotterà un valore ridotto di un fattore 1,3 di sicurezza e 1,35 di confidenza quindi :

$f_{vd\ eff} = f_{v,k} / \gamma_M / LC1 = 4,00 / (3 \cdot 3,5) = 0,38\text{ N/mm}^2$

Il valore della resistenza caratteristica a flessione è stabilito nella norma europea EN 338, recepita in Italia, che classifica i legni strutturali in base alle loro proprietà meccaniche.

La classe C24 è una delle più comuni per il legno massiccio di conifera (come l'abete).

Proprietà	Simbolo	Valore (C24)	Unità
Resistenza a flessione	$f_{m,k}$	24	N/mm ²
Resistenza a trazione parallela	$f_{t,0,k}$	14	N/mm ²
Resistenza a compressione parallela	$f_{c,0,k}$	21	N/mm ²
Modulo elastico medio	E_{mean}	11.000	N/mm ²
Densità media	ρ_{mean}	350	kg/m ³
Valore flessione di calcolo	$f_{md\ eff}$	13,67	N/mm ²
Valore a taglio di calcolo	$f_{vd\ eff}$	0,38	N/mm ²

6 - Verifiche svolte

Sulla base dei parametri sopra riportati vengono allegate una serie di tavole con esplicitate le procedure di calcolo per verificare la resistenza a flessione taglio e freccia con freccia ammissibile < 1/300 di ciascuno dei componenti l'orditura del tetto ovvero le travi di colmo, i falsi puntoni e gli arcarecci.

Tutte le verifica hanno dato esito positivo.

Evidenziamo i seguenti aspetti:

A) le verifiche sono state effettuate anche senza il contributo del vento in quanto dalle procedure di calcolo di legge e con i parametri ambientali locali, il carico dominante per il vento risulta essere negativo (-1,28 kN/m²) quindi va ad alleggerire i carichi concentrati e distribuiti sul tetto.

Pertanto la situazione più gravosa si ottiene in assenza di vento.

B) E' stato comunque svolta la verifica anche in presenza di un carico positivo (non risultante dalle procedure previste dalle norme) per tener conto di eventuali anomalie nella circolazione del

vento (+1,152 kN/m²)

C) E' stata effettuata anche la verifica della lunghezza massima ammissibile per la trave di colmo sfruttando tutta la resistenza disponibile. Risulta in tal caso una lunghezza limite di m 8,47 che però supera la freccia limite 28,24 mm rispetto ai 2,19 ammissibili pertanto è stata determinata la lunghezza massima della trave che produce una deformata nei limiti della freccia ammissibile (1/300) in tal caso risulta una lunghezza limite di 6,52 m. In queste condizioni la tensione dovuta alla flessione risulta 0,59 (ovvero 59%) rispetto alla resistenza ammissibile,

D) Gli arcarecci oltre alle verifiche di flessione taglio e freccia sono stati verificati anche con carico concentrato di 1 kN in mezzera (luce 90 cm) come richiesto dalle norme. In tal caso la verifica a flessione e taglio risultano positiva ma la freccia supera ampiamente il valore ammissibile (6,60 mm contro 3 mm ammissibili) . Si è pertanto ripetuto il calcolo considerando la situazione, più realistica, di impiego di profilati lunghi m 4,50 appoggiati su 5 puntoni a interasse 90 cm configurando l'ipotesi statica di trave continua. In questa condizione anche la freccia rientra nei limiti di ammissibilità (2,01 mm su 3 mm)

Elenco tavole e schede allegate:

Tav. 1 - Calcolo del carico neve secondo le procedure delle NTC 2018

Tav. 2 - Calcolo del carico vento secondo le procedure delle NTC 2018

Scheda 1 - Verifica della flessione e della freccia nella trave di colmo considerando tutti i carichi escluso il vento

Scheda 2 - Verifica del taglio nella trave di colmo considerando tutti i carichi escluso il vento

Scheda 3 - Verifica della lunghezza massima della trave di colmo sfruttando tutta la resistenza a flessione del materiale;

Scheda 4 - Verifica della lunghezza massima della trave di colmo sfruttando tutta la freccia ammissibile;

Scheda 5 - verifica trave di colmo a flessione taglio freccia con carichi ed in presenza di vento

Scheda 6 - verifica puntoni con carichi senza vento

Scheda 7 - verifica puntoni con vento

Scheda 8 - verifica arcarecci senza vento

Scheda 9 verifica arcarecci con vento

Scheda 10 - verifica arcarecci con aggiunta di carico concentrato e luce 90 cm (trave semplice appoggiata)

Scheda 11 - verifica della freccia degli arcarecci con aggiunta di carico concentrato ma lunghi 4,5 metri su 5 appoggi a interasse 90 cm (trave continua)

Ing.

AZIONE DEL VENTO PAR. 3.3 NTC18

DEFINIZIONE DEI DATI

zona:

1) Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)



Tav. 1 - Calcolo vento secondo le NTC 2018

Classe di rugosità del terreno:

D) Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi, ...)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Affinchè una costruzione possa dirsi ubicata in classe A o B è necessario che la situazione che contraddistingue la classe permanga intorno alla costruzione per non meno di 1 km e comunque non meno di 20 volte l'altezza della costruzione. Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, a meno di analisi dettagliate, verrà assegnata la classe più sfavorevole.

Nelle fasce entro i 40km dalla costa delle zone 1,2,3,4,5 e 6 la categoria di esposizione è indipendente dall'altitudine del sito.

a_s (altitudine sul livello del mare della costruzione):

Distanza dalla costa

T_R (Tempo di ritorno):

Categoria di esposizione

200	[m]
40	[km]
50	[anni]
II	

ZONE 1,2,3,4,5						
A	--	IV	IV	V	V	V
B	--	III	III	IV	IV	IV
C	--	*	III	III	IV	IV
D	I	II	II	II	III	**
* Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5						
** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1						

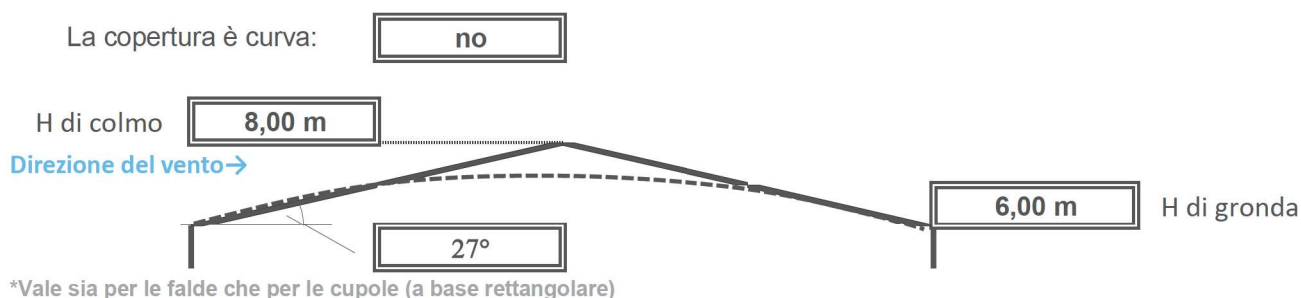
ZONA 6					
A	--	III	IV	V	V
B	--	II	III	IV	IV
C	--	II	III	III	IV
D	I	I	II	II	III

ZONE 7,8			
A	--	--	IV
B	--	--	IV
C	--	--	III
D	I	II	*
* Categoria II in zona 8			

ZONA 9		
A	--	I
B	--	I
C	--	I
D	I	I

Altezza del colmo della copertura, rispetto al suolo e inclinazione della falda sopravvento

E' consigliabile calcolare la pressione del vento per ogni facciata del fabbricato modificando i parametri per ogni caso. Nel caso di studio su prospetto di timpano, la valutazione della pressione del vento si conduce come se la copertura fosse piana e la parete alta fino alla linea di colmo. Nel caso di coperture a padiglione, la valutazione delle pressioni si esegue su ogni facciata del fabbricato utilizzando di volta in volta l'angolo della falda investito dal vento. Nel caso di coperture curve, si deve inserire l'angolo della retta tangente al bordo della copertura, in sostanza l'angolo di attacco della copertura. (per cupole a tutto sesto l'angolo è di 90°, per cupole a sesto ribassato è minore di 90°). Nel caso di studio su prospetto piano l'analisi si conduce come su prospetto di timpano. Si osserva che oltre alle pressioni andrebbe considerata anche la forza tangenziale esercitata dal vento sul fabbricato. Generalmente essa si trascura, è necessaria modellarla solo per grandi coperture piane ad esempio: coperture di grandi capannoni industriali. Il foglio di calcolo è utilizzabile per fabbricati a base rettangolare.



CALCOLO VELOCITA' DI RIFERIMENTO DEL VENTO §3.3.2.

Zona	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_s	C_a
1	25	1000	0,4	1,000

$$v_b = v_{b,0} \cdot c_a$$

$c_a = 1$ per $a_s \leq a_0$
 $c_a = 1 + k_s (a_s/a_0 - 1)$ per $a_0 < a_s \leq 1500$ m

v_b (velocità base di riferimento) 25,00 m/s

$$v_r = v_b \cdot c_r$$

c_r coefficiente di ritorno

1,00

v_r (velocità di riferimento) 25,02 m/s

PRESSIONE CINETICA DI RIFERIMENTO §3.3.6.

q_r (pressione cinetica di riferimento [N/mq])

$$q_r = 1/2 \cdot \rho \cdot v_r^2 \quad (\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3)$$

Pressione cinetica di riferimento q_r 391,20 [N/m²]

CALCOLO DEI COEFFICIENTI

Coefficiente dinamico [§3.3.8]

c_d

1,00

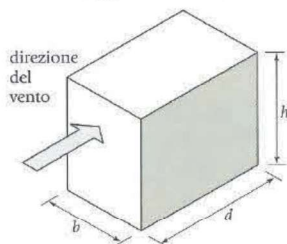
Esso può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali, oppure può essere determinato mediante analisi specifiche o facendo riferimento a dati di comprovata affidabilità.

Si riportano i grafici di individuazione del coefficiente c_d per edifici con varie tipologie strutturali.
Di norma si assume:

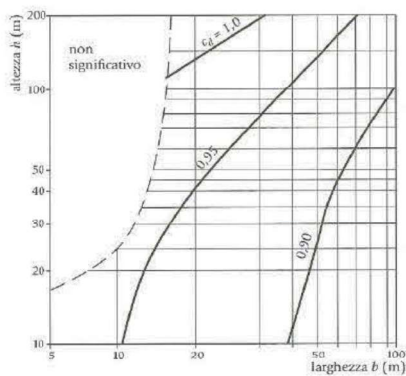
$$c_d = 1$$

con risultati più prudenti rispetto a valutazioni specifiche.
Per es. per un edificio a due piani e larghezza ~10 m si ha:

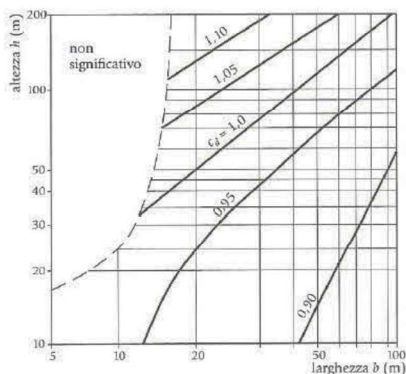
$$c_d = 0,95 \div 0,96$$



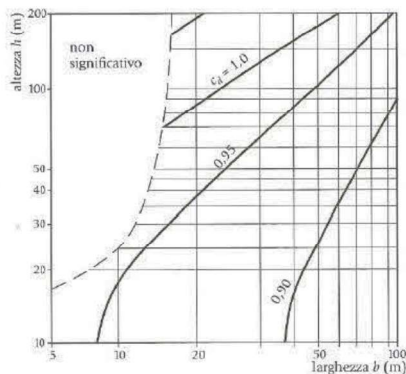
A) Edifici in C.A. o muratura



B) Edifici a struttura d'acciaio



C) Edifici a struttura acciaio/calcestruzzo



Coefficiente Topografico (Orografico)

Il coefficiente topografico si assume di norma uguale ad 1, sia per zone pianeggianti, ondulate, collinose e montane. Nel caso di costruzioni che sorgono presso la sommità di colline o pendii isolati si procede nel modo seguente:

1	2	3
Costruzioni ubicate sulla cresta di una collina	Costruzioni ubicate sul livello superiore	Costruzioni ubicate su di un pendio
$c_t = 1 + \beta \cdot \gamma$	$c_t = 1 + \beta \cdot \gamma \cdot \left(1 - 0,1 \cdot \frac{x}{H}\right) \geq 1$	$c_t = 1 + \beta \cdot \gamma \cdot \frac{h}{H}$
Coefficiente β		
per: $\frac{z}{H} \leq 0,75$	$0,75 \leq \frac{z}{H} \leq 2$	$\frac{z}{H} \geq 2$
$\beta = 0,5$	$\beta = 0,8 - 0,4 \cdot \frac{z}{H}$	$\beta = 0$
Coefficiente γ		
per: $\frac{H}{D} \leq 0,10$	$0,10 < \frac{H}{D} \leq 0,30$	$\frac{H}{D} > 0,3$
$\gamma = 0$	$\gamma = 5 \left(\frac{H}{D} - 0,10\right)$	$\gamma = 1$

Caso selezionato:

Costruzione ubicata su di un pendio isolato

Dati inseriti, in base alla figura di riferimento:

H	20 m	β	0,50
D	136 m	γ	0,24
h	0 m		
x	0 m		

Il coefficiente topografico vale:

c_t

1,00

Coefficiente di esposizione [§3.3.7]

Il coefficiente di esposizione dipende dall'altezza z sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito (e quindi dalla classe di rugosità del terreno) ove sorge la costruzione; per altezze non maggiori di $z=200\text{m}$ valgono le seguenti espressioni

$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0) [7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad \text{per } z < z_{\min}$$

k_r	z_0 [m]	$z_{\min}$ [m]
0,19	0,05	4,00

Coefficiente di esposizione minimo

$c_{e,\min}$

1,80

$z < 4,00$

Coefficiente di esposizione alla gronda

$c_{e,\text{gronda}}$

2,04

$z = 6,00$

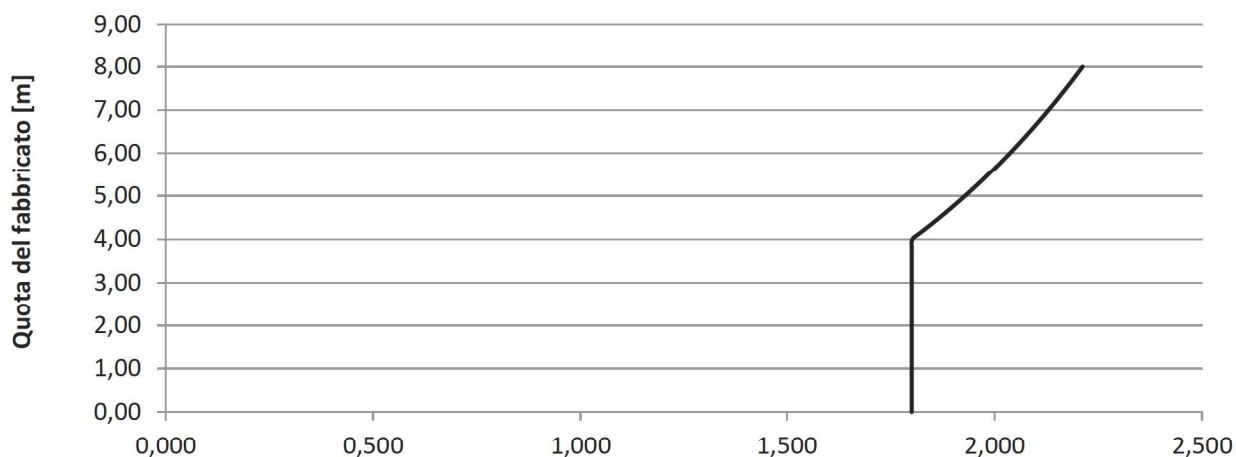
Coefficiente di esposizione al colmo

$c_{e,\text{colmo}}$

2,21

$z = 8,00$

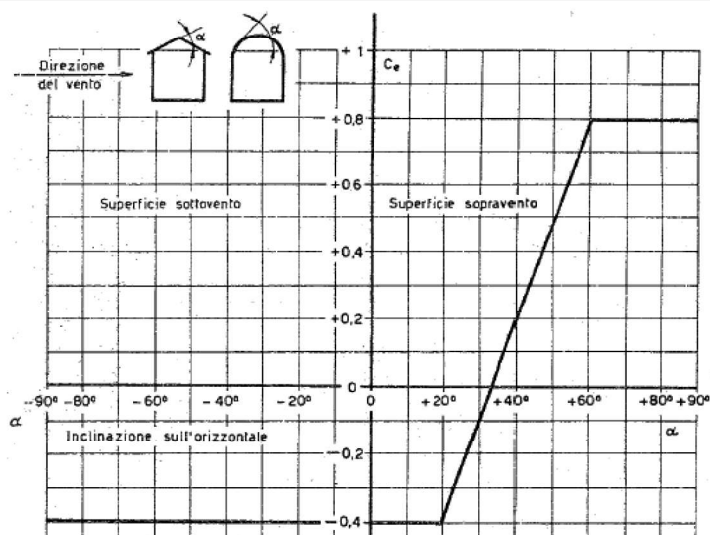
Andamento Coefficiente di Esposizione

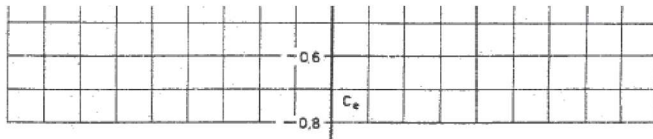


Coefficiente di forma

Edifici a pianta rettangolare con coperture piane, a falde, inclinate, curve

E' il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento.





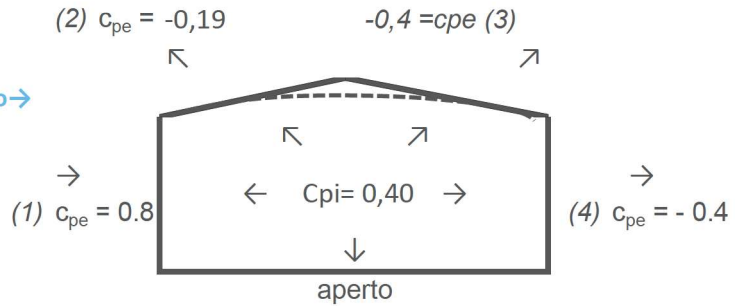
Costruzioni che presentano su due pareti opposte, normali alla direzione del vento, aperture di superficie non minore di 1/3 di quella totale

Configurazione più svantaggiosa

Configurazione A

(1) parete sopravvento	C_p
	0,40
(2) copertura sopravvento	C_p
	-0,59
(3) copertura sottovento	C_p
	-0,80
(4) parete sottovento	C_p
	-0,80

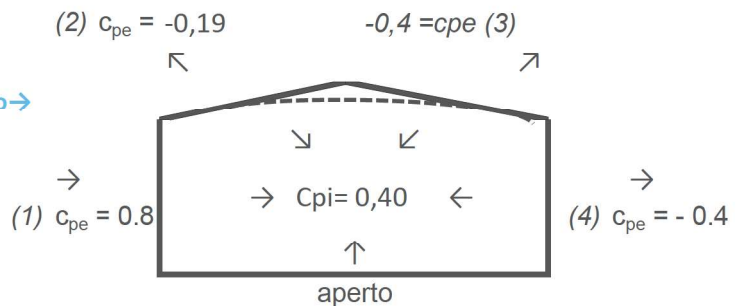
→
Direzione del vento →
→



Configurazione A

(1) parete sopravvento	C_p
	1,20
(2) copertura sopravvento	C_p
	0,21
(3) copertura sottovento	C_p
	0,00
(4) parete sottovento	C_p
	0,00

→
Direzione del vento →
→



Configurazione B

PRESSIONI DEL VENTO

Combinazione più sfavorevole per pareti e copertura:

Valori massimi della pressione per ogni elemento

$$p \text{ (pressione del vento)} = q_r \cdot C_d \cdot C_t \cdot C_e \cdot C_p$$

C_d (coefficiente dinamico)

C_t (coefficiente topografico)

C_e (coefficiente di esposizione)

C_p (coefficiente di forma)

	$p \text{ [kN/m}^2\text{]}$	C_d	C_t	C_e	C_p	$P \text{ [kN/m}^2\text{]}$
(1) par. sopravent.	0,391	1,00	1,00	2,037	0,40	0,32
(2) cop. sopravent.	0,391	1,00	1,00	2,212	-0,59	-0,51
(3) cop. Sottovent.	0,391	1,00	1,00	2,212	-0,80	-0,69
(4) par. sottovent.	0,391	1,00	1,00	2,037	-0,80	-0,64

(2) copertura sopravvento

-0,51 kN/mq

(3) copertura sottovento

-0,69 kN/mq

→

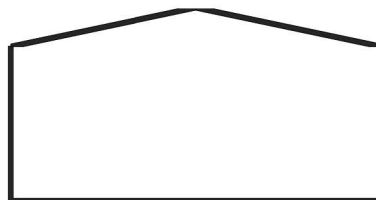
↖

↗

Direzione del vento →



→
0,32 kN/mq
(1) parete sopravvento



→
-0,64 kN/mq
(4) parete sottovento

Valori medi della pressione per ogni elemento (da utilizzare per caricare il modello FEM)

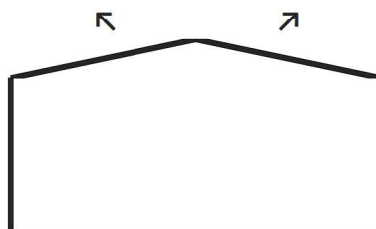
(2) copertura sopravvento
-0,48 kN/mq

(3) copertura sottovento
-0,64 kN/mq

Direzione del vento →

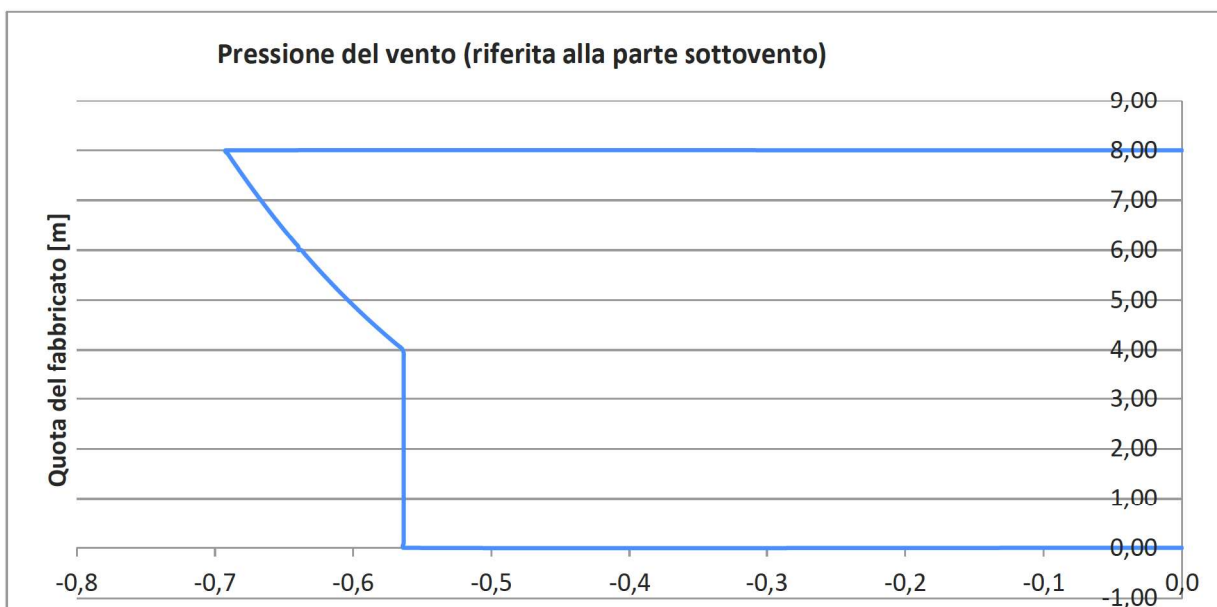
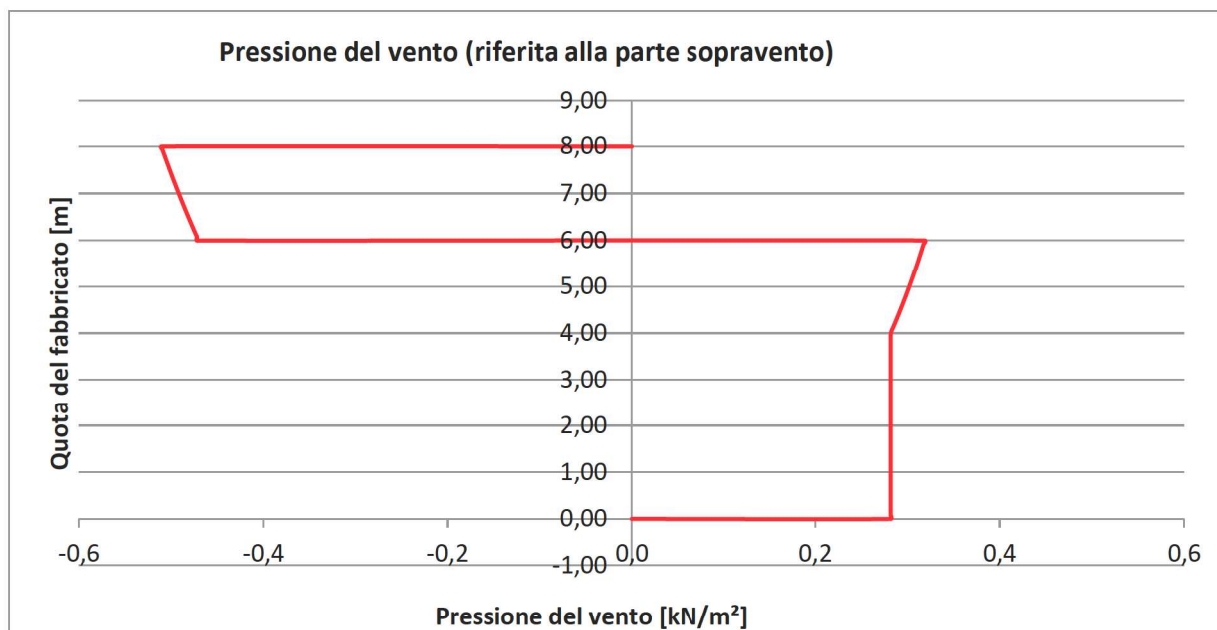


→
0,29 kN/mq
(1) parete sopravvento



→
-0,58 kN/mq
(4) parete sottovento

Andamento delle pressioni più svataggiose



Pressione del vento [kN/m²]

PRESSIONI DEL VENTO IN DIREZIONE TANGENZIALE [§3.3.5]

Tipo di superficie:

Scabra

Pressione tangenziale del vento q_{tan} 17,31 [N/m²]

*Si applica solitamente alle superfici piane di grande estensione

AZIONE DELLA NEVE PAR. 3.4 NTC18

1.DEFINIZIONE DEI DATI

Il carico di riferimento neve al suolo, per località poste a quota $a_s \leq 1500$ m s.l.m., non dovrà essere assunto minore di quello indicato in tabella, cui corrispondono valori associati ad un periodo di ritorno pari a 50 anni. Per altitudini $a_s \geq 1500$ m s.l.m. si dovrà fare riferimento a valori statistici locali utilizzando comunque valori non inferiori a quelli previsti per 1500m

1.1 a_s (altitudine sul livello del mare):

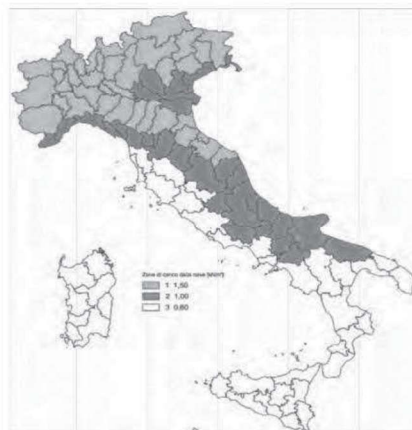
200 [m]

1.2 zona:

Zona I - Mediterranea

All. 2 - Calcolo neve secondo NTC 2018

Zona I - Alpina Aosta, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verbano-Cusio-Ossola, Vercelli, Vicenza	$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2$ $a_s \leq 200 \text{ m}$ $q_{sk} = 1,39 [1+(a_s/728)^2] \text{ kN/m}^2$ $a_s > 200 \text{ m}$
Zona I - Mediterranea Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forlì-Cesena, Lodi, Milano, Modena, Monza Brianza, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Treviso, Varese	$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2$ $a_s \leq 200 \text{ m}$ $q_{sk} = 1,35 [1+(a_s/602)^2] \text{ kN/m}^2$ $a_s > 200 \text{ m}$
Zona II Arezzo, Ascoli Piceno, Avellino, Bari, Barletta-Andria-Trani, Benevento, Campobasso, Chieti, Fermo, Ferrara, Firenze, Foggia, Frosinone, Genova, Gorizia, Imperia, Isernia, L'Aquila, La Spezia, Lucca, Macerata, Mantova, Massa Carrara, Padova, Perugia, Pescara, Pistoia, Prato, Rieti, Rovigo, Savona, Teramo, Trieste, Venezia, Verona	$q_{sk} = 1,00 \text{ kN/m}^2$ $a_s \leq 200 \text{ m}$ $q_{sk} = 0,85 [1+(a_s/481)^2] \text{ kN/m}^2$ $a_s > 200 \text{ m}$
Zona III Agrigento, Brindisi, Cagliari, Caltanissetta, Carbonia-Iglesias, Caserta, Catania, Catanzaro, Cosenza, Crotone, Enna, Grosseto, Latina, Lecce, Livorno, Matera, Medio Campidano, Messina, Napoli, Nuoro, Ogliastro, Olbia-Tempio, Oristano, Palermo, Pisa, Potenza, Ragusa, Reggio Calabria, Roma, Salerno, Sassari, Siena, Siracusa, Taranto, Terni, Trapani, Vibo Valentia, Viterbo	$q_{sk} = 0,60 \text{ kN/m}^2$ $a_s \leq 200 \text{ m}$ $q_{sk} = 0,51 [1+(a_s/481)^2] \text{ kN/m}^2$ $a_s > 200 \text{ m}$



Per altitudini superiori a 1500 m sul livello del mare si fa riferimento alle condizioni locali di clima e di esposizione utilizzando comunque valori di carico neve non inferiori a quelli previsti per 1500 m.

Per un'opera di nuova realizzazione in fase di costruzione o per le fasi transitorie relative ad interventi sulle costruzioni esistenti, il periodo di ritorno dell'azione si riduce come di seguito specificato:

- per fasi di costruzione o fasi transitorie con durata prevista in sede di progetto non superiore a tre mesi, si assumerà $TR \geq 5$ anni;
- per fasi di costruzione o fasi transitorie con durata prevista in sede di progetto compresa fra tre mesi e un anno, si assumerà $TR \geq 10$ anni.

2 CALCOLO DEL CARICO NEVE AL SUOLO

q_{sk} valore caratteristico della neve al suolo 1,50 [kN/m²]

3 CALCOLO DEI COEFFICIENTI

3.1 Coefficiente di esposizione

Il coefficiente di esposizione deve essere utilizzato per modificare il valore del carico della neve in copertura in funzione delle caratteristiche specifiche dell'area in cui sorge l'opera. Normalmente si adotta $C_e=1$. Si riportano in tabella i coefficienti consigliati per le diverse classi di topografia.

Battuta dai venti	Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti.	0,9
Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi.	1
Riparata	Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti.	1,1

3.1.1 Classe di topografia:

Normale

Il coefficiente di esposizione vale:

C_e

1,00

3.2 Coefficiente termico

Il coefficiente termico può essere utilizzato per tener conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. Tale coefficiente tiene conto delle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura. In assenza di uno specifico e documentato studio, deve essere utilizzato $C_t = 1$.

Il coefficiente topografico vale:

C_t

1,00

3.2 Coefficiente di forma

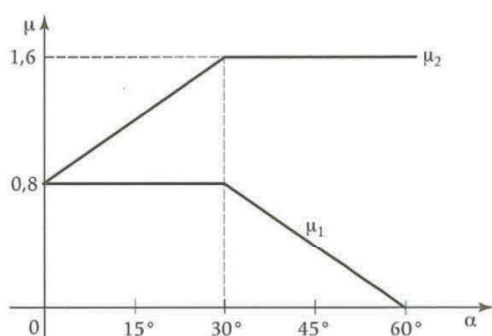
3.2.1 Inclinazione della falda α (1)

27 [deg]

3.2.2 Inclinazione della falda α (2)

27 [deg]

3.2.3 Legge di variazione del coefficiente di forma:



$\mu_1(\alpha_1)$	0,80
$\mu_1(\alpha_2)$	0,80
$\mu_2(\alpha)$	1,52

	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60$
$\mu_1(\alpha)$	0,80	$0,8(60-\alpha)/30$	0,00

$\mu_2(\alpha)$	$0.8+0.8 \alpha/30$	1,60	0,00
-----------------	---------------------	------	------

4 CARICO NEVE SULLA COPERTURA E COMBINAZIONI DI CARICO

$$q_s \text{ (carico neve sulla copertura [N/m}^2\text{])} = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t$$

μ_i (coefficiente di forma)

q_{sk} (valore caratteristico della neve al suolo [kN/m²])

C_E (coefficiente di esposizione)

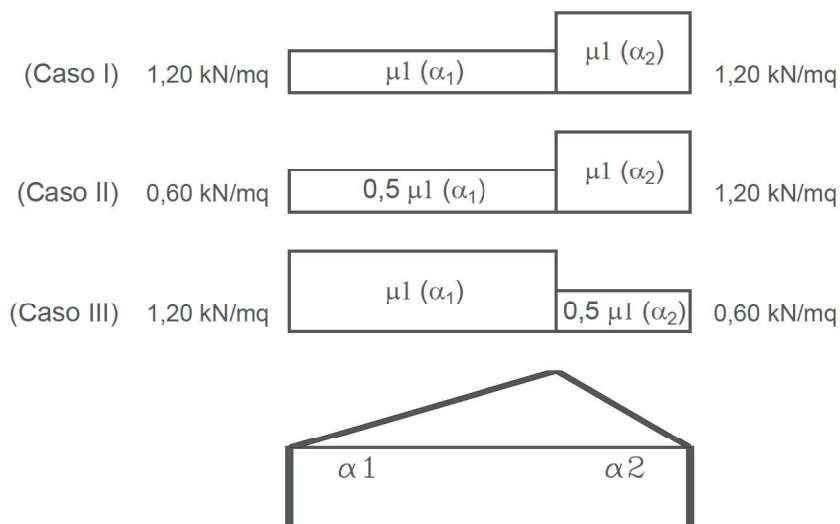
C_t (coefficiente termico)

4.1 Combinazione per il caso di copertura a più falde

Per il calcolo si considera solo la più gravosa delle tre condizioni di carico, di seguito calcolate.

α_1 (inclinazione falda)	27 [deg]
α_2 (inclinazione falda)	27 [deg]

$\mu_1 (\alpha_1)$	0,80
$\mu_1 (\alpha_2)$	0,80



Caso I: Carico da neve depositata in assenza di vento

Caso II: Carico da neve depositata in presenza di vento

Caso III: Carico da neve depositata in presenza di vento

Se l'estremità più bassa della falda termina con parapetto, una barriera o altre costruzioni, allora il coefficiente di forma non potrà essere assunto inferiore a 0,8 indipendentemente dall'angolo α .

4.2 Presenza di barriera:

no

✓ DATI DI BASE

- Luce $L = 5,00$ m
- Sezione: 28×30 cm
- Modulo elastico: $E = 11.000 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a flessione di calcolo: $f_{md,eff} = 13,67 \text{ MPa}$

Scheda 1
Verifica Trave di colmo
Senza contributo del vento
Flessione
Freccia

MOMENTO DI INERZIA E MODULO DI RESISTENZA

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = 0,00063 \text{ m}^4 \quad W = \frac{b \cdot h^2}{6} = 0,0042 \text{ m}^3$$

Text

CARICHI

Carichi superficiali (da moltiplicare per 4 m di area d'influenza):

Tipo	Valore [kN/m ²]
Copertura	0,434
Arcarecci	0,027
Falsi puntoni	0,100
Neve	0,800
FV	0,150
Totale	1,511

$$q_{\text{sup}} = 1,511 \cdot 4 = 6,044 \text{ kN/m} \quad + \quad q_{\text{trave}} = 0,355 \text{ kN/m} \Rightarrow q_{\text{tot}} = 6,399 \text{ kN/m}$$

VERIFICA A FLESSIONE

$$M_{\text{max}} = \frac{q \cdot L^2}{8} = \frac{6,399 \cdot 25}{8} = 19,997 \text{ kNm}$$

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}}}{W} = \frac{19,997 \cdot 10^6}{0,0042} = 4,761 \text{ MPa} \quad \Rightarrow \quad \frac{\sigma}{f_{md,eff}} = \frac{4,761}{13,67} = 0,348 \quad \checkmark \text{ Verificata}$$

VERIFICA A FRECCIA

$$f = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 6399 \cdot 10^3 \cdot 625}{384 \cdot 11 \cdot 10^9 \cdot 0,00063} = 7,51 \text{ mm}$$

$$f_{amm} = \frac{5000}{300} = 16,67 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad \frac{f}{f_{amm}} = 0,45 \quad \checkmark \text{ Verificata}$$

Scheda 2

Verifica trave di colmo senza contributo del vento

Taglio

Dati

- Resistenza caratteristica a taglio:
 $f_{vk} = 4 \text{ MPa}$
- Resistenza di progetto corretta:

$$f_{vd} = \frac{f_{vk}}{\gamma_M \cdot FC} = \frac{4}{1,3 \cdot 1,35} = \boxed{2,279 \text{ MPa}}$$

- Tensione tangenziale:

$$\tau = \frac{V_{max}}{A} = \frac{15,9975}{0,28 \cdot 0,30} = \boxed{0,190 \text{ MPa}}$$

- Verifica:

$$\frac{\tau}{f_{vd}} = \frac{0,190}{2,279} = \boxed{0,084} \Rightarrow \text{✔ Verificata}$$

La trave di colmo è **verificata anche a taglio** considerando la **doppia riduzione** della resistenza.

✓ DATI DI BASE

- Sezione trave: 28×30 cm
- $b = 0,28$ m, $h = 0,30$ m
- $E = 11.000 \text{ N/mm}^2 = 11 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$
- $f_{m,d,eff} = \frac{24 \cdot 10^6}{1,3 \cdot 1,35} = 13,67 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$

Scheda 3 - Lunghezza ammissibile colmo a flessione, senza vento

📐 GEOMETRIA SEZIONE

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{0,28 \cdot 0,30^2}{6} = 0,0042 \text{ m}^3$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{0,28 \cdot 0,30^3}{12} = 0,00063 \text{ m}^4$$

⚖️ CARICO LINEARE TOTALE

- Carichi superficiali:
 $q_{sup} = (0,434 + 0,027 + 0,100 + 0,800 + 0,150) = 1,511 \text{ kN/m}^2$
- Area di influenza: 4 m
 $q_{sup, lin} = 1,511 \cdot 4 = 6,044 \text{ kN/m}$
- Peso proprio trave:**
 $q_{trave} = 0,355 \text{ kN/m}$
- Carico totale:**

$$q = q_{sup} + q_{trave} = \boxed{6,399 \text{ kN/m}} = 6399 \text{ N/m}$$

🔧 VERIFICA A FLESSIONE (determinazione lunghezza massima)

- Si impone:

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W} = f_{md,eff} \Rightarrow M_{max} = f_{md,eff} \cdot W = 13,67 \cdot 10^6 \cdot 0,0042 = 57.414 \text{ Nm} = 57,41 \text{ kNm}$$

- Sapendo che $M_{max} = \frac{q \cdot L^2}{8}$, ricavo la lunghezza massima:

$$L = \sqrt{\frac{8 \cdot M_{max}}{q}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 57,41 \cdot 10^3}{6399}} = \boxed{8,47 \text{ m}}$$

🔧 VERIFICA A FRECCIA (controllo)

$$f = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 6399 \cdot 8,47^4}{384 \cdot 11 \cdot 10^9 \cdot 0,00063} = \boxed{61,95 \text{ mm}}$$

- Limite normativo:

$$f_{amm} = \frac{L}{300} = \frac{8470}{300} = 28,24 \text{ mm} \Rightarrow \frac{f}{f_{amm}} = \frac{61,95}{28,24} = 2,19 \text{ ✗ non verificata}$$

Conclusione

- **Flessione verificata** fino a $L = 8,47 \text{ m}$
- **Freccia non verificata** (troppo elevata)

Scheda 4 - Lunghezza ammissibile per freccia, senza vento

✓ DATI DI BASE

- Sezione trave: $28 \times 30 \text{ cm} \rightarrow b = 0,28 \text{ m}, h = 0,30 \text{ m}$
- Modulo elastico:

$$E = 11.000 \text{ N/mm}^2 = 11 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$$

- Resistenza a flessione di progetto (già con fattore di sicurezza 1,3 e di confidenza 1,35):

$$f_{md, eff} = 13,67 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$$

- Carico totale lineare (incluso peso proprio):

$$q = 6,399 \text{ kN/m} = 6399 \text{ N/m}$$

📐 PROPRIETÀ GEOMETRICHE DELLA TRAVE

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{0,28 \cdot 0,30^2}{6} = 0,0042 \text{ m}^3$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{0,28 \cdot 0,30^3}{12} = 0,00063 \text{ m}^4$$

📏 CONDIZIONE DI VERIFICA A FRECCIA

Limite normativo:

$$f_{amm} = \frac{L}{300}$$

Formula della freccia per trave appoggiata con carico distribuito:

$$f = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

🔍 Impongo:

$$\frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} \leq \frac{L}{300}$$

✏️ Risolvo numericamente l'equazione:

$$\frac{5 \cdot 6399 \cdot L^4}{384 \cdot 11 \cdot 10^9 \cdot 0,00063} = \frac{L}{300}$$

Risultato:

$$L_{max} = 6,52 \text{ m}$$

VERIFICA A FLESSIONE (a questa lunghezza)

Momento massimo:

$$M_{max} = \frac{q \cdot L^2}{8} = \frac{6399 \cdot (6,52)^2}{8} = 33,99 \cdot 10^3 \text{ Nm}$$

Tensione di flessione:

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W} = \frac{33,99 \cdot 10^3}{0,0042} = \boxed{8,10 \text{ MPa}}$$

Verifica:

$$\frac{\sigma}{f_{md, eff}} = \frac{8,10}{13,67} = \boxed{0,59} \Rightarrow \checkmark \text{ Verificata}$$

CONCLUSIONI

- Lunghezza massima ammessa:

$$\boxed{L = 6,52 \text{ m}}$$

- Verifica a flessione: 
- Verifica a freccia (L/300): 

✓ DATI DI BASE

- Inclinazione falda: $26,57^\circ \rightarrow \sin(26,57^\circ) \approx 0,447$
- Area di influenza trave: 4 m
- Sezione trave: 28×30 cm
- Luce: 5,00 m
- Modulo elastico: $E = 11.000 \text{ N/mm}^2$
- Resistenze:
 - $f_{md,eff} = 13,67 \text{ MPa}$
 - $f_{vd} = 2,279 \text{ MPa}$

Scheda 5 - Verifica trave di colmo a flessione, taglio, freccia con vento

📐 COMPONENTE VERTICALE DEL VENTO

- Depressione $-1,28 \text{ kN/m}^2 \rightarrow$
 $p_{v,neg} = -1,28 \cdot \sin(26,57^\circ) \approx -0,572 \text{ kN/m}^2$
- Pressione $+0,152 \text{ kN/m}^2 \rightarrow$
 $p_{v,pos} = 0,152 \cdot \sin(26,57^\circ) \approx 0,068 \text{ kN/m}^2$

⚖️ VERIFICA CON DEPRESSIONE ($-1,28 \text{ kN/m}^2$)

Voce	Valore
Carico totale q	4,109 kN/m
Momento massimo M	12,84 kNm
Tensione σ	3,06 MPa
σ/f_{md}	0,224 ✓
Freccia f	4,83 mm
Freccia amm. f_{amm}	16,67 mm
f/f_{amm}	0,29 ✓
Taglio massimo V	10,27 kN
Tensione tangenziale τ	0,122 MPa
τ/f_{vd}	0,054 ✓



VERIFICA CON PRESSIONE (+0,152 kN/m²)

Voce	Valore
Carico totale q	6,671 kN/m
Momento massimo M	20,85 kNm
Tensione σ	4,96 MPa
σ/f_{md}	0,363
Freccia f	7,83 mm
Freccia amm. f_{amm}	16,67 mm
f/f_{amm}	0,47
Taglio massimo V	16,68 kN
Tensione tangenziale τ	0,199 MPa
τ/f_{vd}	0,087



CONCLUSIONI

- Con **pressione o depressione del vento** correttamente **proiettata sulla verticale**, la trave di colmo è **verificata** a:
 - Flessione
 - Freccia
 - Taglio

procedure di calcolo esplicite per la verifica dei falsi puntoni (10 × 20 cm, luce inclinata 4,47 m), con i seguenti carichi:

- Carichi verticali da:
 - Tegole marsigliesi: 0,434 kN/m²
 - Arcarecci: 0,027 kN/m²
 - Neve: 0,800 kN/m²
 - Impianto FV: 0,150 kN/m²
- Area di influenza: 0,90 m
- Peso proprio del puntone: 0,10 kN/m
- ❌ Non si considera: peso della trave di colmo né carico al m² dei puntoni

Scheda 6 - Verifica puntoni senza vento Flessione, taglio, freccia

✓ 1. DATI DI BASE

Geometria puntone:

- Base $b = 0,10$ m
- Altezza $h = 0,20$ m
- Luce inclinata $L = 4,47$ m

Proprietà del legno:

- Modulo elastico $E = 11.000 \text{ N/mm}^2 = 11 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$
- Resistenza a flessione $f_{md} = 13,67 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$
- Resistenza a taglio $f_{vd} = \frac{4 \cdot 10^6}{1,3 \cdot 1,35} = 2,279 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$

✓ 2. PROPRIETÀ DELLA SEZIONE

$$A = b \cdot h = 0,10 \cdot 0,20 = 0,020 \text{ m}^2$$

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{0,10 \cdot (0,20)^2}{6} = 0,000667 \text{ m}^3$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{0,10 \cdot (0,20)^3}{12} = 0,000067 \text{ m}^4$$

✓ 3. CALCOLO DEL CARICO LINEARE

◆ Carico superficiale (al m²):

$$q_{\text{sup}} = 0,434 + 0,027 + 0,800 + 0,150 = 1,411 \text{ kN/m}^2$$

◆ Area di influenza:

$$q_{\text{orizzontale}} = 1,411 \cdot 0,90 = 1,270 \text{ kN/m}$$

♦ Aggiunta peso proprio puntone:

$$q_{\text{totale}} = 1,270 + 0,100 = \boxed{1,370 \text{ kN/m}}$$

✓ 4. VERIFICA A FLESSIONE

$$M_{\text{max}} = \frac{q \cdot L^2}{8} = \frac{1,370 \cdot 4,47^2}{8} = \boxed{3,42 \text{ kNm}}$$

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}} \cdot 10^6}{W} = \frac{3,42 \cdot 10^6}{0,000667} = \boxed{5,13 \text{ MPa}} \Rightarrow \frac{\sigma}{f_{\text{md}}} = \boxed{0,375} \quad \checkmark \text{ Verificato}$$

✓ 5. VERIFICA A FRECCIA

$$f = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 1370 \cdot 4,47^4}{384 \cdot 11 \cdot 10^9 \cdot 0,000067} = \boxed{9,71 \text{ mm}}$$

$$f_{\text{amm}} = \frac{L}{300} = \frac{4,47 \cdot 1000}{300} = \boxed{14,9 \text{ mm}} \Rightarrow \frac{f}{f_{\text{amm}}} = 0,65 \quad \checkmark \text{ Verificato}$$

✓ 6. VERIFICA A TAGLIO

$$V_{\text{max}} = \frac{q \cdot L}{2} = \frac{1,370 \cdot 4,47}{2} = \boxed{3,06 \text{ kN}}$$

$$\tau = \frac{V_{\text{max}} \cdot 10^3}{A} = \frac{3,06 \cdot 10^3}{0,020} = \boxed{0,153 \text{ MPa}} \Rightarrow \frac{\tau}{f_{\text{vd}}} = 0,067 \quad \checkmark \text{ Verificato}$$

✓ CONCLUSIONI

I falsi puntoni sono verificati:

- ✓ A flessione ($\sigma = 5,13 \text{ MPa} < 13,67 \text{ MPa}$)
- ✓ A freccia ($f = 9,71 \text{ mm} < 14,9 \text{ mm}$)
- ✓ A taglio ($\tau = 0,153 \text{ MPa} < 2,279 \text{ MPa}$)

Scheda 7 - verifica puntoni a flessione, taglio, freccia con vento

✓ 1. DATI GENERALI

- Sezione: $b = 0,10 \text{ m}$, $h = 0,20 \text{ m}$
- Luce inclinata: $L = 4,47 \text{ m}$
- Area influenza orizzontale: $0,90 \text{ m}$
- Modulo elastico: $E = 11.000 \text{ N/mm}^2 = 11 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$
- Resistenze:
 - $f_{md} = 13,67 \text{ MPa}$
 - $f_{vd} = \frac{4 \cdot 10^6}{1,3 \cdot 1,35} = 2,279 \text{ MPa}$
- Peso proprio puntone: $0,10 \text{ kN/m}$
- Inclinazione falda: $50\% \rightarrow \alpha = \arctan(0,5) \approx 26,57^\circ \Rightarrow \sin \alpha \approx 0,447$

✓ 2. PROPRIETÀ DELLA SEZIONE

$$A = b \cdot h = 0,10 \cdot 0,20 = 0,020 \text{ m}^2$$

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{0,10 \cdot (0,20)^2}{6} = 0,000667 \text{ m}^3$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{0,10 \cdot (0,20)^3}{12} = 0,000067 \text{ m}^4$$

✓ 3. CARICHI SUPERFICIALI

$$q_{\text{sup}} = 0,434 + 0,027 + 0,800 + 0,150 = 1,411 \text{ kN/m}^2$$

✓ 4. VENTO

Tipo vento	Pressione perpendicolare	Componente verticale $p_v = p \cdot \sin \alpha$
Depressione	$-1,28 \text{ kN/m}^2$	$-1,28 \cdot 0,447 = -0,572 \text{ kN/m}^2$
Pressione	$+0,152 \text{ kN/m}^2$	$+0,152 \cdot 0,447 = +0,068 \text{ kN/m}^2$

✓ 5. VERIFICA CASO 1 — VENTO IN DEPRESSIONE

Carico totale lineare:

$$q = (1,411 + (-0,572)) \cdot 0,90 + 0,10 = 0,8547 \text{ kN/m}$$

Momento massimo:

$$M_{max} = \frac{q \cdot L^2}{8} = \frac{0,8547 \cdot 4,47^2}{8} = 2,13 \text{ kNm}$$

Tensione:

$$\sigma = \frac{M_{max} \cdot 10^6}{W} = \frac{2,13 \cdot 10^6}{0,000667} = 3,20 \text{ MPa} \Rightarrow \frac{\sigma}{f_{md}} = 0,234 \quad \checkmark$$

Freccia:

$$f = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 854,7 \cdot 4,47^4}{384 \cdot 11e9 \cdot 0,000067} = \boxed{6,06 \text{ mm}} \quad f_{amm} = \frac{4,47 \cdot 1000}{300} = 14,9 \text{ mm}$$
$$f/f_{amm} = 0,407 \quad \checkmark$$

Taglio:

$$V_{max} = \frac{q \cdot L}{2} = \frac{0,8547 \cdot 4,47}{2} = 1,91 \text{ kN}$$
$$\tau = \frac{V_{max} \cdot 1000}{A} = \frac{1,91 \cdot 1000}{0,020} = 0,096 \text{ MPa} \Rightarrow \frac{\tau}{f_{vd}} = 0,042 \quad \checkmark$$

6. VERIFICA CASO 2 — VENTO IN PRESSIONE

Carico totale lineare:

$$q = (1,411 + 0,068) \cdot 0,90 + 0,10 = 1,431 \text{ kN/m}$$

Momento massimo:

$$M_{max} = \frac{1,431 \cdot 4,47^2}{8} = 3,57 \text{ kNm}$$

Tensione:

$$\sigma = \frac{3,57 \cdot 10^6}{0,000667} = 5,36 \text{ MPa} \Rightarrow \frac{\sigma}{f_{md}} = 0,392 \quad \checkmark$$

Freccia:

$$f = \frac{5 \cdot 1431 \cdot 4,47^4}{384 \cdot 11e9 \cdot 0,000067} = 10,14 \text{ mm} \Rightarrow f/f_{amm} = 0,681 \quad \checkmark$$

Taglio:

$$V_{max} = \frac{1,431 \cdot 4,47}{2} = 3,20 \text{ kN}$$

$$\tau = \frac{3,20 \cdot 1000}{0,020} = 0,160 \text{ MPa} \Rightarrow \frac{\tau}{f_{vd}} = 0,070 \quad \checkmark$$

✓ CONCLUSIONI

I puntoni risultano **verificati** sia con vento in depressione che in pressione:

- ✓ Flessione
- ✓ Freccia
- ✓ Taglio

procedure di calcolo esplicite per la verifica dell'arcareccio portategole, senza contributo del vento, considerando:

- Carico da **tegole, neve e pannelli fotovoltaici**
- **Area di influenza:** 33 cm (interasse)
- **Luce:** 90 cm
- **Peso proprio** dell'arcareccio al metro lineare (calcolato)

Scheda 8 - Verifica arcarecci a flessione, taglio, freccia senza vento

✓ 1. DATI GENERALI

Geometria della sezione:

- Base: $b = 0,05$ m
- Altezza: $h = 0,04$ m
- Luce: $L = 0,90$ m

Proprietà del materiale (legno):

- Modulo elastico:

$$E = 11.000 \text{ N/mm}^2 = 11 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$$

- Resistenza a flessione:

$$f_{md} = 13,67 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$$

- Resistenza a taglio (con sicurezza e confidenza):

$$f_{vd} = \frac{4 \cdot 10^6}{1,3 \cdot 1,35} = 2,279 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$$

✓ 2. PROPRIETÀ DELLA SEZIONE

$$A = b \cdot h = 0,05 \cdot 0,04 = 0,0020 \text{ m}^2$$

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{0,05 \cdot (0,04)^2}{6} = 0,000133 \text{ m}^3$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{0,05 \cdot (0,04)^3}{12} = 0,00000267 \text{ m}^4$$

✓ 3. CARICO LINEARE

Carichi superficiali [kN/m²]:

Tipo	Valore
Tegole	0,434
Neve	0,800
FV	0,150
Totale	1,384

Area di influenza:

$$\text{Interasse} = 0,33 \text{ m} \Rightarrow q_{\text{sup}} = 1,384 \cdot 0,33 = 0,4567 \text{ kN/m}$$

Peso proprio dell'arcareccio:

$$q_{\text{PP}} = A \cdot \gamma = 0,0020 \cdot 5 = 0,0100 \text{ kN/m}$$

Carico lineare totale:

$$q = q_{\text{sup}} + q_{\text{PP}} = 0,4567 + 0,0100 = \boxed{0,4667 \text{ kN/m}}$$

✓ 4. VERIFICA A FLESSIONE

$$M_{\text{max}} = \frac{q \cdot L^2}{8} = \frac{0,4667 \cdot 0,90^2}{8} = \boxed{0,0473 \text{ kNm}}$$

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}} \cdot 10^6}{W} = \frac{0,0473 \cdot 10^6}{0,000133} = \boxed{3,54 \text{ MPa}} \Rightarrow \frac{\sigma}{f_{\text{md}}} = 0,259 \quad \checkmark \text{ Verificato}$$

✓ 5. VERIFICA A FRECCIA

$$f = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 466,7 \cdot 0,90^4}{384 \cdot 11 \cdot 10^9 \cdot 0,00000267} = \boxed{1,36 \text{ mm}}$$

$$f_{\text{amm}} = \frac{L}{300} = \frac{900}{300} = \boxed{3,00 \text{ mm}} \Rightarrow f/f_{\text{amm}} = 0,453 \quad \checkmark \text{ Verificato}$$

✓ 6. VERIFICA A TAGLIO

$$V_{\text{max}} = \frac{q \cdot L}{2} = \frac{0,4667 \cdot 0,90}{2} = \boxed{0,210 \text{ kN}}$$

$$\tau = \frac{V_{max} \cdot 1000}{A} = \frac{210 \cdot 1000}{0,0020} = \boxed{0,105 \text{ MPa}} \Rightarrow \frac{\tau}{f_{vd}} = 0,046 \quad \checkmark \text{ Verificato}$$

CONCLUSIONI

L'arcareccio è **verificato** a:

-  Flessione ($\sigma = 3,54 \text{ MPa} < 13,67 \text{ MPa}$)
-  Freccia ($f = 1,36 \text{ mm} < 3,00 \text{ mm}$)
-  Taglio ($\tau = 0,105 \text{ MPa} < 2,279 \text{ MPa}$)

passaggi espliciti di calcolo per la verifica dell'arcareccio portategole (5×4 cm, luce 90 cm), considerando:

- ☒ Carichi da tegole, FV, neve
- ☒ Vento, in pressione e depressione
- ☒ Area di influenza: 0,33 m
- ☒ Peso proprio calcolato dalla sezione
- ☐ Nessun carico accidentale ulteriore

Scheda 9 -
Verifica arcarecci a
flessione, taglio, freccia
con vento

☒ 1. DATI GEOMETRICI E MATERIALI

- Sezione: $b = 0,05\text{ m}$, $h = 0,04\text{ m}$
- Luce: $L = 0,90\text{ m}$
- Modulo elastico: $E = 11.000\text{ N/mm}^2 = 11 \cdot 10^9\text{ N/m}^2$
- $f_{md} = 13,67\text{ MPa}$
- $f_{vd} = \frac{4}{1,3 \cdot 1,35} = 2,279\text{ MPa}$

 Geometria sezione

$$A = b \cdot h = 0,05 \cdot 0,04 = 0,0020\text{ m}^2$$
$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{0,05 \cdot (0,04)^2}{6} = 1,333 \cdot 10^{-4}\text{ m}^3$$
$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{0,05 \cdot (0,04)^3}{12} = 2,667 \cdot 10^{-6}\text{ m}^4$$

☒ 2. CARICHI SUPERFICIALI

Carico	Valore [kN/m²]
Tegole	0,434
Fotovoltaico	0,150
Neve	0,800
Totale fisso	1,384

☒ 3. VENTO

- Inclinazione falda = 50% →

$$\alpha = \arctan(0,5) \approx 26,57^\circ, \quad \sin \alpha \approx 0,447$$

Caso	Vento falda [kN/m²]	Componente verticale p_v [kN/m²]
Vento negativo	-1,28	$-1,28 \cdot 0,447 = -0,572$

Caso	Vento falda [kN/m ²]	Componente verticale p_v [kN/m ²]
Vento positivo	+0,152	+0,152 · 0,447 = +0,068

✓ 4. VERIFICA CASO 1 — VENTO NEGATIVO

Carico totale lineare:

$$q_{\text{sup}} = (1,384 + (-0,572)) \cdot 0,33 = 0,267 \text{ kN/m}$$

$$q_{\text{PP}} = 0,0020 \cdot 5 = 0,010 \text{ kN/m}$$

$$q = 0,267 + 0,010 = \boxed{0,278 \text{ kN/m}}$$

Momento flettente:

$$M_{\text{max}} = \frac{q \cdot L^2}{8} = \frac{0,278 \cdot 0,90^2}{8} = \boxed{0,0281 \text{ kNm}}$$

Tensione:

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}} \cdot 10^6}{W} = \frac{0,0281 \cdot 10^6}{1,333 \cdot 10^{-4}} = \boxed{2,11 \text{ MPa}} \Rightarrow \sigma/f_{md} = 0,154 \quad \checkmark$$

Freccia:

$$f = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 278 \cdot 0,90^4}{384 \cdot 11e9 \cdot 2,667e-6} = \boxed{0,81 \text{ mm}} \quad f_{\text{amm}} = \frac{0,90}{300} = 3,00 \text{ mm} \Rightarrow f/f_{\text{amm}} = 0,27 \quad \checkmark$$

Taglio:

$$V_{\text{max}} = \frac{q \cdot L}{2} = \frac{0,278 \cdot 0,90}{2} = \boxed{0,125 \text{ kN}}$$

$$\tau = \frac{125 \cdot 10^3}{0,0020} = \boxed{0,063 \text{ MPa}} \Rightarrow \tau/f_{vd} = 0,027 \quad \checkmark$$

✓ 5. VERIFICA CASO 2 — VENTO POSITIVO

Carico totale lineare:

$$q_{\text{sup}} = (1,384 + 0,068) \cdot 0,33 = 0,471 \text{ kN/m}$$

$$q = 0,471 + 0,010 = \boxed{0,489 \text{ kN/m}}$$

Momento flettente:

$$M_{\text{max}} = \frac{0,489 \cdot 0,90^2}{8} = \boxed{0,0495 \text{ kNm}}$$

Tensione:

$$\sigma = \frac{0,0495 \cdot 10^6}{1,333 \cdot 10^{-4}} = \boxed{3,71 \text{ MPa}} \Rightarrow \sigma/f_{md} = 0,272 \quad \checkmark$$

Freccia:

$$f = \frac{5 \cdot 489 \cdot 0,90^4}{384 \cdot 11e9 \cdot 2,667e-6} = \boxed{1,42 \text{ mm}} \quad f/f_{amm} = 0,47 \quad \checkmark$$

Taglio:

$$V_{max} = \frac{0,489 \cdot 0,90}{2} = \boxed{0,220 \text{ kN}}$$

$$\tau = \frac{220 \cdot 10^3}{0,0020} = \boxed{0,110 \text{ MPa}} \Rightarrow \tau/f_{vd} = 0,048 \quad \checkmark$$

CONCLUSIONI

Gli arcarecci sono verificati anche con vento:

-  A flessione
-  A freccia
-  A taglio

calcoli corretti per la verifica dell'arcareccio (5 × 4 cm, luce 90 cm), con:

- ✓ Carico distribuito: **0,489 kN/m**
- ✓ Carico concentrato: **1 kN in mezzeria**
- ✓ Proprietà del materiale e della sezione reali

RISULTATI DEI CALCOLI

◆ Momenti flettenti

- Momento da carico distribuito:

$$M_q = \frac{q \cdot L^2}{8} = 0,0495 \text{ kNm}$$

- Momento da carico concentrato in mezzeria:

$$M_P = \frac{P \cdot a}{4} = \frac{1 \cdot 0,45}{4} = 0,1125 \text{ kNm}$$

- Momento totale:

$$M_{max} = 0,0495 + 0,1125 = \boxed{0,1620 \text{ kNm}}$$

◆ Tensione di flessione

$$\sigma = \frac{M_{max} \cdot 10^6}{W} = \boxed{12,15 \text{ MPa}} \Rightarrow \frac{\sigma}{f_{md}} = 0,889 \quad \checkmark \text{ Verificato}$$

◆ Freccia

- Da carico distribuito: $f_q = 1,42 \text{ mm}$
- Da carico concentrato: $f_P = 5,18 \text{ mm}$
- Totale:

$$f_{tot} = \boxed{6,60 \text{ mm}} > f_{amm} = 3,00 \text{ mm} \Rightarrow \frac{f}{f_{amm}} = \boxed{2,20} \quad \text{✗ NON verificata}$$

◆ Taglio

- Da distribuito: $V_q = 0,220 \text{ kN}$
- Da concentrato: $V_P = 0,500 \text{ kN}$
- Totale:

$$V_{max} = \boxed{0,720 \text{ kN}}, \quad \tau = \frac{720 \cdot 10^3}{0,0020} = \boxed{0,360 \text{ MPa}} \quad \checkmark \Rightarrow \frac{\tau}{f_{vd}} = 0,158 \quad \checkmark$$

**Scheda 10 -
Verifica arcarecci
a carico concentrato
1 kN , L = 90 cm**

CONCLUSIONI

Verifica	Esito
Flessione	✓ OK
Taglio	✓ OK
Freccia	✗ NON verificata (6,60 mm > 3 mm)

 Questo significa che con **1 kN concentrato in mezzeria**, l'arcareccio:

- **resiste meccanicamente** (tensione < resistenza)
- **ma non soddisfa il requisito deformativo** (freccia troppo elevata)

procedure esplicite di calcolo per la verifica della freccia di un arcareccio (sezione 5×4 cm), considerato come trave continua su 5 campate da 90 cm ciascuna, con:

- ✓ carico distribuito $q = 0,489 \text{ kN/m}$ su tutta la lunghezza
- ✓ 1 kN concentrato in mezzeria della campata centrale

**Scheda 11 -
Verifica arcarecci
carico concentrato 1 kN
L m 4,50 con 5 appoggi**

✓ 1. DATI DI BASE

- Numero campate: $n = 5$
- Lunghezza campata: $L = 0,90 \text{ m}$
- Carico distribuito: $q = 0,489 \text{ kN/m} = 489 \text{ N/m}$
- Carico concentrato: $P = 1 \text{ kN} = 1000 \text{ N}$
- Posizione carico concentrato: mezzeria della campata centrale

 Sezione arcareccio

$$b = 0,05 \text{ m}, \quad h = 0,04 \text{ m}$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{0,05 \cdot 0,04^3}{12} = 2,667 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$E = 11.000 \text{ N/mm}^2 = 11 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$$

$$EI = E \cdot I = 11 \cdot 10^9 \cdot 2,667 \cdot 10^{-6} = 29,34 \cdot 10^3 \text{ Nm}^2$$

✓ 2. FRECCIA DA CARICO DISTRIBUITO

Per una trave **continua su 5 campate uguali**, la freccia massima nelle campate centrali si può stimare con:

$$f_q = \frac{0,0065 \cdot q \cdot L^4}{E \cdot I}$$

$$f_q = \frac{0,0065 \cdot 489 \cdot 0,90^4}{11 \cdot 10^9 \cdot 2,667 \cdot 10^{-6}} = \boxed{0,000711 \text{ m} = 0,71 \text{ mm}}$$

✓ 3. FRECCIA DA CARICO CONCENTRATO IN MEZZERIA

Per una **campata interna** soggetta a **carico concentrato** P in mezzeria, si può usare la formula:

$$f_P = \frac{P \cdot L^3}{192 \cdot E \cdot I}$$

$$f_P = \frac{1000 \cdot 0,90^3}{192 \cdot 11 \cdot 10^9 \cdot 2,667 \cdot 10^{-6}} = \boxed{0,001294 \text{ m} = 1,29 \text{ mm}}$$

✓ 4. FRECCIA TOTALE

$$f_{tot} = f_q + f_P = 0,000711 + 0,001294 = \boxed{0,002005 \text{ m} = 2,01 \text{ mm}}$$

✓ 5. FRECCIA AMMISSIBILE

$$f_{amm} = \frac{L}{300} = \frac{0,90}{300} = \boxed{0,00300 \text{ m} = 3,00 \text{ mm}}$$

$$\frac{f_{tot}}{f_{amm}} = \frac{2,01}{3,00} = \boxed{0,67} \Rightarrow \checkmark \text{ Verificata}$$

✓ CONCLUSIONE

L'arcareccio:

- è **verificato** a deformabilità anche considerando **un carico concentrato in mezzzeria della campata centrale**
- la freccia **totale rimane entro i limiti** normativi di $L/300$