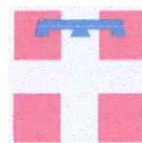


Regione PIEMONTE
Provincia di ALESSANDRIA



AZIENDA OSPEDALIERA NAZIONALE
ALESSANDRIA
**Santi ANTONIO e BIAGIO
e CESARE ARRIGO**
S.S.N. - Regione Piemonte



**REGIONE
PIEMONTE**

Progetto Definitivo, ai sensi del D.Lgs. 18 aprile 2016 n. 50 e s.m.i.

**INTERVENTO DI BONIFICA E SOSTITUZIONE TETTO
IN LASTRE DI CEMENTO AMIANTO OSPEDALE
INFANTILE C. ARRIGO E PREDISPOSIZIONE DI
INSTALLAZIONE IMPIANTO FOTOVOLTAICO**

in Spalto Marengo, 46 - Alessandria

Codice CIG Z2824F79B5

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO: *Arch. Claudio Pesce*

IL PROGETTISTA



Data	Aggiornamento	Firma		
30/01/2019	versione 01			
Elaborato				Elaborato
RELAZIONE DEI MATERIALI E DI CALCOLO STRUTTURALE				3
Relatori	File Word	Data	Pagine	
dott. Ing. Piero Marchisio	AQ08r015.doc	30/01/2019	1 di 63	

COMUNE DI ALESSANDRIA

PROVINCIA DI ALESSANDRIA

**PROGETTO DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DI PARTE DELLE
COPERTURE DELL'OSPEDALE INFANTILE "C. ARRIGO" CONSI-
STENTE NEL RIFACIMENTO DELLA COPERTURA CON MANTO DI
COPERTURA IN LASTRE DI CEMENTO-AMIANTO CON STRUTTURA
LIGNEA E MANTO IN PANNELLI SANDWICH**

RIFACIMENTO DELLA STRUTTURA DEL TETTO IN LEGNAME

RELAZIONE DEI MATERIALI E DI CALCOLO

Il Progettista della struttura

Allegati alla presenta relazione:

- n. 1 tavola grafica del tetto

Casale Monferrato, il 10 dicembre 2018

RELAZIONE DEI MATERIALI E DI CALCOLO

Premessa

Il sottoscritto dott. Ing. **MARCHISIO Piero**, iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di **Alessandria** al numero **A-1410**, dello "**Studio Tecnico MARCHISIO Ing. Piero**" con sede nel Comune di **Casale Monferrato (AL)**, in *Strada Valenza n. 4bis/L*, riceve l'incarico da parte del Direttore del Servizio Tecnico della struttura ospedaliera, dott. Ing. **PERACCHIO Alberto**, di procedere alla redazione del progetto definitivo che ricomprende il dimensionamento della struttura del tetto in legname, facente parte dell'intervento di manutenzione straordinaria di parte delle coperture dell'Ospedale Infantile "C. Arrigo" da realizzarsi nel Comune di **Alessandria (AL)**, in *Spalto Marengo n. 46*.

1 RELAZIONE DEI MATERIALI

Descrizione generale dell'opera

1.1 LOCALIZZAZIONE

Le opere di manutenzione straordinaria di parte delle coperture dell'Ospedale Infantile "C. Arrigo", oggetto della presente relazione, sono site nella zona del centro abitato sulla zona centrale dello Spalto Marengo al civico 46, nel Comune di **Alessandria**, in provincia di **Alessandria**, ad una quota di circa 95m s.l.m.m..

Il Comune di **Alessandria (AL)** è ubicato in zona sismica di 3^a categoria.

1.2 CLASSE DI IMPORTANZA E DESTINAZIONE

Le opere di manutenzione straordinaria di parte dello stabile, adibito ad ospedale infantile, sono caratterizzate da una vita utile nominale V_N di 100 anni; in presenza di azioni sismiche rientrano nella classe d'uso IV (costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti) ed il periodo di riferimento V_R si calcola attraverso la seguente relazione:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

dove C_U è il coefficiente d'uso in funzione della classe della costruzione.

Per la classe IV, il coefficiente d'uso C_U vale 2,0. Pertanto il periodo di riferimento per le azioni sismiche vale $V_R = 200$ anni.

1.3 TIPOLOGIA

Le opere di manutenzione straordinaria di parte delle coperture dello stabile, adibito ad Ospedale Infantile "C. Arrigo", sono costituite dal rifacimento della struttura del tetto in legname a seguito dell'intervento di bonifica del manto di copertura in lastre ondulate in cemento amianto con nuova struttura in abete massiccio e manto di copertura in pannelli sandwich.

In particolare, la struttura del tetto attuale è costituita da puntoni in legname massiccio con travi di colmo in conglomerato cementizio armato, che verrà sostituita con nuova struttura in legno, del tipo abete, lamellare; mentre la struttura secondaria del tetto sarà costituita da nuova listellatura in legno, del tipo abete massiccio, avente dimensioni 5x5cm, e manto di copertura in lastre di lamiera nervata, grecata, coibentata in fibra minerale.

Del complesso di fabbricati costituenti l'Ospedale Infantile "C. Arrigo" quelli oggetto d'intervento sono il centrale, di maggiori dimensioni, parte di quello d'ingresso e l'edificio che ospita la neuropsicologia. Il primo è costituito da un seminterrato e tre piani fuori terra; il secondo da un seminterrato ed un piano fuori terra; l'ultimo da un seminterrato e due piani fuori terra. La configurazione in pianta è di corpo diversi di forma irregolare tra di loro collegati o adiacenti.

La copertura dei fabbricati oggetto di intervento è inclinata con angolo pari ad $\alpha = 15^\circ$, pendenza di circa 27%.

La copertura dei fabbricati oggetto dell'intervento di manutenzione straordinaria ha una superficie complessiva pari a circa 3.170,25 m², dati dalle somme delle coperture dei tre distinti edifici rispettivamente pari a 1.968,15 m² per il fabbricato A, 411,00 m² per il fabbricato B e 791,10 m² per il fabbricato C.

Assumendo come quota 0,00 quella esterna del Piano Campagna (P.C.), risultano definite le seguenti quote per il fabbricato A oggetto di intervento:

- in gronda: +12,60m circa;
- al colmo: +15,40m circa.

Le altezze totali del fabbricato A, di dimensioni maggiori, risultano essere:

- dal Piano Campagna alla gronda: 12,60m;
- dal Piano Campagna al colmo: 15,40m.

Si vedano a tale proposito le tavole architettoniche del progetto delle opere di manutenzione straordinaria del fabbricato.

1.4 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI STRUTTURALI UTILIZZATI E MODALITÀ DI IMPIEGO

Nella esecuzione delle opere è prescritto l'impiego dei materiali di seguito definiti con le caratteristiche di produzione e di applicazione.

1.4.1 Legno

La struttura principale del tetto del fabbricato A sarà costituita da puntoni, compluvi, displuvi e parte di travi di colmo in legno lamellare GL 24 h; i puntoni avranno sezione 12x24cm, e dovranno essere posti ad interasse di 100cm circa, mentre i displuvi, i compluvi e parte delle travi di colmo avranno sezione pari a 20x24cm e 20x40cm.

La struttura principale del tetto del fabbricato B sarà costituita da puntoni, compluvi, displuvi e travi di colmo in legno lamellare GL 24 h; i puntoni avranno sezione 12x20cm, e dovranno essere posti ad interasse di 100cm circa, mentre i displuvi, i compluvi e le travi di colmo avranno sezione pari a 20x32cm.

La struttura principale del tetto del fabbricato C sarà costituita da puntoni, compluvi, displuvi e travi di colmo in legno lamellare GL 24 h; i puntoni avranno sezione 12x20cm, e dovranno essere posti ad interasse di 100cm circa, mentre i displuvi, i compluvi e le travi di colmo avranno sezione pari a 20x36cm.

I collegamenti tra elementi in legno sono garantiti dall'appoggio tra gli elementi stessi e dall'utilizzo di viti $\phi 8 \times 240$.

I parametri di resistenza e di rigidezza del materiale devono rientrare nelle tabelle di seguito riportate definenti i valori caratteristici.

Legno massiccio

Classi di resistenza		C 18
Resistenze in Mpa		
flessione	$f_{m,k}$	18
trazione parallela fibratura	$f_{t,0,k}$	11,0
trazione perpendicolare alla fibratura	$f_{t,90,k}$	0,50
compressione parallela alla fibratura	$f_{c,0,k}$	18
compressione perpendicolare alla fibratura	$f_{c,90,k}$	2,2
taglio	$f_{v,k}$	2,0
Modulo elastico in Gpa		
	$E_{0,mean}$	9,0
	$E_{0,05}$	6,0
	$E_{90,mean}$	0,30
	G_{mean}	0,56
Massa volumica in kg/m³		
massa volumica caratteristica	ρ_k	380

Legno lamellare

Classi di resistenza		GL 24h
Resistenze in Mpa		
flessione	$f_{m,k}$	18
trazione parallela fibratura	$f_{t,0,k}$	11,0
trazione perpendicolare alla fibratura	$f_{t,90,k}$	0,50
compressione parallela alla fibratura	$f_{c,0,k}$	18
compressione perpendicolare alla fibratura	$f_{c,90,k}$	2,2
taglio	$f_{v,k}$	2,0
Modulo elastico in Gpa		
	$E_{0,mean}$	9,0
	$E_{0,05}$	6,0
	$E_{90,mean}$	0,30
	G_{mean}	0,56
Massa volumica in kg/m³		
massa volumica caratteristica	ρ_k	380

1.4.1.1 Legno lamellare

Per elementi di legno lamellare incollato, sottoposti a flessione o a trazione parallelamente alla fibratura, che presentano un'altezza o, rispettivamente, una larghezza della sezione trasversale minore di 600 mm, i valori caratteristici $f_{m,k}$ e $f_{t,0,k}$ o indicati nel prospetto relativo sono aumentati tramite il coefficiente moltiplicativo k_h così definito:

$$k_h = \min [(600/h)^{0,2}; 1,15]$$

essendo h , in millimetri, l'altezza della sezione trasversale dell'elemento inflesso oppure la larghezza della sezione trasversale dell'elemento sottoposto a trazione.

1.4.1.2 Modello di calcolo

La verifica di resistenza è basata su un comportamento strutturale lineare sia per le relazioni tensioni deformazioni, sia per l'analisi delle sollecitazioni.

1.4.1.3 Classi di servizio e di durata del carico

In funzione della sensibilità del legno all'umidità ambientale e intrinseca, al fine delle caratteristiche resistenti si definisce la classe di servizio e ai fini delle caratteristiche deformative, la classe di durata del carico tramite gli opportuni coefficienti k_{mod} e k_{def} .

1.4.1.3.1 Classi di servizio

L'edificio è classificato in

classe di servizio 1

poiché caratterizzato da un'umidità dei materiali corrispondente a una temperatura di 20°C e un'umidità relativa dell'aria circostante che non supera il 65% per poche settimane l'anno (umidità media nel legno di conifera $\leq 12\%$).

Il coefficiente di correzione k_{mod} della resistenza è definito in funzione della classe di durata del carico, come indicato nella tabella seguente,

Classe di durata del carico	Durata cumulata del carico	Esempio di carico
Permanente	più di 10 anni	peso proprio
Lunga durata	da 6 mesi a 10 anni	carico esercizio di depositi, archivi, ecc
Media durata	da 1 settimana a 6 mesi	carico di esercizio in generale
Breve durata	meno di una settimana	neve* e vento
Istantaneo		sisma, eventi eccezionali
* in zone climatiche dove si registrano carichi di neve per periodi prolungati è opportuno considerare una parte del carico come di media durata.		

e il valore è desunto dalla tabella sotto riportata, ricordando che, se una combinazione di carico comprende azioni di differenti classi di durata di carico è opportuno scegliere un valore di k_{mod} che corrisponde all'azione di minore durata.

k_{mod} Legno massiccio, legno lamellare, compensato			
Classe durata carico	Classe di servizio		
	1	2	3
Permanente	0,60	0,60	0,50
Lunga durata	0,70	0,70	0,55
Media durata	0,80	0,80	0,65
Breve durata	0,90	0,90	0,70
Istantaneo	1,10	1,10	0,90

Pertanto nella scelta delle combinazioni di carico può essere opportuno considerare una combinazione che non tenga conto di carichi che presentano una durata breve per rispetto al carico permanente.

k_{def} Legno massiccio, legno lamellare, compensato			
Classe durata carico	Classe di servizio		
	1	2	3
Permanente	0,60	0,80	2,00

La deformazione a lungo termine, per tener conto del comportamento reologico del legno, è calcolata utilizzando i valori medi dei moduli elastici ridotti mediante il fattore

$$1/(1+k_{def})$$

con k_{def} riportato in tabella.

1.4.1.3.2 Valori resistenti

I valori resistenti del materiale vengono definiti come

$$f_{Rd} = k_{mod} \cdot f_k / \gamma_M$$

con

- combinazioni fondamentali
 - $\gamma_M = 1,3$ legno massiccio,
 - $\gamma_M = 1,25$ legno lamellare,
 - $\gamma_M = 1,3$ unioni,
- combinazioni eccezionali
 - $\gamma_M = 1,0$

1.4.2 Azioni considerate ai fini del dimensionamento strutturale

Sono considerate, agenti sulla struttura, le seguenti azioni:

- 1) pesi propri strutturali;
- 2) carichi permanenti portati dalla struttura;
- 3) carichi variabili agenti sulla struttura: neve, vento e sisma.

1.4.2.1 Pesi propri strutturali

Si considerano i seguenti pesi unitari strutturali:

TIPOLOGIA	$g_i(\text{daN/m}^3/\text{daN/m}^2)$
Peso proprio legno lamellare	380 daN/m ³
Peso proprio legno massiccio	400 daN/m ³

1.4.2.2 Carichi permanenti

Si considerano i seguenti carichi permanenti

- Peso proprio della copertura del fabbricato A con eventuale impianto fotovoltaico.

Il peso proprio della copertura del fabbricato A con l'eventuale installazione di impianto fotovoltaico è così composto:

pannelli fotovoltaici con relativa copertura	0,20 kN/m ²
manto di copertura in pannelli sandwich, spessore 15cm, in fibra minerale	<u>0,25 kN/m²</u>
TOTALE PESO COPERTURA FABBRICATO A con FV	0,45 kN/m ²

- Peso proprio della copertura del fabbricato A.

Il peso proprio della copertura del fabbricato A è così composto:

manto di copertura in pannelli sandwich, spessore 15cm, in fibra minerale	<u>0,25 kN/m²</u>
TOTALE PESO COPERTURA FABBRICATO A	0,25 kN/m ²

- Peso proprio dei puntoni – fabbricato A.

Il peso proprio dei puntoni della copertura del fabbricato A è così composto:

puntoni, dimensioni 12(B)x24(H), 400daN/mc 0,12 kN/m

Il peso complessivo dei puntoni, considerando un interasse di circa 100cm, sulla falda 18 è pari a 12,12kN. La superficie della falda18 del manto di copertura del fabbricato A è pari a circa 104,65m² e pertanto il peso dei puntoni distribuito sulla superficie della copertura vale 0,12kN/m².

- Peso proprio della copertura del fabbricato B.

Il peso proprio della copertura del fabbricato B è così composto:

manto di copertura in pannelli sandwich, spessore 15cm, in fibra minerale 0,25 kN/m²

TOTALE PESO COPERTURA FABBRICATO B 0,25 kN/m²

- Peso proprio dei puntoni – fabbricato B.

Il peso proprio dei puntoni della copertura del fabbricato B è così composto:

puntoni, dimensioni 12(B)x20(H), 400daN/mc 0,10 kN/m

Il peso complessivo dei puntoni, considerando un interasse di circa 100cm, sulla falda 2 è pari a 14,08kN. La superficie della falda18 del manto di copertura del fabbricato A è pari a circa 139,85m² e pertanto il peso dei puntoni distribuito sulla superficie della copertura vale 0,10kN/m².

- Peso proprio della copertura del fabbricato C.

Il peso proprio della copertura del fabbricato C è così composto:

manto di copertura in pannelli sandwich, spessore 15cm, in fibra minerale 0,25 kN/m²

TOTALE PESO COPERTURA FABBRICATO B 0,25 kN/m²

- Peso proprio dei puntoni – fabbricato C.

Il peso proprio dei puntoni della copertura del fabbricato C è così composto:

puntoni, dimensioni 12(B)x20(H), 400daN/mc 0,10 kN/m

Il peso complessivo dei puntoni, considerando un interasse di circa 100cm, sulla falda 12 è pari a 12,69kN. La superficie della falda12 del manto di copertura del fabbricato C è pari a circa 124,70m² e pertanto il peso dei puntoni distribuito sulla superficie della copertura vale 0,10kN/m².

1.4.2.3 Carichi variabili

Le azioni variabili dipendono dalla destinazione d'uso dell'opera. I modelli di tali azioni sono:

- Carichi uniformemente distribuiti q_k ;
- Carichi orizzontali lineari H_k , applicati alle pareti alla quota di 1,20m dal rispettivo piano di calpestio – ed a parapetti o mancorrenti – alla quota del bordo superiore;
- Carichi verticali concentrati Q_k applicati su impronte di carico di (50-50) mm, per rimesse e parcheggi su impronte di (200-200) mm distanti 1,60m.

I valori dei carichi caratteristici e/o nominali da utilizzare nel progetto, ricavati dalle norme tecniche in funzione della categoria dell'edificio, sono riportati in tabella 3.1. II delle N.T.C. 2018.

In questo specifico caso la copertura è soggetta solo alle azioni naturali del vento e della neve.

SOVRACCARICO NEVE

Il carico neve è calcolato secondo quanto indicato dalle "Norme Tecniche per le Costruzioni" e s.m.i., capitolo 3.4., paragrafo 3.4.1. mediante la seguente espressione:

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot c_E \cdot c_t$$

dove:

q_s è il carico neve sulla copertura (copertura del fabbricato);

μ_i è il coefficiente di forma della copertura;

q_{sk} è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [kN/m²] per un periodo di ritorno di 50 anni;

c_E è il coefficiente di esposizione;

c_t è il coefficiente termico.

Si ipotizza che il carico agisca in direzione verticale e lo si riferisce alla proiezione orizzontale della superficie della copertura del fabbricato.

Essendo l'opera da realizzare in provincia di Alessandria, in **"Zona I – Mediterranea"**, ad un'altitudine a_s (quota del suolo sul livello medio del mare) inferiore ad $a_s < 200$ m, infatti si trova a quota di 95m s.l.m.m. circa, come si evince anche dall'estratto della carta tecnica regionale, si ricava dalle Norme Tecniche la relazione per determinare il valore di q_{sk} :

$$q_{sk} = 1,50 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Ai sensi del paragrafo 3.4.3. si ricava che il coefficiente di esposizione vale $c_E = 1$; così come si assume per il coefficiente termico il valore di $c_t = 1$ desunto dal paragrafo 3.4.4.

La copertura del fabbricato è inclinata con inclinazione sull'orizzontale pari a circa 15°, pertanto rientra nell'intervallo compreso tra $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$, il coefficiente μ_i viene assunto pari a 0,8, ai sensi del paragrafo 3.4.5.

Si assume che la neve non sia impedita di scivolare.

Si devono considerare le condizioni riportate nel seguito, le quali devono essere utilizzate per entrambi i casi di carico con o senza vento.

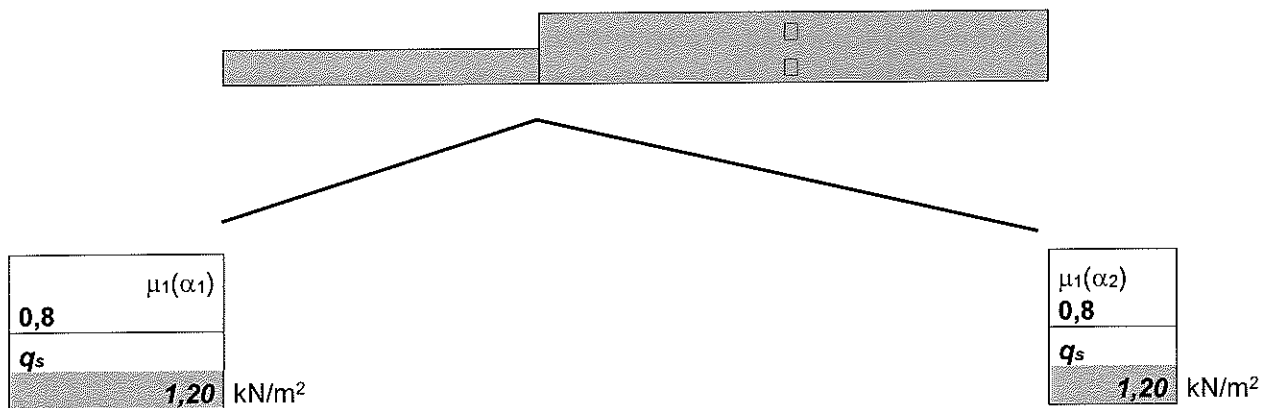
Di conseguenza, sostituendo tutti i valori sopra descritti nella relazione si ottiene per la copertura del fabbricato:

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk}(50) \cdot c_E \cdot c_t = 0,80 \cdot 1,50 \cdot 1 \cdot 1 = 1,20 \text{ kN} / \text{m}^2$$

CASI DA CONSIDERARE PER IL CARICO NEVE

COPERTURA A DUE FALDE

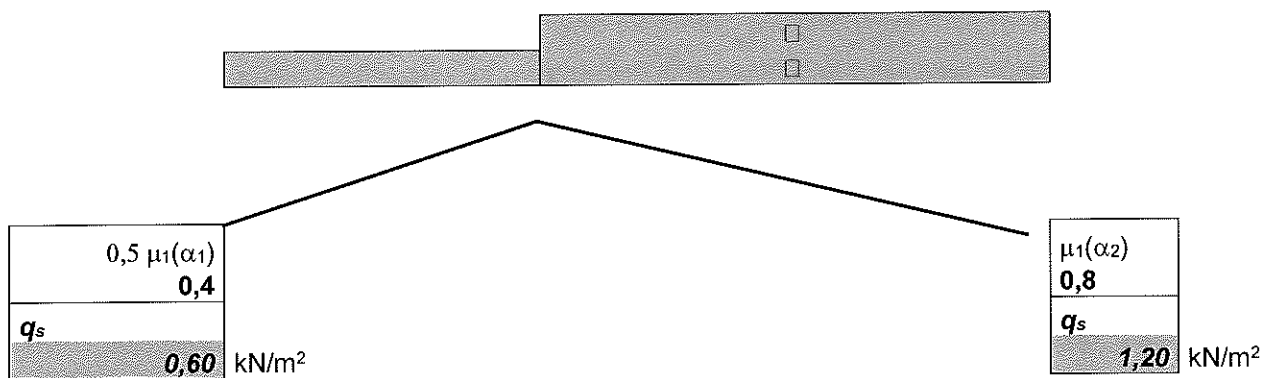
Carico da neve senza vento: CASO I



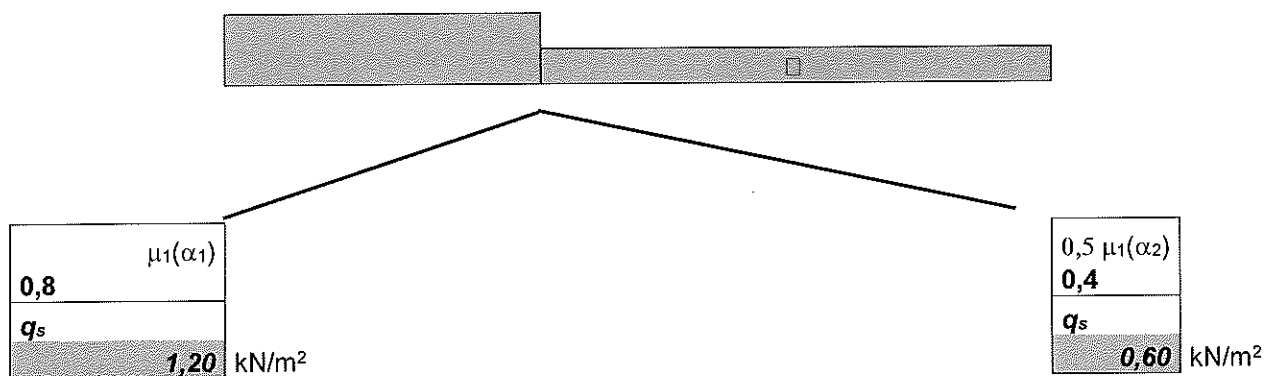
Carico da neve con vento:

Si deve considerare la peggiore tra le condizioni CASO II e CASO III.

CASO II



CASO III



SOVRACCARICO VENTO

Il vento, la cui direzione si considera generalmente orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando, in generale, effetti dinamici.

Per le costruzioni usuali tali azioni sono convenzionalmente ricondotte alle azioni statiche equivalenti.

L'edificio in ampliamento può essere considerato come avente *"configurazione e tipologia strutturale ordinaria, semplice o di limitata estensione"*, ed essere *"poco sensibile all'azione dinamica del vento"*. In tale situazione è possibile descrivere le azioni indotte dal vento *"attraverso sistemi di forze o di pressioni i cui effetti siano equivalenti a quelli del vento turbolento, considerando di regola la direzione orizzontale ed utilizzando la formulazione quasi – statica equivalente"*.

L'azione quasi – statica equivalente si ottiene moltiplicando la pressione del vento $p(z)$, legata alla pressione cinetica di riferimento q_b ed alla velocità di riferimento del vento v_b , per l'area su cui la pressione è applicata, tenendo conto:

- per la velocità v_b , dei parametri che caratterizzano il sito dell'opera (zona geografica, effetti locali legati all'ubicazione del sito e all'altezza dal suolo degli elementi della costruzione);
- per la pressione del vento $p(z)$, dei parametri che caratterizzano la tipologia strutturale ed il tipo di opera (coefficienti di esposizione, di forma e dinamico).

Si parte dal calcolo della velocità di riferimento del vento v_b , definita come il valore caratteristico della velocità del vento a 10m dal suolo su un terreno di categoria di esposizione II, mediata su 10 minuti e riferita ad un periodo di ritorno di 50 anni.

Tutte le località del Nord Italia (escluse Liguria, Emilia Romagna e la provincia di Trieste) a quota minore di 1000m sono classificate dalle Norme Tecniche nella zona geografica I. Per tale zona è $v_{b,0} = 25\text{m/sec}$, $a_0 = 1000\text{m}$ e $k_a = 0,01 \text{ 1/sec}$.

Il valore della velocità di riferimento del vento v_b si determina attraverso la seguente relazione:

$$\begin{aligned} v_b &= v_{b,0} && \text{per } a_s \leq a_0; \\ v_b &= v_{b,0} + k_a \cdot (a_s - a_0) && \text{per } a_0 < a_s \leq 1500\text{m}; \end{aligned}$$

dove

$v_{b,0}$, a_0 , k_a sono parametri legati alla regione in cui sorge la costruzione in esame, in funzione delle zone geografiche;

a_s è l'altitudine sul livello del mare (in m) del sito ove sorge la costruzione, in questo caso 95m circa.

Nota la velocità di riferimento del vento v_b si determina la pressione cinetica di riferimento q_b attraverso la relazione:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2$$

dove

v_b è la velocità di riferimento del vento;

ρ è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a $1,25 \text{ daN/m}^3$. Pertanto si ottiene:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 \cdot \frac{1}{10} = 39,06 \text{ daN/m}^2$$

Nota la pressione cinetica di riferimento q_b si determina la pressione del vento attraverso la relazione:

$$p = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$$

dove

q_b è la pressione cinetica di riferimento;

c_e è il coefficiente di esposizione;

c_p è il coefficiente di forma (o coeff. aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento;

c_d è il coefficiente dinamico con cui si tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali.

L'azione tangente per unità di superficie parallela alla direzione del vento è data dall'espressione:

$$p_f = q_b \cdot c_e \cdot c_f$$

dove

c_f è il coefficiente d'attrito, funzione della scabrezza della superficie sulla quale il vento esercita l'azione tangente (0,04 coefficiente di attrito per il calcestruzzo).

Il coefficiente di esposizione c_e dipende dall'altezza z sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno, e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione. In assenza di analisi specifiche che tengano in conto la direzione di provenienza del vento e l'effettiva scabrezza e topografia del terreno che circonda la costruzione, esso è dato dalla relazione:

$$\begin{aligned} c_e(z) &= k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln \frac{z}{z_0} \cdot \left[7 + c_t \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \right] && \text{per } z \geq z_{\min} \\ c_e(z) &= c_e(z_{\min}) && \text{per } z < z_{\min} \end{aligned}$$

dove

k_r , z_0 , z_{\min} sono parametri funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione;

c_t coefficiente di topografia, assunto nelle Norme Tecniche con valore $c_t = 1$ per le zone pianeggianti, per quelle ondulate, collinose e montane.

Si nota che il coefficiente di esposizione $c_e(z)$ definisce il "profilo" della pressione del vento in funzione della quota (z) dal suolo. Tale profilo ha due andamenti: in un primo tratto, fino a una quota z_{\min} in prossimità del suolo, il profilo della pressione è costante, al di sopra della quota z_{\min} il profilo della pressione ha andamento crescente con z .

Si definisce la "**classe di rugosità del terreno**" variabile in funzione della presenza più o meno diffusa di ostacoli che possano ridurre, in prossimità del suolo e nell'intorno della struttura, la velocità del vento. Per una costruzione edificata in un'area urbana in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15m si adotta la classe di rugosità A.

In funzione della classe di rugosità (A), della zona geografica, della distanza dal mare e dell'altezza sul livello del mare si individua una "**categoria di esposizione**" del sito, classificata come una di cinque categorie, dalla categoria I (più severa) alla categoria V (meno severa).

Per il fabbricato in oggetto sono: classe di rugosità A, zona geografica 1, $H < 500\text{m s.l.m.m.}$, distanza dal mare maggiore di 30 km. Il sito risulta nella categoria di esposizione V, i valori dei parametri per la definizione del coefficiente di esposizione sono: $k_r = 0,23$ $z_0 = 0,70\text{m}$ $z_{\min} = 12\text{m}$

Nel caso poi dell'edificio in esame dalle caratteristiche geometriche dell'edificio principale (fabbricato A) si è in grado di definire le seguenti grandezze:

- $z_{\text{gronda}} = 12,60\text{m}$ la quota di gronda della costruzione (fabbricato A);

- $h^* = 14,00\text{m}$ la quota altimetrica convenzionale pari alla quota del baricentro della copertura della costruzione (essendo la copertura inclinata);
- $z_{\text{colmo}} = 15,40\text{m}$ la quota del colmo della copertura della costruzione (fabbricato A).

Si è pertanto in grado di determinare il coefficiente di esposizione al variare dell'altezza dell'edificio:

z (m)	$c_e(z)$
12,00	1,48
12,60	1,51
14,00	1,58
15,40	1,65

Noto il coefficiente di esposizione $c_e(z)$, al variare della quota, si può determinare la pressione del vento p e la pressione tangente p_r :

z (m)	$c_e(z)$	p (daN/m ²)	p_r (daN/m ²)
12,00	1,48	57,81	2,31
12,60	1,51	58,98	2,36
14,00	1,58	61,71	2,47
15,40	1,65	64,45	2,58

Le azioni statiche del vento sono costituite da pressioni e depressioni agenti normalmente alle superfici, sia esterne che interne, degli elementi che compongono la costruzione.

L'azione del vento sul singolo elemento viene determinata considerando la combinazione più gravosa della pressione agente sulla superficie esterna e della pressione agente sulla superficie interna dell'elemento.

L'edificio, adibito a civile abitazione, è da considerarsi come non stagno.

Le azioni statiche equivalenti del vento, agenti normalmente sulle superfici, sono conseguenti all'azione contemporanea di:

$$w_e = c_{pe} \cdot c_d \cdot p$$

$$w_i = c_{pi} \cdot c_d \cdot p$$

con

$$c_p = c_{pe} + c_{pi}$$

e

$c_{pi} = 0,00$ coeff. di pressione interna per edificio reso stagno;

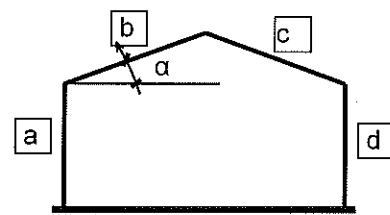
$c_{pi} = +0,20$ coeff. di pressione interna per edificio non stagno;

c_{pe} è il coeff. di pressione esterna;

I valori dei coeff. di pressione sia interna che esterna si ricavano in funzione della geometria dell'elemento considerato (inclinazione sull'orizzontale).

I valori del coeff. di pressione esterna si ricavano attraverso la seguente tabella:

$\alpha \geq 60^\circ$	$20^\circ < \alpha < 60^\circ$	$0^\circ \leq \alpha < 20^\circ$
0,80	$+ 0,03 \times \alpha - 1$	-0,40



Le falde di copertura del tetto hanno un inclinazione pari ad $\alpha = 20,3^\circ$.

Pertanto i valori del coeff. di pressione sono raccolti in tabella:

	$C_{p,a}$	$C_{p,b}$	$C_{p,c}$	$C_{p,d}$
$c_{pi} = 0$ (stagno)	+0,80	-0,39	-0,39	-0,80
$c_{pi} = -0,20$ (non stagno)	+0,60	-0,59	-0,59	-1,00
$c_{pi} = +0,20$ (non stagno)	+1,00	-0,19	-0,19	-0,60

Cui seguono i valori dell'azione del vento:

$$w_{v,i} = c_{p,i} \cdot P$$

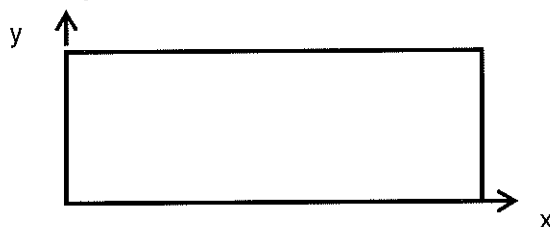
I cui valori numerici per le singole superfici e per le combinazioni pressione-depressione interna sono raccolti in tabella seguente:

	$w_{v,a}$	$w_{v,b}$	$w_{v,c}$	$w_{v,d}$
	(daN/m ²)	(daN/m ²)	(daN/m ²)	(daN/m ²)
$c_{pi} = 0$	47,18	-24,13	-24,13	-47,18
$c_{pi} = -0,20$	35,39	-36,47	-36,47	-58,98
$c_{pi} = +0,20$	58,96	-11,79	-11,79	-35,39

in grassetto è indicata la combinazione più sfavorevole.

"L'azione di insieme esercitata dal vento su una costruzione è data dalla risultante delle azioni agenti sui singoli elementi considerando di regola, come direzione del vento, quella corrispondente a una degli assi principali della costruzione alla volta".

Si assumono gli assi di riferimento x,y:



Il vento agisce in direzione perpendicolare agli elementi di parete o di copertura esercitando pressioni (positive) e depressioni (negative) a seconda della posizione degli elementi (sopravento o sottovento, interni o esterni) e della loro inclinazione rispetto all'orizzontale.

2 RELAZIONE DI CALCOLO

Il sottoscritto dott. Ing. **MARCHISIO Piero**, iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di **Alessandria** al numero **A-1410**, dello "**Studio Tecnico MARCHISIO Ing. Piero**" con sede nel Comune di **Casale Monferrato (AL)**, in **Strada Valenza n. 4bis/L**, riceve l'incarico da parte del Direttore del Servizio Tecnico della struttura ospedaliera, dott. Ing. **PERACCHIO Alberto**, di procedere alla redazione del progetto definitivo che ricomprende il dimensionamento della struttura del tetto in legname, facente parte dell'intervento di manutenzione straordinaria di parte delle coperture dell'Ospedale Infantile "C. Arrigo" da realizzarsi nel Comune di **Alessandria (AL)**, in **Spalto Marengo n. 46**.

2.1 SOMMARIO DELLE AZIONI (PESO PROPRIO, CARICHI PERMANENTI E VARIABILI)

In seguito alla determinazione delle azioni agenti sulla struttura, indicate nella relazione generale e dei materiali allegata alla presente relazione di calcolo, si è in grado di presentare un sommario dei carichi agenti sulla struttura. Tutti i valori di tabella sono valori caratteristici considerati in proiezione orizzontale.

1a) COPERTURA FABBRICATO A con FOTOVOLTAICO		Intensità	Totale
G _{k0}	peso proprio	0,45	0,25 kN/m²
Q _{k1}	carico neve	1,20	1,20 kN/m²
Q _{k2}	carico vento	0,36	0,36 kN/m²
G _{k1}	peso proprio puntoni	0,12	0,12 kN/m²

1b) COPERTURA FABBRICATO A		Intensità	Totale
G _{k0}	peso proprio	0,25	0,25 kN/m²
Q _{k1}	carico neve	1,20	1,20 kN/m²
Q _{k2}	carico vento	0,36	0,36 kN/m²
G _{k1}	peso proprio puntoni	0,12	0,12 kN/m²

2) COPERTURA FABBRICATO B		Intensità	Totale
G _{k0}	peso proprio	0,25	0,25 kN/m²
Q _{k1}	carico neve	1,20	1,20 kN/m²
Q _{k2}	carico vento	0,36	0,36 kN/m²
G _{k1}	peso proprio puntoni	0,10	0,12 kN/m²

3) COPERTURA FABBRICATO C		Intensità	Totale
G _{k0}	peso proprio	0,25	0,25 kN/m²
Q _{k1}	carico neve	1,20	1,20 kN/m²
Q _{k2}	carico vento	0,36	0,36 kN/m²
G _{k1}	peso proprio puntoni	0,10	0,12 kN/m²

2.2 COMBINAZIONE DELLE AZIONI

Le azioni che possono agire sulla struttura sono numerose e in generale la presenza di una azione non implica necessariamente la presenza o l'esclusione di altre azioni: le azioni variabili, considerate tra loro indipendenti possono manifestarsi anche contemporaneamente, ma la probabilità della presenza contemporanea di azioni variabili aventi tutte intensità significative è ovviamente ridotta.

Le azioni devono essere combinate in uno scenario di carico che massimizzi gli effetti sulla struttura. Una azione variabile non deve mai essere presa in considerazione se, in una data combinazione di carico, ha effetto "favorevole", cioè riduce l'effetto di carico (sollecitazione, deformazione, tensione, etc.) in esame.

Nel caso di strutture non precomprese le combinazioni da utilizzare sono:

per gli SLU la combinazione:

FONDAMENTALE

$$E_d = E \left\{ \sum_i \gamma_{G,i} G_{k,i} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \right\}$$

I coefficienti moltiplicativi delle azioni sono:

Effetto	γ_G	γ_Q
Favorevole	1,0	0
Sfavorevole	1,4	1,5

Nel caso di più azioni variabili tutte peggiorative dell'effetto di carico in esame, per tenere conto della ridotta probabilità che esse siano tutte contemporaneamente presenti con il valore caratteristico si assume il valore caratteristico dell'azione che fornisce il contributo più significativo e, per le altre, valori ridotti (valori di combinazione) ottenuti moltiplicando il valore caratteristico di ciascuna per il suo coefficiente di combinazione ψ_0 .

Per gli SLE le combinazioni:

RARA

$$E_d = E \left\{ \sum_i G_{k,i} + Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \right\}$$

Il carico variabile che fornisce il contributo più significativo è preso con il valore caratteristico, i carichi che lo accompagnano con i valori di combinazione;

QUASI PERMANENTE

$$E_d = E \left\{ \sum_i G_{k,i} + \sum_i \psi_{2,i} Q_{k,i} \right\}$$

Tutti i carichi variabili sono ridotti moltiplicandoli per il rispettivo coefficiente. I valori dei coefficienti ψ_0 e ψ_2 sono riportati in tabella.

Categoria	Carico	$\psi_{0,i}$	$\psi_{1,i}$	$\psi_{2,i}$
A	Ambienti ad uso residenziale	0,70	0,50	0,30
B	Uffici	0,70	0,50	0,30
C	Ambienti suscettibili di affollamento	0,70	0,70	0,60
D	Ambienti ad uso commerciale	0,70	0,70	0,60

E	Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,00	0,90	0,80
F	Rimesse e parcheggi (peso <30kN)	0,70	0,70	0,60
G	Rimesse e parcheggi (peso >30kN)	0,70	0,50	0,30
H	Coperture	0,00	0,00	0,00
	Vento	0,60	0,20	0,00
	Neve (a quota < 1000m s.l.m.)	0,50	0,20	0,00
	Neve (a quota > 1000m s.l.m.)	0,70	0,50	0,20
	Variazioni termiche	0,60	0,50	0,00

2.3 *DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DELLA STRUTTURA DEL TETTO*

Si riporta nel seguito il dimensionamento e la verifica della struttura primaria del tetto, dei fabbricati A, B e C, adibito ad ospedale infantile, in particolare degli elementi principali costituenti le coperture.

DIMENSIONAMENTO E VERIFICA COPERTURA OSPEDALE INFANTILE "C. ARRIGO"

COPERTURA FABBRICATO A: puntoni falda 2, 4 e 6 con fotovoltaico

Riferimento: Catasto Fabbricati Foglio n., particella n.

I puntoni sono realizzati in legno LAMELLARE GL 24.

$i = 26,5\%$
 $\alpha = 14,8^\circ$ pendenza falde di copertura

dati di progetto
riferimenti da modificare

PUNTONI

Caratteristiche del profilo

b	h	A	J_y	W_y	J_z	W_z	ρ_k	peso
(mm)	(mm)	(mm ²)	(cm ⁴)	(cm ³)	(cm ⁴)	(cm ³)	(kN/m ³)	(kN/m)
120	240	28800	13824	1152	3456	576	3,80	0,11

Caratteristiche del materiale

Legno LAMELLARE GL 24.

Azioni e classi di durata del carico

$g_l = 0,45 \text{ kN/m}^2$ $k_{mod} = 0,60$ peso proprio manto di copertura
 $q_n = 1,20 \text{ kN/m}^2$ $k_{mod} = 0,90$ carico neve
 $w_{v,l} = -0,36 \text{ kN/m}^2$ $k_{mod} = 0,90$ azione del vento

Schema statico

Si assume lo schema di trave appoggiata per semplicità di calcolo, poiché è anche a favore di sicurezza.

I puntoni sono disposti sulla verticale, gli assi d'inerzia pure, di conseguenza tutti i carichi gravitazionali inducono flessione semplice. L'azione del vento ortogonale alla falda induce solo azione nel piano forte.

Le caratteristiche geometriche dei puntoni sono:

$l = 6,80 \text{ m}$ luce di calcolo massima
 $i = 1,00 \text{ m}$ interasse di competenza

Componenti unitarie delle azioni perpendicolari e parallele al piano dei puntoni

- copertura:

$g_{l,0} = 0,45 \text{ kN/m}^2$
 $g_{l,p} = 0,00 \text{ kN/m}^2$

- neve:

$q_{n,0} = q_n \cos \alpha = 1,16 \text{ kN/m}^2$
 $q_{n,p} = 0,00 \text{ kN/m}^2$

- vento:

$w_{v,0} = 0,00 \text{ kN/m}^2$
 $w_{v,p} = -0,36 \text{ kN/m}^2$

Azioni perpendicolari e parallele al piano dei puntoni

- copertura:

$g_{l,0} = g_{l,0} i$ $0,45 \text{ kN/m}$
 $g_{l,p} = g_{l,p} i$ $0,00 \text{ kN/m}$

- neve:

$q_{n,0} = q_{n,0} i$ $1,16 \text{ kN/m}$
 $q_{n,p} = q_{n,p} i$ $0,00 \text{ kN/m}$

- vento:

$w_{v,0} = w_{v,0} i$ $0,00 \text{ kN/m}$
 $w_{v,p} = w_{v,p} i$ $-0,36 \text{ kN/m}$

S.L.U.

La formulazione per la verifica allo stato limite ultimo, nel caso specifico, per la presenza di un singolo carico variabile indipendente è:

$$q_{S,c} = \gamma_G G_G + \gamma_Q G_Q$$

che porta a due condizioni di carico schematicamente individuate nella tabella seguente:

	1	2	3	4	5	azione principale
caso	pesi fissi	neve	vento	manut.	k_{mod}	
1	1,4	1,5	0,0	0,0	0,9	neve
2	1,4	0,0	1,5	0,0	0,9	vento

$$\gamma_M = 1,25 \text{ coeff. del materiale}$$

Se l'altezza della sezione h è inferiore a 600mm, si possono aumentare i valori caratteristici $f_{m,k}$ e $f_{t,0,k}$

del coeff. moltiplicativo

$$k_h = \min(600/h)^{0,2}; 1,15 = 1,20 \quad 1,15 = 1,15$$

Risulta

$$f_{Rd} = k_h k_{mod} f_{k}/\gamma_M$$

Si riportano i valori significativi in tabella

Classi di resistenza	GL 24		k_{mod} 0,90	
Resistenze in Mpa			f_{Rd}	
flessione	$f_{m,k}$	24,00	$f_{m,d}$	19,9
trazione II fibratura	$f_{t,0,k}$	16,50	$f_{t,0,d}$	13,7
trazione T fibratura	$f_{t,90,k}$	0,40	$f_{t,90,d}$	0,3
compressione II fibratura	$f_{c,0,k}$	24,00	$f_{c,0,d}$	19,9
compressione T fibratura	$f_{c,90,k}$	2,70	$f_{c,90,d}$	2,2
taglio	$f_{v,k}$	2,70	$f_{v,d}$	2,2
Modulo elastico in Gpa				
	$E_{0,mean}$	11,60		
	$E_{0,05}$	9,40		
	$E_{90,mean}$	0,39		
	G_{mean}	0,72		
Massa volumica in kN/m^3				
massa volumica caratteristica	ρ_k	3,80		

Verifiche

A) Di resistenza

Caso 1

Le sollecitazioni e le tensioni sono

- Sollecitazioni e tensioni sul piano perpendicolare i puntoni

$$q_{1,Sd,0} = \gamma_G g_{l,0} + \gamma_Q q_{n,0} = 2,37 \text{ kN/m}$$

$$M_{1,Sd,0} = q_{a,Sd,0} l^2/8 = 13,70 \text{ kNm}$$

$$V_{1,Sd,0} = q_{a,Sd,0} l/2 = 8,06 \text{ kN}$$

$$\sigma_{1m,y,d} = M_{1,Sd,0}/W_y = 11,89 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{1m,y,d} = 1,5 V_{1,Sd,0}/A = 0,42 \text{ N/mm}^2$$

- Sollecitazioni e tensioni sul piano parallelo i puntoni

$$q_{1,Sd,p} = \gamma_G g_{l,p} + \gamma_Q q_{n,p} = 0,00 \text{ kN/m}$$

$$M_{1,Sd,p} = q_{a,Sd,p} l^2/8 = 0,00 \text{ kNm}$$

$$V_{1,Sd,p} = q_{a,Sd,p} l/2 = 0,00 \text{ kN}$$

$$\sigma_{1m,z,d} = M_{1,Sd,p}/W_z = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{1m,z,d} = 1,5 V_{1,Sd,p}/A = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

- Verifica tensioni tangenziali

Deve essere verificata la relazione

$$(\tau_{1m,y,d}^2 + \tau_{1m,z,d}^2)^{0,5} / f_{v,d} = 0,19$$

<1 VERIFICATO

- Verifica azioni flettenti

Considerato $k_m = 0,70$ per la sezione rettangolare

devono essere verificate le relazioni

$$k_m (\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d}) = 0,42$$

<1 VERIFICATO

$$(\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + k_m (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d}) = 0,60$$

<1 VERIFICATO

Si riportano in tabella le sollecitazioni e le tensioni nei casi 1 e 2:

	$q_{1,Sd,0}$	$M_{1,Sd,0}$	$V_{1,Sd,0}$	$\sigma_{1m,y,d}$	$\tau_{1m,y,d}$	$q_{1,Sd,p}$	$M_{1,Sd,p}$	$V_{1,Sd,p}$	$\sigma_{1m,z,d}$	$\tau_{1m,z,d}$
	(kN/m)	(kNm)	(kN)	(N/mm ²)	(N/mm)	(kN/m)	(kNm)	(kN)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
caso 1 - NEVE	2,37	13,70	8,06	11,89	0,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
caso 2 - VENTO	0,63	3,64	2,14	3,16	0,11	-0,54	-3,12	-1,84	-5,42	-0,10

Verifiche dei casi 1 e 2

	$(\tau_{1m,y,d}^2 + \tau_{1m,z,d}^2)^{0,5} / f_{v,d}$	$k_m (\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d})$	$(\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + k_m (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d})$
caso 1 - NEVE	0,19	0,42	0,6
caso 2 - VENTO	0,07	-0,16	-0,03

A) Di stabilità

L'elemento è vincolato all'estradosso, per l'azione di depressione del vento l'intradosso è compresso; e poiché è possibile che possa essere soggetto all'instabilità per svergolamento deve essere verificato nei confronti di questo fenomeno. I calcoli sono relativi al caso 2 - VENTO.

La verifica va effettuata con il criterio:

1) definizione della tensione critica di svergolamento che, utilizzando l'espressione di Prandtl-Michell, assume la forma:

$$\sigma_{m,crit} = M_{y,crit} / W_y = \pi (E_{0,05} J_z G_{0,05} J_{tor})^{0,5} / (l_{ef} W_y)$$

questa formula, per asta prismatica rettangolare, può essere scritta:

$$\sigma_{m,crit} = \pi b^2 E_{0,05} (G_{mean} / E_{0,mean})^{0,5} / (l_{ef} h)$$

dove, con approssimazione ingegneristicamente accettabile, per travi alte:

$$l_{ef} = l / (a_1 (1 - a_2 a_z / (2 l)) (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5})$$

con

a_z quota di applicazione del carico per rispetto al centro di taglio della sezione, negativa se il carico è a livello superiore.

a_1, a_2 ricavabili da tabella. $a_1 = 1,13$ $a_2 = 1,44$

2) definizione della snellezza ridotta a flessione

$$\lambda_{rel,m} = (f_{m,k} / \sigma_{m,crit})^{0,5} = (l_{ef} h f_{m,k} / (\pi b^2 E_{0,05} (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5}))^{0,5}$$

3) definizione di k_{crit} coeff. di riduzione della tensione resistente di calcolo

$$k_{crit} = 1 \quad \text{per} \quad \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} \quad \text{per} \quad 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,4$$

$$k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 \quad \text{per} \quad 1,4 < \lambda_{rel,m}$$

4) deve risultare

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d}$$

Allora sostituendo all'interno delle relazioni si ottiene:

$$l_{ef} = l / (a_1 (1 - a_2 a_z / (2 l)) (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5}) = 573$$

$$\lambda_{rel,m} = (l_{ef} h f_{m,k} / (\pi b^2 E_{0,05} (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5}))^{0,5} = 1,77$$

è

$$\lambda_{rel,m} = 1,77 < 0,75 \quad \text{Irel,m} \leq 0,75 \quad \text{FALSO} \quad \text{se VERO} \quad k_{crit} = 1$$

$$\lambda_{rel,m} = 1,77 > 1,40 \quad \text{Irel,m} > 1,40 \quad \text{VERO} \quad \text{se VERO} \quad k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 = 0,32$$

$$k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 = 0,32 \quad \text{ALTRIMENTI} \quad k_{crit} = 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} = 0,23$$

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d} = \sigma_{m,d} = 5,42 \quad k_{crit} f_{m,d} = 6,37 \text{ N/mm}^2$$

sm,d < kcrit fm,d VERIFICATO

S.L.E.

La combinazione dei carichi che definisce la deformazione è

$$\Sigma G_{k,i} + Q_{k,1} + \Sigma \psi_{1,i} Q_{k,i}$$

i cui valori dei coeff. da utilizzare sono:

azione	$\Psi_{0,i}$	$\Psi_{1,i}$	$\Psi_{2,i}$
magazzini, depositi	0,7	0,9	0,6
vento	0,7	0,2	0,0
neve	0,7	0,3	0,0

Deformazioni

Nelle strutture in legno la componente di deformazione per taglio può essere significativa, pertanto è bene considerare il contributo del taglio alla deformazione.

Per la trave semplicemente appoggiata il coeff. di incremento di freccia dovuto al contributo del taglio riferito alla sola deformata flessionale può essere espresso come:

$$\phi = 1 + f_{\text{taglio}}/f_{\text{fless}} = 1 + 0,96 (E_{0,\text{mean}}/G_{\text{mean}}) (h/l)^2 = 1,02$$

I termini componenti la freccia sono:

u_0 = contrefreccia (se realizzata),

u_1 = freccia dovuta ai carichi permanenti,

u_2 = freccia dovuta ai carichi variabili,

ed è

$$u_{\text{net}} = u_1 + u_2 - u_0$$

Le caratteristiche reologiche del legno hanno una grande importanza nella definizione del comportamento nel tempo, pertanto è necessario considerare oltre alla deformata istantanea u_{ist} , quella differita nel tempo

u_{fin} per gli effetti dei carichi di lunga durata, individuata dalla combinazione di carico quasi permanente,

nella forma:

$$u_{\text{fin}} = u_{\text{ist}} + u_{\text{dif}}$$

dove la u_{dif} è definita mediante k_{def} , funzione del tipo di materiale, della durata del carico e della classe di servizio. I valori di k_{def} sono riportati in tabella seguente:

k_{def} per legno massiccio e lamellare			
classe di durata del carico	classe di servizio		
	1	2	3
permanente	0,60	0,80	2,00
lunga durata	0,50	0,50	1,50
media durata	0,25	0,25	0,75
breve durata	0,00	0,00	0,30

Sono:

$$u_{\text{fin,G}} = u_{\text{ist,G}} (1 + k_{\text{def}})$$

$$u_{\text{fin,Q}} = u_{\text{ist,Q}} (1 + \Psi_{1,i} k_{\text{def}})$$

L'EC5 suggerisce le seguenti limitazioni di freccia:

- freccia istantanea

$$u_{2,\text{ist}} \leq L/300 \quad (\text{trave a mensola } L/150)$$

L è la luce libera della trave appoggiata oppure la lunghezza della mensola.

- freccia finale

$$u_{2,\text{fin}} \leq L/200 \quad (\text{trave a mensola } L/100)$$

$$u_{\text{net,fin}} \leq L/200 \quad (\text{trave a mensola } L/100)$$

In questo caso poiché la copertura superiore è fissata all'estradosso delle smezzole ne impedisce la traslazione parallelamente alla falda, l'unica componente di deformazione è quella parallela all'asse z . Risultano pertanto le deformazioni:

$$u_{\text{ist,G}} = \phi 5 g_{l,0} l^4 / (384 E_{0,\text{mean}} J_y) = 8,0 \text{ mm}$$

$$u_{\text{ist,Q}} = \phi 5 q_{n,0} l^4 / (384 E_{0,\text{mean}} J_y) = 20,5 \text{ mm}$$

quindi

$$u_{\text{fin,G}} = u_{\text{ist,G}} (1 + k_{\text{def}}) = 12,8 \text{ mm}$$

$$u_{\text{fin,Q}} = u_{\text{ist,Q}} (1 + \Psi_1 k_{\text{def}}) = 20,5 \text{ mm}$$

e la freccia totale finale a lungo termine è:

$$u_{\text{fin,tot}} = u_{\text{fin,G}} + u_{\text{fin,Q}} = 33,3 \text{ mm}$$

questi valori devono essere confrontati con quelli consentiti che sono:

$$\delta_{2,\text{ist}} = l/300 = 22,7 \text{ mm} \quad \text{VERIFICATO}$$

$$\delta_{2,\text{fin}} = l/200 = 34,0 \text{ mm} \quad \text{VERIFICATO}$$

DIMENSIONAMENTO E VERIFICA COPERTURA OSPEDALE INFANTILE "C. ARRIGO"

COPERTURA FABBRICATO A: puntoni falda 1, 7, 11, 14, 16 e 18

Riferimento: Catasto Fabbricati Foglio n., particella n.

I puntoni sono realizzati in legno LAMELLARE GL 24.

$i = 26,5\%$

$\alpha = 14,8^\circ$ pendenza falde di copertura

dati di progetto
riferimenti da modificare

PUNTONI

Caratteristiche del profilo

b	h	A	J_y	W_y	J_z	W_z	ρ_k	peso
(mm)	(mm)	(mm ²)	(cm ⁴)	(cm ³)	(cm ⁴)	(cm ³)	(kN/m ³)	(kN/m)
120	240	28800	13824	1152	3456	576	3,80	0,11

Caratteristiche del materiale

Legno LAMELLARE GL 24.

Azioni e classi di durata del carico

$g_l = 0,25 \text{ kN/m}^2$

$k_{mod} = 0,60$

peso proprio manto di copertura

$q_n = 1,20 \text{ kN/m}^2$

$k_{mod} = 0,90$

carico neve

$w_{v,i} = -0,36 \text{ kN/m}^2$

$k_{mod} = 0,90$

azione del vento

Schema statico

Si assume lo schema di trave appoggiata per semplicità di calcolo, poiché è anche a favore di sicurezza.

I puntoni sono disposti sulla verticale, gli assi d'inerzia pure, di conseguenza tutti i carichi gravitazionali inducono flessione semplice. L'azione del vento ortogonale alla falda induce solo azione nel piano forte.

Le caratteristiche geometriche dei puntoni sono:

$l = 6,80 \text{ m}$ luce di calcolo massima

$i = 1,00 \text{ m}$ interasse di competenza

Componenti unitarie delle azioni perpendicolari e parallele al piano dei puntoni

- copertura:

$g_{l,0} = 0,25 \text{ kN/m}^2$

$g_{l,p} = 0,00 \text{ kN/m}^2$

- neve:

$q_{n,0} = q_n \cos \alpha = 1,16 \text{ kN/m}^2$

$q_{n,p} = 0,00 \text{ kN/m}^2$

- vento:

$w_{v,0} = 0,00 \text{ kN/m}^2$

$w_{v,p} = -0,36 \text{ kN/m}^2$

Azioni perpendicolari e parallele al piano dei puntoni

- copertura:

$g_{l,0} = g_{l,0} i = 0,25 \text{ kN/m}$

$g_{l,p} = g_{l,p} i = 0,00 \text{ kN/m}$

- neve:

$q_{n,0} = q_{n,0} i = 1,16 \text{ kN/m}$

$q_{n,p} = q_{n,p} i = 0,00 \text{ kN/m}$

- vento:

$w_{v,0} = w_{v,0} i = 0,00 \text{ kN/m}$

$w_{v,p} = w_{v,p} i = -0,36 \text{ kN/m}$

S.L.U.

La formulazione per la verifica allo stato limite ultimo, nel caso specifico, per la presenza di un singolo carico variabile indipendente è:

$$q_{s,c} = \gamma_G G_G + \gamma_Q G_Q$$

che porta a due condizioni di carico schematicamente individuate nella tabella seguente:

	1	2	3	4	5	azione principale
caso	pesi fissi	neve	vento	manut.	k_{mod}	
1	1,4	1,5	0,0	0,0	0,9	neve
2	1,4	0,0	1,5	0,0	0,9	vento

$$\gamma_M = 1,25 \text{ coeff. del materiale}$$

Se l'altezza della sezione h è inferiore a 600mm, si possono aumentare i valori caratteristici $f_{m,k}$ e $f_{t,0,k}$

del coeff. moltiplicativo

$$k_h = \min(600/h)^{0,2}; 1,15 = 1,20 \quad 1,15 = 1,15$$

Risulta

$$f_{Rd} = k_h k_{mod} f_k / \gamma_M$$

Si riportano i valori significativi in tabella

Classi di resistenza	GL 24		k_{mod}	0,90
Resistenze in Mpa			f_{Rd}	
flessione	$f_{m,k}$	24,00	$f_{m,d}$	19,9
trazione II fibratura	$f_{t,0,k}$	16,50	$f_{t,0,d}$	13,7
trazione T fibratura	$f_{t,90,k}$	0,40	$f_{t,90,d}$	0,3
compressione II fibratura	$f_{c,0,k}$	24,00	$f_{c,0,d}$	19,9
compressione T fibratura	$f_{c,90,k}$	2,70	$f_{c,90,d}$	2,2
taglio	$f_{v,k}$	2,70	$f_{v,d}$	2,2
Modulo elastico in Gpa				
	$E_{0,mean}$	11,60		
	$E_{0,05}$	9,40		
	$E_{90,mean}$	0,39		
	G_{mean}	0,72		
Massa volumica in kN/m ³				
massa volumica caratteristica	ρ_k	3,80		

Verifiche

A) Di resistenza

Caso 1

Le sollecitazioni e le tensioni sono

- Sollecitazioni e tensioni sul piano perpendicolare i puntoni

$$q_{1,Sd,0} = \gamma_G g_{l,0} + \gamma_Q q_{n,0} = 2,09 \text{ kN/m}$$

$$M_{1,Sd,0} = q_{a,Sd,0} l^2/8 = 12,08 \text{ kNm}$$

$$V_{1,Sd,0} = q_{a,Sd,0} l/2 = 7,11 \text{ kN}$$

$$\sigma_{1m,y,d} = M_{1,Sd,0}/W_y = 10,49 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{1m,y,d} = 1,5 V_{1,Sd,0}/A = 0,37 \text{ N/mm}^2$$

- Sollecitazioni e tensioni sul piano parallelo i puntoni

$$q_{1,Sd,p} = \gamma_G g_{l,p} + \gamma_Q q_{n,p} = 0,00 \text{ kN/m}$$

$$M_{1,Sd,p} = q_{a,Sd,p} l^2/8 = 0,00 \text{ kNm}$$

$$V_{1,Sd,p} = q_{a,Sd,p} l/2 = 0,00 \text{ kN}$$

$$\sigma_{1m,z,d} = M_{1,Sd,p}/W_z = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{1m,z,d} = 1,5 V_{1,Sd,p}/A = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

- Verifica tensioni tangenziali

Deve essere verificata la relazione

$$(\tau_{1m,y,d}^2 + \tau_{1m,z,d}^2)^{0,5} / f_{v,d} = 0,17$$

<1 VERIFICATO

- Verifica azioni flettenti

Considerato $k_m = 0,70$ per la sezione rettangolare

devono essere verificate le relazioni

$$k_m (\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d}) = 0,37$$

<1 VERIFICATO

$$(\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + k_m (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d}) = 0,53$$

<1 VERIFICATO

Si riportano in tabella le sollecitazioni e le tensioni nei casi 1 e 2:

	$Q_{1,Sd,0}$	$M_{1,Sd,0}$	$V_{1,Sd,0}$	$\sigma_{1m,y,d}$	$\tau_{1m,y,d}$	$Q_{1,Sd,p}$	$M_{1,Sd,p}$	$V_{1,Sd,p}$	$\sigma_{1m,z,d}$	$\tau_{1m,z,d}$
	(kN/m)	(kNm)	(kN)	(N/mm ²)	(N/mm)	(kN/m)	(kNm)	(kN)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
caso 1 - NEVE	2,09	12,08	7,11	10,49	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
caso 2 - VENTO	0,35	2,02	1,19	1,75	0,06	-0,54	-3,12	-1,84	-5,42	-0,10

Verifiche dei casi 1 e 2

	$(\tau_{1m,y,d}^2 + \tau_{1m,z,d}^2)^{0,5} / f_{v,d}$	$k_m (\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d})$	$(\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + k_m (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d})$
caso 1 - NEVE	0,17	0,37	0,53
caso 2 - VENTO	0,05	-0,21	-0,1

A) Di stabilità

L'elemento è vincolato all'estradosso, per l'azione di depressione del vento l'intradosso è compresso; e poiché è possibile che possa essere soggetto all'instabilità per svergolamento deve essere verificato nei confronti di questo fenomeno. I calcoli sono relativi al caso 2 - VENTO.

La verifica va effettuata con il criterio:

1) definizione della tensione critica di svergolamento che, utilizzando l'espressione di Prandtl-Michell, assume la forma:

$$\sigma_{m,crit} = M_{y,crit} / W_y = \pi (E_{0,05} J_z G_{0,05} J_{tor})^{0,5} / (I_{ef} W_y)$$

questa formula, per asta prismatica rettangolare, può essere scritta:

$$\sigma_{m,crit} = \pi b^2 E_{0,05} (G_{mean} / E_{0,mean})^{0,5} / (I_{ef} h)$$

dove, con approssimazione ingegneristicamente accettabile, per travi alte:

$$I_{ef} = I / (a_1 (1 - a_2 a_z / (2 I)) (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5})$$

con

a_z quota di applicazione del carico per rispetto al centro di taglio della sezione, negativa se il carico è a livello superiore.

a_1, a_2 ricavabili da tabella. $a_1 = 1,13$ $a_2 = 1,44$

2) definizione della snellezza ridotta a flessione

$$\lambda_{rel,m} = (f_{m,k} / \sigma_{m,crit})^{0,5} = (I_{ef} h f_{m,k} / (\pi b^2 E_{0,05}) (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5})^{0,5}$$

3) definizione di k_{crit} coeff. di riduzione della tensione resistente di calcolo

$$k_{crit} = 1 \quad \text{per} \quad \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} \quad \text{per} \quad 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,4$$

$$k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 \quad \text{per} \quad 1,4 < \lambda_{rel,m}$$

4) deve risultare

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d}$$

Allora sostituendo all'interno delle relazioni si ottiene:

$$I_{ef} = I / (a_1 (1 - a_2 a_z / (2 I)) (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5}) = 573$$

$$\lambda_{rel,m} = (I_{ef} h f_{m,k} / (\pi b^2 E_{0,05}) (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5})^{0,5} = 1,77$$

è

$$\lambda_{rel,m} = 1,77 < 0,75 \quad \text{Irel,m} \leq 0,75 \quad \text{FALSO} \quad \text{se VERO} \quad k_{crit} = 1$$

$$\lambda_{rel,m} = 1,77 > 1,40 \quad \text{Irel,m} > 1,40 \quad \text{VERO} \quad \text{se VERO} \quad k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 = 0,32$$

$$k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 = 0,32 \quad \text{ALTRIMENTI} \quad k_{crit} = 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} = 0,23$$

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d} = \sigma_{m,d} = 5,42 \quad k_{crit} f_{m,d} = 6,37 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{m,d} < k_{crit} f_{m,d}$ VERIFICATO

S.L.E.

La combinazione dei carichi che definisce la deformazione è

$$\Sigma G_{k,i} + Q_{k,1} + \Sigma \psi_{1,i} Q_{k,i}$$

i cui valori dei coeff. da utilizzare sono:

azione	$\Psi_{0,i}$	$\Psi_{1,i}$	$\Psi_{2,i}$
magazzini, depositi	0,7	0,9	0,6
vento	0,7	0,2	0,0
neve	0,7	0,3	0,0

Deformazioni

Nelle strutture in legno la componente di deformazione per taglio può essere significativa, pertanto è bene considerare il contributo del taglio alla deformazione.

Per la trave semplicemente appoggiata il coeff. di incremento di freccia dovuto al contributo del taglio riferito alla sola deformata flessionale può essere espresso come:

$$\phi = 1 + f_{\text{taglio}}/f_{\text{fless}} = 1 + 0,96 (E_{0,\text{mean}}/G_{\text{mean}}) (h/l)^2 = 1,02$$

I termini componenti la freccia sono:

u_0 = contrefreccia (se realizzata),

u_1 = freccia dovuta ai carichi permanenti,

u_2 = freccia dovuta ai carichi variabili,

ed è

$$u_{\text{net}} = u_1 + u_2 - u_0$$

Le caratteristiche reologiche del legno hanno una grande importanza nella definizione del comportamento nel tempo, pertanto è necessario considerare oltre alla deformata istantanea u_{ist} , quella differita nel tempo

u_{fin} per gli effetti dei carichi di lunga durata, individuata dalla combinazione di carico quasi permanente,

nella forma:

$$u_{\text{fin}} = u_{\text{ist}} + u_{\text{dif}}$$

dove la u_{dif} è definita mediante k_{def} , funzione del tipo di materiale, della durata del carico e della classe di servizio. I valori di k_{def} sono riportati in tabella seguente:

k_{def} per legno massiccio e lamellare			
classe di durata del carico	classe di servizio		
	1	2	3
permanente	0,60	0,80	2,00
lunga durata	0,50	0,50	1,50
media durata	0,25	0,25	0,75
breve durata	0,00	0,00	0,30

Sono:

$$u_{\text{fin,G}} = u_{\text{ist,G}} (1 + k_{\text{def}})$$

$$u_{\text{fin,Q}} = u_{\text{ist,Q}} (1 + \Psi_{1,i} k_{\text{def}})$$

L'EC5 suggerisce le seguenti limitazioni di freccia:

- freccia istantanea

$$u_{2,\text{ist}} \leq L/300 \quad (\text{trave a mensola } L/150)$$

L è la luce libera della trave appoggiata oppure la lunghezza della mensola.

- freccia finale

$$u_{2,\text{fin}} \leq L/200 \quad (\text{trave a mensola } L/100)$$

$$u_{\text{net,fin}} \leq L/200 \quad (\text{trave a mensola } L/100)$$

In questo caso poiché la copertura superiore è fissata all'estradosso delle smezzole ne impedisce la traslazione parallelamente alla falda, l'unica componente di deformazione è quella parallela all'asse z. Risultano pertanto le deformazioni:

$$u_{\text{ist,G}} = \phi 5 g_{l,0} l^4 / (384 E_{0,\text{mean}} J_y) = 4,4 \text{ mm}$$

$$u_{\text{ist,Q}} = \phi 5 q_{n,0} l^4 / (384 E_{0,\text{mean}} J_y) = 20,5 \text{ mm}$$

quindi

$$u_{\text{fin,G}} = u_{\text{ist,G}} (1 + k_{\text{def}}) = 7,0 \text{ mm}$$

$$u_{\text{fin,Q}} = u_{\text{ist,Q}} (1 + \Psi_{1,i} k_{\text{def}}) = 20,5 \text{ mm}$$

e la freccia totale finale a lungo termine è:

$$u_{\text{fin,tot}} = u_{\text{fin,G}} + u_{\text{fin,Q}} = 27,5 \text{ mm}$$

questi valori devono essere confrontati con quelli consentiti che sono:

$$\delta_{2,\text{ist}} = l/300 = 22,7 \text{ mm}$$

$$\delta_{2,\text{fin}} = l/200 = 34,0 \text{ mm}$$

VERIFICATO

VERIFICATO

DIMENSIONAMENTO E VERIFICA COPERTURA OSPEDALE INFANTILE "C. ARRIGO"**COPERTURA FABBRICATO A: displuvio falde 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 7-8, 8-9, 11-12, 12-13, 14-15, 15-16, 17-18 e 18-1**

Riferimento: Catasto Fabbricati Foglio n., particella n.

I puntoni sono realizzati in legno LAMELLARE GL 24.

 $i = 26,5\%$
 $\alpha = 14,8^\circ$ pendenza falde di copertura

	dati di progetto
	riferimenti da modificare

PUNTONI**Caratteristiche del profilo**

b	h	A	J_y	W_y	J_z	W_z	ρ_k	peso
(mm)	(mm)	(mm ²)	(cm ⁴)	(cm ³)	(cm ⁴)	(cm ³)	(kN/m ³)	(kN/m)
160	240	38400	18432	1536	8192	1024	3,80	0,15

Caratteristiche del materiale

Legno LAMELLARE GL 24.

Azioni e classi di durata del carico

$g_l =$	0,40 kN/m ²	$k_{mod} =$	0,60	peso proprio manto di copertura
$q_n =$	1,20 kN/m ²	$k_{mod} =$	0,90	carico neve
$w_{v,l} =$	-0,36 kN/m ²	$k_{mod} =$	0,90	azione del vento

Schema statico

Si assume lo schema di trave appoggiata per semplicità di calcolo, poiché è anche a favore di sicurezza.

I puntoni sono disposti sulla verticale, gli assi d'inerzia pure, di conseguenza tutti i carichi gravitazionali inducono flessione semplice. L'azione del vento ortogonale alla falda induce solo azione nel piano forte.

Le caratteristiche geometriche dei puntoni sono:

 $l = 4,90$ m luce di calcolo massima
 $i = 2,90$ m interasse di competenza

Componenti unitarie delle azioni perpendicolari e parallele al piano dei puntoni

- copertura:

 $g_{l,0} = 0,40$ kN/m²
 $g_{l,p} = 0,00$ kN/m²

- neve:

 $q_{n,0} = q_n \cos \alpha = 1,16$ kN/m²
 $q_{n,p} = 0,00$ kN/m²

- vento:

 $w_{v,0} = 0,00$ kN/m²
 $w_{v,p} = -0,36$ kN/m²

Azioni perpendicolari e parallele al piano dei puntoni

- copertura:

 $g_{l,0} = g_{l,0} i = 1,16$ kN/m
 $g_{l,p} = g_{l,p} i = 0,00$ kN/m

- neve:

 $q_{n,0} = q_{n,0} i = 3,36$ kN/m
 $q_{n,p} = q_{n,p} i = 0,00$ kN/m

- vento:

 $w_{v,0} = w_{v,0} i = 0,00$ kN/m
 $w_{v,p} = w_{v,p} i = -1,06$ kN/m

S.L.U.

La formulazione per la verifica allo stato limite ultimo, nel caso specifico, per la presenza di un singolo carico variabile indipendente è:

$$q_{S,c} = \gamma_G G_G + \gamma_Q G_Q$$

che porta a due condizioni di carico schematicamente individuate nella tabella seguente:

	1	2	3	4	5	azione principale
caso	pesi fissi	neve	vento	manut.	k_{mod}	
1	1,4	1,5	0,0	0,0	0,9	neve
2	1,4	0,0	1,5	0,0	0,9	vento

$$\gamma_M = 1,25 \text{ coeff. del materiale}$$

Se l'altezza della sezione h è inferiore a 600mm, si possono aumentare i valori caratteristici $f_{m,k}$ e $f_{t,0,k}$

del coeff. moltiplicativo

$$k_h = \min(600/h)^{0,2}; 1,151 = 1,20 \quad 1,15 = 1,15$$

Risulta

$$f_{Rd} = k_h k_{mod} f_k / \gamma_M$$

Si riportano i valori significativi in tabella

Classi di resistenza	GL 24		k_{mod}	0,90
Resistenze in Mpa			f_{Rd}	
flessione	$f_{m,k}$	24,00	$f_{m,d}$	19,9
trazione II fibratura	$f_{t,0,k}$	16,50	$f_{t,0,d}$	13,7
trazione T fibratura	$f_{t,90,k}$	0,40	$f_{t,90,d}$	0,3
compressione II fibratura	$f_{c,0,k}$	24,00	$f_{c,0,d}$	19,9
compressione T fibratura	$f_{c,90,k}$	2,70	$f_{c,90,d}$	2,2
taglio	$f_{v,k}$	2,70	$f_{v,d}$	2,2
Modulo elastico in Gpa				
	$E_{0,mean}$	11,60		
	$E_{0,05}$	9,40		
	$E_{90,mean}$	0,39		
	G_{mean}	0,72		
Massa volumica in kN/m ³				
massa volumica caratteristica	ρ_k	3,80		

Verifiche

A) Di resistenza

Caso 1

Le sollecitazioni e le tensioni sono

- Sollecitazioni e tensioni sul piano perpendicolare i puntoni

$$q_{1,Sd,0} = \gamma_G g_{l,0} + \gamma_Q q_{n,0} = 6,66 \text{ kN/m}$$

$$M_{1,Sd,0} = q_{a,Sd,0} l^2/8 = 19,99 \text{ kNm}$$

$$V_{1,Sd,0} = q_{a,Sd,0} l/2 = 16,32 \text{ kN}$$

$$\sigma_{1m,y,d} = M_{1,Sd,0}/W_y = 13,01 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{1m,y,d} = 1,5 V_{1,Sd,0}/A = 0,64 \text{ N/mm}^2$$

- Sollecitazioni e tensioni sul piano parallelo i puntoni

$$q_{1,Sd,p} = \gamma_G g_{l,p} + \gamma_Q q_{n,p} = 0,00 \text{ kN/m}$$

$$M_{1,Sd,p} = q_{a,Sd,p} l^2/8 = 0,00 \text{ kNm}$$

$$V_{1,Sd,p} = q_{a,Sd,p} l/2 = 0,00 \text{ kN}$$

$$\sigma_{1m,z,d} = M_{1,Sd,p}/W_z = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{1m,z,d} = 1,5 V_{1,Sd,p}/A = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

- Verifica tensioni tangenziali

Deve essere verificata la relazione

$$(\tau_{1m,y,d}^2 + \tau_{1m,z,d}^2)^{0,5} / f_{v,d} = 0,29$$

<1 VERIFICATO

- Verifica azioni flettenti

Considerato $k_m = 0,70$ per la sezione rettangolare

devono essere verificate le relazioni

$$k_m (\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d}) = 0,46$$

<1 VERIFICATO

$$(\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + k_m (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d}) = 0,65$$

<1 VERIFICATO

Si riportano in tabella le sollecitazioni e le tensioni nei casi 1 e 2:

	$Q_{1,Sd,0}$	$M_{1,Sd,0}$	$V_{1,Sd,0}$	$\sigma_{1m,y,d}$	$\tau_{1m,y,d}$	$Q_{1,Sd,p}$	$M_{1,Sd,p}$	$V_{1,Sd,p}$	$\sigma_{1m,z,d}$	$\tau_{1m,z,d}$
	(kN/m)	(kNm)	(kN)	(N/mm ²)	(N/mm)	(kN/m)	(kNm)	(kN)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
caso 1 - NEVE	6,66	19,99	16,32	13,01	0,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
caso 2 - VENTO	1,62	4,86	3,97	3,16	0,16	-1,59	-4,77	-3,90	-4,66	-0,15

Verifiche dei casi 1 e 2

	$(\tau_{1m,y,d}^2 + \tau_{1m,z,d}^2)^{0,5} / f_{v,d}$	$k_m (\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d})$	$(\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + k_m (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d})$
caso 1 - NEVE	0,29	0,46	0,65
caso 2 - VENTO	0,1	-0,12	-0,01

A) Di stabilità

L'elemento è vincolato all'estradosso, per l'azione di depressione del vento l'intradosso è compresso; e poiché è possibile che possa essere soggetto all'instabilità per svergolamento deve essere verificato nei confronti di questo fenomeno. I calcoli sono relativi al caso 2 - VENTO.

La verifica va effettuata con il criterio:

1) definizione della tensione critica di svergolamento che, utilizzando l'espressione di Prandtl-Michell, assume la forma:

$$\sigma_{m,crit} = M_{y,crit} / W_y = \pi (E_{0,05} J_z G_{0,05} J_{tor})^{0,5} / (I_{ef} W_y)$$

questa formula, per asta prismatica rettangolare, può essere scritta:

$$\sigma_{m,crit} = \pi b^2 E_{0,05} (G_{mean} / E_{0,mean})^{0,5} / (I_{ef} h)$$

dove, con approssimazione ingegneristicamente accettabile, per travi alte:

$$I_{ef} = I / (a_1 (1 - a_2 a_z / (2 I)) (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5})$$

con

a_z quota di applicazione del carico per rispetto al centro di taglio della sezione, negativa se il carico è a livello superiore.

a_1, a_2 ricavabili da tabella. $a_1 = 1,13$ $a_2 = 1,44$

2) definizione della snellezza ridotta a flessione

$$\lambda_{rel,m} = (f_{m,k} / \sigma_{m,crit})^{0,5} = (I_{ef} h f_{m,k} / (\pi b^2 E_{0,05} (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5}))^{0,5}$$

3) definizione di k_{crit} coeff. di riduzione della tensione resistente di calcolo

$$k_{crit} = 1 \quad \text{per} \quad \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} \quad \text{per} \quad 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,4$$

$$k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 \quad \text{per} \quad 1,4 < \lambda_{rel,m}$$

4) deve risultare

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d}$$

Allora sostituendo all'interno delle relazioni si ottiene:

$$I_{ef} = I / (a_1 (1 - a_2 a_z / (2 I)) (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5}) = 405$$

$$\lambda_{rel,m} = (I_{ef} h f_{m,k} / (\pi b^2 E_{0,05} (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5}))^{0,5} = 1,11$$

è

$$\lambda_{rel,m} = 1,11 < 0,75 \quad \text{Irel,m} \leq 0,75 \quad \text{FALSO} \quad \text{se VERO} \quad k_{crit} = 1$$

$$\lambda_{rel,m} = 1,11 > 1,40 \quad \text{Irel,m} > 1,40 \quad \text{FALSO} \quad \text{se VERO} \quad k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 = 0,81$$

$$k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 = 0,73 \quad \text{ALTRIMENTI} \quad k_{crit} = 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} = 0,73$$

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d} = \sigma_{m,d} = 4,66 \quad k_{crit} f_{m,d} = 14,53 \text{ N/mm}^2$$

sm,d < kcrit fm,d VERIFICATO

S.L.E.

La combinazione dei carichi che definisce la deformazione è

$$\Sigma G_{k,i} + Q_{k,1} + \Sigma \psi_{1,i} Q_{k,i}$$

i cui valori dei coeff. da utilizzare sono:

azione	$\psi_{0,i}$	$\psi_{1,i}$	$\psi_{2,i}$
magazzini, depositi	0,7	0,9	0,6
vento	0,7	0,2	0,0
neve	0,7	0,3	0,0

Deformazioni

Nelle strutture in legno la componente di deformazione per taglio può essere significativa, pertanto è bene considerare il contributo del taglio alla deformazione.

Per la trave semplicemente appoggiata il coeff. di incremento di freccia dovuto al contributo del taglio riferito alla sola deformata flessionale può essere espresso come:

$$\phi = 1 + f_{\text{taglio}}/f_{\text{fless}} = 1 + 0,96 (E_{0,\text{mean}}/G_{\text{mean}}) (h/l)^2 = 1,04$$

I termini componenti la freccia sono:

u_0 = contrefreccia (se realizzata),

u_1 = freccia dovuta ai carichi permanenti,

u_2 = freccia dovuta ai carichi variabili,

ed è

$$u_{\text{net}} = u_1 + u_2 - u_0$$

Le caratteristiche reologiche del legno hanno una grande importanza nella definizione del comportamento nel tempo, pertanto è necessario considerare oltre alla deformata istantanea u_{ist} , quella differita nel tempo

u_{fin} per gli effetti dei carichi di lunga durata, individuata dalla combinazione di carico quasi permanente,

nella forma:

$$u_{\text{fin}} = u_{\text{ist}} + u_{\text{dif}}$$

dove la u_{dif} è definita mediante k_{def} , funzione del tipo di materiale, della durata del carico e della classe di servizio. I valori di k_{def} sono riportati in tabella seguente:

k_{def} per legno massiccio e lamellare			
classe di durata del carico	classe di servizio		
	1	2	3
permanente	0,60	0,80	2,00
lunga durata	0,50	0,50	1,50
media durata	0,25	0,25	0,75
breve durata	0,00	0,00	0,30

Sono:

$$u_{\text{fin,G}} = u_{\text{ist,G}} (1 + k_{\text{def}})$$

$$u_{\text{fin,Q}} = u_{\text{ist,Q}} (1 + \psi_{1,i} k_{\text{def}})$$

L'EC5 suggerisce le seguenti limitazioni di freccia:

- freccia istantanea

$$u_{2,\text{ist}} \leq L/300 \quad (\text{trave a mensola } L/150)$$

L è la luce libera della trave appoggiata oppure la lunghezza della mensola.

- freccia finale

$$u_{2,\text{fin}} \leq L/200 \quad (\text{trave a mensola } L/100)$$

$$u_{\text{net,fin}} \leq L/200 \quad (\text{trave a mensola } L/100)$$

In questo caso poiché la copertura superiore è fissata all'estradosso delle smezzole ne impedisce la traslazione parallelamente alla falda, l'unica componente di deformazione è quella parallela all'asse z. Risultano pertanto le deformazioni:

$$u_{\text{ist,G}} = \phi 5 g_{l,0} l^4 / (384 E_{0,\text{mean}} J_y) = 4,2 \text{ mm}$$

$$u_{\text{ist,Q}} = \phi 5 q_{n,0} l^4 / (384 E_{0,\text{mean}} J_y) = 12,3 \text{ mm}$$

quindi

$$u_{\text{fin,G}} = u_{\text{ist,G}} (1 + k_{\text{def}}) = 6,7 \text{ mm}$$

$$u_{\text{fin,Q}} = u_{\text{ist,Q}} (1 + \psi_{1,i} k_{\text{def}}) = 12,3 \text{ mm}$$

e la freccia totale finale a lungo termine è:

$$u_{\text{fin,tot}} = u_{\text{fin,G}} + u_{\text{fin,Q}} = 19,0 \text{ mm}$$

questi valori devono essere confrontati con quelli consentiti che sono:

$$\delta_{2,\text{ist}} = l/300 = 16,3 \text{ mm} \quad \text{VERIFICATO}$$

$$\delta_{2,\text{fin}} = l/200 = 24,5 \text{ mm} \quad \text{VERIFICATO}$$

DIMENSIONAMENTO E VERIFICA COPERTURA OSPEDALE INFANTILE "C. ARRIGO"**COPERTURA FABBRICATO A: compluvi-displuvi falde 9-10, 10-11 e 16-17**

Riferimento: Catasto Fabbricati Foglio n., particella n.

I puntoni sono realizzati in legno LAMELLARE GL 24.

 $i = 26,5\%$
 $\alpha = 14,8^\circ$ pendenza falde di copertura

	dati di progetto
	riferimenti da modificare

PUNTONI**Caratteristiche del profilo**

b	h	A	J_y	W_y	J_z	W_z	ρ_k	peso
(mm)	(mm)	(mm ²)	(cm ⁴)	(cm ³)	(cm ⁴)	(cm ³)	(kN/m ³)	(kN/m)
200	240	48000	23040	1920	16000	1600	3,80	0,18

Caratteristiche del materiale

Legno LAMELLARE GL 24.

Azioni e classi di durata del carico

$g_l =$	0,40 kN/m ²	$k_{mod} =$	0,60	peso proprio manto di copertura
$q_n =$	1,20 kN/m ²	$k_{mod} =$	0,90	carico neve
$w_{v,i} =$	-0,36 kN/m ²	$k_{mod} =$	0,90	azione del vento

Schema statico

Si assume lo schema di trave appoggiata per semplicità di calcolo, poiché è anche a favore di sicurezza.

I puntoni sono disposti sulla verticale, gli assi d'inerzia pure, di conseguenza tutti i carichi gravitazionali inducono flessione semplice. L'azione del vento ortogonale alla falda induce solo azione nel piano forte.

Le caratteristiche geometriche dei puntoni sono:

 $l = 6,90$ m luce di calcolo massima
 $i = 1,60$ m interasse di competenza

Componenti unitarie delle azioni perpendicolari e parallele al piano dei puntoni

- copertura:

 $g_{l,0} = 0,40$ kN/m² $g_{l,p} = 0,00$ kN/m²

- neve:

 $q_{n,0} = q_n \cos \alpha = 1,16$ kN/m² $q_{n,p} = 0,00$ kN/m²

- vento:

 $w_{v,0} = 0,00$ kN/m² $w_{v,p} = -0,36$ kN/m²

Azioni perpendicolari e parallele al piano dei puntoni

- copertura:

 $g_{l,0} = g_{l,0} i$ 0,64 kN/m $g_{l,p} = g_{l,p} i$ 0,00 kN/m

- neve:

 $q_{n,0} = q_{n,0} i$ 1,86 kN/m $q_{n,p} = q_{n,p} i$ 0,00 kN/m

- vento:

 $w_{v,0} = w_{v,0} i$ 0,00 kN/m $w_{v,p} = w_{v,p} i$ -0,58 kN/m

S.L.U.

La formulazione per la verifica allo stato limite ultimo, nel caso specifico, per la presenza di un singolo carico variabile indipendente è:

$$q_{S,c} = \gamma_G G_G + \gamma_Q G_Q$$

che porta a due condizioni di carico schematicamente individuate nella tabella seguente:

	1	2	3	4	5	azione principale
caso	pesi fissi	neve	vento	manut.	k_{mod}	
1	1,4	1,5	0,0	0,0	0,9	neve
2	1,4	0,0	1,5	0,0	0,9	vento

$$\gamma_M = 1,25 \text{ coeff. del materiale}$$

Se l'altezza della sezione h è inferiore a 600mm, si possono aumentare i valori caratteristici $f_{m,k}$ e $f_{t,0,k}$

del coeff. moltiplicativo

$$k_h = \min(600/h)^{0,2}; 1,15 = 1,20 \quad 1,15 = 1,15$$

Risulta

$$f_{Rd} = k_h k_{mod} f_{ik} / \gamma_M$$

Si riportano i valori significativi in tabella

Classi di resistenza	GL 24		k_{mod} 0,90	
Resistenze in Mpa			f_{Rd}	
flessione	$f_{m,k}$	24,00	$f_{m,d}$	19,9
trazione II fibratura	$f_{t,0,k}$	16,50	$f_{t,0,d}$	13,7
trazione T fibratura	$f_{t,90,k}$	0,40	$f_{t,90,d}$	0,3
compressione II fibratura	$f_{c,0,k}$	24,00	$f_{c,0,d}$	19,9
compressione T fibratura	$f_{c,90,k}$	2,70	$f_{c,90,d}$	2,2
taglio	$f_{v,k}$	2,70	$f_{v,d}$	2,2
Modulo elastico in Gpa				
	$E_{0,mean}$	11,60		
	$E_{0,05}$	9,40		
	$E_{90,mean}$	0,39		
	G_{mean}	0,72		
Massa volumica in kN/m ³				
massa volumica caratteristica	ρ_k	3,80		

Verifiche

A) Di resistenza

Caso 1

Le sollecitazioni e le tensioni sono

- Sollecitazioni e tensioni sul piano perpendicolare i puntoni

$$q_{1,Sd,0} = \gamma_G g_{l,0} + \gamma_Q q_{n,0} = 3,69 \text{ kN/m}$$

$$M_{1,Sd,0} = q_{a,Sd,0} l^2/8 = 21,96 \text{ kNm}$$

$$V_{1,Sd,0} = q_{a,Sd,0} l/2 = 12,73 \text{ kN}$$

$$\sigma_{1m,y,d} = M_{1,Sd,0}/W_y = 11,44 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{1m,y,d} = 1,5 V_{1,Sd,0}/A = 0,40 \text{ N/mm}^2$$

- Sollecitazioni e tensioni sul piano parallelo i puntoni

$$q_{1,Sd,p} = \gamma_G g_{l,p} + \gamma_Q q_{n,p} = 0,00 \text{ kN/m}$$

$$M_{1,Sd,p} = q_{a,Sd,p} l^2/8 = 0,00 \text{ kNm}$$

$$V_{1,Sd,p} = q_{a,Sd,p} l/2 = 0,00 \text{ kN}$$

$$\sigma_{1m,z,d} = M_{1,Sd,p}/W_z = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{1m,z,d} = 1,5 V_{1,Sd,p}/A = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

- Verifica tensioni tangenziali

Deve essere verificata la relazione

$$(\tau_{1m,y,d}^2 + \tau_{1m,z,d}^2)^{0,5} / f_{v,d} = 0,18$$

<1 VERIFICATO

- Verifica azioni flettenti

Considerato $k_m = 0,70$ per la sezione rettangolare

devono essere verificate le relazioni

$$k_m (\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d}) = 0,4$$

<1 VERIFICATO

$$(\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + k_m (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d}) = 0,57$$

<1 VERIFICATO

Si riportano in tabella le sollecitazioni e le tensioni nei casi 1 e 2:

	$q_{1,Sd,0}$	$M_{1,Sd,0}$	$V_{1,Sd,0}$	$\sigma_{1m,y,d}$	$\tau_{1m,y,d}$	$q_{1,Sd,p}$	$M_{1,Sd,p}$	$V_{1,Sd,p}$	$\sigma_{1m,y,d}$	$\tau_{1m,z,d}$
	(kN/m)	(kNm)	(kN)	(N/mm ²)	(N/mm)	(kN/m)	(kNm)	(kN)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
caso 1 - NEVE	3,69	21,96	12,73	11,44	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
caso 2 - VENTO	0,9	5,36	3,11	2,79	0,10	-0,87	-5,18	-3,00	-3,24	-0,09

Verifiche dei casi 1 e 2

	$(\tau_{1m,y,d}^2 + \tau_{1m,z,d}^2)^{0,5} / f_{v,d}$	$k_m (\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d})$	$(\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + k_m (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d})$
caso 1 - NEVE	0,18	0,4	0,57
caso 2 - VENTO	0,06	-0,06	0,03

A) Di stabilità

L'elemento è vincolato all'estradosso, per l'azione di depressione del vento l'intradosso è compresso; e poiché è possibile che possa essere soggetto all'instabilità per svergolamento deve essere verificato nei confronti di questo fenomeno. I calcoli sono relativi al caso 2 - VENTO.

La verifica va effettuata con il criterio:

1) definizione della tensione critica di svergolamento che, utilizzando l'espressione di Prandtl-Michell, assume la forma:

$$\sigma_{m,crit} = M_{y,crit} / W_y = \pi (E_{0,05} J_z G_{0,05} J_{tor})^{0,5} / (I_{ef} W_y)$$

questa formula, per asta prismatica rettangolare, può essere scritta:

$$\sigma_{m,crit} = \pi b^2 E_{0,05} (G_{mean} / E_{0,mean})^{0,5} / (I_{ef} h)$$

dove, con approssimazione ingegneristicamente accettabile, per travi alte:

$$I_{ef} = I / (a_1 (1 - a_2 a_z / (2 I)) (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5})$$

con

a_z quota di applicazione del carico per rispetto al centro di taglio della sezione, negativa se il carico è a livello superiore.

a_1, a_2 ricavabili da tabella. $a_1 = 1,13$ $a_2 = 1,44$

2) definizione della snellezza ridotta a flessione

$$\lambda_{rel,m} = (f_{m,k} / \sigma_{m,crit})^{0,5} = (I_{ef} h f_{m,k} / (\pi b^2 E_{0,05} (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5}))^{0,5}$$

3) definizione di k_{crit} coeff. di riduzione della tensione resistente di calcolo

$$k_{crit} = 1 \quad \text{per} \quad \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} \quad \text{per} \quad 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,4$$

$$k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 \quad \text{per} \quad 1,4 < \lambda_{rel,m}$$

4) deve risultare

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d}$$

Allora sostituendo all'interno delle relazioni si ottiene:

$$I_{ef} = I / (a_1 (1 - a_2 a_z / (2 I)) (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5}) = 581$$

$$\lambda_{rel,m} = (I_{ef} h f_{m,k} / (\pi b^2 E_{0,05} (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5}))^{0,5} = 1,07$$

è

$$\lambda_{rel,m} = 1,07 < 0,75 \quad \text{Irel,m} \leq 0,75 \quad \text{FALSO} \quad \text{se VERO} \quad k_{crit} = 1$$

$$\lambda_{rel,m} = 1,07 > 1,40 \quad \text{Irel,m} > 1,40 \quad \text{FALSO} \quad \text{se VERO} \quad k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 = 0,87$$

$$k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 = 0,76 \quad \text{ALTRIMENTI} \quad k_{crit} = 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} = 0,76$$

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d} = \sigma_{m,d} = 3,24 \quad k_{crit} f_{m,d} = 15,12 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{m,d} < k_{crit} f_{m,d}$ VERIFICATO

S.L.E.

La combinazione dei carichi che definisce la deformazione è

$$\Sigma G_{k,i} + Q_{k,1} + \Sigma \psi_{1,i} Q_{k,i}$$

i cui valori dei coeff. da utilizzare sono:

azione	$\psi_{0,i}$	$\psi_{1,i}$	$\psi_{2,i}$
magazzini, depositi	0,7	0,9	0,6
vento	0,7	0,2	0,0
neve	0,7	0,3	0,0

Deformazioni

Nelle strutture in legno la componente di deformazione per taglio può essere significativa, pertanto è bene considerare il contributo del taglio alla deformazione.

Per la trave semplicemente appoggiata il coeff. di incremento di freccia dovuto al contributo del taglio riferito alla sola deformata flessionale può essere espresso come:

$$\phi = 1 + f_{\text{taglio}}/f_{\text{fless}} = 1 + 0,96 (E_{0,\text{mean}}/G_{\text{mean}}) (h/l)^2 = 1,02$$

I termini componenti la freccia sono:

u_0 = contrefreccia (se realizzata),

u_1 = freccia dovuta ai carichi permanenti,

u_2 = freccia dovuta ai carichi variabili,

ed è

$$u_{\text{net}} = u_1 + u_2 - u_0$$

Le caratteristiche reologiche del legno hanno una grande importanza nella definizione del comportamento nel tempo, pertanto è necessario considerare oltre alla deformata istantanea u_{ist} , quella differita nel tempo

u_{fin} per gli effetti dei carichi di lunga durata, individuata dalla combinazione di carico quasi permanente,

nella forma:

$$u_{\text{fin}} = u_{\text{ist}} + u_{\text{dif}}$$

dove la u_{dif} è definita mediante k_{def} , funzione del tipo di materiale, della durata del carico e della classe di servizio. I valori di k_{def} sono riportati in tabella seguente:

k_{def} per legno massiccio e lamellare			
classe di durata del carico	classe di servizio		
	1	2	3
permanente	0,60	0,80	2,00
lunga durata	0,50	0,50	1,50
media durata	0,25	0,25	0,75
breve durata	0,00	0,00	0,30

Sono:

$$u_{\text{fin,G}} = u_{\text{ist,G}} (1 + k_{\text{def}})$$

$$u_{\text{fin,Q}} = u_{\text{ist,Q}} (1 + \psi_{1,i} k_{\text{def}})$$

L'EC5 suggerisce le seguenti limitazioni di freccia:

- freccia istantanea

$$u_{2,\text{ist}} \leq L/300 \quad (\text{trave a mensola } L/150)$$

L è la luce libera della trave appoggiata oppure la lunghezza della mensola.

- freccia finale

$$u_{2,\text{fin}} \leq L/200 \quad (\text{trave a mensola } L/100)$$

$$u_{\text{net,fin}} \leq L/200 \quad (\text{trave a mensola } L/100)$$

In questo caso poiché la copertura superiore è fissata all'estradosso delle smezzole ne impedisce la traslazione parallelamente alla falda, l'unica componente di deformazione è quella parallela all'asse z. Risultano pertanto le deformazioni:

$$u_{\text{ist,G}} = \phi 5 g_{l,0} l^4 / (384 E_{0,\text{mean}} J_y) = 7,2 \text{ mm}$$

$$u_{\text{ist,Q}} = \phi 5 q_{n,0} l^4 / (384 E_{0,\text{mean}} J_y) = 21,0 \text{ mm}$$

quindi

$$u_{\text{fin,G}} = u_{\text{ist,G}} (1 + k_{\text{def}}) = 11,5 \text{ mm}$$

$$u_{\text{fin,Q}} = u_{\text{ist,Q}} (1 + \psi_1 k_{\text{def}}) = 21,0 \text{ mm}$$

e la freccia totale finale a lungo termine è:

$$u_{\text{fin,tot}} = u_{\text{fin,G}} + u_{\text{fin,Q}} = 32,5 \text{ mm}$$

questi valori devono essere confrontati con quelli consentiti che sono:

$$\delta_{2,\text{ist}} = l/300 = 23,0 \text{ mm} \quad \text{VERIFICATO}$$

$$\delta_{2,\text{fin}} = l/200 = 34,5 \text{ mm} \quad \text{VERIFICATO}$$

DIMENSIONAMENTO E VERIFICA COPERTURA OSPEDALE INFANTILE "C. ARRIGO"

COPERTURA FABBRICATO A: compluvi-displuvi falde 6-7 e 13-14

Riferimento: Catasto Fabbricati Foglio n., particella n.

I puntoni sono realizzati in legno LAMELLARE GL 24.

$i = 26,5\%$

$\alpha = 14,8^\circ$ pendenza falde di copertura

dati di progetto
riferimenti da modificare

PUNTONI

Caratteristiche del profilo

b	h	A	J_y	W_y	J_z	W_z	ρ_k	peso
(mm)	(mm)	(mm ²)	(cm ⁴)	(cm ³)	(cm ⁴)	(cm ³)	(kN/m ³)	(kN/m)
200	400	80000	106667	5333	26667	2667	3,80	0,30

Caratteristiche del materiale

Legno LAMELLARE GL 24.

Azioni e classi di durata del carico

$g_l = 0,45 \text{ kN/m}^2$

$k_{mod} = 0,60$

peso proprio manto di copertura

$q_n = 1,20 \text{ kN/m}^2$

$k_{mod} = 0,90$

carico neve

$w_{v,i} = -0,36 \text{ kN/m}^2$

$k_{mod} = 0,90$

azione del vento

Schema statico

Si assume lo schema di trave appoggiata per semplicità di calcolo, poiché è anche a favore di sicurezza.

I puntoni sono disposti sulla verticale, gli assi d'inerzia pure, di conseguenza tutti i carichi gravitazionali inducono flessione semplice. L'azione del vento ortogonale alla falda induce solo azione nel piano forte.

Le caratteristiche geometriche dei puntoni sono:

$l = 9,70 \text{ m}$ luce di calcolo massima

$i = 2,40 \text{ m}$ interasse di competenza

Componenti unitarie delle azioni perpendicolari e parallele al piano dei puntoni

- copertura:

$g_{l,0} = 0,45 \text{ kN/m}^2$

$g_{l,p} = 0,00 \text{ kN/m}^2$

- neve:

$q_{n,0} = q_n \cos \alpha = 1,16 \text{ kN/m}^2$

$q_{n,p} = 0,00 \text{ kN/m}^2$

- vento:

$w_{v,0} = 0,00 \text{ kN/m}^2$

$w_{v,p} = -0,36 \text{ kN/m}^2$

Azioni perpendicolari e parallele al piano dei puntoni

- copertura:

$g_{l,0} = g_{l,0} i = 1,08 \text{ kN/m}$

$g_{l,p} = g_{l,p} i = 0,00 \text{ kN/m}$

- neve:

$q_{n,0} = q_{n,0} i = 2,78 \text{ kN/m}$

$q_{n,p} = q_{n,p} i = 0,00 \text{ kN/m}$

- vento:

$w_{v,0} = w_{v,0} i = 0,00 \text{ kN/m}$

$w_{v,p} = w_{v,p} i = -0,88 \text{ kN/m}$

S.L.U.

La formulazione per la verifica allo stato limite ultimo, nel caso specifico, per la presenza di un singolo carico variabile indipendente è:

$$q_{S,c} = \gamma_G G_G + \gamma_Q G_Q$$

che porta a due condizioni di carico schematicamente individuate nella tabella seguente:

	1	2	3	4	5	azione principale
caso	pesi fissi	neve	vento	manut.	k_{mod}	
1	1,4	1,5	0,0	0,0	0,9	neve
2	1,4	0,0	1,5	0,0	0,9	vento

$$\gamma_M = 1,25 \text{ coeff. del materiale}$$

Se l'altezza della sezione h è inferiore a 600mm, si possono aumentare i valori caratteristici $f_{m,k}$ e $f_{t,0,k}$

del coeff. moltiplicativo

$$k_h = \min[(600/h)^{0,2}; 1,15] = 1,08 \quad 1,15 = 1,08$$

Risulta

$$f_{Rd} = k_h k_{mod} f_k / \gamma_M$$

Si riportano i valori significativi in tabella

Classi di resistenza	GL 24		k_{mod} 0,90	
Resistenze in Mpa			f_{Rd}	
flessione	$f_{m,k}$	24,00	$f_{m,d}$	18,7
trazione II fibratura	$f_{t,0,k}$	16,50	$f_{t,0,d}$	12,8
trazione T fibratura	$f_{t,90,k}$	0,40	$f_{t,90,d}$	0,3
compressione II fibratura	$f_{c,0,k}$	24,00	$f_{c,0,d}$	18,7
compressione T fibratura	$f_{c,90,k}$	2,70	$f_{c,90,d}$	2,1
taglio	$f_{v,k}$	2,70	$f_{v,d}$	2,1
Modulo elastico in Gpa				
	$E_{0,mean}$	11,60		
	$E_{0,05}$	9,40		
	$E_{90,mean}$	0,39		
	G_{mean}	0,72		
Massa volumica in kN/m ³				
massa volumica caratteristica	ρ_k	3,80		

Verifiche

A) Di resistenza

Caso 1

Le sollecitazioni e le tensioni sono

- Sollecitazioni e tensioni sul piano perpendicolare i puntoni

$$q_{1,Sd,0} = \gamma_G g_{l,0} + \gamma_Q q_{n,0} = 5,68 \text{ kN/m}$$

$$M_{1,Sd,0} = q_{a,Sd,0} l^2/8 = 66,80 \text{ kNm}$$

$$V_{1,Sd,0} = q_{a,Sd,0} l/2 = 27,55 \text{ kN}$$

$$\sigma_{1m,y,d} = M_{1,Sd,0}/W_y = 12,53 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{1m,y,d} = 1,5 V_{1,Sd,0}/A = 0,52 \text{ N/mm}^2$$

- Sollecitazioni e tensioni sul piano parallelo i puntoni

$$q_{1,Sd,p} = \gamma_G g_{l,p} + \gamma_Q q_{n,p} = 0,00 \text{ kN/m}$$

$$M_{1,Sd,p} = q_{a,Sd,p} l^2/8 = 0,00 \text{ kNm}$$

$$V_{1,Sd,p} = q_{a,Sd,p} l/2 = 0,00 \text{ kN}$$

$$\sigma_{1m,z,d} = M_{1,Sd,p}/W_z = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{1m,z,d} = 1,5 V_{1,Sd,p}/A = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

- Verifica tensioni tangenziali

Deve essere verificata la relazione

$$(\tau_{1m,y,d}^2 + \tau_{1m,z,d}^2)^{0,5} / f_{v,d} = 0,25 \quad <1 \text{ VERIFICATO}$$

- Verifica azioni flettenti

Considerato $k_m = 0,70$ per la sezione rettangolare

devono essere verificate le relazioni

$$k_m (\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d}) = 0,47 \quad <1 \text{ VERIFICATO}$$

$$(\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + k_m (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d}) = 0,67 \quad <1 \text{ VERIFICATO}$$

Si riportano in tabella le sollecitazioni e le tensioni nei casi 1 e 2:

	$q_{1,Sd,0}$	$M_{1,Sd,0}$	$V_{1,Sd,0}$	$\sigma_{1m,y,d}$	$\tau_{1m,y,d}$	$q_{1,Sd,p}$	$M_{1,Sd,p}$	$V_{1,Sd,p}$	$\sigma_{1m,z,d}$	$\tau_{1m,z,d}$
	(kN/m)	(kNm)	(kN)	(N/mm ²)	(N/mm)	(kN/m)	(kNm)	(kN)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
caso 1 - NEVE	5,68	66,80	27,55	12,53	0,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
caso 2 - VENTO	1,51	17,76	7,32	3,33	0,14	-1,32	-15,52	-6,40	-5,82	-0,12

Verifiche dei casi 1 e 2

	$(\tau_{1m,y,d}^2 + \tau_{1m,z,d}^2)^{0,5} / f_{v,d}$	$k_m (\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d})$	$(\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + k_m (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d})$
caso 1 - NEVE	0,25	0,47	0,67
caso 2 - VENTO	0,09	-0,19	-0,04

A) Di stabilità

L'elemento è vincolato all'estradosso, per l'azione di depressione del vento l'intradosso è compresso; e poiché è possibile che possa essere soggetto all'instabilità per svergolamento deve essere verificato nei confronti di questo fenomeno. I calcoli sono relativi al caso 2 - VENTO.

La verifica va effettuata con il criterio:

1) definizione della tensione critica di svergolamento che, utilizzando l'espressione di Prandtl-Michell, assume la forma:

$$\sigma_{m,crit} = M_{y,crit} / W_y = \pi (E_{0,05} J_z G_{0,05} J_{tor})^{0,5} / (l_{ef} W_y)$$

questa formula, per asta prismatica rettangolare, può essere scritta:

$$\sigma_{m,crit} = \pi b^2 E_{0,05} (G_{mean} / E_{0,mean})^{0,5} / (l_{ef} h)$$

dove, con approssimazione ingegneristicamente accettabile, per travi alte:

$$l_{ef} = l / (a_1 (1 - a_2 a_z / (2 l)) (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5})$$

con

a_z quota di applicazione del carico per rispetto al centro di taglio della sezione, negativa se il carico è a livello superiore.

a_1, a_2 ricavabili da tabella. $a_1 = 1,13$ $a_2 = 1,44$

2) definizione della snellezza ridotta a flessione

$$\lambda_{rel,m} = (f_{m,k} / \sigma_{m,crit})^{0,5} = (l_{ef} h f_{m,k} / (\pi b^2 E_{0,05} (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5}))^{0,5}$$

3) definizione di k_{crit} coeff. di riduzione della tensione resistente di calcolo

$$k_{crit} = 1 \quad \text{per} \quad \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} \quad \text{per} \quad 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,4$$

$$k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 \quad \text{per} \quad 1,4 < \lambda_{rel,m}$$

4) deve risultare

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d}$$

Allora sostituendo all'interno delle relazioni si ottiene:

$$l_{ef} = l / (a_1 (1 - a_2 a_z / (2 l)) (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5}) = 810$$

$$\lambda_{rel,m} = (l_{ef} h f_{m,k} / (\pi b^2 E_{0,05} (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5}))^{0,5} = 1,63$$

è

$$\lambda_{rel,m} = 1,63 < 0,75 \quad \text{Irel,m} \leq 0,75 \quad \text{FALSO} \quad \text{se VERO} \quad k_{crit} = 1$$

$$\lambda_{rel,m} = 1,63 > 1,40 \quad \text{Irel,m} > 1,40 \quad \text{VERO} \quad \text{se VERO} \quad k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 = 0,38$$

$$k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 = 0,38 \quad \text{ALTRIMENTI} \quad k_{crit} = 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} = 0,34$$

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d} = \sigma_{m,d} = 5,82 \quad k_{crit} f_{m,d} = 7,11 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{m,d} < k_{crit} f_{m,d}$ VERIFICATO

S.L.E.

La combinazione dei carichi che definisce la deformazione è

$$\Sigma G_{k,i} + Q_{k,1} + \Sigma \psi_{1,i} Q_{k,i}$$

i cui valori dei coeff. da utilizzare sono:

azione	$\psi_{0,i}$	$\psi_{1,i}$	$\psi_{2,i}$
magazzini, depositi	0,7	0,9	0,6
vento	0,7	0,2	0,0
neve	0,7	0,3	0,0

Deformazioni

Nelle strutture in legno la componente di deformazione per taglio può essere significativa, pertanto è bene considerare il contributo del taglio alla deformazione.

Per la trave semplicemente appoggiata il coeff. di incremento di freccia dovuto al contributo del taglio riferito alla sola deformata flessionale può essere espresso come:

$$\phi = 1 + f_{\text{taglio}}/f_{\text{fless}} = 1 + 0,96 (E_{0,\text{mean}}/G_{\text{mean}}) (h/l)^2 = 1,03$$

I termini componenti la freccia sono:

$u_0 =$ contrefreccia (se realizzata),

$u_1 =$ freccia dovuta ai carichi permanenti,

$u_2 =$ freccia dovuta ai carichi variabili,

ed è

$$u_{\text{net}} = u_1 + u_2 - u_0$$

Le caratteristiche reologiche del legno hanno una grande importanza nella definizione del comportamento nel tempo, pertanto è necessario considerare oltre alla deformata istantanea u_{ist} , quella differita nel tempo

u_{fin} per gli effetti dei carichi di lunga durata, individuata dalla combinazione di carico quasi permanente,

nella forma:

$$u_{\text{fin}} = u_{\text{ist}} + u_{\text{dif}}$$

dove la u_{dif} è definita mediante k_{def} , funzione del tipo di materiale, della durata del carico e della classe di servizio. I valori di k_{def} sono riportati in tabella seguente:

k_{def} per legno massiccio e lamellare			
classe di durata del carico	classe di servizio		
	1	2	3
permanente	0,60	0,80	2,00
lunga durata	0,50	0,50	1,50
media durata	0,25	0,25	0,75
breve durata	0,00	0,00	0,30

Sono:

$$u_{\text{fin,G}} = u_{\text{ist,G}} (1 + k_{\text{def}})$$

$$u_{\text{fin,Q}} = u_{\text{ist,Q}} (1 + \psi_{1,i} k_{\text{def}})$$

L'EC5 suggerisce le seguenti limitazioni di freccia:

- freccia istantanea

$$u_{2,\text{ist}} \leq L/300 \quad (\text{trave a mensola } L/150)$$

L è la luce libera della trave appoggiata oppure la lunghezza della mensola.

- freccia finale

$$u_{2,\text{fin}} \leq L/200 \quad (\text{trave a mensola } L/100)$$

$$u_{\text{net,fin}} \leq L/200 \quad (\text{trave a mensola } L/100)$$

In questo caso poiché la copertura superiore è fissata all'estradosso delle smezzole ne impedisce la traslazione parallelamente alla falda, l'unica componente di deformazione è quella parallela all'asse z . Risultano pertanto le deformazioni:

$$u_{\text{ist,G}} = \phi 5 g_{l,0} l^4 / (384 E_{0,\text{mean}} J_y) = 10,4 \text{ mm}$$

$$u_{\text{ist,Q}} = \phi 5 q_{n,0} l^4 / (384 E_{0,\text{mean}} J_y) = 26,7 \text{ mm}$$

quindi

$$u_{\text{fin,G}} = u_{\text{ist,G}} (1 + k_{\text{def}}) = 16,6 \text{ mm}$$

$$u_{\text{fin,Q}} = u_{\text{ist,Q}} (1 + \psi_1 k_{\text{def}}) = 26,7 \text{ mm}$$

e la freccia totale finale a lungo termine è:

$$u_{\text{fin,tot}} = u_{\text{fin,G}} + u_{\text{fin,Q}} = 43,3 \text{ mm}$$

questi valori devono essere confrontati con quelli consentiti che sono:

$$\delta_{2,\text{ist}} = l/300 = 32,3 \text{ mm} \quad \text{VERIFICATO}$$

$$\delta_{2,\text{fin}} = l/200 = 48,5 \text{ mm} \quad \text{VERIFICATO}$$


DIMENSIONAMENTO E VERIFICA COPERTURA OSPEDALE INFANTILE "C. ARRIGO"

COPERTURA FABBRICATO B: puntoni di tutte le falde

Riferimento: Catasto Fabbricati Foglio n., particella n.

I puntoni sono realizzati in legno LAMELLARE GL 24.

$i = 27,2\%$
 $\alpha = 15,2^\circ$ pendenza falde di copertura

 dati di progetto
 riferimenti da modificare

PUNTONI

Caratteristiche del profilo

b	h	A	J_y	W_y	J_z	W_z	ρ_k	peso
(mm)	(mm)	(mm ²)	(cm ⁴)	(cm ³)	(cm ⁴)	(cm ³)	(kN/m ³)	(kN/m)
120	200	24000	8000	800	2880	480	3,80	0,09

Caratteristiche del materiale

Legno LAMELLARE GL 24.

Azioni e classi di durata del carico

$g_l =$	0,25 kN/m ²	$k_{mod} =$	0,60	peso proprio manto di copertura
$q_n =$	1,20 kN/m ²	$k_{mod} =$	0,90	carico neve
$w_{v,i} =$	-0,36 kN/m ²	$k_{mod} =$	0,90	azione del vento

Schema statico

Si assume lo schema di trave appoggiata per semplicità di calcolo, poiché è anche a favore di sicurezza.

I puntoni sono disposti sulla verticale, gli assi d'inerzia pure, di conseguenza tutti i carichi gravitazionali inducono flessione semplice. L'azione del vento ortogonale alla falda induce solo azione nel piano forte.

Le caratteristiche geometriche dei puntoni sono:

$l = 5,55$ m luce di calcolo massima
 $i = 1,00$ m interasse di competenza

Componenti unitarie delle azioni perpendicolari e parallele al piano dei puntoni

- copertura:

$g_{l,0} = 0,25$ kN/m²
 $g_{l,p} = 0,00$ kN/m²

- neve:

$q_{n,0} = q_n \cos \alpha = 1,16$ kN/m²
 $q_{n,p} = 0,00$ kN/m²

- vento:

$w_{v,0} = 0,00$ kN/m²
 $w_{v,p} = -0,36$ kN/m²

Azioni perpendicolari e parallele al piano dei puntoni

- copertura:

$g_{l,0} = g_{l,0} i$ 0,25 kN/m
 $g_{l,p} = g_{l,p} i$ 0,00 kN/m

- neve:

$q_{n,0} = q_{n,0} i$ 1,16 kN/m
 $q_{n,p} = q_{n,p} i$ 0,00 kN/m

- vento:

$w_{v,0} = w_{v,0} i$ 0,00 kN/m
 $w_{v,p} = w_{v,p} i$ -0,36 kN/m

S.L.U.

La formulazione per la verifica allo stato limite ultimo, nel caso specifico, per la presenza di un singolo carico variabile indipendente è:

$$q_{S,c} = \gamma_G G_G + \gamma_Q G_Q$$

che porta a due condizioni di carico schematicamente individuate nella tabella seguente:

	1	2	3	4	5	azione principale
caso	pesi fissi	neve	vento	manut.	k_{mod}	
1	1,4	1,5	0,0	0,0	0,9	neve
2	1,4	0,0	1,5	0,0	0,9	vento

$$\gamma_M = 1,25 \text{ coeff. del materiale}$$

Se l'altezza della sezione h è inferiore a 600mm, si possono aumentare i valori caratteristici $f_{m,k}$ e $f_{t,0,k}$

del coeff. moltiplicativo

$$k_h = \min(600/h)^{0,2}; 1,15 = 1,25 \quad 1,15 = 1,15$$

Risulta

$$f_{Rd} = k_h k_{mod} f_k / \gamma_M$$

Si riportano i valori significativi in tabella

Classi di resistenza	GL 24		k_{mod} 0,90	
Resistenze in Mpa			f_{Rd}	
flessione	$f_{m,k}$	24,00	$f_{m,d}$	19,9
trazione II fibratura	$f_{t,0,k}$	16,50	$f_{t,0,d}$	13,7
trazione T fibratura	$f_{t,90,k}$	0,40	$f_{t,90,d}$	0,3
compressione II fibratura	$f_{c,0,k}$	24,00	$f_{c,0,d}$	19,9
compressione T fibratura	$f_{c,90,k}$	2,70	$f_{c,90,d}$	2,2
taglio	$f_{v,k}$	2,70	$f_{v,d}$	2,2
Modulo elastico in Gpa				
	$E_{0,mean}$	11,60		
	$E_{0,05}$	9,40		
	$E_{90,mean}$	0,39		
	G_{mean}	0,72		
Massa volumica in kN/m^3				
massa volumica caratteristica	ρ_k	3,80		

Verifiche

A) Di resistenza

Caso 1

Le sollecitazioni e le tensioni sono

- Sollecitazioni e tensioni sul piano perpendicolare i puntoni

$$q_{1,Sd,0} = \gamma_G g_{l,0} + \gamma_Q q_{n,0} = 2,09 \text{ kN/m}$$

$$M_{1,Sd,0} = q_{a,Sd,0} l^2/8 = 8,05 \text{ kNm}$$

$$V_{1,Sd,0} = q_{a,Sd,0} l/2 = 5,80 \text{ kN}$$

$$\sigma_{1m,y,d} = M_{1,Sd,0}/W_y = 10,06 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{1m,y,d} = 1,5 V_{1,Sd,0}/A = 0,36 \text{ N/mm}^2$$

- Sollecitazioni e tensioni sul piano parallelo i puntoni

$$q_{1,Sd,p} = \gamma_G g_{l,p} + \gamma_Q q_{n,p} = 0,00 \text{ kN/m}$$

$$M_{1,Sd,p} = q_{a,Sd,p} l^2/8 = 0,00 \text{ kNm}$$

$$V_{1,Sd,p} = q_{a,Sd,p} l/2 = 0,00 \text{ kN}$$

$$\sigma_{1m,z,d} = M_{1,Sd,p}/W_z = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{1m,z,d} = 1,5 V_{1,Sd,p}/A = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

- Verifica tensioni tangenziali

Deve essere verificata la relazione

$$(\tau_{1m,y,d}^2 + \tau_{1m,z,d}^2)^{0,5} / f_{v,d} = 0,16$$

<1 VERIFICATO

- Verifica azioni flettenti

Considerato $k_m = 0,70$ per la sezione rettangolare

devono essere verificate le relazioni

$$k_m (\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d}) = 0,35$$

<1 VERIFICATO

$$(\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + k_m (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d}) = 0,51$$

<1 VERIFICATO

Si riportano in tabella le sollecitazioni e le tensioni nei casi 1 e 2:

	$q_{1,Sd,0}$	$M_{1,Sd,0}$	$V_{1,Sd,0}$	$\sigma_{1m,y,d}$	$\tau_{1m,y,d}$	$q_{1,Sd,p}$	$M_{1,Sd,p}$	$V_{1,Sd,p}$	$\sigma_{1m,z,d}$	$\tau_{1m,z,d}$
	(kN/m)	(kNm)	(kN)	(N/mm ²)	(N/mm)	(kN/m)	(kNm)	(kN)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
caso 1 - NEVE	2,09	8,05	5,80	10,06	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
caso 2 - VENTO	0,35	1,35	0,97	1,69	0,06	-0,54	-2,08	-1,50	-4,33	-0,09

Verifiche dei casi 1 e 2

	$(\tau_{1m,y,d}^2 + \tau_{1m,z,d}^2)^{0,5} / f_{v,d}$	$k_m (\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d})$	$(\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + k_m (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d})$
caso 1 - NEVE	0,16	0,35	0,51
caso 2 - VENTO	0,05	-0,16	-0,07

A) Di stabilità

L'elemento è vincolato all'estradosso, per l'azione di depressione del vento l'intradosso è compresso; e poiché è possibile che possa essere soggetto all'instabilità per svergolamento deve essere verificato nei confronti di questo fenomeno. I calcoli sono relativi al caso 2 - VENTO.

La verifica va effettuata con il criterio:

1) definizione della tensione critica di svergolamento che, utilizzando l'espressione di Prandtl-Michell, assume la forma:

$$\sigma_{m,crit} = M_{y,crit} / W_y = \pi (E_{0,05} J_z G_{0,05} J_{tor})^{0,5} / (I_{ef} W_y)$$

questa formula, per asta prismatica rettangolare, può essere scritta:

$$\sigma_{m,crit} = \pi b^2 E_{0,05} (G_{mean} / E_{0,mean})^{0,5} / (I_{ef} h)$$

dove, con approssimazione ingegneristicamente accettabile, per travi alte:

$$I_{ef} = I / (a_1 (1 - a_2 a_z / (2 I) (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5}))$$

con

a_z quota di applicazione del carico per rispetto al centro di taglio della sezione, negativa se il carico è a livello superiore.

a_1, a_2 ricavabili da tabella. $a_1 = 1,13$ $a_2 = 1,44$

2) definizione della snellezza ridotta a flessione

$$\lambda_{rel,m} = (f_{m,k} / \sigma_{m,crit})^{0,5} = (I_{ef} h f_{m,k} / (\pi b^2 E_{0,05} (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5}))^{0,5}$$

3) definizione di k_{crit} coeff. di riduzione della tensione resistente di calcolo

$$k_{crit} = 1 \quad \text{per} \quad \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} \quad \text{per} \quad 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,4$$

$$k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 \quad \text{per} \quad 1,4 < \lambda_{rel,m}$$

4) deve risultare

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d}$$

Allora sostituendo all'interno delle relazioni si ottiene:

$$I_{ef} = I / (a_1 (1 - a_2 a_z / (2 I) (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5})) = 467$$

$$\lambda_{rel,m} = (I_{ef} h f_{m,k} / (\pi b^2 E_{0,05} (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5}))^{0,5} = 1,45$$

è

$$\lambda_{rel,m} = 1,45 < 0,75 \quad \text{Irel,m} \leq 0,75 \quad \text{FALSO} \quad \text{se VERO} \quad k_{crit} = 1$$

$$\lambda_{rel,m} = 1,45 > 1,40 \quad \text{Irel,m} > 1,40 \quad \text{VERO} \quad \text{se VERO} \quad k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 = 0,48$$

$$k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 = 0,48 \quad \text{ALTRIMENTI} \quad k_{crit} = 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} = 0,47$$

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d} = \sigma_{m,d} = 4,33 \quad k_{crit} f_{m,d} = 9,55 \text{ N/mm}^2$$

sm,d < kcrit fm,d VERIFICATO

S.L.E.

La combinazione dei carichi che definisce la deformazione è

$$\Sigma G_{k,i} + Q_{k,1} + \Sigma \psi_{1,i} Q_{k,i}$$

i cui valori dei coeff. da utilizzare sono:

azione	$\psi_{0,i}$	$\psi_{1,i}$	$\psi_{2,i}$
magazzini, depositi	0,7	0,9	0,6
vento	0,7	0,2	0,0
neve	0,7	0,3	0,0

Deformazioni

Nelle strutture in legno la componente di deformazione per taglio può essere significativa, pertanto è bene considerare il contributo del taglio alla deformazione.

Per la trave semplicemente appoggiata il coeff. di incremento di freccia dovuto al contributo del taglio riferito alla sola deformata flessionale può essere espresso come:

$$\phi = 1 + f_{\text{taglio}}/f_{\text{fless}} = 1 + 0,96 (E_{0,\text{mean}}/G_{\text{mean}}) (h/l)^2 = 1,02$$

I termini componenti la freccia sono:

u_0 = contrefreccia (se realizzata),

u_1 = freccia dovuta ai carichi permanenti,

u_2 = freccia dovuta ai carichi variabili,

ed è

$$u_{\text{net}} = u_1 + u_2 - u_0$$

Le caratteristiche reologiche del legno hanno una grande importanza nella definizione del comportamento nel tempo, pertanto è necessario considerare oltre alla deformata istantanea u_{ist} , quella differita nel tempo

u_{fin} per gli effetti dei carichi di lunga durata, individuata dalla combinazione di carico quasi permanente,

nella forma:

$$u_{\text{fin}} = u_{\text{ist}} + u_{\text{dif}}$$

dove la u_{dif} è definita mediante k_{def} , funzione del tipo di materiale, della durata del carico e della classe di servizio. I valori di k_{def} sono riportati in tabella seguente:

k_{def} per legno massiccio e lamellare			
classe di durata del carico	classe di servizio		
	1	2	3
permanente	0,60	0,80	2,00
lunga durata	0,50	0,50	1,50
media durata	0,25	0,25	0,75
breve durata	0,00	0,00	0,30

Sono:

$$u_{\text{fin,G}} = u_{\text{ist,G}} (1 + k_{\text{def}})$$

$$u_{\text{fin,Q}} = u_{\text{ist,Q}} (1 + \psi_{1,i} k_{\text{def}})$$

L'EC5 suggerisce le seguenti limitazioni di freccia:

- freccia istantanea

$$u_{2,\text{ist}} \leq L/300 \quad (\text{trave a mensola } L/150)$$

L è la luce libera della trave appoggiata oppure la lunghezza della mensola.

- freccia finale

$$u_{2,\text{fin}} \leq L/200 \quad (\text{trave a mensola } L/100)$$

$$u_{\text{net,fin}} \leq L/200 \quad (\text{trave a mensola } L/100)$$

In questo caso poiché la copertura superiore è fissata all'estradosso delle smezzolette ne impedisce la traslazione parallelamente alla falda, l'unica componente di deformazione è quella parallela all'asse z . Risultano pertanto le deformazioni:

$$u_{\text{ist,G}} = \phi 5 g_{l,0} l^4 / (384 E_{0,\text{mean}} J_y) = 3,4 \text{ mm}$$

$$u_{\text{ist,Q}} = \phi 5 q_{n,0} l^4 / (384 E_{0,\text{mean}} J_y) = 15,8 \text{ mm}$$

quindi

$$u_{\text{fin,G}} = u_{\text{ist,G}} (1 + k_{\text{def}}) = 5,4 \text{ mm}$$

$$u_{\text{fin,Q}} = u_{\text{ist,Q}} (1 + \psi_1 k_{\text{def}}) = 15,8 \text{ mm}$$

e la freccia totale finale a lungo termine è:

$$u_{\text{fin,tot}} = u_{\text{fin,G}} + u_{\text{fin,Q}} = 21,2 \text{ mm}$$

questi valori devono essere confrontati con quelli consentiti che sono:

$$\delta_{2,\text{ist}} = l/300 = 18,5 \text{ mm} \quad \text{VERIFICATO}$$

$$\delta_{2,\text{fin}} = l/200 = 27,8 \text{ mm} \quad \text{VERIFICATO}$$

DIMENSIONAMENTO E VERIFICA COPERTURA OSPEDALE INFANTILE "C. ARRIGO"

COPERTURA FABBRICATO B: colmo

Riferimento: Catasto Fabbricati Foglio n., particella n.

I puntoni sono realizzati in legno LAMELLARE GL 24.

$i =$ 27,2%

$\alpha =$ 15,2 ° pendenza falde di copertura

dati di progetto
riferimenti da modificare

PUNTONI

Caratteristiche del profilo

b	h	A	J_y	W_y	J_z	W_z	ρ_k	peso
(mm)	(mm)	(mm ²)	(cm ⁴)	(cm ³)	(cm ⁴)	(cm ³)	(kN/m ³)	(kN/m)
200	240	48000	23040	1920	16000	1600	3,80	0,18

Caratteristiche del materiale

Legno LAMELLARE GL 24.

Azioni e classi di durata del carico

$g_l =$ 0,35 kN/m²

$k_{mod} =$ 0,60

peso proprio manto di copertura

$q_n =$ 1,20 kN/m²

$k_{mod} =$ 0,90

carico neve

$w_{v,i} =$ -0,36 kN/m²

$k_{mod} =$ 0,90

azione del vento

Schema statico

Si assume lo schema di trave appoggiata per semplicità di calcolo, poiché è anche a favore di sicurezza.

I puntoni sono disposti sulla verticale, gli assi d'inerzia pure, di conseguenza tutti i carichi gravitazionali inducono flessione semplice. L'azione del vento ortogonale alla falda induce solo azione nel piano forte.

Le caratteristiche geometriche dei puntoni sono:

$l =$ 3,15 m luce di calcolo massima

$i =$ 5,55 m interasse di competenza

Componenti unitarie delle azioni perpendicolari e parallele al piano dei puntoni

- copertura:

$g_{l,0} =$ 0,35 kN/m²

$g_{l,p} =$ 0,00 kN/m²

- neve:

$q_{n,0} = q_n \cos \alpha =$ 1,16 kN/m²

$q_{n,p} =$ 0,00 kN/m²

- vento:

$w_{v,0} =$ 0,00 kN/m²

$w_{v,p} =$ -0,36 kN/m²

Azioni perpendicolari e parallele al piano dei puntoni

- copertura:

$g_{l,0} = g_{l,0} i$ 1,94 kN/m

$g_{l,p} = g_{l,p} i$ 0,00 kN/m

- neve:

$q_{n,0} = q_{n,0} i$ 6,44 kN/m

$q_{n,p} = q_{n,p} i$ 0,00 kN/m

- vento:

$w_{v,0} = w_{v,0} i$ 0,00 kN/m

$w_{v,p} = w_{v,p} i$ -2,01 kN/m

S.L.U.

La formulazione per la verifica allo stato limite ultimo, nel caso specifico, per la presenza di un singolo carico variabile indipendente è:

$$q_{S,c} = \gamma_G G_G + \gamma_Q G_Q$$

che porta a due condizioni di carico schematicamente individuate nella tabella seguente:

	1	2	3	4	5	azione principale
caso	pesi fissi	neve	vento	manut.	k_{mod}	
1	1,4	1,5	0,0	0,0	0,9	neve
2	1,4	0,0	1,5	0,0	0,9	vento

$$\gamma_M = 1,25 \text{ coeff. del materiale}$$

Se l'altezza della sezione h è inferiore a 600mm, si possono aumentare i valori caratteristici $f_{m,k}$ e $f_{t,0,k}$

del coeff. moltiplicativo

$$k_h = \min(600/h)^{0,2}; 1,15 = 1,20 \quad 1,15 = 1,15$$

Risulta

$$f_{Rd} = k_h k_{mod} f_k / \gamma_M$$

Si riportano i valori significativi in tabella

Classi di resistenza	GL 24		k_{mod}	0,90
Resistenze in Mpa			f_{Rd}	
flessione	$f_{m,k}$	24,00	$f_{m,d}$	19,9
trazione II fibratura	$f_{t,0,k}$	16,50	$f_{t,0,d}$	13,7
trazione T fibratura	$f_{t,90,k}$	0,40	$f_{t,90,d}$	0,3
compressione II fibratura	$f_{c,0,k}$	24,00	$f_{c,0,d}$	19,9
compressione T fibratura	$f_{c,90,k}$	2,70	$f_{c,90,d}$	2,2
taglio	$f_{v,k}$	2,70	$f_{v,d}$	2,2
Modulo elastico in Gpa				
	$E_{0,mean}$	11,60		
	$E_{0,05}$	9,40		
	$E_{90,mean}$	0,39		
	G_{mean}	0,72		
Massa volumica in kN/m ³				
massa volumica caratteristica	ρ_k	3,80		

Verifiche

A) Di resistenza

Caso 1

Le sollecitazioni e le tensioni sono

- Sollecitazioni e tensioni sul piano perpendicolare i puntoni

$$q_{1,Sd,0} = \gamma_G g_{l,0} + \gamma_Q q_{n,0} = 12,38 \text{ kN/m}$$

$$M_{1,Sd,0} = q_{a,Sd,0} l^2/8 = 15,36 \text{ kNm}$$

$$V_{1,Sd,0} = q_{a,Sd,0} l/2 = 19,50 \text{ kN}$$

$$\sigma_{1m,y,d} = M_{1,Sd,0}/W_y = 8,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{1m,y,d} = 1,5 V_{1,Sd,0}/A = 0,61 \text{ N/mm}^2$$

- Sollecitazioni e tensioni sul piano parallelo i puntoni

$$q_{1,Sd,p} = \gamma_G g_{l,p} + \gamma_Q q_{n,p} = 0,00 \text{ kN/m}$$

$$M_{1,Sd,p} = q_{a,Sd,p} l^2/8 = 0,00 \text{ kNm}$$

$$V_{1,Sd,p} = q_{a,Sd,p} l/2 = 0,00 \text{ kN}$$

$$\sigma_{1m,z,d} = M_{1,Sd,p}/W_z = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{1m,z,d} = 1,5 V_{1,Sd,p}/A = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

- Verifica tensioni tangenziali

Deve essere verificata la relazione

$$(\tau_{1m,y,d}^2 + \tau_{1m,z,d}^2)^{0,5} / f_{v,d} = 0,28$$

<1 VERIFICATO

- Verifica azioni flettenti

Considerato $k_m = 0,70$ per la sezione rettangolare

devono essere verificate le relazioni

$$k_m (\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d}) = 0,28$$

<1 VERIFICATO

$$(\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + k_m (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d}) = 0,40$$

<1 VERIFICATO

Si riportano in tabella le sollecitazioni e le tensioni nei casi 1 e 2:

	$q_{1,Sd,0}$	$M_{1,Sd,0}$	$V_{1,Sd,0}$	$\sigma_{1m,y,d}$	$\tau_{1m,y,d}$	$q_{1,Sd,p}$	$M_{1,Sd,p}$	$V_{1,Sd,p}$	$\sigma_{1m,z,d}$	$\tau_{1m,z,d}$
	(kN/m)	(kNm)	(kN)	(N/mm ²)	(N/mm)	(kN/m)	(kNm)	(kN)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
caso 1 - NEVE	12,38	15,36	19,50	8,00	0,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
caso 2 - VENTO	2,72	3,37	4,28	1,76	0,13	-3,02	-3,75	-4,76	-2,34	-0,15

Verifiche dei casi 1 e 2

	$(\tau_{1m,y,d}^2 + \tau_{1m,z,d}^2)^{0,5} / f_{v,d}$	$k_m (\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d})$	$(\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + k_m (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d})$
caso 1 - NEVE	0,28	0,28	0,4
caso 2 - VENTO	0,09	-0,06	0,01

A) Di stabilità

L'elemento è vincolato all'estradosso, per l'azione di depressione del vento l'intradosso è compresso; e poiché è possibile che possa essere soggetto all'instabilità per svergolamento deve essere verificato nei confronti di questo fenomeno. I calcoli sono relativi al caso 2 - VENTO.

La verifica va effettuata con il criterio:

1) definizione della tensione critica di svergolamento che, utilizzando l'espressione di Prandtl-Michell, assume la forma:

$$\sigma_{m,crit} = M_{y,crit} / W_y = \pi (E_{0,05} J_z G_{0,05} J_{tor})^{0,5} / (l_{ef} W_y)$$

questa formula, per asta prismatica rettangolare, può essere scritta:

$$\sigma_{m,crit} = \pi b^2 E_{0,05} (G_{mean} / E_{0,mean})^{0,5} / (l_{ef} h)$$

dove, con approssimazione ingegneristicamente accettabile, per travi alte:

$$l_{ef} = l / (a_1 (1 - a_2 a_z / (2 l)) (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5})$$

con

a_z quota di applicazione del carico per rispetto al centro di taglio della sezione, negativa se il carico è a livello superiore.

a_1, a_2 ricavabili da tabella. $a_1 = 1,13$ $a_2 = 1,44$

2) definizione della snellezza ridotta a flessione

$$\lambda_{rel,m} = (f_{m,k} / \sigma_{m,crit})^{0,5} = (l_{ef} h f_{m,k} / (\pi b^2 E_{0,05} (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5}))^{0,5}$$

3) definizione di k_{crit} coeff. di riduzione della tensione resistente di calcolo

$$k_{crit} = 1 \quad \text{per} \quad \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} \quad \text{per} \quad 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,4$$

$$k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 \quad \text{per} \quad 1,4 < \lambda_{rel,m}$$

4) deve risultare

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d}$$

Allora sostituendo all'interno delle relazioni si ottiene:

$$l_{ef} = l / (a_1 (1 - a_2 a_z / (2 l)) (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5}) = 251$$

$$\lambda_{rel,m} = (l_{ef} h f_{m,k} / (\pi b^2 E_{0,05} (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5}))^{0,5} = 0,70$$

è

$$\lambda_{rel,m} = 0,7 < 0,75 \quad \text{Irel,m} \leq 0,75 \quad \text{VERO} \quad \text{se VERO} \quad k_{crit} = 1$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,7 > 1,40 \quad \text{Irel,m} > 1,40 \quad \text{FALSO} \quad \text{se VERO} \quad k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 = 2,04$$

$$k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 = 1,04 \quad \text{ALTRIMENTI} \quad k_{crit} = 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} = 1,04$$

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d} = \sigma_{m,d} = 2,34 \quad k_{crit} f_{m,d} = 20,70 \text{ N/mm}^2$$

sm,d < kcrit fm,d VERIFICATO

S.L.E.

La combinazione dei carichi che definisce la deformazione è

$$\Sigma G_{k,i} + Q_{k,1} + \Sigma \psi_{1,i} Q_{k,i}$$

i cui valori dei coeff. da utilizzare sono:

azione	$\psi_{0,i}$	$\psi_{1,i}$	$\psi_{2,i}$
magazzini, depositi	0,7	0,9	0,6
vento	0,7	0,2	0,0
neve	0,7	0,3	0,0

Deformazioni

Nelle strutture in legno la componente di deformazione per taglio può essere significativa, pertanto è bene considerare il contributo del taglio alla deformazione.

Per la trave semplicemente appoggiata il coeff. di incremento di freccia dovuto al contributo del taglio riferito alla sola deformata flessionale può essere espresso come:

$$\phi = 1 + f_{\text{taglio}}/f_{\text{fless}} = 1 + 0,96 (E_{0,\text{mean}}/G_{\text{mean}}) (h/l)^2 = 1,09$$

I termini componenti la freccia sono:

u_0 = controfreccia (se realizzata),

u_1 = freccia dovuta ai carichi permanenti,

u_2 = freccia dovuta ai carichi variabili,

ed è

$$u_{\text{net}} = u_1 + u_2 - u_0$$

Le caratteristiche reologiche del legno hanno una grande importanza nella definizione del comportamento nel tempo, pertanto è necessario considerare oltre alla deformata istantanea u_{ist} , quella differita nel tempo

u_{fin} per gli effetti dei carichi di lunga durata, individuata dalla combinazione di carico quasi permanente,

nella forma:

$$u_{\text{fin}} = u_{\text{ist}} + u_{\text{dif}}$$

dove la u_{dif} è definita mediante k_{def} , funzione del tipo di materiale, della durata del carico e della classe di servizio. I valori di k_{def} sono riportati in tabella seguente:

k_{def} per legno massiccio e lamellare			
classe di durata del carico	classe di servizio		
	1	2	3
permanente	0,60	0,80	2,00
lunga durata	0,50	0,50	1,50
media durata	0,25	0,25	0,75
breve durata	0,00	0,00	0,30

Sono:

$$u_{\text{fin,G}} = u_{\text{ist,G}} (1 + k_{\text{def}})$$

$$u_{\text{fin,Q}} = u_{\text{ist,Q}} (1 + \psi_{1,i} k_{\text{def}})$$

L'EC5 suggerisce le seguenti limitazioni di freccia:

- freccia istantanea

$$u_{2,\text{ist}} \leq L/300 \quad (\text{trave a mensola } L/150)$$

L è la luce libera della trave appoggiata oppure la lunghezza della mensola.

- freccia finale

$$u_{2,\text{fin}} \leq L/200 \quad (\text{trave a mensola } L/100)$$

$$u_{\text{net,fin}} \leq L/200 \quad (\text{trave a mensola } L/100)$$

In questo caso poiché la copertura superiore è fissata all'estradosso delle smezzole ne impedisce la traslazione parallelamente alla falda, l'unica componente di deformazione è quella parallela all'asse z. Risultano pertanto le deformazioni:

$$u_{\text{ist,G}} = \phi \, 5 \, g_{I,0} \, l^4 / (384 \, E_{0,\text{mean}} \, J_y) = 1,0 \, \text{mm}$$

$$u_{\text{ist,Q}} = \phi \, 5 \, q_{n,0} \, l^4 / (384 \, E_{0,\text{mean}} \, J_y) = 3,4 \, \text{mm}$$

quindi

$$u_{\text{fin,G}} = u_{\text{ist,G}} (1 + k_{\text{def}}) = 1,6 \, \text{mm}$$

$$u_{\text{fin,Q}} = u_{\text{ist,Q}} (1 + \psi_1 k_{\text{def}}) = 3,4 \, \text{mm}$$

e la freccia totale finale a lungo termine è:

$$u_{\text{fin,tot}} = u_{\text{fin,G}} + u_{\text{fin,Q}} = 5,0 \, \text{mm}$$

questi valori devono essere confrontati con quelli consentiti che sono:

$$\delta_{2,\text{ist}} = l/300 = 10,5 \, \text{mm} \quad \text{VERIFICATO}$$

$$\delta_{2,\text{fin}} = l/200 = 15,8 \, \text{mm} \quad \text{VERIFICATO}$$

DIMENSIONAMENTO E VERIFICA COPERTURA OSPEDALE INFANTILE "C. ARRIGO"**COPERTURA FABBRICATO B: displuvi falde 1-2 e 9-1**

Riferimento: Catasto Fabbricati Foglio n., particella n.

I puntoni sono realizzati in legno LAMELLARE GL 24.

 $i = 27,2\%$
 $\alpha = 15,2^\circ$ pendenza falde di copertura

	dati di progetto
	riferimenti da modificare

PUNTONI**Caratteristiche del profilo**

b	h	A	J_y	W_y	J_z	W_z	ρ_k	peso
(mm)	(mm)	(mm ²)	(cm ⁴)	(cm ³)	(cm ⁴)	(cm ³)	(kN/m ³)	(kN/m)
200	280	56000	36587	2613	18667	1867	3,80	0,21

Caratteristiche del materiale

Legno LAMELLARE GL 24.

Azioni e classi di durata del carico

$g_l =$	0,35 kN/m ²	$k_{mod} =$	0,60	peso proprio manto di copertura
$q_n =$	1,20 kN/m ²	$k_{mod} =$	0,90	carico neve
$w_{v,i} =$	-0,36 kN/m ²	$k_{mod} =$	0,90	azione del vento

Schema statico

Si assume lo schema di trave appoggiata per semplicità di calcolo, poiché è anche a favore di sicurezza.

I puntoni sono disposti sulla verticale, gli assi d'inerzia pure, di conseguenza tutti i carichi gravitazionali inducono flessione semplice. L'azione del vento ortogonale alla falda induce solo azione nel piano forte.

Le caratteristiche geometriche dei puntoni sono:

 $l = 7,50$ m luce di calcolo massima
 $i = 1,85$ m interasse di competenza

Componenti unitarie delle azioni perpendicolari e parallele al piano dei puntoni

- copertura:

 $g_{l,0} = 0,35$ kN/m²
 $g_{l,p} = 0,00$ kN/m²

- neve:

 $q_{n,0} = q_n \cos \alpha = 1,16$ kN/m²
 $q_{n,p} = 0,00$ kN/m²

- vento:

 $w_{v,0} = 0,00$ kN/m²
 $w_{v,p} = -0,36$ kN/m²

Azioni perpendicolari e parallele al piano dei puntoni

- copertura:

 $g_{l,0} = g_{l,0} i = 0,65$ kN/m
 $g_{l,p} = g_{l,p} i = 0,00$ kN/m

- neve:

 $q_{n,0} = q_{n,0} i = 2,15$ kN/m
 $q_{n,p} = q_{n,p} i = 0,00$ kN/m

- vento:

 $w_{v,0} = w_{v,0} i = 0,00$ kN/m
 $w_{v,p} = w_{v,p} i = -0,67$ kN/m

S.L.U.

La formulazione per la verifica allo stato limite ultimo, nel caso specifico, per la presenza di un singolo carico variabile indipendente è:

$$q_{S,c} = \gamma_G G_G + \gamma_Q G_Q$$

che porta a due condizioni di carico schematicamente individuate nella tabella seguente:

	1	2	3	4	5	azione principale
caso	pesi fissi	neve	vento	manut.	k_{mod}	
1	1,4	1,5	0,0	0,0	0,9	neve
2	1,4	0,0	1,5	0,0	0,9	vento

$$\gamma_M = 1,25 \text{ coeff. del materiale}$$

Se l'altezza della sezione h è inferiore a 600mm, si possono aumentare i valori caratteristici $f_{m,k}$ e $f_{t,0,k}$

del coeff. moltiplicativo

$$k_h = \min(600/h)^{0,2}, 1,15 = 1,16 \quad 1,15 = 1,15$$

Risulta

$$f_{Rd} = k_h k_{mod} f_{ik} / \gamma_M$$

Si riportano i valori significativi in tabella

Classi di resistenza	GL 24		k_{mod}	0,90
Resistenze in Mpa			f_{Rd}	
flessione	$f_{m,k}$	24,00	$f_{m,d}$	19,9
trazione II fibratura	$f_{t,0,k}$	16,50	$f_{t,0,d}$	13,7
trazione T fibratura	$f_{t,90,k}$	0,40	$f_{t,90,d}$	0,3
compressione II fibratura	$f_{c,0,k}$	24,00	$f_{c,0,d}$	19,9
compressione T fibratura	$f_{c,90,k}$	2,70	$f_{c,90,d}$	2,2
taglio	$f_{v,k}$	2,70	$f_{v,d}$	2,2
Modulo elastico in Gpa				
	$E_{0,mean}$	11,60		
	$E_{0,05}$	9,40		
	$E_{90,mean}$	0,39		
	G_{mean}	0,72		
Massa volumica in kN/m ³				
massa volumica caratteristica	ρ_k	3,80		

Verifiche

A) Di resistenza

Caso 1

Le sollecitazioni e le tensioni sono

- Sollecitazioni e tensioni sul piano perpendicolare i puntoni

$$q_{1,Sd,0} = \gamma_G g_{l,0} + \gamma_Q q_{n,0} = 4,14 \text{ kN/m}$$

$$M_{1,Sd,0} = q_{a,Sd,0} l^2/8 = 29,11 \text{ kNm}$$

$$V_{1,Sd,0} = q_{a,Sd,0} l/2 = 15,53 \text{ kN}$$

$$\sigma_{1m,y,d} = M_{1,Sd,0}/W_y = 11,14 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{1m,y,d} = 1,5 V_{1,Sd,0}/A = 0,42 \text{ N/mm}^2$$

- Sollecitazioni e tensioni sul piano parallelo i puntoni

$$q_{1,Sd,p} = \gamma_G g_{l,p} + \gamma_Q q_{n,p} = 0,00 \text{ kN/m}$$

$$M_{1,Sd,p} = q_{a,Sd,p} l^2/8 = 0,00 \text{ kNm}$$

$$V_{1,Sd,p} = q_{a,Sd,p} l/2 = 0,00 \text{ kN}$$

$$\sigma_{1m,z,d} = M_{1,Sd,p}/W_z = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{1m,z,d} = 1,5 V_{1,Sd,p}/A = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

- Verifica tensioni tangenziali

Deve essere verificata la relazione

$$(\tau_{1m,y,d}^2 + \tau_{1m,z,d}^2)^{0,5} / f_{v,d} = 0,19$$

<1 VERIFICATO

- Verifica azioni flettenti

Considerato $k_m = 0,70$ per la sezione rettangolare

devono essere verificate le relazioni

$$k_m (\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d}) = 0,39$$

<1 VERIFICATO

$$(\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + k_m (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d}) = 0,56$$

<1 VERIFICATO

Si riportano in tabella le sollecitazioni e le tensioni nei casi 1 e 2:

	$q_{1,Sd,0}$	$M_{1,Sd,0}$	$V_{1,Sd,0}$	$\sigma_{1m,y,d}$	$\tau_{1m,y,d}$	$q_{1,Sd,p}$	$M_{1,Sd,p}$	$V_{1,Sd,p}$	$\sigma_{1m,z,d}$	$\tau_{1m,z,d}$
	(kN/m)	(kNm)	(kN)	(N/mm ²)	(N/mm)	(kN/m)	(kNm)	(kN)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
caso 1 - NEVE	4,14	29,11	15,53	11,14	0,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
caso 2 - VENTO	0,91	6,40	3,41	2,45	0,09	-1,01	-7,10	-3,79	-3,80	-0,10

Verifiche dei casi 1 e 2

	$(\tau_{1m,y,d}^2 + \tau_{1m,z,d}^2)^{0,5} / f_{v,d}$	$k_m (\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d})$	$(\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + k_m (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d})$
caso 1 - NEVE	0,19	0,39	0,56
caso 2 - VENTO	0,06	-0,1	-0,01

A) Di stabilità

L'elemento è vincolato all'estradosso, per l'azione di depressione del vento l'intradosso è compresso; e poiché è possibile che possa essere soggetto all'instabilità per svergolamento deve essere verificato nei confronti di questo fenomeno. I calcoli sono relativi al caso 2 - VENTO.

La verifica va effettuata con il criterio:

1) definizione della tensione critica di svergolamento che, utilizzando l'espressione di Prandtl-Michell, assume la forma:

$$\sigma_{m,crit} = M_{y,crit} / W_y = \pi (E_{0,05} J_z G_{0,05} J_{tor})^{0,5} / (l_{ef} W_y)$$

questa formula, per asta prismatica rettangolare, può essere scritta:

$$\sigma_{m,crit} = \pi b^2 E_{0,05} (G_{mean} / E_{0,mean})^{0,5} / (l_{ef} h)$$

dove, con approssimazione ingegneristicamente accettabile, per travi alte:

$$l_{ef} = l / (a_1 (1 - a_2 a_z / (2 l)) (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5})$$

con

a_z quota di applicazione del carico per rispetto al centro di taglio della sezione, negativa se il carico è a livello superiore.

a_1, a_2 ricavabili da tabella. $a_1 = 1,13$ $a_2 = 1,44$

2) definizione della snellezza ridotta a flessione

$$\lambda_{rel,m} = (f_{m,k} / \sigma_{m,crit})^{0,5} = (l_{ef} h f_{m,k} / (\pi b^2 E_{0,05} (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5}))^{0,5}$$

3) definizione di k_{crit} coeff. di riduzione della tensione resistente di calcolo

$$k_{crit} = 1 \quad \text{per} \quad \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} \quad \text{per} \quad 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,4$$

$$k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 \quad \text{per} \quad 1,4 < \lambda_{rel,m}$$

4) deve risultare

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d}$$

Allora sostituendo all'interno delle relazioni si ottiene:

$$l_{ef} = l / (a_1 (1 - a_2 a_z / (2 l)) (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5}) = 630$$

$$\lambda_{rel,m} = (l_{ef} h f_{m,k} / (\pi b^2 E_{0,05} (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5}))^{0,5} = 1,20$$

è

$$\lambda_{rel,m} = 1,2 < 0,75 \quad \text{Irel,m} \leq 0,75 \quad \text{FALSO} \quad \text{se VERO} \quad k_{crit} = 1$$

$$\lambda_{rel,m} = 1,2 > 1,40 \quad \text{Irel,m} > 1,40 \quad \text{FALSO} \quad \text{se VERO} \quad k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 = 0,69$$

$$k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 = 0,66 \quad \text{ALTRIMENTI} \quad k_{crit} = 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} = 0,66$$

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d} = \sigma_{m,d} = 3,80 \quad k_{crit} f_{m,d} = 13,13 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{m,d} < k_{crit} f_{m,d}$ VERIFICATO

S.L.E.

La combinazione dei carichi che definisce la deformazione è

$$\Sigma G_{k,i} + Q_{k,1} + \Sigma \psi_{1,i} Q_{k,i}$$

i cui valori dei coeff. da utilizzare sono:

azione	$\Psi_{0,i}$	$\Psi_{1,i}$	$\Psi_{2,i}$
magazzini, depositi	0,7	0,9	0,6
vento	0,7	0,2	0,0
neve	0,7	0,3	0,0

Deformazioni

Nelle strutture in legno la componente di deformazione per taglio può essere significativa, pertanto è bene considerare il contributo del taglio alla deformazione.

Per la trave semplicemente appoggiata il coeff. di incremento di freccia dovuto al contributo del taglio riferito alla sola deformata flessionale può essere espresso come:

$$\phi = 1 + f_{\text{taglio}}/f_{\text{fless}} = 1 + 0,96 (E_{0,\text{mean}}/G_{\text{mean}}) (h/l)^2 = 1,02$$

I termini componenti la freccia sono:

u_0 = contrefreccia (se realizzata),

u_1 = freccia dovuta ai carichi permanenti,

u_2 = freccia dovuta ai carichi variabili,

ed è

$$u_{\text{net}} = u_1 + u_2 - u_0$$

Le caratteristiche reologiche del legno hanno una grande importanza nella definizione del comportamento nel tempo, pertanto è necessario considerare oltre alla deformata istantanea u_{ist} , quella differita nel tempo

u_{fin} per gli effetti dei carichi di lunga durata, individuata dalla combinazione di carico quasi permanente,

nella forma:

$$u_{\text{fin}} = u_{\text{ist}} + u_{\text{dif}}$$

dove la u_{dif} è definita mediante k_{def} , funzione del tipo di materiale, della durata del carico e della classe di servizio. I valori di k_{def} sono riportati in tabella seguente:

k_{def} per legno massiccio e lamellare			
classe di durata del carico	classe di servizio		
	1	2	3
permanente	0,60	0,80	2,00
lunga durata	0,50	0,50	1,50
media durata	0,25	0,25	0,75
breve durata	0,00	0,00	0,30

Sono:

$$u_{\text{fin,G}} = u_{\text{ist,G}} (1 + k_{\text{def}})$$

$$u_{\text{fin,Q}} = u_{\text{ist,Q}} (1 + \Psi_{1,i} k_{\text{def}})$$

L'EC5 suggerisce le seguenti limitazioni di freccia:

- freccia istantanea

$$u_{2,\text{ist}} \leq L/300 \quad (\text{trave a mensola } L/150)$$

L è la luce libera della trave appoggiata oppure la lunghezza della mensola.

- freccia finale

$$u_{2,\text{fin}} \leq L/200 \quad (\text{trave a mensola } L/100)$$

$$u_{\text{net,fin}} \leq L/200 \quad (\text{trave a mensola } L/100)$$

In questo caso poiché la copertura superiore è fissata all'estradosso delle smezzole ne impedisce la traslazione parallelamente alla falda, l'unica componente di deformazione è quella parallela all'asse z . Risultano pertanto le deformazioni:

$$u_{\text{ist,G}} = \phi \, 5 \, g_{l,0} \, l^4 / (384 \, E_{0,\text{mean}} \, J_y) = 6,4 \, \text{mm}$$

$$u_{\text{ist,Q}} = \phi \, 5 \, q_{n,0} \, l^4 / (384 \, E_{0,\text{mean}} \, J_y) = 21,3 \, \text{mm}$$

quindi

$$u_{\text{fin,G}} = u_{\text{ist,G}} (1 + k_{\text{def}}) = 10,2 \, \text{mm}$$

$$u_{\text{fin,Q}} = u_{\text{ist,Q}} (1 + \Psi_1 k_{\text{def}}) = 21,3 \, \text{mm}$$

e la freccia totale finale a lungo termine è:

$$u_{\text{fin,tot}} = u_{\text{fin,G}} + u_{\text{fin,Q}} = 31,5 \, \text{mm}$$

questi valori devono essere confrontati con quelli consentiti che sono:

$$\delta_{2,\text{ist}} = l/300 = 25,0 \, \text{mm}$$

$$\delta_{2,\text{fin}} = l/200 = 37,5 \, \text{mm}$$

VERIFICATO

VERIFICATO

DIMENSIONAMENTO E VERIFICA COPERTURA OSPEDALE INFANTILE "C. ARRIGO"

COPERTURA FABBRICATO C: puntoni di tutte le falde

Riferimento: Catasto Fabbricati Foglio n., particella n.

I puntoni sono realizzati in legno LAMELLARE GL 24.

$i = 27,2\%$
 $\alpha = 15,2^\circ$ pendenza falde di copertura

	dati di progetto
	riferimenti da modificare

PUNTONI

Caratteristiche del profilo

b	h	A	J_y	W_y	J_z	W_z	ρ_k	peso
(mm)	(mm)	(mm ²)	(cm ⁴)	(cm ³)	(cm ⁴)	(cm ³)	(kN/m ³)	(kN/m)
120	240	28800	13824	1152	3456	576	3,80	0,11

Caratteristiche del materiale

Legno LAMELLARE GL 24.

Azioni e classi di durata del carico

$g_l =$	0,25 kN/m ²	$k_{mod} =$	0,60	peso proprio manto di copertura
$q_n =$	1,20 kN/m ²	$k_{mod} =$	0,90	carico neve
$w_{v,i} =$	-0,36 kN/m ²	$k_{mod} =$	0,90	azione del vento

Schema statico

Si assume lo schema di trave appoggiata per semplicità di calcolo, poiché è anche a favore di sicurezza.

I puntoni sono disposti sulla verticale, gli assi d'inerzia pure, di conseguenza tutti i carichi gravitazionali inducono flessione semplice. L'azione del vento ortogonale alla falda induce solo azione nel piano forte.

Le caratteristiche geometriche dei puntoni sono:

$l = 6,45$ m luce di calcolo massima
 $i = 1,00$ m interasse di competenza

Componenti unitarie delle azioni perpendicolari e parallele al piano dei puntoni

- copertura:

$g_{l,0} = 0,25$ kN/m²

$g_{l,p} = 0,00$ kN/m²

- neve:

$q_{n,0} = q_n \cos \alpha = 1,16$ kN/m²

$q_{n,p} = 0,00$ kN/m²

- vento:

$w_{v,0} = 0,00$ kN/m²

$w_{v,p} = -0,36$ kN/m²

Azioni perpendicolari e parallele al piano dei puntoni

- copertura:

$g_{l,0} = g_{l,0} i$ 0,25 kN/m

$g_{l,p} = g_{l,p} i$ 0,00 kN/m

- neve:

$q_{n,0} = q_{n,0} i$ 1,16 kN/m

$q_{n,p} = q_{n,p} i$ 0,00 kN/m

- vento:

$w_{v,0} = w_{v,0} i$ 0,00 kN/m

$w_{v,p} = w_{v,p} i$ -0,36 kN/m

S.L.U.

La formulazione per la verifica allo stato limite ultimo, nel caso specifico, per la presenza di un singolo carico variabile indipendente è:

$$q_{s,c} = \gamma_G G_G + \gamma_Q G_Q$$

che porta a due condizioni di carico schematicamente individuate nella tabella seguente:

	1	2	3	4	5	azione principale
caso	pesi fissi	neve	vento	manut.	k_{mod}	
1	1,4	1,5	0,0	0,0	0,9	neve
2	1,4	0,0	1,5	0,0	0,9	vento

$$\gamma_M = 1,25 \text{ coeff. del materiale}$$

Se l'altezza della sezione h è inferiore a 600mm, si possono aumentare i valori caratteristici $f_{m,k}$ e $f_{t,0,k}$

del coeff. moltiplicativo

$$k_h = \min(600/h)^{0,2}; 1,15 \quad 1,20 \quad 1,15 = 1,15$$

Risulta

$$f_{Rd} = k_h k_{mod} f_k / \gamma_M$$

Si riportano i valori significativi in tabella

Classi di resistenza	GL 24		k_{mod}	0,90
Resistenze in Mpa			f_{Rd}	
flessione	$f_{m,k}$	24,00	$f_{m,d}$	19,9
trazione II fibratura	$f_{t,0,k}$	16,50	$f_{t,0,d}$	13,7
trazione T fibratura	$f_{t,90,k}$	0,40	$f_{t,90,d}$	0,3
compressione II fibratura	$f_{c,0,k}$	24,00	$f_{c,0,d}$	19,9
compressione T fibratura	$f_{c,90,k}$	2,70	$f_{c,90,d}$	2,2
taglio	$f_{v,k}$	2,70	$f_{v,d}$	2,2
Modulo elastico in Gpa				
	$E_{0,mean}$	11,60		
	$E_{0,05}$	9,40		
	$E_{90,mean}$	0,39		
	G_{mean}	0,72		
Massa volumica in kN/m ³				
massa volumica caratteristica	ρ_k	3,80		

Verifiche

A) Di resistenza

Caso 1

Le sollecitazioni e le tensioni sono

- Sollecitazioni e tensioni sul piano perpendicolare i puntoni

$$q_{1,Sd,0} = \gamma_G g_{l,0} + \gamma_Q q_{n,0} = 2,09 \text{ kN/m}$$

$$M_{1,Sd,0} = q_{a,Sd,0} l^2/8 = 10,87 \text{ kNm}$$

$$V_{1,Sd,0} = q_{a,Sd,0} l/2 = 6,74 \text{ kN}$$

$$\sigma_{1m,y,d} = M_{1,Sd,0}/W_y = 9,44 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{1m,y,d} = 1,5 V_{1,Sd,0}/A = 0,35 \text{ N/mm}^2$$

- Sollecitazioni e tensioni sul piano parallelo i puntoni

$$q_{1,Sd,p} = \gamma_G g_{l,p} + \gamma_Q q_{n,p} = 0,00 \text{ kN/m}$$

$$M_{1,Sd,p} = q_{a,Sd,p} l^2/8 = 0,00 \text{ kNm}$$

$$V_{1,Sd,p} = q_{a,Sd,p} l/2 = 0,00 \text{ kN}$$

$$\sigma_{1m,z,d} = M_{1,Sd,p}/W_z = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{1m,z,d} = 1,5 V_{1,Sd,p}/A = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

- Verifica tensioni tangenziali

Deve essere verificata la relazione

$$(\tau_{1m,y,d}^2 + \tau_{1m,z,d}^2)^{0,5} / f_{v,d} = 0,16$$

<1 VERIFICATO

- Verifica azioni flettenti

Considerato $k_m = 0,70$ per la sezione rettangolare

devono essere verificate le relazioni

$$k_m (\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d}) = 0,33$$

<1 VERIFICATO

$$(\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + k_m (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d}) = 0,47$$

<1 VERIFICATO

Si riportano in tabella le sollecitazioni e le tensioni nei casi 1 e 2:

	$q_{1,Sd,0}$	$M_{1,Sd,0}$	$V_{1,Sd,0}$	$\sigma_{1m,y,d}$	$\tau_{1m,y,d}$	$q_{1,Sd,p}$	$M_{1,Sd,p}$	$V_{1,Sd,p}$	$\sigma_{1m,z,d}$	$\tau_{1m,z,d}$
	(kN/m)	(kNm)	(kN)	(N/mm ²)	(N/mm)	(kN/m)	(kNm)	(kN)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
caso 1 - NEVE	2,09	10,87	6,74	9,44	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
caso 2 - VENTO	0,35	1,82	1,13	1,58	0,06	-0,54	-2,81	-1,74	-4,88	-0,09

Verifiche dei casi 1 e 2

	$(\tau_{1m,y,d}^2 + \tau_{1m,z,d}^2)^{0,5} / f_{v,d}$	$k_m (\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d})$	$(\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + k_m (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d})$
caso 1 - NEVE	0,16	0,33	0,47
caso 2 - VENTO	0,05	-0,19	-0,09

A) Di stabilità

L'elemento è vincolato all'estradosso, per l'azione di depressione del vento l'intradosso è compresso; e poiché è possibile che possa essere soggetto all'instabilità per svergolamento deve essere verificato nei confronti di questo fenomeno. I calcoli sono relativi al caso 2 - VENTO.

La verifica va effettuata con il criterio:

1) definizione della tensione critica di svergolamento che, utilizzando l'espressione di Prandtl-Michell, assume la forma:

$$\sigma_{m,crit} = M_{y,crit} / W_y = \pi (E_{0,05} J_z G_{0,05} J_{tor})^{0,5} / (I_{ef} W_y)$$

questa formula, per asta prismatica rettangolare, può essere scritta:

$$\sigma_{m,crit} = \pi b^2 E_{0,05} (G_{mean} / E_{0,mean})^{0,5} / (I_{ef} h)$$

dove, con approssimazione ingegneristicamente accettabile, per travi alte:

$$I_{ef} = I / (a_1 (1 - a_2 a_z / (2 I)) (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5})$$

con

a_z quota di applicazione del carico per rispetto al centro di taglio della sezione, negativa se il carico è a livello superiore.

a_1, a_2 ricavabili da tabella. $a_1 = 1,13$ $a_2 = 1,44$

2) definizione della snellezza ridotta a flessione

$$\lambda_{rel,m} = (f_{m,k} / \sigma_{m,crit})^{0,5} = (I_{ef} h f_{m,k} / (\pi b^2 E_{0,05}) (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5})^{0,5}$$

3) definizione di k_{crit} coeff. di riduzione della tensione resistente di calcolo

$$k_{crit} = 1 \quad \text{per} \quad \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} \quad \text{per} \quad 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,4$$

$$k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 \quad \text{per} \quad 1,4 < \lambda_{rel,m}$$

4) deve risultare

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d}$$

Allora sostituendo all'interno delle relazioni si ottiene:

$$I_{ef} = I / (a_1 (1 - a_2 a_z / (2 I)) (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5}) = 542$$

$$\lambda_{rel,m} = (I_{ef} h f_{m,k} / (\pi b^2 E_{0,05}) (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5})^{0,5} = 1,72$$

è

$$\lambda_{rel,m} = 1,72 < 0,75 \quad \text{Irel,m} \leq 0,75 \quad \text{FALSO} \quad \text{se VERO} \quad k_{crit} = 1$$

$$\lambda_{rel,m} = 1,72 > 1,40 \quad \text{Irel,m} > 1,40 \quad \text{VERO} \quad \text{se VERO} \quad k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 = 0,34$$

$$k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 = 0,34 \quad \text{ALTRIMENTI} \quad k_{crit} = 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} = 0,27$$

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d} \quad \sigma_{m,d} = 4,88 \quad k_{crit} f_{m,d} = 6,77 \text{ N/mm}^2$$

sm,d < kcrit fm,d VERIFICATO

S.L.E.

La combinazione dei carichi che definisce la deformazione è

$$\Sigma G_{k,i} + Q_{k,1} + \Sigma \psi_{1,i} Q_{k,i}$$

i cui valori dei coeff. da utilizzare sono:

azione	$\Psi_{0,i}$	$\Psi_{1,i}$	$\Psi_{2,i}$
magazzini, depositi	0,7	0,9	0,6
vento	0,7	0,2	0,0
neve	0,7	0,3	0,0

Deformazioni

Nelle strutture in legno la componente di deformazione per taglio può essere significativa, pertanto è bene considerare il contributo del taglio alla deformazione.

Per la trave semplicemente appoggiata il coeff. di incremento di freccia dovuto al contributo del taglio riferito alla sola deformata flessionale può essere espresso come:

$$\phi = 1 + f_{\text{taglio}}/f_{\text{fless}} = 1 + 0,96 (E_{0,\text{mean}}/G_{\text{mean}}) (h/l)^2 = 1,02$$

I termini componenti la freccia sono:

u_0 = contrefreccia (se realizzata),

u_1 = freccia dovuta ai carichi permanenti,

u_2 = freccia dovuta ai carichi variabili,

ed è

$$u_{\text{net}} = u_1 + u_2 - u_0$$

Le caratteristiche reologiche del legno hanno una grande importanza nella definizione del comportamento nel tempo, pertanto è necessario considerare oltre alla deformata istantanea u_{ist} , quella differita nel tempo

u_{fin} per gli effetti dei carichi di lunga durata, individuata dalla combinazione di carico quasi permanente,

nella forma:

$$u_{\text{fin}} = u_{\text{ist}} + u_{\text{dif}}$$

dove la u_{dif} è definita mediante k_{def} , funzione del tipo di materiale, della durata del carico e della classe di servizio. I valori di k_{def} sono riportati in tabella seguente:

k_{def} per legno massiccio e lamellare			
classe di durata del carico	classe di servizio		
	1	2	3
permanente	0,60	0,80	2,00
lunga durata	0,50	0,50	1,50
media durata	0,25	0,25	0,75
breve durata	0,00	0,00	0,30

Sono:

$$u_{\text{fin,G}} = u_{\text{ist,G}} (1 + k_{\text{def}})$$

$$u_{\text{fin,Q}} = u_{\text{ist,Q}} (1 + \psi_{1,i} k_{\text{def}})$$

L'EC5 suggerisce le seguenti limitazioni di freccia:

- freccia istantanea

$$u_{2,\text{ist}} \leq L/300 \quad (\text{trave a mensola } L/150)$$

L è la luce libera della trave appoggiata oppure la lunghezza della mensola.

- freccia finale

$$u_{2,\text{fin}} \leq L/200 \quad (\text{trave a mensola } L/100)$$

$$u_{\text{net,fin}} \leq L/200 \quad (\text{trave a mensola } L/100)$$

In questo caso poiché la copertura superiore è fissata all'estradosso delle smezzole ne impedisce la traslazione parallelamente alla falda, l'unica componente di deformazione è quella parallela all'asse

z . Risultano pertanto le deformazioni:

$$u_{\text{ist,G}} = \phi 5 g_{l,0} l^4 / (384 E_{0,\text{mean}} J_y) = 3,6 \text{ mm}$$

$$u_{\text{ist,Q}} = \phi 5 q_{n,0} l^4 / (384 E_{0,\text{mean}} J_y) = 16,6 \text{ mm}$$

quindi

$$u_{\text{fin,G}} = u_{\text{ist,G}} (1 + k_{\text{def}}) = 5,8 \text{ mm}$$

$$u_{\text{fin,Q}} = u_{\text{ist,Q}} (1 + \psi_1 k_{\text{def}}) = 16,6 \text{ mm}$$

e la freccia totale finale a lungo termine è:

$$u_{\text{fin,tot}} = u_{\text{fin,G}} + u_{\text{fin,Q}} = 22,4 \text{ mm}$$

questi valori devono essere confrontati con quelli consentiti che sono:

$$\delta_{2,\text{ist}} = l/300 = 21,5 \text{ mm} \quad \text{VERIFICATO}$$

$$\delta_{2,\text{fin}} = l/200 = 32,3 \text{ mm} \quad \text{VERIFICATO}$$

DIMENSIONAMENTO E VERIFICA COPERTURA OSPEDALE INFANTILE "C. ARRIGO"**COPERTURA FABBRICATO C: colmi**

Riferimento: Catasto Fabbricati Foglio n., particella n.

I puntoni sono realizzati in legno LAMELLARE GL 24.

 $i = 27,2\%$ $\alpha = 15,2^\circ$ pendenza falde di copertura

	dati di progetto
	riferimenti da modificare

PUNTONI**Caratteristiche del profilo**

b	h	A	J_y	W_y	J_z	W_z	ρ_k	peso
(mm)	(mm)	(mm ²)	(cm ⁴)	(cm ³)	(cm ⁴)	(cm ³)	(kN/m ³)	(kN/m)
200	320	64000	54613	3413	21333	2133	3,80	0,24

Caratteristiche del materiale

Legno LAMELLARE GL 24.

Azioni e classi di durata del carico

 $g_l = 0,35 \text{ kN/m}^2$ $k_{mod} = 0,60$

peso proprio manto di copertura

 $q_n = 1,20 \text{ kN/m}^2$ $k_{mod} = 0,90$

carico neve

 $w_{v,i} = -0,36 \text{ kN/m}^2$ $k_{mod} = 0,90$

azione del vento

Schema statico

Si assume lo schema di trave appoggiata per semplicità di calcolo, poiché è anche a favore di sicurezza.

I puntoni sono disposti sulla verticale, gli assi d'inerzia pure, di conseguenza tutti i carichi gravitazionali inducono flessione semplice. L'azione del vento ortogonale alla falda induce solo azione nel piano forte.

Le caratteristiche geometriche dei puntoni sono:

 $l = 3,75 \text{ m}$ luce di calcolo massima $i = 6,45 \text{ m}$ interasse di competenza

Componenti unitarie delle azioni perpendicolari e parallele al piano dei puntoni

- copertura:

 $g_{l,0} = 0,35 \text{ kN/m}^2$ $g_{l,p} = 0,00 \text{ kN/m}^2$

- neve:

 $q_{n,0} = q_n \cos \alpha = 1,16 \text{ kN/m}^2$ $q_{n,p} = 0,00 \text{ kN/m}^2$

- vento:

 $w_{v,0} = 0,00 \text{ kN/m}^2$ $w_{v,p} = -0,36 \text{ kN/m}^2$

Azioni perpendicolari e parallele al piano dei puntoni

- copertura:

 $g_{l,0} = g_{l,0} i = 2,26 \text{ kN/m}$ $g_{l,p} = g_{l,p} i = 0,00 \text{ kN/m}$

- neve:

 $q_{n,0} = q_{n,0} i = 7,48 \text{ kN/m}$ $q_{n,p} = q_{n,p} i = 0,00 \text{ kN/m}$

- vento:

 $w_{v,0} = w_{v,0} i = 0,00 \text{ kN/m}$ $w_{v,p} = w_{v,p} i = -2,34 \text{ kN/m}$

S.L.U.

La formulazione per la verifica allo stato limite ultimo, nel caso specifico, per la presenza di un singolo carico variabile indipendente è:

$$q_{S,c} = \gamma_G G_G + \gamma_Q G_Q$$

che porta a due condizioni di carico schematicamente individuate nella tabella seguente:

	1	2	3	4	5	azione principale
caso	pesi fissi	neve	vento	manut.	k_{mod}	
1	1,4	1,5	0,0	0,0	0,9	neve
2	1,4	0,0	1,5	0,0	0,9	vento

$$\gamma_M = 1,25 \text{ coeff. del materiale}$$

Se l'altezza della sezione h è inferiore a 600mm, si possono aumentare i valori caratteristici $f_{m,k}$ e $f_{t,0,k}$

del coeff. moltiplicativo

$$k_h = \min(600/h)^{0,2}; 1,15 \mid = 1,13 \quad 1,15 = 1,13$$

Risulta

$$f_{Rd} = k_h k_{mod} f_k / \gamma_M$$

Si riportano i valori significativi in tabella

Classi di resistenza	GL 24		k_{mod}	0,90
Resistenze in Mpa			f_{Rd}	
flessione	$f_{m,k}$	24,00	$f_{m,d}$	19,5
trazione II fibratura	$f_{t,0,k}$	16,50	$f_{t,0,d}$	13,4
trazione T fibratura	$f_{t,90,k}$	0,40	$f_{t,90,d}$	0,3
compressione II fibratura	$f_{c,0,k}$	24,00	$f_{c,0,d}$	19,5
compressione T fibratura	$f_{c,90,k}$	2,70	$f_{c,90,d}$	2,2
taglio	$f_{v,k}$	2,70	$f_{v,d}$	2,2
Modulo elastico in Gpa				
	$E_{0,mean}$	11,60		
	$E_{0,05}$	9,40		
	$E_{90,mean}$	0,39		
	G_{mean}	0,72		
Massa volumica in kN/m ³				
massa volumica caratteristica	ρ_k	3,80		

Verifiche

A) Di resistenza

Caso 1

Le sollecitazioni e le tensioni sono

- Sollecitazioni e tensioni sul piano perpendicolare i puntoni

$$q_{1,Sd,0} = \gamma_G g_{l,0} + \gamma_Q q_{n,0} = 14,38 \text{ kN/m}$$

$$M_{1,Sd,0} = q_{a,Sd,0} l^2/8 = 25,28 \text{ kNm}$$

$$V_{1,Sd,0} = q_{a,Sd,0} l/2 = 26,96 \text{ kN}$$

$$\sigma_{1m,y,d} = M_{1,Sd,0}/W_y = 7,41 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{1m,y,d} = 1,5 V_{1,Sd,0}/A = 0,63 \text{ N/mm}^2$$

- Sollecitazioni e tensioni sul piano parallelo i puntoni

$$q_{1,Sd,p} = \gamma_G g_{l,p} + \gamma_Q q_{n,p} = 0,00 \text{ kN/m}$$

$$M_{1,Sd,p} = q_{a,Sd,p} l^2/8 = 0,00 \text{ kNm}$$

$$V_{1,Sd,p} = q_{a,Sd,p} l/2 = 0,00 \text{ kN}$$

$$\sigma_{1m,z,d} = M_{1,Sd,p}/W_z = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{1m,z,d} = 1,5 V_{1,Sd,p}/A = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

- Verifica tensioni tangenziali

Deve essere verificata la relazione

$$(\tau_{1m,y,d}^2 + \tau_{1m,z,d}^2)^{0,5} / f_{v,d} = 0,29$$

<1 VERIFICATO

- Verifica azioni flettenti

Considerato $k_m = 0,70$ per la sezione rettangolare

devono essere verificate le relazioni

$$k_m (\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d}) = 0,27$$

<1 VERIFICATO

$$(\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + k_m (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d}) = 0,38$$

<1 VERIFICATO

Si riportano in tabella le sollecitazioni e le tensioni nei casi 1 e 2:

	$q_{1,Sd,0}$	$M_{1,Sd,0}$	$V_{1,Sd,0}$	$\sigma_{1m,y,d}$	$\tau_{1m,y,d}$	$q_{1,Sd,p}$	$M_{1,Sd,p}$	$V_{1,Sd,p}$	$\sigma_{1m,z,d}$	$\tau_{1m,z,d}$
	(kN/m)	(kNm)	(kN)	(N/mm ²)	(N/mm)	(kN/m)	(kNm)	(kN)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
caso 1 - NEVE	14,38	25,28	26,96	7,41	0,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
caso 2 - VENTO	3,16	5,55	5,93	1,63	0,14	-3,51	-6,17	-6,58	-2,89	-0,15

Verifiche dei casi 1 e 2

	$(\tau_{1m,y,d}^2 + \tau_{1m,z,d}^2)^{0,5} / f_{v,d}$	$k_m (\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d})$	$(\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + k_m (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d})$
caso 1 - NEVE	0,29	0,27	0,38
caso 2 - VENTO	0,09	-0,09	-0,02

A) Di stabilità

L'elemento è vincolato all'estradosso, per l'azione di depressione del vento l'intradosso è compresso; e poiché è possibile che possa essere soggetto all'instabilità per svergolamento deve essere verificato nei confronti di questo fenomeno. I calcoli sono relativi al caso 2 - VENTO.

La verifica va effettuata con il criterio:

1) definizione della tensione critica di svergolamento che, utilizzando l'espressione di Prandtl-Michell, assume la forma:

$$\sigma_{m,crit} = M_{y,crit} / W_y = \pi (E_{0,05} J_z G_{0,05} J_{tor})^{0,5} / (I_{ef} W_y)$$

questa formula, per asta prismatica rettangolare, può essere scritta:

$$\sigma_{m,crit} = \pi b^2 E_{0,05} (G_{mean} / E_{0,mean})^{0,5} / (I_{ef} h)$$

dove, con approssimazione ingegneristicamente accettabile, per travi alte:

$$I_{ef} = I / (a_1 (1 - a_2 a_z / (2 I)) (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5})$$

con

a_z quota di applicazione del carico per rispetto al centro di taglio della sezione, negativa se il carico è a livello superiore.

a_1, a_2 ricavabili da tabella. $a_1 = 1,13$ $a_2 = 1,44$

2) definizione della snellezza ridotta a flessione

$$\lambda_{rel,m} = (f_{m,k} / \sigma_{m,crit})^{0,5} = (I_{ef} h f_{m,k} / (\pi b^2 E_{0,05} (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5}))^{0,5}$$

3) definizione di k_{crit} coeff. di riduzione della tensione resistente di calcolo

$$k_{crit} = 1 \quad \text{per} \quad \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} \quad \text{per} \quad 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,4$$

$$k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 \quad \text{per} \quad 1,4 < \lambda_{rel,m}$$

4) deve risultare

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d}$$

Allora sostituendo all'interno delle relazioni si ottiene:

$$I_{ef} = I / (a_1 (1 - a_2 a_z / (2 I)) (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5}) = 295$$

$$\lambda_{rel,m} = (I_{ef} h f_{m,k} / (\pi b^2 E_{0,05} (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5}))^{0,5} = 0,88$$

è

$$\lambda_{rel,m} = 0,88 < 0,75 \quad \text{Irel,m} \leq 0,75 \quad \text{FALSO} \quad \text{se VERO} \quad k_{crit} = 1$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,88 > 1,40 \quad \text{Irel,m} > 1,40 \quad \text{FALSO} \quad \text{se VERO} \quad k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 = 1,29$$

$$k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 = 0,90 \quad \text{ALTRIMENTI} \quad k_{crit} = 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} = 0,90$$

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d} = \sigma_{m,d} = 2,89 \quad k_{crit} f_{m,d} = 17,55 \text{ N/mm}^2$$

sm,d < kcrit fm,d VERIFICATO

S.L.E.

La combinazione dei carichi che definisce la deformazione è

$$\Sigma G_{k,i} + Q_{k,1} + \Sigma \psi_{1,i} Q_{k,i}$$

i cui valori dei coeff. da utilizzare sono:

azione	$\psi_{0,i}$	$\psi_{1,i}$	$\psi_{2,i}$
magazzini, depositi	0,7	0,9	0,6
vento	0,7	0,2	0,0
neve	0,7	0,3	0,0

Deformazioni

Nelle strutture in legno la componente di deformazione per taglio può essere significativa, pertanto è bene considerare il contributo del taglio alla deformazione.

Per la trave semplicemente appoggiata il coeff. di incremento di freccia dovuto al contributo del taglio riferito alla sola deformata flessionale può essere espresso come:

$$\phi = 1 + f_{\text{taglio}}/f_{\text{fless}} = 1 + 0,96 (E_{0,\text{mean}}/G_{\text{mean}}) (h/l)^2 = 1,11$$

I termini componenti la freccia sono:

u_0 = contrefreccia (se realizzata),

u_1 = freccia dovuta ai carichi permanenti,

u_2 = freccia dovuta ai carichi variabili,

ed è

$$u_{\text{net}} = u_1 + u_2 - u_0$$

Le caratteristiche reologiche del legno hanno una grande importanza nella definizione del comportamento nel tempo, pertanto è necessario considerare oltre alla deformata istantanea u_{ist} , quella differita nel tempo

u_{fin} per gli effetti dei carichi di lunga durata, individuata dalla combinazione di carico quasi permanente,

nella forma:

$$u_{\text{fin}} = u_{\text{ist}} + u_{\text{dif}}$$

dove la u_{dif} è definita mediante k_{def} , funzione del tipo di materiale, della durata del carico e della classe di servizio. I valori di k_{def} sono riportati in tabella seguente:

k_{def} per legno massiccio e lamellare			
classe di durata del carico	classe di servizio		
	1	2	3
permanente	0,60	0,80	2,00
lunga durata	0,50	0,50	1,50
media durata	0,25	0,25	0,75
breve durata	0,00	0,00	0,30

Sono:

$$u_{\text{fin,G}} = u_{\text{ist,G}} (1 + k_{\text{def}})$$

$$u_{\text{fin,Q}} = u_{\text{ist,Q}} (1 + \psi_{1,i} k_{\text{def}})$$

L'EC5 suggerisce le seguenti limitazioni di freccia:

- freccia istantanea

$$u_{2,\text{ist}} \leq L/300 \quad (\text{trave a mensola } L/150)$$

L è la luce libera della trave appoggiata oppure la lunghezza della mensola.

- freccia finale

$$u_{2,\text{fin}} \leq L/200 \quad (\text{trave a mensola } L/100)$$

$$u_{\text{net,fin}} \leq L/200 \quad (\text{trave a mensola } L/100)$$

In questo caso poiché la copertura superiore è fissata all'estradosso delle smezzole ne impedisce la traslazione parallelamente alla falda, l'unica componente di deformazione è quella parallela all'asse

z . Risultano pertanto le deformazioni:

$$u_{\text{ist,G}} = \phi \, 5 \, g_{l,0} \, l^4 / (384 \, E_{0,\text{mean}} \, J_y) = 1,0 \, \text{mm}$$

$$u_{\text{ist,Q}} = \phi \, 5 \, q_{n,0} \, l^4 / (384 \, E_{0,\text{mean}} \, J_y) = 3,4 \, \text{mm}$$

quindi

$$u_{\text{fin,G}} = u_{\text{ist,G}} (1 + k_{\text{def}}) = 1,6 \, \text{mm}$$

$$u_{\text{fin,Q}} = u_{\text{ist,Q}} (1 + \psi_1 k_{\text{def}}) = 3,4 \, \text{mm}$$

e la freccia totale finale a lungo termine è:

$$u_{\text{fin,tot}} = u_{\text{fin,G}} + u_{\text{fin,Q}} = 5,0 \, \text{mm}$$

questi valori devono essere confrontati con quelli consentiti che sono:

$$\delta_{2,\text{ist}} = l/300 = 12,5 \, \text{mm} \quad \text{VERIFICATO}$$

$$\delta_{2,\text{fin}} = l/200 = 18,8 \, \text{mm} \quad \text{VERIFICATO}$$

DIMENSIONAMENTO E VERIFICA COPERTURA OSPEDALE INFANTILE "C. ARRIGO"**COPERTURA FABBRICATO C: displuvi falde 7-8 e 8-9**

Riferimento: Catasto Fabbricati Foglio n., particella n.

I puntoni sono realizzati in legno LAMELLARE GL 24.

 $i = 27,2\%$ $\alpha = 15,2^\circ$ pendenza falde di copertura

	dati di progetto
	riferimenti da modificare

PUNTONI**Caratteristiche del profilo**

b	h	A	J_y	W_y	J_z	W_z	ρ_k	peso
(mm)	(mm)	(mm ²)	(cm ⁴)	(cm ³)	(cm ⁴)	(cm ³)	(kN/m ³)	(kN/m)
200	360	72000	77760	4320	24000	2400	3,80	0,27

Caratteristiche del materiale

Legno LAMELLARE GL 24.

Azioni e classi di durata del carico

 $g_l = 0,35 \text{ kN/m}^2$ $k_{mod} = 0,60$

peso proprio manto di copertura

 $q_n = 1,20 \text{ kN/m}^2$ $k_{mod} = 0,90$

carico neve

 $w_{v,i} = -0,36 \text{ kN/m}^2$ $k_{mod} = 0,90$

azione del vento

Schema statico

Si assume lo schema di trave appoggiata per semplicità di calcolo, poiché è anche a favore di sicurezza.

I puntoni sono disposti sulla verticale, gli assi d'inerzia pure, di conseguenza tutti i carichi gravitazionali inducono flessione semplice. L'azione del vento ortogonale alla falda induce solo azione nel piano forte.

Le caratteristiche geometriche dei puntoni sono:

 $l = 8,75 \text{ m}$ luce di calcolo massima $i = 2,15 \text{ m}$ interasse di competenza

Componenti unitarie delle azioni perpendicolari e parallele al piano dei puntoni

- copertura:

 $g_{l,0} = 0,35 \text{ kN/m}^2$ $g_{l,p} = 0,00 \text{ kN/m}^2$

- neve:

 $q_{n,0} = q_n \cos \alpha = 1,16 \text{ kN/m}^2$ $q_{n,p} = 0,00 \text{ kN/m}^2$

- vento:

 $w_{v,0} = 0,00 \text{ kN/m}^2$ $w_{v,p} = -0,36 \text{ kN/m}^2$

Azioni perpendicolari e parallele al piano dei puntoni

- copertura:

 $g_{l,0} = g_{l,0} i = 0,75 \text{ kN/m}$ $g_{l,p} = g_{l,p} i = 0,00 \text{ kN/m}$

- neve:

 $q_{n,0} = q_{n,0} i = 2,49 \text{ kN/m}$ $q_{n,p} = q_{n,p} i = 0,00 \text{ kN/m}$

- vento:

 $w_{v,0} = w_{v,0} i = 0,00 \text{ kN/m}$ $w_{v,p} = w_{v,p} i = -0,78 \text{ kN/m}$

S.L.U.

La formulazione per la verifica allo stato limite ultimo, nel caso specifico, per la presenza di un singolo carico variabile indipendente è:

$$q_{s,c} = \gamma_G G_G + \gamma_Q G_Q$$

che porta a due condizioni di carico schematicamente individuate nella tabella seguente:

	1	2	3	4	5	azione principale
caso	pesi fissi	neve	vento	manut.	k_{mod}	
1	1,4	1,5	0,0	0,0	0,9	neve
2	1,4	0,0	1,5	0,0	0,9	vento

$$\gamma_M = 1,25 \text{ coeff. del materiale}$$

Se l'altezza della sezione h è inferiore a 600mm, si possono aumentare i valori caratteristici $f_{m,k}$ e $f_{t,0,k}$

del coeff. moltiplicativo

$$k_h = \min(600/h)^{0,2}; 1,15 = 1,11 \quad 1,15 = 1,11$$

Risulta

$$f_{Rd} = k_h k_{mod} f_k / \gamma_M$$

Si riportano i valori significativi in tabella

Classi di resistenza	GL 24		k_{mod} 0,90	
Resistenze in Mpa			f_{Rd}	
flessione	$f_{m,k}$	24,00	$f_{m,d}$	19,2
trazione II fibratura	$f_{t,0,k}$	16,50	$f_{t,0,d}$	13,2
trazione T fibratura	$f_{t,90,k}$	0,40	$f_{t,90,d}$	0,3
compressione II fibratura	$f_{c,0,k}$	24,00	$f_{c,0,d}$	19,2
compressione T fibratura	$f_{c,90,k}$	2,70	$f_{c,90,d}$	2,2
taglio	$f_{v,k}$	2,70	$f_{v,d}$	2,2
Modulo elastico in Gpa				
	$E_{0,mean}$	11,60		
	$E_{0,05}$	9,40		
	$E_{90,mean}$	0,39		
	G_{mean}	0,72		
Massa volumica in kN/m^3				
massa volumica caratteristica	ρ_k	3,80		

Verifiche

A) Di resistenza

Caso 1

Le sollecitazioni e le tensioni sono

- Sollecitazioni e tensioni sul piano perpendicolare i puntoni

$$q_{1,Sd,0} = \gamma_G g_{l,0} + \gamma_Q q_{n,0} = 4,79 \text{ kN/m}$$

$$M_{1,Sd,0} = q_{a,Sd,0} l^2/8 = 45,84 \text{ kNm}$$

$$V_{1,Sd,0} = q_{a,Sd,0} l/2 = 20,96 \text{ kN}$$

$$\sigma_{1m,y,d} = M_{1,Sd,0}/W_y = 10,61 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{1m,y,d} = 1,5 V_{1,Sd,0}/A = 0,44 \text{ N/mm}^2$$

- Sollecitazioni e tensioni sul piano parallelo i puntoni

$$q_{1,Sd,p} = \gamma_G g_{l,p} + \gamma_Q q_{n,p} = 0,00 \text{ kN/m}$$

$$M_{1,Sd,p} = q_{a,Sd,p} l^2/8 = 0,00 \text{ kNm}$$

$$V_{1,Sd,p} = q_{a,Sd,p} l/2 = 0,00 \text{ kN}$$

$$\sigma_{1m,z,d} = M_{1,Sd,p}/W_z = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{1m,z,d} = 1,5 V_{1,Sd,p}/A = 0,00 \text{ N/mm}^2$$

- Verifica tensioni tangenziali

Deve essere verificata la relazione

$$(\tau_{1m,y,d}^2 + \tau_{1m,z,d}^2)^{0,5} / f_{v,d} = 0,20$$

<1 VERIFICATO

- Verifica azioni flettenti

Considerato $k_m = 0,70$ per la sezione rettangolare

devono essere verificate le relazioni

$$k_m (\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d}) = 0,39$$

<1 VERIFICATO

$$(\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + k_m (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d}) = 0,55$$

<1 VERIFICATO

Si riportano in tabella le sollecitazioni e le tensioni nei casi 1 e 2:

	$q_{1,Sd,0}$	$M_{1,Sd,0}$	$V_{1,Sd,0}$	$\sigma_{1m,y,d}$	$\tau_{1m,y,d}$	$q_{1,Sd,p}$	$M_{1,Sd,p}$	$V_{1,Sd,p}$	$\sigma_{1m,z,d}$	$\tau_{1m,z,d}$
	(kN/m)	(kNm)	(kN)	(N/mm ²)	(N/mm)	(kN/m)	(kNm)	(kN)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
caso 1 - NEVE	4,79	45,84	20,96	10,61	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
caso 2 - VENTO	1,05	10,05	4,59	2,33	0,10	-1,17	-11,20	-5,12	-4,67	-0,11

Verifiche dei casi 1 e 2

	$(\tau_{1m,y,d}^2 + \tau_{1m,z,d}^2)^{0,5} / f_{v,d}$	$k_m (\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d})$	$(\sigma_{1m,y,d} / f_{m,d}) + k_m (\sigma_{1m,z,d} / f_{m,d})$
caso 1 - NEVE	0,2	0,39	0,55
caso 2 - VENTO	0,07	-0,16	-0,05

A) Di stabilità

L'elemento è vincolato all'estradosso, per l'azione di depressione del vento l'intradosso è compresso; e poiché è possibile che possa essere soggetto all'instabilità per svergolamento deve essere verificato nei confronti di questo fenomeno. I calcoli sono relativi al caso 2 - VENTO.

La verifica va effettuata con il criterio:

1) definizione della tensione critica di svergolamento che, utilizzando l'espressione di Prandtl-Michell, assume la forma:

$$\sigma_{m,crit} = M_{y,crit} / W_y = \pi (E_{0,05} J_z G_{0,05} J_{tor})^{0,5} / (l_{ef} W_y)$$

questa formula, per asta prismatica rettangolare, può essere scritta:

$$\sigma_{m,crit} = \pi b^2 E_{0,05} (G_{mean} / E_{0,mean})^{0,5} / (l_{ef} h)$$

dove, con approssimazione ingegneristicamente accettabile, per travi alte:

$$l_{ef} = l / (a_1 (1 - a_2 a_z / (2 l)) (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5})$$

con

a_z quota di applicazione del carico per rispetto al centro di taglio della sezione, negativa se il carico è a livello superiore.

a_1, a_2 ricavabili da tabella. $a_1 = 1,13$ $a_2 = 1,44$

2) definizione della snellezza ridotta a flessione

$$\lambda_{rel,m} = (f_{m,k} / \sigma_{m,crit})^{0,5} = (l_{ef} h f_{m,k} / (\pi b^2 E_{0,05} (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5}))^{0,5}$$

3) definizione di k_{crit} coeff. di riduzione della tensione resistente di calcolo

$$k_{crit} = 1 \quad \text{per} \quad \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} \quad \text{per} \quad 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,4$$

$$k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 \quad \text{per} \quad 1,4 < \lambda_{rel,m}$$

4) deve risultare

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d}$$

Allora sostituendo all'interno delle relazioni si ottiene:

$$l_{ef} = l / (a_1 (1 - a_2 a_z / (2 l)) (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5}) = 731$$

$$\lambda_{rel,m} = (l_{ef} h f_{m,k} / (\pi b^2 E_{0,05} (E_{0,mean} / G_{mean})^{0,5}))^{0,5} = 1,46$$

è

$$\lambda_{rel,m} = 1,46 < 0,75 \quad \text{Irel,m} \leq 0,75 \quad \text{FALSO} \quad \text{se VERO} \quad k_{crit} = 1$$

$$\lambda_{rel,m} = 1,46 > 1,40 \quad \text{Irel,m} > 1,40 \quad \text{VERO} \quad \text{se VERO} \quad k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 = 0,47$$

$$k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 = 0,47 \quad \text{ALTRIMENTI} \quad k_{crit} = 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} = 0,47$$

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d} = \sigma_{m,d} = 4,67 \quad k_{crit} f_{m,d} = 9,02 \text{ N/mm}^2$$

sm,d < kcrit fm,d VERIFICATO

S.L.E.

La combinazione dei carichi che definisce la deformazione è

$$\Sigma G_{k,i} + Q_{k,1} + \Sigma \psi_{1,i} Q_{k,i}$$

i cui valori dei coeff. da utilizzare sono:

azione	$\Psi_{0,i}$	$\Psi_{1,i}$	$\Psi_{2,i}$
magazzini, depositi	0,7	0,9	0,6
vento	0,7	0,2	0,0
neve	0,7	0,3	0,0

Deformazioni

Nelle strutture in legno la componente di deformazione per taglio può essere significativa, pertanto è bene considerare il contributo del taglio alla deformazione.

Per la trave semplicemente appoggiata il coeff. di incremento di freccia dovuto al contributo del taglio riferito alla sola deformata flessionale può essere espresso come:

$$\phi = 1 + f_{\text{taglio}}/f_{\text{fless}} = 1 + 0,96 (E_{0,\text{mean}}/G_{\text{mean}}) (h/l)^2 = 1,03$$

I termini componenti la freccia sono:

u_0 = contrefreccia (se realizzata),

u_1 = freccia dovuta ai carichi permanenti,

u_2 = freccia dovuta ai carichi variabili,

ed è

$$u_{\text{net}} = u_1 + u_2 - u_0$$

Le caratteristiche reologiche del legno hanno una grande importanza nella definizione del comportamento nel tempo, pertanto è necessario considerare oltre alla deformata istantanea u_{ist} , quella differita nel tempo

u_{fin} per gli effetti dei carichi di lunga durata, individuata dalla combinazione di carico quasi permanente,

nella forma:

$$u_{\text{fin}} = u_{\text{ist}} + u_{\text{dif}}$$

dove la u_{dif} è definita mediante k_{def} , funzione del tipo di materiale, della durata del carico e della classe di servizio. I valori di k_{def} sono riportati in tabella seguente:

k_{def} per legno massiccio e lamellare			
classe di durata del carico	classe di servizio		
	1	2	3
permanente	0,60	0,80	2,00
lunga durata	0,50	0,50	1,50
media durata	0,25	0,25	0,75
breve durata	0,00	0,00	0,30

Sono:

$$u_{\text{fin,G}} = u_{\text{ist,G}} (1 + k_{\text{def}})$$

$$u_{\text{fin,Q}} = u_{\text{ist,Q}} (1 + \Psi_{1,i} k_{\text{def}})$$

L'EC5 suggerisce le seguenti limitazioni di freccia:

- freccia istantanea

$$u_{2,\text{ist}} \leq L/300 \quad (\text{trave a mensola } L/150)$$

L è la luce libera della trave appoggiata oppure la lunghezza della mensola.

- freccia finale

$$u_{2,\text{fin}} \leq L/200 \quad (\text{trave a mensola } L/100)$$

$$u_{\text{net,fin}} \leq L/200 \quad (\text{trave a mensola } L/100)$$

In questo caso poiché la copertura superiore è fissata all'estradosso delle smezzole ne impedisce la traslazione parallelamente alla falda, l'unica componente di deformazione è quella parallela all'asse

z . Risultano pertanto le deformazioni:

$$u_{\text{ist,G}} = \phi 5 g_{l,0} l^4 / (384 E_{0,\text{mean}} J_y) = 6,5 \text{ mm}$$

$$u_{\text{ist,Q}} = \phi 5 q_{n,0} l^4 / (384 E_{0,\text{mean}} J_y) = 21,7 \text{ mm}$$

quindi

$$u_{\text{fin,G}} = u_{\text{ist,G}} (1 + k_{\text{def}}) = 10,4 \text{ mm}$$

$$u_{\text{fin,Q}} = u_{\text{ist,Q}} (1 + \Psi_{1,i} k_{\text{def}}) = 21,7 \text{ mm}$$

e la freccia totale finale a lungo termine è:

$$u_{\text{fin,tot}} = u_{\text{fin,G}} + u_{\text{fin,Q}} = 32,1 \text{ mm}$$

questi valori devono essere confrontati con quelli consentiti che sono:

$$\delta_{2,\text{ist}} = l/300 = 29,2 \text{ mm} \quad \text{VERIFICATO}$$

$$\delta_{2,\text{fin}} = l/200 = 43,8 \text{ mm} \quad \text{VERIFICATO}$$

2.4 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- **Norme tecniche per le Costruzioni:** D.M. 17/01/2018 (G.U. n. 42 del 20/02/2018).
- **Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri 20/03/2003, n. 3274**, allegati 2 e 4, aggiornata all'O.P.C.M. 03/05/2005, n. 3431.
- **O.P.C.M. 28/04/2006, n. 3519**, Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone (G.U. 11/05/2006).
- **Eurocodice 2**, EN 1992-1-1, dicembre 2004 (EC2).
- **Eurocodice 8**, EN 1998-1-1, dicembre 2004 (EC2).
- **UNI EN 206-1**, Calcestruzzo, specificazione, prestazione, produzione e conformità, ottobre 2001.
- **UNI EN 11104**, Calcestruzzo, specificazione, prestazione, produzione e conformità, istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1, marzo 2004.
- **Circolare 4 LUGLIO 1996, N. 156AA.GG./STC:** Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi" di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996.
- **D.M. 16 GENNAIO 1996:** Norme tecniche relative ai "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".
- **Circolare 15 GENNAIO 1996, N. 252AA.GG./STC:** Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche" di cui al D.M. 9/1/1996.
- **D.M. 9 GENNAIO 1996:** Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- **D.M. 14 FEBBRAIO 1992:** Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche (*Per la sola parte concernente la verifiche a tensioni ammissibili*).
- **D.M. 11 MARZO 1988:** Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- **Istruzioni C.N.R. 10025/84 del 23/11/1984:** Istruzioni per il progetto, l'esecuzione ed il controllo delle strutture prefabbricate in conglomerato cementizio e per le strutture costruite con sistemi industrializzati.
- **Istruzioni C.N.R. 10012/81:** Azioni sulle costruzioni – Documento di studio.
- **Circolare N. 11951 del 14/2/1974:** Applicazione delle norme sul cemento armato (Circolare illustrativa legge 5/11/1971 n. 1086).
- **Legge 5 NOVEMBRE 1971, N. 1086:** Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica.