

COMUNE DI PADOVA
SETTORE LAVORI PUBBLICI

Committente:

COMUNE DI PADOVA

SETTORE LAVORI PUBBLICI

Via Tommaseo, 60
35131 Padova (PD)

Oggetto:

**Consolidamento statico del complesso edilizio
nell'ambito dei lavori di RESTAURO DELLA
SCUOLA "ARDIGÒ – MAMELI"**



Intervento:

INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO STATICO

| | | | |
|----------------|--|-------|------------|
| Titolo: | Relazione di verifica statica | | |
| Ns. Rif.: 1454 | Tav.: RVS | Data: | maggio '18 |
| | Ing. Alessandro GASPARINI Via S. Mattia n. 17 – 35121 PADOVA Tel. 049/8789913 – fax. 049/8312080 e-mail: posta@studio5ingegneria.com | | |

| Revisione | Data | Note |
|-----------|-----------|------|
| 00 | mag. 2018 | |
| | | |
| | | |

INDICE

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1 | PREMESSA..... | 4 |
| 2 | DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO..... | 4 |
| 3 | NORMATIVA DI RIFERIMENTO..... | 5 |
| 4 | PERCORSO DI CONOSCENZA | 5 |
| 5 | LIVELLO DI CONOSCENZA..... | 5 |
| 6 | METODO DI ANALISI | 6 |
| 7 | CARATTERISTICHE DEI MATERIALI..... | 6 |
| 7.1 | MURATURA | 6 |
| 7.2 | LEGNO MASSICCIO ESISTENTE (UNI 11119) | 6 |
| 7.2.1 | Legno massiccio C22..... | 7 |
| 7.2.2 | Legno massiccio C24..... | 7 |
| 7.3 | CALCESTRUZZO E ACCIAIO D'ARMATURA | 8 |
| 7.3.1 | Prima Fase di Costruzione ("Parte Vecchia")..... | 8 |
| 7.3.2 | Seconda Fase di Costruzione ("Parte Nuova")..... | 8 |
| 7.3.2.1 | Aula..... | 8 |
| 7.3.2.2 | Corridoio..... | 8 |
| 8 | AZIONI E COMBINAZIONI DI CARICO | 9 |
| 8.1 | PESI PROPRI STRUTTURALI..... | 9 |
| 8.2 | CARICHI VARIABILI..... | 9 |
| 8.2.1 | Sovraccarico variabile per edifici..... | 9 |
| 8.2.2 | Carico neve | 9 |
| 8.2.3 | Azione del vento | 10 |
| 8.3 | COMBINAZIONI DI CARICO PER LE AZIONI STATICHE | 11 |
| 9 | ANALISI DEI CARICHI..... | 12 |
| 10 | PRINCIPALI VERIFICHE STATICHE..... | 13 |
| 10.1 | VERIFICA DELLE MURATURE PIÙ SIGNIFICATIVE | 13 |
| 10.1.1 | Muratura interna Longitudinale | 14 |
| 10.1.2 | Muratura Esterna lato Aule | 15 |
| 10.1.3 | Sintesi | 16 |
| 10.2 | VERIFICA DELLE CAPRIATE | 17 |
| 10.2.1 | Capriata tipologica | 18 |
| 10.2.2 | Carichi..... | 18 |
| 10.2.3 | Sollecitazioni – Combinazione SLU | 19 |
| 10.2.4 | Verifica Capriata: ipotesi legno C22..... | 20 |
| 10.2.4.1 | Verifica PUNTONE..... | 20 |
| 10.2.4.2 | Verifica CATENA | 20 |
| 10.2.4.3 | Verifica SAETTE | 21 |
| 10.2.5 | Verifica Capriata: ipotesi legno C24..... | 21 |
| 10.2.6 | Sintesi | 26 |
| 10.3 | VERIFICA DELLE TERZERE | 27 |
| 10.3.1 | Carichi..... | 27 |
| 10.3.2 | Verifica Terzere: ipotesi legno C22 | 28 |
| 10.3.3 | Verifica Terzere: ipotesi legno C24 | 28 |
| 10.3.4 | Sintesi | 31 |
| 10.4 | VERIFICA DEI SOLAI | 31 |
| 10.4.1 | Caratteristiche Geometriche e Armature | 32 |
| 10.4.2 | Carichi..... | 33 |
| 10.4.3 | Sollecitazioni – Combinazione SLU | 33 |
| 10.4.4 | Verifica travi PRINCIPALI – AULA | 35 |
| 10.4.4.1 | Parte VECCHIA | 35 |
| 10.4.4.2 | Parte NUOVA..... | 36 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 10.4.5 | Verifica travi PRINCIPALI – CORRIDOIO | 37 |
| 10.4.5.1 | PARTE VECCHIA | 37 |
| 10.4.5.2 | PARTE NUOVA..... | 38 |
| 10.4.6 | VERIFICA TRAVI SECONDARIE – AULA | 39 |
| 10.4.6.1 | PARTE VECCHIA | 39 |
| 10.4.6.2 | PARTE NUOVA..... | 40 |
| 10.4.7 | VERIFICA TRAVI SECONDARIE – CORRIDOIO | 41 |
| 10.4.7.1 | PARTE VECCHIA | 41 |
| 10.4.7.2 | PARTE NUOVA..... | 42 |
| 10.4.8 | Verifica soletta di ripartizione..... | 42 |
| 10.4.9 | Sintesi | 43 |
| 10.5 | SINTESI DELLE VERIFICHE STATICHE..... | 44 |
| 10.5.1 | Verifica Murature..... | 44 |
| 10.5.2 | Verifica Capriate..... | 44 |
| 10.5.3 | Verifica Terzere $l = 4$ m..... | 44 |
| 10.5.4 | Verifica Solai c.a..... | 45 |
| 11 | CONCLUSIONI..... | 46 |

1 PREMESSA

Nella presente relazione di calcolo è riportata la verifica di sicurezza statica del complesso edilizio sede delle scuole Ardigò e Mameli di Padova.

La presente relazione costituisce **uno stralcio relativo alle verifiche statiche** della relazione di “Valutazione della sicurezza statica e sismica del complesso edilizio sede delle scuole Ardigò e Mameli”.

Le verifiche sono condotte secondo le Norme tecniche per le costruzioni D.M. 14 Gennaio 2008. Si fa inoltre riferimento alla Direttiva DPCM del 9/02/2011 “Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. del 14 gennaio 2008”.

2 DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO

Si tratta di un edificio con struttura portante in muratura situato in via Agnusdei a Padova all'interno del cosiddetto Borgo Altinate.



Figura 1. Individuazione del corpo di fabbrica

L'edificio risulta realizzato in due diverse fasi costruttive (Figura 2), una prima fase risalente agli anni tra il 1907 e il 1910 ed una seconda fase tra il 1913 e il 1918. Nel 1988 venne proposta la progettazione per una terza fase che però non fu mai realizzata.

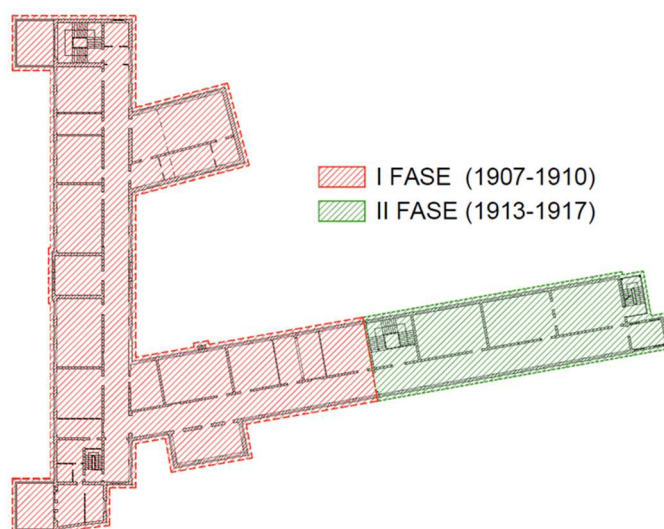


Figura 2. Suddivisione dei corpi

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nell'esecuzione della verifica si è fatto riferimento alle seguenti normative:

- D.M. 14 gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni
- Ordinanza 3274 20 marzo 2003 – Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri
- Ordinanza 3431 3 maggio 2005 – Ulteriori modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003
- Circolare 02/02/2009 n. 617 – Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" (GU n.47 del 26/02/2009 – SO n.27)
- Direttiva DPCM del 9/02/2011 "Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M.del 14 gennaio 2008".

4 PERCORSO DI CONOSCENZA

Le varie fasi del percorso di conoscenza dell'edificio sono riportate nella "Relazione della sicurezza statica e sismica del complesso edilizio sede delle Scuole Ardigò e Mameli", già richiamata in precedenza.

5 LIVELLO DI CONOSCENZA

La geometria generale della struttura dell'edificio è nota in base ad un primo rilievo geometrico fornito dalla committenza, integrato e corretto sulla base dei rilievi eseguiti sul posto.

In questo modo è stato possibile realizzare le piante strutturali ai vari livelli che, per sovrapposizione, hanno consentito di ricostruire alcuni alzati dei vari allineamenti, sia interni che esterni.

La dimensione degli elementi strutturali è stata verificata mediante appositi rilievi durante i sopralluoghi ed i sondaggi eseguiti per approfondire la conoscenza.

Sono state inoltre rilevati e documentati, per quanto possibile, i dettagli costruttivi (presenza di ammorsamenti, catene, cordoli, fori tamponati, brecce, nicchie, etc.), la qualità muraria (paramenti scollegati, brecce impiantistiche, degrado materico, etc) nonché l'eventuale quadro fessurativo e deformativo.

Per quanto riguarda gli elementi in c.a., le proprietà meccaniche sono state desunte dalle medie dei risultati ottenuti dalle prove, per le murature si è fatto riferimento ai valori presenti nelle Tabelle C8A.2.1 e C8A.2.2 dell'appendice C8A della Circolare.

Il livello di conoscenza ad oggi acquisito dell'edificio è assunto pari ad LC2, ed il corrispondente Fattore di Confidenza risulta: **FC = 1.20**.

6 METODO DI ANALISI

L'analisi del comportamento dell'edificio è svolta seguendo quanto previsto dal D.M. del 14 gennaio 2008 e relativa circolare esplicativa, in particolare per quanto concerne i carichi e le verifiche statiche.

7 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

7.1 Muratura

La muratura è realizzata con mattoni pieni e malta di calce. Le resistenze meccaniche considerate sono ricavate dalla tabella C8A.2.1 della circolare applicativa delle NTC2008 utilizzando, in base alle indicazioni del corrispondente livello di conoscenza raggiunto, il valore medio delle resistenze dell'intervallo indicato ed il valore medio dei moduli elastici.

- $f_m = 320 \text{ N/cm}^2$ resistenza media a compressione;
- $\tau_0 = 7.5 \text{ N/cm}^2$ resistenza media a taglio;
- $E = 1500 \text{ N/mm}^2$ valore medio del modulo di elasticità normale;
- $G = 500 \text{ N/mm}^2$ valore medio del modulo di elasticità tangenziale;

I valori assunti per le resistenze sono riportati nella Tabella seguente, in cui per quanto riguarda le resistenze di progetto si è considerato un Fattore di Confidenza $FC=1.2$ e un coefficiente parziale di sicurezza $\gamma_m = 3$ per le verifiche statiche e $\gamma_m = 2$ per le verifiche sismiche.

| RESISTENZE | σ (N/cm ²) | τ (N/cm ²) |
|--|----------------------------------|--------------------------------|
| Resistenza media assunta | 320 | 7.6 |
| Resistenze di progetto -verifiche statiche | 88.9 | 2.1 |
| Resistenze di progetto -verifiche sismiche | 133.3 | 3.2 |

Tabella 1 Resistenza a compressione e a taglio della muratura

Moduli Elastici: $E = 1500 \text{ N/mm}^2$ $G = 500 \text{ N/mm}^2$

7.2 Legno massiccio esistente (UNI 11119)

La verifica degli elementi lignei prevede due scenari relativi alla caratterizzazione meccanica del legname presente. Si considera una classe di servizio 2.

7.2.1 Legno massiccio C22

Per la verifica di resistenza delle strutture lignee esistenti il legname in opera è stato ipotizzato in prima fase come di seconda categoria ovvero assimilabile ad una classe di resistenza C22 (cfr. norma EN 338:2004). I valori di resistenza significativi utilizzati per le verifiche sono:

- $f_{m,0,k} = 22 \text{ MPa}$ resistenza caratteristica a flessione
- $f_{c,0,k} = 20 \text{ MPa}$ resistenza caratteristica a compressione
- $f_{t,0,k} = 13 \text{ MPa}$ resistenza caratteristica a trazione
- $f_{v,k} = 2.4 \text{ MPa}$ resistenza caratteristica a taglio
- $E_{0,mean} = 10 \text{ GPa}$ modulo elastico longitudinale

I valori di progetto sono stati ottenuti da quelli caratteristici divisi per il coefficiente di sicurezza del materiale, $\gamma_M=1.5$, e moltiplicati per un coefficiente $K_{mod}=0.9$ nel caso di azioni di breve durata e $K_{mod}=0.6$ in caso di azioni permanenti.

Per condizioni di carico permanente ($K_{mod}=0.6$) i valori di progetto sono i seguenti:

- $f_{m,0,d} = 22 \times 0.6 / 1.5 = 8.8 \text{ MPa}$ resistenza di progetto a flessione
- $f_{c,0,d} = 20 \times 0.6 / 1.5 = 8.0 \text{ MPa}$ resistenza di progetto a compressione
- $f_{t,0,d} = 13 \times 0.6 / 1.5 = 5.2 \text{ MPa}$ resistenza di progetto a trazione
- $f_{v,d} = 2.4 \times 0.6 / 1.5 = 0.84 \text{ MPa}$ resistenza di progetto a taglio

Per condizioni di carico di breve durata ($K_{mod}=0.9$) i valori di progetto sono i seguenti:

- $f_{m,0,d} = 22 \times 0.9 / 1.5 = 13.2 \text{ MPa}$ resistenza di progetto a flessione
- $f_{c,0,d} = 20 \times 0.9 / 1.5 = 12 \text{ MPa}$ resistenza di progetto a compressione
- $f_{t,0,d} = 13 \times 0.9 / 1.5 = 7.8 \text{ MPa}$ resistenza di progetto a trazione
- $f_{v,d} = 2.4 \times 0.9 / 1.5 = 1.44 \text{ MPa}$ resistenza di progetto a taglio

7.2.2 Legno massiccio C24

La verifica di resistenza è stata effettuata anche considerando un legno con caratteristiche meccaniche migliori. I valori di resistenza significativi utilizzati per le verifiche sono:

- $f_{m,0,k} = 24 \text{ MPa}$ resistenza caratteristica a flessione
- $f_{c,0,k} = 21 \text{ MPa}$ resistenza caratteristica a compressione
- $f_{t,0,k} = 14 \text{ MPa}$ resistenza caratteristica a trazione
- $f_{v,k} = 2.5 \text{ MPa}$ resistenza caratteristica a taglio
- $E_{0,mean} = 11 \text{ GPa}$ modulo elastico longitudinale

Per condizioni di carico permanenti ($K_{mod}=0.6$) i valori di progetto sono i seguenti

- $f_{m,0,d} = 24 \times 0.6 / 1.5 = 9.6 \text{ MPa}$ resistenza di progetto a flessione
- $f_{c,0,d} = 21 \times 0.6 / 1.5 = 8.4 \text{ MPa}$ resistenza di progetto a compressione
- $f_{t,0,d} = 14 \times 0.6 / 1.5 = 5.6 \text{ MPa}$ resistenza di progetto a trazione
- $f_{v,d} = 2.5 \times 0.6 / 1.5 = 1.0 \text{ MPa}$ resistenza di progetto a taglio

Per condizioni di carico di breve durata ($K_{mod}=0.9$) i valori di progetto sono i seguenti

- $f_{m,0,d} = 24 \times 0.9 / 1.5 = 14.4$ MPa resistenza di progetto a flessione
- $f_{c,0,d} = 21 \times 0.9 / 1.5 = 12.6$ MPa resistenza di progetto a compressione
- $f_{t,0,d} = 14 \times 0.9 / 1.5 = 8.4$ MPa resistenza di progetto a trazione
- $f_{v,d} = 2.5 \times 0.9 / 1.5 = 1.5$ MPa resistenza di progetto a taglio

7.3 Calcestruzzo e Acciaio d'armatura

Tramite l'indagine conoscitiva sono state identificate diverse proprietà meccaniche del calcestruzzo in funzione della fase di costruzione storica e dei diversi ambienti dell'edificio.

7.3.1 Prima Fase di Costruzione ("Parte Vecchia")

Le caratteristiche meccaniche del calcestruzzo e dell'acciaio d'armatura sono state desunte dalla media delle prove effettuate in loco, vedi **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**

Calcestruzzo

- $R_{cm} = 33.4$ MPa
- $f_{cm} = 0.83 \cdot R_{cm} = 27.7$ MPa $f_{cd} = f_{cm} / (FC \cdot \gamma_c) = 27.7 / (1.2 \cdot 1.5) = 15.4$ MPa
- $E_c = 30'000$ MPa

Acciaio

- $f_{ym} = 366$ MPa
- $f_{yd} = f_{ym} / (FC \cdot \gamma_s) = 366 / (1.2 \cdot 1.15) = 265$ MPa
- $E_s = 200'000$ MPa

7.3.2 Seconda Fase di Costruzione ("Parte Nuova")

Le caratteristiche meccaniche del calcestruzzo relative alla seconda fase di costruzione sono state suddivise anche in relazione agli ambienti dell'edificio.

Acciaio

- $f_{ym} = 362$ MPa
- $f_{yd} = f_{ym} / (FC \cdot \gamma_s) = 362 / (1.2 \cdot 1.15) = 262$ MPa
- $E_s = 200'000$ MPa

Calcestruzzo

7.3.2.1 Aula

- $R_{cm} = 26.8$ MPa
- $F_{cm} = 0.83 \cdot R_{cm} = 22.2$ MPa $f_{cd} = f_{cm} / (FC \cdot \gamma_c) = 22.2 / (1.2 \cdot 1.5) = 12.3$ MPa
- $E_c = 30'000$ MPa

7.3.2.2 Corridoio

- $R_{cm} = 14.7$ MPa
- $F_{cm} = 0.83 \cdot R_{cm} = 12.2$ MPa $f_{cd} = f_{cm} / (FC \cdot \gamma_c) = 12.2 / (1.2 \cdot 1.5) = 6.8$ MPa
- $E_c = 30'000$ MPa

8 AZIONI E COMBINAZIONI DI CARICO

I carichi permanenti e variabili, sono desunti da NTC2008 e successive istruzioni per l'applicazione.

L'analisi e la verifica delle strutture sono condotte esaminando separatamente gli effetti delle azioni elementari di carico sotto riportate:

- Peso proprio struttura e sovraccarichi permanenti;
- Sovraccarico variabile: edifici;
- Sovraccarico variabile: neve;
- Sovraccarico variabile: vento;

8.1 Pesì propri strutturali

I pesi propri degli elementi costituenti la struttura sono determinati in funzione delle caratteristiche geometriche e dei pesi specifici dei materiali di seguito riportati:

- Calcestruzzo armato: $\gamma_{ca} = 25.0 \text{ kN/m}^3$
- Acciaio: $\gamma_s = 78.5 \text{ kN/m}^3$
- Muratura: $\gamma_m = 18.0 \text{ kN/m}^3$
- Legno: $\gamma_l = 6.0 \text{ kN/m}^3$

8.2 Carichi variabili

8.2.1 Sovraccarico variabile per edifici

Per i diversi ambienti si sono adottate le seguenti categorie come indicato al §3.1.4 delle NTC2008:

Solai di piano:

Cat. C1 (Ambienti suscettibili di affollamento quali Ospedali, ristoranti...Scuole)

è stato assunto come carico distribuito di riferimento quello proposto dal DM.75 al capitolo 5.4.2 in cui viene richiesto di assumere all'interno delle generiche stanze di una scuola un carico paria a:
3.50 kN/m²

Terrazze e scale

Per le scale Cat. C2 (Balconi, ballatoi e scale comuni, ...)

4.00kN/m²;

Per le terrazze, cap. 5.4.2 DM75

4.00kN/m²

8.2.2 Carico neve

Il carico da neve determinato secondo le prescrizioni del D.M. 14.01.2008 e relative istruzioni applicative, risulta:

$$q_s = \mu_i \times q_{sk} \times C_E \times C_t$$

dove:

q_s è il carico neve sulla copertura;

μ_i è il coefficiente di forma della copertura, (§ 3.4.5)

q_{sk} è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [kN/m²], per un periodo di ritorno di 50 anni (§ 3.4.2); C_E è il coefficiente di esposizione (§ 3.4.3)

C_t è il coefficiente termico (§ 3.4.4)

Nel caso in esame, Zona II (Padova – Veneto) e altitudine di riferimento: $a_s=20\text{m}$, si ha il carico neve al suolo $q_{sk}=1.00 \text{ kN/m}^2$;

il coefficiente di forma per copertura piana ($0^\circ < \alpha < 30^\circ$): $\mu_1 = 0.80$

$$C_E = 1$$

$$C_t = 1$$

Quindi il carico neve sulla copertura risulta:

$$q_s = 0.80 \text{ kN/m}^2$$

8.2.3 Azione del vento

La spinta del vento valutata secondo NTC2008 risulta:

$$p = q_b \times C_e \times C_p \times C_d$$

dove:

q_b pressione cinetica di riferimento

C_e coefficiente di esposizione

C_p coefficiente di forma

$C_d = 1$ coefficiente dinamico

La pressione cinetica q_b (in N/m^2) di riferimento è data dall'espressione:

$$q_b = (\rho v_b^2) / 2 = 390 \text{ N/m}^2$$

dove:

v_b è la velocità di riferimento del vento (in m/s):

$$v_b = v_{b,0} \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$v_b = v_{b,0} + k_a (a_s - a_0) \quad \text{per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m}$$

con i valori dei parametri riportati in tabella 3.3.I delle NTC2008.

Nel caso in esame è pari a 25 m/s.

Il coefficiente di esposizione C_e dipende dall'altezza dal suolo della costruzione z dalla rugosità e dalla topografia del terreno, dall'esposizione del sito ove sorge la costruzione. Esso si ricava mediante la seguente formula:

$$C_e(z) = k_r^2 \cdot C_t \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \cdot \left[7 + C_t \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)\right] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

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

k_r , z_0 , z_{\min} sono assegnati in Tab. 3.3.II delle NTC2008 in funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione e C_t è il coefficiente di topografia.

Il coefficiente topografico C_t è assunto pari a 1.

Per la zona geografica 1, in fascia oltre i 30 km dalla costa e classe di rugosità B si ha una categoria di esposizione IV, alla quale corrispondono i seguenti coefficienti:

$$k_r = 0.22$$

$$z_0 = 0.3 \text{ m}$$

$$z_{\min} = 8 \text{ m}$$

Il coefficiente di esposizione valutato in corrispondenza dell'altezza media di gronda vale:

$$C_e(11.7\text{m}) = 1.89$$

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

Per strutture a pianta rettangolare e copertura a falde si può assumere:

elementi sopravento:

$$c_{pe} = +0.8 \quad \text{per } \alpha = 90^\circ$$

La pressione del vento sulle pareti verticali in corrispondenza dell'altezza media di gronda vale pertanto:

$$p(11.7m) = 0.59 \text{ kN/m}^2$$

Nelle verifiche statiche della muratura, si è considerata la variabilità della pressione del vento in funzione dell'altezza, assumendo cautelativamente per ogni piano la pressione corrispondente alla massima quota relativa al piano stesso.

8.3 Combinazioni di carico per le azioni statiche

Le azioni statiche sulle strutture portanti verticali e orizzontali, da utilizzarsi per le verifiche di resistenza, vengono valutate facendo riferimento alla combinazione di carico fondamentale (SLU), riportata al §2.5.3 delle NTC 2008:

$$\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + E + \gamma_{Q1}Q_{k1} + \sum_j (\psi_{0j} \cdot Q_{kj})$$

dove:

- - G_1 e G_2 sono rispettivamente il valore dei permanenti strutturali e dei permanenti portati;
- - Q_{ki} è il valore caratteristico delle azioni variabili;
- - γ_{Gi} , γ_{Qi} sono i coefficienti parziali di sicurezza delle varie azioni il cui valore è riportato in Figura 3 (tab. 2.6.I delle NTC 2008);
- - ψ_{0i} è il coeff. di combinazione che fornisce il valore raro dell'azione variabile.

Tabella 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

| | | Coefficiente γ_F | EQU | A1 STR | A2 GEO |
|--|-------------|----------------------------|-----|-----------|-----------|
| Carichi permanenti | favorevoli | γ_{G1} | 0,9 | 1,0 | 1,0 |
| | sfavorevoli | | 1,1 | 1,3 | 1,0 |
| Carichi permanenti non strutturali ⁰⁾ | favorevoli | γ_{G2} | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | sfavorevoli | | 1,5 | 1,5 | 1,3 |
| Carichi variabili | favorevoli | γ_{Qi} | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | sfavorevoli | | 1,5 | 1,5 | 1,3 |

⁰⁾Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Figura 3. – Coefficienti parziali per le azioni (tab. 2.6.I NTC 2008).

9 ANALISI DEI CARICHI

All'interno del complesso le tipologie strutturali risultano generalmente omogenee tra loro. Nel seguito si riporta l'analisi dei carichi relativa ai diversi piani dell'intero fabbricato assunta per lo svolgimento delle verifiche statiche e sismiche.

Solai di piano

| DESCRIZIONE | |
|----------------------|------------------------------|
| Peso proprio solaio | 3.90 kN/m ² |
| Intonaco inferiore | 0.50 kN/m ² |
| Sottofondo | 0.20 kN/m ² |
| Pavimentazione | 0.40 kN/m ² |
| TOTALE SOLAIO | 5.00 kN/m² |

| | | |
|----------------------------|----------------|------------------------------|
| Permanente Strutturale | G ₁ | 3.90 kN/m ² |
| Permanente Portato | G ₂ | 1.10 kN/m ² |
| Carico Accidentale Cat. C1 | | 3.50 kN/m² |
| Carico Accidentale Cat. C2 | | 4.00 kN/m² |

Peso muratura sopra e sotto finestre

| DESCRIZIONE | |
|----------------------------|------------------------------|
| Parete sp. 27 con intonaco | 5.15 kN/m ² |
| TOTALE | 5.15 kN/m² |

Copertura

| DESCRIZIONE | |
|-----------------------------------|------------------------------|
| Peso proprio capriate | 0.30 kN/m ² |
| Orditura principale | 0.10 kN/m ² |
| Orditura secondaria | 0.05 kN/m ² |
| Tavelle in laterizio | 0.35 kN/m ² |
| Impermeabilizzazione / isolamento | 0.10 kN/m ² |
| Manto di copertura in coppi | 0.80 kN/m ² |
| TOTALE COPERTURA | 1.70 kN/m² |

| | | |
|---------------------------|----------------|------------------------------|
| Permanente Strutturale | G ₁ | 0.40 kN/m ² |
| Permanente Portato | G ₂ | 1.30 kN/m ² |
| Carico Accidentale (Neve) | Q _k | 0.80 kN/m² |

Sottotetto

| DESCRIZIONE | |
|------------------------------------|------------------------------|
| Travi porta controsoffitto | 0.10 kN/m ² |
| Travi di ripartizione | 0.06 kN/m ² |
| Cannuciato e intonaco inferiore | 0.50 kN/m ² |
| Lana di roccia | 0.04 kN/m ² |
| Incidenza percorsi di manutenzione | 0.05 kN/m ² |
| TOTALE SOLAIO | 0.75 kN/m² |

Peso del cornicione in calcestruzzo

| DESCRIZIONE | |
|---------------------------|------------------|
| Soletta in c.a. sp. 15cm | 3.75 kN/m |
| Barbacani 30x30cm i= 1.7m | 1.32 kN/m |
| TOTALE CORNICIONE | 5.07 kN/m |

10 PRINCIPALI VERIFICHE STATICHE

Nel presente capitolo si riportano le verifiche statiche dei principali elementi strutturali, effettuate al fine di valutare l'impegno delle varie strutture in tale condizione. In particolare, si riportano:

- Verifica delle murature più significative;
- Verifica delle capriate lignee di copertura;
- Verifica degli arcarecci lignei di copertura;
- Verifica dei solai di piano.

10.1 Verifica delle Murature più significative

Vengono di seguito riportate le verifiche statiche delle murature più significative, rappresentate da:

- Muratura interna longitudinale
- Muratura esterna lato aule

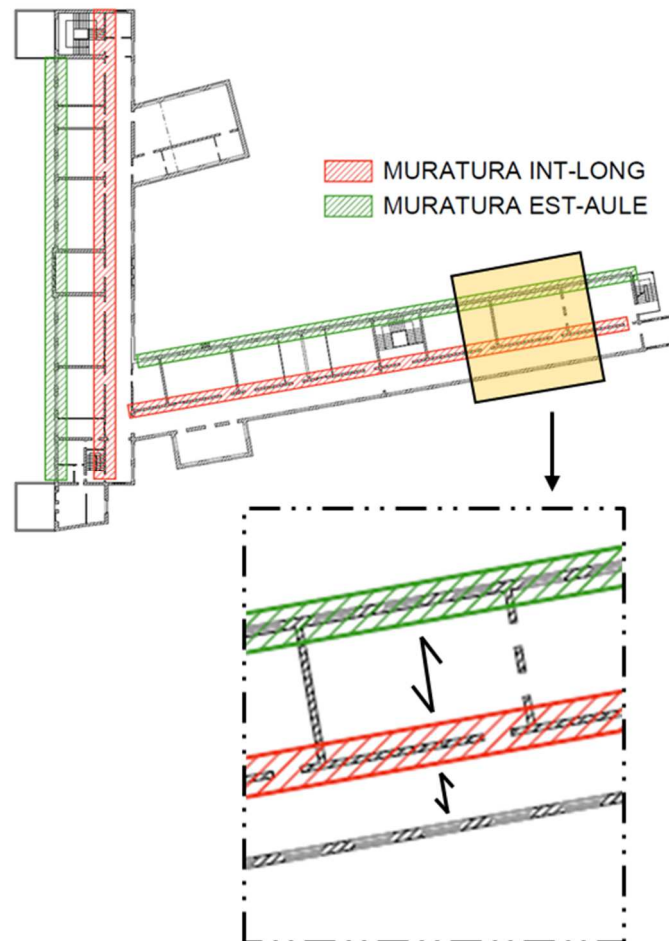


Figura 4. Schema murature verificate

10.1.1 Muratura interna Longitudinale

VERIFICA STATICA DELLA MURATURA (§ 4.5.6 NTC 2008)

LAVORO: Verifica statica muratura scuola Ardigò - Mameli, via Agnusdei - Padova

ELEMENTO: Muratura interna longitudinale

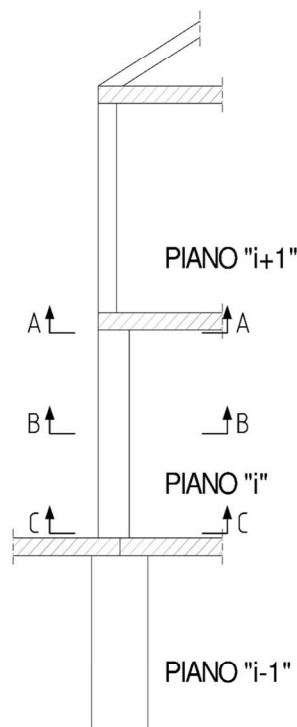
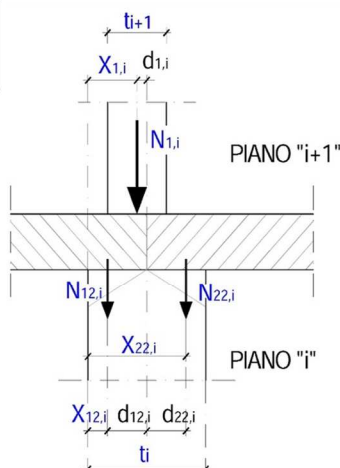
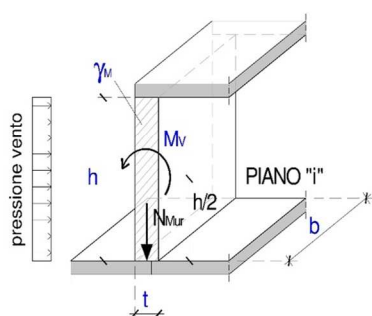
GEOMETRIA DELLA MURATURA

γ_{Mur} = 3.00 coeff. parziale di sicurezza della muratura

F.C.= 1.20 fattore di confidenza

| PIANO | h [m] | t [m] | b [m] | w_{Mur} [kN/m ³] | N_{Mur} [kN] |
|---------|----------|----------|----------|-----------------------------------|-------------------|
| Secondo | 5.2 | 0.25 | 1 | 19 | 32.1 |
| Primo | 4.15 | 0.25 | 1 | 19 | 25.6 |
| Terra | 2.5 | 0.50 | 1 | 19 | 30.9 |

b: larghezza del maschio murario resistente



CARICHI AGENTI E POSIZIONE

| PIANO | N_1 [kN] | x_1 [m] | N_{12} [kN] | x_{12} [m] | N_{22} [kN] | x_{22} [m] | N_{base} [kN] | q_v [kN/m ²] | M_V [kNm] |
|---------|---------------|--------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|--------------------|-------------------------------|----------------|
| Secondo | 0.0 | 0.00 | 3.3 | 0.13 | 1.8 | 0.13 | 37.2 | 0.00 | 0.00 |
| Primo | 37.2 | 0.13 | 40.1 | 0.06 | 22.1 | 0.19 | 125.1 | 0.00 | 0.00 |
| Terra | 125.1 | 0.18 | 40.1 | 0.13 | 22.1 | 0.38 | 218.2 | 0.00 | 0.00 |

Note: I carichi N sono calcolati sulla larghezza di muratura che grava direttamente sul maschio da verificare

I carichi N sono di progetto allo Stato Limite Ultimo calcolati con $\gamma_G=1.3$ e $\gamma_Q=1.5$

DETERMINAZIONE DELLE ECCENTRICITA'

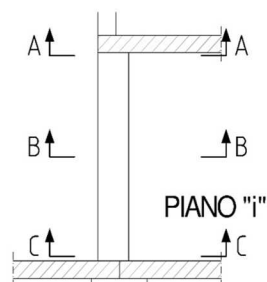
| MASCHIO | d_1 [m] | d_{21} [m] | d_{22} [m] | e_{s1} [m] | e_{s2} [m] | e_s [m] | e_a [m] | e_v [m] | 0.33 t [m] | e_1 [m] | e_2 [m] |
|---------|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| Secondo | - | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.08 | 0.03 | 0.03 |
| Primo | 0.00 | -0.06 | 0.06 | 0.00 | -0.01 | -0.01 | 0.02 | 0.00 | 0.08 | 0.03 | 0.02 |
| Terra | -0.08 | -0.13 | 0.13 | -0.05 | -0.01 | -0.06 | 0.01 | 0.00 | 0.17 | 0.07 | 0.04 |

CARATTERISTICHE MECCANICHE E DETERMINAZIONE DELLE RESISTENZE DI PROGETTO

| MASCHIO | m_1 | m_2 | ρ | λ | Φ_1 | Φ_2 | f_d [Mpa] | $f_{d1,rid}$ [Mpa] | $f_{d2,rid}$ [Mpa] | $N_{Rd,1}$ [kN] | $N_{Rd,2}$ [kN] | f_m [Mpa] |
|---------|-------|-------|--------|-----------|----------|----------|----------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|----------------|
| Secondo | 0.624 | 0.624 | 1.0 | 18.80 | 0.355 | 0.355 | 0.889 | 0.315 | 0.315 | 78.8 | 78.8 | 3.200 |
| Primo | 0.769 | 0.498 | 1.0 | 16.60 | 0.361 | 0.442 | 0.889 | 0.321 | 0.393 | 80.2 | 98.3 | 3.200 |
| Terra | 0.895 | 0.447 | 1.0 | 5.00 | 0.584 | 0.737 | 0.889 | 0.519 | 0.655 | 259.4 | 327.7 | 3.200 |

VERIFICA A PRESSO FLESSIONE PER CARICHI LATERALI

| PIANO | SEZ. A | | | SEZ. B | | | SEZ. C | | |
|---------|------------------|--------------------|-------------------|------------------|--------------------|-------------------|------------------|--------------------|-------------------|
| | N_{Sd} [kN] | $N_{Rd,1}$ [kN] | $N_{Sd}/N_{Rd,1}$ | N_{Sd} [kN] | $N_{Rd,2}$ [kN] | $N_{Sd}/N_{Rd,2}$ | N_{Sd} [kN] | $N_{Rd,1}$ [kN] | $N_{Sd}/N_{Rd,1}$ |
| Secondo | 5.1 | 78.8 | 0.06 | 21.1 | 78.8 | 0.27 | 37.2 | 222.2 | 0.17 |
| Primo | 99.4 | 80.2 | 1.24 | 112.2 | 98.3 | 1.14 | 125.1 | 222.2 | 0.56 |
| Terra | 187.3 | 259.4 | 0.72 | 202.7 | 327.7 | 0.62 | 218.2 | 444.4 | 0.49 |



10.1.2 Muratura Esterna lato Aule

VERIFICA STATICA DELLA MURATURA (§ 4.5.6 NTC 2008)

LAVORO: Verifica statica muratura scuola Ardigò - Mameli, via Agnusdei - Padova

ELEMENTO: Muratura esterna lato Aule

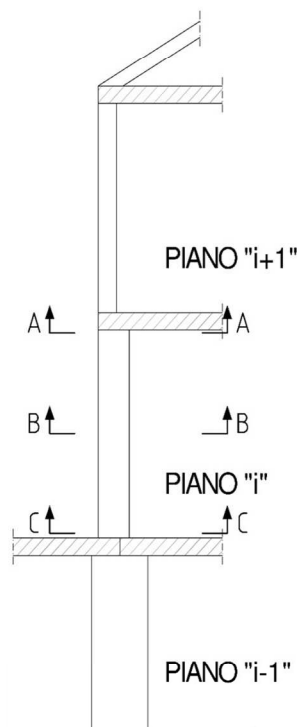
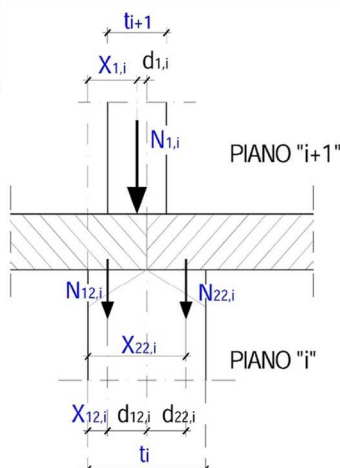
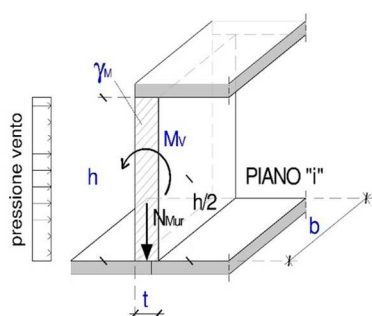
GEOMETRIA DELLA MURATURA

γ_{Mur} = 3.00 coeff. parziale di sicurezza della muratura

F.C.= 1.20 fattore di confidenza

| PIANO | h [m] | t [m] | b [m] | w_{Mur} [kN/m ³] | N_{Mur} [kN] |
|---------|----------|----------|----------|-----------------------------------|-------------------|
| Secondo | 5.2 | 0.44 | 1.6 | 19 | 90.4 |
| Primo | 4.15 | 0.58 | 1.6 | 19 | 95.1 |
| Terra | 2.5 | 0.68 | 2.4 | 19 | 100.8 |

b: larghezza del maschio murario resistente



CARICHI AGENTI E POSIZIONE

| PIANO | N_1 [kN] | x_1 [m] | N_{12} [kN] | x_{12} [m] | N_{22} [kN] | x_{22} [m] | N_{base} [kN] | q_v [kN/m ²] | M_v [kNm] |
|---------|---------------|--------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|--------------------|-------------------------------|----------------|
| Secondo | 0.0 | 0.00 | 22.7 | 0.15 | 81.5 | 0.29 | 194.7 | 0.60 | 10.49 |
| Primo | 194.7 | 0.22 | 0.0 | 0.00 | 138.3 | 0.39 | 428.2 | 0.60 | 6.68 |
| Terra | 428.2 | 0.34 | 0.0 | 0.00 | 138.3 | 0.44 | 667.3 | 0.60 | 2.43 |

Note: I carichi N sono calcolati sulla larghezza di muratura che grava direttamente sul maschio da verificare

I carichi N sono di progetto allo Stato Limite Ultimo calcolati con $\gamma_G=1.3$ e $\gamma_Q=1.5$

DETERMINAZIONE DELLE ECCENTRICITA'

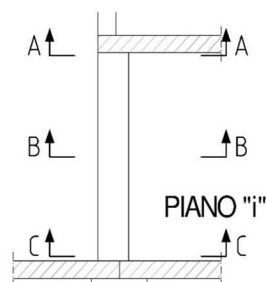
| MASCHIO | d_1 [m] | d_{21} [m] | d_{22} [m] | e_{s1} [m] | e_{s2} [m] | e_s [m] | e_a [m] | e_v [m] | 0.33 t [m] | e_1 [m] | e_2 [m] |
|---------|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| Secondo | - | -0.07 | 0.07 | 0.00 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.07 | 0.15 | 0.07 | 0.10 |
| Primo | -0.07 | - | 0.10 | -0.04 | 0.04 | 0.00 | 0.02 | 0.02 | 0.19 | 0.02 | 0.03 |
| Terra | 0.00 | - | 0.10 | 0.00 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.22 | 0.04 | 0.02 |

CARATTERISTICHE MECCANICHE E DETERMINAZIONE DELLE RESISTENZE DI PROGETTO

| MASCHIO | m_1 | m_2 | ρ | λ | Φ_1 | Φ_2 | f_d [Mpa] | $f_{d1,rid}$ [Mpa] | $f_{d2,rid}$ [Mpa] | $N_{Rd,1}$ [kN] | $N_{Rd,2}$ [kN] | f_m [Mpa] |
|---------|-------|-------|--------|-----------|----------|----------|----------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|----------------|
| Secondo | 0.918 | 1.417 | 1.0 | 11.82 | 0.429 | 0.262 | 0.889 | 0.381 | 0.233 | 268.4 | 163.9 | 3.200 |
| Primo | 0.223 | 0.293 | 1.0 | 7.16 | 0.809 | 0.773 | 0.889 | 0.719 | 0.687 | 667.1 | 637.4 | 3.200 |
| Terra | 0.319 | 0.194 | 1.0 | 3.68 | 0.812 | 0.877 | 0.889 | 0.722 | 0.780 | 1 178.3 | 1 272.3 | 3.200 |

VERIFICA A PRESSO FLESSIONE PER CARICHI LATERALI

| PIANO | SEZ. A | | | SEZ. B | | | SEZ. C | | |
|---------|------------------|--------------------|-------------------|------------------|--------------------|-------------------|------------------|--------------------|-------------------|
| | N_{Sd} [kN] | $N_{Rd,1}$ [kN] | $N_{Sd}/N_{Rd,1}$ | N_{Sd} [kN] | $N_{Rd,2}$ [kN] | $N_{Sd}/N_{Rd,2}$ | N_{Sd} [kN] | $N_{Rd,1}$ [kN] | $N_{Sd}/N_{Rd,1}$ |
| Secondo | 104.3 | 268.4 | 0.39 | 149.5 | 163.9 | 0.91 | 194.7 | 625.8 | 0.31 |
| Primo | 333.0 | 667.1 | 0.50 | 380.6 | 637.4 | 0.60 | 428.2 | 824.9 | 0.52 |
| Terra | 566.5 | 1 178.3 | 0.48 | 616.9 | 1 272.3 | 0.48 | 667.3 | 1 450.7 | 0.46 |



La verifica statica delle murature più sollecitate risulta generalmente soddisfatta, ad eccezione di alcune pareti del primo piano che a causa della loro elevata snellezza non soddisfano a pieno i requisiti previsti dalla attuale normativa.

10.1.3 Sintesi

Viene di seguito riportata una tabella riassuntiva dei principali risultati di verifica statica relativi alle murature.

| Principali Rapporti di verifica D/C | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------------|--------|--------|----------------------------|--------|--------|
| | Muratura Interna Longitudinale | | | Muratura Esterna lato Aule | | |
| | Presso-Flex | | | | | |
| | Sez. A | Sez. B | Sez. C | Sez. A | Sez. B | Sez. C |
| Piano Secondo | 0.06 | 0.27 | 0.17 | 0.39 | 0.91 | 0.31 |
| Piano Primo | 1.24 | 1.14 | 0.56 | 0.5 | 0.6 | 0.52 |
| Piano Terra | 0.62 | 0.62 | 0.49 | 0.48 | 0.48 | 0.46 |

D/C ≥ 1 NON Verificato D/C < 1 Verificato

10.2 Verifica delle Capriate

Si riporta la verifica di una capriata tipo rappresentativa di quanto presente nel complesso. In particolare, si è fatto riferimento ad una capriata relativa alla copertura della Parte Nuova, la cui geometria è rappresentata in Figura 6. Tale geometria è stata ricavata da un rilievo diretto e, sempre dai rilievi svolti, si è riscontrato che essa si presenta, in modo molto simile, in tutti i sottotetti.

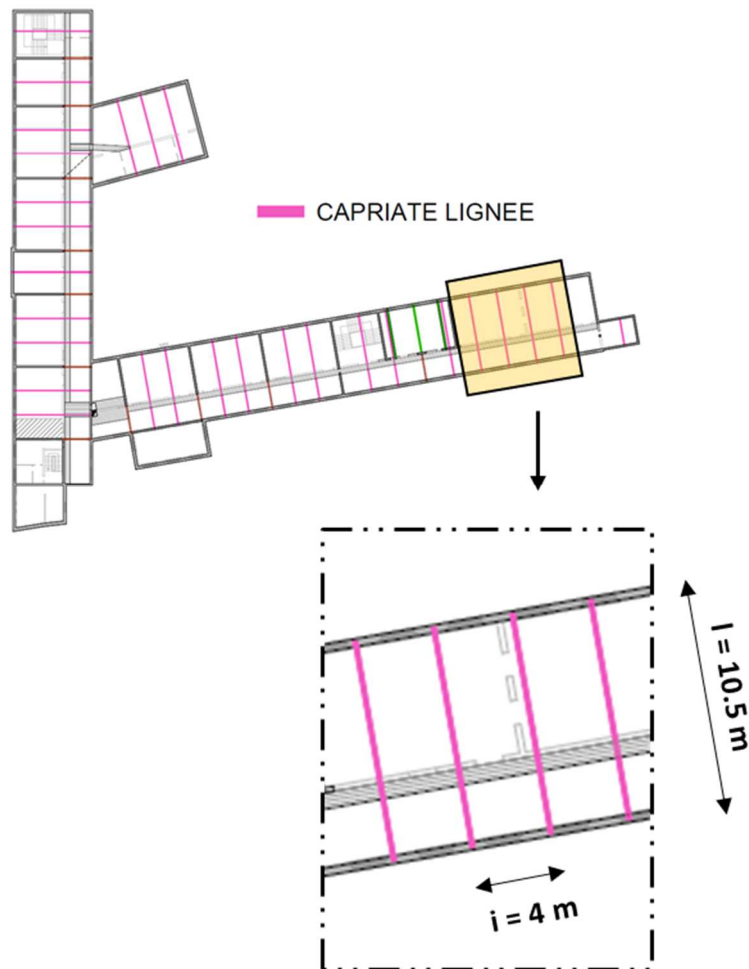


Figura 5. Schema capriate verificate

10.2.1 Capriata tipologica

Lunghezza media capriate:

$$i_{\text{med-Capriate}} = 10.5 \text{ m}$$

Interasse medio delle capriate:

$$i_{\text{med-Capriate}} = 4.0 \text{ m}$$

Interasse medio terzere:

$$i_{\text{med-Terzere}} = 1.4 \text{ m o } 0.7 \text{ m}$$

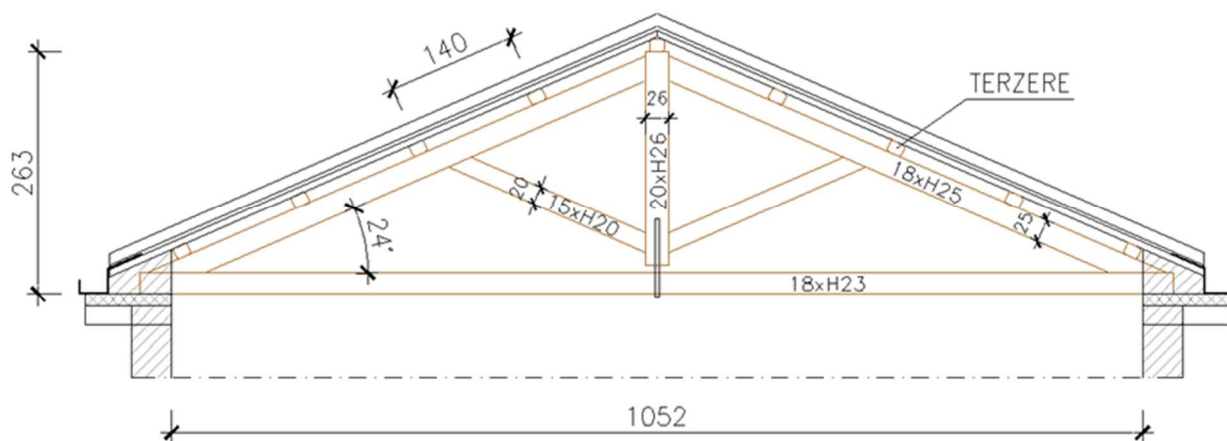


Figura 6. – Prospetto Capriata Tipo

10.2.2 Carichi

I carichi utilizzati sono ricavabili dall'analisi dei carichi.

$$G_{1k} = 0.4 \text{ kN/m}^2; \quad G_{2k} = 1.3 \text{ kN/m}^2; \quad Q_k = 0.8 \text{ kN/m}^2$$

Per determinare la resistenza degli elementi lignei è necessaria l'adozione di un coefficiente K_{mod} che dipende oltre alla classe di esposizione dell'elemento anche dalla natura dei carichi. Per la verifica viene utilizzata la condizione di carico che massimizza il rapporto tra carico e resistenza.

$$\text{CB SLU 1} = [1.3 \cdot G_{1k} + 1.5 \cdot (G_{2k} + Q_k)] / K_{\text{mod}} - Q_k = 4.07 \text{ kN/m}^2 \quad k_{\text{mod}} = 0.9$$

$$\text{CB SLU 2} = [1.3 \cdot G_{1k} + 1.5 \cdot (G_{2k})] / K_{\text{mod}} - Q_k = 4.12 \text{ kN/m}^2 \quad k_{\text{mod}} = 0.6$$

La condizione di carico più gravosa per le verifiche risulta essere la seconda, dove sono combinati tra loro i soli carichi permanenti. Nelle verifiche è stato quindi adottato un coefficiente $K_{\text{mod}} = 0.6$.

Dato l'interasse medio delle capriate è quindi possibile definire il carico distribuito sulla capriata:

$$q_{\text{SLU}} = [1.3 \cdot 0.4 + 1.5 \cdot (1.3)] \cdot 4 = 9.88 \text{ [kN/m]}$$

Per tenere conto del possibile stato di degrado superficiale delle travi lignee sono state condotte in un primo momento le verifiche di resistenza considerandone una sezione resistente ridotta di 1cm su entrambe le dimensioni geometriche.

10.2.3 Sollecitazioni – Combinazione SLU

Vengono di seguito riportate le sollecitazioni presenti sulla capriata in esame, assumendo i carichi puntuali offerti dalle terzere poste ad interasse medio pari ad 1.4 m.

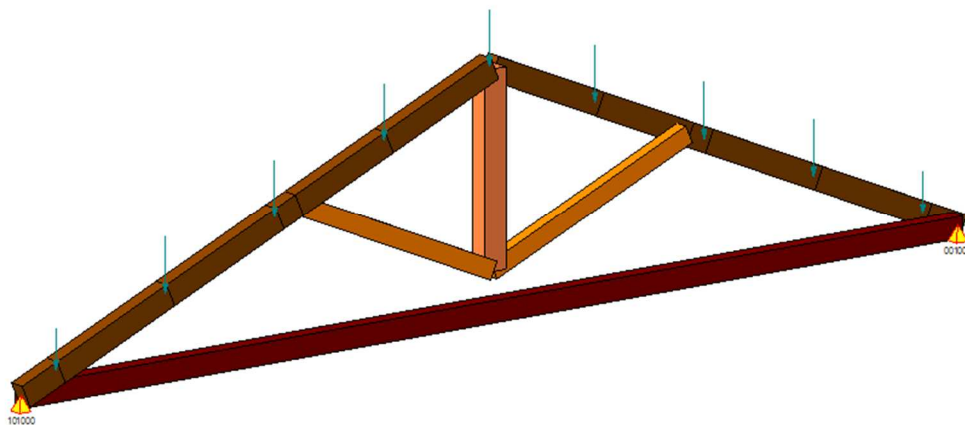


Figura 7. – Diagramma Sforzo Normale [kN]

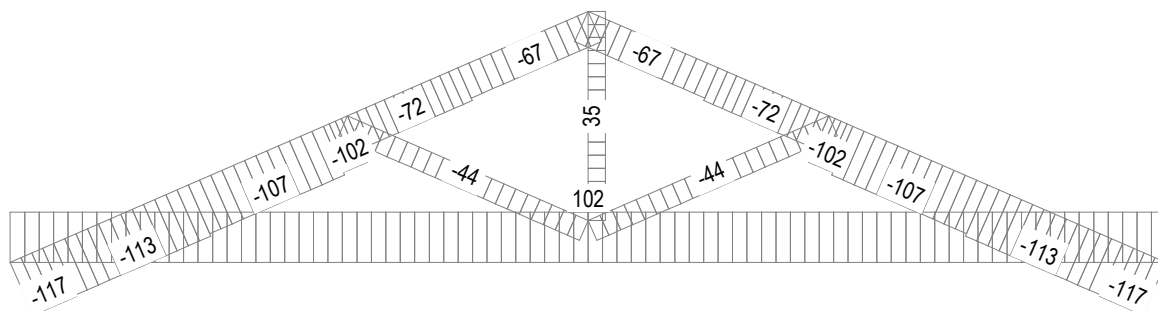


Figura 8. – Diagramma Sforzo Normale [kN]

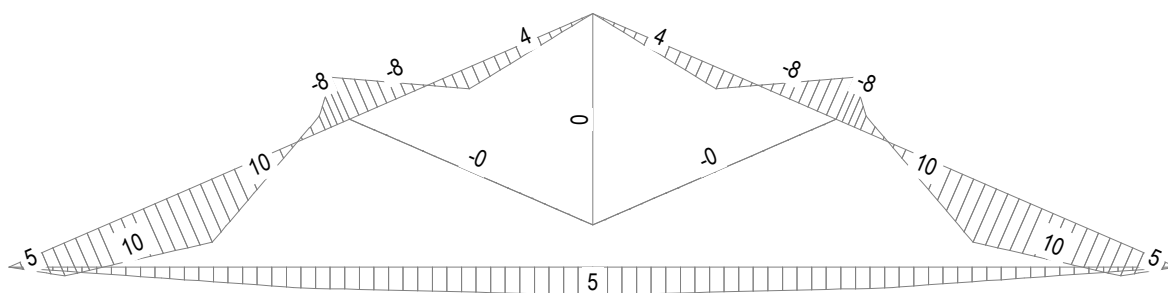


Figura 9. – Diagramma Momento Flettente [kNm]

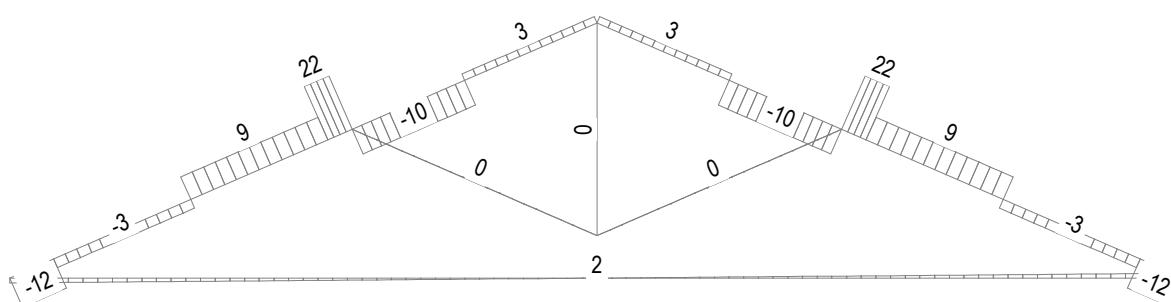


Figura 10. – Diagramma del Taglio [kN]

10.2.4 Verifica Capriata: ipotesi legno C22**10.2.4.1 Verifica PUNTONE**Verifica a Pressoflessione*Caratteristiche Geometriche*

$L = 3.5 \text{ m}$ (lunghezza libera di inflessione)

$A = B \times H = 17 \times 24 = 408 \text{ cm}^2$

$W = B \times H^2 / 6 = 17 \times 24^2 / 6 = 1632 \text{ cm}^3$

Verifica

$\sigma_{m,z,d} = M_{Sd} / W = 10 \times 10^6 / 1632 \times 10^3 = 6.13 \text{ MPa}$

$\sigma_{c,0,d} = N_{Sd} / A = 117 \times 10^3 / 408 \times 10^2 = 2.87 \text{ MPa}$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = (2.87/8)^2 + 6.13/8.8 = 0.13 + 0.70 = 0.83$$

VERIFICA SODDISFATTA

Verifica a Pressoflessione – instabilità

La verifica di stabilità viene condotta lungo l'asse forte vista la maggiore snellezza rispetto all'asse debole vincolato invece dalle terzere.

$J = B \times H^3 / 12 = 17 \times 24^3 / 12 = 19584 \text{ cm}^4$

$\rho_{\min} = (J_{\min} / A)^{0.5} = (19584 / 408)^{0.5} = 6.9 \text{ cm}$

$\lambda = L_0 / \rho_{\min} = 350 / 6.9 = 50.7 \rightarrow 51 \quad k_{\text{crit},c} = 0.78$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{\text{crit},c} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 2.9 / (0.78 \cdot 8) + 6.13 / 8.8 = 0.46 + 0.70 = 1.16$$

VERIFICA NON SODDISFATTA**10.2.4.2 Verifica CATENA**Verifica a Tensoflessione in Mezzeria*Caratteristiche Geometriche*

$A = B \times H = 17 \times 22 = 374 \text{ cm}^2$

$W = B \times H^2 / 6 = 17 \times 22^2 / 6 = 1371 \text{ cm}^3$

Verifica

$\sigma_{t,0,d} = N_{Sd} / A = 102 \times 10^3 / 374 \times 10^2 = 2.73 \text{ MPa}$

$\sigma_{m,z,d} = M_{Sd} / W = 5 \times 10^6 / 1371 \times 10^3 = 3.65 \text{ MPa}$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 2.7 / 5.2 + 3.65 / 8.8 = 0.93$$

VERIFICA SODDISFATTA

Verifica a Trazione in prossimità dell'intaglio

In prossimità del collegamento con il puntone, a causa del tacco tra i due elementi l'altezza della catena viene ridotta di circa 5cm.

Caratteristiche Geometriche

$$A = B \times H = 17 \times 17 = 289 \text{ cm}^2$$

Verifica

$$\sigma_{t,0,d} = N_{Sd}/A = 102 \times 10^3 / 289 \times 10^2 = 3.5 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = 3.5/5.2 = 0.67$$

VERIFICA SODDISFATTA

10.2.4.3 Verifica SAETTE

Verifica a Compressione*Caratteristiche Geometriche*

$$L = 2.5 \text{ m}$$

$$A = B \times H = 14 \times 19 = 266 \text{ cm}^2$$

Verifica

La verifica di stabilità viene condotta sull'asse debole

$$\sigma_{c,0,d} = N_{Sd}/A = 44 \times 10^3 / 266 \times 10^2 = 1.7 \text{ MPa}$$

$$J_{\min} = B^3 \times H / 12 = 14^3 \times 19 / 12 = 4345 \text{ cm}^4$$

$$\rho_{\min} = (J_{\min}/A)^{0.5} = (4345/266)^{0.5} = 4 \text{ cm}$$

$$\lambda = L_0/\rho_{\min} = 250/4 = 62.5 \rightarrow 63 \quad k_{\text{crit},c} = 0.62$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{\text{crit},c} \cdot f_{c,0,d}} = 1.7/(0.62 \cdot 8) = 0.34$$

VERIFICA SODDISFATTA

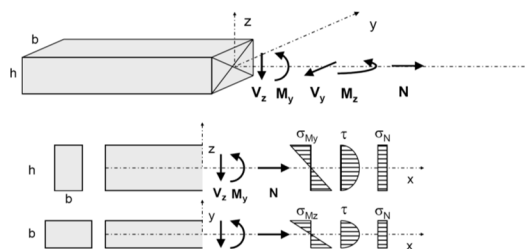
10.2.5 Verifica Capriata: ipotesi legno C24

Di seguito vengono riportate le verifiche della stessa capriata assumendo un legno massiccio C24. Viene inoltre considerata, ai fini della resistenza, l'intera sezione dell'elemento ligneo, considerandolo in buono stato di conservazione.

I risultati vengono di seguito riportati per mezzo di un foglio di calcolo Excel.

| | | |
|----------------|------------------|--------------|
| Identificativo | Verifica Puntone | NMV Rev. 1.0 |
|----------------|------------------|--------------|

| | | | |
|---|--------------|---------------------|-----------------|
| CARATTERISTICHE DEL MATERIALE | | | |
| Classe di Resistenza | C24 | Massiccio | |
| Classe di Servizio | 2 | | |
| Durata del Carico | Permanen | k_{mod} | 0.6 |
| Incremento per piccole sezioni (EC5 §3.3) No | | | |
| Coefficiente di sicurezza sul materiale | | γ_M | 1.5 |
| Valori caratteristici delle Resistenze [Mpa] | | | |
| Flessione | $f_{m,g}$ | 24.00 | 9.60 |
| | $f_{t,0,g}$ | 14.00 | 5.60 |
| Trazione parallela alla fibratura | $f_{t,90,d}$ | 0.50 | 0.20 |
| Trazione pependicolare alla fibratura | $f_{c,0,d}$ | 21.00 | 8.40 |
| Compressione parallela alla fibratura | $f_{c,90,d}$ | 2.50 | 1.00 |
| Compressione perpendicolare alla fibratura | $f_{v,d}$ | 2.50 | 1.00 |
| Taglio | | | |
| Modulo elastico [Mpa] | | | |
| Modulo elastico medio parallelo alle fibre | | $E_{0,0,mean}$ | 11000.00 |
| Modulo elastico caratteristico parallelo alle fibre | | $E_{0,0,5}$ | 7400.00 |
| Modulo elastico medio perpendicolare alle fibre | | $E_{90,0,mean}$ | 370.00 |
| Modulo di taglio medio | | $G_{0,mean}$ | 690.00 |
| Massa volumica [kg/m³] | | da normativa | $\rho_{a,knom}$ |
| Massa volumica | | assunto nei calcoli | $\rho_{g,k}$ |
| | | | 0 |

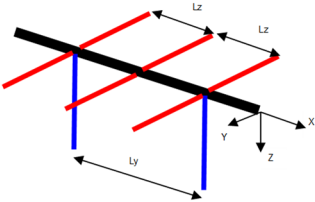
| | | | |
|--|---|---------|-------------|
| CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE | | | |
| Legno Massiccio C24 | | B = | 18.0 [cm] |
| Abete-Lamella 40mm | | H = | 25.0 [cm] |
| | | A = | 450 [cm²] |
| | | W_y = | 1875 [cm³] |
| | | J_y = | 23438 [cm⁴] |
| | | W_z = | 1350 [cm³] |
| | | J_z = | 12150 [cm⁴] |
| | | k_m | 0.7 |
| Base Sezioni Altezza | | | |
| 18 | X | 25.0 | cm |
|  | | | |

| | |
|--------------|----------|
| N_d | 117 [kN] |
| Compressione | |

| | |
|-----------|----------|
| $M_{T,d}$ | 0 [kN*m] |
| L_{ef} | 1.40 [m] |

| | |
|-----------|-----------|
| $V_{z,d}$ | 22 [kN] |
| $M_{y,d}$ | 10 [kN*m] |
| L_y | 3.50 [m] |

| | |
|-----------|----------|
| $V_{y,d}$ | 0 [kN] |
| $M_{z,d}$ | 0 [kN*m] |
| L_z | 1.40 [m] |



Verifica a Compressione

instabilità attorno ad asse y

| | |
|--|-----------------|
| $\sigma_{c,0,d}$ | 2.60 [N/mm²] |
| $f_{c,0,d}$ | 8.40 [N/mm²] |
| $k_{c,y}$ | 0.81 |
| $\sigma_{c,0,d}/(k_{c,y} \cdot f_{c,0,d})$ | 0.38 VERIFICATO |

instabilità attorno ad asse z

| | |
|--|-----------------|
| $\sigma_{c,0,d}$ | 2.60 [N/mm²] |
| $f_{c,0,d}$ | 8.40 [N/mm²] |
| $k_{c,z}$ | 0.96 |
| $\sigma_{c,0,d}/(k_{c,z} \cdot f_{c,0,d})$ | 0.32 VERIFICATO |

Verifica a Flessione

flessione attorno ad asse y (My)

| | |
|--|-----------------|
| $\sigma_{m,y,d}$ | 5.33 [N/mm²] |
| $f_{m,y,d}$ | 9.60 [N/mm²] |
| k_{hy} | 1.00 |
| $k_{crit,y}$ | 1.00 |
| $\sigma_{m,y,d}/(k_{crit,y} \cdot k_{hy} \cdot f_{m,y,d})$ | 0.56 VERIFICATO |

flessione attorno ad asse z (Mz)

| | |
|--|-----------------|
| $\sigma_{m,z,d}$ | 0.00 [N/mm²] |
| $f_{m,z,d}$ | 9.60 [N/mm²] |
| k_{hz} | 1.00 |
| $k_{crit,z}$ | 1.00 |
| $\sigma_{m,z,d}/(k_{crit,z} \cdot k_{hz} \cdot f_{m,z,d})$ | 0.00 VERIFICATO |

Verifica a Pressoflessione

| | |
|------------|-----------------|
| EC5 (6.19) | 0.65 VERIFICATO |
|------------|-----------------|

| | |
|------------|-----------------|
| EC5 (6.20) | 0.48 VERIFICATO |
|------------|-----------------|

Verifica di instabilità a Pressoflessione

| | |
|-------------------------|-----------------|
| EC5 (6.23) | 0.94 VERIFICATO |
| considerando k_{crit} | |

| | |
|-------------------------|-----------------|
| EC5 (6.24) | 0.71 VERIFICATO |
| considerando k_{crit} | |

Verifica a Taglio

Taglio in direzione z (Vz)

| | |
|----------------------|-----------------|
| $\tau_{z,d}$ | 0.73 [N/mm²] |
| $f_{v,d}$ | 1.00 [N/mm²] |
| $\tau_{z,d}/f_{v,d}$ | 0.73 VERIFICATO |

Taglio in direzione y (Vy)

| | |
|----------------------|-----------------|
| $\tau_{y,d}$ | 0.00 [N/mm²] |
| $f_{v,d}$ | 1.00 [N/mm²] |
| $\tau_{y,d}/f_{v,d}$ | 0.00 VERIFICATO |

Verifica a Torsione

| | |
|----------------------|-----------------|
| $\tau_{T,d}$ | 0.00 [N/mm²] |
| $f_{T,d}$ | 1.00 [N/mm²] |
| k_{shape} | 1.21 |
| $\tau_{T,d}/f_{T,d}$ | 0.00 VERIFICATO |

Verifica a Taglio Combinato

| | |
|------------|-----------------|
| EC5 (6.13) | 0.54 VERIFICATO |
|------------|-----------------|

Verifica a Torsione e Taglio Combinato

| | |
|----------|-----------------|
| DIN (62) | 0.54 VERIFICATO |
|----------|-----------------|

Identificativo

Verifica Catena - Mezzeria

NMV Rev. 1.0

CARATTERISTICHE DEL MATERIALE

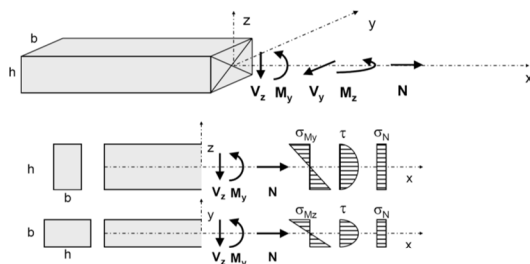
| | | |
|---|---------------------|------------------------|
| Classe di Resistenza | C24 | Massiccio |
| Classe di Servizio | 2 | |
| Durata del Carico | Permanen | k_{mod} 0.6 |
| Incremento per piccole sezioni (EC5 §3.3) No | | |
| Coefficiente di sicurezza sul materiale | | γ_M 1.5 |
| Valori caratteristici delle Resistenze [Mpa] | | |
| Flessione | $f_{m,g}$ | 24.00 |
| Trazione parallela alla fibratura | $f_{t,0,g}$ | 14.00 |
| Trazione perpendicolare alla fibratura | $f_{t,90,d}$ | 0.50 |
| Compressione parallela alla fibratura | $f_{c,0,d}$ | 21.00 |
| Compressione perpendicolare alla fibratura | $f_{c,90,d}$ | 2.50 |
| Taglio | $f_{v,d}$ | 2.50 |
| Modulo elastico [Mpa] | | |
| Modulo elastico medio parallelo alle fibre | $E_{0,0,mean}$ | 11000.00 |
| Modulo elastico caratteristico parallelo alle fibre | $E_{0,0,5}$ | 7400.00 |
| Modulo elastico medio perpendicolare alle fibre | $E_{90,0,mean}$ | 370.00 |
| Modulo di taglio medio | $G_{0,mean}$ | 690.00 |
| Massa volumica [kg/m ³] | da normativa | $\rho_{a,knom}$ 350.00 |
| Massa volumica | assunto nei calcoli | $\rho_{g,k}$ 0 |

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Legno Massiccio C24
Abete-Lamella 40mm

Base **18** X Altezza **24.0** cm

B = 18.0 [cm]
H = 24.0 [cm]
A = 432 [cm²]
 W_y = 1728 [cm³]
 J_y = 20736 [cm⁴]
 W_z = 1296 [cm³]
 J_z = 11664 [cm⁴]
 k_m **0.7**

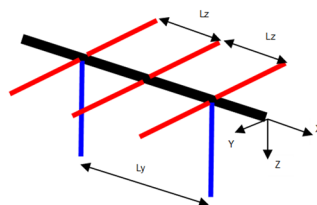


| | |
|----------|-----------------|
| N_d | 102 [kN] |
| Trazione | |

| | |
|-----------|-----------------|
| $M_{T,d}$ | 0 [kN*m] |
| L_{eff} | 1.00 [m] |

| | |
|-----------|-----------------|
| $V_{z,d}$ | 0 [kN] |
| $M_{y,d}$ | 5 [kN*m] |
| L_y | 1.00 [m] |

| | |
|-----------|-----------------|
| $V_{y,d}$ | 0 [kN] |
| $M_{z,d}$ | 0 [kN*m] |
| L_z | 1.00 [m] |



Verifica a Compressione

instabilità attorno ad asse y

| | |
|--|---------------------------|
| $\sigma_{c,0,d}$ | 2.36 [N/mm ²] |
| $f_{c,0,d}$ | 8.40 [N/mm ²] |
| $k_{c,y}$ | 1.00 |
| $\sigma_{c,0,d}/(k_{c,y} * f_{c,0,d})$ | 0.28 VERIFICATO |

instabilità attorno ad asse z

| | |
|--|---------------------------|
| $\sigma_{c,0,d}$ | 2.36 [N/mm ²] |
| $f_{c,0,d}$ | 8.40 [N/mm ²] |
| $k_{c,z}$ | 1.00 |
| $\sigma_{c,0,d}/(k_{c,z} * f_{c,0,d})$ | 0.28 VERIFICATO |

Verifica a Flessione

flessione attorno ad asse y (My)

| | |
|--|---------------------------|
| $\sigma_{m,y,d}$ | 2.89 [N/mm ²] |
| $f_{m,y,d}$ | 9.60 [N/mm ²] |
| k_{hy} | 1.00 |
| $k_{crit,y}$ | 1.00 |
| $\sigma_{m,y,d}/(k_{crit,y} * k_{hy} * f_{m,y,d})$ | 0.30 VERIFICATO |

flessione attorno ad asse z (Mz)

| | |
|--|---------------------------|
| $\sigma_{m,z,d}$ | 0.00 [N/mm ²] |
| $f_{m,z,d}$ | 9.60 [N/mm ²] |
| k_{hz} | 1.00 |
| $k_{crit,z}$ | 1.00 |
| $\sigma_{m,z,d}/(k_{crit,z} * k_{hz} * f_{m,z,d})$ | 0.00 VERIFICATO |

Verifica a Pressoflessione

EC5 (6.19) 0.38 VERIFICATO

EC5 (6.20) 0.29 VERIFICATO

Verifica di instabilità a Pressoflessione

EC5 (6.23) 0.58 VERIFICATO
considerando k_{crit} EC5 (6.24) 0.49 VERIFICATO
considerando k_{crit}

Verifica a Taglio

Taglio in direzione z (Vz)

| | |
|----------------------|---------------------------|
| $\tau_{z,d}$ | 0.00 [N/mm ²] |
| $f_{v,d}$ | 1.00 [N/mm ²] |
| $\tau_{z,d}/f_{v,d}$ | 0.00 VERIFICATO |

Taglio in direzione y (Vy)

| | |
|----------------------|---------------------------|
| $\tau_{y,d}$ | 0.00 [N/mm ²] |
| $f_{v,d}$ | 1.00 [N/mm ²] |
| $\tau_{y,d}/f_{v,d}$ | 0.00 VERIFICATO |

Verifica a Torsione

| | |
|----------------------|---------------------------|
| $\tau_{T,d}$ | 0.00 [N/mm ²] |
| $f_{T,d}$ | 1.00 [N/mm ²] |
| k_{shape} | 1.20 |
| $\tau_{T,d}/f_{T,d}$ | 0.00 VERIFICATO |

Verifica a Taglio Combinato

EC5 (6.13) 0.00 VERIFICATO

Verifica a Torsione e Taglio Combinato

DIN (62) 0.00 VERIFICATO

| | | |
|----------------|----------------------------|--------------|
| Identificativo | Verifica Catena - Intaglio | NMV Rev. 1.0 |
|----------------|----------------------------|--------------|

| CARATTERISTICHE DEL MATERIALE | | | |
|---|-----------------|-----------------------|--------------------|
| Classe di Resistenza | C24 | Massiccio | |
| Classe di Servizio | 2 | | |
| Durata del Carico | Permanen | k_{mod} | 0.6 |
| Incremento per piccole sezioni (EC5 §3.3) No | | | |
| Coefficiente di sicurezza sul materiale | | γ_M | 1.5 |
| Valori caratteristici delle Resistenze [Mpa] | | Valori caratteristici | Valori di progetto |
| Flessione | $f_{m,g}$ | 24.00 | 9.60 |
| Trazione parallela alla fibratura | $f_{t,0,g}$ | 14.00 | 5.60 |
| Trazione perpendicolare alla fibratura | $f_{t,90,g}$ | 0.50 | 0.20 |
| Compressione parallela alla fibratura | $f_{c,0,g}$ | 21.00 | 8.40 |
| Compressione perpendicolare alla fibratura | $f_{c,90,g}$ | 2.50 | 1.00 |
| Taglio | $f_{v,g}$ | 2.50 | 1.00 |
| Modulo elastico [Mpa] | | | |
| Modulo elastico medio parallelo alle fibre | | $E_{0.05,mean}$ | 11000.00 |
| Modulo elastico caratteristico parallelo alle fibre | | $E_{0.05}$ | 7400.00 |
| Modulo elastico medio perpendicolare alle fibre | | $E_{90.0,mean}$ | 370.00 |
| Modulo di taglio medio | | $G_{0.05,mean}$ | 690.00 |
| Massa volumica [kg/m³] | | da normativa | $\rho_{0,k,nom}$ |
| Massa volumica | | assunto nei calcoli | $\rho_{g,k}$ |
| | | | 0 |

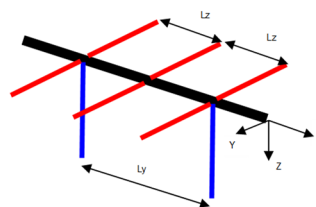
| CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE | | | |
|-------------------------------|----------|----------------|------------|
| Legno Massiccio C24 | | | |
| Abete-Lamella 40mm | | | |
| Base | Sezioni | Altezza | |
| 18 | X | 18.0 cm | |
| | | B = | 18.0 [cm] |
| | | H = | 18.0 [cm] |
| | | A = | 324 [cm²] |
| | | W_y = | 972 [cm³] |
| | | J_y = | 8748 [cm⁴] |
| | | W_z = | 972 [cm³] |
| | | J_z = | 8748 [cm⁴] |
| | | k_m | 0.7 |

| | |
|----------|-----------------|
| N_d | 102 [kN] |
| Trazione | |

| | |
|-----------|-----------------|
| $M_{T,d}$ | 0 [kN*m] |
| L_{eff} | 1.00 [m] |

| | |
|-----------|-----------------|
| $V_{z,d}$ | 0 [kN] |
| $M_{y,d}$ | 0 [kN*m] |
| L_y | 1.00 [m] |

| | |
|-----------|-----------------|
| $V_{y,d}$ | 0 [kN] |
| $M_{z,d}$ | 0 [kN*m] |
| L_z | 1.00 [m] |

**Verifica a Compressione**

instabilità attorno ad asse y

| | |
|--|-----------------|
| $\sigma_{c,0,d}$ | 3.15 [N/mm²] |
| $f_{c,0,d}$ | 8.40 [N/mm²] |
| $k_{c,y}$ | 1.00 |
| $\sigma_{c,0,d}/(k_{c,y} \cdot f_{c,0,d})$ | 0.37 VERIFICATO |

instabilità attorno ad asse z

| | |
|--|-----------------|
| $\sigma_{c,0,d}$ | 3.15 [N/mm²] |
| $f_{c,0,d}$ | 8.40 [N/mm²] |
| $k_{c,z}$ | 1.00 |
| $\sigma_{c,0,d}/(k_{c,z} \cdot f_{c,0,d})$ | 0.37 VERIFICATO |

Verifica a Flessione

flessione attorno ad asse y (My)

| | |
|--|-----------------|
| $\sigma_{m,y,d}$ | 0.00 [N/mm²] |
| $f_{m,y,d}$ | 9.60 [N/mm²] |
| k_{hy} | 1.00 |
| $k_{crit,y}$ | 1.00 |
| $\sigma_{m,y,d}/(k_{crit,y} \cdot k_{hy} \cdot f_{m,y,d})$ | 0.00 VERIFICATO |

flessione attorno ad asse z (Mz)

| | |
|--|-----------------|
| $\sigma_{m,z,d}$ | 0.00 [N/mm²] |
| $f_{m,z,d}$ | 9.60 [N/mm²] |
| k_{hz} | 1.00 |
| $k_{crit,z}$ | 1.00 |
| $\sigma_{m,z,d}/(k_{crit,z} \cdot k_{hz} \cdot f_{m,z,d})$ | 0.00 VERIFICATO |

Verifica a Pressoflessione

EC5 (6.19) 0.14 VERIFICATO

EC5 (6.20) 0.14 VERIFICATO

Verifica di instabilità a PressoflessioneEC5 (6.23) 0.37 VERIFICATO
considerando k_{crit} EC5 (6.24) 0.37 VERIFICATO
considerando k_{crit} **Verifica a Taglio**

Taglio in direzione z (Vz)

| | |
|----------------------|-----------------|
| $\tau_{z,d}$ | 0.00 [N/mm²] |
| $f_{v,d}$ | 1.00 [N/mm²] |
| $\tau_{z,d}/f_{v,d}$ | 0.00 VERIFICATO |

Taglio in direzione y (Vy)

| | |
|----------------------|-----------------|
| $\tau_{y,d}$ | 0.00 [N/mm²] |
| $f_{v,d}$ | 1.00 [N/mm²] |
| $\tau_{y,d}/f_{v,d}$ | 0.00 VERIFICATO |

Verifica a Torsione

| | |
|----------------------|-----------------|
| $\tau_{T,d}$ | 0.00 [N/mm²] |
| $f_{T,d}$ | 1.00 [N/mm²] |
| k_{shape} | 1.15 |
| $\tau_{z,d}/f_{v,d}$ | 0.00 VERIFICATO |

Verifica a Taglio Combinato

EC5 (6.13) 0.00 VERIFICATO

Verifica a Torsione e Taglio Combinato

DIN (62) 0.00 VERIFICATO

Identificativo

Verifica Saeite

NMV Rev. 1.0

| CARATTERISTICHE DEL MATERIALE | | | |
|---|-----------------|-----------------------|--------------------|
| Classe di Resistenza | C24 | Massiccio | |
| Classe di Servizio | 2 | | |
| Durata del Carico | Permanen | k_{mod} | 0.6 |
| Incremento per piccole sezioni (EC5 §3.3) No | | | |
| Coefficiente di sicurezza sul materiale | | γ_M | 1.5 |
| Valori caratteristici delle Resistenze [Mpa] | | Valori caratteristici | Valori di progetto |
| Flessione | $f_{m,g}$ | 24.00 | 9.60 |
| Trazione parallela alla fibratura | $f_{t,0,g}$ | 14.00 | 5.60 |
| Trazione perpendicolare alla fibratura | $f_{t,90,d}$ | 0.50 | 0.20 |
| Compressione parallela alla fibratura | $f_{c,0,d}$ | 21.00 | 8.40 |
| Compressione perpendicolare alla fibratura | $f_{c,90,d}$ | 2.50 | 1.00 |
| Taglio | $f_{v,d}$ | 2.50 | 1.00 |
| Modulo elastico [Mpa] | | | |
| Modulo elastico medio parallelo alle fibre | | $E_{0,0,mean}$ | 11000.00 |
| Modulo elastico caratteristico parallelo alle fibre | | $E_{0,0,5}$ | 7400.00 |
| Modulo elastico medio perpendicolare alle fibre | | $E_{90,0,mean}$ | 370.00 |
| Modulo di taglio medio | | $G_{0,mean}$ | 690.00 |
| Massa volumica [kg/m³] | | da normativa | $\rho_{a,knom}$ |
| Massa volumica | | assunto nei calcoli | $\rho_{g,k}$ |
| | | | 0 |

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE

Legno Massiccio C24

Abete-Lamella 40mm

Base **15** X Altezza **20.0** cm

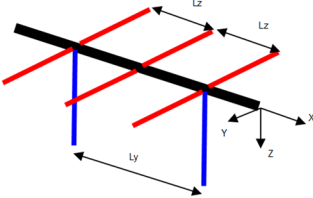
$B = 15.0$ [cm]
 $H = 20.0$ [cm]
 $A = 300$ [cm²]
 $W_y = 1000$ [cm³]
 $J_y = 10000$ [cm⁴]
 $W_z = 750$ [cm³]
 $J_z = 5625$ [cm⁴]
 $k_m = 0.7$

| | |
|--------------|----------------|
| N_d | 44 [kN] |
| Compressione | |

| | |
|-----------|-----------------|
| $M_{T,d}$ | 0 [kN*m] |
| L_{ef} | 1.00 [m] |

| | |
|-----------|-----------------|
| $V_{z,d}$ | 0 [kN] |
| $M_{y,d}$ | 0 [kN*m] |
| L_y | 2.50 [m] |

| | |
|-----------|-----------------|
| $V_{y,d}$ | 0 [kN] |
| $M_{z,d}$ | 0 [kN*m] |
| L_z | 2.50 [m] |



Verifica a Compressione

instabilità attorno ad asse y

| | |
|--|-----------------|
| $\sigma_{c,0,d}$ | 1.47 [N/mm²] |
| $f_{c,0,d}$ | 8.40 [N/mm²] |
| $k_{c,y}$ | 0.86 |
| $\sigma_{c,0,d}/(k_{c,y} * f_{c,0,d})$ | 0.20 VERIFICATO |

instabilità attorno ad asse z

| | |
|--|-----------------|
| $\sigma_{c,0,d}$ | 1.47 [N/mm²] |
| $f_{c,0,d}$ | 8.40 [N/mm²] |
| $k_{c,z}$ | 0.70 |
| $\sigma_{c,0,d}/(k_{c,z} * f_{c,0,d})$ | 0.25 VERIFICATO |

Verifica a Flessione

flessione attorno ad asse y (My)

| | |
|--|-----------------|
| $\sigma_{m,y,d}$ | 0.00 [N/mm²] |
| $f_{m,y,d}$ | 9.60 [N/mm²] |
| k_{hy} | 1.00 |
| $k_{crit,y}$ | 1.00 |
| $\sigma_{m,y,d}/(k_{crit,y} * k_{hy} * f_{m,y,d})$ | 0.00 VERIFICATO |

flessione attorno ad asse z (Mz)

| | |
|--|-----------------|
| $\sigma_{m,z,d}$ | 0.00 [N/mm²] |
| $f_{m,z,d}$ | 9.60 [N/mm²] |
| k_{hz} | 1.00 |
| $k_{crit,z}$ | 1.00 |
| $\sigma_{m,z,d}/(k_{crit,z} * k_{hz} * f_{m,z,d})$ | 0.00 VERIFICATO |

Verifica a Pressoflessione

| | | | |
|------------|-----------------|------------|-----------------|
| EC5 (6.19) | 0.03 VERIFICATO | EC5 (6.20) | 0.03 VERIFICATO |
|------------|-----------------|------------|-----------------|

Verifica di instabilità a Pressoflessione

| | | | |
|------------------------------------|-----------------|------------------------------------|-----------------|
| EC5 (6.23) considerando k_{crit} | 0.20 VERIFICATO | EC5 (6.24) considerando k_{crit} | 0.25 VERIFICATO |
|------------------------------------|-----------------|------------------------------------|-----------------|

Verifica a Taglio

Taglio in direzione z (Vz)

| | |
|----------------------|-----------------|
| $\tau_{z,d}$ | 0.00 [N/mm²] |
| $f_{v,d}$ | 1.00 [N/mm²] |
| $\tau_{z,d}/f_{v,d}$ | 0.00 VERIFICATO |

Taglio in direzione y (Vy)

| | |
|----------------------|-----------------|
| $\tau_{y,d}$ | 0.00 [N/mm²] |
| $f_{v,d}$ | 1.00 [N/mm²] |
| $\tau_{y,d}/f_{v,d}$ | 0.00 VERIFICATO |

Verifica a Torsione

| | |
|----------------------|-----------------|
| $\tau_{T,d}$ | 0.00 [N/mm²] |
| $f_{T,d}$ | 1.00 [N/mm²] |
| k_{shape} | 1.20 |
| $\tau_{z,d}/f_{v,d}$ | 0.00 VERIFICATO |

Verifica a Taglio Combinato

| | |
|------------|-----------------|
| EC5 (6.13) | 0.00 VERIFICATO |
|------------|-----------------|

Verifica a Torsione e Taglio Combinato

| | |
|----------|-----------------|
| DIN (62) | 0.00 VERIFICATO |
|----------|-----------------|

10.2.6 Sintesi

Viene di seguito riportata una tabella riassuntiva dei principali risultati di verifica statica relativi alle capriate lignee.

Principali Rapporti di verifica D/C

| | Puntone | | Catena | | Saetta |
|-------------|-------------|---------------------------|-------------|-------------|--------------|
| | Presso-Flex | Presso-Flex (Instabilità) | Tenso-Flex | Trazione | Compressione |
| C22* | 0.83 | 1.16 | 0.93 | 0.67 | 0.34 |
| C24 | 0.65 | 0.94 | 0.58 | 0.37 | 0.25 |

$D/C \geq 1$ **NON Verificato** $D/C < 1$ **Verificato**

*: Verifica degli elementi strutturali con sezione ridotta

La verifica delle capriate risulta generalmente soddisfatta per tutti gli elementi strutturali che le compongono ad eccezione della verifica a presso-flessione e instabilità che nell'ipotesi di legno scadente e sezione ridotta risulta non soddisfatta.

10.3 Verifica delle Terzere

Il manto di copertura tra una capriata e l'altra è sostenuto da terzere lignee disposte con diversi interassi a seconda della posizione in cui sono situate come mostrato in Figura 11.

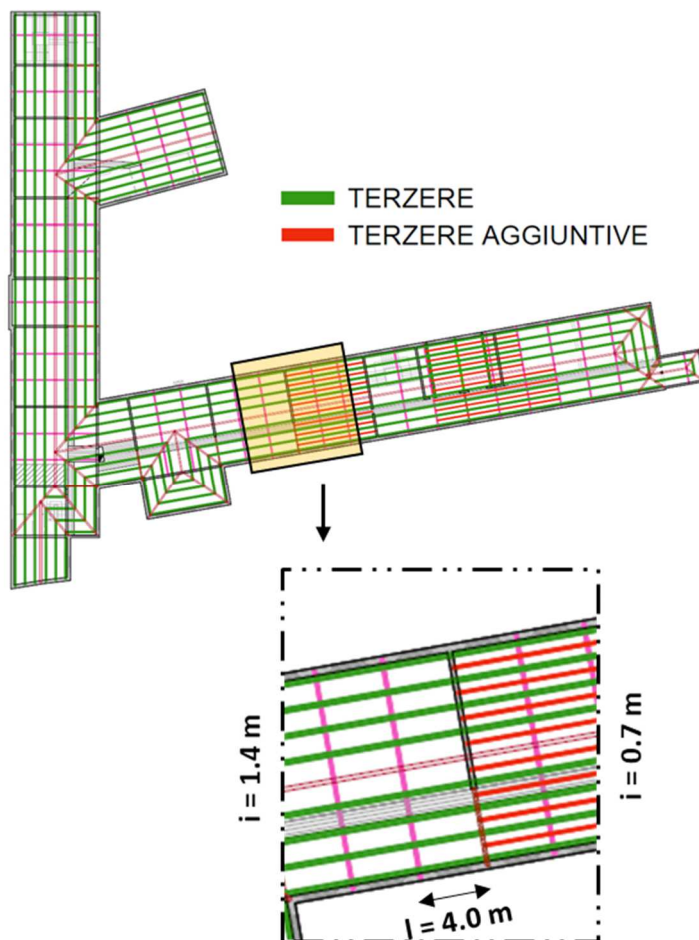


Figura 11. Schema terzere verificate

Lunghezza media terzere:

$$l_{\text{med-Terzere}} = 4.0 \text{ m}$$

Interasse medio terzere:

$$i_{\text{med-Terzere}} = 1.4 \text{ m o } 0.7 \text{ m}$$

10.3.1 Carichi

I carichi utilizzati sono ricavabili dall'analisi dei carichi.

$$G_{1k} = 0.1 \text{ kN/m}^2; \quad G_{2k} = 1.3 \text{ kN/m}^2; \quad Q_k = 0.8 \text{ kN/m}^2$$

Per determinare la resistenza degli elementi lignei è necessaria l'adozione di un coefficiente K_{mod} che dipende oltre alla classe di esposizione dell'elemento anche dalla natura dei carichi. Per la verifica viene utilizzata la condizione di carico che massimizza il rapporto tra carico e resistenza.

$$\text{CB SLU 1} = [1.3 \cdot G_{1k} + 1.5 \cdot (G_{2k} + Q_k)] / K_{\text{mod}} - Q_k = 3.64 \text{ kN/m}^2$$

$$k_{\text{mod}} = 0.9$$

$$\text{CB SLU 2} = [1.3 \cdot G_{1k} + 1.5 \cdot (G_{2k})] / K_{\text{mod}} - Q_k = 3.47 \text{ kN/m}^2$$

$$k_{\text{mod}} = 0.6$$

La condizione di carico più gravosa per le verifiche risulta essere la prima, dove sono combinati tra loro carichi permanenti ed accidentali. Nelle verifiche è stato quindi adottato un coefficiente $K_{mod} = 0.9$.

Per terzere aventi $i = 1.4$ m il carico da adottare nel calcolo è il seguente:

$$q_{-SLU} = [1.3 \cdot 0.1 + 1.5 \cdot (0.8 + 1.3)] \cdot 1.4 = 4.59 \text{ [kN/m]}$$

Per terzere aventi $i = 0.7$ m il carico da adottare nel calcolo è invece il seguente:

$$q_{-SLU} = [1.3 \cdot 0.1 + 1.5 \cdot (1.3)] \cdot 0.7 = 2.30 \text{ [kN/m]}$$

Essendo le terzere inclinate rispetto alla verticale di circa 24° è necessario scomporre i due precedenti carichi secondo gli assi dell'elemento strutturale ottenendo i seguenti carichi per $i = 1.4$ m:

$$q_{-SLU\ 1} = q_{-SLU} \cdot \cos 24 = 4.19 \text{ [kN/m]}$$

$$q_{-SLU\ 2} = q_{-SLU} \cdot \sin 24 = 1.87 \text{ [kN/m]}$$

Per quanto riguarda le caratteristiche dei materiali e le dimensioni geometriche delle sezioni si considerano due ipotesi: legno del tipo C22 e sezione ridotta e legno C24.

10.3.2 Verifica Terzere: ipotesi legno C22

Caratteristiche Geometriche

Si assume per le terzere una dimensione media pari a 15×15

$$L = 4 \text{ m}$$

$$A = B \times H = 15 \times 15 = 225 \text{ cm}^2$$

$$W_1 = B \times H^2 / 6 = 14 \times 14^2 / 6 = 457 \text{ cm}^3$$

$$W_2 = H \times B^2 / 6 = 14 \times 14^2 / 6 = 457 \text{ cm}^3$$

Verifica a flessione deviata terzere $i = 1.4$ m

$$\sigma_{m,z,d} = M_{Sd} / W_1 = 8.38 \times 10^6 / 457 \times 10^3 = 18.3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{Sd} / W_2 = 3.74 \times 10^6 / 457 \times 10^3 = 8.2 \text{ MPa}$$

$$km \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0.7 \cdot 8.2 / 13.2 + 18.3 / 13.2 = 0.43 + 1.39 = 1.82 \quad \text{VERIFICA NON SODDISFATTA}$$

Verifica a flessione deviata terzere $i = 0.7$ m

$$\sigma_{m,z,d} = M_{Sd} / W_1 = 4.19 \times 10^6 / 457 \times 10^3 = 9.2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = M_{Sd} / W_2 = 1.87 \times 10^6 / 457 \times 10^3 = 4.1 \text{ MPa}$$

$$km \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0.7 \cdot 4.1 / 13.2 + 9.2 / 13.2 = 0.22 + 0.70 = 0.92 \quad \text{VERIFICA NON SODDISFATTA}$$

10.3.3 Verifica Terzere: ipotesi legno C24

Di seguito vengono riportate le verifiche assumendo per le proprietà del legno quelle di un legno massiccio C24 inoltre viene considerata, ai fini della resistenza, l'intera sezione dell'elemento ligneo, considerandolo in buono stato di conservazione.

I risultati vengono di seguito riportati per mezzo di un foglio di calcolo Excel.

| | | |
|----------------|---------------------------------------|--------------|
| Identificativo | Verifica Terzere i = 1.4 m - Mezzeria | NMV Rev. 1.0 |
|----------------|---------------------------------------|--------------|

| CARATTERISTICHE DEL MATERIALE | | | |
|---|--------------|-----------------------|--------------------|
| Classe di Resistenza | C24 | Massiccio | |
| Classe di Servizio | 2 | | |
| Durata del Carico | Breve | k_{mod} | 0.9 |
| Incremento per piccole sezioni (EC5 §3.3) No | | | |
| Coefficiente di sicurezza sul materiale | | γ_M | 1.5 |
| Valori caratteristici delle Resistenze [Mpa] | | Valori caratteristici | Valori di progetto |
| Flessione | $f_{m,g}$ | 24.00 | 14.40 |
| Trazione parallela alla fibratura | $f_{t,0,g}$ | 14.00 | 8.40 |
| Trazione perpendicolare alla fibratura | $f_{t,90,d}$ | 0.50 | 0.30 |
| Compressione parallela alla fibratura | $f_{c,0,d}$ | 21.00 | 12.60 |
| Compressione perpendicolare alla fibratura | $f_{c,90,d}$ | 2.50 | 1.50 |
| Taglio | $f_{v,d}$ | 2.50 | 1.50 |
| Modulo elastico [Mpa] | | | |
| Modulo elastico medio parallelo alle fibre | | $E_{0,0,mean}$ | 11000.00 |
| Modulo elastico caratteristico parallelo alle fibre | | $E_{0,0,5}$ | 7400.00 |
| Modulo elastico medio perpendicolare alle fibre | | $E_{90,0,mean}$ | 370.00 |
| Modulo di taglio medio | | $G_{0,mean}$ | 690.00 |
| Massa volumica [kg/m ³] | | da normativa | $\rho_{a,knom}$ |
| Massa volumica | | assunto nei calcoli | $\rho_{g,k}$ |
| | | | 0 |

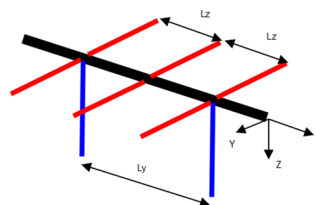
| CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE | | | |
|--------------------------------------|--|---------|-------------------------|
| Legno Massiccio C24 | | B = | 15.0 [cm] |
| Abete-Lamella 40mm | | H = | 15.0 [cm] |
| | | A = | 225 [cm ²] |
| | | W_y = | 563 [cm ³] |
| | | J_y = | 4219 [cm ⁴] |
| | | W_z = | 563 [cm ³] |
| | | J_z = | 4219 [cm ⁴] |
| | | k_m | 0.7 |
| <div>Base 15 X Altezza 15.0 cm</div> | | | |

| | |
|--------------|---------------|
| N_d | 0 [kN] |
| Compressione | |

| | |
|-----------|-----------------|
| $M_{T,d}$ | 0 [kN*m] |
| L_{eff} | 4.00 [m] |

| | |
|-----------|--------------------|
| $V_{z,d}$ | 0 [kN] |
| $M_{y,d}$ | 8.38 [kN*m] |
| L_y | 4.00 [m] |

| | |
|-----------|--------------------|
| $V_{y,d}$ | 0 [kN] |
| $M_{z,d}$ | 3.74 [kN*m] |
| L_z | 4.00 [m] |

**Verifica a Compressione**

instabilità attorno ad asse y

| | |
|--|----------------------------|
| $\sigma_{c,0,d}$ | 0.00 [N/mm ²] |
| $f_{c,0,d}$ | 12.60 [N/mm ²] |
| $k_{c,y}$ | 0.35 |
| $\sigma_{c,0,d}/(k_{c,y} \cdot f_{c,0,d})$ | 0.00 VERIFICATO |

instabilità attorno ad asse z

| | |
|--|----------------------------|
| $\sigma_{c,0,d}$ | 0.00 [N/mm ²] |
| $f_{c,0,d}$ | 12.60 [N/mm ²] |
| $k_{c,z}$ | 0.35 |
| $\sigma_{c,0,d}/(k_{c,z} \cdot f_{c,0,d})$ | 0.00 VERIFICATO |

Verifica a Flessione

flessione attorno ad asse y (My)

| | |
|--|----------------------------|
| $\sigma_{m,y,d}$ | 14.90 [N/mm ²] |
| $f_{m,y,d}$ | 14.40 [N/mm ²] |
| k_{hy} | 1.00 |
| $k_{crit,y}$ | 1.00 |
| $\sigma_{m,y,d}/(k_{crit,y} \cdot k_{hy} \cdot f_{m,y,d})$ | 1.03 ION VERIF. |

flessione attorno ad asse z (Mz)

| | |
|--|----------------------------|
| $\sigma_{m,z,d}$ | 6.65 [N/mm ²] |
| $f_{m,z,d}$ | 14.40 [N/mm ²] |
| k_{hz} | 1.00 |
| $k_{crit,z}$ | 1.00 |
| $\sigma_{m,z,d}/(k_{crit,z} \cdot k_{hz} \cdot f_{m,z,d})$ | 0.46 VERIFICATO |

Verifica a Pressoflessione

EC5 (6.19)

1.36 ION VERIF.

EC5 (6.20)

1.19 NON VERIF.

Verifica di instabilità a PressoflessioneEC5 (6.23) 1.36 ION VERIF.
considerando k_{crit} EC5 (6.24) 1.19 NON VERIF.
considerando k_{crit} **Verifica a Taglio**

Taglio in direzione z (Vz)

| | |
|----------------------|---------------------------|
| $\tau_{z,d}$ | 0.00 [N/mm ²] |
| $f_{v,d}$ | 1.50 [N/mm ²] |
| $\tau_{z,d}/f_{v,d}$ | 0.00 VERIFICATO |

Taglio in direzione y (Vy)

| | |
|----------------------|---------------------------|
| $\tau_{y,d}$ | 0.00 [N/mm ²] |
| $f_{v,d}$ | 1.50 [N/mm ²] |
| $\tau_{y,d}/f_{v,d}$ | 0.00 VERIFICATO |

Verifica a Torsione

| | |
|----------------------|---------------------------|
| $\tau_{T,d}$ | 0.00 [N/mm ²] |
| $f_{T,d}$ | 1.50 [N/mm ²] |
| k_{shape} | 1.15 |
| $\tau_{T,d}/f_{T,d}$ | 0.00 VERIFICATO |

Verifica a Taglio Combinato

EC5 (6.13) 0.00 VERIFICATO

Verifica a Torsione e Taglio Combinato

DIN (62) 0.00 VERIFICATO

| | | |
|----------------|---------------------------------------|--------------|
| Identificativo | Verifica Terzere i = 0.7 m - Mezzeria | NMV Rev. 1.0 |
|----------------|---------------------------------------|--------------|

| CARATTERISTICHE DEL MATERIALE | | | |
|---|--------------|-----------------------|--------------------|
| Classe di Resistenza | C24 | Massiccio | |
| Classe di Servizio | 2 | | |
| Durata del Carico | Breve | k_{mod} | 0.9 |
| Incremento per piccole sezioni (EC5 §3.3) No | | | |
| Coefficiente di sicurezza sul materiale | | γ_M | 1.5 |
| Valori caratteristici delle Resistenze [Mpa] | | Valori caratteristici | Valori di progetto |
| Flessione | $f_{m,g}$ | 24.00 | 14.40 |
| Trazione parallela alla fibratura | $f_{t,0,g}$ | 14.00 | 8.40 |
| Trazione perpendicolare alla fibratura | $f_{t,90,g}$ | 0.50 | 0.30 |
| Compressione parallela alla fibratura | $f_{c,0,g}$ | 21.00 | 12.60 |
| Compressione perpendicolare alla fibratura | $f_{c,90,g}$ | 2.50 | 1.50 |
| Taglio | $f_{v,g}$ | 2.50 | 1.50 |
| Modulo elastico [Mpa] | | | |
| Modulo elastico medio parallelo alle fibre | | $E_{0.0,mean}$ | 11000.00 |
| Modulo elastico caratteristico parallelo alle fibre | | $E_{0.05}$ | 7400.00 |
| Modulo elastico medio perpendicolare alle fibre | | $E_{90.0,mean}$ | 370.00 |
| Modulo di taglio medio | | $G_{0,mean}$ | 690.00 |
| Massa volumica [kg/m ³] | | da normativa | $\rho_{a,knom}$ |
| Massa volumica | | assunto nei calcoli | $\rho_{g,k}$ |
| | | | 350.00 |
| | | | 0 |

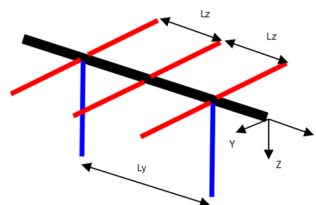
| CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE | | | |
|--|--|---------|-------------------------|
| Legno Massiccio C24 | | B = | 15.0 [cm] |
| Abete-Lamella 40mm | | H = | 15.0 [cm] |
| | | A = | 225 [cm ²] |
| | | W_y = | 563 [cm ³] |
| | | J_y = | 4219 [cm ⁴] |
| | | W_z = | 563 [cm ³] |
| | | J_z = | 4219 [cm ⁴] |
| | | k_m | 0.7 |
| <div> <div>Base</div> <div>Sezioni</div> <div>Altezza</div> </div> <div>15 X 15.0 cm</div> | | | |
| | | | |

| | |
|--------------|---------------|
| N_d | 0 [kN] |
| Compressione | |

| | |
|-----------|-----------------|
| $M_{T,d}$ | 0 [kN*m] |
| L_{ef} | 4.00 [m] |

| | |
|-----------|--------------------|
| $V_{z,d}$ | 0 [kN] |
| $M_{y,d}$ | 4.19 [kN*m] |
| L_y | 4.00 [m] |

| | |
|-----------|--------------------|
| $V_{y,d}$ | 0 [kN] |
| $M_{z,d}$ | 1.87 [kN*m] |
| L_z | 4.00 [m] |

**Verifica a Compressione**

instabilità attorno ad asse y

| | |
|--|----------------------------|
| $\sigma_{c,0,d}$ | 0.00 [N/mm ²] |
| $f_{c,0,d}$ | 12.60 [N/mm ²] |
| $k_{c,y}$ | 0.35 |
| $\sigma_{c,0,d}/(k_{c,y} * f_{c,0,d})$ | 0.00 VERIFICATO |

instabilità attorno ad asse z

| | |
|--|----------------------------|
| $\sigma_{c,0,d}$ | 0.00 [N/mm ²] |
| $f_{c,0,d}$ | 12.60 [N/mm ²] |
| $k_{c,z}$ | 0.35 |
| $\sigma_{c,0,d}/(k_{c,z} * f_{c,0,d})$ | 0.00 VERIFICATO |

Verifica a Flessione

flessione attorno ad asse y (My)

| | |
|--|----------------------------|
| $\sigma_{m,y,d}$ | 7.45 [N/mm ²] |
| $f_{m,y,d}$ | 14.40 [N/mm ²] |
| k_{hy} | 1.00 |
| $k_{crit,y}$ | 1.00 |
| $\sigma_{m,y,d}/(k_{crit,y} * k_{hy} * f_{m,y,d})$ | 0.52 VERIFICATO |

flessione attorno ad asse z (Mz)

| | |
|--|----------------------------|
| $\sigma_{m,z,d}$ | 3.32 [N/mm ²] |
| $f_{m,z,d}$ | 14.40 [N/mm ²] |
| k_{hz} | 1.00 |
| $k_{crit,z}$ | 1.00 |
| $\sigma_{m,z,d}/(k_{crit,z} * k_{hz} * f_{m,z,d})$ | 0.23 VERIFICATO |

Verifica a PressoflessioneEC5 (6.19)

0.68 VERIFICATO

EC5 (6.20)

0.59 VERIFICATO

Verifica di instabilità a Pressoflessione

EC5 (6.23) 0.68 VERIFICATO
considerando k_{crit}

EC5 (6.24) 0.59 VERIFICATO
considerando k_{crit}

Verifica a Taglio

Taglio in direzione z (Vz)

| | |
|----------------------|---------------------------|
| $\tau_{z,d}$ | 0.00 [N/mm ²] |
| $f_{v,d}$ | 1.50 [N/mm ²] |
| $\tau_{z,d}/f_{v,d}$ | 0.00 VERIFICATO |

Taglio in direzione y (Vy)

| | |
|----------------------|---------------------------|
| $\tau_{y,d}$ | 0.00 [N/mm ²] |
| $f_{v,d}$ | 1.50 [N/mm ²] |
| $\tau_{y,d}/f_{v,d}$ | 0.00 VERIFICATO |

Verifica a Torsione

| | |
|----------------------|---------------------------|
| $\tau_{T,d}$ | 0.00 [N/mm ²] |
| $f_{T,d}$ | 1.50 [N/mm ²] |
| k_{shape} | 1.15 |
| $\tau_{T,d}/f_{T,d}$ | 0.00 VERIFICATO |

Verifica a Taglio Combinato

EC5 (6.13) 0.00 VERIFICATO

Verifica a Torsione e Taglio Combinato

DIN (62) 0.00 VERIFICATO

- pag. 30 -

10.3.4 Sintesi

Viene di seguito riportata una tabella riassuntiva dei principali risultati di verifica statica relativi alle terzere.

| Principali Rapporti di verifica D/C | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | Terzere | |
| | Flex-Deviata $i = 1.4 \text{ m}$ | Flex-Deviata $i = 0.7 \text{ m}$ |
| C22* | 1.82 | 0.92 |
| C24 | 1.36 | 0.68 |

D/C ≥ 1 **NON Verificato** D/C < 1 **Verificato**

*: Verifica degli elementi strutturali con sezione ridotta

La verifica delle terzere risulta soddisfatta solamente a condizione che il passo venga dimezzato, quindi con $i = 0.7 \text{ m}$.

Si deve comunque precisare che la verifica è stata condotta nel caso più sfavorevole, ovvero con lunghezza delle terzere pari a 4 m corrispondente agli elementi presenti nella parte “Nuova” del complesso, che costituisce una porzione limitata del fabbricato. Nella restante porzione di fabbricato la lunghezza media delle terzere è pari a circa 3.4 m, a cui corrisponde un rapporto di verifica nel caso di legno massiccio C24 pari a: $1.36 / (4/3.4)^2 = 0.98$ che rende quindi la verifica soddisfatta in tali porzioni.

10.4 Verifica dei Solai

Si procede nel seguito alla verifica dei solai realizzati mediante travi in c.a. a doppia orditura fuori spessore. Una rappresentazione della sezione tipo del solaio è riportata in Figura 12.

La tipologia di solaio è unica sia per il piano interrato che per il piano terra e la maglia risulta mediamente omogenea, pertanto è stata verificata una porzione di solaio tipo rappresentativa del fabbricato.

Per quanto riguarda l'orditura del solaio si sono assunte due ipotesi e nelle verifiche si è considerato l'involuppo delle sollecitazioni ottenute: orditura monodirezionale, come rappresentato schematicamente in Figura 13 - tale ipotesi è supportata dai sondaggi svolti che hanno rilevato la presenza di armatura metallica nella soletta del solaio in una sola direzione -; orditura bidirezionale, assumendo che la soletta ripartisca il carico in entrambe le direzioni

Le verifiche saranno suddivise in funzione non solo della tipologia dell'elemento ma anche in funzione delle proprietà dei materiali come indicato in precedenza. Di seguito viene riportata per esteso la verifica nella prima ipotesi di solaio monodirezionale.

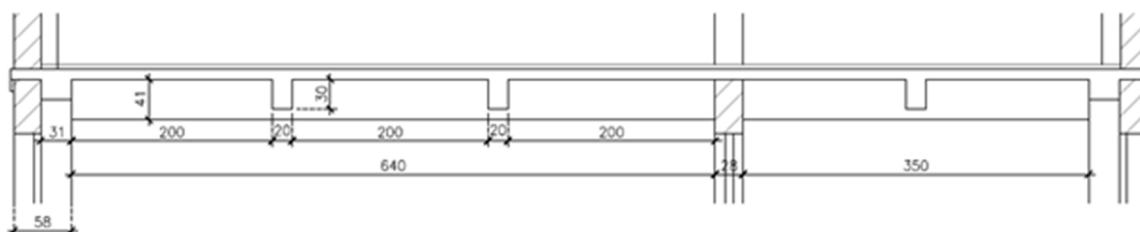


Figura 12. Sezione tipo solaio

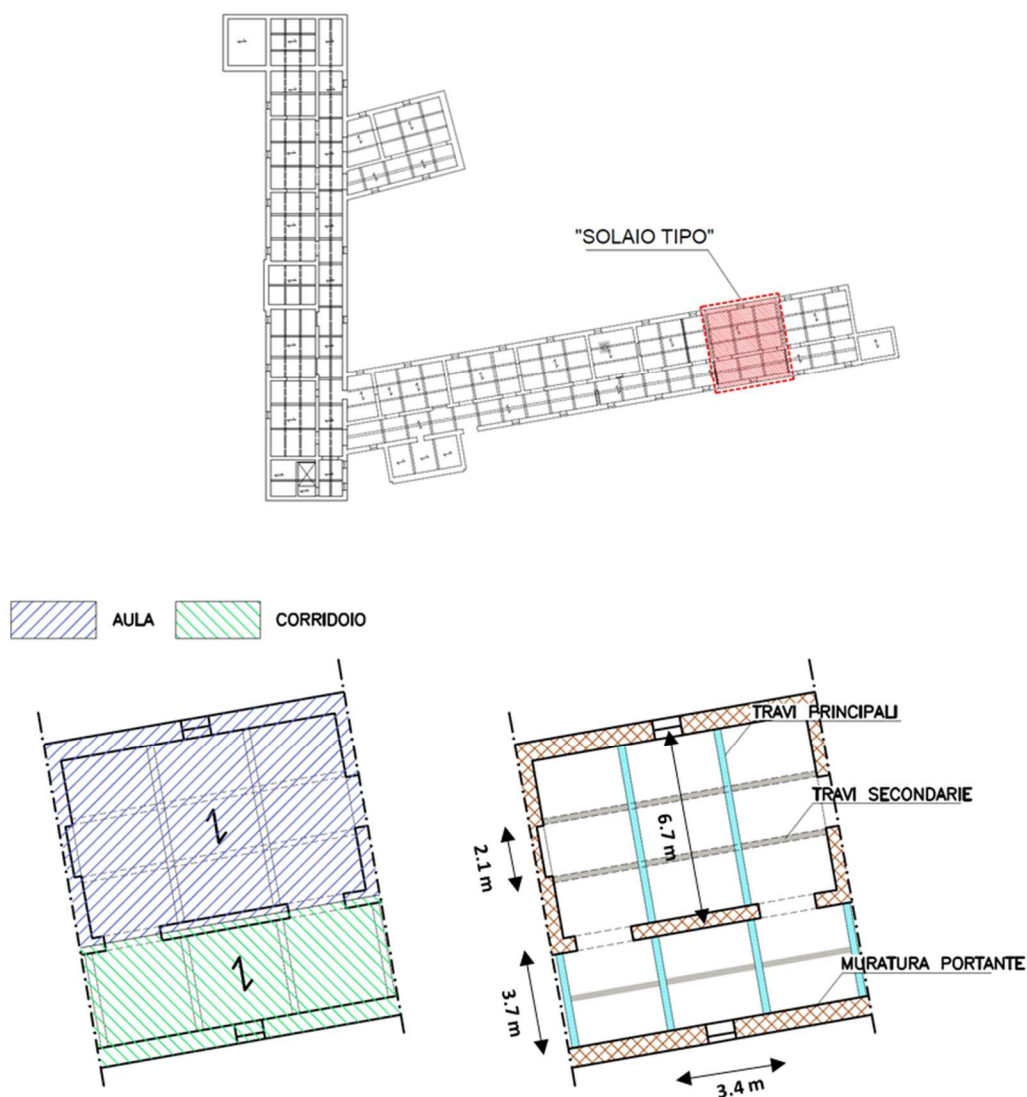


Figura 13. Schema disposizione solai monodirezionali

10.4.1 Caratteristiche Geometriche e Armature

Le caratteristiche geometriche delle travi principali e secondarie e l'armatura presente sono riassunte nella seguente tabella

| | | Travi Principali | Travi Secondarie |
|-----------|---------------|------------------|------------------|
| Aula | BxH | 25 x 40 | 20 x 30 |
| | interasse [m] | 3.4 | 2.1 |
| | lunghezza [m] | 6.7 | 3.4 |
| | Armatura | 4Ø30 | 3Ø15 |
| Corridoio | BxH | 25x40 | 20 x 30 |
| | interasse [m] | 3.4 | 1.9 |
| | lunghezza [m] | 3.7 | 3.4 |
| | Armatura | 2Ø30 | 3Ø15 |

10.4.2 Carichi

I carichi utilizzati sono ricavabili dall'analisi dei carichi.

$$G_{1k} = 3.90 \text{ kN/m}^2; \quad G_{2k} = 1.10 \text{ kN/m}^2; \quad Q_k = 3.50 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{\text{SLU}} = [1.3 \cdot 3.9 + 1.5 \cdot (1.1 + 3.5)] = 12.0 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$q_{\text{QP}} = 3.9 + 1.1 + 0.6 \cdot 3.5 = 7.1 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

10.4.3 Sollecitazioni – Combinazione SLU

Vengono di seguito riportate le sollecitazioni presenti sulle travi in c.a. in esame assumendo un carico distribuito uniformemente sulle componenti strutturali.

Le sollecitazioni vengono determinate mediante l'ausilio di un modello ad elementi finiti.

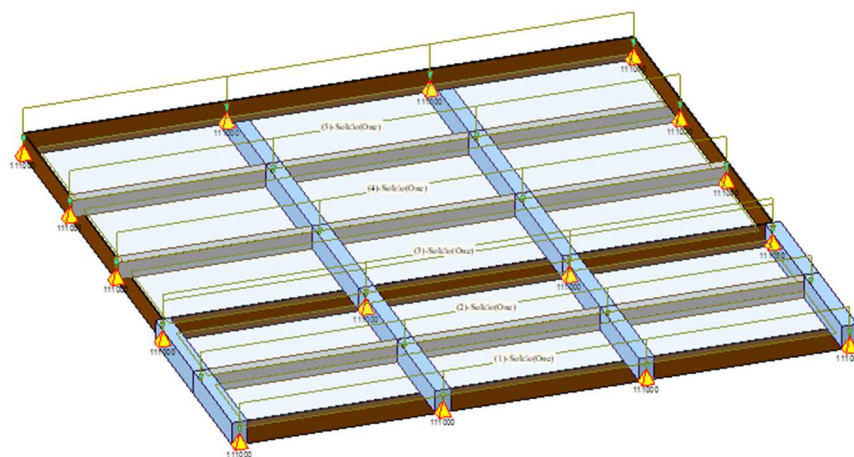


Figura 14. – Modello 3D ad elementi finiti

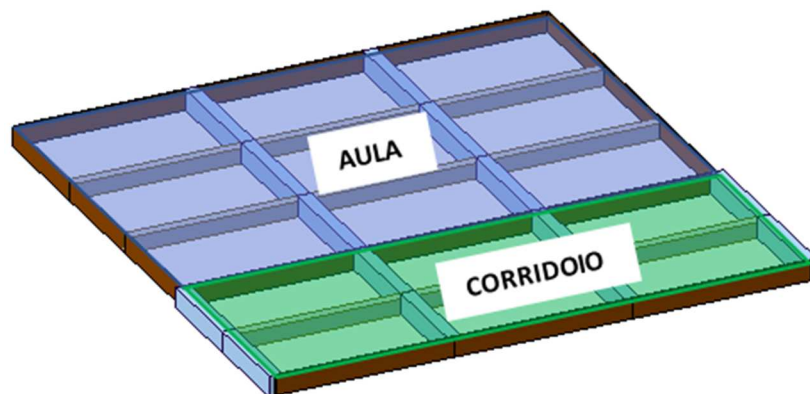


Figura 15. – Suddivisione zone di interesse

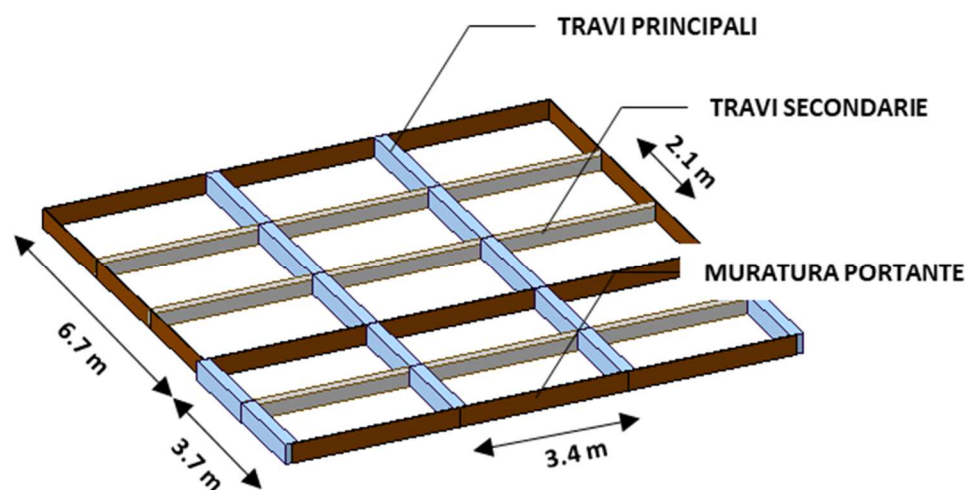


Figura 16. – Caratteristiche geometriche

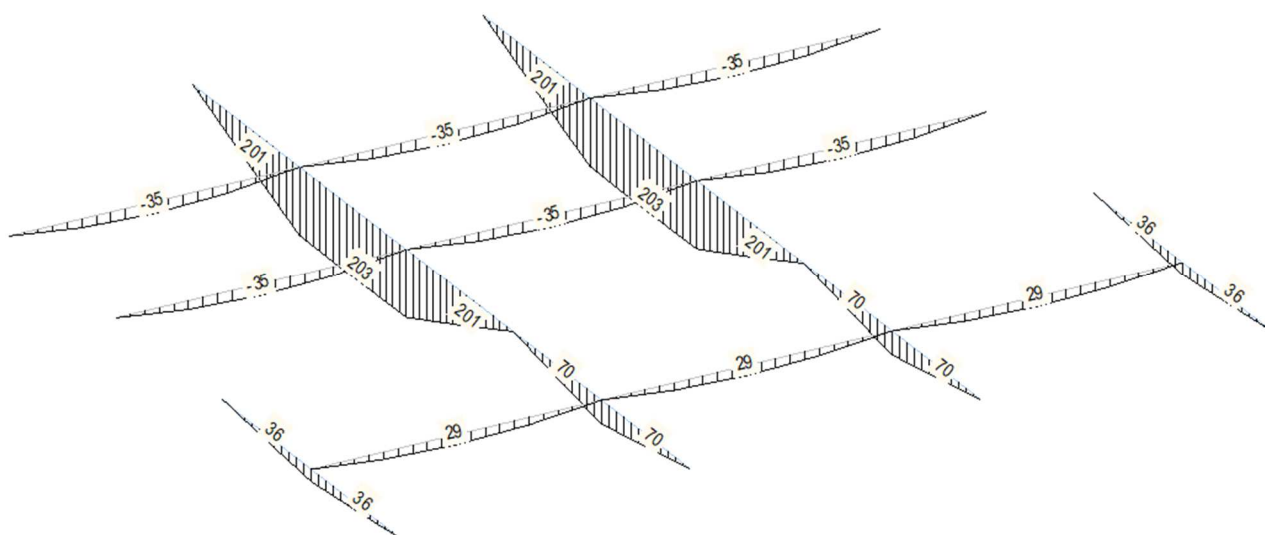


Figura 17. – Diagramma Momenti - Stato limite Ultimo

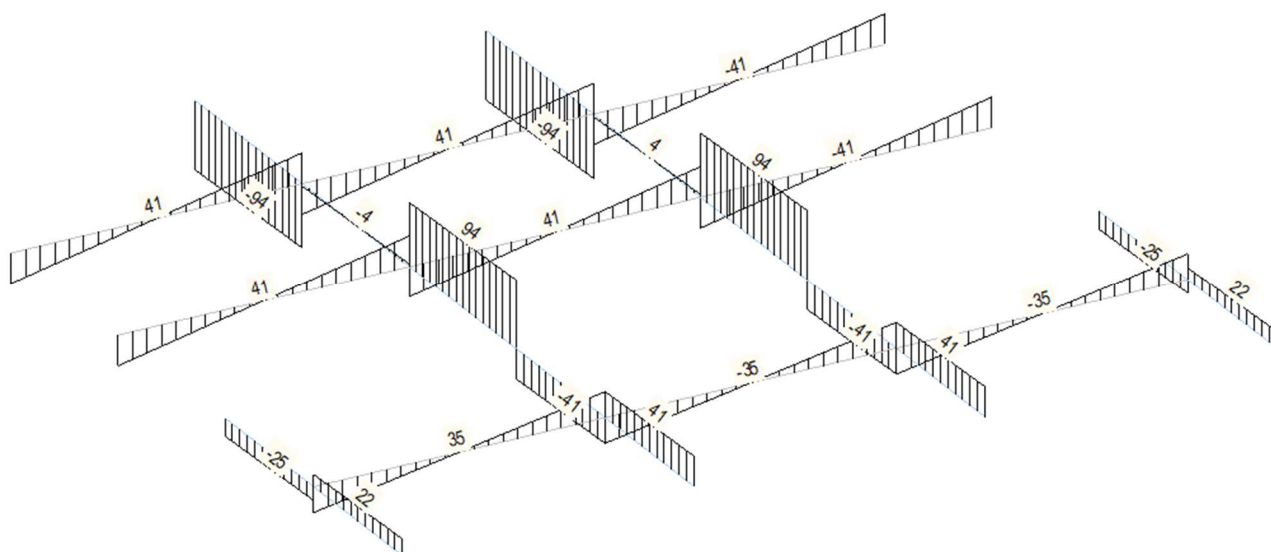


Figura 18. – Diagramma Taglio - Stato limite Ultimo

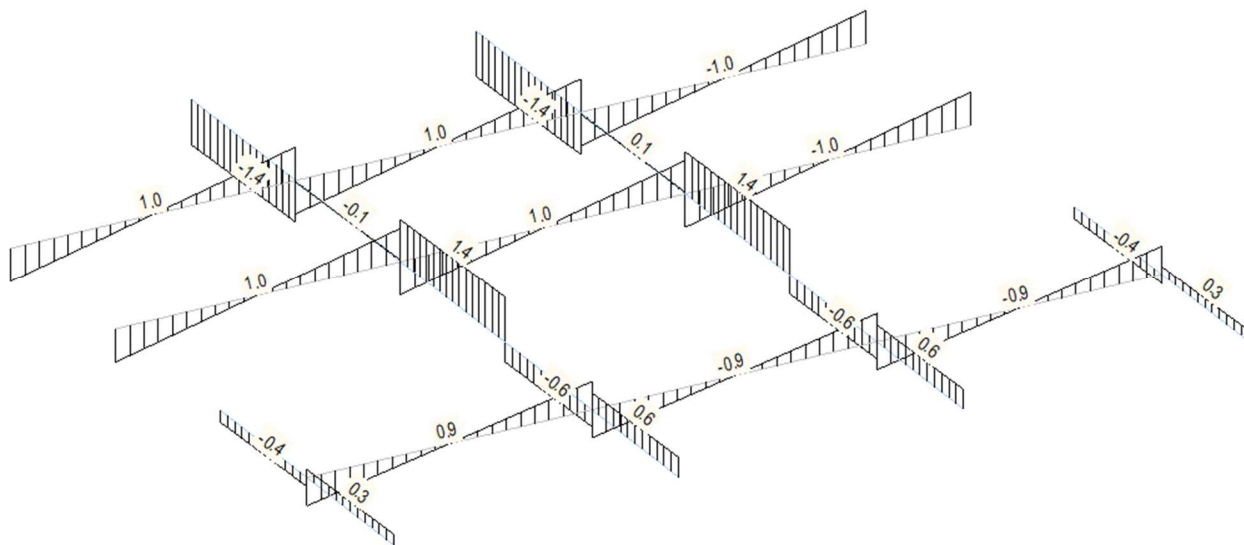


Figura 19. – Diagramma Tensioni Tangenziali - Stato limite Ultimo

10.4.4 Verifica travi PRINCIPALI – AULA

$B \times H = 25 \times 40 \text{ [cm}^2\text{]} / A_s = 4\varnothing 30 = 28.3 \text{ [cm}^2\text{]} / A_{sw} = 0 \text{ [cm}^2\text{]} / M_{Sd} = 203 \text{ [kNm]} / V_{Sd} = 94 \text{ [kN]}$

10.4.4.1 Parte VECCHIA

Verifica a Flessione

Titolo: IT_Principale - Parte Vecchia - Aula

N° Vertici: 4 **Zoom** **N° barre:** 4 **Zoom**

| N° | x [cm] | y [cm] |
|----|--------|--------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 25 | 0 |
| 3 | 25 | 40 |
| 4 | 0 | 40 |

Sollecitazioni: S.L.U. **Metodo n**

N **kN**
M **kNm**
M **kNm**

P.to applicazione N: ☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm] xN yN

Tipi rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali:

| fym Prove | Rcm Prove |
|--|-----------------------|
| ϵ_{su} 67.5 ‰ | ϵ_{c2} 2 ‰ |
| f_{yd} 265 N/mm ² | ϵ_{cu} 3.5 ‰ |
| E_s 200 000 N/mm ² | f_{cd} 15.4 ‰ |
| E_s/E_c 15 | f_{cc}/f_{cd} 0.8 |
| ϵ_{syd} 1.325 ‰ | $\sigma_{c,adm}$ 10.6 |
| $\sigma_{s,adm}$ 210 N/mm ² | τ_{co} 0.6453 |
| | τ_{c1} 1.926 |

M **kN m**

σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 2.01 ‰
d 37 cm
x 23.5 x/d 0.6352
 δ 1

Metodo di calcolo: ☒ S.L.U. ☐ S.L.U. ☐ Metodo n

Tipi flessione: ☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd **Dominio M-N**

L₀ cm **Col. modello**

☐ Precompresso

$$M_{Sd}/M_{Rd} = 203 / 182 = 1.12$$

VERIFICA NON SODDISFATTA

Verifica a Taglio

| | |
|----|-----|
| FC | 1.2 |
|----|-----|

| | |
|----------------|------|
| R_{ck} [MPa] | 33.4 |
| f_{ck} [MPa] | 23.1 |
| f_{cd} [MPa] | 15.4 |

| | |
|----------------|-----|
| f_{yk} [MPa] | 362 |
| f_{yd} [MPa] | 262 |

| | |
|-----------------------------|-------|
| d [mm] | 350 |
| b_w [mm] | 250 |
| A_{sl} [cm ²] | 28.3 |
| N_{Ed} [kN] | 0 |
| k | 1.76 |
| v_{min} | 0.39 |
| ρ_1 | 0.020 |
| σ_{cp} | 0.00 |

$$V_{Rd} \geq (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{RD,min} [kN] \quad 34.2$$

$$V_{Rd} = \left\{ 0.18 \cdot k (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd} [kN] \quad 66.2$$

$$V_{Sd} / V_{Rd} = 94 / 66.2 = 1.42$$

VERIFICA NON SODDISFATTA

10.4.4.2 Parte NUOVA

Verifica a Flessione

Titolo: IT_Principale - Parte Nuova - Aula

N° Vertici: 4 Zoom N° barre: 4 Zoom

| N° | x [cm] | y [cm] |
|----|--------|--------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 25 | 0 |
| 3 | 25 | 40 |
| 4 | 0 | 40 |

| N° | As [cm ²] | x [cm] | y [cm] |
|----|-----------------------|--------|--------|
| 1 | 7.070001 | 17 | 8 |
| 2 | 7.070001 | 8 | 8 |
| 3 | 7.070001 | 22 | 3 |
| 4 | 7.070001 | 3 | 3 |

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
M_{Ed} 0 kNm
M_{yEd} 0

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls
Coord. [cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali:

| fym Prove | Rcm Prove |
|--|-----------------------|
| ϵ_{su} 67.5 ‰ | ϵ_{c2} 2 ‰ |
| f_{yd} 262 N/mm ² | ϵ_{cu} 3.5 ‰ |
| E_s 200 000 N/mm ² | f_{cd} 12.3 |
| E_s / E_c 15 | f_{cc} / f_{cd} 0.8 |
| ϵ_{syd} 1.31 ‰ | $\sigma_{c,adm}$ 10.6 |
| $\sigma_{s,adm}$ 210 N/mm ² | τ_{co} 0.6453 |
| | τ_{c1} 1.926 |

M_{xRd} 153.9 kNm

σ_c -12.3 N/mm²
 σ_s 262 N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 1.611 ‰
d 37 cm
x 25.34 x/d 0.6848
s 1

Metodo di calcolo: S.L.U. + S.L.U. Metodo n

Tipo flessione: Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

$$M_{Sd} / M_{Rd} = 203 / 154 = 1.32$$

VERIFICA NON SODDISFATTA**Verifica a Taglio**

| | |
|----|-----|
| FC | 1.2 |
|----|-----|

| | |
|----------------|------|
| R_{ck} [MPa] | 26.8 |
| f_{ck} [MPa] | 18.5 |
| f_{cd} [MPa] | 12.4 |

| | |
|----------------|-----|
| f_{yk} [MPa] | 362 |
| f_{yd} [MPa] | 262 |

| | |
|-----------------------------|-------|
| d [mm] | 350 |
| b_w [mm] | 250 |
| A_{sl} [cm ²] | 28.3 |
| N_{Ed} [kN] | 0 |
| k | 1.76 |
| v_{min} | 0.35 |
| ρ_1 | 0.020 |
| σ_{cp} | 0.00 |

$$V_{Rd} \geq (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{RD,min} [kN] \quad 30.7$$

$$V_{Rd} = \left\{ 0.18 \cdot k (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd} [kN] \quad 61.5$$

$$V_{Sd} / V_{Rd} = 94 / 61.5 = 1.53$$

VERIFICA NON SODDISFATTA

10.4.5 Verifica travi PRINCIPALI – CORRIDOIO

$B \times H = 25 \times 40 \text{ [cm}^2\text{]} / A_s = 4\emptyset 30 = 28.3 \text{ [cm}^2\text{]} / A_{sw} = 0 \text{ [cm}^2\text{]} / M_{Sd} = 70 \text{ [kNm]} / V_{Sd} = 41 \text{ [kN]}$

10.4.5.1 PARTE VECCHIA**Verifica a Flessione**

Titolo: IT_Principale - Parte Vecchia - Corridoio

N° Vertici 4 **Zoom** **N° barre** 2 **Zoom**

| N° | x [cm] | y [cm] |
|----|--------|--------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 25 | 0 |
| 3 | 25 | 40 |
| 4 | 0 | 40 |

| N° | As [cm²] | x [cm] | y [cm] |
|----|----------|--------|--------|
| 1 | 7.070001 | 21 | 4 |
| 2 | 7.070001 | 4 | 4 |

Sollecitazioni
S.L.U. **Metodo n**

N Ed 0 kN
M xEd 0 kNm
M yEd 0 kNm

P.to applicazione N
☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali
fym Prove **Rcm Prove**

| | | | |
|------------------|---------------|-------------------|--------|
| ϵ_{su} | 67.5 ‰ | ϵ_{c2} | 2 ‰ |
| f_{yd} | 265 N/mm² | ϵ_{cu} | 3.5 ‰ |
| E_s | 200 000 N/mm² | f_{cd} | 15.4 |
| E_s / E_c | 15 | f_{cc} / f_{cd} | 0.8 |
| ϵ_{syd} | 1.325 ‰ | $\sigma_{c,adm}$ | 10.6 |
| $\sigma_{s,adm}$ | 210 N/mm² | τ_{co} | 0.6453 |
| | | τ_{c1} | 1.926 |

M xRd 116.2 kNm
 σ_c -15.4 N/mm²
 σ_s 265 N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 6.982 ‰
 d 36 cm
 x 12.02 x/d 0.3339
 δ 0.8574

Tipo Sezione
☐ Rettang.re ☐ Trapezi
☐ a T ☐ Circolare
☐ Rettangoli ☒ Coord.

Metodo di calcolo
☒ S.L.U. ☐ S.L.U.
Metodo n

Tipo flessione
☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100
Calcola MRd **Dominio M-N**
L₀ 0 cm **Col. modello**

☐ Precompresso

$M_{Sd} / M_{Rd} = 70 / 116 = 0.60$ VERIFICA SODDISFATTA

Verifica a Taglio

| | |
|----|-----|
| FC | 1.2 |
|----|-----|

| | |
|----------------|------|
| R_{ck} [MPa] | 33.4 |
| f_{ck} [MPa] | 23.1 |
| f_{cd} [MPa] | 15.4 |

| | |
|----------------|-----|
| f_{yk} [MPa] | 362 |
| f_{yd} [MPa] | 262 |

| | |
|----------------|-------|
| d [mm] | 350 |
| b_w [mm] | 250 |
| A_{sl} [cm²] | 14.15 |
| N_{Ed} [kN] | 0 |
| k | 1.76 |
| v_{min} | 0.39 |
| ρ_1 | 0.016 |
| σ_{cp} | 0.00 |

$$V_{Rd} \geq (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd,min} [kN] \quad 34.2$$

$$V_{Rd} = \left\{ 0.18 \cdot k (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd} [kN] \quad 61.6$$

$V_{Ed} / V_{Rd} = 41 / 61.6 = 0.67$ VERIFICA SODDISFATTA

10.4.5.2 PARTE NUOVA

Verifica a Flessione

TITOLO: T_Principale - Parte Nuova - Corridoio

N° Vertici: 4 **Zoom** **N° barre:** 2 **Zoom**

| N° | x [cm] | y [cm] |
|----|--------|--------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 25 | 0 |
| 3 | 25 | 40 |
| 4 | 0 | 40 |

| N° | As [cm²] | x [cm] | y [cm] |
|----|----------|--------|--------|
| 1 | 7.070001 | 21 | 4 |
| 2 | 7.070001 | 4 | 4 |

Sollecitazioni: S.L.U. **Metodo n**

N_{Ed} 0 **kN**
M_{Ed} 0 **kNm**
M_{yEd} 0

P.to applicazione N: ☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio elastico

Metodo di calcolo: ☒ S.L.U. + ☐ S.L.U. - ☐ Metodo n

Tipo flessione: ☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd **Dominio M-N**
L₀ 0 **cm** **Col. modello**

Materiali:

| fym Prove | | Rcm Prove | |
|------------------|---------------|------------------|--------|
| ϵ_{su} | 67.5 ‰ | ϵ_{c2} | 2 ‰ |
| f_{yd} | 262 N/mm² | ϵ_{cu} | 3.5 ‰ |
| E_s | 200 000 N/mm² | f_{cd} | 6.8 |
| E_s/E_c | 15 | f_{cc}/f_{cd} | 0.8 |
| ϵ_{syd} | 1.31 ‰ | $\sigma_{c,adm}$ | 10.6 |
| $\sigma_{s,adm}$ | 210 N/mm² | τ_{co} | 0.6453 |
| | | τ_{c1} | 1.926 |

M_{xRd} 90.79 **kN m**

σ_c -6.8 N/mm²
 σ_s 256.4 N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 1.282 ‰
d 36 **cm**
x 26.35 **x/d** 0.7319
 δ 1

☐ Precompresso

$$M_{Sd} / M_{Rd} = 70 / 90.8 = 0.77$$

VERIFICA SODDISFATTA

Verifica a Taglio

| | |
|----|-----|
| FC | 1.2 |
|----|-----|

| | |
|----------------|------|
| R_{ck} [MPa] | 14.7 |
| f_{ck} [MPa] | 10.2 |
| f_{cd} [MPa] | 6.8 |

| | |
|----------------|-----|
| f_{yk} [MPa] | 362 |
| f_{yd} [MPa] | 262 |

| | |
|---------------------------------|-------|
| d [mm] | 350 |
| b_w [mm] | 250 |
| A_{sl} [cm²] | 14.15 |
| N_{Ed} [kN] | 0 |
| k | 1.76 |
| v_{min} | 0.26 |
| ρ_1 | 0.016 |
| σ_{cp} | 0.00 |

$$V_{Rd} \geq (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd,min} [kN] \quad 22.7$$

$$V_{Rd} = \left\{ 0.18 \cdot k (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd} [kN] \quad 46.9$$

$$V_{Sd} / V_{Rd} = 41 / 46.9 = 0.87$$

VERIFICA SODDISFATTA

10.4.6 VERIFICA TRAVI SECONDARIE – AULA

10.4.6.1 PARTE VECCHIA

$B \times H = 20 \times 30 \text{ [cm}^2\text{]} / A_s = 3\emptyset 15 = 5.3 \text{ [cm}^2\text{]} / A_{sw} = 0 \text{ [cm}^2\text{]} / M_{Sd} = 35 \text{ [kNm]} / V_{Sd} = 41 \text{ [kN]}$

Verifica a Flessione

Titolo: IT_Secondaria - Parte Vecchia - Aula

N° Vertici: 4 **Zoom** **N° barre:** 3 **Zoom**

| N° | x [cm] | y [cm] |
|----|--------|--------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 20 | 0 |
| 3 | 20 | 30 |
| 4 | 0 | 30 |

| N° | As [cm²] | x [cm] | y [cm] |
|----|----------|--------|--------|
| 1 | 1.77 | 10 | 4 |
| 2 | 1.77 | 16 | 4 |
| 3 | 1.77 | 4 | 4 |

Sollecitazioni: S.L.U. **Metodo n**

N° Ed: 0 **N° kN** **M° Ed:** 0 **M° kNm** **M° yEd:** 0 **M° kNm**

P.to applicazione N: ☒ Centro ☐ Baricentro cls ☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali:

| fym Prove | fcu Prove |
|----------------------------|-----------------------|
| ϵ_{su} 67.5 % | ϵ_{c2} 2 % |
| f_{yd} 265 N/mm² | ϵ_{cu} 3.5 % |
| E_s 200 000 N/mm² | f_{cd} 15.4 |
| E_s / E_c 15 | f_{cc} / f_{cd} 0.8 |
| ϵ_{syd} 1.325 % | $\sigma_{c,adm}$ 9.75 |
| $\sigma_{s,adm}$ 260 N/mm² | τ_{co} 0.6 |
| | τ_{c1} 1.829 |

Metodo di calcolo: ☒ S.L.U. + ☐ S.L.U. - ☐ Metodo n

Tipo flessione: ☒ Flessa ☐ Deviate

N° rett. 100

Calcola MRd **Dominio M-N** **Col. modello**

L0 0 cm **Precompresso**

M_{xRd} 33.28 kNm

σ_c -15.4 N/mm²

σ_s 265 N/mm²

ϵ_s 3.5 %

ϵ_s 12.63 %

d 26 cm

x 5.641 x/d 0.217

δ 0.7112

$$M_{Sd} / M_{Rd} = 35 / 33.3 = 1.05$$

Verifica a Taglio

| | |
|----------------|------|
| FC | 1.2 |
| R_{ck} [MPa] | 33.4 |
| f_{ck} [MPa] | 23.1 |
| f_{cd} [MPa] | 15.4 |

| | |
|----------------|-----|
| f_{yk} [MPa] | 362 |
| f_{yd} [MPa] | 262 |

| | |
|----------------|-------|
| d [mm] | 260 |
| b_w [mm] | 200 |
| A_{sl} [cm²] | 5.3 |
| N_{Ed} [kN] | 0 |
| k | 1.88 |
| v_{min} | 0.43 |
| ρ_1 | 0.010 |
| σ_{cp} | 0.00 |

$$V_{Rd} \geq (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd,min} [kN] = 22.5$$

$$V_{Rd} = \left\{ 0.18 \cdot k (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd} [kN] = 33.6$$

$$V_{Sd} / V_{Rd} = 41 / 33.6 = 1.22$$

VERIFICA NON SODDISFATTA

VERIFICA NON SODDISFATTA

10.4.6.2 PARTE NUOVA

Verifica a Flessione

B x H = 20 x 30 [cm²] / As = 3Ø15 = 5.3[cm²] / Asw = 0[cm²] / M_{Sd} = 35[kNm] / V_{Sd} = 41 [kN]

Titolo: T_Secondaria - Parte Nuova - Aula

N° Vertici: 4 **Zoom** **N° barre:** 3 **Zoom**

| N° | x [cm] | y [cm] |
|----|--------|--------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 20 | 0 |
| 3 | 20 | 30 |
| 4 | 0 | 30 |

| N° | As [cm ²] | x [cm] | y [cm] |
|----|-----------------------|--------|--------|
| 1 | 1.77 | 10 | 4 |
| 2 | 1.77 | 16 | 4 |
| 3 | 1.77 | 4 | 4 |

Sollecitazioni: S.L.U. **Metodo n**

N_{Ed} 0 kN **M_{Ed}** 0 kNm **M_{yEd}** 0

P.to applicazione N: Centro **Baricentro cls** **Coord.[cm]** xN 0 yN 0

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali:

| f _{ym} Prove | R _{cm} Prove |
|--|--------------------------------------|
| E _{su} 67.5 % | E _{c2} 2 % |
| f _{yd} 262 N/mm ² | E _{cu} 3.5 % |
| E _s 200 000 N/mm ² | f _{cd} 12.3 % |
| E _s /E _c 15 | f _{cc} /f _{cd} 0.8 |
| E _{syd} 1.31 % | σ _{c,adm} 9.75 |
| σ _{s,adm} 260 N/mm ² | τ _{co} 0.6 |
| | τ _{c1} 1.829 |

M_{Rd} 32.13 kNm

σ_c -12.3 N/mm² **σ_s** 262 N/mm² **ε_c** 3.5 % **ε_s** 9.53 %

d 26 cm **x** 6.984 **x/d** 0.2686 **ξ** 0.7758

Metodo di calcolo: S.L.U. + **Metodo n**

Tipo flessione: Fletta **Deviata**

N° rett. 100

Calcola MRd **Dominio M-N** **L₀** 0 cm **Col. modello**

☐ Precompresso

$$M_{Sd} / M_{Rd} = 35 / 34 = 1.03$$

Verifica a Taglio**VERIFICA NON SODDISFATTA**

| | |
|----|-----|
| FC | 1.2 |
|----|-----|

| | |
|-----------------------|------|
| R _{ck} [MPa] | 26.8 |
| f _{ck} [MPa] | 18.5 |
| f _{cd} [MPa] | 12.4 |

| | |
|-----------------------|-----|
| f _{yk} [MPa] | 362 |
| f _{yd} [MPa] | 262 |

| | |
|------------------------------------|-------|
| d [mm] | 260 |
| b _w [mm] | 200 |
| A _{sl} [cm ²] | 5.3 |
| N _{Ed} [kN] | 0 |
| k | 1.88 |
| v _{min} | 0.39 |
| ρ ₁ | 0.010 |
| σ _{cp} | 0.00 |

$$V_{Rd} \geq (v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

| | |
|--------------------------|------|
| V _{RD,min} [kN] | 20.2 |
|--------------------------|------|

$$V_{Rd} = \left\{ 0.18 \cdot k (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d$$

| | |
|----------------------|------|
| V _{Rd} [kN] | 31.2 |
|----------------------|------|

$$V_{Sd} / V_{Rd} = 41 / 31.2 = 1.31$$

VERIFICA NON SODDISFATTA

10.4.7 VERIFICA TRAVI SECONDARIE – CORRIDOIO

10.4.7.1 PARTE VECCHIA

Verifica a Flessione

$B \times H = 20 \times 30 \text{ [cm}^2\text{]} / A_s = 3\emptyset 15 = 5.3 \text{ [cm}^2\text{]} / A_{sw} = 0 \text{ [cm}^2\text{]} / M_{Sd} = 29 \text{ [kNm]} / V_{Sd} = 35 \text{ [kN]}$

Titolo: IT_Secondaria - Parte Vecchia - Corridoio

N° Vertici: 4 **Zoom** **N° barre:** 3 **Zoom**

| N° | x [cm] | y [cm] |
|----|--------|--------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 20 | 0 |
| 3 | 20 | 30 |
| 4 | 0 | 30 |

| N° | As [cm²] | x [cm] | y [cm] |
|----|----------|--------|--------|
| 1 | 1.77 | 10 | 4 |
| 2 | 1.77 | 16 | 4 |
| 3 | 1.77 | 4 | 4 |

Sollecitazioni: S.L.U. **Metodo n**

N°: 0 **kN**
M_{Ed}: 0 **kNm**
M_{yEd}: 0 **kNm**

P.to applicazione N: ☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord. [cm] xN: 0 yN: 0

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali: **f_{ym} Prove** **Rcm Prove**

| Parametro | Valore | Unità |
|----------------------------------|---------|-------|
| E _{su} | 67.5 | % |
| f _{yd} | 265 | N/mm² |
| E _s | 200 000 | N/mm² |
| E _s /E _c | 15 | |
| E _{syd} | 1.325 | % |
| σ _{s,adm} | 260 | N/mm² |
| E _{c2} | 2 | % |
| ε _{cu} | 3.5 | % |
| f _{cd} | 15.4 | |
| f _{cc} /f _{cd} | 0.8 | |
| σ _{c,adm} | 9.75 | |
| τ _{co} | 0.6 | |
| τ _{c1} | 1.829 | |

Metodo di calcolo: ☒ S.L.U. + ☐ S.L.U. - **Metodo n**

Tipo flessione: ☒ Retta ☐ Deviato

N° rett. 100

Calcola MRd **Dominio M-N**

L₀ 0 **cm** **Col. modello**

M_{xRd} 33.28 **kNm**

σ_c -15.4 **N/mm²**
σ_s 265 **N/mm²**
ε_c 3.5 **%**
ε_s 12.63 **%**
d 26 **cm**
x 5.641 **x/d** 0.217
δ 0.7112

☐ Precompresso

$$M_{Sd} / M_{Rd} = 35 / 33.3 = 1.05$$

VERIFICA NON SODDISFATTA

Verifica a Taglio

| | |
|-----------------------|------|
| FC | 1.2 |
| R _{ck} [MPa] | 33.4 |
| f _{ck} [MPa] | 23.1 |
| f _{cd} [MPa] | 15.4 |

| | |
|-----------------------|-----|
| f _{yk} [MPa] | 362 |
| f _{yd} [MPa] | 262 |

| | |
|-----------------------|-------|
| d [mm] | 260 |
| b _w [mm] | 200 |
| A _{sl} [cm²] | 5.3 |
| N _{Ed} [kN] | 0 |
| k | 1.88 |
| v _{min} | 0.43 |
| ρ ₁ | 0.010 |
| σ _{cp} | 0.00 |

$$V_{Rd} \geq (v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd, \min} [\text{kN}] \quad 22.5$$

$$V_{Rd} = \left\{ 0.18 \cdot k (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd} [\text{kN}] \quad 33.6$$

$$V_{Ed} / V_{Rd} = 35 / 33.6 = 1.04$$

VERIFICA NON SODDISFATTA

10.4.7.2 PARTE NUOVA

Verifica a Flessione

$$B \times H = 20 \times 30 \text{ [cm}^2\text{]} / A_s = 3\emptyset 15 = 5.3 \text{ [cm}^2\text{]} / A_{sw} = 0 \text{ [cm}^2\text{]} / M_{sd} = 29 \text{ [kNm]} / V_{sd} = 35 \text{ [kN]}$$

Titolo: IT_Secundaria - Parte Nuova - Corridoio

N° Vertici: 4 **Zoom** **N° barre:** 3 **Zoom**

| N° | x [cm] | y [cm] |
|----|--------|--------|
| 1 | 0 | 0 |
| 2 | 20 | 0 |
| 3 | 20 | 30 |
| 4 | 0 | 30 |

| N° | As [cm²] | x [cm] | y [cm] |
|----|----------|--------|--------|
| 1 | 1.77 | 10 | 4 |
| 2 | 1.77 | 16 | 4 |
| 3 | 1.77 | 4 | 4 |

Sollecitazioni: S.L.U. **Metodo n**

N_{Ed} 0 **kN**
M_{xEd} 0 **kNm**
M_{yEd} 0 **kNm**

P.to applicazione N: ☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord. [cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo: ☒ S.L.U. + ☐ S.L.U. - ☐ Metodo n

Tipo flessione: ☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd **Dominio M-N**
L₀ 0 **cm** **Col. modello**

☐ Precompresso

Materiali:

| fym Prove | | Rcm Prove | |
|------------------|---------------|------------------|-------|
| ϵ_{su} | 67.5 ‰ | ϵ_{cu} | 2 ‰ |
| f_{yd} | 262 N/mm² | ϵ_{cu} | 3.5 ‰ |
| E_s | 200 000 N/mm² | f_{cd} | 6.8 |
| E_s/E_c | 15 | f_{cc}/f_{cd} | 0.8 |
| ϵ_{syd} | 1.31 ‰ | $\sigma_{c,adm}$ | 9.75 |
| $\sigma_{s,adm}$ | 260 N/mm² | τ_{co} | 0.6 |
| | | τ_{c1} | 1.829 |

M_{xRd} 28.86 **kNm**

σ_c -6.8 N/mm²
 σ_s 262 N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 3.702 ‰
d 26 **cm**
x 12.64 **x/d** 0.486
 ϕ 1

$$M_{sd}/M_{Rd} = 29 / 28.9 = 1$$

VERIFICA SODDISFATTA

Verifica a Taglio

| | |
|----|-----|
| FC | 1.2 |
|----|-----|

| | |
|----------------|------|
| R_{ck} [MPa] | 14.7 |
| f_{ck} [MPa] | 10.2 |
| f_{cd} [MPa] | 6.8 |

| | |
|----------------|-----|
| f_{yk} [MPa] | 362 |
| f_{yd} [MPa] | 262 |

| | |
|-----------------------------|-------|
| d [mm] | 260 |
| b_w [mm] | 200 |
| A_{sl} [cm²] | 5.3 |
| N_{Ed} [kN] | 0 |
| k | 1.88 |
| v_{min} | 0.29 |
| ρ_1 | 0.010 |
| σ_{cp} | 0.00 |

$$V_{Rd} \geq (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd,min} [kN] \quad 14.9$$

$$V_{Rd} = \left\{ 0.18 \cdot k (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd} [kN] \quad 25.5$$

$$V_{sd}/V_{Rd} = 35 / 25.5 = 1.37$$

VERIFICA NON SODDISFATTA

10.4.8 Verifica soletta di ripartizione

La soletta di ripartizione ha uno spessore di 10cm ed è armata mediamente con dell'armatura monodirezionale pari a $\emptyset 9/10$ cm ortogonale alle travi secondarie.

$$M_{max} = q \times L^2 / 8 = 7.1 \times 2.1^2 / 8 = 3.91 \text{ [kNm/m]}$$

$$M_{sd} = 1.5 M_{max} = 5.87 \text{ [kNm/m]}$$

$$A_{s,\emptyset 9} = 0.63 \text{ cm}^2$$

$$M_{Rd} = 0.9 \times A_s \times f_{yd} \times h' = 0.9 \times 6.3 \times 1930 \times 7 = 7.66 \text{ kNm/m}$$

$$M_{sd}/M_{Rd} = 5.87/7.66 = 0.76$$

VERIFICA SODDISFATTA

10.4.9 Sintesi

Vengono riportati di seguito i principali risultati della verifica in entrambe le ipotesi di comportamento del solaio.

I risultati ottenuti sono stati, a favore di sicurezza, involuppati tra loro.

| Sollecitazioni agenti - SLU | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------------------|------------------|-----------|----|
| Solaio Mono-direzionale | | | | | Solaio Bi-direzionale | | | |
| Travi Principali | | Travi Secondarie | | Travi Principali | | Travi Secondarie | | |
| Aula | Corridoio | Aula | Corridoio | Aula | Corridoio | Aula | Corridoio | |
| M_{sd} [kNm] | 203 | 70 | 35 | 29 | 213 | 70 | 30 | 27 |
| V_{sd} [kN] | 94 | 41 | 41 | 35 | 106 | 50 | 29 | 26 |

| Sollecitazioni Resistenti - SLU | | | | | | | | |
|---------------------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-------------|------------------|-----------|----|
| Parte Vecchia | | | | | Parte Nuova | | | |
| Travi Principali | | Travi Secondarie | | Travi Principali | | Travi Secondarie | | |
| Aula | Corridoio | Aula | Corridoio | Aula | Corridoio | Aula | Corridoio | |
| M_{Rd} [kNm] | 182 | 116 | 33 | 33 | 154 | 91 | 34 | 29 |
| V_{Rd} [kN] | 66 | 62 | 34 | 34 | 62 | 47 | 31 | 26 |

| Involuppo delle Sollecitazioni - SLU | | | | | |
|--------------------------------------|--|------------------|-----------|------------------|-----------|
| | | Travi Principali | | Travi Secondarie | |
| | | Aula | Corridoio | Aula | Corridoio |
| M_{sd} [kNm] | | 213 | 70 | 35 | 29 |
| V_{sd} [kN] | | 106 | 50 | 41 | 35 |

| Principali Rapporti di verifica D/C | | | | | |
|-------------------------------------|-------|------------------|-----------|------------------|-----------|
| | | Travi Principali | | Travi Secondarie | |
| | | Aula | Corridoio | Aula | Corridoio |
| Parte Vecchia | Flex | 1.17 | 0.60 | 1.05 | 0.87 |
| | Shear | 1.60 | 0.81 | 1.22 | 1.04 |

D/C ≥ 1 NON Verificato D/C < 1 Verificato

| Principali Rapporti di verifica D/C | | | | | |
|-------------------------------------|-------|------------------|-----------|------------------|-----------|
| | | Travi Principali | | Travi Secondarie | |
| | | Aula | Corridoio | Aula | Corridoio |
| Parte Nuova | Flex | 1.38 | 0.77 | 1.03 | 1.00 |
| | Shear | 1.72 | 1.07 | 1.31 | 1.37 |

D/C ≥ 1 NON Verificato D/C < 1 Verificato

10.5 Sintesi delle Verifiche Statiche

10.5.1 Verifica Murature

Principali Rapporti di verifica D/C

| | Muratura Interna Longitudinale | | | Muratura Esterna lato Aule | | |
|---------------|--------------------------------|--------|--------|----------------------------|--------|--------|
| | Presso-Flex | | | | | |
| | Sez. A | Sez. B | Sez. C | Sez. A | Sez. B | Sez. C |
| Piano Secondo | 0.06 | 0.27 | 0.17 | 0.39 | 0.91 | 0.31 |
| Piano Primo | 1.24 | 1.14 | 0.56 | 0.5 | 0.6 | 0.52 |
| Piano Terra | 0.62 | 0.62 | 0.49 | 0.48 | 0.48 | 0.46 |

D/C ≥ 1 NON Verificato D/C < 1 Verificato

10.5.2 Verifica Capriate

Principali Rapporti di verifica D/C

| | Puntone | | Catena | | Saetta |
|------|-------------|---------------------------|------------|----------|--------------|
| | Presso-Flex | Presso-Flex (Instabilità) | Tenso-Flex | Trazione | Compressione |
| C22* | 0.83 | 1.16 | 0.93 | 0.67 | 0.34 |
| C24 | 0.65 | 0.94 | 0.58 | 0.37 | 0.25 |

D/C ≥ 1 NON Verificato D/C < 1 Verificato

*: Verifica degli elementi strutturali con sezione ridotta

10.5.3 Verifica Terzere l = 4 m

Principali Rapporti di verifica D/C

| | Terzere | |
|------|---------------------------|---------------------------|
| | Flex-Deviata i = 1.4 m | Flex-Deviata i = 0.7 m |
| C22* | 1.82 | 0.92 |
| C24 | 1.36 | 0.68 |

D/C ≥ 1 NON Verificato D/C < 1 Verificato

*: Verifica degli elementi strutturali con sezione ridotta

10.5.4 Verifica Solai c.a.**Principali Rapporti di verifica D/C**

| | | Travi Principali | | Travi Secondarie | |
|---------------|-------|------------------|-----------|------------------|-----------|
| | | Aula | Corridoio | Aula | Corridoio |
| Parte Vecchia | Flex | 1.17 | 0.60 | 1.05 | 0.87 |
| | Shear | 1.60 | 0.81 | 1.22 | 1.04 |

D/C ≥ 1 NON Verificato D/C < 1 Verificato

Principali Rapporti di verifica D/C

| | | Travi Principali | | Travi Secondarie | |
|-------------|-------|------------------|-----------|------------------|-----------|
| | | Aula | Corridoio | Aula | Corridoio |
| Parte Nuova | Flex | 1.38 | 0.77 | 1.03 | 1.00 |
| | Shear | 1.72 | 1.07 | 1.31 | 1.37 |

D/C ≥ 1 NON Verificato D/C < 1 Verificato

11 CONCLUSIONI

Le verifiche svolte evidenziano delle vulnerabilità nei confronti delle azioni statiche.

L'esito della verifica statica dell'edificio, la cui sintesi è riportata al 10.5, ha individuato delle carenze relative a:

- elementi portanti dei solai in calcestruzzo (travi principali e secondarie), che risultano particolarmente vulnerabili a taglio, essendo privi di armatura specifica, ma presentano problemi anche a flessione seppur di minore entità;
- pareti centrali longitudinali, parallele allo sviluppo delle tre ali del complesso, che risultano non verificate a causa della eccessiva snellezza delle stesse;
- elementi della copertura, in particolare le terzere della parte "Nuova" e il puntone delle capriate lignee.

Il progetto di consolidamento statico volto a sanare le carenze statiche dell'immobile è riportato nella relazione specifica "Interventi Di Consolidamento Statico: Relazione Tecnico Descrittiva" e nei relativi elaborati di progetto.