



A.S.L. A.L. – ALESSANDRIA

**EX “OSPEDALE SAN MARCO”
DI MONCALVO - AT**

**RESTAURO STRUTTURALE E
RISANAMENTO DELL’ALA NORD
E DEL CORPO CENTRALE SULLA
ANTICA PORTA URBANA**

**RELAZIONE DI CALCOLO
DELLE STRUTTURE**

Casale Monferrato 13.07.2017



STUDIO DI INGEGNERIA ROTA e ASSOCIATI

dott. ing. Sandro ROTA

Albo Ing. Alessandria A/ 557

dott. ing. Marilena BOSCO

Albo Ing. Alessandria A/ 1640

dott. ing. Andrea SAETTONE

Albo Ing. Vercelli A/ 1134

INTERVENTO

Il progetto prevede la realizzazione di opere di consolidamento statico e di parziale demolizione di corpi di fabbrica, con l'obiettivo di ridurre il volume edificato nelle parti più degradate e di migliorare la sicurezza statica delle restanti.

In particolare, sono previsti i seguenti lavori strutturali, come già richiamato nella relazione generale:

- a) - opere di carpenteria metallica per la messa in sicurezza e confinamento delle strutture murarie del corpo vincolato, comprendete l'antica porta;
- b) - rifacimento completo delle strutture lignee di copertura di questo corpo di fabbrica;
- c) – demolizione fino allo spiccatto del piano terreno verso strada della manica nord per l'intero tratto dalla Sacrestia (questa esclusa) al confine con l'edificio privato ad ovest;
- d) - inserimento di carpenterie metalliche per il confinamento delle murature nella manica nord;
- e) - rinforzo delle strutture di sommità del vano macchine dell'ascensore;
- f) – nuova schermatura con intelaiatura metallica di mitigazione dell'impatto visivo delle porzioni residue non demolite della manica ovest (ex radiologia);

Le strutture sono ampiamente specificate nelle tavole grafiche del progetto esecutivo, e riguardano principalmente:

- INTERVENTI LOCALI interessanti le strutture esistenti: rifacimento completo dell'orditura lignea di copertura della manica centrale, consolidamento del solaio di sottotetto in latero – cemento del vano macchine ascensore sud, inserimento di catene metalliche;
- NUOVE STRUTTURE METALLICHE costituenti l'intelaiatura della schermatura sul fronte ovest (ex. radiologia)

METODO DI CALCOLO

Le verifiche statiche sono effettuate in applicazione del D.M. 14.01.2008 (Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni), chiamate brevemente in seguito: NTC 2008.

Viene utilizzato il metodo di verifica agli stati limite, relativamente alle strutture in c.a., acciaio e legno, come indicato nelle NTC 2008, valide anche per i materiali, le azioni e gli aspetti relativi al collaudo statico.

MATERIALI

Calcestruzzo C 25/30

Rck 300 daN/cm² resistenza a compressione cubica caratteristica
 fck = 0,83 Rck = 249 daN/cm² resistenza a compressione cilindrica
 fcd = 0,85 fck / 1,5 = 0,47 Rck = 141 daN/cm²
 Ecm = 314.470 daN/cm² modulo elastico medio

Acciaio B 450 C per c.a.

f_{tk} > 5.400 daN/cm² resistenza a trazione
 f_{yk} > 4.500 daN/cm² tensione di snervamento
 f_{yd} = 3.910 daN/cm²
 ε_{uk} > 75 ‰ allungamento uniforme al carico massimo
 Es = 2.100.000 daN/cm² modulo elastico

Acciaio per carpenteria

tipo S 275 (già Fe 430)
 γ = 7.850 daN/m³
 E = 2.100.000 daN/cm²

Legno

siano:

f_{mk} resistenza caratteristica a flessione,
 f_{t,0,k} resistenza caratteristica a trazione parallela alla fibratura,
 f_{t,90,k} resistenza caratteristica a trazione perpendicolare alla fibratura,
 f_{c,0,k} resistenza caratteristica a compressione parallela alla fibratura,
 f_{c,90,k} resistenza caratteristica a compressione perpendicolare alla fibratura,
 f_{v,k} resistenza caratteristica a taglio,
 E_{0,mean} modulo elastico medio parallelo alle fibre,
 E_{0,05} modulo elastico caratteristico parallelo alle fibre,
 E_{90,mean} modulo elastico medio perpendicolare alle fibre,
 G_{mean} modulo di taglio medio.

Legno massiccio C20

Classi di resistenza		C14	C16	C18	C20	C22	C24
Resistenze in Mpa							
flessione	f _{mk}	14	16	18	20	22	24
trazione parallela fibratura	f _{t,0,k}	8	10	11	12	13	14
trazione perpendicolare alla fibratura	f _{t,90,k}	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4
compressione parallela alla fibratura	f _{c,0,k}	16	17	18	19	20	21
compressione perpendicolare alla fibratura	f _{c,90,k}	2	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5
taglio	f _{v,k}	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5
Modulo elastico in Gpa							
	E _{0,mean}	7	8	9	9,5	10	11
	E _{0,05}	4,7	5,4	6	6,4	6,7	7,4
	E _{90,mean}	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37
	G _{mean}	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69
Massa volumica in kg/m³							
massa volumica caratteristica	ρ _k	290	310	320	330	340	350
massa volumica media	ρ _m	350	370	380	390	410	420

Valori di calcolo:

$$X_d = K_h * K_{mod} * X_k / \gamma_M$$

dove: $\gamma_M = 1,50$ (DM 14.01.2008, paragrafo 4.4.6, tabella 4.4.III)

considerando: $K_{mod} = 0,9$ (presenza contemporanea di carichi permanenti e di breve durata)

$$K_h = 1$$

$$\gamma_M = 1,50$$

classe di servizio 2

si ottengono i seguenti valori di calcolo, espressi in **daN/cm²**

C 20	Xk	Xd
Resistenze:	caratteristica	di calcolo
f_m	200	120
f_{t,0}	120	72
f_{t,90}	5	3
f_{c,0}	190	114
f_{c,90}	23	13,8
f_v	22	13,2

VALUTAZIONE dei CARICHI AGENTI SULLE STRUTTURE

Azione della neve:

al fine della verifica relativa alla copertura della manica centrale

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

dove:

$$q_{sk} = 160 \text{ daN/m}^2$$

valore caratteristico del carico neve al suolo
 (200 < as < 1500 mslm, zona "1" mediterranea)

$$C_e = 1$$

coef. d'esposizione topografica

$$\eta_i = \eta_1 = 0,8$$

coef. di forma, $\alpha = 26^\circ$ (copertura a due falde)

$$C_t = 1$$

coef. termico

dall'analisi suddetta, si ottiene:

$$q_s = \eta_i \times q_{sk} \times C_e \times C_t = 130 \text{ daN/m}^2$$

Azione del vento:

al fine della verifica relativa alla nuova schermatura metallica

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

pressione del vento (NTC 2008 § 3.3.4)

dove:

$$q_b = 0,5 \cdot \rho \cdot v_b^2 = 39 \text{ daN/m}^2$$

in cui:

$$\rho = 1,25 \text{ daN/m}^3$$

densità dell'aria

$$v_b = 25 \text{ m/s}$$

velocità di riferimento (zona 1)

$$a_s < a_o = 1.000 \text{ mslm}$$

quota assoluta del sito

$$C_t = 1$$

coef. di topografia

Classe di rugosità: A

Categoria d'esposizione: V

$$C_e = 1,5$$

coef. d'esposizione ($z = 6,50 \text{ m}$: altezza schermatura)

$$C_d = 1$$

coef. dinamico

Valutazione del coeff. di forma da applicare sulla superficie della schermatura metallica

Rif. C.N.R. DT 207 / 2008 (par. G.9, superfici reticolari)

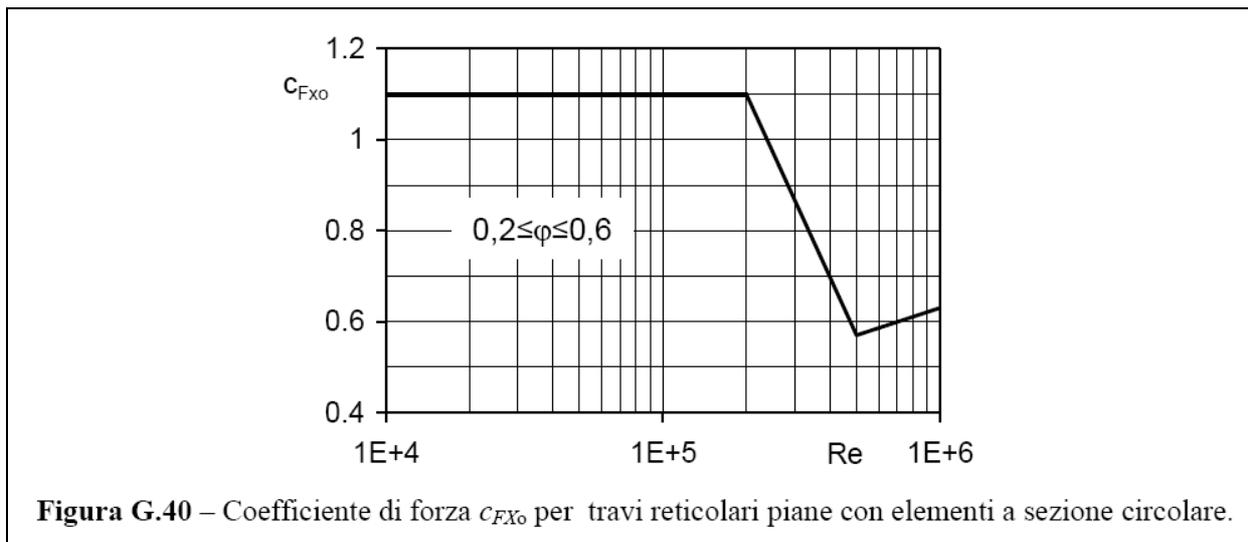
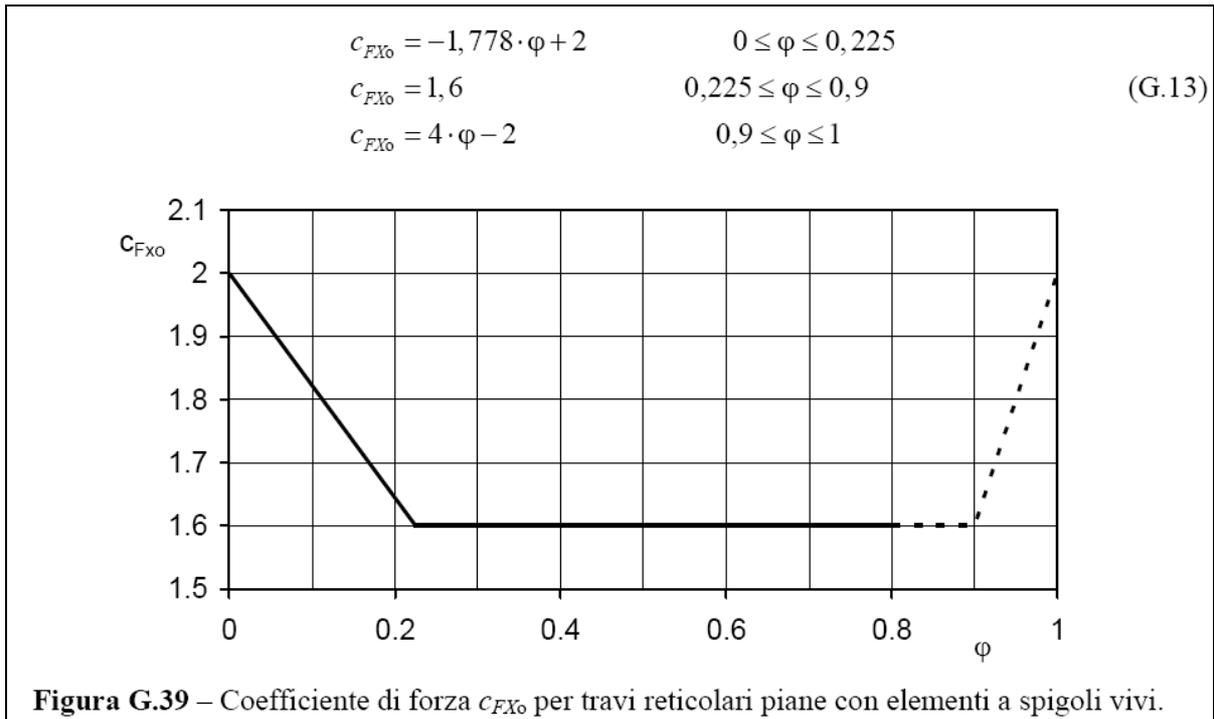
$$\Phi = \frac{A_n}{A_c} = \frac{0,70m^2}{1,00m^2} = 0,70$$

densità della lamiera forata, calcolata sulla percentuale di
foratura pari al 30%, riferita all'unità di superficie

i coeff. di forza (assimilabili a coeff. di forma), relativi alla suddetta densità, risultano:

$$c_{Fx0} = 1,6$$

con elementi a spigoli vivi (par. G.9.2, fig. G.39)



dall'analisi suddetta, si ottiene:

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

$$p = 39 \cdot 1,5 \cdot 1,6 \cdot 1 = 94 \text{ daN/m}^2 \quad \text{pressione del vento sulla schermatura metallica (lamiera forata)}$$

Analisi dei carichi gravitazionali:

Copertura manica centrale

peso proprio struttura in legno 20 daN / m² (G1)

listellatura, impermeabiliz. 20 daN / m²

coppi	<u>80 daN / m²</u>	
totale permanenti portati	100 daN / m ²	(G2)
accidentali (neve sulla copertura)	<u>130 daN / m²</u>	(Q2)
totale generale	250 daN / m ²	

Solaio di sottotetto vano macchine ascensore sud

peso proprio struttura in latero-cemento	250 daN / m ²	(G1)
totale permanenti portati	0 daN / m ²	(G2)
accidentali (sottotetto accessibile per la sola manutenzione)	<u>50 daN / m²</u>	(Q2)
totale generale	300 daN / m ²	

Analisi dei carichi gravitazionali per tipologie di carico:

Copertura manica centrale

Pesi proprii "G₁"

- copertura in legno ($\alpha = 26^\circ$ sull'orizzontale): 20 daN / m²

Permanenti portati "G₂"

- copertura.: 100 daN / m²

Accidentali "Q₁" (neve)

- sulla copertura: 130 daN / m²

Solaio di sottotetto vano macchine ascensore sud

Pesi proprii "G₁"

- struttura in latero-cemento 250 daN / m²

Permanenti portati "G₂"

- sul solaio 100 daN / m²

Accidentali "Q₁"

- sul solaio: 50 daN / m²

Nella presente relazione di calcolo si prenderanno in esame le seguenti combinazioni delle azioni:

- combinazione fondamentale ultima (SLU):

$$F_d = \gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \gamma_{Q2} \psi_{02} Q_{k2} + \gamma_{Q3} \psi_{03} Q_{k3} + \dots$$

essendo:

G_1 = pesi proprii
 G_2 = permanenti portati
 Q_k = accidentali

$$\begin{aligned}\gamma_{G1} &= 1,3 \\ \gamma_{G2} &= 1,5 \\ \gamma_{Q1} &= 1,5\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\psi_{0 \text{ (vento)}} &= 0,6 \\ \psi_{0 \text{ (neve)}} &= 0,5 \quad (q < 1.000 \text{ mslm}) \\ \psi_{0 \text{ (accidentali d'esercizio)}} &= 0,7\end{aligned}$$

- combinazione caratteristica rara (SLE):

$$F_d = G_1 + G_2 + Q_{k1} + \psi_{02} Q_{k2} + \psi_{03} Q_{k3} + \dots$$

essendo:

G_1 = pesi proprii
 G_2 = permanenti portati
 Q_k = accidentali

$$\begin{aligned}\psi_{0 \text{ (vento)}} &= 0,6 \\ \psi_{0 \text{ (neve)}} &= 0,5 \quad (q < 1.000 \text{ mslm}) \\ \psi_{0 \text{ (accidentali d'esercizio)}} &= 0,7\end{aligned}$$

- combinazione quasi permanente (SLE):

$$F_d = G_1 + G_2 + \psi_{21} Q_{k1} + \psi_{22} Q_{k2} + \dots$$

essendo:

G_1 = pesi proprii
 G_2 = permanenti portati
 Q_k = accidentali

$$\begin{aligned}\psi_{2 \text{ neve}} &= 0,00 \\ \psi_{2 \text{ vento}} &= 0,00 \\ \psi_{2 \text{ accidentali}} &= 0,3\end{aligned}$$

Valutazione carichi di zona gravitazionali, per ogni combinazione di carico:

Copertura manica centrale

SLU, comb. fondamentale:

$$F_d = 1,3 \cdot 20 \text{ daN/m}^2 + 1,5 \cdot 100 \text{ daN/m}^2 + 1,5 \cdot 130 \text{ daN/m}^2 = 370 \text{ daN/m}^2$$

SLE, comb. rara:

$$F_d = 1,0 \cdot 20 \text{ daN/m}^2 + 1,0 \cdot 100 \text{ daN/m}^2 + 1,0 \cdot 130 \text{ daN/m}^2 = 250 \text{ daN/m}^2$$

SLE, comb. quasi perm.:

$$F_d = 1,0 \cdot 20 \text{ daN/m}^2 + 1,0 \cdot 100 \text{ daN/m}^2 + 0,0 \cdot 130 \text{ daN/m}^2 = 120 \text{ daN/m}^2$$

Solaio di sottotetto vano macchine ascensore sud

SLU, comb. fondamentale:

$$F_d = 1,3 \cdot 250 \text{ daN/m}^2 + 1,5 \cdot 0 \text{ daN/m}^2 + 1,5 \cdot 50 \text{ daN/m}^2 = 400 \text{ daN/m}^2$$

SLE, comb. rara:

$$F_d = 1,0 \cdot 250 \text{ daN/m}^2 + 1,0 \cdot 0 \text{ daN/m}^2 + 1,0 \cdot 50 \text{ daN/m}^2 = 300 \text{ daN/m}^2$$

SLE, comb. quasi perm.:

$$F_d = 1,0 \cdot 250 \text{ daN/m}^2 + 1,0 \cdot 0 \text{ daN/m}^2 + 0,3 \cdot 50 \text{ daN/m}^2 = 265 \text{ daN/m}^2$$

Si riportano in tabella le risultanze dei carichi gravitazionali, per ogni combinazione di carico e zona d'intervento:

	SLU, comb. fondamentale	SLE, comb. rara	SLE, comb. quasi perm.
SOLAIO VANO MACCHINE ASCENS.	400 daN/m ²	300 daN/m ²	265 daN/m ²
COPERTURA MANICA CENTRALE	370 daN/m ²	250 daN/m ²	120 daN/m ²

La schermatura metallica, sarà invece verificata alle seguenti combinazioni:

Combinazione “SLU”

dove:

n.ro	Descrizione carico	γ	ψ
1	peso proprio	1,3	1
2	permanenti	1,5	1
3	acc. Vento	1,5	1

Combinazione “SLE rara”

dove:

n.ro	Descrizione carico	γ	ψ
1	peso proprio	1	1
2	permanenti	1	1
3	acc. Vento	1	1

Relativamente agli interventi locali in progetto, la combinazione sismica risulta in sott'ordine nei confronti dei carichi gravitazionali, così pure nei confronti del carico vento per la schermatura.

VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Rompitratta metallica all'intradosso del solaio di sottotetto vano macchine ascensore sud (L = 4,80 m)

Combinazione di carico "SLU"

Le sollecitazioni sono calcolate considerando, oltre che il carico gravitazionale distribuito sulla superficie all'estradosso, anche l'azione concentrata derivante dal vertice della testa di padiglione della copertura sovrastante.

Note le caratteristiche della predetta copertura (orditura lignea e manto di copertura in tegole laterizie) si giunge al carico di zona pari a 300 daN/m² (SLU) e 200 daN/m² (SLE rara)

Carichi lineari - SLU

$$q = 400 \text{ daN/m}^2 \cdot 2,70 \text{ m} = 1.080 \text{ daN/m}$$

Carichi concentrati - SLU

$$P = 300 \text{ daN/m}^2 \cdot 7,00 \text{ m}^2 = 2.100 \text{ daN}$$

Sollecitazioni - SLU

$$V_{\max, \text{ rompittratta}} = \frac{q \cdot L}{2} + \frac{P}{2} = \frac{1.080 \text{ daN/m} \cdot L}{2} + \frac{2.100 \text{ daN}}{2} = 3.650 \text{ daN} \quad \text{taglio}$$

$$M_{\max, \text{ rompittratta}} = \frac{q \cdot L^2}{8} + \frac{P \cdot L}{4} = 311.000 + 252.000 = 563.000 \text{ daN cm} \quad \text{momento flettente}$$

IPE 240

$$W_{x, \text{ elastico}} = 324 \text{ cm}^3$$

$$A = 39,1 \text{ cm}^2$$

$$J_x = 3.892 \text{ cm}^4$$

Verifiche di resistenza:

SLU - Resistenza di calcolo

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_m}$$

dove:

R_k = valore caratteristico

γ_m = coefficiente parziale di sicurezza

al p.to 4.2.4.1 tab. 4.2.V delle NTC 2008, si osserva:

γ _{m0} = 1,05	resistenza delle sezioni di classe 1-2-3-4
γ _{m1} = 1,05	resistenza all'instabilità delle membrature
γ _{m1} = 1,10	resistenza all'instabilità delle membrature di ponti stradali e ferroviari

$\gamma_{m2} = 1,25$	resistenza, nei riguardi della frattura, delle sezioni tese (indebolite dai fori)
----------------------	---

Taglio

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

dove:

$V_{Ed} = 3.650 \text{ daN}$ sollecitazione a taglio di calcolo

$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{m0}} = \frac{13,6 \text{ cm}^2 \cdot 2.750}{\sqrt{3} \cdot 1.05} = 20.560 \text{ daN}$ resistenza a taglio in assenza di torsione

in cui:

$A_v = 13,6 \text{ cm}^2$ area resistente a taglio

In campo elastico lineare ed in termini tensionali, la verifica si conduce:

$$\frac{\tau_{Ed}}{f_{yk}} \leq 1$$

$$\left(\sqrt{3} \cdot \gamma_{m0} \right)$$

$\frac{3.650 \text{ daN}}{13,6 \text{ cm}^2} = 0,18 \leq 1$ verifica soddisfatta

$\left(\sqrt{3} \cdot 1,05 \right)$

Verifica dell'instabilità dell'anima priva di irrigidimenti, della sezione soggetta a taglio

$$\frac{h_w}{t} \geq \frac{72}{\eta} \cdot \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}}$$

$\frac{22 \text{ cm}}{0,62 \text{ cm}} \geq \frac{72}{1} \cdot \sqrt{\frac{235}{2750}}$ 35 > 21 verifica soddisfatta

dove:

$h_w = 22 \text{ cm}$ altezza anima
 $t_w = 0,62 \text{ cm}$ spessore anima
 $\eta = 1$

Flessione retta + taglio

$V_{Ed} < 0,5 \cdot V_{c,Rd}$ $3.650 \text{ daN} < 0,5 \cdot 20.560 \text{ daN} = 10.280 \text{ daN}$
 In questo caso si può trascurare l'influenza del taglio sulla resistenza a flessione

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

dove:

$$M_{Ed} = 563.000 \text{ daNcm}$$

$$M_{c,Rd} = 848.570 \text{ daNcm}$$

sollecitazione a flessione di calcolo
 resistenza a flessione

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_{yk}}{\gamma_{m0}} = \frac{324 \text{ cm}^3 \cdot 2.750 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}}{1,05} = 848.570 \text{ daNcm} \quad \text{per sezioni di classe 1}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1; \quad \frac{563.000}{848.570} = 0,66 \leq 1 \quad \text{verifica soddisfatta}$$

Deformazione (combinazione SLE - rara)

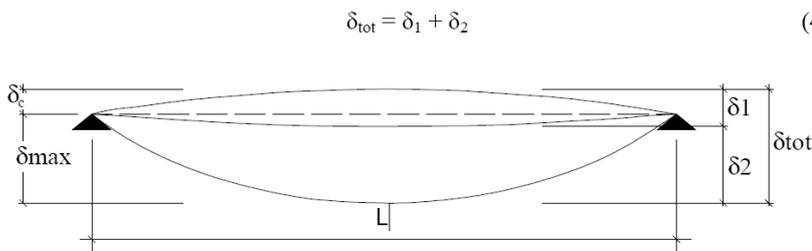


Figura 4.2.1 - Definizione degli spostamenti verticali per le verifiche in esercizio

essendo:

δ_c la montatura iniziale della trave,

δ_1 lo spostamento elastico dovuto ai carichi permanenti,

δ_2 lo spostamento elastico dovuto ai carichi variabili,

δ_{max} lo spostamento nello stato finale, depurato della montatura iniziale = $\delta_{tot} - \delta_c$.

$$\delta_{q, \max, \text{campata } L/2} = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot J} = \frac{5 \cdot 10,80 \text{ daN/m} \cdot (480 \text{ cm})^4}{384 \cdot E \cdot J} = 0,91 \text{ cm}$$

$$\delta_{P, \max, \text{campata } L/2} = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot J} = \frac{2.100 \text{ daN} \cdot (480 \text{ cm})^3}{48 \cdot E \cdot J} = 0,59 \text{ cm}$$

$$\delta_{\max, \text{tot}} = 0,91 + 0,59 = 1,50 \text{ cm} \quad (L/320) \quad \text{inferiore a } 1/300 \quad (\text{tab.4.2.X NTC 2008})$$

Schermatura metallica sul fronte ovest

L'orditura principale dell'intelaiatura strutturale è formata sostanzialmente da traverse orizzontali IPE 100 e colonne IPE 180

Traverse orizzontali, interasse 100 cm

Nella combinazione di carico "SLU", risulta preponderante l'azione del vento, nei confronti dei pesi propri dell'intelaiatura strutturale e della lamiera schermante

Carichi lineari - SLU

$$q = 1,5 \cdot 94 \text{ daN/m}^2 \cdot 1,00 \text{ m} = 140 \text{ daN/m}$$

Sollecitazioni nel piano orizzontale - SLU

Si considera (a favore di sicurezza), lo schema statico semplificato della trave semplicemente appoggiata all'estremità – $L = 3,70 \text{ m}$

$$V_{\max, \text{traversa}} = \frac{q \cdot L}{2} = \frac{140 \text{ daN/m} \cdot 3,70 \text{ m}}{2} = 260 \text{ daN} \quad \text{taglio}$$

$$M_{\max, \text{rompitratte}} = \frac{q \cdot L^2}{8} = 24.000 \text{ daN cm} \quad \text{momento flettente}$$

IPE 100

$$W_{x, \text{elastico}} = 34,2 \text{ cm}^3$$

$$A = 10,3 \text{ cm}^2$$

$$J_x = 171 \text{ cm}^4$$

Verifiche di resistenza:

SLU - Resistenza di calcolo

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_m}$$

dove:

R_k = valore caratteristico

γ_m = coefficiente parziale di sicurezza

al p.to 4.2.4.1 tab. 4.2.V delle NTC 2008, si osserva:

$\gamma_{m0} = 1,05$	resistenza delle sezioni di classe 1-2-3-4
$\gamma_{m1} = 1,05$	resistenza all'instabilità delle membrature
$\gamma_{m1} = 1,10$	resistenza all'instabilità delle membrature di ponti stradali e ferroviari
$\gamma_{m2} = 1,25$	resistenza, nei riguardi della frattura, delle sezioni tese (indebolite dai fori)

Taglio

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

dove:

$$V_{Ed} = 260 \text{ daN}$$

sollecitazione a taglio di calcolo

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{m0}} = \frac{3,63 \text{ cm}^2 \cdot 2.750}{\sqrt{3} \cdot 1.05} = 5.490 \text{ daN}$$

resistenza a taglio in assenza di torsione

in cui:

$A_v = 3,63 \text{ cm}^2$ area resistente a taglio

In campo elastico lineare ed in termini tensionali, la verifica si conduce:

$$\frac{\tau_{Ed}}{f_{yk}} \leq 1$$

$$\left(\sqrt{3} \cdot \gamma_{m0} \right)$$

$$\frac{260 \text{ daN}}{3,63 \text{ cm}^2} = 0,05 \leq 1$$

$$\left(\frac{2.750}{\sqrt{3} \cdot 1,05} \right)$$

verifica soddisfatta

Verifica dell'instabilità dell'anima priva di irrigidimenti, della sezione soggetta a taglio

$$\frac{h_w}{t} \geq \frac{72}{\eta} \cdot \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}}$$

$$\frac{8,86 \text{ cm}}{0,41 \text{ cm}} \geq \frac{72}{1} \cdot \sqrt{\frac{235}{2750}}$$

$21,6 > 21$ verifica soddisfatta

dove:

$h_w = 8,86 \text{ cm}$ altezza anima
 $t_w = 0,41 \text{ cm}$ spessore anima
 $\eta = 1$

Flessione retta + taglio

$$V_{Ed} < 0,5 \cdot V_{c,Rd} \qquad 260 \text{ daN} < 0,5 \cdot 5.490 \text{ daN} = 2.745 \text{ daN}$$

In questo caso si può trascurare l'influenza del taglio sulla resistenza a flessione

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

dove:

$M_{Ed} = 24.000 \text{ daNcm}$ sollecitazione a flessione di calcolo
 $M_{c,Rd} = 89.570 \text{ daNcm}$ resistenza a flessione

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_{yk}}{\gamma_{m0}} = \frac{34,2 \text{ cm}^3 \cdot 2.750 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}}{1,05} = 89.570 \text{ daNcm}$$

per sezioni di classe 1

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1; \qquad \frac{24.000}{89.570} = 0,26 \leq 1$$

verifica soddisfatta

Deformazione (combinazione SLE - rara)

$$\delta_{tot} = \delta_1 + \delta_2 \quad (4)$$

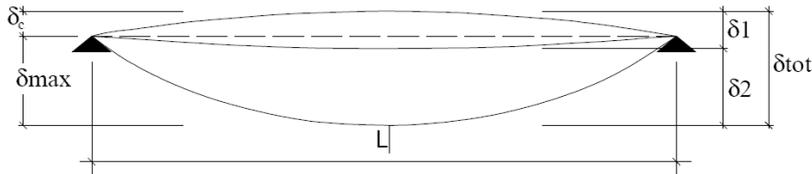


Figura 4.2.1 - Definizione degli spostamenti verticali per le verifiche in esercizio

essendo:

δ_c la monta iniziale della trave,

δ_1 lo spostamento elastico dovuto ai carichi permanenti,

δ_2 lo spostamento elastico dovuto ai carichi variabili,

δ_{max} lo spostamento nello stato finale, depurato della monta iniziale = $\delta_{tot} - \delta_c$.

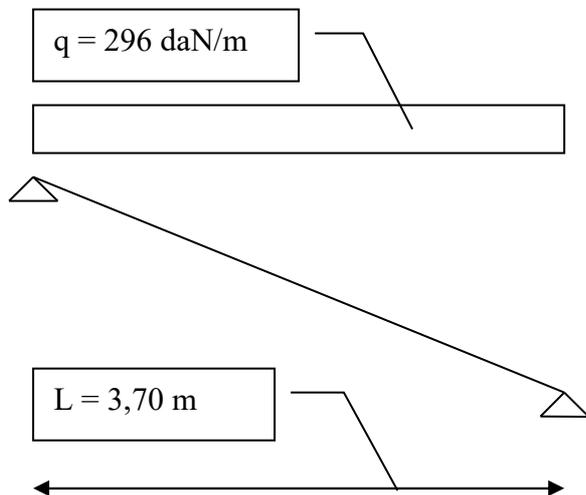
$$q = 1,00 \cdot 94 \text{ daN/m}^2 \cdot 1,00 \text{ m} = 94 \text{ daN/m}$$

$$\delta_{q, \text{max, campata } L/2} = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot J} = \frac{5 \cdot 0,94 \text{ daN/m} \cdot (370 \text{ cm})^4}{384 \cdot E \cdot J} = 0,63 \text{ cm} \quad (L/587)$$

Strutture di copertura

FALSI PUNTONI

Sezione 12x20H 4 fili



SLU combinazione fondamentale

$$q = 370 \text{ daN/m}^2 \cdot 0,80 \text{ m (interasse)} = 296 \text{ daN/m}$$

flessione retta:

$$M_{\text{max}}^+ = M_{y,d} = \frac{q \cdot L^2}{8} = 50.650 \text{ daN cm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = 63 \text{ daN/cm}^2$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = 0,7 \cdot \frac{63 \text{ daN/cm}^2}{120 \text{ daN/cm}^2} = 0,36 \leq 1 \quad \text{verifica soddisfatta}$$

$k_m = 0,7$ per sezioni rettangolari:
 $k_m = 1$ per altre sezioni trasversali

taglio:

$$T_{\max} = \frac{q \cdot L}{2} = 547 \text{ daN}$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A} = 3,4 \text{ daN/cm}^2$$

$$\tau_d = 3,4 \text{ daN/cm}^2 \leq f_{v,d} = 13,2 \text{ daN/cm}^2$$

SLE combinazione rara

$g' = 120 \text{ daN/m}$
 $q' = 130 \text{ daN/m}$

carico di superficie permanente
 carico di superficie accidentale (neve)

$g = 96 \text{ daN/m}$
 $q = 104 \text{ daN/m}$

carico di superficie permanente
 carico di superficie accidentale (neve)

$$\phi = 1 + \frac{f_{\text{taglio}}}{f_{\text{flessione}}} = 1 + 0,96 \cdot \left[\frac{E_{0,mean}}{G_{0,mean}} \right] \cdot \left[\frac{h}{L} \right]^2 = 1,004 \quad \text{apporto alla deformazione per taglio}$$

$$u_{ist,G} = \phi \cdot \frac{5}{384} \cdot \frac{g \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot J_{m,y}} = 0,31 \text{ cm}$$

deformazione istantanea dovuta ai carichi
 permanenti

$$u_{ist,Q} = \phi \cdot \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot J_{m,y}} = 0,33 \text{ cm}$$

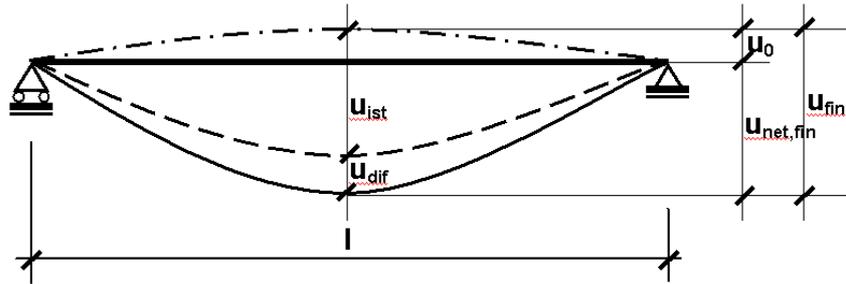
deformazione istantanea dovuta ai carichi
 accidentali

$$u_{fin,G} = u_{ist,G} \cdot (1 + K_{def,Q}) = 0,39 \text{ cm}$$

deformazione finale dovuta ai carichi
 permanenti ($k_{def} = 0,25$)

$$u_{fin,Q} = u_{ist,Q} \cdot (1 + \Psi_{1,i} \cdot K_{def,Q}) = 0,35 \text{ cm}$$

deformazione finale dovuta ai carichi
 accidentali ($k_{def} = 0,25 - \Psi_1 = 0,3$)



dove:

Azione	$\Psi_{0,i}$	$\Psi_{1,i}$	$\Psi_{2,i}$
Carichi variabili per fabbricati per abitazioni e uffici	0,7	0,5	0,2
Negozi, uffici aperti al pubblico e autorimesse	0,7	0,7	0,3
Magazzini, depositi	1,0	0,9	0,6
Vento	0,6	0,2	0
Neve	0,6	0,3	0,1

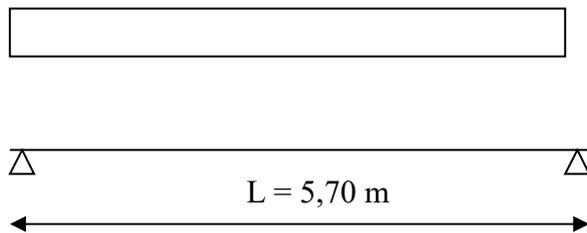
k_{def} per legno massiccio e lamellare			
Classe di durata del carico	Classe di servizio		
	1	2	3
Permanente	0,60	0,8	2,00
Lunga durata	0,50	0,50	1,50
Media durata	0,25	0,25	0,75
Breve durata	0,00	0,00	0,30

$$u_{fin,totale} = u_{fin,G} + u_{fin,Q} = 0,74 \text{ cm} \quad \left[\frac{1}{500} \cdot L \right]$$

COLMO

sezione 25x35 H 4 fili

$$q = 1.370 \text{ daN/m}$$



SLU combinazione fondamentale

$$q = 370 \text{ daN/m}^2 \cdot 3,70 \text{ m (interasse)} = 1.370 \text{ daN/m}$$

flessione retta:

$$M_{max}^+ = \frac{q \cdot L^2}{8} = + 556.000 \text{ daN cm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d} +}{W_y} = 109 \text{ daN/cm}^2$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = 0,7 \cdot \frac{109 \text{ daN/cm}^2}{120 \text{ daN/cm}^2} = 0,63 \leq 1 \quad \text{verifica soddisfatta}$$

$k_m = 0,7$ per sezioni rettangolari:
 $k_m = 1$ per altre sezioni trasversali

taglio:

$$T_{\max} = \frac{q \cdot L}{2} = 3.900 \text{ daN}$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{A} = 6,70 \text{ daN/cm}^2$$

$$\tau_d = 6,70 \text{ daN/cm}^2 \leq f_{v,d} = 13,2 \text{ daN/cm}^2$$

SLE combinazione rara

$$g' = 120 \text{ daN/m}^2$$

$$q' = 130 \text{ daN/m}^2$$

carico di zona gravitazionale permanente
 carico di zona gravitazionale accidentale (neve)

$$g = 440 \text{ daN/m}$$

$$q = 480 \text{ daN/m}$$

carico lineare gravitazionale permanente
 carico lineare gravitazionale accidentale (neve)

$$\phi = 1 + \frac{f_{\text{taglio}}}{f_{\text{flessione}}} = 1 + 0,96 \cdot \left[\frac{E_{0,mean}}{G_{0,mean}} \right] \cdot \left[\frac{h}{L} \right]^2 = 1,005 \quad \text{apporto alla deformazione per taglio}$$

$$u_{ist,G} = \phi \cdot \frac{5}{384} \cdot \frac{g \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot J_{m,y}} = 0,76 \text{ cm}$$

deformazione istantanea dovuta ai carichi
 permanenti

$$u_{ist,Q} = \phi \cdot \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot L^4}{E_{0,mean} \cdot J_{m,y}} = 0,83 \text{ cm}$$

deformazione istantanea dovuta ai carichi
 accidentali

$$u_{fin,G} = u_{ist,G} \cdot (1 + K_{def,Q}) = 0,95 \text{ cm}$$

deformazione finale dovuta ai carichi
 permanenti ($k_{def} = 0,25$)

$$u_{fin,Q} = u_{ist,Q} \cdot (1 + \Psi_{1,i} \cdot K_{def,Q}) = 0,89 \text{ cm}$$

deformazione finale dovuta ai carichi
 accidentali ($k_{def} = 0,25 - \Psi_1 = 0,3$)

dove:

Azione	$\Psi_{0,i}$	$\Psi_{1,i}$	$\Psi_{2,i}$
Carichi variabili per fabbricati per abitazioni e uffici	0,7	0,5	0,2
Negozi, uffici aperti al pubblico e autorimesse	0,7	0,7	0,3
Magazzini, depositi	1,0	0,9	0,6
Vento	0,6	0,2	0
Neve	0,6	0,3	0,1

k _{def} per legno massiccio e lamellare			
Classe di durata del carico	Classe di servizio		
	1	2	3
Permanente	0,60	0,8	2,00
Lunga durata	0,50	0,50	1,50
Media durata	0,25	0,25	0,75
Breve durata	0,00	0,00	0,30

$$u_{fin,totale} = u_{fin,G} + u_{fin,Q} = 1,84 \text{ cm} \quad \left[\frac{1}{310} \cdot L \right]$$

Casale Monferrato, 13.07.2017

Progettazione: STUDIO DI INGEGNERIA ROTA E ASSOCIATI
 dott. ing. Sandro Rota dott. ing. Marilena Bosco dott. ing. Andrea Saettone

