

COMUNE DI RIVALTA DI TORINO (TO)

PROGETTO DEI LAVORI DI RESTAURO VARI DA ESEGUIRSI PRESSO IL CASTELLO DEGLI ORSINI PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO



14 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

Progetto:

arch. Marco Minari

piazza Statuto, 9 - 10122 Torino

Consulenza per il restauro:

arch. Giannamaria Villata

Consulenza Progettazione strutturale

arch. Paolo Aprà

NOVEMBRE 2020

Indice

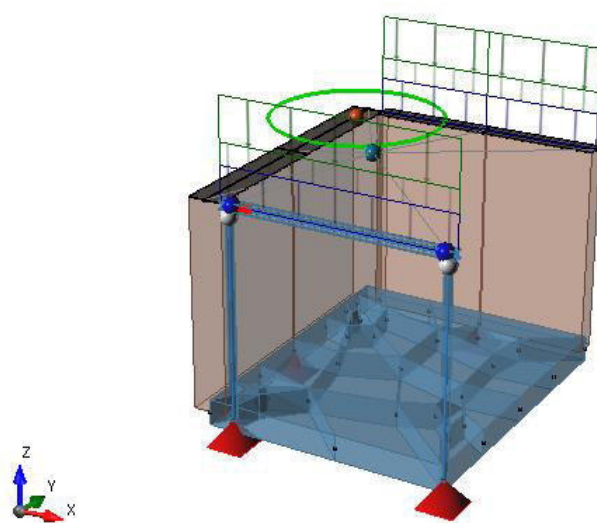
1. Descrizione opera
2. Riferimenti legislativi
3. Parametri dei materiali utilizzati
4. Combinazioni di carico
5. Azione sismica
6. Metodi di verifica e caratteristiche del codice di calcolo
7. Verifiche elementi strutturali

1. Descrizione dell'opera

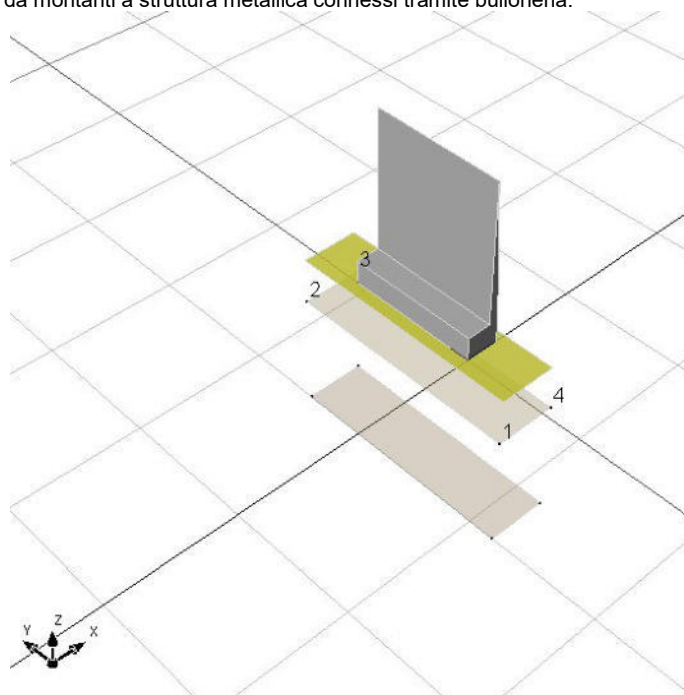
Oggetto della verifica è una struttura in acciaio di copertura costituita da due montanti tubolari su cui grava una struttura ad una falda a struttura mista vetro e acciaio.

La costruzione in esame è collocata in un terrazzo del castello ed è vincolata alle strutture murarie esistenti caratterizzate da muratura non armata di mattoni pieni. Il vincolo è previsto tramite piastre e bulloneria in acciaio.

L'opera non influisce in modo rilevante sul comportamento strutturale della costruzione esistente e pertanto le verifiche sono state svolte considerando l'intervento a carattere locale secondo quanto stabilito dalle vigenti norme tecniche NTC2018 al punto 8.4.1



Il progetto prevede inoltre la realizzazione di un nuovo parapetto collocato all'ingresso del castello caratterizzato da cordolo di fondazione in conglomerato cementizio armato e da montanti a struttura metallica connessi tramite bulloneria.



2. Riferimenti normativi

I calcoli della presente relazione fanno riferimento alla normativa vigente ed in particolare:

Normativa nazionale

- *Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018*
"Norme Tecniche per le Costruzioni 2018"
- *Circolare 21 gennaio 2019, n. 7*
"Istruzioni per l'applicazione dell' "Aggiornamentodelle 'Nuove norme tecniche per le costruzioni' di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018". (GU n. 35 del 11-2-2019)"
- *Decreto Ministeriale 16 gennaio 1996.*
"Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche. (G.U. 5-2-1996, N. 29)"
- *Circolare 10 aprile 1997, n. 65/AA.GG.*
"Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche" di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996"
- *Decreto Ministeriale 9 Gennaio 1996*
"Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche. (Da utilizzarsi nel calcolo col metodo degli stati limite) (G.U. 5-2-1996, N. 29)"
- *Circolare 15 ottobre 1996, n. 252 AA.GG./S.T.C.*
"Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche" di cui al decreto ministeriale 9 gennaio 1996. (G.U. 26-11-1996, n. 277 - suppl.)"
- *Decreto Ministeriale 20 novembre 1987*
"Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento. (Suppl. Ord. alla G.U. 5-12-1987, n. 285)"

Eurocodici

- *UNI EN 1993-1-1: 2005*
"Eurocodice 3, parte 1-1 - Progettazione delle strutture di acciaio. Regole generali e regole per gli edifici".
- *UNI EN 1993-1-2: 2005*
"Eurocodice 3, parte 1-2 - Progettazione delle strutture di acciaio. Regole generali. Progettazione della resistenza all'incendio".

3. I materiali

I materiali ed i prodotti ad uso strutturale, utilizzati nelle opere oggetto della presente relazione, rispondono ai requisiti indicati dal capitolo 11 delle "Norme Tecniche per le Costruzioni". Questi sono stati identificati univocamente dal produttore, qualificati sotto la sua responsabilità ed accettati dal direttore dei lavori mediante acquisizione e verifica della documentazione di qualificazione, nonché mediante eventuali prove sperimentali di accettazione.

Sulla base delle verifiche effettuate in sito ed in conformità alle disposizioni normative vigenti si prevede per la realizzazione del progetto in analisi l'adozione dei materiali di seguito descritti.

Descrizione

Nome: **S 235**

Tipologia del materiale: acciaio per strutture metalliche

Descrizione: MONTANTI E STRUTTURA DI NUOVA REALIZZAZIONE

Caratteristiche dell'acciaio

Tensione caratteristica di snervamento f_y : 2.350,00 daN/cm²

Tensione caratteristica di rottura f_t : 3.600,00 daN/cm²

Modulo elastico E_s : 2.100.000,00 daN/cm²

Modulo di elasticità trasversale G : 807.692,31 daN/cm²

Coefficiente di Poisson ν : 0,30

Densità ρ : 7.850,00 kg/m³

Coefficiente di dilatazione termica lineare α_t : 1,2E-05

Tensione ammissibile σ_s : 1.569,60 daN/cm²

Descrizione

Nome: **Muratura esistente in mattoni pieni e malta di calce**

Tipologia del materiale: muratura

Tipo di muratura: Esistente

Descrizione: STRUTTURA VERTICALE ESISTENTE

Tipologia di muratura: Pietrame disordinato

Livello di conoscenza: LC 1

Interventi migliorativi

Intervento: Giunti sottili, Malta Buona, Connessione trasversale

Caratteristiche muratura

Densità ρ : 19.000 N/m³

Resistenza media a compressione f_m : 2,250 N/mm²

Modulo Elastico E : 1.305 N/mm²

Resistenza media a taglio τ_0 : 0,040 N/mm²

Modulo di elasticità tangenziale: 435 N/mm²

Resistenza di calcolo a compressione orizzontale media f_{hm} : 1,125 N/mm²

BULLONERIA

Classe 8.8 (UNI EN ISO 898-1)

f_y = 6000 daN/cm²

f_u = 8000 daN/cm²

VETRO

Vetro float temprato termicamente

120 N/mm²

CACESTRUZZO

Resistenza caratteristica cubica a 28 gg del calcestruzzo R_{ck} 30	
Resistenza caratteristica cilindrica f_{ck} = $0,83 \cdot R_{ck}$	24,90
Resistenza cilindrica media f_{cm} = $f_{ck} + 8$	32,90
Resistenza media a trazione semplice assiale f_{ctm} = $0,30 \cdot f_{ck}^{(2/3)}$ (**)	2,56
	3,09
Resistenza caratteristica a trazione semplice assiale f_{ctk} = $0,7 \cdot f_{ctm}$ (**)	1,79
	2,16
Resistenza media a trazione per flessione f_{ctm} = $1,2 \cdot f_{ctm}$	3,07
	3,70
Modulo elastico secante tra 0 e 0,40 f_{cm} E_{cm} = $22000 (f_{cm}/10)^{0,3}$	31447
Coefficiente di Poisson (cls fessurato/non fessurato)	0/0,2
Coefficiente di dilatazione termica α = 10×10^{-6} °C-1	1,0E-5
Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata α_{cc}	0,85
Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo γ_c	1,5
Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo f_{cd} = $\alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$	14,11
	11,29
Resistenza di calcolo a trazione del calcestruzzo f_{ctd} = f_{ctk} / γ_c	1,19
	0,96
Tensione tangenziale di aderenza caratteristica acciaio-calcestruzzo f_{bk} = $2,25 \eta f_{ctk}$ ($\eta = 1$)	4,03
Tensione tangenziale di aderenza di calcolo acciaio-calcestruzzo f_{bd} = f_{bk} / γ_c	2,69

Acciaio per cemento armato B450C

Valore nominale della tensione caratteristica di snervamento $f_{y,nom}$	450
Valore nominale della tensione caratteristica di rottura $f_{t,nom}$	540
Coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio γ_s	1,15
Resistenza di calcolo dell'acciaio f_{yd} = f_{yk} / γ_s	391,3

(**) valore coincidente con quello indicato nelle Linee Guida (Istruzioni 1996)

Dosaggio conglomerato cementizio armato

Legante:

Cemento tipo 425;

Inerti:

- | | |
|----------------------|--------------------------|
| • sabbia lavata | granulometria 0 ÷ 3 mm |
| • ghiaietto vagliato | granulometria 3 ÷ 10 mm |
| • ghiaia vagliata | granulometria 10 ÷ 30 mm |

Dosaggio per getti delle strutture:

- | | |
|----------------------|--------------------------------|
| • ghiaietto vagliato | mc 0.800 per mc di cls. |
| • ghiaia vagliata | mc 0.400 per mc di cls. |
| • cemento | kg 350 per mc di cls. |
| • acqua | lt 120 per mc di cls. |

Disarmo come da Normative vigenti

4. Azioni e Carichi sulla struttura

Con riferimento al paragrafo 2.5.1.3 delle NTC, le azioni che investono la struttura sono classificate in relazione alla durata della loro presenza nell'arco della vita di progetto come:

- **permanenti** (G): azioni con sufficiente approssimazione costanti nel tempo, tra le quali:
 - peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno, quando pertinente; forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno);
 - peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;
 - spostamenti e deformazioni imposti, previsti dal progetto e realizzati all'atto della costruzione;
- **variabili** (Q): azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo:
 - di lunga durata: agiscono con un'intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura;
 - di breve durata: azioni che agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura;
- **eccezionali** (A): azioni che si verificano eccezionalmente:
 - incendi
 - esplosioni
 - urti ed impatti
- **sismiche** (E): azioni derivanti dai terremoti.

L'effetto delle azioni viene valutato ai fini delle verifiche con l'approccio semiprobabilistico agli stati limite, secondo diverse combinazioni:

- **Combinazione fondamentale** dei carichi, impiegata per gli stati limite ultimi (nei risultati SLU statica)
$$\gamma G_1 \cdot G_1 + \gamma G_2 \cdot G_2 + \gamma P \cdot P + \gamma Q_1 \cdot Q_{k1} + \gamma Q_2 \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma Q_3 \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$
- **Combinazione caratteristica rara**, impiegata per gli stati limite di esercizio irreversibili (nei risultati SLE rara)
$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$
- **Combinazione frequente**, impiegata per gli stati limite di esercizio reversibili (nei risultati SLE frequente)
$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$
- **Combinazione quasi permanente**, impiegata per gli effetti a lungo termine (nei risultati SLE quasi permanente)
$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$
- **Combinazione eccezionale**, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A
$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$
- **Combinazione sismica**, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (nei risultati SLU sisma)
$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

Dettagli per la combinazione sismica

La valutazione dell'azione sismica E è condotta secondo le specifiche del capitolo 3.2 e in accordo con le prescrizioni del capitolo 7.3.3 delle NTC per i tipi di analisi sismica lineare sia dinamica che statica.

I risultati così ottenuti per ciascuna direzione, X e Y (eventualmente anche Z), vengono poi combinati secondo le indicazioni del capitolo 7.3.5 delle NTC, ovvero vengono sommati i contributi secondo il seguente criterio:

$$E_1 = 1,00 \times E_x + 0,30 \times E_y + 0,30 \times E_z$$

$$E_2 = 0,30 \times E_x + 1,00 \times E_y + 0,30 \times E_z$$

$$E_3 = 0,30 \times E_x + 0,30 \times E_y + 1,00 \times E_z$$

la rotazione dei coefficienti moltiplicativi permette l'individuazione degli effetti più gravosi, la direzione Z è opzionale in virtù delle prescrizioni al paragrafo 7.2.2 delle NTC.

Nella verifica allo stato limite ultimo si distinguono le combinazioni **EQU**, **STR** e **GEO** (cfr NTC § 2.6.1), rispettivamente definite come:

stato limite di equilibrio EQU, che considera la struttura ed il terreno come corpi rigidi; stato limite di resistenza della struttura STR, da riferimento per tutti gli elementi strutturali, e stato limite di resistenza del terreno GEO.

Nelle verifiche STR, per la progettazione di elementi strutturali, si adottano i coefficienti della colonna A1. Nelle verifiche STR e GEO che coinvolgono azioni di tipo geotecnico possono essere adottati in alternativa, due diversi approcci progettuali. Per l'approccio 1 si considerano due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti di sicurezza parziali per le azioni, per i materiali e per la resistenza complessiva, nell'approccio 2 si definisce un'unica combinazione per le azioni, per la resistenza dei materiali e per la resistenza globale.

Approccio 1, combinazione 1: si utilizzano per le azioni i coefficienti della colonna A1

Approccio 1, combinazione 2: si utilizzano per le azioni i coefficienti della colonna A2

Approccio 2: si utilizzano per le azioni i coefficienti della colonna A1

Coefficienti parziali per le azioni [cfr. NTC 2018 Tabella 2.6.I]

		Coefficiente γ_f	EQU	A1	A2
Carichi permanenti	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	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

Le Norme Tecniche prescrivono i valori dei coefficienti ψ in dipendenza dalle caratteristiche della funzione di ripartizione di ciascuna azione: si ammette infatti che, assieme alle azioni permanenti, esistano combinazioni di azioni in cui una sola azione è presente al valore caratteristico mentre le altre hanno intensità ridotte ψQ_{kQ} .

Le categorie di azioni variabili ed i rispettivi coefficienti di combinazione utilizzati nell'applicazione dei carichi al modello sono riportati nella tabella seguente:

Destinazione d'uso/azione	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Permanenti	1,00	1,00	1,00
Permanenti non strutturali	1,00	1,00	1,00
Categoria A - Residenziale	0,70	0,50	0,30
Categoria B - Uffici	0,70	0,50	0,30
Categoria C - Ambienti affollati	0,70	0,70	0,60
Categoria D - Aree commerciali	0,70	0,70	0,60
Categoria E - Aree di accumulo o aree industriali	1,00	0,90	0,80
Categoria F - Veicoli con peso ≤ 30 kN	0,70	0,70	0,60
Categoria G - Veicoli con peso > 30 kN	0,70	0,50	0,30
Categoria H - Coperture non praticabili	0,00	0,00	0,00
Categoria I - Coperture praticabili	0,00	0,00	0,00
Categoria K - Coperture per usi speciali	0,00	0,00	0,00
Vento	0,60	0,20	0,00
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,50	0,20	0,00
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,70	0,50	0,20
Variazioni termiche	0,60	0,50	0,00

Dettagli per le combinazioni di calcolo.

Per il progetto e la verifica degli elementi strutturali vengono distinti i risultati dell'analisi in condizione statica da quelli dell'analisi sismica.

Progetto e verifica in condizione statica

La verifica degli elementi è condotta considerando i risultati di ciascuna combinazione delle azioni di calcolo in condizione statica, ovvero vengono considerati ed involuppati i risultati massimi e minimi delle seguenti combinazioni:

- Combinazione fondamentale SLU
- Combinazione SLE caratteristica rara
- Combinazione SLE frequente
- Combinazione SLE quasi permanente

Per ciascuna combinazione elencata vengono valutate le distinte configurazioni di carico distinguendo i diversi gruppi di carico e considerando tutte le possibili varianti secondo i metodi del calcolo combinatorio ottenendo così $2^n + 1$ combinazioni, dove 'n' coincide con il numero di carichi accidentali considerati nell'analisi, qui di seguito un esempio esplicativo.

Carico permanente	P
Carico accidentale residenziale	A

Le combinazioni dedotte sono:

P	solo carico permanente
P A	carico permanente + carico accidentale A

Inoltre per le combinazioni SLU e SLE caratteristica vengono individuate in aggiunta le permutazioni di tali configurazioni aventi di volta in volta un carico accidentale principale differente fra quelli considerati, qui di seguito un esempio esplicativo.

Carico permanente	P
Carico accidentale residenziale	A1
Carico accidentale tipo neve	A2
Carico accidentale tipo vento	A3

Le combinazioni dedotte sono:

P	solo carico permanente
P A1	carico permanente + carico accidentale A1
P A2	carico permanente + carico accidentale A2
P A3	carico permanente + carico accidentale A3
P A1 A2	carico permanente + carico accidentale A1 (principale) + carico accidentale A2
P A2 A1	carico permanente + carico accidentale A1 + carico accidentale A2 (principale)
P A1 A3	carico permanente + carico accidentale A1 (principale) + carico accidentale A3
P A3 A1	carico permanente + carico accidentale A1 + carico accidentale A3 (principale)
P A2 A3	carico permanente + carico accidentale A2 (principale) + carico accidentale A3
P A3 A2	carico permanente + carico accidentale A2 + carico accidentale A3 (principale)
P A1 A2 A3	carico permanente + carico accidentale A1 (principale) + carico accidentale A2 + carico accidentale A3
P A2 A1 A3	carico permanente + carico accidentale A1 + carico accidentale A2 (principale) + carico accidentale A3
P A3 A1 A2	carico permanente + carico accidentale A1 + carico accidentale A2 + carico accidentale A3 (principale)

Le effettive combinazioni generate per i diversi stati limite sono riportate nei paragrafi seguenti.

Per gli elementi trave e pilastro, e in generale gli elementi 'asta, vengono involuppati i risultati di ciascuna combinazione e vengono individuati i valori massimi e minimi dando luogo alle seguenti sollecitazioni:

- massima e minima per l'azione assiale N,
- massima e minima per le azioni di flessione attorno agli assi principali di inerzia di ciascun elemento Mz e My,

- massima e minima per le azioni taglianti lungo gli assi principali d'inerzia T_z e T_y .

Nella verifica di travi e pilastri, e in generale gli elementi 'asta, queste 6 sollecitazioni (N^+ , N^- , M_z^+ , M_z^- , M_y^+ , M_y^-) vengono considerate in condizione di pressoflessione deviata e vengono ulteriormente combinate tra di loro in modo da garantire la copertura delle condizioni più gravose, dando luogo alle seguenti 8 combinazioni:

- N^+ , M_z^+ , M_y^+
- N^+ , M_z^+ , M_y^-
- N^+ , M_z^- , M_y^+
- N^+ , M_z^- , M_y^-
- N^- , M_z^+ , M_y^+
- N^- , M_z^+ , M_y^-
- N^- , M_z^- , M_y^+
- N^- , M_z^- , M_y^-

Per la verifica delle sezioni a taglio vengono individuati i valori massimi in modulo per ciascuna direzione principale scegliendo tra i valori involuppati di progetto (T_z^+ , T_z^- , T_y^+ , T_y^-).

Per gli elementi shell vengono individuati i seguenti valori di verifica:

- massimi e minimi per le tensioni membranali σ_x e σ_y ,
- massimi e minimi per le tensioni membranali τ_{xy} ,
- massimi e minimi per le azioni flessionali M_x , M_y e M_{xy} ,
- massimi e minimi per le azioni taglianti T_{zx} e T_{zy} .

La verifica degli elementi shell di tipo piastra è condotta valutando i valori massimi e minimi delle azioni involupate di flessione M_x , M_y e M_{xy} . Gli elementi bidimensionali a comportamento membranale vengono progettati combinando le sollecitazioni involupate in un calcolo sezionale indipendente.

Progetto e verifica in condizione sismica

Le verifiche effettuate in condizione statica vengono integrate con i risultati della combinazione sismica (anche SLU sisma) e secondo le specifiche delle Norme Tecniche per le Costruzioni.

I risultati dell'azione sismica E danno luogo a sollecitazioni involupate e prive di segno in accordo con la combinazione quadratica completa (CQC, § C7.3.3 della Circolare Ministeriale 617 del 2009) necessarie per considerare le correlazioni tra i massimi contributi modali. La combinazione dei risultati nelle diverse direzioni, attraverso gli opportuni coefficienti di interazione, dà luogo alla combinazione sismica più gravosa (E1, E2, E3).

Per la verifica di travi e pilastri, e in generale degli elementi 'asta', la componente E della combinazione sismica individuata viene considerata positiva e negativa; la combinazione sismica dà luogo quindi alle sollecitazioni di progetto le quali vengono considerate in condizione di pressoflessione deviata (NE^+ , NE^- , $ME1^+$, $ME1^-$, $ME2^+$, $ME2^-$) e vengono ulteriormente combinate tra di loro in modo da garantire la copertura delle condizioni più gravose, dando luogo alle seguenti 8 combinazioni:

- NE^+ , MEz^+ , MEy^+
- NE^+ , MEz^+ , MEy^-
- NE^+ , MEz^- , MEy^+
- NE^+ , MEz^- , MEy^-
- NE^- , MEz^+ , MEy^+
- NE^- , MEz^+ , MEy^-
- NE^- , MEz^- , MEy^+
- NE^- , MEz^- , MEy^-

Per la verifica delle sezioni a taglio vengono individuati i valori massimi in modulo per ciascuna direzione principale scegliendo tra i valori involuppati di progetto (TEz^+ , TEz^- , TEy^+ , TEy^-).

Per gli elementi shell vengono individuati i seguenti valori di verifica:

- massimi e minimi per le tensioni membranali σ_x e σ_y ,
- massimi e minimi per le tensioni membranali τ_{xy} ,
- massimi e minimi per le azioni flessionali M_x , M_y e M_{xy} ,
- massimi e minimi per le azioni taglianti T_{zx} e T_{zy} .

La verifica degli elementi shell di tipo piastra è condotta valutando i valori massimi e minimi delle azioni involupate di flessione M_x , M_y e M_{xy} . Gli elementi bidimensionali a comportamento membranale vengono progettati combinando le sollecitazioni involupate in un calcolo sezionale indipendente.

Analisi dei carichi

La struttura è soggetta oltre che ai pesi propri anche a carichi esterni dovuti alla presenza di elementi non strutturali ed alla distribuzione di carichi permanenti e variabili legati alla funzione stessa dell'opera. Tra i carichi variabili inoltre vengono considerate le azioni del vento e della neve. Di seguito, in dettaglio la composizione delle azioni e la loro applicazione sulla struttura in esame.

VARIABILI	CATEGORIA	NEVE	150	daN / mq	coefficiente Q _{k1}
PERMANENTI	NON STRUTTURALI	Q _k	150	daN / mq	coefficiente G ₂₁
		VETRATE	65	daN / mq	
PERMANENTI		G ₂	65	daN / mq	coefficiente G ₁₁
		strutturali	35	daN / mq	
SOVRACCARICHI TOTALI		G ₁	35	daN / mq	
		Ce	250	daN / mq	

Carichi variabili da vento

Vengono qui di seguito riportati i parametri utilizzati per la valutazione della pressione del vento in conformità a quanto descritto nel paragrafo 3.3 delle NTC:

$$p = q_r C_e C_p C_d$$

con

$$q_r = \frac{1}{2} \rho \cdot v_r^2$$

$$v_r = v_b c_r$$

$$v_b$$

$$c_r = 0,75 \{1 - 0,2 \ln[-\ln(1-1/Tr)]\}^{1/2}$$

$$c_e$$

$$c_p$$

$$c_d$$

pressione cinetica di riferimento

velocità di riferimento

velocità base di riferimento

coefficiente di ritorno

coefficiente di esposizione

coefficiente di forma

coefficiente dinamico

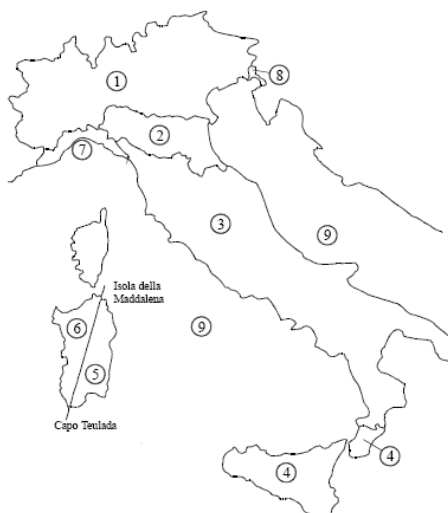
Per il sito e la struttura in esame si individuano i seguenti requisiti

Altitudine s.l.m.

a_s 294 m

Zona di vento

1



Mapa delle zone in cui è suddiviso il territorio italiano

essendo

$$v_b = v_{b0} c_a$$

$$c_a = 1$$

$$c_a = 1 + k_s (a_s/a_0 - 1)$$

$$\text{per } a_s \leq a_0$$

$$\text{per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m}$$

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_s
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,40
2	Emilia Romagna	25	750	0,45
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,37
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,36
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,40
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,36
7	Liguria	28	1000	0,54
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,50
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,32

Valori dei parametri $v_{b,0}$, a_0 , k_s

velocità di riferimento v_b 25 m/s
 pressione cinetica di riferimento q_b 391,2 N/m²

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

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

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

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

Definizione delle categorie di esposizione

classe di rugosità del terreno B
 categoria di esposizione del sito I
 altezza dal suolo di calcolo z 0

Categoria di esposizione del sito	K_r	z_0 [m]	z_{min} [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

Mappa delle zone in cui è suddiviso il territorio italiano

essendo poi

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

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

coefficiente di esposizione c_e 1,00
 coefficiente di forma c_p 0,80

pressione del vento p 312,96 N/m²

Carichi variabili da neve

Vengono qui di seguito riportati i parametri utilizzati per la valutazione della pressione della neve in conformità a quanto descritto nel paragrafo 3.4 delle NTC:

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

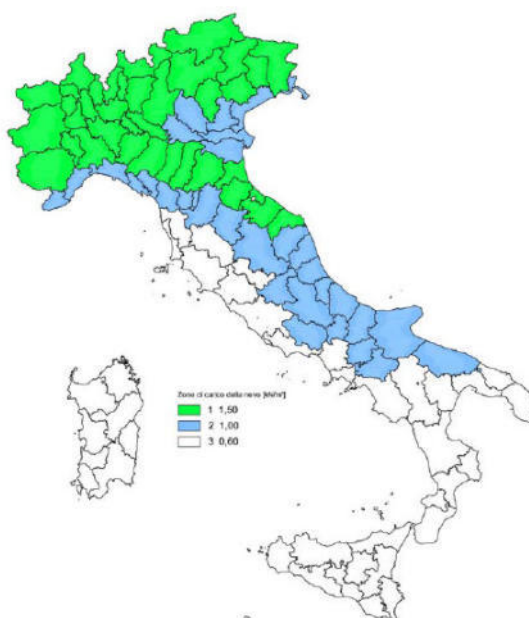
con

q_{sk}	carico neve sulla copertura
μ_i	coefficiente di forma della copertura
q_{sk}	valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [kN/m ²] per un periodo di ritorno di 50 anni
c_E	coefficiente di esposizione
c_t	coefficiente termico

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

Per il sito e la struttura in esame si individuano i seguenti requisiti

Altitudine s.l.m.	a_s	294 m
Zona		1



Mapa delle zone di carico da neve al suolo in cui è suddiviso il territorio italiano

valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo q_{sk} 1,62 kN/m²

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

Valori di C_E per diverse classi di topografia

coefficiente di esposizione	c_E	1,00
coefficiente termico	c_t	1,00
angolo della falda	α	5

Coefficiente di forma	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_i	0,8	$0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$	0,0

Valori del coefficiente di forma

coefficiente di forma della copertura	μ_i	0,80
pressione della neve	p	1,29 kN/m ²

Azioni della temperatura

Vengono qui di seguito riportati i parametri utilizzati per la valutazione delle azioni della temperatura sulla struttura in esame in conformità a quanto descritto nel paragrafo 3.5 delle NTC:

$$\Delta T_u = T - T_0$$

con

$T = (T_{sup,est} + T_{sup,int})/2$	temperatura media attuale
$T_{sup,est}$	temperatura della superficie esterna
$T_{sup,int}$	temperatura della superficie interna
T_0	temperatura iniziale alla data di costruzione

Se la temperatura non costituisce azione fondamentale per la sicurezza o per l'efficienza funzionale della struttura, viene valutato direttamente il valore di ΔT_u secondo la tabella 3.5.II di NTC

Tipo di struttura	ΔT_u
Strutture in c.a. e c.a.p. esposte	$\pm 15^\circ\text{C}$
Strutture in c.a. e c.a.p. protette	$\pm 10^\circ\text{C}$
Strutture in acciaio esposte	$\pm 25^\circ\text{C}$
Strutture in acciaio protette	$\pm 15^\circ\text{C}$

Valori di ΔT_u per gli edifici

Se la temperatura costituisce azione fondamentale per la sicurezza o per l'efficienza funzionale della struttura, viene valutato il valore di ΔT_u considerando la temperatura esterna e interna per le sezioni degli elementi strutturali.

La valutazione della temperatura dell'aria esterna può essere valutata a partire dalle zone di temperature proposte dalle NTC



Mapa delle zone di temperatura dell'aria esterna

Zona di temperatura:	1
$T_{est,max}$	$40,24^\circ\text{C}$ temperatura esterna massima estiva
$T_{est,min}$	$-16,18^\circ\text{C}$ temperatura esterna minima invernale
T_{int}	20°C temperatura interna
T_0	15°C temperatura iniziale alla data di costruzione
ΔT_u	25°C differenza di temperatura sulla costruzione

5. Dati azione sismica

Nei seguenti paragrafi vengono riportati i parametri utilizzati per la valutazione dell'azione sismica sulla struttura in esame, in accordo alle specifiche definite al capitolo 3.2 e 7.3 delle Norme Tecniche per le Costruzioni. In particolare gli spettri elastici considerati si basano sui dati e le correlazioni definite per il reticolo di riferimento così come definito nell'allegato alle Norme Tecniche per le Costruzioni.

5.1 Caratteristiche del sito

Comune: Rivalta di Torino

Provincia: TO

Longitudine: 7,5195 °

Latitudine: 45,035 °

Categoria di sottosuolo: C

Amplificazione topografica: T1

5.2 Caratteristiche dell'edificio

Vita nominale V_n : 50 anni

Classe d'uso: II

Coefficiente d'uso C_u : 1

Periodo di riferimento V_R : 50,00 anni

Periodo di vibrazione: 0,600

Nodo riferimento: 1

	PVR	TR	ag	F0	TC*
Stato Limite di Operatività	81 %	30,00	0,29	2,49	0,20
Stato Limite di Danno	63 %	50,00	0,36	2,55	0,21
Stato Limite di Salvaguardia della Vita	10 %	475,00	0,79	2,63	0,27
Stato Limite di Prevenzione del Collasso	5 %	975,00	0,99	2,63	0,28

5.3 Parametri sismici

Componente orizzontale

Coefficiente di amplificazione topografica ST : 1

Fattore di utilizzazione dello spettro elastico η : 1

	SS	S	CC	TB	TC	TD
Stato Limite di Operatività	1,50	1,50	1,80	0,12	0,35	1,72
Stato Limite di Danno	1,50	1,50	1,76	0,12	0,37	1,74
Stato Limite di Salvaguardia della Vita	1,50	1,50	1,62	0,15	0,44	1,92
Stato Limite di Prevenzione del Collasso	1,50	1,50	1,60	0,15	0,45	2,00

Componente verticale

	SS	S	TB	TC	TD	Fv
Parametri dello spettro di risposta elastico verticale	1,0	1,50	0,05	0,15	1,0	3,16

con SS coefficiente di amplificazione stratigrafica

S coefficiente di amplificazione topografica e stratigrafica

F0 fattore di amplificazione spettrale massima su sito rigido orizzontale

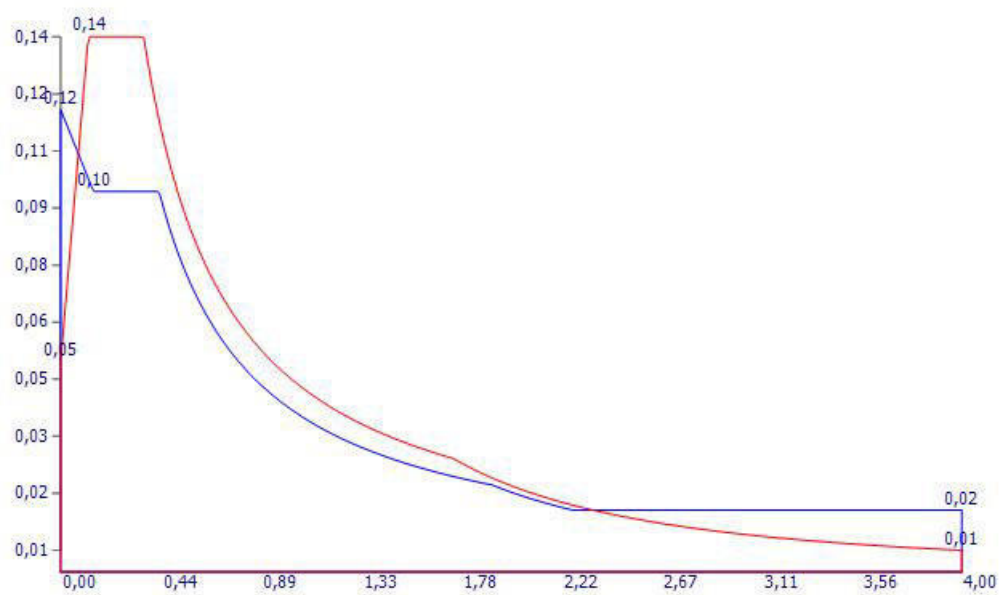
Fv fattore di amplificazione spettrale massima

TC periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro, in [s]

TB periodo di inizio del tratto ad accelerazione costante dello spettro, in [s]

TD periodo di inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, in [s]

Direzione X

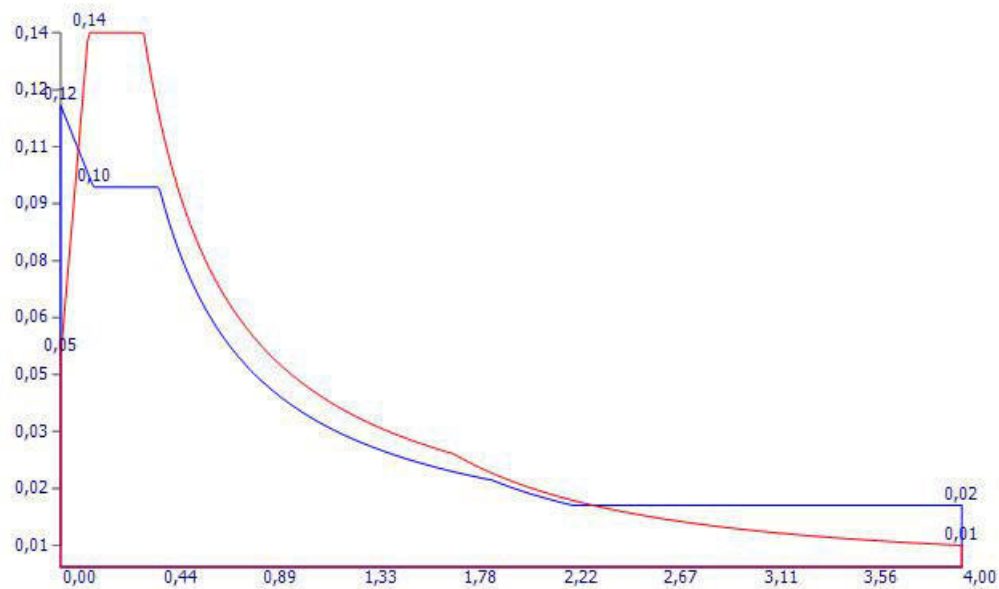


Spettro di risposta di progetto orizzontale per SLU

Spettro di risposta elastico orizzontale per SLE

Spettro di risposta di progetto verticale per SLU

Direzione Y



Spettro di risposta di progetto orizzontale per SLU

Spettro di risposta elastico orizzontale per SLE

Spettro di risposta di progetto verticale per SLU

5.5 Fattore di comportamento (NTC §7.3.1)

Qui di seguito vengono riportati i parametri utilizzati per stimare il valore del fattore di struttura 'q' adottato nel calcolo.

Tale parametro è espressione della presenza di sistemi strutturali dissipativi e dalla loro valutazione agli stati limite ultimi per ciascuna direzione dell'azione sismica, in funzione della tipologia strutturale, del grado di iperstaticità e dai criteri di progettazione adottati e prende in conto le non linearità del materiale.

L'espressione più generica per il calcolo del fattore di struttura è:

$$q = q_0 K_R K_W$$

Parametri di calcolo	
Classe di duttilità: CD 'B'	Regolarità in pianta: Non regolare
Tipologia di modello strutturale: Edifici a telai di un piano	Rapporto di sovrarresistenza α_u/α_1 : 1,05
Tipologia strutturale: Strutture a telaio, a pareti accoppiate, miste	Fattore di comportamento massimo q_0 : 3,2
Regolarità in altezza: Edifici non regolari	Fattore riduttivo K_R : 0,8
Rapporto tra altezza a larghezza delle pareti α_0 : -	Fattore correttivo k_w : 1
Fattore di comportamento	
Fattore di comportamento q_x – componente orizzontale in direzione X: 3,2	
Fattore di comportamento q_y – componente orizzontale in direzione Y: 3,2	
Fattore di comportamento q – componente verticale: 1,5	
Coefficiente di amplificazione	
Coefficiente di amplificazione dell'azione sismica in direzione X: 1	
Coefficiente di amplificazione dell'azione sismica in direzione Y: 1	

6. Caratteristiche dell'Analisi e del Codice di Calcolo (cfr. NTC - § 10.2)

L'analisi strutturale del progetto e le relative verifiche effettuate sono state condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. In conformità con quanto richiesto dalle NTC § 10.2 si riportano di seguito le caratteristiche riguardanti la tipologia di analisi svolta ed il codice di calcolo utilizzato.

6.1 Analisi svolta

L'analisi condotta per la valutazione dell'azione sismica è di tipo lineare, in particolare è stata eseguita un'analisi dinamica modale.

6.2 Metodo di verifica

Le verifiche condotte si basano sul metodo degli Stati Limite sia per le condizioni ultime che di esercizio della struttura, così come definito al capitolo 4 e 7 delle Norme Tecniche per le Costruzioni.

6.2 Origine e Caratteristiche del Codice di Calcolo

Software	TRAVILOG TITANIUM 6 versione 2019.17
Autore, produttore e distributore	Logical Soft s.r.l – via Garibaldi 253, 20832 Desio (MB)
Metodo numerico adottato	Metodo di calcolo agli elementi finiti
Solutore ad elementi finiti adottato	Xfinest di Harpaceas

6.3 Caratteristiche dell'Elaboratore

Sistema Operativo	Sistema Operativo Nome: Microsoft Windows 10 Pro Versione: 6.2.9200.0 RAM: 7627 MByte
Processore	Processore computer Tipo CPU: Intel(R) Core(TM) i7-4510U CPU @ 2.00GHz Intel64 Family 6 Model 69 Stepping 1 Velocità CPU: 2600 MHz
Scheda Video	Scheda grafica Descrizione: Intel(R) HD Graphics Family Versione Driver: 20.19.15.4549 Modalità video: 1366 x 768 x 4294967296 colori Processore video: Intel(R) HD Graphics Family Accelerazione: sconosciuta RAM: 1.024 MByte

6. Descrizione del codice di calcolo

In questo paragrafo si fornisce un inquadramento teorico relativo alle metodologie di calcolo ed all'impostazione generale impiegata nel software di calcolo ad elementi finiti *TRAVILOG*, utilizzato nella modellazione della struttura.

Codice di calcolo

Il codice di *TRAVILOG* è stato sviluppato da Logical Soft s.r.l. in linguaggio Visual Studio 2017 e .Net Framework 4.7 e non può essere modificato o manipolato dall'utente. In allegato alla relazione si accludono alcuni test effettuati al fine di certificare l'affidabilità del codice di calcolo relativamente ad alcuni semplici casi prova, riportando analisi teorica, soluzione fornita da *TRAVILOG* ed altro codice di calcolo di confronto. Il solutore a elementi finiti utilizzato dal programma è XFinest 8.5, prodotto da Harpaceas s.r.l. La bontà del solutore è certificata direttamente da CEAS s.r.l., produttore di XFinest 9.0. Per maggiori dettagli in merito si consiglia di consultare le specifiche relative al solutore di calcolo.

Metodo numerico adottato

Il software esegue l'analisi della struttura tramite **metodo di calcolo agli elementi finiti**, ovvero mediante la costruzione di un modello matematico costituito da un numero definito di elementi discreti, per ognuno dei quali è stata definita analiticamente una relazione tra forze e spostamenti. Da queste relazioni il programma assembla quindi la matrice di rigidezza e calcola la risposta dell'intera struttura.

Caratteristiche del modello

Ogni telaio, realizzato con materiali caratterizzati da comportamento perfettamente elastico, è modellato con 2 tipologie di elemento finito:

- **Tipo asta**, adatto per elementi aventi proprietà riconducibili ad un comportamento unidirezionale.

L'elemento asta è calcolato mediante funzioni di forma cubiche. Le matrici di rigidezza e di massa associate all'elemento sono costituite sulla base della teoria delle travi snelle, tipo Eulero – Bernoulli. Il programma mostra i diagrammi delle azioni interne discretizzando l'elemento in 17 punti di calcolo.

Se l'asta ha proprietà di suolo elastico, il software valuta le azioni interne e le pressioni sul terreno secondo la teoria delle travi su suolo elastico alla Winkler.

L'elemento finito di XFinest, al cui manuale si rimanda per maggiori dettagli, è l'elemento MBEAM.

- **Tipo shell** (elemento finito tipo QF46) per elementi aventi proprietà riconducibili ad un comportamento bidimensionale.

Il tipo di elemento utilizzato può lavorare in regime membranale e flessionale e, grazie alla linearità del sistema, i due effetti possono essere considerati separatamente.

L'elemento finito QF46 utilizzato è isoparametrico, basato sulla teoria dei gusci secondo Mindlin – Reissner. E' adatto sia per gusci spessi che sottili, non contiene modi spuri, consente di valutare i tagli fuori piano e può degenerare in un triangolo. Tutte le componenti del tensore delle deformazioni sono integrate nel piano medio con ordine di integrazione gaussiana 2 x 2. Per maggiori dettagli si può fare riferimento al manuale di XFinest.

Tipologie di analisi svolte dal software

La scelta del metodo di analisi è effettuata dal progettista a seconda delle prescrizioni previste dalla normativa. Tali prescrizioni dipendono in generale dalla destinazione d'utilizzo della struttura, dalla forma in pianta e dallo sviluppo in altezza della stessa, nonché dalla zona sismica di riferimento. Il software esegue i seguenti metodi di analisi:

- **Analisi statica.** La struttura è soggetta a carichi statici, distribuiti o concentrati, applicati alle aste, ai nodi o agli elementi shell. L'equazione risolvibile in tal caso ha la seguente forma:

$$F = K x$$

dove:

F è il vettore dei carichi agenti sulla struttura

K è la matrice di rigidezza

x è il vettore di spostamenti e rotazioni (gradi di libertà del sistema).

- **Analisi sismica statica.** Se la struttura possiede le caratteristiche previste dalla normativa, l'azione del sisma può essere modellata con un sistema di forze di piano equivalenti, valutate e assegnate in funzione della rigidezza degli elementi. La precedente diventa pertanto:

$$F + F_s = K x$$

dove:

F_s è il vettore dei carichi sismici equivalenti agenti sulla struttura, valutati in base alle relative norme di riferimento.

- **Analisi sismica dinamica modale.** In questo caso il programma valuta un comportamento inerziale della struttura, attribuendo un'accelerazione al sistema di riferimento terreno, secondo uno spettro sismico previsto dalla normativa in funzione della classificazione del territorio e altri parametri.

$$M \ddot{x} + K x = - M \ddot{u}$$

dove:

M è la matrice di massa della struttura

K è la matrice di rigidezza

u è il vettore delle accelerazioni imposte

Gli effetti dinamici dovuti al comportamento inerziale della struttura e l'effetto dei carichi statici vengono successivamente combinati, secondo opportuni coefficienti stabiliti dalla norma.

Formulazione del metodo

Il software esegue il calcolo ad elementi finiti formulando un'**analisi di tipo lineare**. In questo caso la matrice di rigidezza non varia durante lo sviluppo dell'analisi, considerando l'approssimazione per piccoli spostamenti. Sotto tali ipotesi valgono i seguenti benefici:

- Vale il principio di sovrapposizione degli effetti.
- Non influisce la sequenza di applicazione dei carichi sulla struttura.
- La precedente storia di carico della struttura non ha alcuna influenza, pertanto gli sforzi residui possono essere trascurati.

L'applicazione del principio di sovrapposizione degli effetti permette di considerare indipendentemente le ipotesi di carico elementari, per poi combinarle secondo opportuni coefficienti di partecipazione. In questo modo è possibile calcolare la risposta come una combinazione lineare di carichi elementari, rendendo il processo di analisi estremamente efficiente. Le non linearità trascurate in questo tipo di analisi sono le seguenti:

- Non linearità dovuta a effetti geometrici. Grandi spostamenti e rotazioni possono introdurre significativi cambiamenti di forma e orientamento, variando drasticamente la rigidezza totale della struttura.
- Non linearità delle caratteristiche dei materiali, legate al legame costitutivo o a eventuali anisotropie.
- Non linearità delle condizioni di vincolo.
- Non linearità dei carichi. La direzione di applicazione può variare in funzione della deformata della struttura.

Metodo di risoluzione del problema dinamico

La risoluzione del problema dinamico a n gradi di libertà si basa su un **metodo di sovrapposizione modale**. Tale metodo permette di trasformare un sistema di equazioni accoppiate a un sistema di equazioni disaccoppiate, utilizzando le proprietà di ortogonalità di autovalori e autovettori, ovvero i modi di vibrare della struttura. Lo studio della struttura non necessita dell'estrazione di tutti gli autovalori, ma solo di una parte significativa di essi, secondo limiti previsti dalle norme. Il metodo utilizzato dal software per l'estrazione degli autovalori è il metodo di *Lanczos*, adatto anche per matrici non simmetriche a termini complessi. Nel calcolo della risposta sismica i contributi derivanti dai singoli modi sono combinati secondo il metodo *CQC*, che consente di tener conto delle singole componenti modali X_k , ottenute da una combinazione quadratica delle componenti X_{kj} secondo opportuni coefficienti.

Metodi di verifica svolti dal software

TRAVILOG è in grado di eseguire analisi di sezioni e di verificare il comportamento delle strutture secondo due metodi principali di verifica:

- **Tensioni ammissibili.** I carichi sono applicati alla struttura con il loro valore nominale. Le tensioni caratteristiche dei materiali vengono divise per opportuni coefficienti ottenendo delle tensioni massime a cui potranno lavorare i materiali stessi. Tali tensioni risultano al di sotto del limite elastico convenzionale.
- **Stati limite.** Le tensioni caratteristiche dei materiali vengono divise per dei coefficienti di sicurezza ottenendo dei valori limite in campo plastico. I carichi di esercizio, accidentali o permanenti vengono incrementati secondo opportuni coefficienti definiti dalla normativa (vedi in seguito). Il programma valuta diverse condizioni di stato limite:
 - **Stato limite ultimo.** La normativa prevede in questo caso che la struttura sia soggetta in condizioni straordinarie a carichi che possano causare il collasso della stessa, quali ad esempio l'evento sismico.
 - **Stato limite di esercizio.** Anche in questo caso il calcolo della struttura è effettuato incrementando i carichi secondo opportuni coefficienti. A differenza del caso precedente però la struttura è soggetta a carichi in condizioni di esercizio, sotto l'azione dei quali devono prodursi deformazioni controllate, che non impediscano il funzionamento previsto. Esistono tre diverse condizioni di esercizio: **Rara**, **Frequente**, **Quasi permanente**.
 - **Stato limite di danno.** È il caso in cui la struttura è soggetta a forze di natura sismica. La verifica al danno è da effettuarsi sugli spostamenti.

La scelta dell'uno o dell'altro metodo dipende dalle prescrizioni previste dalle normative vigenti.

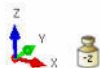
Sistemi di riferimento

Il programma possiede 2 diversi tipi di sistema di riferimento:

- **Riferimento globale.**

Il sistema di riferimento è definito da una terna cartesiana destrorsa, valido per tutti gli elementi della struttura e non dipende dal particolare orientamento di parti di essa.

I vincoli esterni, le reazioni vincolari e gli spostamenti nodali calcolati sono riferiti alla terna globale

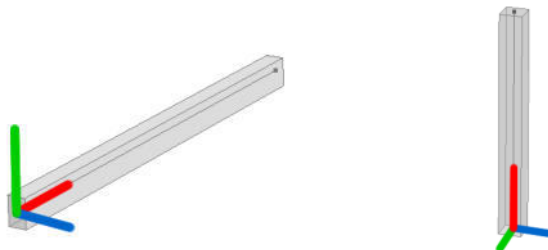


La terna di riferimento globale

- **Riferimento locale.**

In questo caso il sistema di riferimento è ancora definito da una terna cartesiana destrorsa, l'orientamento del quale varia elemento per elemento. Le azioni interne sono sempre riferite alla terna locale

- **Riferimento locale per le Aste.** Per l'elemento asta la direzione x è coincidente con l'asse baricentrico dell'asta stessa, mentre y e z sono perpendicolari ad x e diretti secondo gli assi principali d'inerzia della sezione assegnata all'asta. Secondo l'impostazione di default y è diretto secondo la direzione di azione del peso, a meno di rotazioni assegnate alla sezione. Selezionando un'asta TRAVILOG mostra la terna locale: asse locale X rosso, asse locale Y verde, asse locale Z blu.



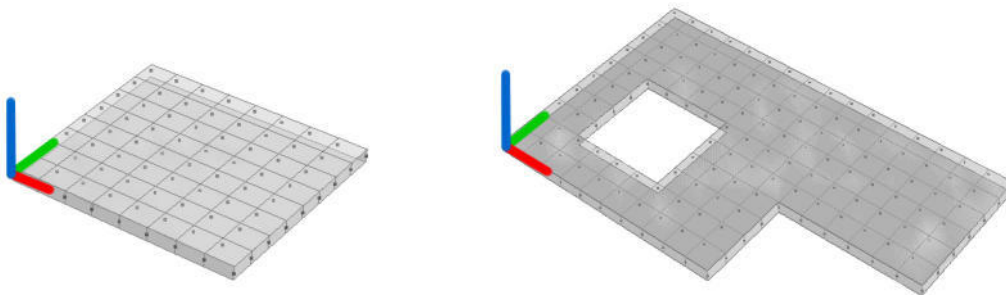
Terne locali dell'elemento asta (trave e pilastro)

- **Riferimento locale per gli elementi shell.** Per gli elementi bidimensionali TRAVILOG trasforma le azioni interne in un unico sistema di riferimento.

Il riferimento adottato dipende da come vengono costruiti i macro elementi dai quali verrà generata automaticamente la mesh di calcolo:

Elemento poligonale. Si tratta di un macro elemento poligonale o quadrangolare a mesh regolare. La terna locale è così definita:

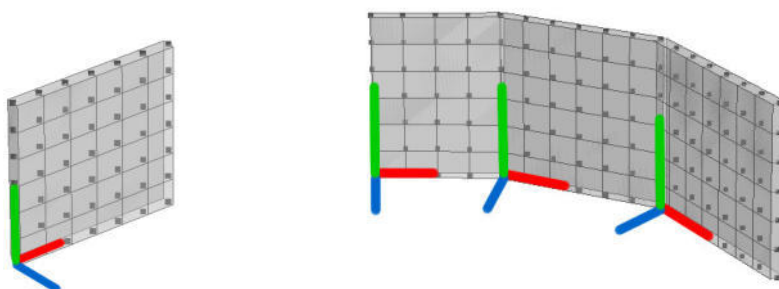
asse X locale (rosso) con origine nel primo nodo cliccato e in direzione primo nodo – secondo nodo. Asse Y locale (verde) ortogonale a X locale, complanare all'elemento ed in direzione del terzo nodo. Asse Z locale (blu) ortogonale al macro elemento. Per questo tipo di elemento è anche possibile definire fori poligonali. La mesh può essere generata manualmente (solo per elementi quadrangolari) o automaticamente.



Esempi terna locale elemento poligonale ed elemento quadrangolare

Elemento estruso (Muro o Nucleo):

Si tratta di un macro elemento a mesh regolare generato per estrusione in direzione delle forze peso a partire da una traccia. Per ciascuna faccia piana la terna locale è definita nel seguente modo: Asse locale X (rosso) lungo i nodi della traccia. Asse locale Y (verde) diretto come la direzione di estrusione. Asse locale Z (blu) ortogonale alla faccia a formare una terna destra con X e Y.



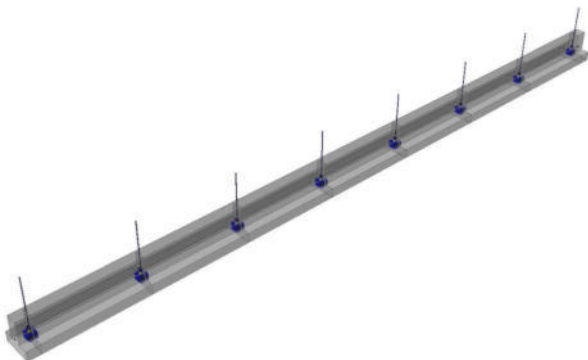
Esempio terne locali elementi estrusi

Test di verifica: trave su suolo elastico

Descrizione

In questo esempio si valuta una trave di fondazione appoggiata su un terreno schematizzabile come suolo elastico alla Winkler. Per la modellazione del telaio sono stati utilizzati elementi ASTA alla WINKLER.

Geometrie, carichi e materiali

	<p>$L_{campata} = 3,20 \text{ m}$ $L_{mensola} = 0,40 \text{ m}$ $P_{interno} = 65000 \text{ N}$ $P_{esterno} = 40000 \text{ N}$</p> <p>Sezione T rovescia $B = 0,95 \text{ m}$ $b = 0,35 \text{ m}$ $H = 0,30 \text{ m}$ $h = 0,70 \text{ m}$ $J_{trave} = 45,1 \times 10^{-3} \text{ m}^4$ $E = 2,6 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$</p>
---	---

Risultati

Azione	Bibliografia	Calcolato	Scostamento %
M I camp	182000 Nm	185632 Nm	+1.99
M II camp	92000 Nm	91925 Nm	+0.08
M III camp	80000 Nm	79696 Nm	-0.38
T II camp	322000 N	327802 N	+1.80
P camp cent	20,2 N/cm ²	21,0 N/cm ²	+3.96

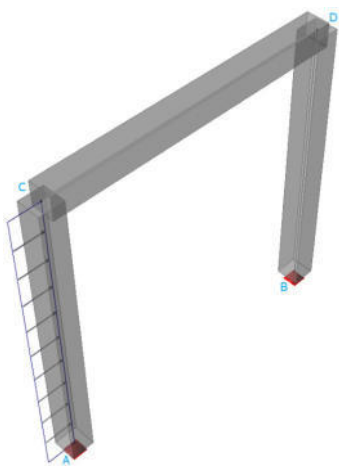
Bibliografia: Esercizi di Tecnica delle Costruzioni. Giandomenico Toniolo - Edizione: "Zanichelli

Test di verifica: portale incastrato caricato lateralmente

Descrizione

In questo esempio si vogliono valutare gli effetti di un carico distribuito verticalmente su di un telaio ad aste ortogonali. I vincoli introdotti sono perfetti e nel calcolo a mano si sono supposte aste assialmente rigide.

Geometrie, carichi e materiali



$p = 20000 \text{ N}$
 $L_{AC} = L_{CD} = L_{DB} = 5\text{m}$
 $E = 2,85 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$

Sezione AC $0,40 \times 0,40 \text{ m}$ $J_{AC} = 2,13 \times 10^{-3} \text{ m}^4$
Sezione CD $0,40 \times 0,40 \text{ m}$ $J_{CD} = 2,13 \times 10^{-3} \text{ m}^4$
Sezione BD $0,40 \times 0,40 \text{ m}$ $J_{BD} = 2,13 \times 10^{-3} \text{ m}^4$

Risultati

Azione	Teorico	Calcolato	Scostamento %
$X_A \text{ [N]}$		-79200	+1,0
$X_B \text{ [N]}$		20800,05	-1,0
$Y_A \text{ [N]}$		14259,60	-1,0
$Y_B \text{ [N]}$		-14259,60	-1,0
$M_A \text{ [N]}$		127239,60	-3,0
$M_B \text{ [N]}$		-46462,20	-3,0
$M_C \text{ [N]}$		-28760,10	-1,0
$M_D \text{ [N]}$		42538,08	-1,0

Bibliografia: Manuale dell'Ingegneria, Nuovo Colombo - Edizione: "82 esima edizione, HOEPLI"

7. Verifiche elementi strutturali

Le strutture in esame offrono prestazioni **Rd** superiori alle azioni esterne **Ed** alle quali, nelle diverse combinazioni dei sovraccarichi, sono sottoposte.

Dalla consultazione dei successivi tabulati emerge che il coefficiente di sicurezza nei diversi stati limite esaminati CS risulta sempre superiore ad 1 e pertanto l'equazione formale **Rd** \geq **Ed** è sempre soddisfatta.

Di seguito sono riportate le analisi condotte e la verifica maggiormente significative degli elementi strutturali in progetto, distinte secondo il seguente criterio:

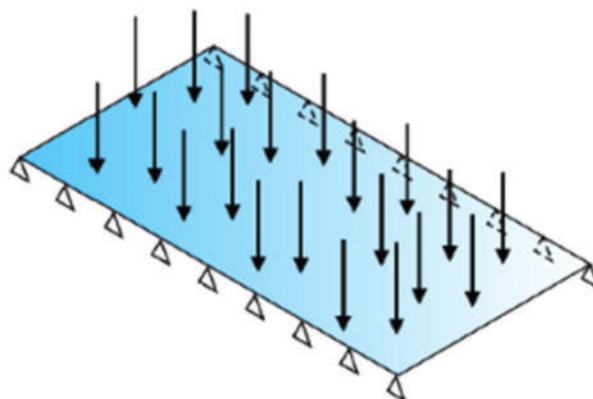
7.1 Verifiche struttura di copertura

7.2 Verifiche strutture del parapetto

7.1 Verifica strutture di copertura

Dimensioni geometriche

lb (lato libero)	1,65 m
h (lato vincolato)	1 m
A	1,65 mq



Analisi di Carico

Peso proprio del vetro stratificato

PP vetro	25 kN/m ³	;	s_strato 1	0,012 m;	s_strato 2
PP intercalare	0,02 kN/m ²	;	spessore	0,00152 m	
PP vetro stratificato	0,62 kN/m ²		spessore_tot	0,024 m	

Sovraccarico Variabile

Categoria NEVE	1,5 kN/m ²
----------------	-----------------------

Resistenza di progetto

kmod (PP)	0,26	Vedere tabella 1
kmod (neve)	0,36	Vedere tabella 2
ked	0,8	Vedere tabella 2
k'ed	0,8	Vedere tabella 2
ksf	1	Vedere tabella 3
fg;k	45 MPa	Vedere tabella 10
fb;k	70 MPa	Vedere tabella 9
RM	1	Vedere tabella 4
RM;v	1	Vedere tabella 4
γM	2,55	Vedere tabella 5
γM;v	1,35	Vedere tabella 5
kv	1	Vedere tabella 6
k	0,054	Vedere tabella 7
kb	0,3694	Vedere tabella 8

Grandezze ricavate

λ_{gA}	1,152063
λ_{gl}	0,6577085
fg;d (PP)	17,596099 Mpa
fg;d (neve)	18,665823 Mpa

Carichi di progetto

γ_g (coeff. Parziale per azioni perm.)	1,3
γ_Q (coeff. Parziale per azioni var.)	1,5

Peso proprio

Fd (SLU)	0,806 kN/m ²
Fd (SLE)	0,62 kN/m ²

Variabili

Fd (SLU)	2,25 kN/m ²
Fd (SLE)	1,5 kN/m ²

Metodo "Enhanced effective Thickness"

-

Comportamento trave

h_{int} (spessore intercalare polime)	1,52 mm	
b (larghezza trave)	1000 mm	
I (lunghezza trave)	1650 mm	
E (modulo di Young vetro)	70000 N/mm ²	Vedere tabella 11
G (modulo a taglio intercalare)	1,5 N/mm ²	
A*	9900 mm ²	
Ψ (coeff. Che dipende dai vin. E car)	3,63E-06 mm ⁻²	Vedere tabella 12
J1 (momento d'inerzia lastra 1)	237600 mm ⁴	
J2 (momento d'inerzia lastra 2)	237600 mm ⁴	
Jfull	2284825 mm ⁴	
Is	1096,7424 Verifica	1096,742

Peso Proprio

η	0,7568275
hw	20,509834 mm
hs;1	6,76 mm
hs;2	6,76 mm
h1_sig	22,323468 mm
h2_sig	22,323468 mm

Sovraccarico

G (modulo a taglio intercalare) 150 N/mm²

η 0,9967972
hw **25,415294** mm
h1_sig **25,465936** mm
h2_sig **25,465936** mm

Comportamento piastra

h1 (spessore strato 1) 12 mm
h2 (spessore strato 2) 12 mm
h_int 1,52 mm
d1 (distanza dal baricentro geo) 6,76 mm
d2 (distanza dal baricentro geo) 6,76 mm
d 13,52 mm
Coeff di Poisson 0,22 Vedere tabella 11
D1 (rigidezza intercalare strato 1) 10592686
D2 (rigidezza intercalare strato 2) 10592686
Dfull 27908432
E (modulo di Young vetro) 70000 N/mm² Vedere tabella 11
G (modulo a taglio intercalare) 1,5 N/mm²
 Ψ (coeff. Che dipende dai vin. E car) 1,56E-06 mm⁻² Vedere tabella 13

Peso Proprio

η 6,53E-01
hw **19,275538** mm
hs;1 6,76 mm
hs;2 6,76 mm
h1_sig **21,285648** mm
h2_sig **21,285648** mm

Neve

G (modulo a taglio intercalare) 150 N/mm²
 η 9,95E-01
hw **25,349474** mm
h1_sig **25,432808** mm
h2_sig **25,432808** mm

Tensioni e Deflessioni

Comportamento trave

PP

sig_max	3,3024852	MPa
w_max	1,126172	mm

Sovraccarico

sig_max	7,0842255	MPa
w_max	1,4318757	mm

Comportamento piastra

PP

sig_max	3,632373	MPa
w_max	1,3566618	mm

Neve

sig_max	7,1026928	MPa
w_max	1,4430583	mm

Verifiche

Resistenza

SOMMA(σ/f_g)	0,587	FC	(σ/f_g) x FC
Verifica	Ok	1,35	0,792

Deflessione

w_lim	16,5 mm	FC	w_max x FC
w_max	2,80 mm	1,35	3,78 mm
Verifica	Ok		Ok

Verifica sezioni in acciaio – COPERTURA

Profilo T 100x100

Dimensioni

Profilo	T 100x100	
Altezza h	100	mm
Larghezza b	100	mm
Spessore anima t _w	11	mm
Spessore flangia t _f	11	mm
Raggio r ₁	11	mm
Raggio r ₂	-	mm
Area A	20,9	cm ²

Parametri geometrici

Momento d'inerzia I _y	179,0	cm ⁴	Momento d'inerzia I _z	88,3	cm ⁴
Modulo di resistenza elastico W _y	24,6	cm ³	Modulo di resistenza elastico W _z	17,7	cm ³
Modulo di resistenza plastico W _{pl,y}	46,2	cm ³	Modulo di resistenza plastico W _{pl,z}	29,9	cm ³
Raggio d'inerzia r _y	2,9	cm	Raggio d'inerzia r _z	2,1	cm
Momento d'inerzia torsionale I _t	8,4	cm ⁴	Costante di warping I _w	0,0000	cm ⁶

Acciaio S 235

NTC - § 11.3.4: "Acciaio per strutture metalliche e per strutture composite" - Tab. 11.3.IX e 11.3.IX

Tensione caratteristica di snervamento f _{yk}	235,00	N/mm ²	Modulo elastico E	210 000	N/mm ²
Tensione caratteristica a rottura f _{tk}	360,00	N/mm ²	Modulo di elasticità trasversale G	80 770	N/mm ²

Classificazione delle sezioni: 1

NTC - § 4.2.3.1: "Classificazione delle sezioni" - Tab. 4.2.I, 4.2.II e 4.2.III

NTC - § 4.2.4.1.3: "Stabilità delle membrature" - Tab. 4.2.VI

Curva d'instabilità per inflessione attorno a y-y	c	Curva d'instabilità per inflessione attorno a z-z	c
Fattore di imperfezione α_y	0,49	Fattore di imperfezione α_z	0,49

Coefficienti parziali di sicurezza

NTC - § 4.2.4.1.1: "Resistenza di calcolo" - Tab. 4.2.V

Resistenza delle sezioni di classe 1-2-3-4 γ_{M0}	1,05	Resistenza all'instabilità delle membrature γ_{M1}	1,05
Resistenza, nei riguardi della frattura, delle sezioni tese γ_{M2} (indebolite dai fori)	1,25		

Resistenze di calcolo della sezione

NTC - § 4.2.4.1.2: "Resistenza delle membrature" - formula (4.2.7), (4.2.11), (4.2.13), (4.2.14) e (4.2.18)

Resistenza plastica a trazione N _{pl,Rd}	467.761,90	N	Resistenza plastica a flessione y-y M _{pl,y,Rd}	10.337,76	Nm
Resistenza plastica a compressione N _{pl,Rd}	467.761,90	N	Resistenza elastica a flessione y-y M _{el,y,Rd}	5.505,71	Nm
Resistenza plastica a taglio lungo y-y V _{pl,y,Rd}	154.930,57	N	Resistenza plastica a flessione z-z M _{pl,z,Rd}	6.689,67	Nm
Resistenza plastica a taglio lungo z-z V _{pl,z,Rd}	115.131,89	N	Resistenza elastica a flessione z-z M _{el,z,Rd}	3.961,43	Nm

Profilo T 100x100 - acciaio S 235**Verifica di resistenza a flessione monoassiale**

NTC - § 4.2.4.1.2: "Resistenza delle membrature" - formula (4.2.11)

Momento flettente attorno all'asse y-y M_{Ed}	7.500,00	Nm
Resistenza di calcolo a flessione retta $M_{c,Rd}$	10.337,76	Nm
Verifica a flessione retta	Verificata	

Momento flettente attorno all'asse z-z M_{Ed}	--	Nm
Resistenza di calcolo a flessione retta $M_{c,Rd}$	--	Nm
Verifica a flessione retta	--	

Profilo T 100x100 - acciaio S 235**Verifica di resistenza a flessione e taglio**

NTC - § 4.2.4.1.2: "Resistenza delle membrature" - formula (4.2.33) e (4.2.11)

Momento flettente attorno all'asse y-y M_{Ed}	7.500,00	Nm
Azione tagliante lungo l'asse z-z V_{Ed}	6.475,00	N
Area resistente a taglio A_v	8,9	cm ²
Resistenza di calcolo a flessione $M_{c,Rd}$	10.337,76	Nm
Verifica a flessione e taglio	Verificata	

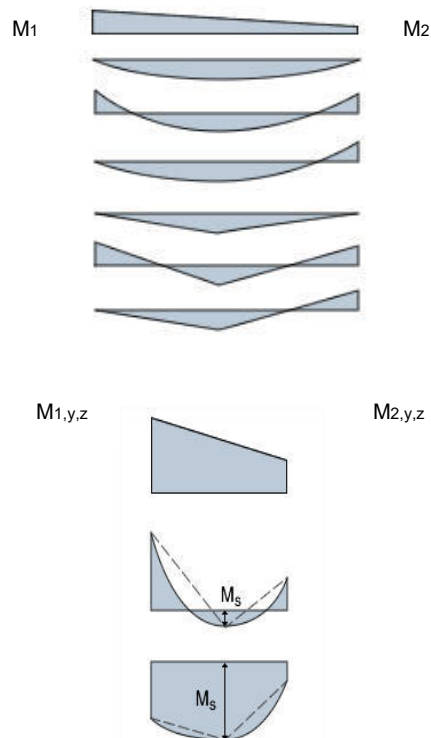
Momento flettente attorno all'asse z-z M_{Ed}	--	Nm
Azione tagliante lungo l'asse y-y V_{Ed}	--	N
Area resistente a taglio A_v	--	cm ²
Resistenza di calcolo a flessione $M_{c,Rd}$	--	Nm
Verifica a flessione e taglio	--	

Profilo T 100x100 - acciaio S 235**Verifiche di stabilità a pressoflessione**

NTC - § 4.2.4.1.3.3: "Membrature inflesse e compresse" ; Circ. 7/2019 - § C4.2.4.1.3.3.2: "Metodo B" - formula (C4.2.37) e (C4.2.38)

Momento flettente attorno all'asse y-y M_{Ed}	7.500,00	Nm
Momento flettente attorno all'asse z-z M_{Ed}	0,00	Nm
Azione assiale N_{Ed}	-6.475,00	N
Lunghezza di libera inflessione y-y $l_{0,y-y}$	0,00	m
Lunghezza di libera inflessione z-z $l_{0,z-z}$	0,00	m
Momento all'estremità sinistra $M_{1,y}$	0,00	Nm
Momento all'estremità destra $M_{2,y}$	0,00	Nm
Momento intermedio $M_{s,y}$	0,00	Nm
Coefficiente di distribuzione ψ_y - tab. C4.2.VI	1,00	
Coefficiente di distribuzione α_s - tab. C4.2.VI	0,00	
Coefficiente di distribuzione α_h - tab. C4.2.VI	0,00	
Momento all'estremità sinistra $M_{1,z}$	0,00	Nm

Momento all'estremità destra $M_{2,z}$	0,00	Nm
Momento intermedio $M_{s,z}$	0,00	Nm
Coefficiente di distribuzione ψ_z - tab. C4.2.VI	1,00	
Coefficiente di distribuzione α_s - tab. C4.2.VI	0,00	
Coefficiente di distribuzione α_h - tab. C4.2.VI	0,00	
Lunghezza di libera inflessione laterale L_{cr}	1,00	m
Momento di estremità 1 M_1	0,00	Nm
Momento di estremità 2 M_2	0,00	Nm
Coefficiente di distribuzione ψ_{LT} - formula (C4.2.31)	1,00	
Fattore di imperfezione α_{LT}	0,76	
Fattore di riduzione Φ_{LT}	0,53	
Fattore di riduzione χ_{LT} - formula (4.2.50)	1,00	
Momento critico M_{cr} - formula (C4.2.30)	87.136,30	Nm
Snellezza adimensionale λ_{LT} - formula (4.2.51)	0,35	
Coefficiente di interazione k_{yy} - tab. C4.2.IV	1,00	
Coefficiente di interazione k_{yz} - tab. C4.2.IV	0,60	
Coefficiente di interazione k_{zy} - tab. C4.2.IV	0,00	
Coefficiente di interazione k_{zz} - tab. C4.2.IV	0,99	
Criterio di stabilità a pressoflessione	0,74	
Verifica stabilità a pressoflessione	Verificata	



Verifica sezioni in acciaio – MONTANTI profilo Circolare cava D = 114, s = 4

Dimensioni

Profilo	Circolare cava D = 114, s = 4	
Altezza h	114	mm
Larghezza b	114	mm
Spessore anima t_w	4	mm
Spessore flangia t_f	4	mm
Raggio r_1	57	mm
Raggio r_2	-	mm
Area A	13,7	cm ²

Parametri geometrici

Momento d'inerzia I_y	204,6	cm ⁴	Momento d'inerzia I_z	204,6	cm ⁴
Modulo di resistenza elastico W_y	35,9	cm ³	Modulo di resistenza elastico W_z	35,9	cm ³
Modulo di resistenza plastico $W_{pl,y}$	47,6	cm ³	Modulo di resistenza plastico $W_{pl,z}$	47,6	cm ³
Raggio d'inerzia r_y	3,9	cm	Raggio d'inerzia r_z	3,9	cm
Momento d'inerzia torsionale I_t	418,7	cm ⁴	Costante di warping I_w	0,0000	cm ⁶

Acciaio S 235

NTC - § 11.3.4: "Acciaio per strutture metalliche e per strutture composite" - Tab. 11.3.IX e 11.3.IX

Tensione caratteristica di snervamento f_{yk}	235,00	N/mm ²	Modulo elastico E	210 000	N/mm ²
Tensione caratteristica a rottura f_{tk}	360,00	N/mm ²	Modulo di elasticità trasversale G	80 770	N/mm ²

Classificazione delle sezioni: 1

NTC - § 4.2.3.1: "Classificazione delle sezioni" - Tab. 4.2.I, 4.2.II e 4.2.III

NTC - § 4.2.4.1.3: "Stabilità delle membrature" - Tab. 4.2.VI

Curva d'instabilità per inflessione attorno a y-y	a	Curva d'instabilità per inflessione attorno a z-z	a
Fattore di imperfezione α_y	0,21	Fattore di imperfezione α_z	0,21

Coefficienti parziali di sicurezza

NTC - § 4.2.4.1.1: "Resistenza di calcolo" - Tab. 4.2.V

Resistenza delle sezioni di classe 1-2-3-4 γ_{M0}	1,05	Resistenza all'instabilità delle membrature γ_{M1}	1,05
Resistenza, nei riguardi della frattura, delle sezioni tese γ_{M2} (indebolite dai fori)	1,25		

Resistenze di calcolo della sezione

NTC - § 4.2.4.1.2: "Resistenza delle membrature" - formula (4.2.7), (4.2.11), (4.2.13), (4.2.14) e (4.2.18)

Resistenza plastica a trazione $N_{pl,Rd}$	305.947,62	N	Resistenza plastica a flessione y-y $M_{pl,y,Rd}$	10.653,33	Nm
Resistenza plastica a compressione $N_{pl,Rd}$	305.947,62	N	Resistenza elastica a flessione y-y $M_{el,y,Rd}$	8.034,76	Nm
Resistenza plastica a taglio lungo y-y $V_{pl,y,Rd}$	112.451,84	N	Resistenza plastica a flessione z-z $M_{pl,z,Rd}$	10.653,33	Nm
Resistenza plastica a taglio lungo z-z $V_{pl,z,Rd}$	112.451,84	N	Resistenza elastica a flessione z-z $M_{el,z,Rd}$	8.034,76	Nm

Profilo Circolare cava D = 114, s = 4 - acciaio S 235**Verifica di resistenza a compressione**

NTC - § 4.2.4.1.2: "Resistenza delle membrature" - formula (4.2.10)

Azione assiale N_{Ed}	8.750,00	N
Resistenza di calcolo a compressione $N_{c,Rd}$	305.947,62	N
Verifica a compressione	Verificata	

Profilo Circolare cava D = 114, s = 4 - acciaio S 235**Verifica di resistenza a taglio**

NTC - § 4.2.4.1.2: "Resistenza delle membrature" - formula (4.2.17)

Azione tagliante lungo l'asse y-y V_{Ed}	--	N
Area resistente a taglio A_v	--	cm ²
Resistenza di calcolo a taglio $V_{c,Rd}$	--	N
Verifica a taglio	--	

Azione tagliante lungo l'asse z-z V_{Ed}	3240,00	N
Area resistente a taglio A_v	8,7	cm ²
Resistenza di calcolo a taglio $V_{c,Rd}$	112451,84	N
Verifica a taglio	Verificata	

Profilo Circolare cava D = 114, s = 4 - acciaio S 235**Verifica di resistenza a pressoflessione**

NTC - § 4.2.4.1.2: "Resistenza delle membrature" - formula (4.2.33), (4.2.34) e (4.2.35)

Momento flettente attorno all'asse y-y MEd	6.150,00	Nm
Azione assiale NEd	8.750,00	N
Azione tagliante lungo l'asse z-z VEd	3.240,00	N
Area resistente a taglio Av	8,7	cm ²
Criterio di resistenza a pressoflessione	0,578	
Verifica a pressoflessione	Verificata	

Momento flettente attorno all'asse z-z MEd	--	Nm
Azione assiale NEd	--	N
Azione tagliante lungo l'asse y-y VEd	--	N
Area resistente a taglio Av	--	cm ²
Criterio di resistenza a pressoflessione	--	
Verifica a pressoflessione	--	

Profilo Circolare cava D = 114, s = 4 - acciaio S 235**Verifiche di stabilità a compressione**

NTC - § 4.2.4.1.3.1: "Aste compresse" - formula (4.2.42)

Azione assiale NEd	8.750,00	N
Lunghezza di libera inflessione y-y l _{0,y-y}	1,90	m
Fattore di riduzione Φ _y	0,67	
Fattore di riduzione χ _y - formula (4.2.44)	0,92	
Snellezza adimensionale λ _y - formula (4.2.46)	0,52	
Criterio di stabilità (attorno a y-y) a compressione	0,03	
Lunghezza di libera inflessione z-z l _{0,z-z}	«l _{0z} »	m
Fattore di riduzione Φ _z	0,48	
Fattore di riduzione χ _z - formula (4.2.44)	1,00	
Snellezza adimensionale λ _z - formula (4.2.46)	0,00	
Criterio di stabilità (attorno a z-z) a compressione	0,03	
Verifica stabilità a compressione	Verificata	

7.2 Verifica strutture del parapetto

CORDOLO DI FONDAZIONE				
Altezza	H	1,20 m		
Larghezza	I	0,08 m		
Risega interna	Ri	0,00 m		
Risega esterna	Re	0,00 m		
Lunghezza	L	1,10 m		
Dimensioni della Fondazione:			Dimensioni del Dente di fondazione:	
Altezza	h	0,20 m	Dente:	No
Larghezza	I	0,28 m	Altezza	a 0,00 m
Mensola interna	Mi	0,00 m	Larghezza	b 0,00 m
Mensola esterna	Me	0,20 m	Posizione	x 0,00 m

Terreni e falda

TERRENO INTERNO: STRATIGRAFIA

Strato	Tipo di materiale	Altezza [m]
1	Terreno vegetale	1,00

Carichi

Descrizione	N [daN]	T [daN]	M [daN m]	q [«carUM_q»]
Carichi esterni	0,00	652,00	394,00	0,000

AZIONE SISMICA

Caratteristiche del sito	
Comune: Rivalta di Torino	Provincia:
Longitudine: 7,520 °	Latitudine: 45,035 °
Categoria di sottosuolo: C	Amplificazione topografica: T1
Caratteristiche dell'edificio	
Coefficiente d'uso C _u : 1,0	Classe d'uso: II
Accelerazione al suolo	
Coefficiente di amplificazione stratigrafica SS: 1,50	Coefficiente di amplificazione topografica ST: 1,00
Accelerazione a _g : 0,791 m/s ²	

Spinte

SPINTA STATICA DEL TERRENO INTERNO

Descrizione terreno	K _a	K _p	Spinta H [daN]	Spinta V [daN]	Spinta [daN]	Braccio [m]	Incl. [°]
Terreno vegetale	0,376	0,000	68,96	0,00	68,96	0,13	0,0

SPINTA SISMICA

Descrizione terreno	K _a	K _p	ΔSpinta H [daN]	ΔSpinta V [daN]	DeltaSpinta [daN]	Braccio [m]	Incl. [°]
Terreno vegetale	0,485	0,000	2,94	0,00	2,94	0,13	0,0

SPINTA STATICA DEL TERRENO INTERNO SUL PARAMENTO DI MONTE

Descrizione terreno	K _a	K _p	Spinta H [daN]	Spinta V [daN]	Spinta [daN]	Braccio [m]	Incl. [°]
Terreno vegetale	0,376	0,000	13,26	0,00	13,26	0,57	0,0

SPINTA DEL TERRENO ESTERNO

Descrizione terreno	K _p	% Spinta passiva	Spinta H [daN]	Spinta V [daN]	Spinta [daN]	Braccio [m]	Incl. [°]
Terreno vegetale	2,663	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0

Sollecitazioni agenti sul muro

PESI AGENTI

Peso parapetto [daN]	Peso soletta fondazione [daN]	Peso terreno interno [daN]	Peso terreno esterno [daN]	Sovraccarico [daN]
235,44	137,34	0,00	70,63	0,00

Verifiche a scivolamento

Condizione	Taglio sollecitante [daN]	Taglio resistente [daN]	Fs	Verifica
A1+M1+R3	68,96	202,45	2,94	SI
Sisma	75,55	222,69	2,95	SI

Verifiche a ribaltamento

Condizione	Momento ribaltante [daN m]	Momento stabilizzante [daN m]	Fs	Verifica
EQU	9,36	373,15	39,85	SI
Sisma	22,10	476,80	21,58	SI

Verifiche di capacità portante

Metodo di calcolo: Terzaghi

Condizione	Pressione agente [daN/cm ²]	Pressione limite [daN/cm ²]	Fs	Verifica
A1+M1+R3	0,00	42,18	∞	SI

Verifiche armature

1 SLU

Parte	AsSUP [cm ²]	AsINF [cm ²]	Msd [daN m]	Nsd [daN]	Vsd [daN]	Csic	εcls [‰]	εfe [‰]	Verifica
Cordolo	3,52	3,52	-18,99	-37,89	-219,35	128,5	3,5	24,1	SI

2 SLE rara

Parte	AsSUP [cm ²]	AsINF [cm ²]	Msd [daN m]	Nsd [daN]	σcls [daN/cm ²]	σcls LIMITE [daN/cm ²]	σfeT [daN/cm ²]	σfeC [daN/cm ²]	σfe LIMITE [daN/cm ²]	Verifica
Cordolo	3,52	3,52	-16,87	-37,89	0,56	149,40	25,08	2,43	2.700,00	SI

3 SLE quasi permanente

Parte	AsSUP [cm ²]	AsINF [cm ²]	Msd [daN m]	Nsd [daN]	σcls [daN/cm ²]	σcls LIMITE [daN/cm ²]	σfeT [daN/cm ²]	σfeC [daN/cm ²]	Verifica
Cordolo	3,52	3,52	-16,87	-37,89	0,56	149,40	25,08	2,43	SI

Verifiche montante

VARIABILI

CATEGORIA

C3

300

daN / m

coefficiente

Q_{k1}

Q_k

300

daN / mq

PERMANENTI

non strutturali

0

daN / mq

coefficiente

G_{21}

G_2

0

daN / mq

PERMANENTI

strutturali

0

daN / mq

coefficiente

G_{11}

G_1

0

daN / mq

COEFFICIENTI SOVRACCARICHI

SLU

PROPRI

1,3

PERMANENTI

1,5

VARIABILI

1,5

SLE

RARA

Ψ_{0J}

FREQUENTE

Ψ_{1J}

QUASI PERMANENTE

Ψ_{2J}

CATEGORIA

C3

0,7

0,7

0,6

AZIONI

azione	carico	interasse	carico / metro	K	carico totale
G ₁₁	0,00	0,00	0	0	0
G ₁₂	0,00	0,00	0	0	0
G ₁₃	0,00	0,00	0	0	0
daN / m					0
G ₂₁	0,00	0,00	0	0	0
G ₂₂	0,00	0,00	0	0	0
G ₂₃	0,00	0,00	0	0	0
daN / m					0
Q _{k1}	300,00	1,00	300	1	300
Q _{k2}	0,00	0,00	0	0	0
Q _{k3}	0,00	0,00	0	0	0
daN / m					300
q sle					300

CARATTERISTICHE PROFILATI

f_y

2750

daN/cm²

ε

f_i

4300

daN/cm²

0,92

serie
PIATTO

altezza
80

spessore
10

area
8,00

peso proprio
6,28

area, taglio
8,00

J x	Jy	Wx	Wy	Wx pl	Wy pl
42,67	0,67	10,67	1,33	12,27	1,53

COEFFICIENTI SICUREZZA

	RESISTENZA	STABILITA'	UNIONI
	γ_{MO}	γ_{M1}	γ_{M2}
FLESSIONE	1,05	1,05	
TAGLIO	1,05	1,05	1,25

VERIFICHE SLE

SPOSTAMENTI

	coeff. vincolo	luce (m)	numero		
	3	1,10	1		
			RARA	FREQUENTE	Q. PERMANENTE
globale	K	ammissibile (mm)	massima (mm)	massima (mm)	massima (mm)
	400	3	0,1 verificato	0,1 verificato	0,1 verificato
accidentali	K	ammissibile (mm)	massima (mm)	massima (mm)	massima (mm)
	500	2	0,1 verificato	0,1 verificato	0,1 verificato

VERIFICHE SLU

RESISTENZA FLESSIONE

Wy pl	f y	γ_{MO}	num. Profili	
12,27	2750	1,05	1	
			M_{rd}	321
			M _{ED}	300
			CS	1,07
				daNm
				daNm
				verificato

RESISTENZA TAGLIO

A, taglio	f y	γ_{MO}	rad (3)	num. Profili	
8,00	2750	1,05	1,73	1	
			V_{rd}	12097	daN
			V _{ED}	520	daN
			CS	23,27	verificato