



POLITECNICO DI MILANO

Area Tecnico Edilizia

P.zza Leonardo da Vinci, 32 - 20133 M I L A N O

PHONE: +39 02 2399.1 www.polimi.it

Campus: La Masa-Lambruschini

Edificio N°: 26

Struttura:

MIP-DIG

Codice Lavoro:

DIG_2014

Oggetto:

Nuovo "Spazio Polifunzionale"

PROGETTO ESECUTIVO

Responsabile del Procedimento:

arch. Mauro Rizzieri - A.T.E.

Progetto Architettonico:

arch. Daniel Marcaccio - A.T.E.

Progetto Impianti Meccanici:

ing. Giacomo Lebini - A.T.E.

Progetto Impianti Elettrici:

ing. Marco Brozzoni - A.T.E.

Progetto Opere Strutturali:

Studio Tecnico Associato Brambilla Colombo

Direzione dei Lavori:

geom. Cesare Pietro Colombo - A.T.E.

C.S.P. – C.S.E.:

arch. Luca Colacicco - A.T.E.

Titolo Elaborato

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

Categoria Elaborato

OPERE STRUTTURALI

Codice Elaborato

SCALA: –

PLOTTAGGIO: 1=1

FORMATO: A4

PROGR.

REVISIONE

FASE

NOME FILE: Relazione di calcolo strutturale.doc

NOTE:

1 2 D O S 0 0 1 / 0 1

3					
2					
1					
0	EMISSIONE	07-10-2014	MC	CC	MR
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

Milano, 18.09.2014

POLITECNICO DI MILANO
AREA TECNICO EDILIZIA

MIP- DIG
NUOVA AREA MEETING

CAMPUS:
LA MASA – LAMBRUSCHINI

RELAZIONE ILLUSTRATIVA, DEI MATERIALI E DI CALCOLO
(AI SENSI DELLA L.1086/71 E DEL D.M. 14.01.'08)

ELABORATO

IL PROGETTISTA DELLE STRUTTURE:

IL DIRETTORE DEI LAVORI DELLE STRUTTURE:



SOMMARIO

1	RELAZIONE GENERALE	3
1.1	Generalità	3
1.2	Descrizione della struttura	3
1.2.1	Fondazioni	3
1.2.2	Elevazione	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3	CLASSIFICAZIONE DELLA STRUTTURA.....	4
4	MATERIALI E TERRENI	5
4.1	Materiali.....	5
4.1.1	Calcestruzzi per fondazioni	5
4.1.2	Acciai in tondo per opere in c.a.....	5
4.1.3	Acciai per profili metallici	5
4.1.4	Acciai per piatti e piastre	5
4.1.5	Bulloneria corrente.....	5
4.2	Terreni in sito.....	5
5	RELAZIONE DI CALCOLO.....	6
5.1	Modellazione e Analisi della Struttura	6
5.2	Carichi Statici di Progetto.....	6
5.2.1	Sovraccarichi permanenti.....	6
5.2.2	Sovraccarichi accidentali	6
5.3	Combinazioni di Carico	7
5.4	Verifiche degli Elementi Strutturali.....	7
5.4.1	Verifica delle sollecitazioni del terreno di fondazione	8
5.4.2	Verifiche di resistenza fondazione - Combinazione SLU	8
5.4.3	Verifiche Pilastro	8
5.4.4	Verifica Travi.....	10
5.4.5	Verifiche Secondari	11
5.5	Allegati.....	12
	Allegato 1 – Verifica Fondazioni	13
	Allegato 2 – Diagramma di Sollecitazioni Telaio Tipo 1	16
	Allegato 3– Verifica Pilastri.....	19
	Allegato 4 : Verifica Travi e Profili secondari.....	21

1 RELAZIONE GENERALE

1.1 GENERALITÀ

Oggetto della presente relazione è la realizzazione di un passaggio coperto in acciaio e vetro che costituisca un collegamento fra gli edifici sedi, rispettivamente, del Dipartimento di Ingegneria Gestionale e della Business School del Politecnico di Milano presenti nel Campus La Masa-Lambruschini.

La struttura è costituita da portali metallici di altezza pari a circa 4,25 m. La copertura è sorretta da profili secondari disposti trasversalmente rispetto ai portali stessi; è realizzata alternando strisce piene, dove il pacchetto di copertura è costituita da pannelli sandwich e un massetto pendenza, a strisce di vetrata. La parete perimetrale è anch'essa realizzata in vetro.

I portali sono esterni alle pareti in vetro nella zona centrale, ovvero nel cortile fra i due edifici, mentre nelle testate i pilastri sono collocati all'interno dell'involucro. In corrispondenza di una delle testate la struttura occupa una rientranza presente in uno degli edifici e di conseguenza i montanti metallici sono interni come nelle testate.

Il pavimento costituito da uno strato isolante e da un sottofondo in cemento è collocato al di sopra di un vespaio areato di spessore 50 cm del quale vi è una cappetta in cemento di spessore 10 cm armata con una rete metallica.

1.2 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

Si riporta di seguito una breve descrizione degli elementi principali della struttura in oggetto. Si rimanda agli elaborati grafici per una completa presa visione dei dettagli.

1.2.1 Fondazioni

Le fondazioni sono composte da due travi di larghezza pari a 200cm e altezza 60cm. Sono collocate su uno strato di magrone di spessore 10 cm ad una quota di imposta è di -0,85 m. In corrispondenza di una delle testate, dove la struttura si trova in una rientranza presente nell'edificio esistente non è stato possibile mantenere tale larghezza che è stata ridotta ad 1 m, ciò è stato possibile in quanto tale zona è caratterizzata da sollecitazioni meno gravose e vi è, in aggiunta, una collaborazione delle travi di ripartizione disposte in direzione trasversale.

La struttura metallica è vincolata alla fondazione in calcestruzzo armato mediante dei tirafondi.

1.2.2 Elevazione

La struttura in elevazione è costituita da portali metallici di due tipologie:

- Tipo 1: collocato nella zona del cortile costituito interamente (montanti e trave) da profili IPE450;
- Tipo 2: collocato in corrispondenza della rientranza nell'edificio esistente e su entrambe le testate costituita da una trave IPE450 e da pilastri HEB200.

Per questa seconda tipologia si è scelto, per evitare di indurre flessioni troppo gravose nel pilastro, di realizzare l'unione con una cerniera realizzata mediante l'utilizzo di un perno.

I profili secondari sono realizzati con profili UPN160 uniti tramite bulloni alle travi telai metallici.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La normativa tecnica di riferimento per il dimensionamento e la verifica delle strutture è la seguente:

- **D.M. 14-01-2008** "Nuove norme Tecniche per le Costruzioni"
- **Circolare** Ministero Infrastrutture e Trasporti **02-02-2009 n°617** "Istruzioni per l'Applicazione delle Nuove norme Tecniche per le Costruzioni"

Per quanto non espressamente specificato nelle norme, in accordo col Cap. 12 del D.M. stesso, si è fatto riferimento ad altri documenti tecnici di comprovata validità, in particolare:

- **Eurocodici strutturali** pubblicati dal CEN con le precisazioni riportate nelle Appendici Nazionali
- **Bollettino ufficiale Regione Lombardia** Serie ordinaria n.29 del 16 Luglio 2014.
- **Norme UNI EN** armonizzate.

3 CLASSIFICAZIONE DELLA STRUTTURA

Ai fini della definizione dell'azione sismica, le strutture in oggetto vengono classificate come segue:

- **TIPO 2** (Opere ordinarie) → Vita Nominale: $V_N \geq 50$ anni
- **CLASSE II** (Normali affollamenti) → Coefficiente d'uso: $C_u = 1.0$

Risulta quindi un **periodo di riferimento** per l'azione sismica pari a: **$V_R = 50$ anni**

Le strutture sono situate nel **Comune di Milano**.

In base alla classificazione del Bollettino Ufficiale Regione Lombardia serie ordinaria n.29 del 16 luglio 2014 il sito di costruzione dell'opera è classificato in **zona 3**.

Facendo riferimento alla classificazione dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia che stabilisce i valori di pericolosità sismica del territorio nazionale a seguito della Ordinanza P.C.M. 28-04-2006 n°3519 considerando infine le indicazioni del Bollettino Ufficiale Regionale, si può procedere alla definizione dei parametri dell'azione sismica di progetto nel modo seguente.

Con riferimento al sito e in relazione ad una probabilità di superamento nel periodo di riferimento $P_{VR} = 10\%$ (corrispondente allo **Stato Limite di Salvaguardia della Vita - SLV**), si ottengono i seguenti parametri per la determinazione delle azioni sismiche di progetto finalizzate alle verifiche ultime di resistenza:

- Accelerazione orizzontale massima attesa in sito: **$a_g/g = 0.0547$**
- Fattore di amplificazione dello spettro: $F_0 = 2.64$
- Periodo inizio tratto spettro a velocità costante: $T^*_C = 0.28$

Considerando una probabilità di superamento nel periodo di riferimento $P_{VR} = 63\%$ propria dello **Stato Limite di Danno - SLD**, si ottengono i seguenti parametri per la determinazione delle azioni sismiche per le verifiche di deformabilità in esercizio:

- Accelerazione orizzontale massima attesa in sito: **$a_g/g = 0.026$**
- Fattore di amplificazione dello spettro: $F_0 = 2.56$
- Periodo inizio tratto spettro a velocità costante: $T^*_C = 0.19$

4 MATERIALI E TERRENI

4.1 MATERIALI

Per la realizzazione delle strutture di cui sopra si prescrive l'impiego dei seguenti materiali.

4.1.1 Calcestruzzi per fondazioni

Si impiegano calcestruzzi confezionati con cemento **R32.5**:

- | | | |
|----------------------------|-----------------|------------|
| ▪ Classe di resistenza: | C 25/30 | (R'ck 300) |
| ▪ Classe di esposizione: | XC 2 | |
| ▪ Consistenza al getto: | S3 | |
| ▪ Diametro massimo inerti: | 20-22 mm | |

4.1.2 Acciai in tondo per opere in c.a.

- | | | |
|------------------------------------------|---------------|----------|
| ▪ Barre ad aderenza migliorata - acciaio | B 450C | (FeB44k) |
| ▪ Reti elettrosaldate - acciaio tipo | B 450C | (FeB44k) |

4.1.3 Acciai per profili metallici

- | | | |
|----------------|--------------|---------|
| ▪ Acciaio tipo | S 235 | (Fe360) |
|----------------|--------------|---------|

4.1.4 Acciai per piatti e piastre

- | | | |
|----------------|--------------|---------|
| ▪ Acciaio tipo | S 235 | (Fe360) |
|----------------|--------------|---------|

4.1.5 Bulloneria corrente

- | | |
|------------------------------------|------------|
| ▪ Viti ad alta resistenza - classe | 8.8 |
| ▪ Dadi ad alta resistenza - classe | 8 |

4.2 TERRENI IN SITO

Non essendo stata effettuata la misura diretta della propagazione delle onde di taglio, ai fini della definizione dell'azione sismica si classifica il terreno sulla base dei risultati delle prove penetrometriche eseguite in vicinanza. La classificazione sismica del sottosuolo è la seguente:

- | | | |
|-----------------------------------|-----------|-----------------------------------------------|
| ▪ Categoria di sottosuolo: | C | (terreni a grana grossa mediamente addensati) |
| ▪ Condizioni Topografiche: | T1 | (Superficie pianeggiante) |

In funzione della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche viene definito il **Coefficiente di Suolo S** che amplifica gli spettri di risposta sismici (par. 3.2.3.2.1), a priori variabile se si considera lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) in condizioni ultime o se si considera lo Stato Limite di Danno (SLD) in esercizio.

Stato Limite di Salvaguardia della Vita - SLV

- | | | | | |
|------------------------------------------------------|-------|---|------|--------------------------|
| ▪ Coefficiente amplificazione Topografica: | S_T | = | 1.00 | (Tab. 3.2.VI) |
| ▪ Coefficiente Categoria Sottosuolo: | C_C | = | 1.60 | (Tab. 3.2.V) |
| ▪ Periodo inizio tratto spettro a velocità costante: | T_C | = | 0.45 | ($C_C \cdot T^*_{C1}$) |
| ▪ Coefficiente amplificazione Stratigrafica: | S_S | = | 1.50 | (Tab. 3.2.V) |
| ▪ Coefficiente di Suolo SLV: | S | = | 1.50 | ($S_S \cdot S_T$) |

Stato Limite di Danno - SLD

▪ Coefficiente amplificazione Topografica:	S_T	= 1.00	(Tab. 3.2.VI)
▪ Coefficiente Categoria Sottosuolo:	C_C	= 1.82	(Tab. 3.2.V)
▪ Periodo inizio tratto spettro a velocità costante:	T_C	= 0.345	$(C_C \cdot T^*_C)$
▪ Coefficiente amplificazione Stratigrafica:	S_S	= 1.50	(Tab. 3.2.V)
▪ Coefficiente di Suolo SLD:	S	= 1.50	$(S_S \cdot S_T)$

5 RELAZIONE DI CALCOLO

5.1 MODELLAZIONE E ANALISI DELLA STRUTTURA

Per la valutazione delle sollecitazioni indotte sui telai sia dei carichi verticali che orizzontali si è scelto di utilizzare sia modelli a EF con il software di calcolo Mastersap Top 2013 SP0.2 dello Studio Software AMV di Ronchi dei Legionari (Gorizia) sia, vista la semplicità delle strutture, a una valutazione mediante calcolo manuale. L'azione sismica è stata valutata mediante analisi statica equivalente.

I vincoli alla base sono stati modellati come incastri, per quanto riguarda il vincolo trave colonna è stato modellato come un incastro per i telai di tipo 1 e come una cerniera per i telai di tipo 2. Il vincolo di apprensione fra i profili secondari e le travi è stato modellato come una cerniera.

5.2 CARICHI STATICI DI PROGETTO

Di seguito vengono riportati i carichi statici agenti sulla struttura considerati nelle analisi. Ai fini dell'applicazione dei coefficienti parziali di sicurezza nelle combinazioni di carico, i carichi riportati sono da intendersi come caratteristici.

5.2.1 Sovraccarichi permanenti

▪ Copertura

Pannelli sandwich	= 20 kg/mq	
<u>Massetto</u>	<u>= 160 kg/mq</u>	(800 x 0,20)
Carico permanente – escluso p. proprio	= 180 kg/mq	

Il vetro, in quanto di peso inferiore rispetto al pacchetto della restante parte, non è stato distinto nel calcolo delle sollecitazioni; tale assunzione garantisce di essere a favore di sicurezza.

5.2.2 Sovraccarichi accidentali

Azione della neve:

▪ Copertura

Carico da neve (Par. 3.4)	= 120 kg/mq
----------------------------	-------------

Azione del vento:

I parametri utilizzati per il calcolo dell'azione del vento sono i seguenti:

- Velocità di riferimento:	v_b	= 25 m/s
- Categoria di esposizione:	V (Classe di rugosità A)	
- Coefficiente di forma:	C_p	= 1.2
- Coefficiente dinamico:	C_d	= 1.0

Considerando l'altezza della struttura si sono ottenuti i seguenti risultati:

- Altezza :	H	= 4.25 m
- Coefficiente di esposizione:	C_e	= 1.48
- Pressione vento:	p	= 70 kg/mq

A favore di sicurezza si considera una pressione del vento pari a 120 kg/mq.

5.3 COMBINAZIONI DI CARICO

Sono state applicate alla struttura combinazioni di carico allo stato limite ultimo e di esercizio.

Le combinazioni di carico SLU e SLE statiche (in assenza di azioni sismiche) sono ottenute mediante diverse combinazioni dei carichi permanenti ed accidentali in modo da considerare tutte le situazioni più sfavorevoli agenti sulla struttura (par. 2.5.3). I carichi accidentali vengono applicati mediante opportuni coefficienti parziali di combinazione, considerando l'eventualità più gravosa per la sicurezza della struttura. Allo SLU le azioni caratteristiche vengono incrementate con l'applicazione dei coefficienti di amplificazione definiti al par. 2.6.1.

In sede di dimensionamento vengono valutate tutte le condizioni di lavoro statico derivanti dall'alternanza dei carichi variabili, i cui effetti si sovrappongono a quelli dei pesi propri e dei carichi permanenti.

Le **combinazioni di carico statiche** applicate globalmente alla struttura sono le seguenti.

1 combinazione di carico allo Stato limite Ultimo:

- Combinazione n° 1 - SLU Carichi verticali

1 combinazione di carico allo Stato limite di Esercizio:

- Combinazione n° 2 - SLE Rara

Si sono inoltre considerate le sollecitazioni indotte dal vento:

1 combinazione di carico allo Stato limite Ultimo Vento direzione del portale (Vx):

- Combinazione n° 3 - SLU Vento direzione portale

1 combinazione di carico allo Stato limite Ultimo Vento direzione del portale (Vy):

- Combinazione n° 4 - SLU Vento direzione trasversale rispetto al portale

Le azioni sismiche sono valutate in conformità a quanto stabilito dalle norme e specificato nel paragrafo sulle azioni. Per il calcolo del sistema di forze orizzontali, sono state considerate le masse e la combinazione delle azione sismiche con i carichi gravitazionali come specificato al par. 3.2.4.

La componente verticale dell'azione sismica non viene presa in considerazione, non ricadendo la struttura nella casistica del par. 7.2.1. Come previsto dalla norma al par. 7.3.5, il sistema di forze sismiche orizzontali viene applicato alla struttura secondo la seguente espressione:

$$1.00 \cdot E_x + 0.30 \cdot E_y$$

applicando quindi l'azione sismica in una delle due direzioni principali ortogonali della struttura X e Y combinata con il 30% dell'azione nell'altra direzione, con rotazione dei versi e dei coefficienti moltiplicativi.

1 Combinazione di Carico Sismica in direzione dei portali:

- Combinazione n° 5 - Dinamica SLV Sisma

1 Combinazione di Carico Sismica in direzione trasversale rispetto ai portali:

- Combinazione n° 6 - SLD Sisma

5.4 VERIFICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Le procedure di verifica utilizzate seguono il **metodo semiprobabilistico degli stati limite ultimi e di esercizio**.

La **verifica** nei riguardi degli **SLU di resistenza e di stabilità** è espressa dall'equazione formale:

$$R_D \geq E_D$$

Dove:

R_D è il **valore di progetto della resistenza** dell'elemento considerato, calcolato assumendo le resistenze ultime dei materiali strutturali.

E_D è il **valore di progetto della sollecitazione**, calcolato amplificando le azioni caratteristiche per ricondursi a condizioni di carico ultime.

La **verifica** di sicurezza nei confronti dello **SLE** si esprime controllando aspetti di funzionalità quali la **deformazione** delle membrature, gli **spostamenti** e le deformazioni dei collegamenti, applicando le sollecitazioni indotte dalle azioni caratteristiche.

Si attesta che tutte le **verifiche degli elementi strutturali** sono **positive** con adeguato margine di sicurezza.

5.4.1 Verifica delle sollecitazioni del terreno di fondazione

Per la trave di fondazione si sono considerate le massime sollecitazioni agenti al piede. I carichi dei pilastri agiscono sulla trave in posizione eccentrica, in più la presenza del vincolo di incastro comporta l'aggiunta anche di sollecitazioni flettenti vere e proprie. Nella modellazione svolta per tenere conto di tale aspetto si è ridotta la larghezza di impronta della fondazione stessa, considerando che la presenza di una rotazione porta una parte della sezione a non collaborare alla ripartizione del carico ma a costituire unicamente un contrappeso (fondamentale per evitare ribaltamenti). La trave di fondazione è stata modellata dunque come una trave su suolo elastico di sezione di 70x60 cm.

Si è quindi ricavata la pressione sul terreno:

$$\sigma_{T \text{ MAX}} = 0.7 \text{ kg/cm}^2$$

Il valore di tale pressione è ridotto e sicuramente supportabile dal terreno, di conseguenza risulta soddisfatta.

5.4.2 Verifiche di resistenza fondazione - Combinazione SLU

In questo paragrafo vengono riportati i risultati delle verifiche di resistenza delle fondazione delle scale. I valori da verificare sono stati valutati mediante la modellazione della trave di fondazione.

La sezione di verifica risulta pari a 70x60cm. Tale assunzione, sicuramente conservativa, deriva dalle considerazioni fatte sulla presenza di azioni eccentriche.

VERIFICA DI RESISTENZA (SLU) A FLESSIONE - APPOGGIO

Armatura long. superiore: 4Φ16 (copriferro 3.5cm)

Armatura long. inferiore: 4Φ16 (copriferro 3.5cm)

Momento flettente sollecitante:

$$M_{Ed} = 3287 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

Momento flettente resistente della sezione:

$$M_{Rd} = 17356 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$\text{La verifica risulta soddisfatta: } M_{Ed} / M_{Rd} = 0.19 < 1$$

5.4.3 Verifiche Pilastro

▪ TELAIO TIPO 1- INCASTRO – Combinazione SLU Carichi Verticali

VERIFICA DI RESISTENZA (SLU) A PRESSO-FLESSIONE

Sezione: IPE450

Azione assiale sollecitante: N_{Ed} = 8085 kg

Momento flettente in Y sollecitante: M_{y-Ed} = 6364,5 kgm

CLASSIFICAZIONE PER FLESSIONE DEL PROFILO

Classe IPE450 a flessione: **CLASSE 1**
 Acciaio S 235: Coefficiente $\varepsilon = 1.00$
 Coefficiente per parti compresse: $c / t / \varepsilon = 6.51 < 10$

Momento flettente in Z resistente: $M_{Ny-Rd} = 38088 \text{ kg}\cdot\text{m}$

La verifica risulta soddisfatta: $M_{y-Ed} / M_{Ny-Rd} = 0.17 < 1$

▪ **TELAIO TIPO 2 – INCASTRO – Combinazione SLU Azione del Vento direzione x**

VERIFICA DI RESISTENZA (SLV) A PRESSO-FLESSIONE

Sezione: IPE450

Azione assiale sollecitante: $N_{Ed} = 4199 \text{ kg}$

Momento flettente in Y sollecitante: $M_{y-Ed} = 2537 \text{ kg}\cdot\text{m}$

CLASSIFICAZIONE PER FLESSIONE DEL PROFILO

Classe HEB200: **CLASSE 1**
 Acciaio S 235: Coefficiente $\varepsilon = 1.00$
 Coefficiente per parti compresse: $d / t / \varepsilon = 6.67 < 10$

Momento flettente in Z resistente: $M_{Nz-Rd} = 14380 \text{ kg}\cdot\text{m}$

La verifica risulta soddisfatta: $M_{y-Ed} / M_{Ny-Rd} = 0.18 < 1$

▪ **TELAIO TIPO 2 – INCASTRO – Combinazione SLU sisma direzione y**

VERIFICA DI RESISTENZA (SLV) A PRESSO-FLESSIONE

Sezione: HEB200

Azione assiale sollecitante: $N_{Ed} = 4199 \text{ kg}$

Momento flettente in Y sollecitante: $M_{y-Ed} = 770 \text{ kg}\cdot\text{m}$

Momento flettente in Z sollecitante: $M_{z-Ed} = 1803 \text{ kg}\cdot\text{m}$

CLASSIFICAZIONE PER FLESSIONE DEL PROFILO

Classe HEB200: **CLASSE 1**
 Acciaio S 235: Coefficiente $\varepsilon = 1.00$
 Coefficiente per parti compresse: $d / t / \varepsilon = 6.67 < 10$

Azione assiale resistente: $N_{Rd} = 174795 \text{ kg}$

Momento flettente in Y resistente: $M_{Ny-Rd} = 14380 \text{ kg}\cdot\text{m}$

Momento flettente in Z resistente: $M_{Nz-Rd} = 6844 \text{ kg}\cdot\text{m}$

La verifica risulta soddisfatta:

$$(M_{y-Ed} / M_{Ny-Rd})^2 + (M_{Nz-Ed} / M_{Nz-Rd})^2 = 0.27 < 1$$



5.4.4 Verifica Travi

TELAIO TIPO 1– Verifica allo svergolamento mezzeria Combinazione SLU Carichi Verticali

VERIFICA DI RESISTENZA SVERGOLAMENTO

Sezione: IPE450

Azione assiale sollecitante: N_{Ed} = 5117 kg
Momento flettente in Y sollecitante: M_{Y-Ed} = 11831 kg·m
Momento flettente in Z sollecitante: M_{Z-Ed} = 200 kg·m (eventuale vento radente)

Parametri geometrici Luce 11,70 m
Punto applicazione carico - 0,225 m

CLASSIFICAZIONE PER SVERGOLAMENTO DEL PROFILO

Classe IPE450: **CLASSE 3**
(verifica svergolamento si considera la classe dell'anima)
Acciaio S 235: Coefficiente ε = 1.00
Coefficiente per parti compresse: $d / t / \varepsilon$ = $42 < 50$

La verifica risulta soddisfatta:

$$(N_{Ed} / N_{Rd}) + (k_{lt} M_{Y-Ed} / M_{N_{Y-Rd}}) + (k_z M_{Z-Ed} / M_{N_{Z-Rd}})^2 = 0.60 < 1$$

TELAIO TIPO 2– Verifica allo svergolamento mezzeria Combinazione SLU Carichi Verticali

VERIFICA DI RESISTENZA SVERGOLAMENTO

Sezione: IPE450

Momento flettente in Y sollecitante: M_{Y-Ed} = 17085 kg·m
Momento flettente in Z sollecitante: M_{Z-Ed} = 200 kg·m (eventuale vento radente)

Parametri geometrici Luce 10.00 m
Punto applicazione carico - 0,225 m

CLASSIFICAZIONE PER SVERGOLAMENTO DEL PROFILO

Classe IPE450: **CLASSE 3**
(verifica svergolamento si considera la classe dell'anima)
Acciaio S 235: Coefficiente ε = 1.00
Coefficiente per parti compresse: $d / t / \varepsilon$ = $42 < 50$

La verifica risulta soddisfatta:

$$(N_{Ed} / N_{Rd}) + (k_{lt} M_{Y-Ed} / M_{N_{Y-Rd}}) + (k_z M_{Z-Ed} / M_{N_{Z-Rd}})^2 = 0.70 < 1$$

TELAIO TIPO 1– Verifica deformabilità Combinazione rara

Freccia:

$$\delta_{MAX} = 2,2 \text{ cm}$$

La verifica risulta soddisfatta: $\delta_{MAX} / L = 1/530 < 1 / 250$

TELAIO TIPO 2– Verifica deformabilità Combinazione rara



Freccia:

$$\delta_{MAX} = 2,04 \text{ cm}$$

La verifica risulta soddisfatta: $\delta_{MAX} / L = 1/490 < 1 / 250$

TELAIO TIPO 2- Verifica incastro Combinazione SLU Carichi Verticali

VERIFICA DI RESISTENZA UNIONE BULLONATA

Per la verifica della connessione, si procede valutando l'azione assiale massima agente sui bulloni di collegamento e si confronta questa con la massima resistenza di calcolo a trazione del bullone stesso, valutata secondo quanto specificato in normativa (NTC2008 Par. 4.2.8.1.1).

Azione sollecitante:

$$N_{BULLONE} = 12183 \text{ Kg}$$

$$T_{BULLONE} = 640 \text{ Kg}$$

Resistenza del bullone:

$$F_{T,Rd} = 20333 \text{ Kg}$$

$$F_{V,Rd} = 9408 \text{ Kg}$$

La verifica risulta soddisfatta: $N_{BULLONE} / F_{T,Rd} = 0.66 < 1$

TELAIO TIPO 1- Verifica perno Combinazione SLU Carichi Verticali

VERIFICA DI RESISTENZA PERNO

Per la verifica della connessione, si calcola il massimo taglio agente sul perno di collegamento e si confronta questa con la massima resistenza di calcolo, valutata secondo quanto specificato in normativa (NTC2008 Par. 4.2.8.1.2).

Azione di taglio sollecitante:

$$T_{PERNO} = 5800 \text{ Kg}$$

Azione assiale resistente del bullone:

$$F_{V,Rd} = 21986 \text{ Kg}$$

La verifica risulta soddisfatta: $N_{PERNO} / F_{T,Rd} = 0.26 < 1$

5.4.5 Verifiche Secondari

In questo paragrafo si riportano i risultati delle verifiche di resistenza e deformabilità dei profili secondari. Questi sono soggetti ad un carico distribuito su tutta la loro lunghezza. La combinazione considerata per la verifica di resistenza è quella per i carichi verticali in quanto più gravosa.

I profili utilizzati sono UPN160. Si riportano di seguito verifiche effettuate.

CLASSIFICAZIONE PER FLESSIONE DEL PROFILO

Classe UPN160 a flessione: **CLASSE 1**

Acciaio S 235: Coefficiente $\varepsilon = 1.00$

Coefficiente per anima inflessa: $h / t_w / \varepsilon = 15.52 < 72$

Coefficiente per ala compressa: $b / t_f / \varepsilon = 6.19 < 10$



VERIFICA DI RESISTENZA (SLU) CAMPATA

Momento flettente sollecitante:

$$M_{Ed} = 808 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

Momento flettente resistente della sezione:

$$M_{cRd} = 1089 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

La verifica risulta soddisfatta: $M_{Ed} / M_{cRd} = 0.26 < 1$

VERIFICA DI DEFORMABILITÀ (SLE RARA)

Freccia allo sbalzo con pianerottolo di sbarco:

$$\delta_{MAX} = 0.36 \text{ cm}$$

La verifica risulta soddisfatta: $\delta_{MAX} / L = 1/937 < 1 / 250$

5.5 ALLEGATI

- **ALLEGATO 1** – Verifica Fondazioni
- **ALLEGATO 2** – Diagrammi di sollecitazioni sul telaio tipo 1
- **ALLEGATO 3** – Verifica Pilastri
- **ALLEGATO 4** – Verifica Travi e profili secondari

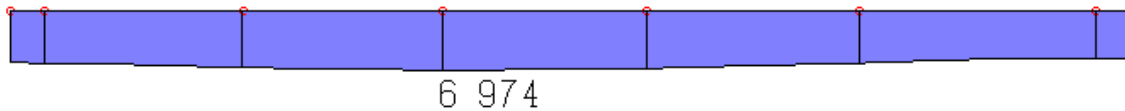


ALLEGATO 1 – VERIFICA FONDAZIONI

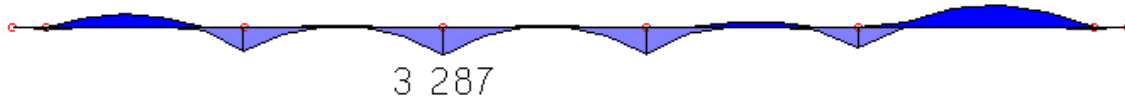


VERIFICA TRAVE DI FONDAZIONE

Pressioni al suolo SLE:



Momento Flettente sulla Trave SLU:



Verifica resistenza flessione sezione SLU:

AMV s.r.l.
Via San Lorenzo, 106 Tel. 0481/779903
34077 Ronchi dei Legionari (GO)

INTERSTAZIONE E DATI CARATTERISTICI DEL LAVORO

Nome archivio di lavoro :
Intestazione del lavoro : TRAVE DI FONDAZIONE
Unità misura Forza : kg
Unità misura Lunghezza : cm

Contorno (Cls)
Coordinate vertici
z' y'
-35.00 -30.00
-35.00 30.00
35.00 30.00
35.00 -30.00

Risultati:
z'g (baricentro) = 0.00
y'g (baricentro) = 0.00
Angolo principale = 0.0

Area = 4200.00

Parametri di calcolo
Normativa: NTC-2008
Versione: 14 Gennaio 2008
Rck = 300 fyk = 4580 fykp = 16300

Sollecitazioni agenti
Sforzo normale N = 0.000
Momento flettente Mz = 328700.000
Momento flettente My = 0.000

Sollecitazioni resistenti di calcolo
Sforzo normale N = -0.598
Momento flettente Mz = 1735641.071
Momento flettente My = -0.472



Indice di resistenza s.l.u: 0.19

Campo di rottura della sezione: 2

Valore dello sforzo normale di compressione centrata con incremento del 25% del coefficiente di sicurezza parziale relativo al calcestruzzo

N,min = -538122

inferiore ad N resistente = -0.598311

Asse neutro

z'	y'	ang
0.00	24.38	180.0

Legame costitutivo 'parabola-rettangolo': -0.0020 / -0.0035
con tensione massima di compressione: -141.09

Deformazioni e tensioni nel calcestruzzo

z'	y'	Def(%)	Tens
-35.0	-30.0	1.07	allungamento
-35.0	30.0	-0.11	-112.8
35.0	30.0	-0.11	-112.8
35.0	-30.0	1.07	allungamento

Deformazione massima nel calcestruzzo

z'	y'	Def(%)	Tens
-35.0	30.0	-0.11	-112.8

Legame costitutivo dell'acciaio ordinario

Def(),a	Tens,a
0.00	0.0
0.19	3982.6

Deformazioni e Tensioni nell'Acciaio Ordinario

z'	y'	d	Def(%)	Tens
-31.5	-26.5	16.0	1.00	3982.6
-31.5	26.5	16.0	-0.04	-874.4
31.5	26.5	16.0	-0.04	-874.4
31.5	-26.5	16.0	1.00	3982.6
-10.5	-26.5	16.0	1.00	3982.6
10.5	-26.5	16.0	1.00	3982.6
-10.5	26.5	16.0	-0.04	-874.4
10.5	26.5	16.0	-0.04	-874.4

Barra di acciaio ordinario più tesa

z'	y'	d	Def(%)	Tens
31.5	-26.5	16.0	1.00	3982.6



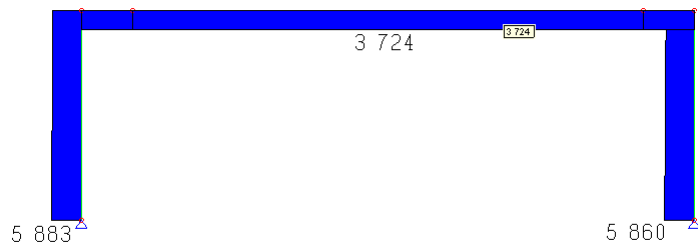
ALLEGATO 2 – DIAGRAMMA DI SOLLECITAZIONI TELAIO TIPO 1



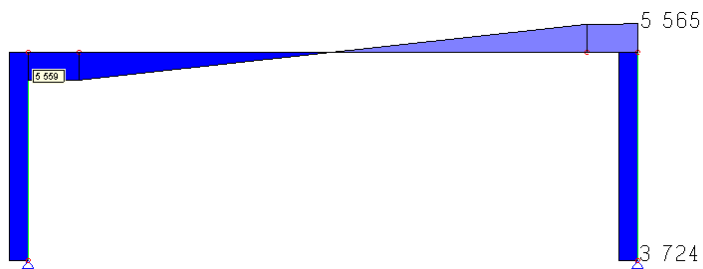
Diagrammi di Sollecitazione Telaio tipo 1

Carichi verticali SLE

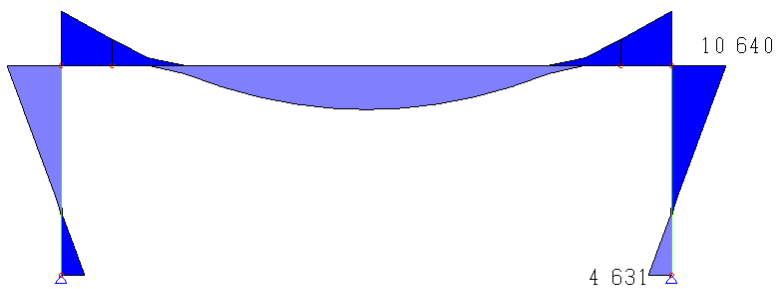
Azione Assiale [kg]



Azione di Taglio [kg]



Momento Flettente [kgm]

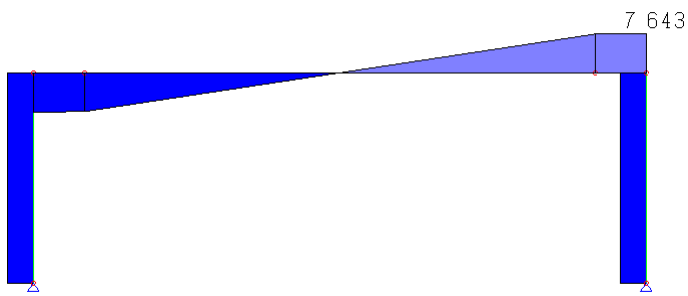


Carichi Verticali SLU

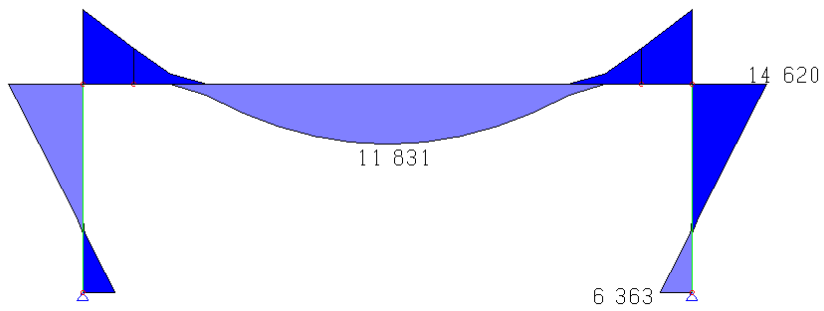
Azione Assiale [kg]



Taglio [kg]



Momento Flettente [kgm]

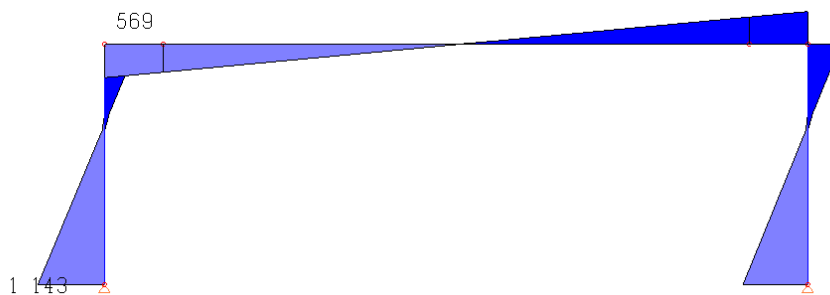


Carichi Orizzontali Vento

Taglio [kg]



Momento [kgm]





ALLEGATO 3– VERIFICA PILASTRI

Verifiche sezionali Pilastri

Pilastro telaio TIPO 1

SLU carichi verticali

Verifica di res. per PRESSO-FLESSIONE SEMPLICE asse y-y - PROFILI A DOPPIO T e a U				
Elemento: telaio 1 sezione incastro				
Profilo IPE450		Acciaio S235		N progetto (SLU) Ned [kg] 8.085
				M progetto (SLU) Med yy [kg m] 6.365
CLASSE 1		M Res. plastico (ridotto per N) Mn,Rd yy [kg m] 38.088		MEd / Mn,Rd 0,17 < 1 VERIFICATO

Pilastro telajo TIPO 1

SLU Vento direzione x

Verifica di res. per PRESSO-FLESSIONE SEMPLICE asse y-y - PROFILI A DOPPIO T e a U						
Elemento: telaio2 Sezionbe incastro SLU Vento direzione x						
Profilo HEB200		Acciaio S235	N progetto (SLU) Ned [kg] 4.199		M progetto (SLU) Med yy [kg m] 2.537	
CLASSE 1		M Res. plastico (ridotto per N) Mn,Rd yy [kg m] 14.380			MEd / Mn,Rd 0.18 < 1 VERIFICATO	

Azione Sismica direzione y

Verifica di resistenza per PRESSO-FLESSIONE DEVIATA - <u>PROFILI A DOPPIO T e a U</u>						
Elemento: Zzz... Zzz... Zzz...						
Profilo		Acciaio	N progetto (SLU)		M progetto (SLU) intorno Y e Z [kg m]	
HEB200		S235	Ned [kg]	3.230	Med yy	770 Med zz 1.803
CLASSE	N Resistente		M Res. plastico in Y (rid. x N)		M Res. plastico in Z (rid. x N)	
1	Npl,Rd [kg]	174.795	Mn,Rd yy [kg m]	14.380	Mn,Rd zz [kg m]	6.844
Coefficiente n		(My,Ed / Mn,y,Rd)^2 + (Mz,Ed / Mn,z,Rd)^5n				0.27
NEd/NRd		0.02	< 1 VERIFICATO			



ALLEGATO 4 : VERIFICA TRAVI E PROFILI SECONDARI



Verifiche sezionali Travi

Trave Telaio tipo 1:

Verifica allo svergolamento SLU

Resistenza della membratura all'instabilità flessio-torsionale - EC3 (edizione 1992) ...

IPE 450
Acciaio S235 (Fe360)
fy (N/mm2) 235
za [mm] -225 L [m] 11,7 = I0z [m]
Coefficienti C
? Momenti all'estremità ? Carichi trasversali
C1 0,712 C2 0,652 C3 1,07
Coefficienti di lunghezza efficace
k 0,5 kv 1

Momento resistente di progetto all'instabilità flessio-torsionale (solo My) - EC3 #5.5.2.

Mer [kNm] = 318,6 Me,Rd [kNm] = 380,9
 $\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{e,Rd} \gamma_{M0}}{M_{cr}}} = 1,120 \quad \chi_{LT} = 0,582 \quad M_{b,Rd} [kNm] = 221,7$

Resistenza all'instabilità flessio torsionale (flessione e compressione)- Classe 1/2 - EC3 #5.5.4. (2)

NSd [kN] 51,2 Msd [kNm] 118,31 Mzs, Sd [kNm] 2

$$\frac{N_{Sd}}{N_{bz,Rd}} + \frac{k_{LT} M_{Sd}}{M_{b,Rd}} + \frac{k_z M_{z,Sd}}{M_{cz,Rd1}} = \frac{51,2}{2,212} + \frac{1 \times 118,3}{221,7} + \frac{0,988 \times 2}{61,86}$$
$$= 0,023 + 0,534 + 0,032 = 0,589$$

OK

Trave Telaio tipo 2

Verifica allo svergolamento SLU

Resistenza della membratura all'instabilità flessio-torsionale - EC3 (edizione 1992) ...

IPE 450
Acciaio S235 (Fe360)
fy (N/mm2) 235
za [mm] -225 L [m] 10 = I0z [m]
Coefficienti C
? Momenti all'estremità ? Carichi trasversali
C1 1,285 C2 1,562 C3 0,753
Coefficienti di lunghezza efficace
k 1 kv 1

Momento resistente di progetto all'instabilità flessio-torsionale (solo My) - EC3 #5.5.2.

Mer [kNm] = 411,8 Me,Rd [kNm] = 380,9
 $\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{e,Rd} \gamma_{M0}}{M_{cr}}} = 0,986 \quad \chi_{LT} = 0,676 \quad M_{b,Rd} [kNm] = 257,4$

Resistenza all'instabilità flessio torsionale (flessione e compressione)- Classe 1/2 - EC3 #5.5.4. (2)

NSd [kN] 0 Msd [kNm] 171 Mzs, Sd [kNm] 2

$$\frac{N_{Sd}}{N_{bz,Rd}} + \frac{k_{LT} M_{Sd}}{M_{b,Rd}} + \frac{k_z M_{z,Sd}}{M_{cz,Rd1}} = \frac{0}{2,212} + \frac{1 \times 171}{257,4} + \frac{1 \times 2}{61,86}$$
$$= 0 + 0,664 + 0,032 = 0,697$$

OK



Profilo secondario:

Verifica allo SLU

Verifica di resistenza per FLESSIONE SEMPLICE asse forte y-y - PROFILI A DOPPIO T e a U					
Elemento: VERIFICA PROFILO HEB400 - Zona n24-25					
Profilo	Acciaio	f_{yk} [kg/cm ²]	f_{tk} [kg/cm ²]	M progetto (SLU)	
UPN160	S235	2.350	3.600	Med _{yy} [kg m]	808
Caratteristiche geometriche profilo		Fori per bullonature		Verifica foratura delle ali	
Modulo plastico-Wply	138,0 [cm ³]	Sull'ala (solo una)		0,9*Af _{net} *f _{tk} /γM2 [kg]	
Modulo elastico-Wely	116,0 [cm ³]			Af * f _{yk} / γM0 [kg]	
Larghezza - b	65,0 [mm]	Φ [mm]			
Spessore ali - t _f	10,5 [mm]				
A ala lorda - Af	6,8 [cm ²]				
A ala netta - Af _{net}	6,8 [cm ²]				
CLASSE	M Resistente flessione retta		MEd / Mc,Rd		0,26
1	Mc,Rd _{yy} [kg m]		3.089		<1 VERIFICATO

Verifica allo SLE

Trave: Profili secondari									
Caratt. trave [m]		Carico distribuito [kg/mq]		Carico lineare [kg/ml]		Carico concentrato [kg,m]			
Lunghezza	Influenza	peso proprio	0,00	peso proprio	0,00	dist. app. sx.			
3,40	1,35	permanente	180,00	permanente	243,00	permanente			
Profilo	Acc. tipo	accidentale	120,00	accidentale	162,00	accidentale			
UPN160	Fe360	totale	300,00	totale	405,00	totale			0,00
Caratt. meccaniche acciaio [kg,cm]			Caratteristiche geometriche della sezione [cm]						
σ amm.	τ amm.	modulo E	altezza	larghezza	area	sp. anima	momento J	modulo W	
1.600,00	923,00	2.100.000,00	16,00	6,50	24,00	0,75	925,00	116,00	
Momento flettente [Kgm]				Taglio [Kg]					
carico	distribuito	concentrato	totale	carico	distribuito	concentrato	totale		
p.p. + perm.	351,14	0,00	351,14	p.p. + perm.	413,10	0,00	413,10		
accidentale	234,09	0,00	234,09	accidentale	275,40	0,00	275,40		
totale	585,23	0,00	585,23	totale	688,50	0,00	688,50		
Verifica tensioni [Kg/cmq]				Freccia massima f [cm]				Indice L/f	
carico tot.	σ MAX	τ MAX		carico	distribuito	concentrato	totale	totale	
p.p. + perm.	302,70	34,43		p.p. + perm.	0,22	0,00	0,22	1.562	
accidentale	201,80	22,95		accidentale	0,15	0,00	0,15	2.343	
totale	504,50	57,38		totale	0,36	0,00	0,36	937	