

COMUNE DI CARRARA
PROVINCIA DI MASSA CARRARA



CODICE ELABORATO

P D S T 1 1 0 1

PROGETTO DEFINITIVO

CAPOGRUPPO

DOTT. ING. GIUSEPPE CERVAROLO

SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO
"M. BUONARROTI"

REALIZZAZIONE DI UNA NUOVA SCUOLA PREVIA
DEMOLIZIONE DEL FABBRICATO ESISTENTE.
CUP: F86F22000160001



MANDANTI

ING. ANNA MARIA MIRACCO



ING. CARMELO FRANCESCO OLIVA



COMMITTENTE

R.U.P.

COMUNE DI CARRARA
SETTORE OPERE PUBBLICHE/PATRIMONIO
U.O. EDILIZIA PUBBLICA

GEOM. RICCARDO GASPAROTTI

PIAZZA 2 GIUGNO 1
54033 CARRARA (MS)
TEL. 0585 641287 – Fax 0585 777732

FINANZIAMENTO



**Finanziato
dall'Unione europea**

PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
(PNRR)

MISSIONE 5 - COMPONENTE 2
INVESTIMENTO / SUB-INVESTIMENTO 2.1
M5C2 - INFRASTRUTTURE SOCIALI - FAMIGLIE,
COMUNITÀ E TERZO SETTORE

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	ESEGUITO	CONTROLLATO	APPROVATO
A	APRILE 2023	EMISSIONE PROGETTO DEFINITIVO	ING. G. CERVAROLO	ING. G. CERVAROLO	ING. G. CERVAROLO
B					
C					

Sommario

PREMESSA.....	1
VERIFICA DI FUNZIONAMENTO DEGLI IMPIANTI (PAR. 7.3.6.3 NTC 2018).....	1
VERIFICA DI STABILITA' DEGLI IMPIANTI (PAR. 7.3.6.3 NTC 2018).....	2
VERIFICA DEL SOLAIO DI COPERTURA.....	4
1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.	4
2. SISTEMA DI RIFERIMENTO.	4
3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	4
Calcestruzzo per getti in opera.....	4
Acciaio per barre di armatura.....	5
4. MODELLI DI CALCOLO.....	5
MODELLO STRUTTURALE IN FASE DI GETTO	5
MODELLO STRUTTURALE IN FASE DI ESERCIZIO	5
5. CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE TRASVERSALE	6
6. ANALISI DEI CARICHI.....	6
6.1. Carichi permanenti - Fase 1	6
6.2. Carichi permanenti - Fase 2	7
6.3. Carichi esercizio - Fase 2	7
7. DATI PER L'ANALISI.....	7
7.1. Geometria struttura.	7
7.1.1. Caratteristiche nodi	7
7.1.2. Caratteristiche aste	8
7.2. Carichi agenti sulla struttura.	8
7.2.1. Carichi concentrati sui nodi - Fase 1	8
7.2.2. Carichi ripartiti sulle aste - Fase 1	8
7.2.4. Carichi ripartiti sulle aste - Fase 2	9
8. COMBINAZIONI DI CARICO	10
9. RISULTATI DI CALCOLO.....	11
9.1. Risultati - FASE 1	12
9.2. Cinematismi nodali.	12
9.3. Sollecitazioni aste.	14
9.4. Reazioni vincolari.	15
9.5. Risultati - FASE 2	17
9.6. Cinematismi nodali.	17
9.7. Sollecitazioni aste.	20

9.8. Reazioni vincolari	24
10. ARMATURA LONGITUDINALE	26
11. VERIFICHE.....	28
11.1. Verifiche SLU - Resistenza - Fase 1	28
11.2. Verifiche - Deformabilità - Fase 1	29
11.4. Verifiche SLU - Flessione - Fase 2	29
Verifiche SLU - Flessione - Fase 2	29
11.5. Verifiche SLU - Taglio - Fase 2.....	31
Verifiche SLU - Taglio - Fase 2.....	31
11.6. Verifiche SLU - Punzonamento.....	32
Verifiche SLU - Punzonamento - Fase 2	32
11.7. Verifiche SLE - Deformabilità - Fase 2	32
Verifiche SLE - Deformabilità - Fase 2	32
PROGETTO DEI SISTEMI DI CONNESSIONE.....	33

PREMESSA

Le vigenti normative impongono di verificare anche gli elementi secondari, come ad esempio i macchinari, le componenti impiantistiche e le tamponature nelle strutture a telaio. Le prescrizioni circa le verifiche da effettuare per gli elementi secondari sono definite nella Tabella 7.3.II delle NTC18 riportata di seguito.

Tab. 7.3.III – Stati limite di elementi strutturali primari, elementi non strutturali e impianti

STATI LIMITE		CU I	CU II			CU III e IV		
		ST	ST	NS	IM	ST	NS	IM ^(*)
SLE	SLO					RIG		FUN
	SLD	RIG	RIG			RES		
SLU	SLV	RES	RES	STA	STA	RES	STA	STA
	SLC		DUT ^(*)			DUT ^(*)		

(*) Per le sole CU III e IV, nella categoria Impianti ricadono anche gli arredi fissi.

(*) Nei casi esplicitamente indicati dalle presenti norme.

Ricadendo in “CU III e IV” sono necessarie le verifiche di stabilità (STA) per gli elementi non strutturali (NS) e gli impianti (IM) nei riguardi dello stato limite di salvaguardia della vita (SLV) nonché la verifica di funzionamento (FUN) degli impianti nei riguardi dello stato limite di operatività (SLO).

VERIFICA DI FUNZIONAMENTO DEGLI IMPIANTI (PAR. 7.3.6.3 NTC 2018)

La presente verifica viene svolta per le strutture parti del progetto in riferimento al punto 7.3.6.3 delle NTC 2018, volto ad assicurare che i diversi elementi funzionali degli impianti siano in grado di resistere alle sollecitazioni a cui sono sottoposti sotto sisma. A tal fine, si prescrive che tutti gli impianti in progetto, afferenti sia il locale servizi che eventuali opere accessorie e successive, siano progettati e/o venga verificato al momento della posa in opera che le relative connessioni siano in grado di sopportare la sollecitazione sismica derivante dalla seguente azione, valutata allo SLO:

$$F_a = S_a \frac{W_a}{q_a}$$

In cui:

- S_a è l’accelerazione massima adimensionalizzata rispetto allo stato limite in oggetto
- W_a è il peso dell’elemento
- q_a è definito nella tabella C.7.2.I riportata di seguito

Valori di q_a per elementi non strutturali (cfr. Tab. C7.2.I D.M. 2018)		
Gruppo	Tipologia di elementi non-strutturali	q_a
1	Parapetti o decorazioni aggettanti Insegne e pannelli pubblicitari Comignoli, antenne e serbatoi su supporti funzionanti come mensole senza controventi per più di metà della loro altezza	1,0
2	Pareti interne ed esterne Tramezzatura e facciate Comignoli, antenne e serbatoi su supporti funzionanti come mensole non controventate per meno di metà della loro altezza o connesse alla struttura in corrispondenza o al di sopra del loro centro di massa Elementi di ancoraggio per armadi e librerie permanenti direttamente poggiati sul pavimento Elementi di ancoraggio per controsoffitti e corpi illuminanti	2,0

Allo stato limite considerato per la verifica, SLO, si ha un'accelerazione massima pari a:

$$S_a = 0.052 \text{ g}$$

Si prescrive di acquisire la verifica degli elementi di ancoraggio dimensionati con la forza così calcolata e di porre in opera tali elementi con materiali conformi a tale accelerazione.

VERIFICA DI STABILITA' DEGLI IMPIANTI (PAR. 7.3.6.3 NTC 2018)

Per ciascuno degli impianti principali, i diversi elementi funzionali costituenti l'impianto, compresi gli elementi strutturali che li sostengono e collegano, tra loro e alla struttura principale, devono avere capacità sufficiente a sostenere la domanda corrispondente allo SL e alla CU considerati.

Come definito nella Tabella 7.3.III delle NTC18 precedentemente riportata, considerata la classe d'uso III e IV, la verifica va eseguita nei riguardi dello stato limite di salvaguardia della vita. La sollecitazione sismica che gli impianti e le diverse componenti degli stessi dovranno sopportare sarà dunque definita dalla relazione:

$$F_a = S_a \frac{W_a}{q_a}$$

In cui:

- S_a è l'accelerazione massima adimensionalizzata rispetto allo stato limite in oggetto
- W_a è il peso dell'elemento
- q_a è definito nella tabella C.7.2.I riportata di seguito

Valori di q_a per elementi non strutturali (cfr. Tab. C7.2.I D.M. 2018)		
Gruppo	Tipologia di elementi non-strutturali	q_a
1	Parapetti o decorazioni aggettanti Insegne e pannelli pubblicitari Comignoli, antenne e serbatoi su supporti funzionanti come mensole senza controventi per più di metà della loro altezza	1,0
2	Pareti interne ed esterne Tramezzatura e facciate Comignoli, antenne e serbatoi su supporti funzionanti come mensole non controventate per meno di metà della loro altezza o connesse alla struttura in corrispondenza o al di sopra del loro centro di massa Elementi di ancoraggio per armadi e librerie permanenti direttamente poggiati sul pavimento Elementi di ancoraggio per controsoffitti e corpi illuminanti	2,0

Allo SLV si ha un'accelerazione massima pari a $S_a = 0.152 \text{ g}$ dunque si prescrive di acquisire la verifica degli elementi di ancoraggio dimensionati con la forza così calcolata e di porre in opera tali elementi con materiali conformi a tale accelerazione.

VERIFICA DI STABILITA' DEGLI ELEMENTI NON STRUTTURALI (PAR. 7.3.6.2 NTC 2018)

Per gli elementi non strutturali devono essere adottati magisteri atti ad evitare la possibile espulsione sotto l'azione della F_a corrispondente allo SL e alla CU considerati.

Gli elementi non strutturali dell'edificio in progetto sono costituiti da pannelli prefabbricati tipo Sistema Knauf Acquapanel.

La verifica di tali pannelli nei riguardi dell'azione sismica è compiuta considerando la forza sismica calcolata come di seguito

$$F_a = S_a \frac{W_a}{q_a}$$

In cui:

- S_a è l'accelerazione massima adimensionalizzata rispetto allo stato limite in oggetto
- W_a è il peso dell'elemento
- q_a è definito nella tabella C.7.2.I riportata di seguito

Valori di q_a per elementi non strutturali (cfr. Tab. C7.2.I D.M. 2018)		
Gruppo	Tipologia di elementi non-strutturali	q_a
1	Parapetti o decorazioni aggettanti Insegne e pannelli pubblicitari Comignoli, antenne e serbatoi su supporti funzionanti come mensole senza controventi per più di metà della loro altezza	1,0
2	Pareti interne ed esterne Tramezzatura e facciate Comignoli, antenne e serbatoi su supporti funzionanti come mensole non controventate per meno di metà della loro altezza o connesse alla struttura in corrispondenza o al di sopra del loro centro di massa Elementi di ancoraggio per armadi e librerie permanenti direttamente poggiati sul pavimento Elementi di ancoraggio per controsoffitti e corpi illuminanti	2,0

Relazione di verifica degli elementi secondari

In particolare per gli elementi non strutturali in oggetto, in accordo alla tabella 7.3.III delle NTC2018, si fa riferimento allo stato limite di salvaguardia della vita per cui si ha $S_a = 0.152g$. Dunque si prescrive di acquisire la verifica degli elementi di ancoraggio dei pannelli dimensionati con la forza così calcolata e di porre in opera tali elementi con materiali conformi a tale accelerazione.

VERIFICA DEL SOLAIO DI COPERTURA

Il solaio previsto per la copertura della struttura ha una sezione strutturale costituita da lamiera grecata e soletta di calcestruzzo collaborante.

1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.

Le calcolazioni e le verifiche, di cui alle pagine seguenti, fanno riferimento alla normativa sotto indicata:

D.M. 17/01/2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni"

2. SISTEMA DI RIFERIMENTO.

Il sistema di riferimento globale (U.C.S.W.) e' un sistema di riferimento levogiro con origine in O e di assi X, Y, e Z.

L'origine O del sistema di riferimento globale coincide con il primo nodo del modello strutturale.

Per la definizione degli assi del U.C.S.W. si consideri il piano verticale avente come traccia il nodo iniziale e quello finale del modello.

La direzione dell'asse X coincide con l'asse orizzontale appartenente a tale piano ed il suo verso coincide con il verso di percorrenza dal nodo iniziale a quello finale della struttura.

L'asse Z coincide con l'asse verticale appartenente a tale piano ed il suo verso è opposto rispetto al verso dell'accelerazione di gravità'.

L'asse Y è tale da formare con gli assi X e Z un sistema levogiro.

3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Calcestruzzo per getti in opera.

Classe : C28/35

Peso proprio cls armato $[\text{daN/m}^3]$: 2400

Resistenza caratteristica cubica R_{ck} $[\text{N/mm}^2]$: 35

Resistenza caratteristica cilindrica f_{ck} $[\text{N/mm}^2]$: 28

Modulo di elasticità normale E_{cm} $[\text{N/mm}^2]$: 32308.3

Fattore di confidenza : 1

Resistenza di calcolo del cls compresso f_{cd} $[\text{N/mm}^2]$: 15.9

Resistenza di calcolo del cls teso f_{ctd} $[\text{N/mm}^2]$: 1.3

Relazione di verifica degli elementi secondari

Acciaio per barre di armatura.

Classe : B450c

Tensione caratteristica di snervamento f_y [N/mm²] : 450

Tensione caratteristica di rottura f_t [N/mm²] : 540

Fattore di confidenza : 1

Resistenza di Calcolo f_d [N/mm²] : 391.3

Modulo elastico : 210000 N/mm²

Acciaio per carpenteria.

Classe : UTENTE

Tensione caratteristica di snervamento f_y [N/mm²] : 250

Tensione caratteristica di rottura f_t [N/mm²] : 330

Tensione caratteristica di snervamento ($t > 40$ mm) f_y [N/mm²] : 250

Tensione caratteristica di rottura ($t > 40$ mm) f_t [N/mm²] : 330

Modulo di elasticità normale E_{cm} [N/mm²] : 210000

4. MODELLI DI CALCOLO.

L'analisi globale del solaio è stata effettuata in campo elastico lineare tanto per le azioni corrispondenti allo stato limite di servizio quanto per quelle allo stato limite ultimo.

MODELLO STRUTTURALE IN FASE DI GETTO

In fase di getto (1^a fase) e fino a quando il calcestruzzo non avrà raggiunto un adeguato livello di maturazione la lamiera grecata svolge la funzione di cassero; in tale fase essa ha il compito di portare il peso proprio, il peso del calcestruzzo fresco e dell'armatura aggiuntiva nonché i carichi definiti per la fase di getto e riportati nelle relative tabelle.

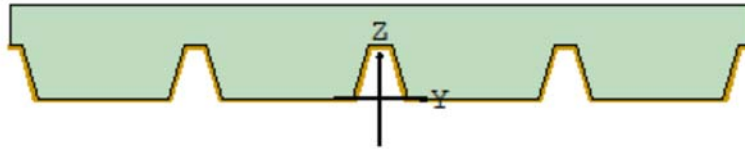
Al fine del calcolo delle caratteristiche di sollecitazione e delle frecce elastiche in fase di getto il modello di calcolo cui si fa riferimento è quello di trave continua su più appoggi. Vengono considerati come appoggi i puntelli eventualmente presenti.

MODELLO STRUTTURALE IN FASE DI ESERCIZIO

In fase di esercizio (2^a fase) e cioè dopo che il calcestruzzo gettato abbia fatto presa ed abbia quindi resa collaborante la sezione composta da lamiera grecata, dall'armatura aggiuntiva e calcestruzzo indurito il nuovo elemento strutturale ha il compito di portare il peso proprio nonché i carichi definiti per la fase d'esercizio e riportati nelle apposite tabelle.

Al fine del calcolo delle caratteristiche di sollecitazione e delle frecce elastiche in fase di esercizio il modello di calcolo cui si fa riferimento è quello di trave continua su più appoggi.

5. CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE TRASVERSALE



La sezione trasversale è larga 84cm; essa è composta da un profilato di lamiera grecata sul quale viene effettuato un getto in calcestruzzo armato; di seguito sono riportate le caratteristiche geometriche:

$B_s = 25 \text{ mm};$

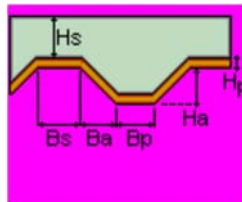
$H_s = 45 \text{ mm};$

$B_a = 17.5 \text{ mm};$

$H_a = 60 \text{ mm};$

$B_p = 150 \text{ mm};$

$H_p = 1 \text{ mm}.$



6. ANALISI DEI CARICHI

Analisi dei carichi agenti su una fascia larga : 84 cm.

6.1. Carichi permanenti - Fase 1

g_1 : carichi permanenti strutturali

g_2 : carichi permanenti non strutturali

Peso proprio profilato LG

$= 9.42 \text{ daN/m}$

g_1

$= 9.42 \text{ daN/m}$

Relazione di verifica degli elementi secondari

Peso proprio getto CLS	= 195 daN/m
Carichi Permanenti Portati	= 0 daN/m
g2	= 195 daN/m

6.2. Carichi permanenti - Fase 2

g1 : carichi permanenti strutturali
g2 : carichi permanenti non strutturali

Peso proprio sezione trasversale	= 204.42 daN/m
g1	= 204.42 daN/m
Carichi Permanenti Portati	= 101.64 daN/m
g2	= 101.64 daN/m

6.3. Carichi esercizio - Fase 2

q : carichi esercizio sulle campate

carichi esercizio sulle campate	= 336 daN/m
q	= 336 daN/m

7. DATI PER L'ANALISI.

L'analisi numerica della struttura è stata condotta attraverso l'utilizzo del metodo degli elementi finiti ipotizzando un comportamento elastico-lineare.

In particolare si sono definiti due modelli (A e B) al fine di riprodurre le fasi costruttive.

Il modello A (utilizzato per la fase 1) ricostruisce la struttura in fase di getto. Il modello B (utilizzato per la fase 2), invece, ricostruisce la struttura in fase di esercizio caratterizzata dalla collaborazione della soletta in calcestruzzo.

Le aste sono tutte schematizzate mediante elementi tipo "beam".

7.1. Geometria struttura.

7.1.1. Caratteristiche nodi

I dati seguenti riportano tutte le caratteristiche relative ai nodi che definiscono la struttura:

Relazione di verifica degli elementi secondari

Nodo : numerazione del nodo;

Ascissa,Quota : coordinate del nodo secondo il sistema di riferimento globale cartesiano [mm];

Vincolo esterno f1 : descrizione del vincolo esterno in fase 1.

Vincolo esterno f2 : descrizione del vincolo esterno in fase d'esercizio.

Nodo	Ascissa	Quota	Vincolo esterno f1	Vincolo esterno f2
1	0	0	appoggio	appoggio
2	2000	0	Puntello	assente
3	4000	0	Puntello	assente
4	5268	0	appoggio	appoggio

7.1.2. Caratteristiche aste

La tabella seguente riporta tutte le caratteristiche relative alle aste della struttura:

Asta : numerazione;

Nodo Ini. : nodo iniziale;

Nodo Fin. : nodo finale;

lunghezza : lunghezza teorica (nodo-nodo) [mm].

Asta	Nodo ini.	Nodo fin.	lunghezza
1	1	2	2000
2	2	3	2000
3	3	4	1268

7.2. Carichi agenti sulla struttura.

Analisi dei carichi agenti su una fascia larga : 84 cm.

7.2.1. Carichi concentrati sui nodi - Fase 1

Non sono state definite azioni concentrate sui nodi.

7.2.2. Carichi ripartiti sulle aste - Fase 1

Relazione di verifica degli elementi secondari

Nella tabella successiva sono riportate le aste della struttura e per ognuna di esse sono stati elencati i carichi lineari distribuiti nelle direzioni X e Z del sistema globale.

Q_x : Carico sull'asta in direzione X [daN/m]

Q_z : Carico sull'asta in direzione Z [daN/m]

Nome Azione	Asta	Q _x	Q _z
Permanenti strutturali	1	0	-9.42
	2	0	-9.42
	3	0	-9.42
Permanenti non strutturali	1	0	-195
	2	0	-195
	3	0	-195

7.2.4. Carichi ripartiti sulle aste - Fase 2

Nella tabella successiva sono riportate le aste della struttura e per ognuna di esse sono stati elencati i carichi lineari distribuiti nelle direzioni X e Z del sistema globale.

Q_x : Carico sull'asta in direzione X [daN/m]

Q_z : Carico sull'asta in direzione Z [daN/m]

Nome Azione	Asta	Q _x	Q _z
Permanenti strutturali	1	0	-204.42
	2	0	-204.42
	3	0	-204.42
Permanenti non strutturali	1	0	-101.64
	2	0	-101.64
	3	0	-101.64
ESERCIZIO	1	0	-336
	2	0	-336
	3	0	-336
Condizione 1	1	0	-908.79
	2	0	-908.79

Relazione di verifica degli elementi secondari

	3	0	-908.79
Neve	1	0	-67.2
	2	0	-67.2
	3	0	-67.2

8. COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni di carico considerate sono le seguenti :

Fase 1 - s.l.u. - COMBINAZIONI CARICO	
	C.d.C. num.
	1
Permanenti strutturali	1
Permanenti non strutturali	1

- Fase 1 - Deform. - COMBINAZIONE CARICO	
	C.d.C. num.
	1
Permanenti strutturali	1
Permanenti non strutturali	1

Fase 2 - s.l.u. - COMBINAZIONI CARICO		
	C.d.C. num.	
	1	2
Permanenti strutturali	1.3	0
Permanenti non strutturali	1.5	0
Carico esercizio	1.5	0
Condizione 1	0	1
Neve	0	0

Fase 2 - s.l.e. Rara - COMBINAZIONE CARICO

Relazione di verifica degli elementi secondari

	C.d.C. num.
	1
Permanenti strutturali	1
Permanenti non strutturali	1
Carico esercizio	1
Condizione 1	0
Neve	0

Fase 2 - s.l.e. Freq. - COMBINAZIONE CARICO	
	C.d.C. num.
	1
Permanenti strutturali	1
Permanenti non strutturali	1
Carico esercizio	0.7
Condizione 1	0
Neve	0

Fase 2 - s.l.e. Q. Perm. - COMBINAZIONE CARICO	
	C.d.C. num.
	1
Permanenti strutturali	1
Permanenti non strutturali	1
Carico esercizio	0.6
Condizione 1	0
Neve	0

9. RISULTATI DI CALCOLO.

L'analisi numerica della struttura è stata condotta attraverso l'utilizzo del metodo degli elementi finiti ipotizzando un comportamento elastico-lineare.

Relazione di verifica degli elementi secondari

In particolare si sono definiti due modelli (A e B) al fine di riprodurre le fasi costruttive.

Il modello A (utilizzato per la fase 1) ricostruisce la struttura in fase di getto. Il modello B (utilizzato per la fase 2), invece, ricostruisce la struttura in fase di esercizio caratterizzata dalla collaborazione della soletta in calcestruzzo.

Le aste sono tutte schematizzate mediante elementi tipo "beam".

I risultati si riferiscono ad una fascia larga : 84 cm

9.1. Risultati - FASE 1

Di seguito saranno riportati, per ognuna delle condizioni di carico originarie, i cinematismi nodali, le sollecitazioni sulle aste e le reazioni ai vincoli relativi all'analisi della Fase 1 (utilizzando, dunque, il modello A).

9.2. Cinematismi nodali.

Nei prospetti seguenti saranno indicate, per ogni condizione di carico, i valori degli spostamenti dei nodi liberi secondo il sistema di riferimento globale.

Le grandezze riportate saranno:

Nodo : numerazione del nodo;

u_x : spostamento in direzione X [cm];

u_z : spostamento in direzione Z [cm];

θ_y : rotazione intorno all'asse Y [rad].

CINEMATISMI NODALI - Permanenti struttura			
Nodo	u_x	u_z	θ_y
1	0	0	0.000
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0

CINEMATISMI NODALI - Permanenti non strut			
Nodo	u_x	u_z	θ_y
1	0	0	-0.003
2	0	0	0.001
3	0	0	0.000
4	0	0	0.000

Relazione di verifica degli elementi secondari

Le precedenti condizioni sono state inserite in combinazioni di carico così come indicato al paragrafo relativo alla definizione dei carichi.

Gli effetti relativi alle varie combinazioni sono stati poi analizzati considerando la tecnica dell'involuppo, in modo da valutare i due effetti (massimo e minimo) più sfavorevoli.

INVILUPPO s.l.u. MINIMO			
Nodo	ux	uz	θ_y
1	0	0	-0.003
2	0	0	0.001
3	0	0	0.000
4	0	0	0.001

INVILUPPO s.l.u. MASSIMO			
Nodo	ux	uz	θ_y
1	0	0	-0.003
2	0	0	0.001
3	0	0	0.000
4	0	0	0.001

INVILUPPO s.l.e. MINIMO			
Nodo	ux	uz	θ_y
1	0	0	-0.003
2	0	0	0.001
3	0	0	0.000
4	0	0	0.001

INVILUPPO s.l.e. MASSIMO			
Nodo	ux	uz	θ_y
1	0	0	-0.003
2	0	0	0.001
3	0	0	0.000
4	0	0	0.001

9.3. Sollecitazioni aste.

I prospetti seguenti riportano i valori delle sollecitazioni riscontrate in tutte le aste in funzione della condizione di carico considerata e del posizionamento della sezione trasversale. Ogni asta è stata articolata in tre sezioni di cui una posta in mezzzeria e le altre alle estremità.

Riassumendo, dunque, si avrà:

Asta : numerazione interna dell'asta;

Nodi : nodo iniziale e finale dell'asta;

Sez : sezione trasversale considerata;

N : valore dello sforzo normale [KN];

Tz : valore del taglio in direzione all'asse Z globale [KN];

My : valore del momento flettente attorno all'asse Y locale all'asta [KNm].

SOLLECITAZIONI - Permanenti struttura					
Asta	Nodi	Sez	N	Tz	My
1	1-2	Iniz	0	0.07	0
		Med	0	-0.02	0.03
		Fin	0	-0.11	-0.04
2	2-3	Iniz	0	0.1	-0.04
		Med	0	0.01	0.01
		Fin	0	-0.09	-0.02
3	3-4	Iniz	0	0.08	-0.02
		Med	0	0.02	0.01
		Fin	0	-0.04	0

SOLLECITAZIONI - Permanenti non strut					
Asta	Nodi	Sez	N	Tz	My
1	1-2	Iniz	0	1.52	0
		Med	0	-0.43	0.55
		Fin	0	-2.38	-0.85
2	2-3	Iniz	0	2.13	-0.85
		Med	0	0.18	0.3
		Fin	0	-1.77	-0.49
3	3-4	Iniz	0	1.62	-0.49

Relazione di verifica degli elementi secondari

		Med	0	0.38	0.15
		Fin	0	-0.85	0

Le precedenti condizioni sono state inserite in combinazioni di carico così come indicato al paragrafo relativo alla definizione dei carichi.

Gli effetti relativi alle varie combinazioni sono stati poi analizzati considerando la tecnica dell'involuppo, in modo da valutare i due effetti (massimo e minimo) più sfavorevoli.

INVILUPPO s.l.u. MINIMO					
Asta	Nodi	Sez	N	Tz	My
1	1-2	Iniz	0	1.6	0
		Med	0	-0.45	0.57
		Fin	0	-2.49	-0.89
2	2-3	Iniz	0	2.24	-0.89
		Med	0	0.19	0.32
		Fin	0	-1.85	-0.51
3	3-4	Iniz	0	1.7	-0.51
		Med	0	0.4	0.16
		Fin	0	-0.89	0

INVILUPPO s.l.u. MASSIMO					
Asta	Nodi	Sez	N	Tz	My
1	1-2	Iniz	0	1.6	0
		Med	0	-0.45	0.57
		Fin	0	-2.49	-0.89
2	2-3	Iniz	0	2.24	-0.89
		Med	0	0.19	0.32
		Fin	0	-1.85	-0.51
3	3-4	Iniz	0	1.7	-0.51
		Med	0	0.4	0.16
		Fin	0	-0.89	0

9.4. Reazioni vincolari.

Relazione di verifica degli elementi secondari

Nei prospetti seguenti saranno indicati i valori delle reazioni vincolari per ogni condizione di carico e per ogni nodo vincolato. I valori saranno espressi secondo il sistema di riferimento globale.

Nodo : numerazione del nodo.

Rx : reazione vincolare in direzione X [KN].

Rz : reazione vincolare in direzione Z [KN].

Ryy : reazione vincolare intorno ad Y [KNm].

REAZIONI VINCOLARI - Permanenti struttura			
Nodo	Rx	Rz	Ryy
1	0	0.07	0
2	0	0.22	0
3	0	0.16	0
4	0	0.04	0

REAZIONI VINCOLARI - Permanenti non strut			
Nodo	Rx	Rz	Ryy
1	0	1.52	0
2	0	4.51	0
3	0	3.39	0
4	0	0.85	0

Le precedenti condizioni sono state inserite in combinazioni di carico così come indicato al paragrafo relativo alla definizione dei carichi.

Gli effetti relativi alle varie combinazioni sono stati poi analizzati considerando la tecnica dell'involuppo, in modo da valutare i due effetti (massimo e minimo) più sfavorevoli.

INVILUPPO s.l.u. MINIMO			
Nodo	Rx	Rz	Ryy
1	0	1.6	0
2	0	4.73	0
3	0	3.55	0
4	0	0.89	0

INVILUPPO s.l.u. MASSIMO			
--------------------------	--	--	--

Relazione di verifica degli elementi secondari

Nodo	Rx	Rz	Ryy
1	0	1.6	0
2	0	4.73	0
3	0	3.55	0
4	0	0.89	0

9.5. Risultati - FASE 2

Di seguito saranno riportati, per ognuna delle condizioni di carico originarie, i cinematismi nodali, le sollecitazioni sulle aste e le reazioni ai vincoli relativi all'analisi della Fase 2 (utilizzando, dunque, il modello A).

9.6. Cinematismi nodali.

Nei prospetti seguenti saranno indicate, per ogni condizione di carico, i valori degli spostamenti dei nodi liberi secondo il sistema di riferimento globale.

Le grandezze riportate saranno:

Nodo : numerazione del nodo;

u_x : spostamento in direzione X [cm];

u_z : spostamento in direzione Z [cm];

θ_y : rotazione intorno all'asse Y [rad].

CINEMATISMI NODALI - Permanenti struttura			
Nodo	u_x	u_z	θ_y
1	0	0	-0.006
2	0	-0.844	-0.002
3	0	-0.627	0.004
4	0	0	0.006

CINEMATISMI NODALI - Permanenti non strut			
Nodo	u_x	u_z	θ_y
1	0	0	-0.003
2	0	-0.42	-0.001
3	0	-0.312	0.002

Relazione di verifica degli elementi secondari

4	0	0	0.003
---	---	---	-------

CINEMATISMI NODALI - Carico esercizio			
Nodo	ux	uz	θ_y
1	0	0	-0.009
2	0	-1.388	-0.003
3	0	-1.031	0.006
4	0	0	0.009

CINEMATISMI NODALI - Condizione 1			
Nodo	ux	uz	θ_y
1	0	0	-0.024
2	0	-3.754	-0.009
3	0	-2.788	0.017
4	0	0	0.024

CINEMATISMI NODALI - Neve			
Nodo	ux	uz	θ_y
1	0	0	-0.002
2	0	-0.278	-0.001
3	0	-0.206	0.001
4	0	0	0.002

Le precedenti condizioni sono state inserite in combinazioni di carico così come indicato al paragrafo relativo alla definizione dei carichi.

Gli effetti relativi alle varie combinazioni sono stati poi analizzati considerando la tecnica dell'involuppo, in modo da valutare i due effetti (massimo e minimo) più sfavorevoli.

INVILUPPO s.l.u. MINIMO			
Nodo	ux	uz	θ_y
1	0	0	-0.025
2	0	-3.809	-0.009
3	0	-2.83	0.017
4	0	0	0.024

Relazione di verifica degli elementi secondari

INVILUPPO s.l.u. MASSIMO			
Nodo	ux	uz	θ_y
1	0	0	-0.024
2	0	-3.754	-0.009
3	0	-2.788	0.018
4	0	0	0.025

INVILUPPO s.l.e. Rara MINIMO			
Nodo	ux	uz	θ_y
1	0	0	-0.017
2	0	-2.652	-0.006
3	0	-1.97	0.012
4	0	0	0.017

INVILUPPO s.l.e. Rara MASSIMO			
Nodo	ux	uz	θ_y
1	0	0	-0.017
2	0	-2.652	-0.006
3	0	-1.97	0.012
4	0	0	0.017

INVILUPPO s.l.e. Freq. MINIMO			
Nodo	ux	uz	θ_y
1	0	0	-0.015
2	0	-2.236	-0.005
3	0	-1.661	0.01
4	0	0	0.015

INVILUPPO s.l.e. Freq. MASSIMO			
Nodo	ux	uz	θ_y
1	0	0	-0.015
2	0	-2.236	-0.005
3	0	-1.661	0.01
4	0	0	0.015

Relazione di verifica degli elementi secondari

INVILUPPO s.l.e. Q. Perm. MINIMO			
Nodo	ux	uz	θ_y
1	0	0	-0.014
2	0	-2.097	-0.005
3	0	-1.558	0.01
4	0	0	0.014

INVILUPPO s.l.e. Q. Perm. MASSIMO			
Nodo	ux	uz	θ_y
1	0	0	-0.014
2	0	-2.097	-0.005
3	0	-1.558	0.01
4	0	0	0.014

9.7. Sollecitazioni aste.

I prospetti seguenti riportano i valori delle sollecitazioni riscontrate in tutte le aste in funzione della condizione di carico considerata e del posizionamento della sezione trasversale. Ogni asta è stata articolata in tre sezioni di cui una posta in mezzzeria e le altre alle estremità.

Riassumendo, dunque, si avrà :

Asta : numerazione interna dell'asta;

Nodi : nodo iniziale e finale dell'asta;

Sez : sezione trasversale considerata;

Tz : valore del taglio in direzione all'asse Z locale dell'asta [KN];

My : valore del momento flettente attorno all'asse Y locale all'asta [KNm].

SOLLECITAZIONI - Permanenti struttura				
Asta	Nodi	Sez	Tz	My
1	1-2	Iniz	5.38	0
		Med	3.34	4.36
		Fin	1.3	6.68
2	2-3	Iniz	1.3	6.68
		Med	-0.75	6.95

Relazione di verifica degli elementi secondari

		Fin	-2.79	5.18
3	3-4	Iniz	-2.79	5.18
		Med	-4.09	3
		Fin	-5.38	0

SOLLECITAZIONI - Permanenti non strut				
Asta	Nodi	Sez	Tz	My
1	1-2	Iniz	2.68	0
		Med	1.66	2.17
		Fin	0.64	3.32
2	2-3	Iniz	0.64	3.32
		Med	-0.37	3.46
		Fin	-1.39	2.58
3	3-4	Iniz	-1.39	2.58
		Med	-2.03	1.49
		Fin	-2.68	0

SOLLECITAZIONI - Carico esercizio				
Asta	Nodi	Sez	Tz	My
1	1-2	Iniz	8.85	0
		Med	5.49	7.17
		Fin	2.13	10.98
2	2-3	Iniz	2.13	10.98
		Med	-1.23	11.43
		Fin	-4.59	8.52
3	3-4	Iniz	-4.59	8.52
		Med	-6.72	4.94
		Fin	-8.85	0

SOLLECITAZIONI - Condizione 1				
Asta	Nodi	Sez	Tz	My
1	1-2	Iniz	23.94	0
		Med	14.85	19.39
		Fin	5.76	29.7
2	2-3	Iniz	5.76	29.7

Relazione di verifica degli elementi secondari

		Med	-3.33	30.92
		Fin	-12.41	23.05
3	3-4	Iniz	-12.41	23.05
		Med	-18.18	13.35
		Fin	-23.94	0

SOLLECITAZIONI - Neve				
Asta	Nodi	Sez	Tz	My
1	1-2	Iniz	1.77	0
		Med	1.1	1.43
		Fin	0.43	2.2
2	2-3	Iniz	0.43	2.2
		Med	-0.25	2.29
		Fin	-0.92	1.7
3	3-4	Iniz	-0.92	1.7
		Med	-1.34	0.99
		Fin	-1.77	0

Le precedenti condizioni sono state inserite in combinazioni di carico così come indicato al paragrafo relativo alla definizione dei carichi.

Gli effetti relativi alle varie combinazioni sono stati poi analizzati considerando la tecnica dell'involuppo, in modo da valutare i due effetti (massimo e minimo) più sfavorevoli.

INVILUPPO s.l.u. MINIMO				
Asta	Nodi	Sez	Tz	My
1	1-2	Iniz	23.94	0
		Med	14.85	19.39
		Fin	5.76	29.7
2	2-3	Iniz	5.76	29.7
		Med	-3.38	30.92
		Fin	-12.6	23.05
3	3-4	Iniz	-12.6	23.05
		Med	-18.44	13.35
		Fin	-24.29	0

Relazione di verifica degli elementi secondari

INVILUPPO s.l.u. MASSIMO				
Asta	Nodi	Sez	Tz	My
1	1-2	Iniz	24.29	0
		Med	15.07	19.68
		Fin	5.85	30.14
2	2-3	Iniz	5.85	30.14
		Med	-3.33	31.37
		Fin	-12.41	23.39
3	3-4	Iniz	-12.41	23.39
		Med	-18.18	13.55
		Fin	-23.94	0

INVILUPPO s.l.e. Freq. MINIMO				
Asta	Nodi	Sez	Tz	My
1	1-2	Iniz	14.26	0
		Med	8.84	11.55
		Fin	3.43	17.69
2	2-3	Iniz	3.43	17.69
		Med	-1.98	18.41
		Fin	-7.39	13.73
3	3-4	Iniz	-7.39	13.73
		Med	-10.83	7.95
		Fin	-14.26	0

INVILUPPO s.l.e. Freq. MASSIMO				
Asta	Nodi	Sez	Tz	My
1	1-2	Iniz	14.26	0
		Med	8.84	11.55
		Fin	3.43	17.69
2	2-3	Iniz	3.43	17.69
		Med	-1.98	18.41
		Fin	-7.39	13.73
3	3-4	Iniz	-7.39	13.73
		Med	-10.83	7.95

Relazione di verifica degli elementi secondari

		Fin	-14.26	0
--	--	-----	--------	---

INVILUPPO s.l.e. Q. Perm. MINIMO				
Asta	Nodi	Sez	Tz	My
1	1-2	Iniz	13.37	0
		Med	8.3	10.83
		Fin	3.22	16.59
2	2-3	Iniz	3.22	16.59
		Med	-1.86	17.27
		Fin	-6.93	12.87
3	3-4	Iniz	-6.93	12.87
		Med	-10.15	7.46
		Fin	-13.37	0

INVILUPPO s.l.e. Q. Perm. MASSIMO				
Asta	Nodi	Sez	Tz	My
1	1-2	Iniz	13.37	0
		Med	8.3	10.83
		Fin	3.22	16.59
2	2-3	Iniz	3.22	16.59
		Med	-1.86	17.27
		Fin	-6.93	12.87
3	3-4	Iniz	-6.93	12.87
		Med	-10.15	7.46
		Fin	-13.37	0

9.8. Reazioni vincolari.

Nei prospetti seguenti saranno indicati i valori delle reazioni vincolari per ogni condizione di carico e per ogni nodo vincolato. I valori saranno espressi secondo il sistema di riferimento globale.

Nodo : numerazione del nodo.

Rx : reazione vincolare in direzione X [KN].

Rz : reazione vincolare in direzione Z [KN].

Relazione di verifica degli elementi secondari

R_{yy} : reazione vincolare intorno ad Y [KNm].

REAZIONI VINCOLARI - Permanenti struttura			
Nodo	Rx	Rz	Ryy
1	0	5.38	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	5.38	0

REAZIONI VINCOLARI - Permanenti non strut			
Nodo	Rx	Rz	Ryy
1	0	2.68	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	2.68	0

REAZIONI VINCOLARI - Carico esercizio			
Nodo	Rx	Rz	Ryy
1	0	8.85	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	8.85	0

REAZIONI VINCOLARI - Condizione 1			
Nodo	Rx	Rz	Ryy
1	0	23.94	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	23.94	0

REAZIONI VINCOLARI - Neve			
Nodo	Rx	Rz	Ryy
1	0	1.77	0
2	0	0	0

Relazione di verifica degli elementi secondari

3	0	0	0
4	0	1.77	0

Le precedenti condizioni sono state inserite in combinazioni di carico così come indicato al paragrafo relativo alla definizione dei carichi.

Gli effetti relativi alle varie combinazioni sono stati poi analizzati considerando la tecnica dell'involuppo, in modo da valutare i due effetti (massimo e minimo) più sfavorevoli.

INVILUPPO s.l.u. MINIMO			
Nodo	Rx	Rz	Ryy
1	0	23.94	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	23.94	0

INVILUPPO s.l.u. MASSIMO			
Nodo	Rx	Rz	Ryy
1	0	24.29	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	24.29	0

10. ARMATURA LONGITUDINALE

L'armatura longitudinale di base all'estradosso ha le seguenti caratteristiche:

diametro : 10 mm

interasse : 200 mm

copriferro netto: 20 mm

L'armatura da aggiungere a quella di base è riferita ad una fascia di solaio larga 840 mm

ed ha le seguenti caratteristiche nelle varie sezioni :

copriferro netto per armatura aggiunta all'intradosso: 20 mm

Relazione di verifica degli elementi secondari

N.Elem. : numero elemento

Sez. : sezione

n. Estr: numero di tondini aggiunti all'estradosso

Fi Estr: diametro tondini aggiunti all'estradosso [mm]

n. Intr: numero di tondini aggiunti all'intradosso

Fi Intr: diametro tondini aggiunti all'intradosso [mm]

N.Elem.	Sez.	n. Estr	Fi Estr	n. Int	Fi Intr
1	Iniziale	-	-	8	8
1	1/8	-	-	8	8
1	1/4	-	-	8	8
1	3/8	-	-	8	8
1	1/2	-	-	8	8
1	5/8	-	-	8	8
1	3/4	-	-	8	8
1	7/8	-	-	8	8
1	Finale	-	-	8	8
2	Iniziale	-	-	8	8
2	1/8	-	-	8	8
2	1/4	-	-	8	8
2	3/8	-	-	8	8
2	1/2	-	-	8	8
2	5/8	-	-	8	8
2	3/4	-	-	8	8
2	7/8	-	-	8	8
2	Finale	-	-	8	8
3	Iniziale	-	-	4	8
3	1/8	-	-	4	8
3	1/4	-	-	4	8
3	3/8	-	-	4	8
3	1/2	-	-	4	8
3	5/8	-	-	4	8
3	3/4	-	-	4	8
3	7/8	-	-	4	8
3	Finale	-	-	4	8

11. VERIFICHE.

I risultati delle verifiche si riferiscono ad una fascia larga : 84 cm

Metodo di verifica: Stati Limite.

11.1. Verifiche SLU - Resistenza - Fase 1

N.Elem. : numero elemento

Sez. : sezione

V_{sd} : Valore di progetto della forza di taglio sollecitante [daN]

M_{sd} : Valore di progetto del momento sollecitante [daNm]

σ_{id} : Tensione ideale di calcolo [daN/cm²]

f_{yd} : Valore di progetto della tensione di snervamento dell'acciaio [daN/cm²]

F_s : fattore di sicurezza

Esito della verifica : V = verificato; NV = Non verificato

N.Elem.	Sez.	V_{sd}	M_{sd}	σ_{id}	f_{yd}	F_s	Esito
1	Iniziale	129.04	20.12	151.72	2500	16.48	V
1	1/8	108.6	33.54	243.84	2500	10.25	V
1	1/4	57.5	54.3	390.21	2500	6.41	V
1	3/8	6.39	62.29	446.97	2500	5.59	V
1	1/2	-44.71	57.5	412.9	2500	6.05	V
1	5/8	-95.82	39.93	288.61	2500	8.66	V
1	3/4	-146.92	9.59	86.85	2500	28.78	V
1	7/8	-198.03	-33.53	286.85	2500	8.72	V
1	Finale	-249.13	-89.43	745.99	2500	3.35	V
2	Iniziale	223.57	-89.43	744.91	2500	3.36	V
2	1/8	172.46	-39.92	336.47	2500	7.43	V
2	1/4	121.36	-3.2	51.48	2500	48.56	V
2	3/8	70.25	20.76	151.09	2500	16.55	V
2	1/2	19.15	31.93	229.25	2500	10.91	V
2	5/8	-31.96	30.33	217.96	2500	11.47	V
2	3/4	-83.06	15.95	118.35	2500	21.12	V
2	7/8	-134.17	-11.2	104.79	2500	23.86	V

Relazione di verifica degli elementi secondari

2	Finale	-185.27	-51.13	428.67	2500	5.83	V
3	Iniziale	169.92	-51.13	427.83	2500	5.84	V
3	1/8	137.52	-26.76	227.17	2500	11	V
3	1/4	105.12	-7.53	73.17	2500	34.17	V
3	3/8	72.72	6.56	53.9	2500	46.38	V
3	1/2	40.32	15.52	112.32	2500	22.26	V
3	5/8	7.92	19.34	138.84	2500	18.01	V
3	3/4	-24.48	18.03	129.69	2500	19.28	V
3	7/8	-56.88	11.58	85.62	2500	29.2	V
3	Finale	-58.62	10.96	81.46	2500	30.69	V

11.2. Verifiche - Deformabilità - Fase 1

N.Elem. : numero elemento

LC : luce di calcolo [mm]

Sez. : sezione in cui si riscontra la freccia massima

Fr_d : freccia di calcolo [mm]

Fr_C : valore limite della freccia [mm]

F_s : fattore di sicurezza

Esito della verifica : V = verificato; NV = Non verificato

N.Elem.	LC	Sez.	Fr _d	Fr _C	F _s	Esito
1	2000	1/2	1.61	10	6.2	V
2	2000	1/2	0.59	10	16.84	V
3	1268	5/8	0.16	6.34	40.67	V

11.4. Verifiche SLU - Flessione - Fase 2

Verifiche SLU - Flessione - Fase 2

N.Elem. : numero elemento

Relazione di verifica degli elementi secondari

Sez. : sezione

M_{sd} : Valore di progetto del momento sollecitante [daNcm]

M_{Rd} : Valore di progetto del momento resistente della sezione composta lamiera grecata-clsa [daNcm]

F_s : fattore di sicurezza

Esito della verifica : V = verificato; NV = Non verificato

N.Elem.	Sez.	M_{sa}	M_{Rd}	F_s	Esito
1	Iniziale	347.07	3300.01	9.51	V
1	1/8	578.45	3300.01	5.7	V
1	1/4	1099.27	3300.01	3	V
1	3/8	1562.45	3300.01	2.11	V
1	1/2	1967.99	3300.01	1.68	V
1	5/8	2315.89	3300.01	1.42	V
1	3/4	2606.15	3300.01	1.27	V
1	7/8	2838.78	3300.01	1.16	V
1	Finale	3013.77	3300.01	1.09	V
2	Iniziale	3013.77	3300.01	1.09	V
2	1/8	3131.12	3300.01	1.05	V
2	1/4	3190.83	3300.01	1.03	V
2	3/8	3192.91	3300.01	1.03	V
2	1/2	3137.34	3300.01	1.05	V
2	5/8	3024.14	3300.01	1.09	V
2	3/4	2853.31	3300.01	1.16	V
2	7/8	2624.83	3300.01	1.26	V
2	Finale	2338.71	3300.01	1.41	V
3	Iniziale	2338.71	2878.09	1.23	V
3	1/8	2127.46	2878.09	1.35	V
3	1/4	1893.04	2878.09	1.52	V
3	3/8	1635.46	2878.09	1.76	V
3	1/2	1354.7	2878.09	2.12	V
3	5/8	1050.78	2878.09	2.74	V
3	3/4	723.69	2878.09	3.98	V
3	7/8	373.43	2878.09	7.71	V
3	Finale	353.4	2878.09	8.14	V

Relazione di verifica degli elementi secondari

11.5. Verifiche SLU - Taglio - Fase 2

Verifiche SLU - Taglio - Fase 2

N.Elem. : numero elemento

Sez. : sezione

V_{sd} : Valore di progetto della forza di taglio sollecitante [daN]

V_{Rd} : Valore di progetto della forza di taglio resistente [daN]

F_s : fattore di sicurezza

Esito della verifica : V = verificato; NV = Non verificato

N.Elem.	Sez.	V_{sd}	V_{Rd}	F_s	Esito
1	Iniziale	2290.76	3578.96	1.56	V
1	1/8	2198.54	3578.96	1.63	V
1	1/4	1967.99	3578.96	1.82	V
1	3/8	1737.44	3578.96	2.06	V
1	1/2	1506.88	3578.96	2.38	V
1	5/8	1276.33	3578.96	2.8	V
1	3/4	1045.78	3578.96	3.42	V
1	7/8	815.23	3578.96	4.39	V
1	Finale	584.68	3578.96	6.12	V
2	Iniziale	584.68	3578.96	6.12	V
2	1/8	354.13	3578.96	10.11	V
2	1/4	123.58	3578.96	28.96	V
2	3/8	106.98	3578.96	33.46	V
2	1/2	337.53	3578.96	10.6	V
2	5/8	568.08	3578.96	6.3	V
2	3/4	798.63	3578.96	4.48	V
2	7/8	1029.18	3578.96	3.48	V
2	Finale	1259.73	3578.96	2.84	V
3	Iniziale	1259.73	2842.84	2.26	V
3	1/8	1405.9	2842.84	2.02	V
3	1/4	1552.07	2842.84	1.83	V
3	3/8	1698.24	2842.84	1.67	V
3	1/2	1844.41	2842.84	1.54	V

Relazione di verifica degli elementi secondari

3	5/8	1990.58	2842.84	1.43	V
3	3/4	2136.75	2842.84	1.33	V
3	7/8	2282.92	2842.84	1.25	V
3	Finale	2290.76	2842.84	1.24	V

11.6. Verifiche SLU - Punzonamento.

Verifiche SLU - Punzonamento - Fase 2

$V_{p,Sd}$: Valore di progetto della forza sollecitante [kN]

$V_{p,Rd}$: Valore di progetto della resistenza a punzonamento [kN]

F_s : fattore di sicurezza

Esito della verifica : V = verificato; NV = Non verificato

$V_{p,Sd}$	$V_{p,Rd}$	F_s	Esito
2	13.22	6.61	V

11.7. Verifiche SLE - Deformabilità - Fase 2

Verifiche SLE - Deformabilità - Fase 2

N.Elem. : numero elemento

LC : luce di calcolo [mm]

Comb. : tipo di combinazione a cui la verifica è riferita

Sez. : sezione in cui si riscontra la freccia massima

Fr_d : freccia di calcolo [mm]

Fr_C : freccia consentita [mm]

F_s : fattore di sicurezza

Esito della verifica : V = verificato; NV = Non verificato

N.Elem.	LC	COMB.	Sez.	Fr _d	Fr _C	F_s	Esito
1	5268	Rara	Finale	25.90	26.34	1.01	NV
1	5268	Freq.	Finale	22.36	26.34	1.18	V
1	5268	Q. Perm.	Finale	20.97	26.34	1.26	V
2	5268	Rara	3/8	26.10	26.34	1.00	NV

2	5268	Freq.	3/8	23.95	26.34	1.1	V
2	5268	Q. Perm.	3/8	22.47	26.34	1.17	V
3	5268	Rara	Iniziale	19.7	26.34	1.34	V
3	5268	Freq.	Iniziale	16.61	26.34	1.59	V
3	5268	Q. Perm.	Iniziale	15.58	26.34	1.69	V

PROGETTO DEI SISTEMI DI CONNESSIONE

Per far sì che soletta e nervature in acciaio siano solidali nel far fronte alle sollecitazioni indotte dalle azioni di progetto, è necessario prevedere opportuni dispositivi che assorbano: gli sforzi di taglio indotti dai carichi permanenti e accidentali, le azioni del ritiro della soletta e dalle deformazioni termiche, i quali generano degli sforzi di scorrimento relativo tra la soletta in calcestruzzo e la trave in acciaio. Per evitare tale scorrimento è necessario prevedere opportuni dispositivi che assorbano i suddetti sforzi, evitando però di indurre sollecitazioni che possano portare allo schiacciamento del calcestruzzo.

Per le travi, sull'intera lunghezza è previsto quindi l'uso di connettori a taglio ed armatura trasversale in grado di trasmettere tale forza di scorrimento, trascurando l'effetto dell'aderenza tra soletta e trave di acciaio. In accordo alla normativa sono utilizzati connettori che possono essere classificati come "duttili" cioè caratterizzati da una capacità deformativa sufficiente per consentire una distribuzione uniforme delle forze di scorrimento tra soletta e trave allo stato limite ultimo.

Il procedimento utilizzato consiste nel determinare lo scorrimento nelle sezioni significative, o per ogni singolo concio, e determinare l'interasse longitudinale dei connettori.

Il progetto è stato eseguito considerando una connessione a completo ripristino di resistenza considerando la resistenza di progetto del connettore così come definito nell'EC4 §6.3.1.

Resistenza di progetto singolo connettore-EC4 §6.3.1.

$$P_{Rd1} = 0.8 \frac{f_u}{\gamma_v} \frac{\pi d^2}{4} = 90.48 \text{ [kN]}$$

$$P_{Rd2} = 0.29 \alpha d^2 \frac{\sqrt{f_{ck} E_{cm}}}{\gamma_v} = 95.15 \text{ [kN]}$$

$$P_{Rd} = \min [P_{Rd1}, P_{Rd2}] * K = 31.26 \text{ [kN]}$$

$$K = K_t = \frac{0.7}{\sqrt{2}} \frac{b_o}{h_p} \left[\frac{h}{h_p} - 1 \right] \leq 0.8 = 0.3455 \text{ (EC4 §6.3.3.2.)}$$

Il calcolo ha consentito di definire il numero di connettori in direzione trasversale e longitudinale. In particolare, si avranno connettori di tipo Nelson con diametro d=20 mm disposti, a vantaggio di sicurezza, con passo 150 mm in direzione longitudinale, mentre in direzione trasversale si avranno 2 pioli per ogni trave.

Progetto Connessioni - Pioli muniti di testa (Pioli Nelson) - EC4 #6.3.

Tipo di soletta

Nervature trasversali alle travi

Schema soluzione

Zoom

Sezione trasversale Sezione longitudinale

nervature TRASVERSALI

Tipo di connessione

☒ A completo ripristino

☐ A parziale ripristino

γ_v 1,25 b_o 167,5 [mm] ?

Schema statico della trave

Momento positivo

Dati

f_u 450 N/mm² h 75 [mm] ?

d 20 [mm] N_r 1

L 5,26 [m]

Risultati

P_{Rd} 44,20 [kN] ?

n^* 44 connettori n^* nervature 25

Passo i 122 [mm]

VERIFICA DELLA VETRATA DI COPERTURA

La copertura vetrata deve essere tale da resistere all'azione dei seguenti carichi: peso proprio, neve, vento e carichi accidentali.

La resistenza di calcolo del vetro strutturale viene calcolata per le diverse condizioni di carico mediante la formula:

$$f_{g;d} = \frac{k_{mod} k_{ed} k_{sf} \lambda_{gA} \lambda_{gl} f_{g;k}}{R_M \gamma_M} + \frac{k'_{ed} k_v (f_{b;k} - f_{g;k})}{R_{M;v} \gamma_{M;v}}$$

Si considera la lastra di vetro appoggiata su due lati e soggetta a carico distribuito. Si considera la seguente analisi dei carichi

Analisi di Carico

Peso proprio del vetro stratificato

PP vetro	25	kN/m ³
PP intercalare	0.02	kN/m ²
PP vetro stratificato	0.27	kN/m ²

Azione della neve

q _s	0.8	kN/m ²
durata di progetto dell'azione	3	mesi
temperatura di riferimento	10	°C

La resistenza di progetto dipende dai coefficienti presenti nella formula riportata in precedenza.

Si riportano le tabelle dalle quali si ricavano i coefficienti da utilizzare nel calcolo

- k_{mod}: coefficiente di riduzione per il fenomeno della fatica statica, funzione del tipo di azione esterna e della sua durata caratteristica.

Tipo di azione esterna	Durata t _l [s]	k _{mod} LEFM
Vento (raffica)	3-5 sec	0.91-0.88
Transito temporaneo	30	0.78
Vento (cumulato)	10 min	0.65
Variazioni temperatura giornaliera	11 ore	0.5
Neve (1 settimana)	1 settimana	0.42
Neve (3 mesi)	3 mesi	0.36
Variazioni temperatura stagionale	6 mesi	0.35
Peso proprio	50 anni	0.26

Tabella 1 - Definizione di k_{mod}

- k_{ed} e k'_{ed}: fattori riduttivi della tensione resistente, dipendenti dalla finitura del bordo della lastra o foro e dalla distanza d dal bordo del punto dove f_{g,d} viene calcolata

Tipo di vetro	Valori di k _{ed} e k' _{ed} in corrispondenza del bordo							
	Tagliato		bisellato		molato		lucidato	
	k _{ed}	k' _{ed}	k _{ed}	k' _{ed}	k _{ed}	k' _{ed}	k _{ed}	k' _{ed}
Ricotto	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9
Indurito	da evitare		da evitare		0.8	0.8	0.8	0.8
Temprato termicamente	da evitare		da evitare		0.8	0.8	0.8	0.8
Temprato chimicamente	da evitare		da evitare		0.6	0.7	0.6	0.7
Ricotto stampato	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7

Tabella 2 - Definizione di k_{ed} e k'_{ed}

Relazione di verifica degli elementi secondari

- ksf: fattore riduttivo della tensione resistente, dipendente dal profilo superficiale del vetro.

Vetro	ksf		
	Ricotto	Temprato/indurito termicamente	Temprato/indurito chimicamente
Nessun trattamento	1	1	1
Sabbiato	0.5	0.6	da evitare
Acidato	0.6	0.9	
Smaltato	0.75	0.85	
Stampato	0.65	0.7	

Tabella 3 - Definizione di ksf

- Coefficienti parziali di sicurezza

Classe	Vetro ricotto		Vetro presollecitato	
prima	RM	0.7	RM;v	0.9
seconda	RM	1	RM;v	1

Tabella 4 - Definizione di RM e RM,v

	Vetro ricotto		Vetro presollecitato	
Coeff. Parziali	γ_M	2.55	$\gamma_{M,v}$	1.35

Tabella 5 - Definizione di γ_M e $\gamma_{M,v}$

- kv: coefficiente dipendente dal tipo di presollecitazione

Trattamento di presollecitazione	kv
Nessun trattamento	0
Trattamento termico con processo orizzontale	1
Trattamento termico con processo verticale	0.6
Indurimento chimico	0.95

Tabella 6 - Definizione di kv

- k: coefficiente dipendente dalle condizioni di vincolo

k	Condizioni di vincolo
0.145	Lastra rettangolare vincolata in modo continuo su 4 bordi
0.054	Lastra rettangolare vincolata in modo continuo su 2 bordi
0.013	Lastra rettangolare incastrata in un bordo; carico distribuito uniformemente
0.019	Lastra rettangolare incastrata in un bordo; carico distribuito su una linea parallela al bordo incastrato
0.071	Lastra rettangolare vincolata su 4 punti in prossimità degli angoli; carico unif

Tabella 7 - Definizione di k

- k_b : coefficiente dipendente dalle condizioni di finitura del bordo

Finitura del bordo	Distribuzione delle tensioni lungo il bordo					
	Costante		Parabolica		Triangolare	
Bordo molato	k_b	1	k_b	0.2432	k_b	0.0741
Bordo lucidato	k_b	1	k_b	0.3694	k_b	0.1667

Tabella 8 - Definizione di k_b

- $f_{b,k}$: valore caratteristico della resistenza a flessione del vetro a seguito di un trattamento di rafforzamento.

Classe del vetro: denominazione	$f_{b,k}$ [N/mm ²]
Vetro float (nessun trattamento)	45
Vetro float indurito termicamente	70
Vetro float temprato termicamente	120
Vetro float indurito chimicamente	150
Vetro tirato ricotto	0
Vetro tirato indurito	65
Vetro tirato temprato term.	115
Vetro tirato indurito chim.	145
Vetro decorato/ stampato ricotto	0
Vetro decorato/ stampato indurito	55
Vetro decorato/ stampato temp. Term.	90
Vetro decorato/ stampato ind. Chim.	-
Vetro smaltato ricotto	0
Vetro smaltato indurito	0
Vetro smaltato tempr. Term.	75
Vetro smaltato ind. Chim.	-
Vetro smaltato e decorato ricotto	0
Vetro smaltato e decorato indurito	0
Vetro smaltato e decorato temp. Term.	75
Vetro smaltato e decorato ind. Chim.	-

Tabella 9 - Definizione di $f_{b,k}$

- $f_{g,k}$: valore caratteristico nominale della tensione resistente a trazione per flessione del vetro.

Prodotti	Ricotto	Indurito termicamente	Temprato termicamente	Indurito chimicamente
Lastre di vetro float	45 MPa	70 MPa	120 MPa	150 MPa
Lastre di vetro stampato	-	55 MPa	90 MPa	150 MPa
Lastre di vetro smaltato	-	45 MPa	75 MPa	-

Tabella 10 - Definizione di $f_{g,k}$

- $\lambda_{g,A}$: fattore di scala, che considera l'area sottoposta alla massima tensione sollecitante.

Relazione di verifica degli elementi secondari

$$\lambda_{g,A} = \left(\frac{0.24}{kA} \right)^{1/7}$$

- $\lambda_{g,l}$: fattore di scala per le sollecitazioni sul bordo.

$$\lambda_{g,1} = \left(\frac{0.1667 * 0.45}{k_b * l_b} \right)^{1/5}$$

Si utilizza il metodo “Enhanced Effective Thickness” il quale consente di determinare lo spessore equivalente della lastra al fine di determinare lo stato tensionale agente in funzione delle ipotesi di vincolo e dei sovraccarichi distribuiti applicati sulla lastra stessa.

Si considera il comportamento a piastra per cui si calcola lo spessore equivalente con l'applicazione del metodo.

Comportamento piastra		
h1 (spessore strato 1)	5	mm
h2 (spessore strato 2)	5	mm
h_int	1.52	mm
d1 (distanza dal baricentro geo)	3.26	mm
d2 (distanza dal baricentro geo)	3.26	mm
d	6.52	mm
Coeff di Poisson	0.22	Vedere tabella 11
D1 (rigidezza intercalare strato 1)	766253.33	
D2 (rigidezza intercalare strato 2)	766253.33	
Dfull	2183981.4	
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 ca	1.56E-06	mm-2 Vedere tabella 13

Relazione di verifica degli elementi secondari

Peso Proprio

η	8.30E-01	
hw	9.3505919	mm
hs;1	3.26	mm
hs;2	3.26	mm
h1_sig	10.171869	mm
h2_sig	10.171869	mm

Neve

G (modulo a taglio intercalare)	170	N/mm2
η	9.98E-01	
hw	11.47615	mm
h1_sig	11.489729	mm
h2_sig	11.489729	mm

Le tensioni che agiscono sulla piastra sono riportate di seguito.

Comportamento piastra

PP

sig_max	24.264908	MPa
w_max	62.354065	mm

Neve

sig_max	63.836013	MPa
w_max	98.118451	mm

Si prescrive il montaggio di pannelli di vetro strutturale tali che le resistenze di progetto siano maggiori delle tensioni di calcolo riportate.