



COMUNE DI RECANATI



PROGETTO DEFINITIVO ESECUTIVO 1° LOTTO

Intervento di restauro dell' edificio comunale attiguo al Teatro Persiani per la realizzazione del museo della musica e del punto di accoglienza turistico-culturale

COMMITTENTE Comune di Recanati

Progetto strutturale: Ing. Andrea Schiavoni
Collaboratore: Ing. Federico Sabbatini

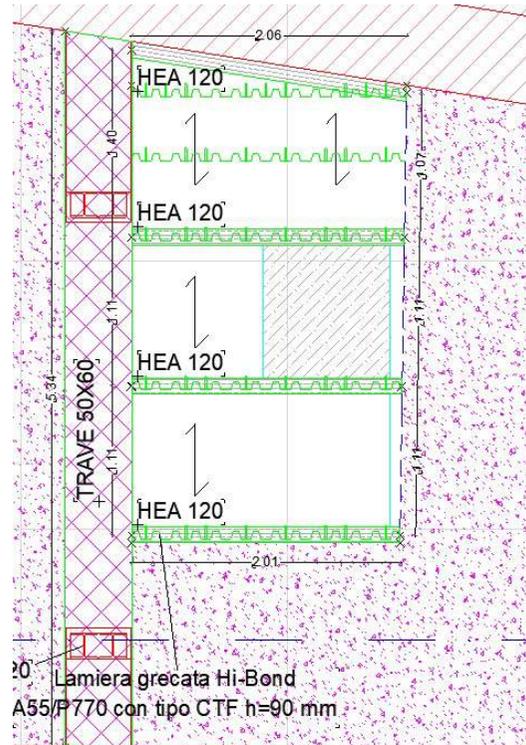
Oggetto:
RELAZIONE DI CALCOLO SOLAI

Fasc.05
ST-RC2

Data:

VERIFICHE SOLAI

CALCOLO SOLAIO +0.45



Progetto: SOLAIO MUSEO DELLA MUSICA RECANATI

Progettista: ING. ANDREA SCHIAVONI

Solaio: CHIUSURA VUOTI PIANO TERRA

Tipologia

Soletta collaborante su lamiera grecata perpendicolare alla trave

Trave puntellata

VERIFICHE SOLAI

Trave in semplice appoggio con carichi uniformemente distribuiti

Ambiente secco

Coefficienti di sicurezza:

Azioni - Permanenti strutturali: 1.30

Azioni - Permanenti non strutturali: 1.50

Azioni - Variabili: 1.50

Materiali - Acciaio: 1.05

Materiali - Calcestruzzo: 1.50

Materiali - Connettori: 1.25

Materiali - Lamiera grecata: 1.10

Materiali - Acciaio per barre: 1.15

Limite all'inflessione delta 2: $L / 350$

Limite all'inflessione finale: $L / 250$

Geometria

Luce di calcolo: 110.0 cm

Interasse travi: 110.0 cm

Spessore soletta: 5.0 cm

Base efficace: 27.5 cm

Altezza lamiera grecata (hp): 5.50 cm

VERIFICHE SOLAI

Larghezza media nervatura (b0): 7.50 cm

Larghezza base inf. nervatura - binf: 6.15 cm

Interasse nervature - bd: 15.00 cm

Profilo: HE 120 A

ha: 114.0 mm

bf: 120.0 mm

tf: 8.0 mm

bfi: 120.0 mm

tfi: 8.0 mm

tw: 5.0 mm

r0: 12.0 mm

r1: 0.0 mm

Area: 2534.0 mm²

Iy: 606.2 cm⁴

Wy Sup: 106300.0 mm³

Wy Inf: 106300.0 mm³

W Ply: 119500.0 mm³

Acciaio S275

fy: 275 N/mm²

Es: 210000 N/mm²

VERIFICHE SOLAI

Calcestruzzo:	C25/30
fck:	25 N/mm ²
Rck:	30 N/mm ²
Densità:	24.00 kN/m ³
E cm:	31476 N/mm ²

Carichi

Peso proprio:	2.20 kN/m ²
Altri p.p.:	0.00 kN/m ²
Sottofondo:	2.00 kN/m ²
Pavimento:	0.10 kN/m ²
Tramezzi:	0.50 kN/m ²
Altri perm.:	0.00 kN/m ²
Variabili: CAT. C3	5.00 kN/m ²

Fase 1+2 - sezione mista - SLU - STATO LIMITE ULTIMO

Classe sezione mista: 1

Calcolo elastico

Azioni:	15.68 kN/m
Posizione asse neutro:	12.24 cm
Altezza totale:	21.90 cm

VERIFICHE SOLAI

Momento sollecitante - MEd: 2.4 kNm

Momento resistente - MRd: 3.8 kNm

Verifica momento: 0.62

Taglio sollecitante - VEd: 8.6 kNm

Taglio resistente - VRd: 86.2 kN

Verifica taglio: 0.10

Fase 1+2 - SLS - STATO LIMITE DI SERVIZIO

Delta 0 - pre-monta iniziale: 0.0 mm

Delta 1 - Sezione: mista - Carichi: P.p. + Perm.: 0.0 mm

Delta 2 - Sezione: mista - Carichi: Var.+ viscosità: 0.0 mm

Delta 2 da ritiro: 0.0 mm

Delta 2 totale: 0.0 mm = L / 34772

Delta finale totale: 0.0 mm = L / 22518

Asse neutro elastico dall'estradosso: 12.2 cm

Coefficiente di omogeneizzazione istantaneo: 6.67

Momento di inerzia sezione omog. istantaneo: 2782.3 cm⁴

Coefficiente di omogeneizzazione - n: 13.34

Momento di inerzia sezione omog.: 2002.6 cm⁴

Incremento freccia per interazione incompleta - i: 1.00

VERIFICHE SOLAI

Frequenza fondamentale naturale: 107.2 Hz

calcolata con combinazione frequente. $\Psi_1 = 0.7$

Fase 1+2 - sezione mista - Connessione

Connessione elastica

Compressione nella soletta in calcestruzzo:

N_c data dai connettori posizionati(kN): 19

$N_{c,f}$ relativa al completo ripristino di resistenza(kN): 195

$N_{c,el}$ relativa al massimo momento elastico $M_{el,Rd}$ (kN): 184

Tipo Connettore: CTF 12/90

Altezza: 90 mm

Resistenza del connettore - Prd: 31.90 kN

Coeff. riduttivo relativo ad 1 conn. per nerv. k_1 : 0.61

Coeff. riduttivo relativo a 2 o + conn. per nerv. k_2 : 0.43

Resistenza connessione, 1 conn. per nerv. $PRd * k_1$: 19.38 kN

Resistenza connessione, >1 conn. per nerv. $PRd * k_2$: 13.70 kN

Connettore duttile.

Distribuzione connettori elastica variabile

Distribuzione uniforme:

VERIFICHE SOLAI

Numero nervature per trave= 8

Numero connettori= 4

Distribuzione variabile (in alternativa):

Settore a sinistra:

Nervature per settore= 2

Numero connettori= 1

Settore centrale:

Nervature per settore= 4

Numero connettori= 2

Settore a destra:

Nervature per settore= 2

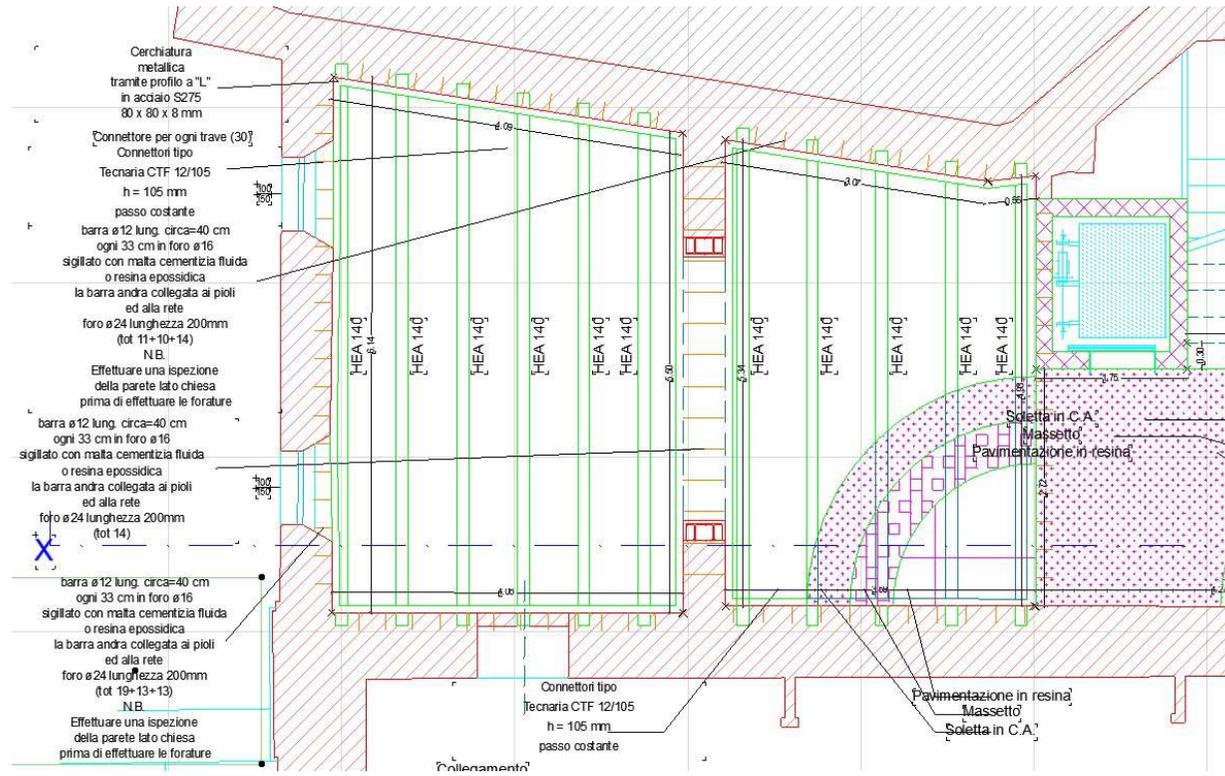
Numero connettori= 1

Fase 1+2 - sezione mista - Armatura trasversale in acciaio B450C

Soletta: 1.0 cm²/m

VERIFICHE SOLAI

CALCOLO SOLAIO +5.90



VERIFICHE SOLAI

Progetto: SOLAIO MUSEODELLA MUSICA RECANATI

Progettista: ING. ANDREA SCHIAVONI

Solaio: PIANO PRIMO ESPOSIZIONE

Tipologia

Soletta collaborante su lamiera grecata perpendicolare alla trave

Trave puntellata

Trave in semplice appoggio con carichi uniformemente distribuiti

Ambiente secco

Coefficienti di sicurezza:

Azioni - Permanenti strutturali: 1.30

Azioni - Permanenti non strutturali: 1.50

Azioni - Variabili: 1.50

Materiali - Acciaio: 1.05

Materiali - Calcestruzzo: 1.50

Materiali - Connettori: 1.25

Materiali - Lamiera grecata: 1.10

Materiali - Acciaio per barre: 1.15

Limite all'inflessione delta 2: $L / 350$

Limite all'inflessione finale: $L / 250$

VERIFICHE SOLAI

Geometria

Luce di calcolo:	530.0 cm
Interasse travi:	80.0 cm
Spessore soletta:	6.0 cm
Base efficace:	80.0 cm
Altezza lamiera grecata (hp):	5.50 cm
Larghezza media nervatura (b0):	7.50 cm
Larghezza base inf. nervatura - binf:	6.15 cm
Interasse nervature - bd:	15.00 cm
Profilo:	HE 140 A
ha:	133.0 mm
bf:	140.0 mm
tf:	8.5 mm
bfi:	140.0 mm
tfi:	8.5 mm
tw:	5.5 mm
r0:	12.0 mm
r1:	0.0 mm
Area:	3142.0 mm ²

VERIFICHE SOLAI

Iy:	1033.0 cm ⁴
Wy Sup:	155400.0 mm ³
Wy Inf:	155400.0 mm ³
W Ply:	173500.0 mm ³
Acciaio	S275
fy:	275 N/mm ²
Es:	210000 N/mm ²
Calcestruzzo:	tipo Leca CLS 1800
fck:	41 N/mm ²
Rck:	45 N/mm ²
Densità:	19.50 kN/m ³
E cm:	25000 N/mm ²

Carichi

Peso proprio:	2.17 kN/m ²
Altri p.p.:	0.00 kN/m ²
Sottofondo:	2.00 kN/m ²
Pavimento:	0.05 kN/m ²
Tramezzi:	0.00 kN/m ²
Altri perm.:	0.50 kN/m ²

VERIFICHE SOLAI

Variabili: 5.00 kN/m²

Fase 1+2 - sezione mista - SLU - STATO LIMITE ULTIMO

Classe sezione mista: 1

Calcolo elastico

Azioni: 11.32 kN/m

Posizione asse neutro: 10.93 cm

Altezza totale: 24.80 cm

Momento sollecitante - MEd: 39.7 kNm

Momento resistente - MRd: 41.8 kNm

Verifica momento: 0.95

Taglio sollecitante - VEd: 30.0 kNm

Taglio resistente - VRd: 110.6 kN

Verifica taglio: 0.27

Fase 1+2 - SLS - STATO LIMITE DI SERVIZIO

Delta 0 - pre-monta iniziale: 0.0 mm

Delta 1 - Sezione: mista - Carichi: P.p. + Perm.: 3.2 mm

Delta 2 - Sezione: mista - Carichi: Var.+ viscosità: 5.2 mm

Delta 2 da ritiro: 5.9 mm

VERIFICHE SOLAI

Delta 2 totale:	11.1 mm = L / 479
Delta finale totale:	14.2 mm = L / 373
Asse neutro elastico dall'estradosso:	10.9 cm
Coefficiente di omogeneizzazione istantaneo:	8.40
Momento di inerzia sezione omog. istantaneo:	5857.5 cm ⁴
Coefficiente di omogeneizzazione - n:	16.80
Momento di inerzia sezione omog.:	4553.3 cm ⁴
Incremento freccia per interazione incompleta - i:	1.00
Frequenza fondamentale naturale:	7.9 Hz
calcolata con combinazione frequente. Psi1=	0.7

Fase 1+2 - sezione mista - Connessione

Connessione elastica

Compressione nella soletta in calcestruzzo:

Nc data dai connettori posizionati(kN):	207
Nc,f relativa al completo ripristino di resistenza(kN):	823
Nc,el relativa al massimo momento elastico Mel,Rd (kN):	426
Tipo Connettore:	CTF 12/105
Altezza:	105 mm

VERIFICHE SOLAI

Resistenza del connettore - Prd: 27.10 kN

Coeff. riduttivo relativo ad 1 conn. per nerv. k: 0.85

Coeff. riduttivo relativo a 2 o + conn. per nerv. k2: 0.61

Resistenza connessione, 1 conn. per nerv. PRd * k : 23.04 kN

Resistenza connessione, >1 conn. per nerv. PRd * k2: 16.63 kN

Connettore rigido.

Distribuzione connettori elastica variabile

Distribuzione uniforme:

Numero nervature per trave= 36

Numero connettori= 36

Distribuzione variabile (in alternativa):

Settore a sinistra:

Nervature per settore= 9

Numero connettori= 9

Settore centrale:

Nervature per settore= 18

Numero connettori= 9

Settore a destra:

Nervature per settore= 9

Numero connettori= 9

Fase 1+2 - sezione mista - Armatura trasversale in acciaio B450C

Soletta: 2.0 cm²/m

VERIFICHE SOLAI

Progetto: SOLAIO MUSEODELLA MUSICA RECANATI

Progettista: ING. ANDREA SCHIAVONI

Solaio: PIANO PRIMO ESPOSIZIONE

Tipologia

Soletta collaborante su lamiera grecata perpendicolare alla trave

Trave puntellata

Trave in semplice appoggio con carichi uniformemente distribuiti

Ambiente secco

Coefficienti di sicurezza:

Azioni - Permanenti strutturali: 1.30

Azioni - Permanenti non strutturali: 1.50

Azioni - Variabili: 1.50

Materiali - Acciaio: 1.05

Materiali - Calcestruzzo: 1.50

Materiali - Connettori: 1.25

Materiali - Lamiera grecata: 1.10

Materiali - Acciaio per barre: 1.15

Limite all'inflessione delta 2: $L / 350$

Limite all'inflessione finale: $L / 250$

Geometria

Luce di calcolo: 600.0 cm

Interasse travi: 70.0 cm

Spessore soletta: 6.0 cm

Base efficace: 70.0 cm

Altezza lamiera grecata (hp): 5.50 cm

Larghezza media nervatura (b0): 7.50 cm

Larghezza base inf. nervatura - binf: 6.15 cm

Interasse nervature - bd: 15.00 cm

Profilo: HE 140 A

ha: 133.0 mm

VERIFICHE SOLAI

bf:	140.0 mm
tf:	8.5 mm
bfi:	140.0 mm
tfi:	8.5 mm
tw:	5.5 mm
r0:	12.0 mm
r1:	0.0 mm
Area:	3142.0 mm ²
Iy:	1033.0 cm ⁴
Wy Sup:	155400.0 mm ³
Wy Inf:	155400.0 mm ³
W Ply:	173500.0 mm ³
Acciaio	S275
fy:	275 N/mm ²
Es:	210000 N/mm ²
Calcestruzzo:	tipo Leca CLS 1800
fck:	41 N/mm ²
Rek:	45 N/mm ²
Densità:	19.50 kN/m ³
E cm:	25000 N/mm ²

Carichi

Peso proprio:	2.21 kN/m ²
Altri p.p.:	0.00 kN/m ²
Sottofondo:	2.00 kN/m ²
Pavimento:	0.05 kN/m ²
Tramezzi:	0.00 kN/m ²
Altri perm.:	0.50 kN/m ²
Variabili:	5.00 kN/m ²

Fase 1+2 - sezione mista - SLU - STATO LIMITE ULTIMO

Classe sezione mista:	1
Calcolo elastico	
Azioni:	9.94 kN/m
Posizione asse neutro:	11.44 cm
Altezza totale:	24.80 cm
Momento sollecitante - MEd:	44.7 kNm
Momento resistente - MRd:	46.9 kNm

VERIFICHE SOLAI

Verifica momento: 0.95
Taglio sollecitante - VEd: 29.8 kNm
Taglio resistente - VRd: 110.6 kN
Verifica taglio: 0.27

Fase 1+2 - SLS - STATO LIMITE DI SERVIZIO

Delta 0 - pre-monta iniziale: 0.0 mm
Delta 1 - Sezione: mista - Carichi: P.p. + Perm.: 4.8 mm
Delta 2 - Sezione: mista - Carichi: Var.+ viscosità: 8.0 mm
Delta 2 da ritiro: 7.4 mm

Delta 2 totale: 15.4 mm = L / 390
Delta finale totale: 20.2 mm = L / 298

Asse neutro elastico dall'estradosso: 11.4 cm
Coefficiente di omogeneizzazione istantaneo: 8.40
Momento di inerzia sezione omog. istantaneo: 5611.6 cm⁴
Coefficiente di omogeneizzazione - n: 16.80
Momento di inerzia sezione omog.: 4303.5 cm⁴
Incremento freccia per interazione incompleta - i: 1.00
Frequenza fondamentale naturale: 6.4 Hz
calcolata con combinazione frequente. Psi1= 0.7

Fase 1+2 - sezione mista - Connessione

Connessione elastica

Compressione nella soletta in calcestruzzo:

Nc data dai connettori posizionati(kN): 230
Nc,f relativa al completo ripristino di resistenza(kN): 823
Nc,el relativa al massimo momento elastico MeI,Rd (kN): 415

Tipo Connettore: CTF 12/105
Altezza: 105 mm
Resistenza del connettore - Prd: 27.10 kN
Coeff. riduttivo relativo ad 1 conn. per nerv. k: 0.85
Coeff. riduttivo relativo a 2 o + conn. per nerv. k2: 0.61
Resistenza connessione, 1 conn. per nerv. PRd * k: 23.04 kN
Resistenza connessione, >1 conn. per nerv. PRd * k2: 16.63 kN

VERIFICHE SOLAI

Connettore rigido.

Distribuzione connettori elastica variabile

Distribuzione uniforme:

Numero nervature per trave= 40

Numero connettori= 40

Distribuzione variabile (in alternativa):

Settore a sinistra:

Nervature per settore= 10

Numero connettori= 10

Settore centrale:

Nervature per settore= 20

Numero connettori= 10

Settore a destra:

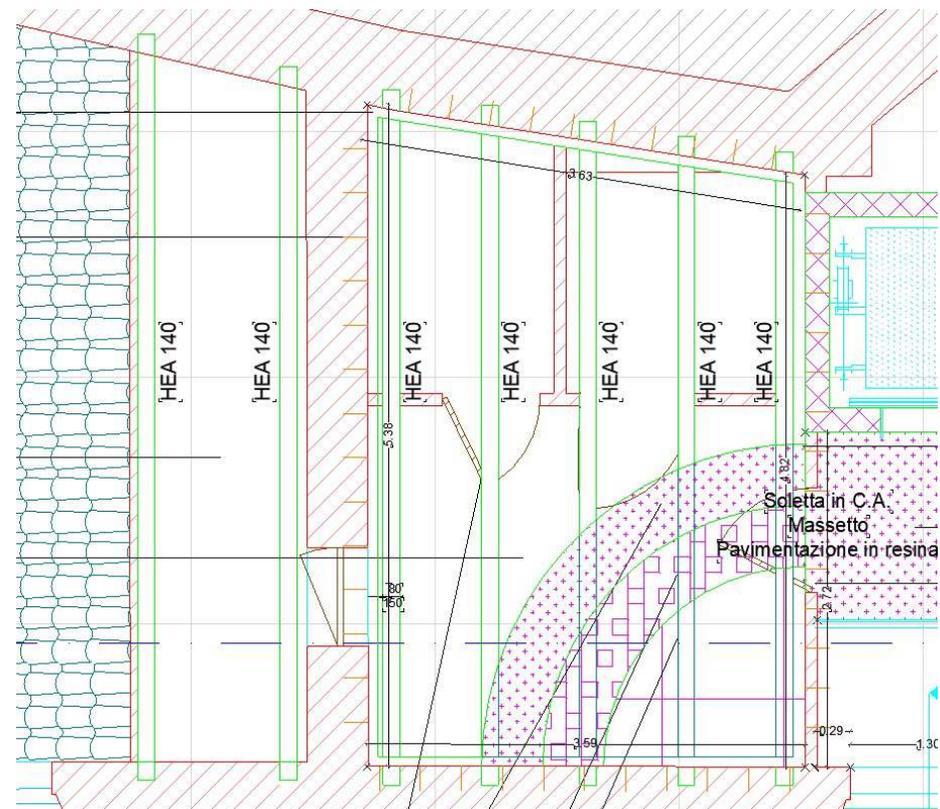
Nervature per settore= 10

Numero connettori= 10

Fase 1+2 - sezione mista - Armatura trasversale in acciaio B450C

Soletta: 2.0 cm²/m

CALCOLO SOLAIO +9.20



Progetto: SOLAIO MUSEODELLA MUSICA RECANATI

Progettista: ING. ANDREA SCHIAVONI

Solaio: PIANO SECONDO ESPOSIZIONE

Tipologia

Soletta collaborante su lamiera grecata perpendicolare alla trave

Trave puntellata

Trave in semplice appoggio con carichi uniformemente distribuiti

VERIFICHE SOLAI

Ambiente secco

Coefficienti di sicurezza:

Azioni - Permanenti strutturali:	1.30
Azioni - Permanenti non strutturali:	1.50
Azioni - Variabili:	1.50
Materiali - Acciaio:	1.05
Materiali - Calcestruzzo:	1.50
Materiali - Connettori:	1.25
Materiali - Lamiera grecata:	1.10
Materiali - Acciaio per barre:	1.15

Limite all'inflessione delta 2: $L / 350$

Limite all'inflessione finale: $L / 250$

Geometria

Luce di calcolo: **530.0 cm**

Interasse travi:	80.0 cm
Spessore soletta:	6.0 cm
Base efficace:	80.0 cm

Altezza lamiera grecata (hp):	5.50 cm
Larghezza media nervatura (b0):	7.50 cm
Larghezza base inf. nervatura - binf:	6.15 cm
Interasse nervature - bd:	15.00 cm

Profilo:	HE 140 A
ha:	133.0 mm
bf:	140.0 mm
tf:	8.5 mm
bfi:	140.0 mm
tfi:	8.5 mm
tw:	5.5 mm
r0:	12.0 mm
r1:	0.0 mm
Area:	3142.0 mm ²
Iy:	1033.0 cm ⁴
Wy Sup:	155400.0 mm ³

VERIFICHE SOLAI

Wy Inf:	155400.0 mm ³
W Ply:	173500.0 mm ³
Acciaio	S275
fy:	275 N/mm ²
Es:	210000 N/mm ²
Calcestruzzo:	tipo Leca CLS 1800
fck:	41 N/mm ²
Rck:	45 N/mm ²
Densità:	19.50 kN/m ³
E cm:	25000 N/mm ²

Carichi

Peso proprio:	2.17 kN/m ²
Altri p.p.:	0.00 kN/m ²
Sottofondo:	2.00 kN/m ²
Pavimento:	0.05 kN/m ²
Tramezzi:	0.50 kN/m ²
Altri perm.:	0.00 kN/m ²
Variabili:	5.00 kN/m ²

Fase 1+2 - sezione mista - SLU - STATO LIMITE ULTIMO

Classe sezione mista:	1
Calcolo elastico	
Azioni:	11.32 kN/m
Posizione asse neutro:	10.93 cm
Altezza totale:	24.80 cm
Momento sollecitante - MEd:	39.7 kNm
Momento resistente - MRd:	41.8 kNm
Verifica momento:	0.95
Taglio sollecitante - VEd:	30.0 kNm
Taglio resistente - VRd:	110.6 kN
Verifica taglio:	0.27

Fase 1+2 - SLS - STATO LIMITE DI SERVIZIO

Delta 0 - pre-monta iniziale:	0.0 mm
-------------------------------	--------

VERIFICHE SOLAI

Delta 1 - Sezione: mista - Carichi: P.p. + Perm.: 3.2 mm
Delta 2 - Sezione: mista - Carichi: Var.+ viscosità: 5.2 mm
Delta 2 da ritiro: 5.9 mm

Delta 2 totale: 11.1 mm = L / 479
Delta finale totale: 14.2 mm = L / 373

Asse neutro elastico dall'estradosso: 10.9 cm
Coefficiente di omogeneizzazione istantaneo: 8.40
Momento di inerzia sezione omog. istantaneo: 5857.5 cm⁴
Coefficiente di omogeneizzazione - n: 16.80
Momento di inerzia sezione omog.: 4553.3 cm⁴
Incremento freccia per interazione incompleta - i: 1.00
Frequenza fondamentale naturale: 7.9 Hz
calcolata con combinazione frequente. Psi1= 0.7

Fase 1+2 - sezione mista - Connessione

Connessione elastica

Compressione nella soletta in calcestruzzo:

Nc data dai connettori posizionati(kN): 207
Nc,f relativa al completo ripristino di resistenza(kN): 823
Nc,el relativa al massimo momento elastico MeI,Rd (kN): 426

Tipo Connettore: CTF 12/105
Altezza: 105 mm
Resistenza del connettore - Prd: 27.10 kN
Coeff. riduttivo relativo ad 1 conn. per nerv. k: 0.85
Coeff. riduttivo relativo a 2 o + conn. per nerv. k2: 0.61
Resistenza connessione, 1 conn. per nerv. PRd * k: 23.04 kN
Resistenza connessione, >1 conn. per nerv. PRd * k2: 16.63 kN

Connettore rigido.

Distribuzione connettori elastica variabile

Distribuzione uniforme:

Numero nervature per trave= 36 Numero connettori= 36

Distribuzione variabile (in alternativa):

Settore a sinistra:

Nervature per settore= 9 Numero connettori= 9

VERIFICHE SOLAI

Settore centrale:

Nervature per settore= 18

Numero connettori= 9

Settore a destra:

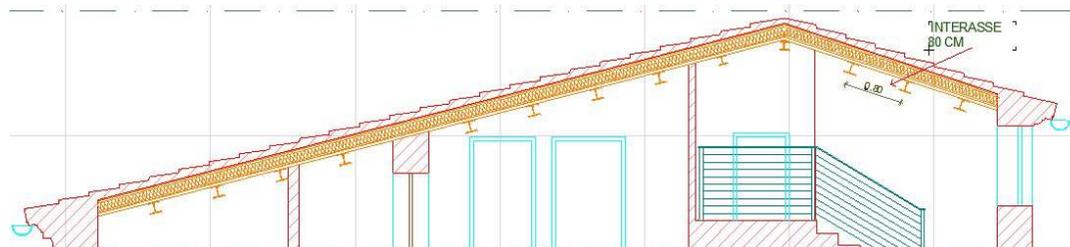
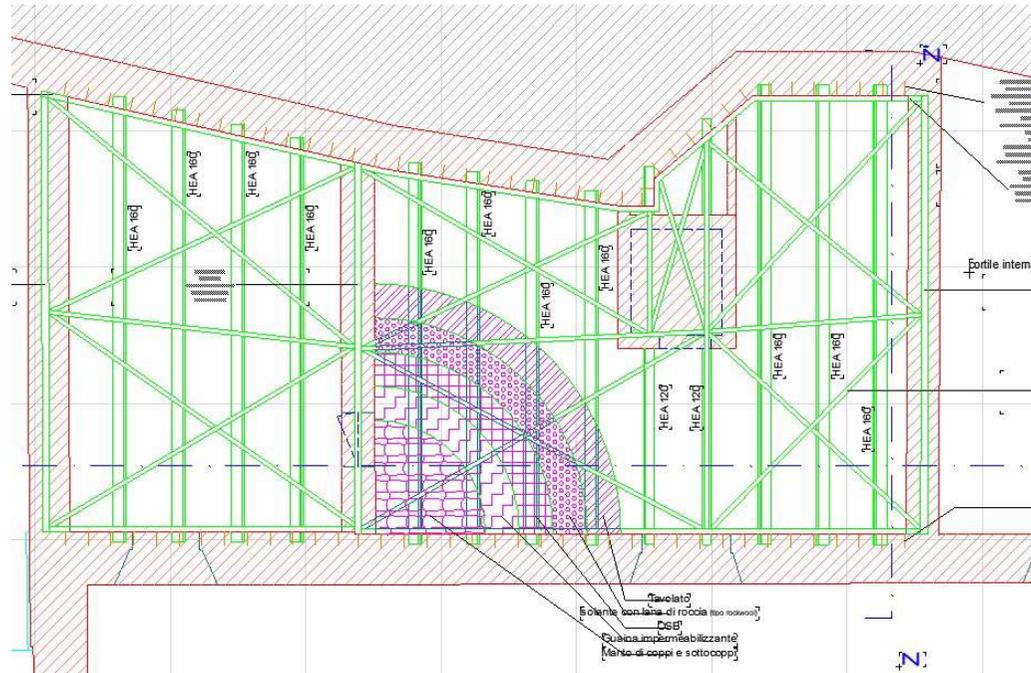
Nervature per settore= 9

Numero connettori= 9

Fase 1+2 - sezione mista - Armatura trasversale in acciaio B450C

Soletta: 2.0 cm²/m

CALCOLO SOLAIO DI COPERTURA



VERIFICHE SOLAI

TRAVE HEA 160

CALCOLO E VERIFICHE STRUTTURALI DI ELEMENTI IN ACCIAIO

D.M. 14.01.2018

UNI EN 1993 : 2005 - UNI EN 10025 : 2005 - UNI EN 10210 : 2006 - UNI EN 10219 : 2006 - UNI 5397 : 1978 - UNI 5398 : 1978 - UNI 5679 : 1973 - UNI 5680 : 1973 - UNI 5681 : 1973 - UNI 5397 : 1978

Committente
Ubicazione del Cantiere
Posizione della Trave

COMUNE DI RECANATI
MUSEO DELLA MUSICA - RECANATI
Solaio di copertura



Tipo di Acciaio S 275
 Profilo Laminato a Caldo HE A 160
 Schema di Vincolo della Trave Cerniera + Cerniera
 Posizione della Trave Trave di Copertura
 Livello di Conoscenza Nuovo Elemento
 Numero di Profili n_p 1
 Luce Netta Inclinata L_i 6.44 m
 Angolo di Deviazione della Trave α 14.00 deg
 Angolo di Immersione della Trave β 0.00 deg
 Interasse della Trave i 0.800 m
 Lunghezza Libera di Svergolamento L_s 6.44 m
 Eccentricità del Carico per Torsione e_t 0.001 m
 Aria fra Profili Accoppiati a_p 0.0 mm
 Luce Netta Orizzontale L_o 6.440 m
 Luce di Calcolo L_o 6.440 m
 Carico Strutturale G₁ 0.50 KN/m²
 Carico Permanente G₂ 1.20 KN/m²
 Carico Variabile Prevalente Q₁ 2.80 KN/m²
 Carico Variabile Secondario Q₂ 0.50 KN/m²
 Coefficiente Parziale di Sicurezza del Materiale γ_M 1.05
 Coefficiente Parziale di Sicurezza del Materiale F_C 1.00
 Ingombro in Altezza del Profilo h 152.0 mm
 Ingombro in Larghezza del Profilo b 160.0 mm
 Spessore Anima del Profilo s 6.0 mm
 Spessore Ala del Profilo e 9.0 mm
 Spessore Ala del Profilo r 15.0 mm
 Area della Sezione Resistente A_e 3877 mm²
 Momento di Inertia Baricentrico Asse y J_{oy} 16729766 mm⁴
 Momento di Inertia Baricentrico Asse z J_{oz} 6150905 mm⁴

S 275
 HE A 160
 Cerniera + Cerniera
 Trave di Copertura
 Nuovo Elemento
 n_p 1
 L_i 6.44 m
 α 14.00 deg
 β 0.00 deg
 i 0.800 m
 L_s 6.44 m
 e_t 0.001 m
 a_p 0.0 mm
 L_o 6.440 m
 L_o 6.440 m
 G₁ 0.50 KN/m²
 G₂ 1.20 KN/m²
 Q₁ 2.80 KN/m²
 Q₂ 0.50 KN/m²
 γ_M 1.05
 F_C 1.00
 h 152.0 mm
 b 160.0 mm
 s 6.0 mm
 e 9.0 mm
 r 15.0 mm
 A_e 3877 mm²
 J_{oy} 16729766 mm⁴
 J_{oz} 6150905 mm⁴

Analisi dei Carichi	b		h		p _k KN/m ³	i m	g _k KN/m ²	γ _F	ψ ₀	ψ ₁	ψ ₂		
	m	x	m	x									
tavolato	1.000	x	0.050	x	4.00	/	1.000	=	0.20	1.30	1.00	1.00	
	1.000	x	1.000	x	0.30	/	1.000	=	0.30				
	0.000	x	0.030	x	20.00	/	1.000	=	0.00				
	0.000	x	1.000	x	0.80	/	1.000	=	0.00				
isolamento termico (lana di Roccia) OSB GUAINA coppi	1.000	x	0.160	x	1.50	/	1.000	=	0.24	1.50	1.00	1.00	
	1.000	x	0.015	x	6.50	/	1.000	=	0.10				
	1.000	x	0.010	x	6.00	/	1.000	=	0.06				
	1.000	x	1.000	x	0.80	/	1.000	=	0.80				
	0.000	x	0.900	x	0.15	/	1.600	=	0.00				
	0.000	x	1.000	x	0.00	/	1.000	=	0.00				
neve sovraccarico	1.000	x	1.000	x	2.80	/	1.000	=	2.80	1.50	0.50	0.20	0.00
carico H	1.000	x	1.000	x	0.50	/	1.000	=	0.50	1.50	0.00	0.00	0.00

Resistenza Caratteristica di Snervamento f_{y,k} 275.00 MPa
 Resistenza Caratteristica di Rottura f_{t,k} 430.00 MPa
 Modulo di Elasticità Caratteristico E_s 206000 MPa
 Coefficiente di Poisson ν_e 0.30
 Modulo Tangenziale Caratteristico G_e 79231 MPa
 Peso Specifico Caratteristico ρ_e 78.50 KN/m³
 Coefficiente di Espansione Termica α_e 0.000012 °C⁻¹
 Resistenza Assiale di Progetto f_{y,d} 261.90 MPa
 Sforzo Normale Resistente di Trazione N_{Rdt} 913.90 KN
 Sforzo Normale Resistente di Compressione N_{Rdc} -1015.44 KN
 Sforzo Normale Resistente di Compressione Ridotto N_{b,Rdc} -221.29 KN
 Taglio Resistente Asse y V_{y,Rd} 137.90 KN
 Taglio Resistente Asse z V_{z,Rd} 435.49 KN
 Momento Flettente Resistente Asse y M_{y,Rd} 64.21 KNm
 Momento Flettente Resistente Asse z M_{z,Rd} 32.95 KNm

$$\sigma_{y,d}^2 + \sigma_{z,d}^2 - \sigma_{y,d} \cdot \sigma_{z,d} + 3 \cdot \tau_{v,d}^2 \leq \left(\frac{f_{y,k}}{F_C \cdot \gamma_{M0}} \right)^2$$

$$\tau_{v,d}^2 = \tau_{y,d}^2 + \tau_{z,d}^2 \leq \left(\frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot F_C \cdot \gamma_{M0}} \right)^2$$

$$\left(\frac{M_{y,Sd}}{M_{Nby,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{M_{z,Sd}}{M_{Nbz,Rd}} \right)^{5-n} \leq 1$$

$$\frac{N_{Sd}}{N_{b,Rdc}} \leq 1 \quad N_{b,Rdc} = \frac{\chi \cdot A_z \cdot f_{y,k}}{F_C \cdot \gamma_{M1}}$$

$$\tau_{t,d} = \frac{T_{Sd}}{J_{\xi t}} \cdot r$$

VERIFICHE SOLAI

Momento di Inerzia Centrifugo Assi y z	J_{0yz}	0	mm ⁴
Momento di Inerzia Polare Baricentrico Ridotto	J_{0t}	87408	mm ⁴
Raggio Ellisse Inerzia Asse y	ρ_y	65.7	mm
Raggio Ellisse Inerzia Asse z	ρ_z	39.8	mm
Modulo di Resistenza Elastico Asse y	$W_{el y}$	220129	mm ³
Modulo di Resistenza Elastico Asse z	$W_{el z}$	76886	mm ³
Momento Statico Baricentrico Asse y	$S_{n y}$	122574	mm ³
Momento Statico Baricentrico Asse z	$S_{n z}$	62910	mm ³
Modulo di Resistenza Plastico Asse y	$W_{pl y}$	245147	mm ³
Modulo di Resistenza Plastico Asse z	$W_{pl z}$	125819	mm ³
Base di Yourawski Asse y	b_{vy}	6.0	mm
Base di Yourawski Asse z	b_{vz}	18.0	mm
Area di Taglio Asse y	A_{vy}	912	mm ²
Area di Taglio Asse z	A_{vz}	2880	mm ²
Rapporto Geometrico di Taglio della Sezione	a_v	0.235	

Impronta di Riferimento del Profilo	c	113.0	mm
Spessore di Riferimento del Profilo	t	6.0	mm
Fattore di Resistenza per Compattezza della Sezione	ϵ	0.924	
Coefficiente di Compattezza della Sezione	k_{ϕ}	20.37	
Comportamento Flessionale della Sezione	Classe	1	
Comportamento Assiale della Sezione	Classe	1	
Curva di Instabilità Compressione Asse y	Curva	b	
Curva di Instabilità Compressione Asse z	Curva	c	
Curva di Instabilità Laterale Asse x	Curva	b	

$$V_{cRd} = V_{Rd} \cdot \left(1 - \frac{\sqrt{3} \cdot F_c \cdot \gamma_{M0} \cdot \tau_{rd}}{k_v \cdot f_{yk}} \right)^m$$

$$\frac{\sqrt{V_y^2 S_d + V_z^2 S_d}}{V_{cRd}} \leq 1$$

$$\delta_{max} = \delta_1 + \delta_2 - \delta_c \quad \delta_i = \frac{k_d \cdot q_{Sdi} \cdot L_c^4}{E_s \cdot J_{gn}}$$

Tensione Elastica Massima Superiore	σ_{max1}	101.02	MPa
Tensione Elastica Massima Inferiore	σ_{max2}	-101.02	MPa
Rapporto Tensioni Estreme della Sezione	ψ	-1.000	
Fattore di Imbozzamento	k_{ϕ}	23.880	
Snellezza Critica	λ_p	0.208	
Fattore di Riduzione Area Efficace	ρ_N	1.000	
Area Efficace del Profilo	A_{eff}	3877	mm ²
Modulo di Resistenza Efficace Asse y	$W_{eff y}$	220129	mm ³
Modulo di Resistenza Efficace Asse z	$W_{eff z}$	76886	mm ³
Coefficiente di Vincolo	β_v	1.000	
Sforzo Normale Critico Elastico Asse y	$N_{or y}$	820.13	KN
Sforzo Normale Critico Elastico Asse z	$N_{or z}$	301.53	KN
Snellezza Assiale Asse y	λ_y	1.14	

Carico Lineare	q_{sd}	
Sforzo Normale Massimo	N_{sd}	
Taglio Massimo Asse y	$V_{y sd}$	
Taglio Massimo Asse z	$V_{z sd}$	
Momento Flettente Massimo Asse y	$M_{y sd}$	
Momento Flettente Massimo Asse z	$M_{z sd}$	
Momento Torcente Massimo	T_{sd}	
Taglio Resistente Ridotto	V_{oRd}	
Tensione Normale di Progetto Asse y	σ_{yd}	
Tensione Normale di Progetto Asse z	σ_{zd}	
Tensione Tangenziale di Progetto Asse y	τ_{yd}	
Tensione Tangenziale di Progetto Asse z	τ_{zd}	

COMBINAZIONI DI CARICO

	SLE 1	SLE 2	SLE 3	SLU 1	SLU 2	SLU 3	
q_{sd}	3.60	1.44	1.36	1.96	5.32	4.24	KN/m
N_{sd}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	KN
$V_{y sd}$	11.24	4.49	4.24	6.11	16.61	13.24	KN
$V_{z sd}$	2.80	1.12	1.06	1.52	4.14	3.30	KN
$M_{y sd}$	18.10	7.23	6.83	9.84	26.75	21.31	KNm
$M_{z sd}$	4.51	1.80	1.70	2.45	6.67	5.31	KNm
T_{sd}	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	KNm
V_{oRd}	443.80	451.65	451.94	449.78	437.46	441.45	KN
σ_{yd}	82.2	32.9	31.0	44.7	121.5	96.8	MPa
σ_{zd}	58.7	23.5	22.2	31.9	86.7	69.1	MPa
τ_{yd}	13.7	5.5	5.2	7.5	20.3	16.2	MPa
τ_{zd}	1.6	0.6	0.6	0.9	2.4	1.9	MPa

VERIFICHE SOLAI

Snellezza Assiale Asse z	λ_z	1.88
Fattore di Imperfezione Asse y	α_y	0.340
Fattore di Imperfezione Asse z	α_z	0.490
Parametro di Instabilità Assiale Asse y	φ_y	1.310
Parametro di Instabilità Assiale Asse z	φ_z	2.680
Coefficiente di Instabilità Assiale Asse y	χ_y	0.512
Coefficiente di Instabilità Assiale Asse z	χ_z	0.218

Momento Flettente Critico Elastico Asse y	$M_{or,y}$	75.36	KNm
Momento Flettente Critico Elastico Asse z	$M_{or,z}$	45.70	KNm
Snellezza Flessionale di Riferimento	λ_{LT0}	0.200	
Snellezza Flessionale Asse y	$\lambda_{LT,y}$	0.896	
Snellezza Flessionale Asse z	$\lambda_{LT,z}$	0.680	
Fattore di Imperfezione Asse y	α_{LT}	0.340	
Fattore Correttivo Instabilità Flessionale	k_0	0.950	
Fattore Distribuzione Momento Flettente Asse y	f_y	0.975	
Fattore Distribuzione Momento Flettente Asse z	f_z	0.976	
Parametro di Instabilità Flessionale Asse y	$\varphi_{LT,y}$	1.020	
Parametro di Instabilità Flessionale Asse z	$\varphi_{LT,z}$	0.813	
Coefficiente di Instabilità Laterale Asse y	$\chi_{LT,y}$	0.680	
Coefficiente di Instabilità Laterale Asse z	$\chi_{LT,z}$	0.815	

Tensione di Torsione Massima	τ_{td}	10.6	4.2	4.0	5.8	15.7	12.5	MPa
Coefficiente di Riduzione Resistenza a Flessione	ρ_M	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Indice di Stress per Sforzo Normale	η	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Momento Flettente Resistente Ridotto Asse y	$M_{Nby,Rd}$	43.68	43.68	43.68	43.68	43.68	43.68	KNm
Momento Flettente Resistente Ridotto Asse z	$M_{Nbz,Rd}$	26.84	26.84	26.84	26.84	26.84	26.84	KNm

COMBINAZIONI DI CARICO

	SLE 1	SLE 2	SLE 3	SLU 1	SLU 2	SLU 3	
Verifica Tensioni di Presso Flessione e Taglio	0.092	0.015	0.013	0.027	0.200	0.127	Verificato
Verifica Tensioni di Taglio	0.091	0.037	0.034	0.050	0.135	0.108	Verificato
Verifica Azioni di Presso Flessione	0.582	0.233	0.220	0.317	0.861	0.686	Verificato
Verifica Azioni di Compressione e Stabilità	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	Verificato
Verifica Azioni di Taglio e Torsione	0.026	0.010	0.010	0.014	0.039	0.031	Verificato
Controfreccia in Opera della Trave	$\delta_0 = 0.000$ m			$\frac{L_c}{\delta_0} =$			Verificato
Deformazione per Carichi Permanenti	$\delta_1 = 0.009$ m			$\frac{L_c}{\delta_1} = 703$			
Deformazione per Carichi Variabili	$\delta_2 = 0.015$ m			$\frac{L_c}{\delta_2} = 426$			Verificato
Deformazione Totale	$\delta_{max} = 0.024$ m			$\frac{L_c}{\delta_{max}} = 265$			Verificato

VERIFICHE SOLAI

TRAVE HEA 120

CALCOLO E VERIFICHE STRUTTURALI DI ELEMENTI IN ACCIAIO

D.M. 14.01.2008

UNI EN 1993 : 2005 - UNI EN 10025 : 2005 - UNI EN 10210 : 2006 - UNI EN 10219 : 2006 - UNI 5397 : 1978 - UNI 5398 : 1978 - UNI 5679 : 1973 - UNI 5680 : 1973 - UNI 5681 : 1973 - UNI 5397 : 1978

Committente
Ubicazione del Cantiere
Posizione della Trave

MUSEO DELLA MUSICA
RECANATI
solaio di copertura



Tipo di Acciaio	S 275
Profilo Laminato a Caldo	HE A 120
Schema di Vincolo della Trave	Cerniera + Cerniera
Posizione della Trave	Trave di Copertura
Livello di Conoscenza	Nuovo Elemento
Numero di Profili	n _p = 1
Luce Netta Inclinata	L ₁ = 2.70 m
Angolo di Deviazione della Trave	α = 14.00 deg
Angolo di Immersione della Trave	β = 0.00 deg
Interasse della Trave	i = 0.900 m
Lunghezza Libera di Svergolamento	L _e = 2.70 m
Eccentricità del Carico per Torsione	e _t = 0.001 m
Aria fra Profili Accoppiati	a _p = 0.0 mm
Luce Netta Orizzontale	L _o = 2.700 m
Luce di Calcolo	L _o = 2.835 m
Carico Structurale	G ₁ = 0.40 KN/m ²
Carico Permanente	G ₂ = 1.20 KN/m ²
Carico Variabile Prevalente	Q ₁ = 2.80 KN/m ²
Carico Variabile Secondario	Q ₂ = 0.50 KN/m ²
Coefficiente Parziale di Sicurezza del Materiale	γ _M = 1.05
Coefficiente Parziale di Sicurezza del Materiale	F _c = 1.00
Ingombro in Altezza del Profilo	h = 114.0 mm
Ingombro in Larghezza del Profilo	b = 120.0 mm
Spessore Anima del Profilo	s = 5.0 mm
Spessore Ala del Profilo	e = 8.0 mm
Spessore Ala del Profilo	r = 12.0 mm
Area della Sezione Resistente	A _e = 2534 mm ²
Momento di Inerzia Baricentrico Asse y	J _{gy} = 6061516 mm ⁴
Momento di Inerzia Baricentrico Asse z	J _{gz} = 2306922 mm ⁴

Analisi dei Carichi	b		h		p _k		i		g _k	
	m	x	m	x	KN/m ²	/	m	=	KN/m ²	
tavolato	1.000	x	0.050	x	4.00	/	1.000	=	0.20	
	1.000	x	1.000	x	0.20	/	1.000	=	0.20	
	0.000	x	0.030	x	20.00	/	1.000	=	0.00	
	0.000	x	1.000	x	0.80	/	1.000	=	0.00	
isolamento termico (lana di Roccia)	1.000	x	0.160	x	1.50	/	1.000	=	0.24	
OSB	1.000	x	0.015	x	6.50	/	1.000	=	0.10	
GUAINA	1.000	x	0.010	x	6.00	/	1.000	=	0.06	
coppi	1.000	x	1.000	x	0.80	/	1.000	=	0.80	
	0.000	x	0.900	x	0.15	/	1.600	=	0.00	
	0.000	x	1.000	x	0.00	/	1.000	=	0.00	
neve sovraccarico	1.000	x	1.000	x	2.80	/	1.000	=	2.80	
carico H	1.000	x	1.000	x	0.50	/	1.000	=	0.50	

γ _F	ψ ₀	ψ ₁	ψ ₂
1.30	1.00	1.00	1.00
1.50	1.00	1.00	1.00
1.50	0.50	0.20	0.00
1.50	0.00	0.00	0.00

Resistenza Caratteristica di Snervamento	f _{yk}	275.00	MPa
Resistenza Caratteristica di Rottura	f _{tk}	430.00	MPa
Modulo di Elasticità Caratteristico	E _s	206000	MPa
Coefficiente di Poisson	ν _e	0.30	
Modulo Tangenziale Caratteristico	G _s	79231	MPa
Peso Specifico Caratteristico	ρ _e	78.50	KN/m ³
Coefficiente di Espansione Termica	α _e	0.000012	°C ⁻¹
Resistenza Assiale di Progetto	f _{yd}	261.90	MPa
Sforzo Normale Resistente di Trazione	N _{Rdt}	597.21	KN
Sforzo Normale Resistente di Compressione	N _{Rco}	-663.56	KN
Sforzo Normale Resistente di Compressione Ridotto	N _{bRdc}	-342.88	KN
Taglio Resistente Asse y	V _{yRd}	86.19	KN
Taglio Resistente Asse z	V _{zRd}	290.32	KN
Momento Flettente Resistente Asse y	M _{yRd}	31.30	KNm
Momento Flettente Resistente Asse z	M _{zRd}	16.52	KNm

$$\sigma_{y,d}^2 + \sigma_{z,d}^2 - \sigma_{y,d} \cdot \sigma_{z,d} + 3 \cdot \tau_{v,d}^2 \leq \left(\frac{f_{yk}}{F_c \cdot \gamma_{M0}} \right)^2$$

$$\tau_{v,d}^2 = \tau_{y,d}^2 + \tau_{z,d}^2 \leq \left(\frac{f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot F_c \cdot \gamma_{M0}} \right)^2$$

$$\left(\frac{M_{ySd}}{M_{Nb,yRd}} \right)^2 + \left(\frac{M_{zSd}}{M_{Nb,zRd}} \right)^{5-n} \leq I$$

$$\frac{N_{Sd}}{N_{bRdc}} \leq I \quad N_{bRdc} = \frac{\chi \cdot A_z \cdot f_{yk}}{F_c \cdot \gamma_{M1}}$$

$$\tau_{t,d} = \frac{T_{Sd}}{J_{gt}} \cdot r$$

VERIFICHE SOLAI

Momento di Inerzia Centrifugo Assi y z	J_{qyz}	0	mm ⁴
Momento di Inerzia Polare Baricentrico Ridotto	J_{qt}	45043	mm ⁴
Raggio Ellisse Inerzia Asse y	ρ_y	48.9	mm
Raggio Ellisse Inerzia Asse z	ρ_z	30.2	mm
Modulo di Resistenza Elastico Asse y	$W_{el y}$	106342	mm ³
Modulo di Resistenza Elastico Asse z	$W_{el z}$	38449	mm ³
Momento Statico Baricentrico Asse y	S_{ny}	59745	mm ³
Momento Statico Baricentrico Asse z	S_{nz}	31539	mm ³
Modulo di Resistenza Plastico Asse y	$W_{pl y}$	119491	mm ³
Modulo di Resistenza Plastico Asse z	$W_{pl z}$	63079	mm ³
Base di Yourawski Asse y	b_{vy}	5.0	mm
Base di Yourawski Asse z	b_{vz}	16.0	mm
Area di Taglio Asse y	A_{vy}	570	mm ²
Area di Taglio Asse z	A_{vz}	1920	mm ²
Rapporto Geometrico di Taglio della Sezione	a_v	0.225	

Impronta di Riferimento del Profilo	c	82.0	mm
Spessore di Riferimento del Profilo	t	5.0	mm
Fattore di Resistenza per Compattezza della Sezione	ε	0.924	
Coefficiente di Compattezza della Sezione	k_σ	17.74	
Comportamento Flessionale della Sezione	Classe	1	
Comportamento Assiale della Sezione	Classe	1	
Curva di Instabilità Compressione Asse y	Curva	b	
Curva di Instabilità Compressione Asse z	Curva	c	
Curva di Instabilità Laterale Asse x	Curva	b	

$$V_{cRd} = V_{Rd} \cdot \left(1 - \frac{\sqrt{3} \cdot F_c \cdot \gamma_{M0} \cdot \tau_{rd}}{k_y \cdot f_{yk}} \right)^m$$

$$\frac{\sqrt{V_y^2 S_d + V_z^2 S_d}}{V_{cRd}} \leq 1$$

$$\delta_{max} = \delta_1 + \delta_2 - \delta_c \quad \delta_i = \frac{k_d \cdot q_{Sdi} \cdot L_c^4}{E_s \cdot J_{gn}}$$

Tensione Elastica Massima Superiore	$\sigma_{max 1}$	44.07	MPa
Tensione Elastica Massima Inferiore	$\sigma_{max 2}$	-44.07	MPa
Rapporto Tensioni Estreme della Sezione	ψ	-1.000	
Fattore di Imbozzamento	k_σ	23.880	
Snellezza Critica	λ_p	0.187	
Fattore di Riduzione Area Efficace	ρ_N	1.000	
Area Efficace del Profilo	A_{eff}	2534	mm ²
Modulo di Resistenza Efficace Asse y	$W_{eff y}$	106342	mm ³
Modulo di Resistenza Efficace Asse z	$W_{eff z}$	38449	mm ³
Coefficiente di Vincolo	β_v	1.000	
Sforzo Normale Critico Elastico Asse y	$N_{cr y}$	1690.52	KN
Sforzo Normale Critico Elastico Asse z	$N_{cr z}$	643.39	KN
Snellezza Assiale Asse y	λ_y	0.64	

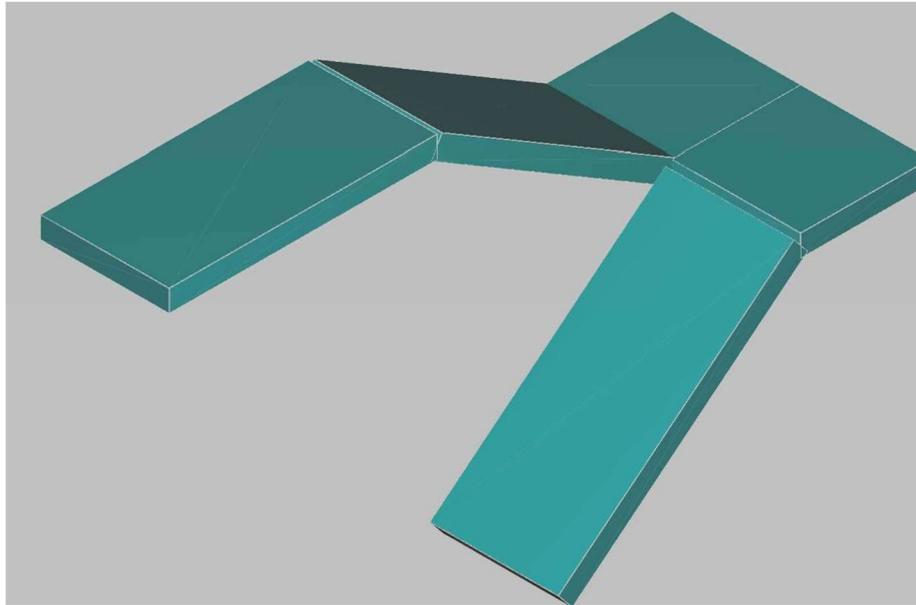
Carico Lineare	q_{sd}	3.96	KN/m
Sforzo Normale Massimo	N_{sd}	0.00	KN
Taglio Massimo Asse y	$V_{y sd}$	5.44	KN
Taglio Massimo Asse z	$V_{z sd}$	1.36	KN
Momento Flettente Massimo Asse y	$M_{y sd}$	3.86	KNm
Momento Flettente Massimo Asse z	$M_{z sd}$	0.96	KNm
Momento Torcente Massimo	T_{sd}	0.01	KNm
Taglio Resistente Ridotto	V_{oRd}	296.80	KN
Tensione Normale di Progetto Asse y	$\sigma_{y d}$	36.3	MPa
Tensione Normale di Progetto Asse z	$\sigma_{z d}$	25.0	MPa
Tensione Tangenziale di Progetto Asse y	$\tau_{y d}$	10.7	MPa
Tensione Tangenziale di Progetto Asse z	$\tau_{z d}$	1.2	MPa

COMBINAZIONI DI CARICO

	SLE 1	SLE 2	SLE 3	SLU 1	SLU 2	SLU 3	
q_{sd}	3.96	1.51	1.44	2.08	5.86	4.65	KN/m
N_{sd}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	KN
$V_{y sd}$	5.44	2.08	1.98	2.87	8.07	6.40	KN
$V_{z sd}$	1.36	0.52	0.49	0.71	2.01	1.59	KN
$M_{y sd}$	3.86	1.47	1.40	2.03	5.72	4.53	KNm
$M_{z sd}$	0.96	0.37	0.35	0.51	1.43	1.13	KNm
T_{sd}	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	KNm
V_{oRd}	296.80	300.56	300.67	299.68	293.84	295.73	KN
$\sigma_{y d}$	36.3	13.8	13.2	19.1	53.8	42.6	MPa
$\sigma_{z d}$	25.0	9.5	9.1	13.2	37.1	29.4	MPa
$\tau_{y d}$	10.7	4.1	3.9	5.7	15.9	12.6	MPa
$\tau_{z d}$	1.2	0.4	0.4	0.6	1.7	1.4	MPa

Ing. Andrea Schiavoni

MODELLO STRUTTURALE SCALA C.A.



Relazione di calcolo

- Input output
- Verifiche c.a. solette

RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – SCALA INTERNA IN C.A.

En.Ex.Sys. WinStrand

Structural Analysis & Design

Ditta produttrice:

En.Ex.Sys. s.r.l. - Via Tizzano 46/2 - Casalecchio di Reno (Bologna)

Sigla:

WinStrand

Piattaforma software:

Microsoft Windows XP Home, Microsoft Windows XP Home Professional

Documentazione in uso:

Manuale teorico - Manuale d'uso

Campo di applicazione:

Analisi statica e dinamica di strutture in campo elastico lineare.

Elementi finiti implementati

- Truss.
- Beam (Modellazione di Travi e Pilastr).
- Travi su suolo elastico alla Winckler.
- Plinti su suolo elastico alla Winckler.
- Elementi Shear Wall per la modellazione di pareti di taglio.
- Elementi shell (lastra/piastra) equivalenti.
- Elementi Isoparametrici a 8 Nodi Shell (lastra/piastra).

Schemi di Carico

- Carichi nodali concentrati.
- Carichi applicati direttamente agli elementi.
- Carichi Superficiali.

Tipo di Risoluzione

- Analisi statica e/o dinamica in campo lineare con il metodo dell'equilibrio.
- Fattorizzazione LDL^T.
- Analisi Statica:
 - - modellazione generale 6 gradi di libertà per nodo.
 - ipotesi di solai infinitamente rigidi nel proprio piano (3 gradi di libertà per nodo + 3 per impalcato).
- Analisi dinamica. (Nel caso di analisi modale gli autovettori ed autovalori possono essere calcolati mediante *subspace iteration* oppure tramite il *metodo dei vettori di Ritz*):
 - - Via statica equivalente.
 - Modale con il metodo dello spettro di risposta.

Normativa di riferimento

La normativa italiana cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo e progettazione è la seguente:

- Circolare del 2 Febbraio 2009, n. 617 "Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008"
- D.M. del 14 Gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni"
- D.M. del 17 Gennaio 2018 Aggiornamento "norme tecniche per le costruzioni"
- Ordinanza n. 3274 del 20 Marzo 2003. "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"
- Ordinanza n. 3316. "Modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003"
- D.M. del 16 Gennaio 1996. "Norme tecniche relative ai «Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi»".
- D.M. del 16 Gennaio 1996. "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche"
- D.M. del 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".
- D.M. del 14 Febbraio 1992. "Norme Tecniche per l'esecuzione delle opere in C.A. normale e precompresso e per le strutture metalliche".

RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – SCALA INTERNA IN C.A.

- D.M. del 3 Ottobre 1978. "Criteri generali per la verifica della sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".
- D.M. del 3 Marzo 1975. "Disposizioni concernenti l'applicazione delle norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche".
- D.M. del 3 Marzo 1975. "Approvazione delle norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche".
- Legge n. 64 del 2 Febbraio 1974. "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".
- Legge n. 1086 del 5 Novembre 1971. "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica".
- Istruzioni per la valutazione delle: Azioni sulle Costruzioni. (C.N.R. 10012/85)

Indice

- [Dati relativi ai nodi della struttura](#)
- [Pali o gruppi di pali di fondazione](#)
- [Condizioni e combinazioni di carico](#)
- [Carichi e coppie applicati ai nodi](#)
- [Carichi applicati agli elementi](#)
- [Sollecitazioni negli elementi a 4 nodi](#)

Dati relativi ai nodi della struttura

Convenzioni adottate

La terna di riferimento generale è destrorsa.

I nodi vengono numerati, con riferimento a una sezione orizzontale, da sinistra a destra, dal basso verso l'alto e per quote crescenti.

L'impalcato di appartenenza di un nodo è definito, in generale, dalla prima delle tre cifre che ne definiscono il numero, possono tuttavia presentarsi casi in cui si hanno più di 100 nodi per solaio nel qual caso il solaio di appartenenza è specificato dall'ultimo valore stampato nella riga dei dati relativi al nodo.

La maschera dei vincoli è costituita dai valori 0 e 1. Il valore 1 indica che per il nodo in riferimento il grado di libertà correlativo è soppresso mentre il valore 0 indica che è libero.

Nel caso di edifici civili multipiano l'asse z generale coincide con l'asse verticale rivolto verso l'alto.

Nodi

Nodo	x [m]	y [m]	z [m]	Ux	Uy	Uz	Rx	Ry	Rz	Solaio
1	0.00	0.00	0.00	1	1	1	1	1	1	0
2	1.20	0.00	0.00	1	1	1	1	1	1	0
3	1.20	2.20	1.80	0	0	0	0	0	0	0
4	0.00	2.20	1.80	0	0	0	0	0	0	0
5	0.00	3.40	1.80	1	1	0	0	0	0	0
6	1.20	3.40	1.80	1	1	0	0	0	0	0
8	0.00	0.00	3.10	0	0	0	0	0	0	0
9	-1.20	0.00	3.10	0	0	0	0	0	0	0
10	-1.20	2.20	1.80	0	0	0	0	0	0	0
11	-1.20	3.40	1.80	1	1	0	0	0	0	0
14	-1.20	-2.50	3.10	1	1	1	0	0	0	0
15	0.00	-2.50	3.10	1	1	1	0	0	0	0

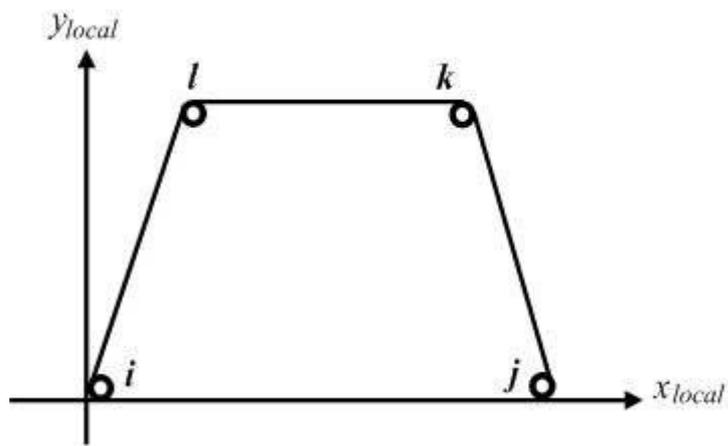
Elementi a 4 nodi

Convenzioni adottate

L'elemento a 4 nodi è individuato tramite il numero dei quattro nodi di vertice dello stesso.

Gli assi del sistema di riferimento locale risultano così disposti:

RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – SCALA INTERNA IN C.A.



- L'asse x_{locale} ha direzione parallela alla retta congiungente i nodi i e j , è passante per i medesimi nodi ed ha verso positivo da i a j .
- L'asse y_{locale} è ortogonale all'asse x_{locale} , passa per il nodo i ed ha verso positivo dalla parte del nodo l .
- L'asse z_{locale} è ottenuto per prodotto vettoriale fra x_{locale} e y_{locale} .

Caratteristiche dei Materiali:

Tipo	Modulo Elastico [kg/cm ²]	ν	alfa [1/°C]	Peso Specifico [kg/m ³]	Commento
1	300000.0	0.120	0.000012	2500.0	Calcestruzzo
2	2100000.0	0.330	0.000012	7850.0	Acciaio

Sezioni Impiegate:

Sezione	Materiali	Tipo di Sezione	Parametri Dimensionali	Commenti
1	1	Mesh isotropa	$s=20$ [cm]	SOLETTA SCALE

Nodo i	Nodo j	Nodo k	Nodo l	Materiali	Sezione
1	2	3	4	1	1
3	6	5	4	1	1
10	4	5	11	1	1
4	8	9	10	1	1
9	14	15	8	1	1

Condizioni e combinazioni di carico

Convenzioni adottate

Nel seguito vengono riportate il numero di condizioni di carico statiche e dinamiche che sollecitano la struttura. Si noti che:

- Per quanto riguarda le condizioni di carico dinamiche, il programma assimila ogni direzione di ingresso del sisma, definita dal progettista, ad una condizione di carico. Pertanto qualora agiscano sulla struttura n condizioni di carico statiche e il progettista abbia supposto che la struttura venga sollecitata da un sisma entrante in m direzioni, la struttura stessa viene considerata del programma come soggetta ad $n + m$ condizioni di carico.

RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – SCALA INTERNA IN C.A.

- Le combinazioni di carico, definite dal progettista, combinano fra loro le $n + m$ condizioni di carico ognuna partecipante alla combinazione i -esima secondo i fattori di partecipazione nel seguito riportati. N.B.: se la condizione j -esima ha fattore di partecipazione unitario, allora partecipa per intero alla combinazione i -esima.
- Le prime n condizioni sono sempre statiche mentre sono di origine dinamica le (eventuali) condizioni da $n+1$ a $n+m$.

Condizioni di carico definite:

Condizione

1	PESO PROPRIO
2	PESI PERMANENTI
3	PESI ACCIDENTALI 500

Combinazioni agli Stati Limite Ultimi

Combinazione di carico numero

1	SLU_1
---	-------

Comb.\Cond 1 2 3

1	1.3 1.5 1.5
---	-------------

Combinazioni RARE Stati Limite di Esercizio

Combinazione di carico numero

2	SLE_RARE_1
---	------------

Comb.\Cond 1 2 3

2	1 1 1
---	-------

Combinazioni FREQUENTI Stati Limite di Esercizio

Combinazione di carico numero

3	SLE_FREQ_1
---	------------

Comb.\Cond 1 2 3

RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – SCALA INTERNA IN C.A.

3 1 1 0.7

Combinazioni QUASI PERMANENTI Stati Limite di Esercizio

Combinazione di carico numero

4 SLE_QP_1

Comb.\Cond 1 2 3

4 1 1 0.6

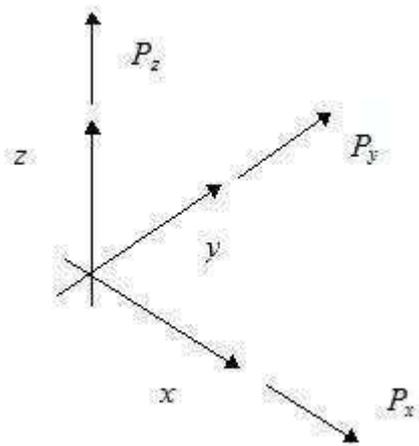
Tabella delle combinazioni di carico presentate come involuppi

Commento	Sigla Combinazione	Combinazioni utilizzate
SLU Statiche	SLU Statiche +-	1
SLE Rare	SLE Rare +-	2
SLE Frequenti	SLE Frequenti +-	3
SLE Quasi Permanenti	SLE Quasi Permanenti +-4	

Carichi e coppie applicati ai nodi

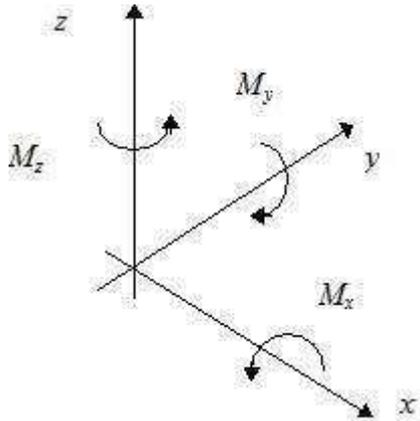
Convenzioni adottate

La terna di riferimento generale è destrorsa per cui si hanno i seguenti segni positivi per i carichi o per le coppie direttamente applicati ai nodi:



Versi positivi delle forze concentrate applicate ai nodi.

RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – SCALA INTERNA IN C.A.



Versi positivi delle coppie concentrate applicate ai nodi.

Nel seguito vengono riportati per ogni nodo, su cui agiscono carichi concentrati, le componenti del carico ($P_x, P_y, P_z, M_x, M_y, M_z$) e la condizione di carico cui esse fanno riferimento.

Nodo Cond. P_x P_y P_z M_x M_y M_z
 [kN] [kN] [kN] [kgm] [kgm] [kgm]

Carichi applicati agli elementi

Convenzioni adottate

I carichi applicati vengono raccolti nella tabella riportata alla fine del paragrafo e si intendono applicati nel sistema di riferimento locale dell'elemento.

Per la lettura della tabella si definiscono:

NodoI, NodoJ

I nodi iniziale/finale dell'asta o lato dell'elemento cui afferisce il carico

L

La distanza fra i suddetti nodi.

q_{xi}, \dots, q_{zj}

Le componenti di un carico distribuito costante o variabile linearmente iniziali (indice i) e finale (indice j).

x_i, x_j

Le distanze, misurate a partire dal NodoI, dei punti di applicazione dei carichi $q_{xi}..q_{zj}$ relativi a carichi distribuiti applicati su porzioni di un'asta.

P_x, \dots, P_z x_{App}

Le componenti di un Carico Concentrato applicato a distanza x_{App} dal NodoI.

M_x, \dots, M_z x_{App}

Le componenti di una Coppia Concentrata applicata a distanza x_{App} dal NodoI.

Var Termica Assiale, ..., Var Termica Farfalla 13

Le variazioni termiche (Assiali ed a Farfalla) misurate in gradi Celsius.

m_{xi}, \dots, m_{zj}

Le componenti di coppie distribuite costanti o variabili linearmente iniziali (indice i) e finale (indice j).

qS_x, qS_y, qS_z

carichi, per unità di superficie, applicati su elementi superficiali o facce di elementi solidi

Peso Proprio

Il valore del carico derivante dal peso proprio dell'elemento

Carichi distribuiti

Elemento	Condizione di carico	Nodi	L [m]	x_i [m]	q_{xi} [kg/m]	q_{yi} [kg/m]	q_{zi} [kg/m]	x_j [m]	q_{xj} [kg/m]	q_{yj} [kg/m]	q_{zj} [kg/m]	qS_x [kg/m ²]	qS_y [kg/m ²]	qS_z [kg/m ²]
1 3	3											0.0	316.6	387.0
	2											0.0	158.3	193.5
3 5	3											0.0	0.0	500.0
	2											0.0	0.0	250.0
10 5	3											0.0	0.0	500.0

RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – SCALA INTERNA IN C.A.

	2	0.0	0.0	250.0
4 9	3	254.4	0.0	-430.5
	2	127.2	0.0	-215.2
9 15	3	0.0	0.0	500.0
	2	0.0	0.0	250.0

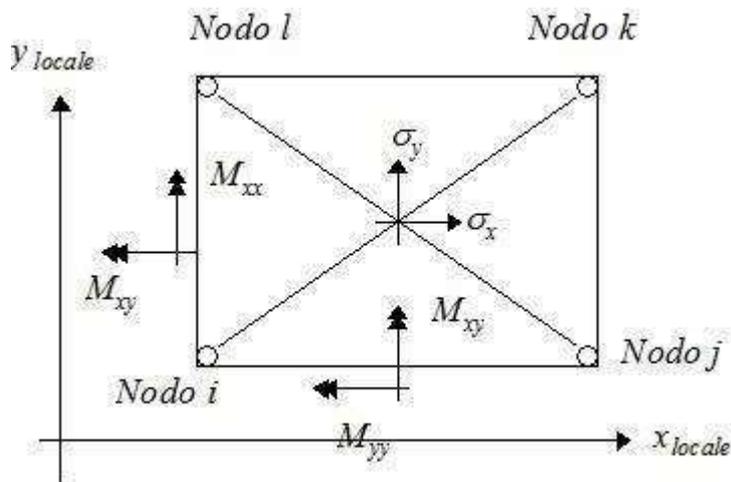
Sollecitazioni negli elementi a 4 nodi

Convenzioni adottate

Nel seguito sono riportate le sollecitazioni indotte negli elementi a 4 nodi sia come sollecitazioni in corrispondenza dei nodi che come tensioni e momenti medi valutati nel centro dell'elemento. Per una dettagliata spiegazione sui presupposti teorici, il campo di applicazione e le modalità di impiego si rimanda all'apposito capitolo del manuale teorico in dotazione al programma.

Il sistema di riferimento locale dell'elemento risulta essere così diposto:

- L'asse x locale sulla congiungente i nodi i e j da i verso j .
- L'asse y locale sulla congiungente i nodi i e l da i verso l .
- L'asse z locale è ottenuto per prodotto vettoriale fra x_{locale} e y_{locale} .
- Le tensioni medie nell'elemento (σ_x , σ_y , τ_{xy}) e i momenti medi (M_x , M_y , M_{xy}) sono anch'essi da intendersi diretti lungo le direzioni sopra citate.



Nodi	Comb.	σ_x	σ_y	τ_{xy}	σ_1	σ_2	Angol
Ni - Nk		[kg/cm ²]	⁰ [°]				
1 3	SLU Statiche -	-1.4	-4.2	1.1	-1.0	-4.6	19.12
	SLU Statiche +	-1.4	-4.2	1.1	-1.0	-4.6	19.12
	SLE Rare -	-0.9	-2.8	0.7	-0.7	-3.1	19.12
	SLE Rare +	-0.9	-2.8	0.7	-0.7	-3.1	19.12
	SLE Frequenti -	-0.7	-2.3	0.6	-0.5	-2.5	19.12
	SLE Frequenti +	-0.7	-2.3	0.6	-0.5	-2.5	19.12
	SLE Quasi Permanenti -	-0.7	-2.1	0.5	-0.5	-2.3	19.12
	SLE Quasi Permanenti +	-0.7	-2.1	0.5	-0.5	-2.3	19.12
3 5	SLU Statiche -	-1.7	-0.4	0.1	-1.7	-0.4	-4.71
	SLU Statiche +	-1.7	-0.4	0.1	-1.7	-0.4	-4.71
	SLE Rare -	-1.2	-0.3	0.1	-1.2	-0.3	-4.71
	SLE Rare +	-1.2	-0.3	0.1	-1.2	-0.3	-4.71
	SLE Frequenti -	-0.9	-0.2	0.1	-0.9	-0.2	-4.71
	SLE Frequenti +	-0.9	-0.2	0.1	-0.9	-0.2	-4.71
	SLE Quasi Permanenti -	-0.8	-0.2	0.1	-0.9	-0.2	-4.71

RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – SCALA INTERNA IN C.A.

Nodi	Comb.	σ_x	σ_y	τ_{xy}	σ_1	σ_2	Angol
Ni - Nk		[kg/cm ²]	θ [°]				
	SLE Quasi Permanenti +	-0.8	-0.2	0.1	-0.9	-0.2	-4.71
10 5	SLU Statiche -	0.1	-3.6	1.1	0.4	-3.9	15.61
	SLU Statiche +	0.1	-3.6	1.1	0.4	-3.9	15.61
	SLE Rare -	0.1	-2.4	0.7	0.3	-2.6	15.61
	SLE Rare +	0.1	-2.4	0.7	0.3	-2.6	15.61
	SLE Frequenti -	0.1	-1.9	0.6	0.2	-2.1	15.61
	SLE Frequenti +	0.1	-1.9	0.6	0.2	-2.1	15.61
	SLE Quasi Permanenti -	0.1	-1.7	0.5	0.2	-1.9	15.61
	SLE Quasi Permanenti +	0.1	-1.7	0.5	0.2	-1.9	15.61
4 9	SLU Statiche -	-2.5	-0.1	-0.4	-2.6	-0.0	9.55
	SLU Statiche +	-2.5	-0.1	-0.4	-2.6	-0.0	9.55
	SLE Rare -	-1.7	-0.1	-0.3	-1.7	-0.0	9.55
	SLE Rare +	-1.7	-0.1	-0.3	-1.7	-0.0	9.55
	SLE Frequenti -	-1.3	-0.1	-0.2	-1.4	-0.0	9.55
	SLE Frequenti +	-1.3	-0.1	-0.2	-1.4	-0.0	9.55
	SLE Quasi Permanenti -	-1.2	-0.1	-0.2	-1.3	-0.0	9.55
	SLE Quasi Permanenti +	-1.2	-0.1	-0.2	-1.3	-0.0	9.55
9 15	SLU Statiche -	-2.1	-0.5	0.6	-2.3	-0.3	-19.01
	SLU Statiche +	-2.1	-0.5	0.6	-2.3	-0.3	-19.01
	SLE Rare -	-1.4	-0.3	0.4	-1.5	-0.2	-19.01
	SLE Rare +	-1.4	-0.3	0.4	-1.5	-0.2	-19.01
	SLE Frequenti -	-1.1	-0.3	0.3	-1.2	-0.2	-19.01
	SLE Frequenti +	-1.1	-0.3	0.3	-1.2	-0.2	-19.01
	SLE Quasi Permanenti -	-1.0	-0.3	0.3	-1.1	-0.2	-19.01
	SLE Quasi Permanenti +	-1.0	-0.3	0.3	-1.1	-0.2	-19.01

Sollecitazioni negli elementi a 4 nodi

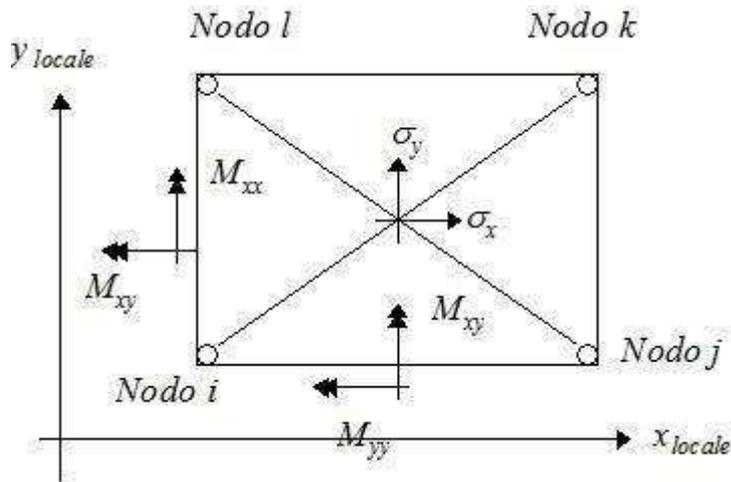
Convenzioni adottate

Nel seguito sono riportate le sollecitazioni indotte negli elementi a 4 nodi sia come sollecitazioni in corrispondenza dei nodi che come tensioni e momenti medi valutati nel centro dell'elemento. Per una dettagliata spiegazione sui presupposti teorici, il campo di applicazione e le modalità di impiego si rimanda all'apposito capitolo del manuale teorico in dotazione al programma.

Il sistema di riferimento locale dell'elemento risulta essere così disposto:

- L'asse x locale sulla congiungente i nodi i e j da i verso j.
- L'asse y locale sulla congiungente i nodi i e l da i verso l.
- L'asse z locale è ottenuto per prodotto vettoriale fra $\mathbf{x}_{\text{locale}}$ e $\mathbf{y}_{\text{locale}}$.
- Le tensioni medie nell'elemento ($\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$) e i momenti medi ($\mathbf{M}_x, \mathbf{M}_y, \mathbf{M}_{xy}$) sono anch'essi da intendersi diretti lungo le direzioni sopra citate.

RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – SCALA INTERNA IN C.A.



Nodi	Comb.	m_x	m_y	m_{xy}	t_x	t_y	m_1	m_2	Angol o [°]
Ni - Nk		[kgm/m]	[kgm/m]	[kgm/m]	[kg/m]	[kg/m]	[kgm/m]	[kgm/m]	
1 3	SLU Statiche -	46.64	31.63	-12.52	250.4	-985.3	53.73	24.54	-29.53
	SLU Statiche +	46.64	31.63	-12.52	250.4	-985.3	53.73	24.54	-29.53
	SLE Rare -	31.09	21.09	-8.35	167.0	-656.9	35.82	16.36	-29.53
	SLE Rare +	31.09	21.09	-8.35	167.0	-656.9	35.82	16.36	-29.53
	SLE Frequenti -	24.87	16.87	-6.68	133.6	-525.5	28.66	13.09	-29.53
	SLE Frequenti +	24.87	16.87	-6.68	133.6	-525.5	28.66	13.09	-29.53
	SLE Quasi Permanenti -	22.80	15.47	-6.12	122.4	-481.7	26.27	12.00	-29.53
	SLE Quasi Permanenti +	22.80	15.47	-6.12	122.4	-481.7	26.27	12.00	-29.53
3 5	SLU Statiche -	-327.11	17.32	-59.64	399.5	-108.2	-337.15	27.36	9.55
	SLU Statiche +	-327.11	17.32	-59.64	399.5	-108.2	-337.15	27.36	9.55
	SLE Rare -	-218.07	11.55	-39.76	266.3	-72.1	-224.76	18.24	9.55
	SLE Rare +	-218.07	11.55	-39.76	266.3	-72.1	-224.76	18.24	9.55
	SLE Frequenti -	-174.46	9.24	-31.81	213.1	-57.7	-179.81	14.59	9.55
	SLE Frequenti +	-174.46	9.24	-31.81	213.1	-57.7	-179.81	14.59	9.55
	SLE Quasi Permanenti -	-159.92	8.47	-29.16	195.3	-52.9	-164.83	13.38	9.55
	SLE Quasi Permanenti +	-159.92	8.47	-29.16	195.3	-52.9	-164.83	13.38	9.55
10 5	SLU Statiche -	57.45	-246.39	183.50	118.9	556.3	143.76	-332.69	25.19
	SLU Statiche +	57.45	-246.39	183.50	118.9	556.3	143.76	-332.69	25.19
	SLE Rare -	38.30	-164.26	122.33	79.3	370.9	95.84	-221.80	25.19
	SLE Rare +	38.30	-164.26	122.33	79.3	370.9	95.84	-221.80	25.19
	SLE Frequenti -	30.64	-131.41	97.87	63.4	296.7	76.67	-177.44	25.19
	SLE Frequenti +	30.64	-131.41	97.87	63.4	296.7	76.67	-177.44	25.19
	SLE Quasi Permanenti -	28.09	-120.46	89.71	58.1	272.0	70.28	-162.65	25.19
	SLE Quasi Permanenti +	28.09	-120.46	89.71	58.1	272.0	70.28	-162.65	25.19
4 9	SLU Statiche -	47.41	-109.48	-11.87	210.7	700.2	48.30	-110.37	-4.30
	SLU Statiche +	47.41	-109.48	-11.87	210.7	700.2	48.30	-110.37	-4.30
	SLE Rare -	31.61	-72.99	-7.92	140.5	466.8	32.20	-73.58	-4.30
	SLE Rare +	31.61	-72.99	-7.92	140.5	466.8	32.20	-73.58	-4.30
	SLE Frequenti -	25.29	-58.39	-6.33	112.4	373.5	25.76	-58.86	-4.30
	SLE Frequenti +	25.29	-58.39	-6.33	112.4	373.5	25.76	-58.86	-4.30
	SLE Quasi Permanenti -	23.18	-53.52	-5.80	103.0	342.3	23.61	-53.96	-4.30
	SLE Quasi Permanenti +	23.18	-53.52	-5.80	103.0	342.3	23.61	-53.96	-4.30
9 15	SLU Statiche -	-158.30	1.07	76.61	126.6	-57.2	-189.15	31.92	-21.94

RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – SCALA INTERNA IN C.A.

Nodi	Comb.	m_x	m_y	m_{xy}	t_x	t_y	m_1	m_2	Angol θ [°]
Ni - Nk		[kgm/m]	[kgm/m]	[kgm/m]	[kg/m]	[kg/m]	[kgm/m]	[kgm/m]	
	SLU Statiche +	-158.30	1.07	76.61	126.6	-57.2	-189.15	31.92	-21.94
	SLE Rare -	-105.53	0.71	51.08	84.4	-38.2	-126.10	21.28	-21.94
	SLE Rare +	-105.53	0.71	51.08	84.4	-38.2	-126.10	21.28	-21.94
	SLE Frequenti -	-84.42	0.57	40.86	67.5	-30.5	-100.88	17.03	-21.94
	SLE Frequenti +	-84.42	0.57	40.86	67.5	-30.5	-100.88	17.03	-21.94
	SLE Quasi Permanenti -	-77.39	0.52	37.46	61.9	-28.0	-92.47	15.61	-21.94
	SLE Quasi Permanenti +	-77.39	0.52	37.46	61.9	-28.0	-92.47	15.61	-21.94

- [En.Ex.Sys. WinStrand](#)
- [Dati relativi ai nodi della struttura](#)
- [Elementi a 4 nodi](#)
- [Condizioni e combinazioni di carico](#)
- [Carichi e coppie applicati ai nodi](#)
- [Carichi applicati agli elementi](#)
- [Sollecitazioni negli elementi a 4 nodi](#)
- [Sollecitazioni negli elementi a 4 nodi](#)

RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – VERIFICHE C.A. SCALA

En.Ex.Sys. WinStrand

Structural Analysis & Design

Ditta produttrice:

En.Ex.Sys. s.r.l. - Via Tizzano 46/2 - Casalecchio di Reno (Bologna)

Sigla:

WinStrand

Piattaforma software:

Microsoft Windows XP Home, Microsoft Windows XP Home Professional

Documentazione in uso:

Manuale teorico - Manuale d'uso

Campo di applicazione:

Analisi statica e dinamica di strutture in campo elastico lineare.

Elementi finiti implementati

- Truss.
- Beam (Modellazione di Travi e Pilastrini).
- Travi su suolo elastico alla Winckler.
- Plinti su suolo elastico alla Winckler.
- Elementi Shear Wall per la modellazione di pareti di taglio.
- Elementi shell (lastra/piastra) equivalenti.
- Elementi Isoparametrici a 8 Nodi Shell (lastra/piastra).

Schemi di Carico

- Carichi nodali concentrati.
- Carichi applicati direttamente agli elementi.
- Carichi Superficiali.

Tipo di Risoluzione

- Analisi statica e/o dinamica in campo lineare con il metodo dell'equilibrio.
- Fattorizzazione LDL^T .
- Analisi Statica:
 - - modellazione generale 6 gradi di libertà per nodo.
 - ipotesi di solai infinitamente rigidi nel proprio piano (3 gradi di libertà per nodo + 3 per impalcato).
- Analisi dinamica. (Nel caso di analisi modale gli autovettori ed autovalori possono essere calcolati mediante *subspace iteration* oppure tramite il *metodo dei vettori di Ritz*):
 - - Via statica equivalente.
 - Modale con il metodo dello spettro di risposta.

Normativa di riferimento

La normativa italiana cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo e progettazione è la seguente:

- Circolare del 2 Febbraio 2009, n. 617 "Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008"
- D.M. del 14 Gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni"
- D.M. del 17 Gennaio 2018 Aggiornamento "norme tecniche per le costruzioni"
- Ordinanza n. 3274 del 20 Marzo 2003. "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"
- Ordinanza n. 3316. "Modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003"
- D.M. del 16 Gennaio 1996. "Norme tecniche relative ai «Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi»".
- D.M. del 16 Gennaio 1996. "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche"
- D.M. del 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".
- D.M. del 14 Febbraio 1992. "Norme Tecniche per l'esecuzione delle opere in C.A. normale e precompresso e per le strutture metalliche".

RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – VERIFICHE C.A. SCALA

- D.M. del 3 Ottobre 1978. "Criteri generali per la verifica della sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".
- D.M. del 3 Marzo 1975. "Disposizioni concernenti l'applicazione delle norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche".
- D.M. del 3 Marzo 1975. "Approvazione delle norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche".
- Legge n. 64 del 2 Febbraio 1974. "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".
- Legge n. 1086 del 5 Novembre 1971. "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica".
- Istruzioni per la valutazione delle: Azioni sulle Costruzioni. (C.N.R. 10012/85)

Verifiche lastre/piastre

Modalità di verifica

Gli elementi lastra/piastra possono essere distinti in due categorie in funzione dello stato di sollecitazione:

- elementi soggetti ad uno stato di sollecitazione semplice (flessione o tensionale a membrana);
- elementi soggetti ad uno stato di sollecitazione misto (flessionale e tensionale a membrana).

Le verifiche per stato di sollecitazione semplice sono svolte proiettando le armature lungo le direzioni principali e effettuando la verifica a flessione retta/membrana lungo tali direzioni.

Per gli elementi soggetti ad uno stato di sollecitazione misto, le direzioni principali variano, lungo lo sviluppo z dell'elemento, in modo continuo. Il codice di verifica procede a:

- suddivisione dell'elemento in strati di 1 cm di spessore;
- valutazione, per ogni strato, del corrispondente stato di deformazione e tensione membranale;
- ricostruzione, per sovrapposizione dei vari strati membranali, del comportamento globale dell'elemento soggetto allo stato misto di pressoflessione.

L'Utente può definire delle sezioni trasversali, per le quali le sollecitazioni sono valutate mediando integrazione sulla lunghezza della sezione

Nella determinazione della matrice di rigidità degli strati di cls, si assume:

- Metodo T.A.: il calcestruzzo in compressione è assunto indefinitamente elastico lineare mentre, in trazione, si può assumere (opzionalmente) che sia in grado di assumere una trazione compresa fra 0 e f_{ct} , essendo f_{ct} la resistenza a trazione del calcestruzzo definita dall'EC2;
- Metodo S.L.U.: il metodo impiegato è quello noto come MCFT acronimo di "Modified Compression Field Method", sviluppato presso l'Università di Toronto da Collins e Del Vecchio a partire dagli anni '80. Il metodo, nella forma implementata, assume per la curva monoassiale tensione-deformazioni del cls quanto previsto dall'EC2;

La verifica a punzonamento può essere condotta considerando o non considerando autoequilibrate le tensioni nel terreno sotto il cono di punzonamento. L'angolo di diffusione è fissato dall'utente.

I copriferri indicati sono da intendersi riferiti al centro delle barre resistenti.

Simbologia utilizzata T.A.:

σ_{amm}	Tensione ammissibile
$\sigma_{amm,Trazione}$	Tensione ammissibile di trazione cls
$\sigma_{cls,1}$	Tensione cls direzione 1
$\sigma_{cls,2}$	Tensione cls direzione 2
$\sigma_{acciaio,1}$	Tensione acciaio direzione 1
$\sigma_{acciaio,2}$	Tensione acciaio direzione 2
$c_{f_x,Eq}$	Copriferro in direzione x
A_{f_x}	Armatura in direzione x
$c_{f_y,Eq}$	Copriferro in direzione y
A_{f_y}	Armatura in direzione y

RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – VERIFICHE C.A. SCALA

$N_{xx}, N_y, N_{xy}, M_{xx}, M_{yy}, M_{xy}$	Componenti di sollecitazione esterna
$N_{11}, N_{22}, M_{11}, M_{22}, M_{12}$	Componenti di sollecitazione principali
α	Angolo direzioni principali
d	Distanza a cui è calcolato il perimetro critico
$\tau_{b,0}$	Tensione ammissibile a taglio elementi privi di armatura a taglio
$\tau_{b,1}$	Tensione ammissibile a taglio elementi con armatura a taglio
N, M_x, M_y	Sollecitazione esterna verifica a punzonamento
τ	Tensione tangenziale massima

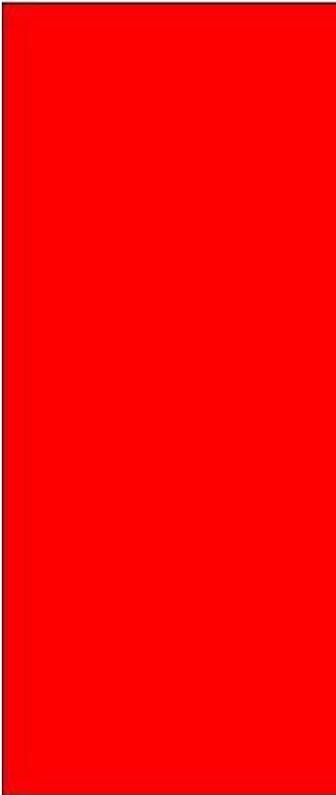
Simbologia utilizzata S.L.:

f_{yd}	Tensione di snervamento di progetto barre armatura
ϵ_{ud}	Deformazione uniforme ultima
ϵ_{yd}	Deformazione al limite di snervamento
f_{ck}	Resistenza cilindrica caratteristica
f_{cd}	Tensione di calcolo a compressione di base
ϵ_{e2}	Deformazione limite elastico
ϵ_y	Deformazione limite ultimo
f_{ctd}	Tensione di calcolo a trazione di progetto
E_{cm}	Deformazione al limite di trazione
$cf_{x,Eq}$	Modulo elastico
Af_x	Copriferro in direzione x
$cf_{y,Eq}$	Armatura in direzione x
Af_y	Copriferro in direzione y
	Armatura in direzione y
$N_{xx}, N_y, N_{xy}, M_{xx}, M_{yy}, M_{xy}$	Componenti di sollecitazione esterna
$N_{11}, N_{22}, M_{11}, M_{22}, M_{12}$	Componenti di sollecitazione principali
α	Angolo direzioni principali
Cr	Coefficiente rottura S_D/S_R
ϵ_x	Deformazione acciaio direzione x
ϵ_y	Deformazione acciaio direzione y
ϵ_{min}	Deformazione minima cls
ϵ_{max}	Deformazione massima cls
θ_{max}	Angolo direzioni principali di deformazione
σ_{amm}	Tensione ammissibile S.L.E. di riferimento
σ_x	Tensione nelle barre nello S.L.E. di riferimento in direzione x
σ_y	Tensione nelle barre nello S.L.E. di riferimento in direzione y
$\sigma_{c,Max}$	Tensione massima nel cls nello S.L.E. di riferimento
d	Distanza a cui è calcolato il perimetro critico

RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – VERIFICHE C.A. SCALA

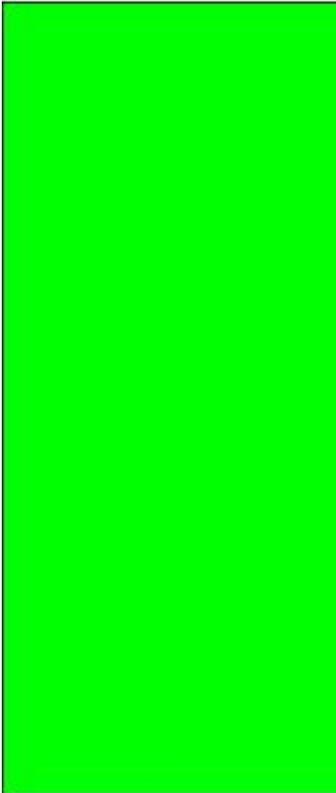
$C_{Rd,c}$	Coefficiente taglio resistente elementi privi di armatura a taglio
V_{Ed}, M_{xEd}, M_{yEd}	Sollecitazione esterna verifica a punzonamento
B_x, B_y	Dimensioni perimetro critico
β	Angolo diffusione tensioni
v_{Ed}	Tensione tangenziale sull'area critica
ρ	Rapporto meccanico di armatura
$V_{Rd,c}$	Taglio resistente elementi privi di armatura

Mappa armature di Estradosso



Colore	Armature
	top $\varnothing 12/20'$ X + $\varnothing 12/20'$ Y c=3.00 [cm]

Mappa armature di Intradosso



Colore **Armature**
■ bottom \emptyset 12/20' X + \emptyset 12/20' Y c=3.00 [cm]

Impostazioni di verifica

Curva σ/ε Calcestruzzo

- secondo Hognestad

Modellazione softening (trazione/compressione)

- $f_{c,d,soft} = f_{c,d} \cdot 0.9 / \sqrt{1+400 \cdot \varepsilon_t} / \text{Hognestad}$

Modellazione compressione biassiale

- $f_{c,d,biaxial} = f_{c,d} \cdot (1 + 3.8 \cdot \alpha) / (1.0 + \alpha)^2 / \alpha = \varepsilon_{c1} / \varepsilon_{c2}$ (EC2 Ponti 6.110)

Elementi più sollecitati per tipologia di sezione

Verifiche SLU Shell elemento nodi 1 3

Proprietà dei materiali

Acciaio B 450 C

- f_{yd} 3913.0 [kg/cm²]
- ε_{ud} 67.00 ‰
- ε_{yd} 1.86 ‰

Calcestruzzo C25/30

- f_{ed} 141.7 [kg/cm²]

RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – VERIFICHE C.A. SCALA

- ϵ_{c2} -2.00 ‰
- ϵ_{cu} -3.50 ‰
- f_{ctd} 12.0 [kg/cm²]
- ϵ_{ctd} 0.08 ‰
- E_{cm} 141666.7 [kg/cm²]

Sezione

- sezione 1 H=20.00 [cm]

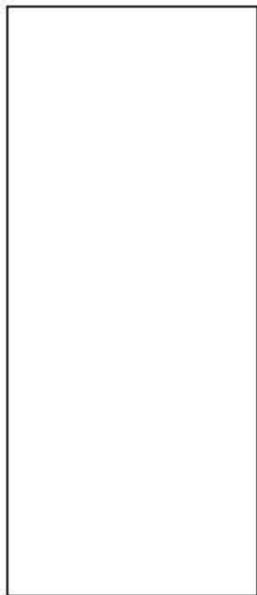
Estradosso				Intradosso			
Af _x	cf _{x,Eq}	Af _y	cf _{y,Eq}	Af _x	cf _{x,Eq}	Af _y	cf _{y,Eq}
[cm ²]/m	[cm]						
5.65	3.00	5.65	3.00	5.65	3.00	5.65	3.00

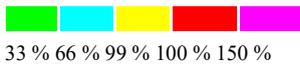
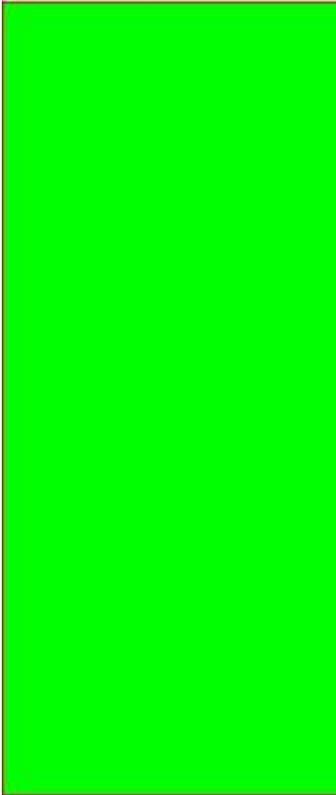
Azioni di verifica combinazione 1 (0.60 1.42 [m])

N _x	-2758.6 [kg/m]	N ₁₁	-1981.5 [kg/m]
N _y	-8449.3 [kg/m]	N ₂₂	-9226.5 [kg/m]
N _{xy}	2241.9 [kg/m]	α	19.12 [°]
M _{xx}	46.64 [kgm/m]	M ₁₁	53.73 [kgm/m]
M _y	31.63 [kgm/m]	M ₂₂	24.54 [kgm/m]
M _{xy}	-12.52 [kgm/m]	α	-29.53 [°]

Verifiche

Cr=S/R	Posizione	Acciaio		Calcestruzzo		
		ϵ_x ‰	ϵ_y ‰	ϵ_{min} ‰	ϵ_{max} ‰	θ [°]
0.03	Estradosso	-0.180	-0.794	-0.061	-0.375	1.75
	Intradosso	-0.666	-2.523	-0.225	-3.500	24.40





Verifiche SLE Rare Shell elemento nodi 1 3

Proprietà dei materiali

Acciaio B 450 C

- f_{yd} 3913.0 [kg/cm²]
- ϵ_{ud} 67.00 ‰
- ϵ_{yd} 1.86 ‰
- σ 3600.0 [kg/cm²]

Calcestruzzo C25/30

- f_{cd} 141.7 [kg/cm²]
- ϵ_{c2} -2.00 ‰
- ϵ_{cu} -3.50 ‰
- f_{ctd} 25.6 [kg/cm²]
- ϵ_{ctd} 0.18 ‰
- E_{cm} 141666.7 [kg/cm²]
- σ 150.0 [kg/cm²]

Sezione

- sezione 1 H=20.00 [cm]

Estradosso				Intradosso			
Af_x	$cf_{x,Eq}$	Af_y	$cf_{y,Eq}$	Af_x	$cf_{x,Eq}$	Af_y	$cf_{y,Eq}$
[cm ²] / m	[cm]						
5.65	3.00	5.65	3.00	5.65	3.00	5.65	3.00

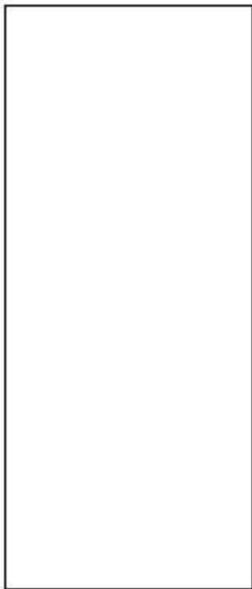
RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – VERIFICHE C.A. SCALA

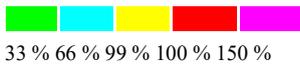
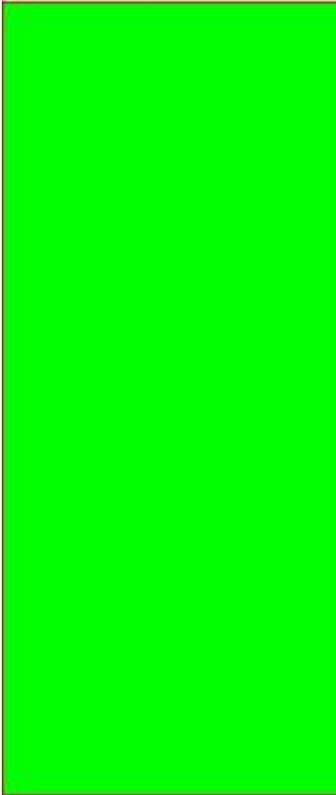
Azioni di verifica combinazione 2 (0.60 1.42 [m])

N_x -1839.1 [kg/m] N_{11} -1321.0 [kg/m]
 N_y -5632.9 [kg/m] N_{22} -6151.0 [kg/m]
 N_{xy} 1494.6 [kg/m] α 19.12 [°]
 M_{xx} 31.09 [kgm/m] M_{11} 35.82 [kgm/m]
 M_y 21.09 [kgm/m] M_{22} 16.36 [kgm/m]
 M_{xy} -8.35 [kgm/m] α -29.53 [°]

Verifiche

Cr=S/R	Posizione	Acciaio		Calcestruzzo		Stato	Ampiezza Fessure mm
		σ_x [kg/cm ²]	σ_y [kg/cm ²]	$\sigma_{c,Max}$ [kg/cm ²]	θ [°]		
0.02	Estradosso	-8.6	-35.8	-2.9	16.88		
	Intradosso	-16.6	-41.2	-4.1	23.46		





Verifiche SLE Frequenti Shell elemento nodi 1 3

Proprietà dei materiali

Acciaio B 450 C

- f_{yd} 3913.0 [kg/cm²]
- ϵ_{ud} 67.00 ‰
- ϵ_{yd} 1.86 ‰
- σ 4500.0 [kg/cm²]

Calcestruzzo C25/30

- f_{cd} 141.7 [kg/cm²]
- ϵ_{c2} -2.00 ‰
- ϵ_{cu} -3.50 ‰
- f_{ctd} 25.6 [kg/cm²]
- ϵ_{ctd} 0.18 ‰
- E_{cm} 141666.7 [kg/cm²]
- σ 250.0 [kg/cm²]

Sezione

- sezione 1 H=20.00 [cm]

Estradosso				Intradosso			
Af_x	$cf_{x,Eq}$	Af_y	$cf_{y,Eq}$	Af_x	$cf_{x,Eq}$	Af_y	$cf_{y,Eq}$
[cm ²] / m	[cm]						
5.65	3.00	5.65	3.00	5.65	3.00	5.65	3.00

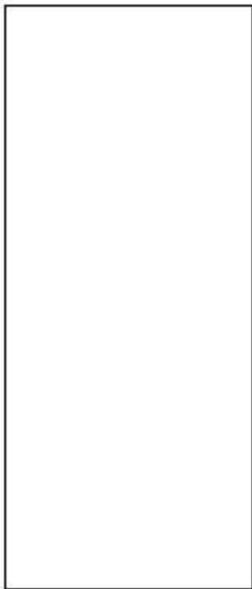
RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – VERIFICHE C.A. SCALA

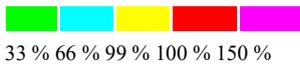
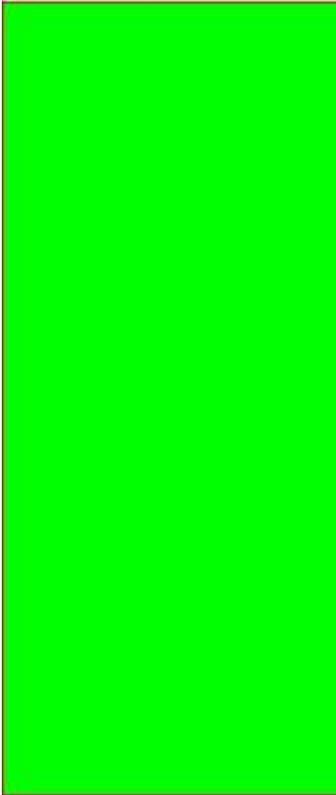
Azioni di verifica combinazione 3 (0.60 1.42 [m])

N_x -1471.3 [kg/m] N_{11} -1056.8 [kg/m]
 N_y -4506.3 [kg/m] N_{22} -4920.8 [kg/m]
 N_{xy} 1195.7 [kg/m] α 19.12 [°]
 M_{xx} 24.87 [kgm/m] M_{11} 28.66 [kgm/m]
 M_y 16.87 [kgm/m] M_{22} 13.09 [kgm/m]
 M_{xy} -6.68 [kgm/m] α -29.53 [°]

Verifiche

Cr=S/R	Posizione	Acciaio		Calcestruzzo		Stato	Ampiezza Fessure mm
		σ_x [kg/cm ²]	σ_y [kg/cm ²]	$\sigma_{c,Max}$ [kg/cm ²]	θ [°]		
0.02	Estradosso	-6.8	-28.6	-2.3	16.88		
	Intradosso	-13.3	-33.0	-3.2	23.46		





Verifiche SLE Quasi Permanenti Shell elemento nodi 1 3

Proprietà dei materiali

Acciaio B 450 C

- f_{yd} 3913.0 [kg/cm²]
- ϵ_{ud} 67.00 ‰
- ϵ_{yd} 1.86 ‰
- σ 4500.0 [kg/cm²]

Calcestruzzo C25/30

- f_{ed} 141.7 [kg/cm²]
- ϵ_{c2} -2.00 ‰
- ϵ_{cu} -3.50 ‰
- f_{ctd} 25.6 [kg/cm²]
- ϵ_{ctd} 0.18 ‰
- E_{cm} 141666.7 [kg/cm²]
- σ 112.5 [kg/cm²]
- w_{Max} 0.30 mm

Sezione

- sezione 1 H=20.00 [cm]

Estradosso				Intradosso			
Af_x	$cf_{x,Eq}$	Af_y	$cf_{y,Eq}$	Af_x	$cf_{x,Eq}$	Af_y	$cf_{y,Eq}$
[cm ²] / m	[cm] [cm ²] / m	[cm] [cm ²] / m	[cm] [cm ²] / m	[cm ²] / m	[cm] [cm ²] / m	[cm ²] / m	[cm] [cm ²] / m

RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – VERIFICHE C.A. SCALA

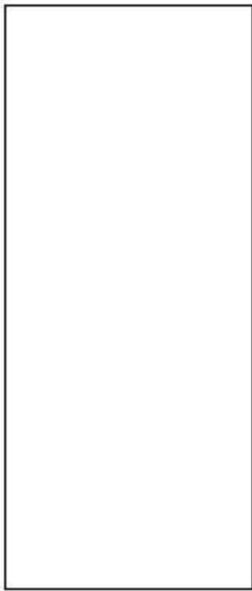
5.65 3.00 5.65 3.00 5.65 3.00 5.65 3.00

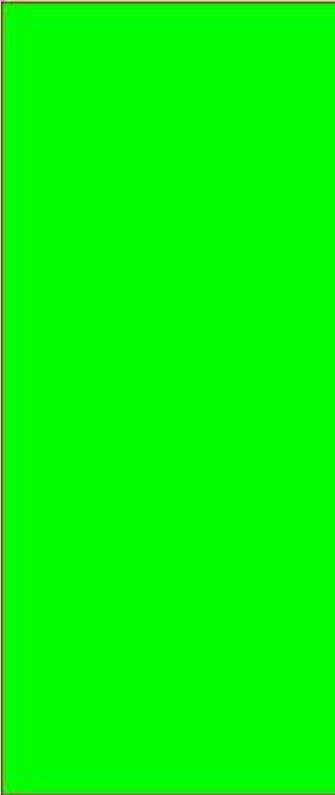
Azioni di verifica combinazione 4 (0.60 1.42 [m])

N_x -1348.7 [kg/m] N_{11} -968.7 [kg/m]
 N_y -4130.8 [kg/m] N_{22} -4510.7 [kg/m]
 N_{xy} 1096.1 [kg/m] α 19.12 [°]
 M_{xx} 22.80 [kgm/m] M_{11} 26.27 [kgm/m]
 M_y 15.47 [kgm/m] M_{22} 12.00 [kgm/m]
 M_{xy} -6.12 [kgm/m] α -29.53 [°]

Verifiche

Cr=S/R	Posizione	Acciaio		Calcestruzzo		Stato	Ampiezza Fessure mm
		σ_x [kg/cm ²]	σ_y [kg/cm ²]	$\sigma_{c,Max}$ [kg/cm ²]	θ [°]		
0.02	Estradosso	-6.3	-26.2	-2.1	16.88	NON Fessurato	0.000
	Intradosso	-12.2	-30.2	-3.0	23.46	NON Fessurato	0.000





- [En.Ex.Svs. WinStrand](#)
- [Verifiche lastre/piastre](#)

RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – VERIFICA PIANEROTTOLO SCALE C.A.

En.Ex.Sys. WinStrand

Structural Analysis & Design

Ditta produttrice:
En.Ex.Sys. s.r.l. - Via Tizzano 46/2 - Casalecchio di Reno (Bologna)
Sigla:
WinStrand
Piattaforma software:
Microsoft Windows XP Home, Microsoft Windows XP Home Professional
Documentazione in uso:
Manuale teorico - Manuale d'uso
Campo di applicazione:
Analisi statica e dinamica di strutture in campo elastico lineare.

Elementi finiti implementati

- Truss.
- Beam (Modellazione di Travi e Pilastrini).
- Travi su suolo elastico alla Winckler.
- Plinti su suolo elastico alla Winckler.
- Elementi Shear Wall per la modellazione di pareti di taglio.
- Elementi shell (lastra/piastra) equivalenti.
- Elementi Isoparametrici a 8 Nodi Shell (lastra/piastra).

Schemi di Carico

- Carichi nodali concentrati.
- Carichi applicati direttamente agli elementi.
- Carichi Superficiali.

Tipo di Risoluzione

- Analisi statica e/o dinamica in campo lineare con il metodo dell'equilibrio.
- Fattorizzazione LDL^T .
- Analisi Statica:
 - - modellazione generale 6 gradi di libertà per nodo.
 - ipotesi di solai infinitamente rigidi nel proprio piano (3 gradi di libertà per nodo + 3 per impalcato).
- Analisi dinamica. (Nel caso di analisi modale gli autovettori ed autovalori possono essere calcolati mediante *subspace iteration* oppure tramite il *metodo dei vettori di Ritz*):
 - - Via statica equivalente.
 - Modale con il metodo dello spettro di risposta.

Normativa di riferimento

La normativa italiana cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo e progettazione è la seguente:

- Circolare del 2 Febbraio 2009, n. 617 "Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008"
- D.M. del 14 Gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni"
- D.M. del 17 Gennaio 2018 Aggiornamento "norme tecniche per le costruzioni"
- Ordinanza n. 3274 del 20 Marzo 2003. "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"
- Ordinanza n. 3316. "Modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003"
- D.M. del 16 Gennaio 1996. "Norme tecniche relative ai «Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi sovraccarichi»".
- D.M. del 16 Gennaio 1996. "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche"
- D.M. del 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".
- D.M. del 14 Febbraio 1992. "Norme Tecniche per l'esecuzione delle opere in C.A. normale e precompresso e per le strutture metalliche".

RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – VERIFICA PIANEROTTOLO SCALE C.A.

- D.M. del 3 Ottobre 1978. "Criteri generali per la verifica della sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".
- D.M. del 3 Marzo 1975. "Disposizioni concernenti l'applicazione delle norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche".
- D.M. del 3 Marzo 1975. "Approvazione delle norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche".
- Legge n. 64 del 2 Febbraio 1974. "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".
- Legge n. 1086 del 5 Novembre 1971. "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica".
- Istruzioni per la valutazione delle: Azioni sulle Costruzioni. (C.N.R. 10012/85)

Verifiche lastre/piastre

Modalità di verifica

Gli elementi lastra/piastra possono essere distinti in due categorie in funzione dello stato di sollecitazione:

- elementi soggetti ad uno stato di sollecitazione semplice (flessione o tensionale a membrana);
- elementi soggetti ad uno stato di sollecitazione misto (flessionale e tensionale a membrana).

Le verifiche per stato di sollecitazione semplice sono svolte proiettando le armature lungo le direzioni principali e effettuando la verifica a flessione retta/membrana lungo tali direzioni.

Per gli elementi soggetti ad uno stato di sollecitazione misto, le direzioni principali variano, lungo lo sviluppo z dell'elemento, in modo continuo. Il codice di verifica procede a:

- suddivisione dell'elemento in strati di 1 cm di spessore;
- valutazione, per ogni strato, del corrispondente stato di deformazione e tensione membranale;
- ricostruzione, per sovrapposizione dei vari strati membranali, del comportamento globale dell'elemento soggetto allo stato misto di pressoflessione.

L'Utente può definire delle sezioni trasversali, per le quali le sollecitazioni sono valutate mediando integrazione sulla lunghezza della sezione

Nella determinazione della matrice di rigidezza degli strati di cls, si assume:

- Metodo T.A.: il calcestruzzo in compressione è assunto indefinitamente elastico lineare mentre, in trazione, si può assumere (opzionalmente) che sia in grado di assumere una trazione compresa fra 0 e f_{ct} , essendo f_{ct} la resistenza a trazione del calcestruzzo definita dall'EC2;
- Metodo S.L.U.: il metodo impiegato è quello noto come MCFT acronimo di "Modified Compression Field Method", sviluppato presso l'Università di Toronto da Collins e Del Vecchio a partire dagli anni '80. Il metodo, nella forma implementata, assume per la curva monoassiale tensione-deformazioni del cls quanto previsto dall'EC2;

La verifica a punzonamento può essere condotta considerando o non considerando autoequilibrate le tensioni nel terreno sotto il cono di punzonamento. L'angolo di diffusione è fissato dall'utente.

I copriferri indicati sono da intendersi riferiti al centro delle barre resistenti.

Simbologia utilizzata T.A.:

σ_{amm}	Tensione ammissibile
$\sigma_{amm,Trazione}$	Tensione ammissibile di trazione cls
$\sigma_{cls,1}$	Tensione cls direzione 1
$\sigma_{cls,2}$	Tensione cls direzione 2
$\sigma_{acciaio,1}$	Tensione acciaio direzione 1
$\sigma_{acciaio,2}$	Tensione acciaio direzione 2
$c_{f_{x,Eq}}$	Copriferro in direzione x
A_{f_x}	Armatura in direzione x
$c_{f_{y,Eq}}$	Copriferro in direzione y
A_{f_y}	Armatura in direzione y

RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – VERIFICA PIANEROTTOLO SCALE C.A.

$N_{xx}, N_y, N_{xy}, M_{xx}, M_{yy}, M_{xy}$	Componenti di sollecitazione esterna
$N_{11}, N_{22}, M_{11}, M_{22}, M_{12}$	Componenti di sollecitazione principali
α	Angolo direzioni principali
d	Distanza a cui è calcolato il perimetro critico
$\tau_{b,0}$	Tensione ammissibile a taglio elementi privi di armatura a taglio
$\tau_{b,1}$	Tensione ammissibile a taglio elementi con armatura a taglio
N, M_x, M_y	Sollecitazione esterna verifica a punzonamento
τ	Tensione tangenziale massima

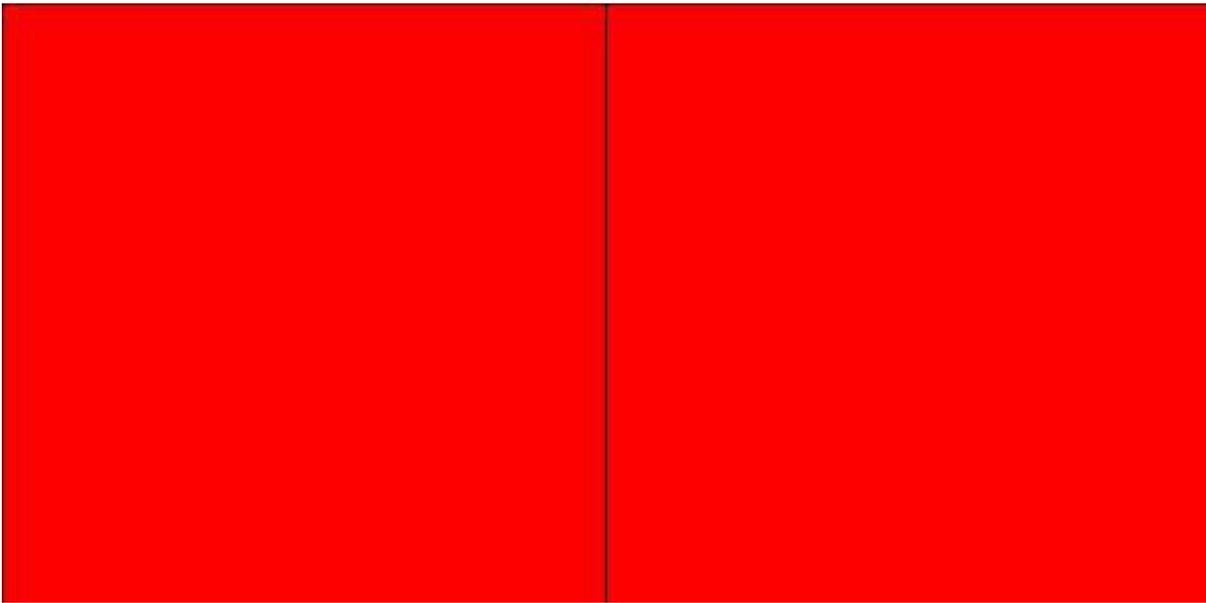
Simbologia utilizzata S.L.:

f_{yd}	Tensione di snervamento di progetto barre armatura
ϵ_{ud}	Deformazione uniforme ultima
ϵ_{yd}	Deformazione al limite di snervamento
f_{ek}	Resistenza cilindrica caratteristica
f_{cd}	Tensione di calcolo a compressione di base
ϵ_{e2}	Deformazione limite elastico
ϵ_y	Deformazione limite ultimo
f_{ctd}	Tensione di calcolo a trazione di progetto
ϵ_{ctd}	Deformazione al limite di trazione
E_{cm}	Modulo elastico
$cf_{x,Eq}$	Copriferro in direzione x
Af_x	Armatura in direzione x
$cf_{y,Eq}$	Copriferro in direzione y
Af_y	Armatura in direzione y
$N_{xx}, N_y, N_{xy}, M_{xx}, M_{yy}, M_{xy}$	Componenti di sollecitazione esterna
$N_{11}, N_{22}, M_{11}, M_{22}, M_{12}$	Componenti di sollecitazione principali
α	Angolo direzioni principali
Cr	Coefficiente rottura S_D/S_R
ϵ_x	Deformazione acciaio direzione x
ϵ_y	Deformazione acciaio direzione y
ϵ_{min}	Deformazione minima cls
ϵ_{max}	Deformazione massima cls
θ_{max}	Angolo direzioni principali di deformazione
σ_{amm}	Tensione ammissibile S.L.E. di riferimento
σ_x	Tensione nelle barre nello S.L.E. di riferimento in direzione x
σ_y	Tensione nelle barre nello S.L.E. di riferimento in direzione y
$\sigma_{c,Max}$	Tensione massima nel cls nello S.L.E. di riferimento
d	Distanza a cui è calcolato il perimetro critico

RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – VERIFICA PIANEROTTOLO SCALE C.A.

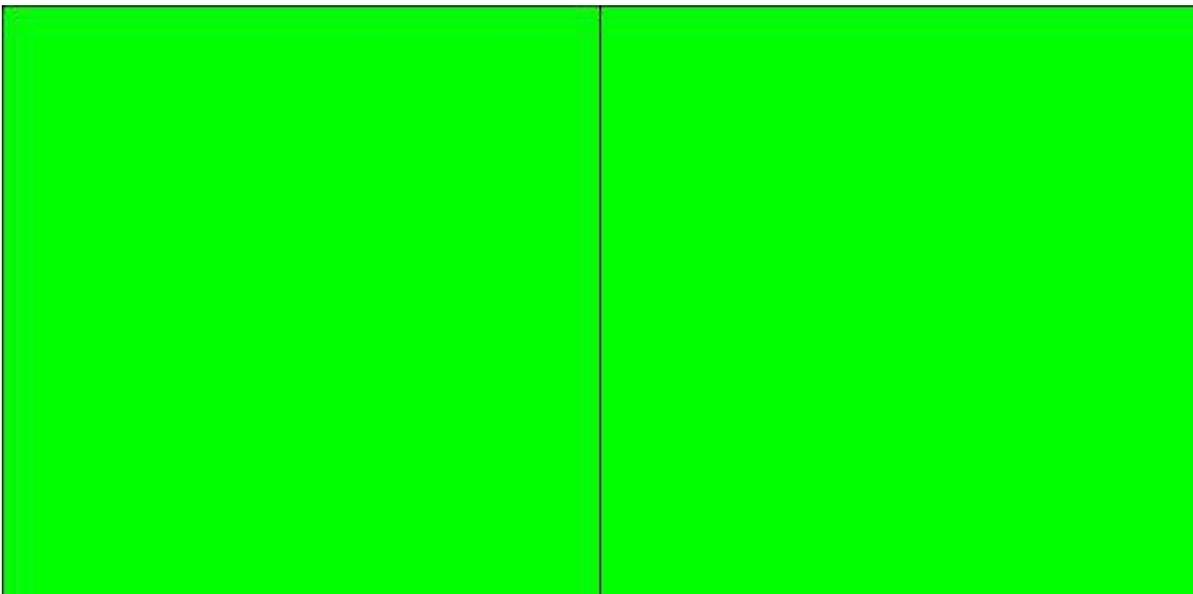
$C_{Rd,c}$	Coefficiente taglio resistente elementi privi di armatura a taglio
V_{Ed}, M_{xEd}, M_{yEd}	Sollecitazione esterna verifica a punzonamento
B_x, B_y	Dimensioni perimetro critico
β	Angolo diffusione tensioni
v_{Ed}	Tensione tangenziale sull'area critica
ρ	Rapporto meccanico di armatura
$V_{Rd,c}$	Taglio resistente elementi privi di armatura

Mappa armature di Estradosso



Colore **Armature**
■ top $\varnothing 12/20'$ X + $\varnothing 12/20'$ Y c=3.00 [cm]

Mappa armature di Intradosso



RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – VERIFICA PIANEROTTOLO SCALE C.A.

Colore

Armature

 bottom \varnothing 12/20' X + \varnothing 12/20' Y c=3.00 [cm]

Impostazioni di verifica

Curva σ/ε Calcestruzzo

- secondo Hognestad

Modellazione softening (trazione/compressione)

- $f_{c,d,soft} = f_{c,d} 0.9/\sqrt{1+400 \varepsilon t}$ / Hognestad

Modellazione compressione biassiale

- $f_{c,d,biaxial} = f_{c,d} (1 + 3.8 \alpha) / (1.0 + \alpha)^2$ / $\alpha = \varepsilon_{c1}/\varepsilon_{c2}$ (EC2 Ponti 6.110)

Elementi più sollecitati per tipologia di sezione

Verifiche SLU Shell elemento nodi 10 5

Proprietà dei materiali

Acciaio B 450 C

- f_{yd} 3913.0 [kg/cm²]
- ε_{ud} 67.00 ‰
- ε_{yd} 1.86 ‰

Calcestruzzo C25/30

- f_{cd} 141.7 [kg/cm²]
- ε_{c2} -2.00 ‰
- ε_{cu} -3.50 ‰
- f_{ctd} 12.0 [kg/cm²]
- ε_{ctd} 0.08 ‰
- E_{cm} 141666.7 [kg/cm²]

Sezione

- sezione 1 H=20.00 [cm]

Estradosso				Intradosso			
Af _x	cf _{x,Eq}	Af _y	cf _{y,Eq}	Af _x	cf _{x,Eq}	Af _y	cf _{y,Eq}
[cm ²]/m	[cm]						
5.65	3.00	5.65	3.00	5.65	3.00	5.65	3.00

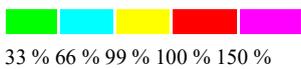
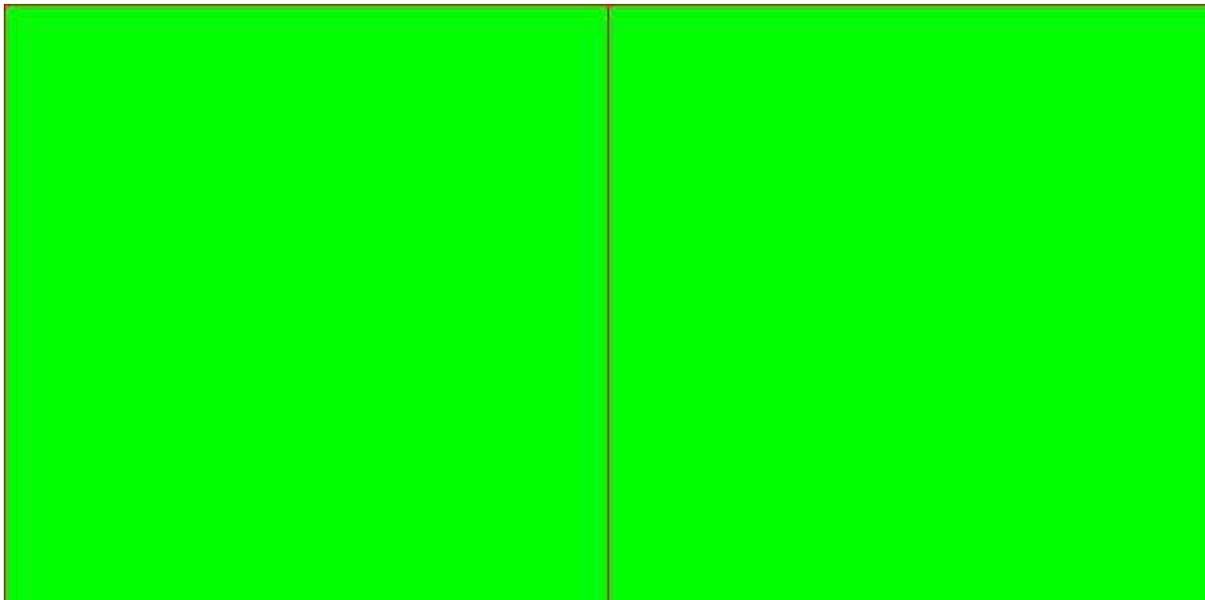
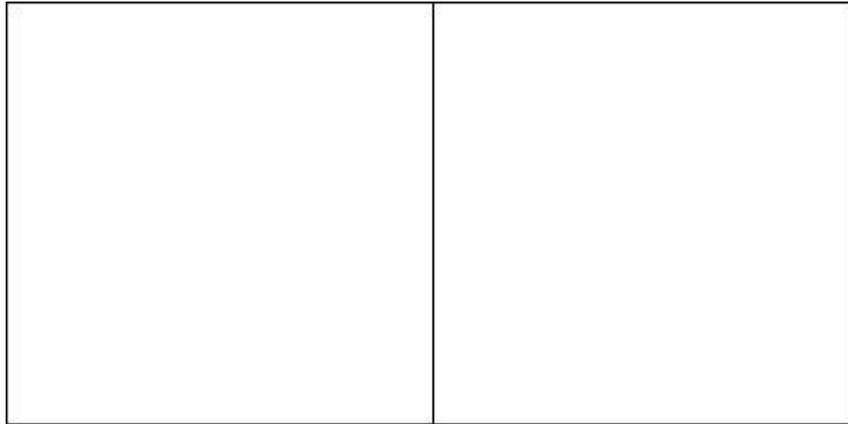
Azioni di verifica combinazione 1 (0.60 0.60 [m])

N_x 218.5 [kg/m] N_{11} 838.3 [kg/m]
 N_y -7105.3 [kg/m] N_{22} -7725.1 [kg/m]
 N_{xy} 2218.9 [kg/m] α 15.61 [°]
 M_{xx} 57.45 [kgm/m] M_{11} 143.76 [kgm/m]
 M_y -246.39 [kgm/m] M_{22} -332.69 [kgm/m]
 M_{xy} 183.50 [kgm/m] α 25.19 [°]

Verifiche

RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – VERIFICA PIANEROTTOLO SCALE C.A.

Cr=S/R	Posizione	Acciaio		Calcestruzzo		
		$\epsilon_x\%$	$\epsilon_y\%$	$\epsilon_{min}\%$	$\epsilon_{max}\%$	$\theta [^\circ]$
0.09	Estradosso	1.549	-1.158	3.661	-3.500	31.34
	Intradosso	0.826	0.513	2.299	-0.730	-47.53



Verifiche SLE Rare *Shell* elemento nodi 10 5

Proprietà dei materiali

Acciaio B 450 C

RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – VERIFICA PIANEROTTOLO SCALE C.A.

- f_{yd} 3913.0 [kg/cm²]
- ε_{ud} 67.00 ‰
- ε_{yd} 1.86 ‰
- σ 3600.0 [kg/cm²]

Calcestruzzo C25/30

- f_{cd} 141.7 [kg/cm²]
- ε_{c2} -2.00 ‰
- ε_{cu} -3.50 ‰
- f_{ctd} 25.6 [kg/cm²]
- ε_{ctd} 0.18 ‰
- E_{cm} 141666.7 [kg/cm²]
- σ 150.0 [kg/cm²]

Sezione

- sezione 1 H=20.00 [cm]

Estradosso				Intradosso			
Af _x	cf _{x,Eq}	Af _y	cf _{y,Eq}	Af _x	cf _{x,Eq}	Af _y	cf _{y,Eq}
[cm ²] / m	[cm]						
5.65	3.00	5.65	3.00	5.65	3.00	5.65	3.00

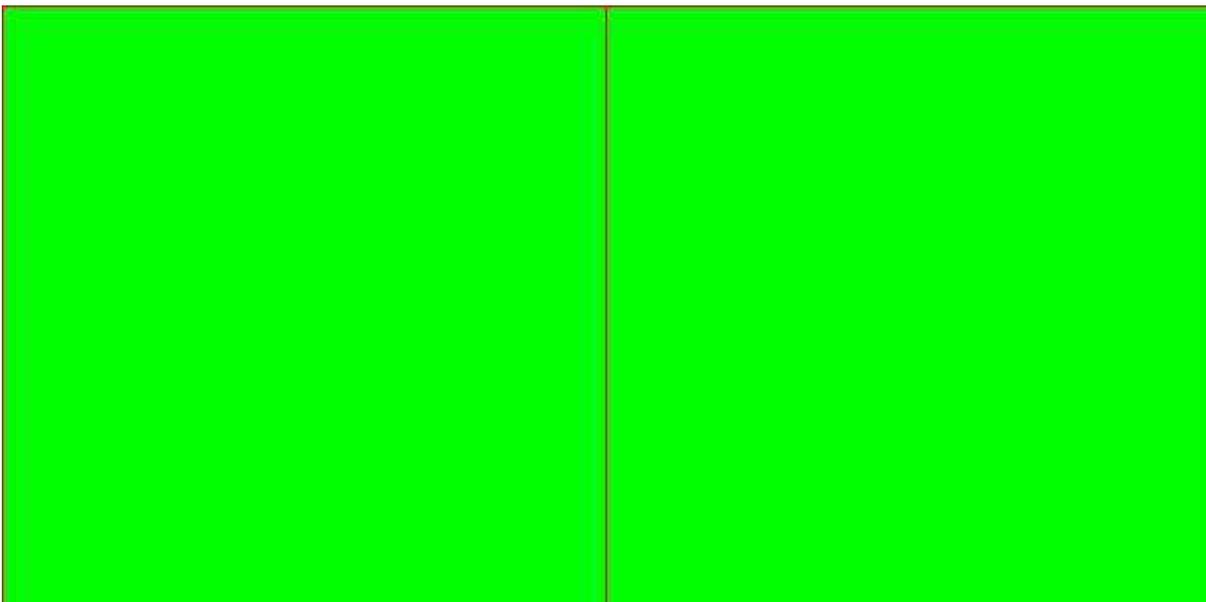
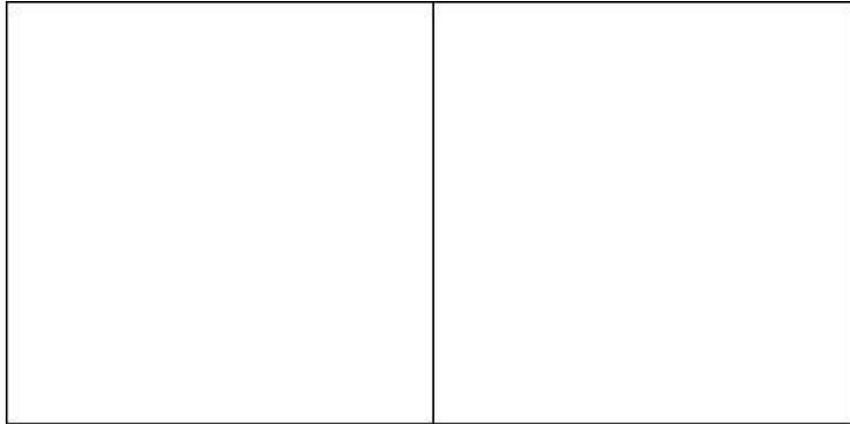
Azioni di verifica combinazione 2 (0.60 0.60 [m])

N _x	145.6	[kg/m]	N ₁₁	558.8	[kg/m]
N _y	-4736.9	[kg/m]	N ₂₂	-5150.0	[kg/m]
N _{xy}	1479.2	[kg/m]	α	15.61	[°]
M _{xx}	38.30	[kgm/m]	M ₁₁	95.84	[kgm/m]
M _y	-164.26	[kgm/m]	M ₂₂	-221.80	[kgm/m]
M _{xy}	122.33	[kgm/m]	α	25.19	[°]

Verifiche

Cr=S/R	Posizione	Acciaio		Calcestruzzo		Stato	Ampiezza Fessure mm
		σ_x	σ_y	$\sigma_{c,Max}$	θ		
		[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	[°]		
0.06	Estradosso	5.9	-54.1	-5.3	22.79		
	Intradosso	-4.0	-11.1	-1.3	-50.28		

RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – VERIFICA PIANEROTTOLO
SCALE C.A.



Verifiche SLE Frequenti *Shell* elemento nodi 10 5

Proprietà dei materiali

Acciaio B 450 C

- f_{yd} 3913.0 [kg/cm²]
- ϵ_{ud} 67.00 ‰
- ϵ_{yd} 1.86 ‰
- σ 4500.0 [kg/cm²]

RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – VERIFICA PIANEROTTOLO SCALE C.A.

Calcestruzzo C25/30

- f_{cd} 141.7 [kg/cm²]
- ϵ_{r2} -2.00 ‰
- ϵ_{cu} -3.50 ‰
- f_{ctd} 25.6 [kg/cm²]
- ϵ_{ctd} 0.18 ‰
- E_{cm} 141666.7 [kg/cm²]
- σ 250.0 [kg/cm²]

Sezione

- sezione 1 H=20.00 [cm]

Estradosso				Intradosso			
Af_x	$cf_{x,Eq}$	Af_y	$cf_{y,Eq}$	Af_x	$cf_{x,Eq}$	Af_y	$cf_{y,Eq}$
[cm ²] / m	[cm]						
5.65	3.00	5.65	3.00	5.65	3.00	5.65	3.00

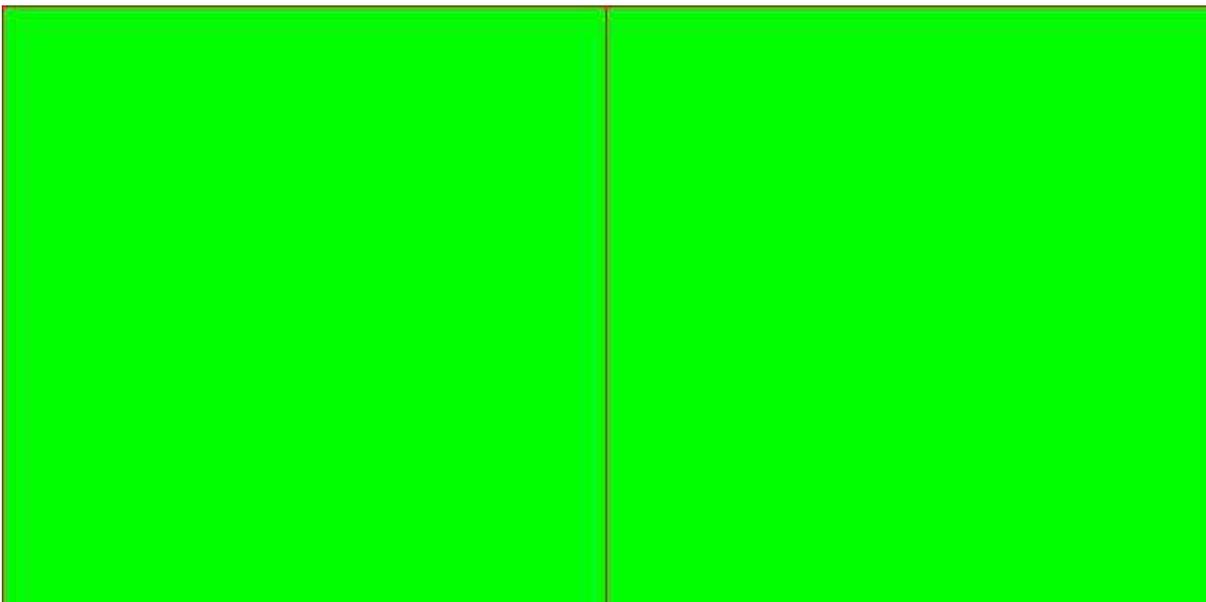
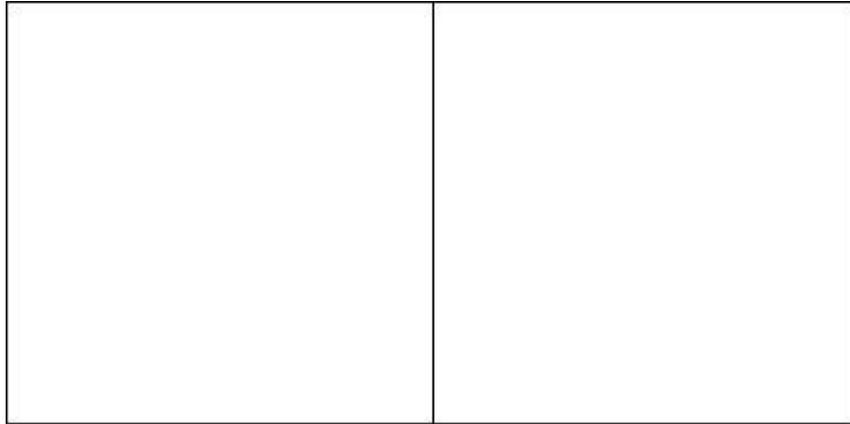
Azioni di verifica combinazione 3 (0.60 0.60 [m])

N_x	116.5	[kg/m]	N_{11}	447.1	[kg/m]
N_y	-3789.5	[kg/m]	N_{22}	-4120.0	[kg/m]
N_{xy}	1183.4	[kg/m]	α	15.61	[°]
M_{xx}	30.64	[kgm/m]	M_{11}	76.67	[kgm/m]
M_y	-131.41	[kgm/m]	M_{22}	-177.44	[kgm/m]
M_{xy}	97.87	[kgm/m]	α	25.19	[°]

Verifiche

Cr=S/R	Posizione	Acciaio		Calcestruzzo		Stato	Ampiezza Fessure mm
		σ_x	σ_y	$\sigma_{c,Max}$	θ		
		[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	[°]		
0.05	Estradosso	4.7	-43.2	-4.3	22.79		
	Intradosso	-3.2	-8.9	-1.0	-50.26		

RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – VERIFICA PIANEROTTOLO
SCALE C.A.



33 % 66 % 99 % 100 % 150 %

Verifiche SLE Quasi Permanenti Shell elemento nodi 10 5

Proprietà dei materiali

Acciaio B 450 C

- f_{yd} 3913.0 [kg/cm²]
- ϵ_{ud} 67.00 ‰
- ϵ_{yd} 1.86 ‰
- σ 4500.0 [kg/cm²]

RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – VERIFICA PIANEROTTOLO SCALE C.A.

Calcestruzzo C25/30

- f_{cd} 141.7 [kg/cm²]
- ϵ_{r2} -2.00 ‰
- ϵ_{cu} -3.50 ‰
- f_{ctd} 25.6 [kg/cm²]
- ϵ_{ctd} 0.18 ‰
- E_{cm} 141666.7 [kg/cm²]
- σ 112.5 [kg/cm²]
- w_{Max} 0.30 mm

Sezione

- sezione 1 H=20.00 [cm]

Estradosso				Intradosso			
Af_x	$cf_{x,Eq}$	Af_y	$cf_{y,Eq}$	Af_x	$cf_{x,Eq}$	Af_y	$cf_{y,Eq}$
[cm ²]/m	[cm]						
5.65	3.00	5.65	3.00	5.65	3.00	5.65	3.00

Azioni di verifica combinazione 4 (0.60 0.60 [m])

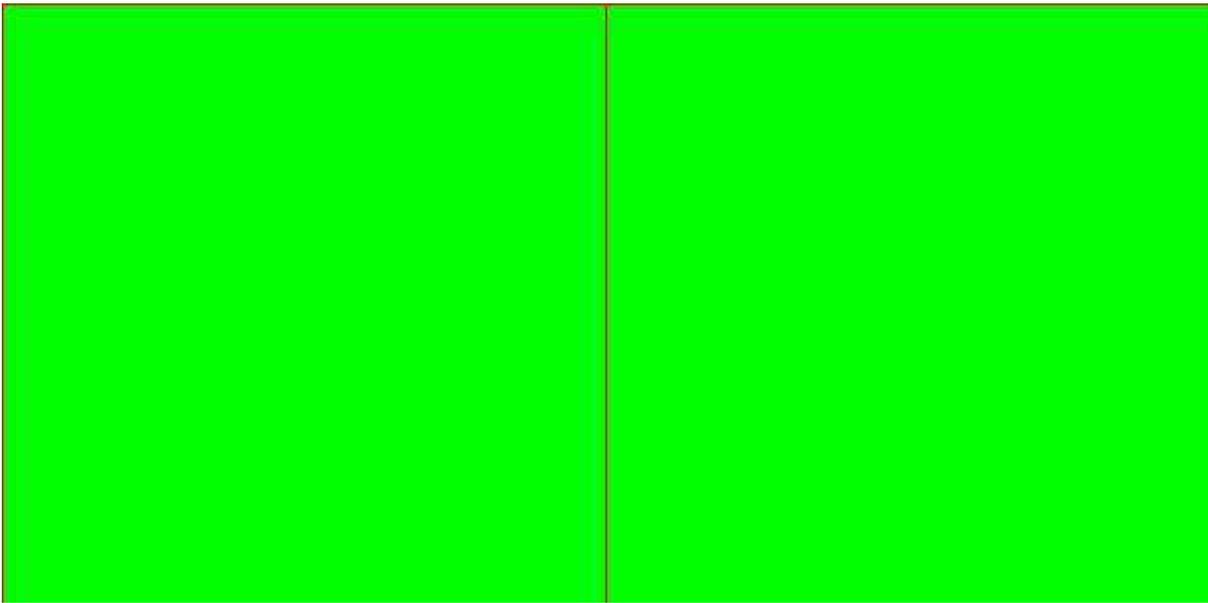
N_x	106.8	[kg/m]	N_{11}	409.8	[kg/m]
N_y	-3473.7	[kg/m]	N_{22}	-3776.7	[kg/m]
N_{xy}	1084.8	[kg/m]	α	15.61	[°]
M_{xx}	28.09	[kgm/m]	M_{11}	70.28	[kgm/m]
M_y	-120.46	[kgm/m]	M_{22}	-162.65	[kgm/m]
M_{xy}	89.71	[kgm/m]	α	25.19	[°]

Verifiche

Cr=S/R	Posizione	Acciaio		Calcestruzzo		Stato	Ampiezza Fessure mm
		σ_x	σ_y	$\sigma_{c,Max}$	θ		
		[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	[°]		
0.04	Estradosso	4.3	-39.6	-3.9	22.79	NON Fessurato	0.000
	Intradosso	-2.9	-8.2	-0.9	-50.26	NON Fessurato	0.000

RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – VERIFICA PIANEROTTOLO SCALE C.A.

--	--



33 % 66 % 99 % 100 % 150 %

- [En.Ex.Sys. WinStrand](#)
- [Verifiche lastre/piastre](#)

RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – VERIFICA LASTRA PIANEROTTOLO

En.Ex.Sys. WinStrand

Structural Analysis & Design

Ditta produttrice:
En.Ex.Sys. s.r.l. - Via Tizzano 46/2 - Casalecchio di Reno (Bologna)
Sigla:
WinStrand
Piattaforma software:
Microsoft Windows XP Home, Microsoft Windows XP Home Professional
Documentazione in uso:
Manuale teorico - Manuale d'uso
Campo di applicazione:
Analisi statica e dinamica di strutture in campo elastico lineare.

Elementi finiti implementati

- Truss.
- Beam (Modellazione di Travi e Pilastrini).
- Travi su suolo elastico alla Winckler.
- Plinti su suolo elastico alla Winckler.
- Elementi Shear Wall per la modellazione di pareti di taglio.
- Elementi shell (lastra/piastra) equivalenti.
- Elementi Isoparametrici a 8 Nodi Shell (lastra/piastra).

Schemi di Carico

- Carichi nodali concentrati.
- Carichi applicati direttamente agli elementi.
- Carichi Superficiali.

Tipo di Risoluzione

- Analisi statica e/o dinamica in campo lineare con il metodo dell'equilibrio.
- Fattorizzazione LDL^T.
- Analisi Statica:
 - - modellazione generale 6 gradi di libertà per nodo.
 - ipotesi di solai infinitamente rigidi nel proprio piano (3 gradi di libertà per nodo + 3 per impalcato).
- Analisi dinamica. (Nel caso di analisi modale gli autovettori ed autovalori possono essere calcolati mediante *subspace iteration* oppure tramite il *metodo dei vettori di Ritz*):
 - - Via statica equivalente.
 - Modale con il metodo dello spettro di risposta.

Normativa di riferimento

La normativa italiana cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo e progettazione è la seguente:

- Circolare del 2 Febbraio 2009, n. 617 "Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008"
- D.M. del 14 Gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni"
- D.M. del 17 Gennaio 2018 Aggiornamento "norme tecniche per le costruzioni"
- Ordinanza n. 3274 del 20 Marzo 2003. "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"
- Ordinanza n. 3316. "Modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003"
- D.M. del 16 Gennaio 1996. "Norme tecniche relative ai «Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi sovraccarichi»".
- D.M. del 16 Gennaio 1996. "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche"
- D.M. del 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".
- D.M. del 14 Febbraio 1992. "Norme Tecniche per l'esecuzione delle opere in C.A. normale e precompresso e per le strutture metalliche".

RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – VERIFICA LASTRA PIANEROTTOLO

- D.M. del 3 Ottobre 1978. "Criteri generali per la verifica della sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".
- D.M. del 3 Marzo 1975. "Disposizioni concernenti l'applicazione delle norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche".
- D.M. del 3 Marzo 1975. "Approvazione delle norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche".
- Legge n. 64 del 2 Febbraio 1974. "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".
- Legge n. 1086 del 5 Novembre 1971. "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica".
- Istruzioni per la valutazione delle: Azioni sulle Costruzioni. (C.N.R. 10012/85)

Verifiche lastre/piastre

Modalità di verifica

Gli elementi lastra/piastra possono essere distinti in due categorie in funzione dello stato di sollecitazione:

- elementi soggetti ad uno stato di sollecitazione semplice (flessione o tensionale a membrana);
- elementi soggetti ad uno stato di sollecitazione misto (flessionale e tensionale a membrana).

Le verifiche per stato di sollecitazione semplice sono svolte proiettando le armature lungo le direzioni principali e effettuando la verifica a flessione retta/membrana lungo tali direzioni.

Per gli elementi soggetti ad uno stato di sollecitazione misto, le direzioni principali variano, lungo lo sviluppo z dell'elemento, in modo continuo. Il codice di verifica procede a:

- suddivisione dell'elemento in strati di 1 cm di spessore;
- valutazione, per ogni strato, del corrispondente stato di deformazione e tensione membranale;
- ricostruzione, per sovrapposizione dei vari strati membranali, del comportamento globale dell'elemento soggetto allo stato misto di pressoflessione.

L'Utente può definire delle sezioni trasversali, per le quali le sollecitazioni sono valutate mediando integrazione sulla lunghezza della sezione

Nella determinazione della matrice di rigidezza degli strati di cls, si assume:

- Metodo T.A.: il calcestruzzo in compressione è assunto indefinitamente elastico lineare mentre, in trazione, si può assumere (opzionalmente) che sia in grado di assumere una trazione compresa fra 0 e f_{ct} , essendo f_{ct} la resistenza a trazione del calcestruzzo definita dall'EC2;
- Metodo S.L.U.: il metodo impiegato è quello noto come MCFT acronimo di "Modified Compression Field Method", sviluppato presso l'Università di Toronto da Collins e Del Vecchio a partire dagli anni '80. Il metodo, nella forma implementata, assume per la curva monoassiale tensione-deformazioni del cls quanto previsto dall'EC2;

La verifica a punzonamento può essere condotta considerando o non considerando autoequilibrate le tensioni nel terreno sotto il cono di punzonamento. L'angolo di diffusione è fissato dall'utente.

I copriferri indicati sono da intendersi riferiti al centro delle barre resistenti.

Simbologia utilizzata T.A.:

σ_{amm}	Tensione ammissibile
$\sigma_{amm,Trazione}$	Tensione ammissibile di trazione cls
$\sigma_{cls,1}$	Tensione cls direzione 1
$\sigma_{cls,2}$	Tensione cls direzione 2
$\sigma_{acciaio,1}$	Tensione acciaio direzione 1
$\sigma_{acciaio,2}$	Tensione acciaio direzione 2
$c_{f_{x,Eq}}$	Copriferro in direzione x
A_{f_x}	Armatura in direzione x
$c_{f_{y,Eq}}$	Copriferro in direzione y
A_{f_y}	Armatura in direzione y

RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – VERIFICA LASTRA PIANEROTTOLO

$N_{xx}, N_y, N_{xy}, M_{xx}, M_{yy}, M_{xy}$	Componenti di sollecitazione esterna
$N_{11}, N_{22}, M_{11}, M_{22}, M_{12}$	Componenti di sollecitazione principali
α	Angolo direzioni principali
d	Distanza a cui è calcolato il perimetro critico
$\tau_{b,0}$	Tensione ammissibile a taglio elementi privi di armatura a taglio
$\tau_{b,1}$	Tensione ammissibile a taglio elementi con armatura a taglio
N, M_x, M_y	Sollecitazione esterna verifica a punzonamento
τ	Tensione tangenziale massima

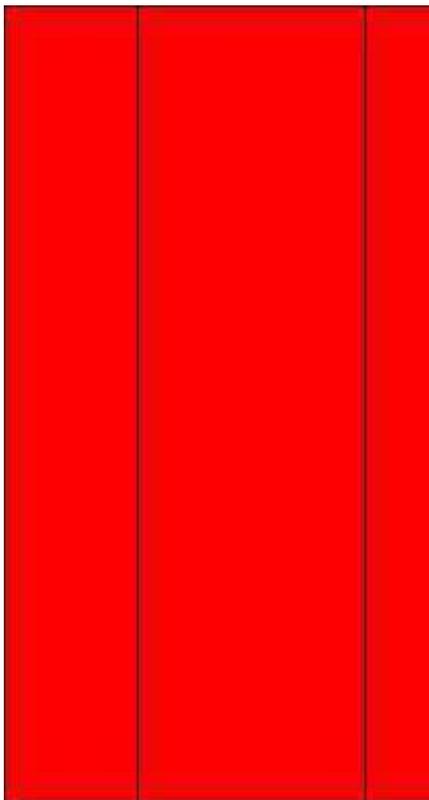
Simbologia utilizzata S.L.:

f_{yd}	Tensione di snervamento di progetto barre armatura
ϵ_{ud}	Deformazione uniforme ultima
ϵ_{yd}	Deformazione al limite di snervamento
f_{ek}	Resistenza cilindrica caratteristica
f_{cd}	Tensione di calcolo a compressione di base
ϵ_{c2}	Deformazione limite elastico
ϵ_y	Deformazione limite ultimo
f_{ctd}	Tensione di calcolo a trazione di progetto
E_{cm}	Deformazione al limite di trazione
$cf_{x,Eq}$	Modulo elastico
Af_x	Copriferro in direzione x
$cf_{y,Eq}$	Armatura in direzione x
Af_y	Copriferro in direzione y
	Armatura in direzione y
$N_{xx}, N_y, N_{xy}, M_{xx}, M_{yy}, M_{xy}$	Componenti di sollecitazione esterna
$N_{11}, N_{22}, M_{11}, M_{22}, M_{12}$	Componenti di sollecitazione principali
α	Angolo direzioni principali
Cr	Coefficiente rottura S_D/S_R
ϵ_x	Deformazione acciaio direzione x
ϵ_y	Deformazione acciaio direzione y
ϵ_{min}	Deformazione minima cls
ϵ_{max}	Deformazione massima cls
θ_{max}	Angolo direzioni principali di deformazione
σ_{amm}	Tensione ammissibile S.L.E. di riferimento
σ_x	Tensione nelle barre nello S.L.E. di riferimento in direzione x
σ_y	Tensione nelle barre nello S.L.E. di riferimento in direzione y
$\sigma_{c,Max}$	Tensione massima nel cls nello S.L.E. di riferimento
d	Distanza a cui è calcolato il perimetro critico

RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – VERIFICA LASTRA PIANEROTTOLO

$C_{Rd,c}$	Coefficiente taglio resistente elementi privi di armatura a taglio
V_{Ed}, M_{xEd}, M_{yEd}	Sollecitazione esterna verifica a punzonamento
B_x, B_y	Dimensioni perimetro critico
β	Angolo diffusione tensioni
v_{Ed}	Tensione tangenziale sull'area critica
ρ	Rapporto meccanico di armatura
$V_{Rd,c}$	Taglio resistente elementi privi di armatura

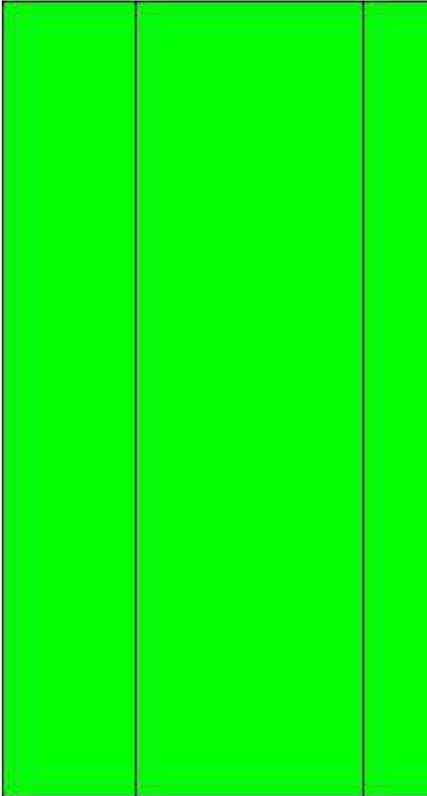
Mappa armature di Estradosso



Colore	Armature
	top $\emptyset 12/20'$ X + $\emptyset 12/20'$ Y c=3.00 [cm]

Mappa armature di Intradosso

RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – VERIFICA LASTRA PIANEROTTOLO



Colore **Armature**
■ bottom ø 12/20' X + ø 12/20' Y c=3.00 [cm]

Impostazioni di verifica

Curva σ/ε Calcestruzzo

- secondo Hognestad

Modellazione softening (trazione/compressione)

- $f_{c,d,soft} = f_{c,d} \cdot 0.9 / \sqrt{1+400 \cdot \varepsilon_t}$ / Hognestad

Modellazione compressione biassiale

- $f_{c,d,biaxial} = f_{c,d} \cdot (1 + 3.8 \cdot \alpha) / (1.0 + \alpha)^2$ / $\alpha = \varepsilon_{c1} / \varepsilon_{c2}$ (EC2 Ponti 6.110)

Elementi più sollecitati per tipologia di sezione

Verifiche SLU Shell elemento nodi 25 30

Proprietà dei materiali

Acciaio B 450 C

- f_{yd} 3913.0 [kg/cm²]
- ε_{ud} 67.00 ‰
- ε_{yd} 1.86 ‰

Calcestruzzo C25/30

- f_{cd} 141.7 [kg/cm²]

RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – VERIFICA LASTRA PIANEROTTOLO

- ε_{c2} -2.00 ‰
- ε_{cu} -3.50 ‰
- f_{ctd} 12.0 [kg/cm²]
- ε_{ctd} 0.08 ‰
- E_{cm} 141666.7 [kg/cm²]

Sezione

- sezione 1 H=20.00 [cm]

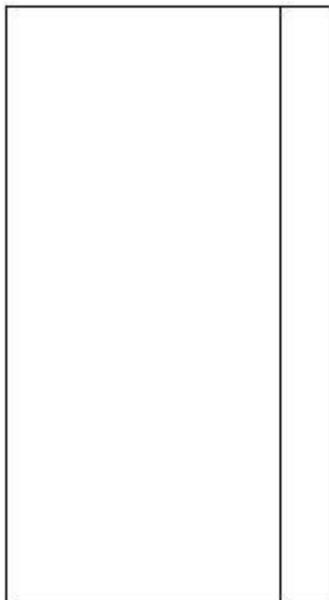
Estradosso				Intradosso			
Af _x	cf _{x,Eq}	Af _y	cf _{y,Eq}	Af _x	cf _{x,Eq}	Af _y	cf _{y,Eq}
[cm ²] / m	[cm]						
5.65	3.00	5.65	3.00	5.65	3.00	5.65	3.00

Azioni di verifica combinazione 3 (1.48 1.50 [m])

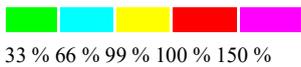
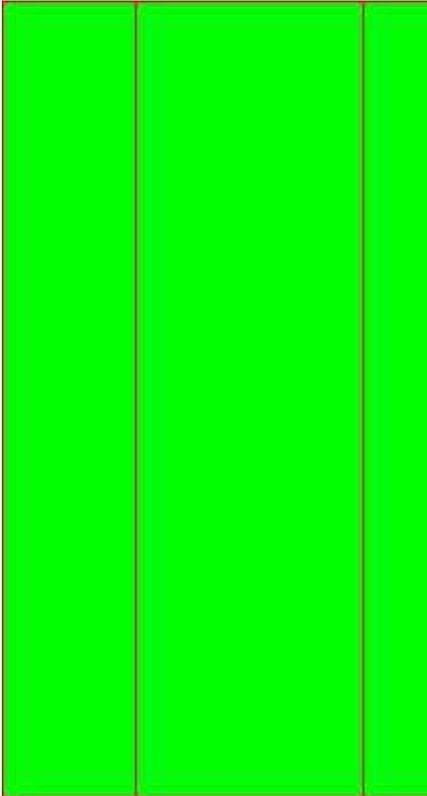
N _x	-165.7	[kg/m]	N ₁₁	-242.1	[kg/m]
N _y	178.0	[kg/m]	N ₂₂	254.4	[kg/m]
N _{xy}	-179.2	[kg/m]	α	23.10	[°]
M _{xx}	-53.18	[kgm/m]	M ₁₁	-53.18	[kgm/m]
M _y	-507.41	[kgm/m]	M ₂₂	-507.42	[kgm/m]
M _{xy}	-1.54	[kgm/m]	α	-0.19	[°]

Verifiche

Cr=S/R	Posizione	Acciaio		Calcestruzzo		
		ε _x ‰	ε _y ‰	ε _{min} ‰	ε _{max} ‰	θ [°]
0.15	Estradosso	-0.009	0.727	-0.032	-3.500	2.02
	Intradosso	0.102	18.161	22.494	0.019	-85.99



RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – VERIFICA LASTRA PIANEROTTOLO



Verifiche SLE Rare Shell elemento nodi 25 30

Proprietà dei materiali

Acciaio B 450 C

- f_{yd} 3913.0 [kg/cm²]
- ϵ_{ud} 67.00 ‰
- ϵ_{yd} 1.86 ‰
- σ 3600.0 [kg/cm²]

Calcestruzzo C25/30

- f_{cd} 141.7 [kg/cm²]
- ϵ_{c2} -2.00 ‰
- ϵ_{cu} -3.50 ‰
- f_{ctd} 25.6 [kg/cm²]
- ϵ_{ctd} 0.18 ‰
- E_{cm} 141666.7 [kg/cm²]
- σ 150.0 [kg/cm²]

Sezione

- sezione 1 H=20.00 [cm]

Estradosso				Intradosso			
Af _x	cf _{x,Eq}	Af _y	cf _{y,Eq}	Af _x	cf _{x,Eq}	Af _y	cf _{y,Eq}
[cm ²] / m	[cm]						
5.65	3.00	5.65	3.00	5.65	3.00	5.65	3.00

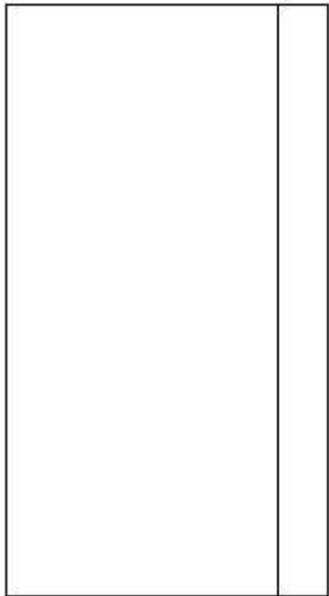
RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – VERIFICA LASTRA PIANEROTTOLO

Azioni di verifica combinazione 39 (1.48 1.50 [m])

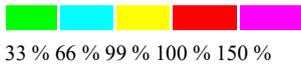
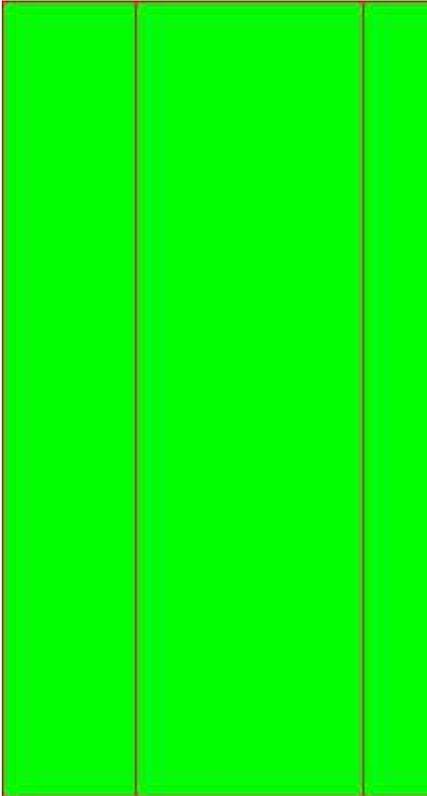
N_x -125.3 [kg/m] N_{11} -183.5 [kg/m]
 N_y 134.3 [kg/m] N_{22} 192.6 [kg/m]
 N_{xy} -136.1 [kg/m] α 23.17 [°]
 M_{xx} -40.43 [kgm/m] M_{11} -40.42 [kgm/m]
 M_y -384.52 [kgm/m] M_{22} -384.52 [kgm/m]
 M_{xy} -1.14 [kgm/m] α -0.19 [°]

Verifiche

Cr=S/R	Posizione	Acciaio		Calcestruzzo		Stato	Ampiezza Fessure mm
		σ_x [kg/cm ²]	σ_y [kg/cm ²]	$\sigma_{c,Max}$ [kg/cm ²]	θ [°]		
0.11	Estradosso	-5.9	-48.9	-5.7	2.64		
	Intradosso	0.8	54.2	-0.0	-79.13		



RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – VERIFICA LASTRA PIANEROTTOLO



Verifiche SLE Frequenti *Shell* elemento nodi 25 30

Proprietà dei materiali

Acciaio B 450 C

- f_{yd} 3913.0 [kg/cm²]
- ϵ_{ud} 67.00 ‰
- ϵ_{yd} 1.86 ‰
- σ 4500.0 [kg/cm²]

Calcestruzzo C25/30

- f_{cd} 141.7 [kg/cm²]
- ϵ_{c2} -2.00 ‰
- ϵ_{cu} -3.50 ‰
- f_{ctd} 25.6 [kg/cm²]
- ϵ_{ctd} 0.18 ‰
- E_{cm} 141666.7 [kg/cm²]
- σ 250.0 [kg/cm²]

Sezione

- sezione 1 H=20.00 [cm]

Estradosso				Intradosso			
Af_x	$cf_{x,Eq}$	Af_y	$cf_{y,Eq}$	Af_x	$cf_{x,Eq}$	Af_y	$cf_{y,Eq}$
[cm ²] / m	[cm]						
5.65	3.00	5.65	3.00	5.65	3.00	5.65	3.00

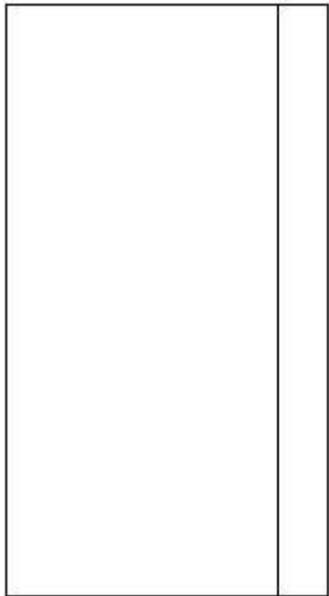
RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – VERIFICA LASTRA PIANEROTTOLO

Azioni di verifica combinazione 41 (1.48 1.50 [m])

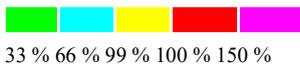
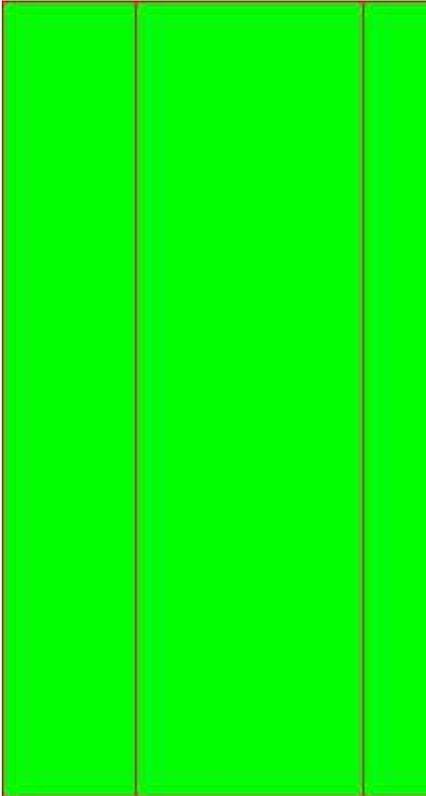
N_x -118.3 [kg/m] N_{11} -174.9 [kg/m]
 N_y 126.0 [kg/m] N_{22} 182.6 [kg/m]
 N_{xy} -130.5 [kg/m] α 23.45 [°]
 M_{xx} -38.47 [kgm/m] M_{11} -38.47 [kgm/m]
 M_y -365.83 [kgm/m] M_{22} -365.83 [kgm/m]
 M_{xy} -0.94 [kgm/m] α -0.17 [°]

Verifiche

Cr=S/R	Posizione	Acciaio		Calcestruzzo		Stato	Ampiezza Fessure mm
		σ_x [kg/cm ²]	σ_y [kg/cm ²]	$\sigma_{c,Max}$ [kg/cm ²]	θ [°]		
0.11	Estradosso	-5.7	-46.6	-5.4	2.66		
	Intradosso	0.8	51.5	-0.0	-79.10		



RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – VERIFICA LASTRA
PIANEROTTOLO



Verifiche SLE Quasi Permanenti Shell elemento nodi 25 30

Proprietà dei materiali

Acciaio B 450 C

- f_{yd} 3913.0 [kg/cm²]
- ϵ_{ud} 67.00 ‰
- ϵ_{yd} 1.86 ‰
- σ 4500.0 [kg/cm²]

Calcestruzzo C25/30

- f_{cd} 141.7 [kg/cm²]
- ϵ_{c2} -2.00 ‰
- ϵ_{cu} -3.50 ‰
- f_{ctd} 25.6 [kg/cm²]
- ϵ_{ctd} 0.18 ‰
- E_{cm} 141666.7 [kg/cm²]
- σ 112.5 [kg/cm²]
- w_{Max} 0.30 mm

Sezione

- sezione 1 H=20.00 [cm]

Estradosso				Intradosso			
Af_x	$cf_{x,Eq}$	Af_y	$cf_{y,Eq}$	Af_x	$cf_{x,Eq}$	Af_y	$cf_{y,Eq}$
[cm ²] / m	[cm]						

RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – VERIFICA LASTRA PIANEROTTOLO

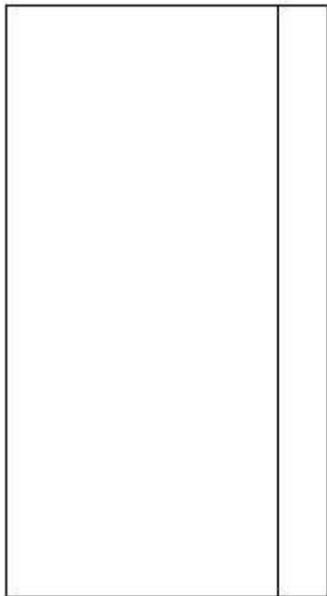
5.65 3.00 5.65 3.00 5.65 3.00 5.65 3.00

Azioni di verifica combinazione 45 (1.48 1.50 [m])

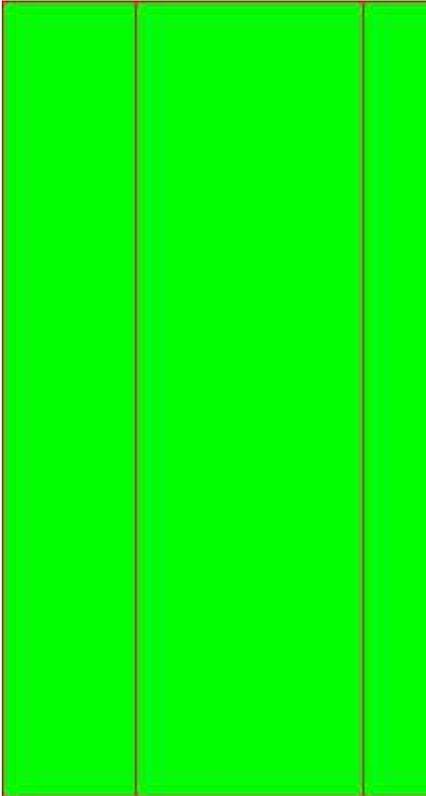
N_x -117.4 [kg/m] N_{11} -173.8 [kg/m]
 N_y 125.0 [kg/m] N_{22} 181.3 [kg/m]
 N_{xy} -129.8 [kg/m] α 23.48 [°]
 M_{xx} -38.35 [kgm/m] M_{11} -38.35 [kgm/m]
 M_y -363.50 [kgm/m] M_{22} -363.50 [kgm/m]
 M_{xy} -0.93 [kgm/m] α -0.16 [°]

Verifiche

Cr=S/R	Posizione	Acciaio		Calcestruzzo		Stato	Ampiezza Fessure mm
		σ_x [kg/cm ²]	σ_y [kg/cm ²]	$\sigma_{c,Max}$ [kg/cm ²]	θ [°]		
0.11	Estradosso	-5.6	-46.3	-5.3	2.66	NON Fessurato	0.000
	Intradosso	0.8	51.2	-0.0	-79.09	NON Fessurato	0.000



RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – VERIFICA LASTRA PIANEROTTOLO



Verifiche a PUNZONAMENTO Stati Limite

Dati di verifica

- Distanza a cui è calcolato il perimetro critico $d=H * 1.00$
- Le tensioni nel terreno vanno ad equilibrare V_{Ed}

Materiali

Calcestruzzo

- f_{ck} 250.0 [kg/cm²]
- f_{cd} 141.7 [kg/cm²]
- $V_{Rd,max}$ 38.3 [kg/cm²]
- $C_{Rd,c}$ 0.12

Acciaio

- f_y 3913.0 [kg/cm²]

Elemento	Perimetro Critico [cm]	H [cm]	Tipo	A_{soil} [m ²]	Comb. Crit.	σ_{soil} [kg/cm ²]	N_{Ed} [kN]	N_{soil} [kN]	V_{Ed} [kN]	$M_{x,Ed}$ [kgm]	$M_{y,Ed}$ [kgm]	B_x [cm]	B_y [cm]	Estradosso A_f [cm ² /m]	Intradosso A_f [cm ² /m]	d [cm]	W1 [cm ²]	k (fr. 6.39)	β	
Setto Nodi 28	88.86	20.00	Spigolo	0.0	3	0.0	23.27	0.00	23.27	-	305.2	50.00	20.00	5.65	3.00	5.65	3.00	17.00	166793.50	0.5702.28
Sezione 3										935.5										
Setto Nodi 30	63.86	20.00	Spigolo	0.0	3	0.0	12.42	0.00	12.42	-	128.4	25.00	20.00	5.65	3.00	5.65	3.00	17.00	151618.90	0.5822.37
										683.6										

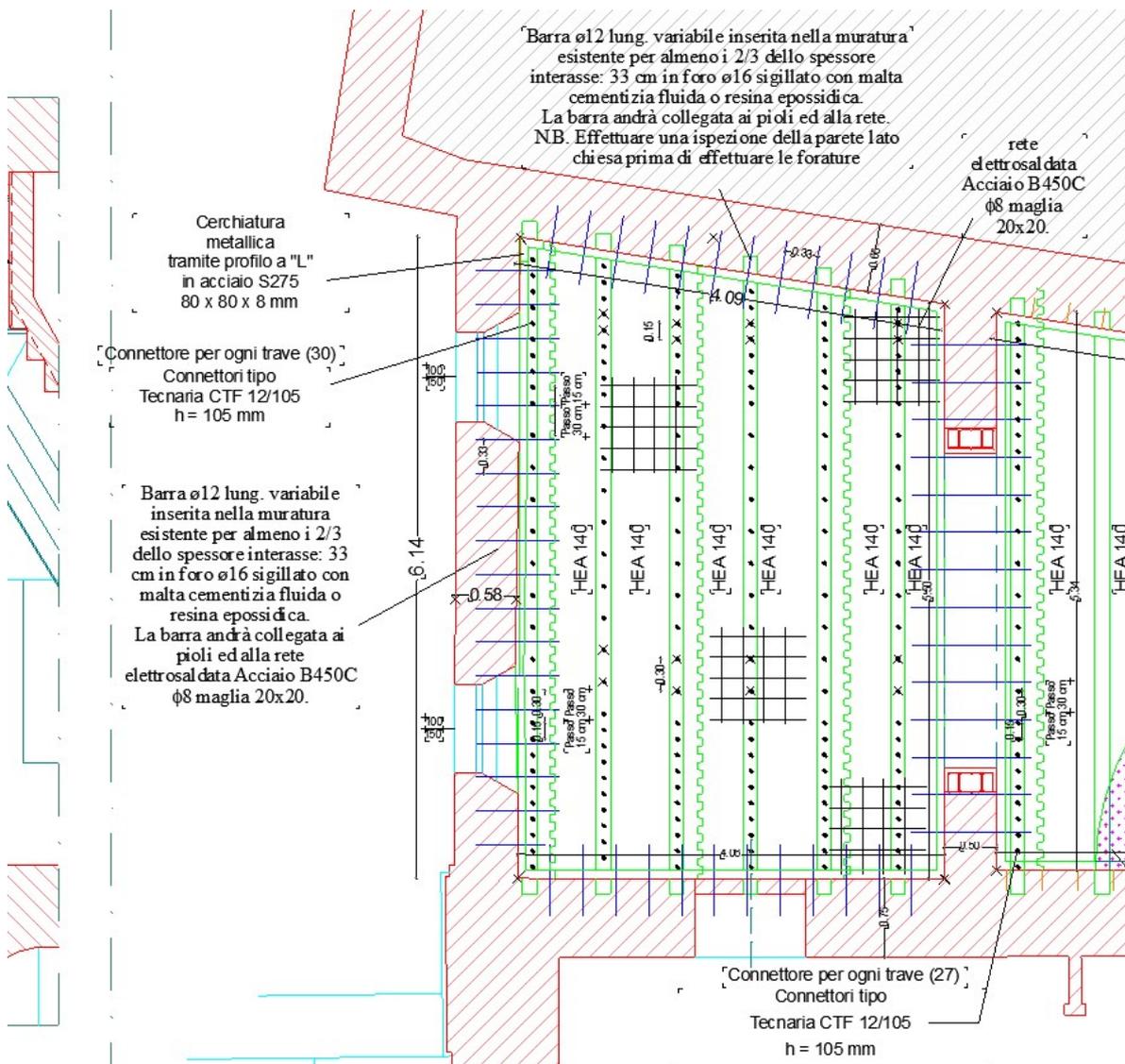
RELAZIONE DI CALCOLO MUSEO DELLA MUSICA – VERIFICA LASTRA PIANEROTTOLO

29
Sezione
3

- [En.Ex.Sys. WinStrand](#)
- [Verifiche lastre/piastre](#)

VERIFICA BARRE DI CONNESSIONE SOLAIO E CONTROVENTI DI FALDA

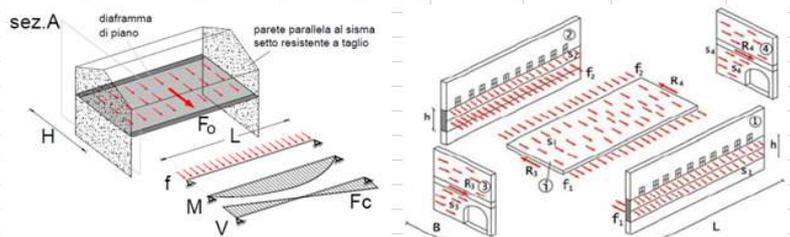
Di seguito si riporta la verifica numerica di una campitura di solaio a quota +5.90 :



DATI GENERALI PER IL CALCOLO DEI DIAFRAMMI DI PIANO - DIREZIONE LATO CORTO/LUNGO

Dimensioni Geometriche Pareti

	Le =	6.14	m
	Be =	4.00	m
	Bm3 =	4.00	m
	Bm4 =	4.00	m
Correnti	s1 =	0.50	m
	s2 =	0.50	m
Reagenti	s3 =	0.75	m
	s4 =	0.65	m
	h piano superiore =	3.30	m
	h piano inferiore =	5.75	m
	hup =	1.60	m
	hbot =	2.70	m
	L =	5.44	m
	B =	3.50	m



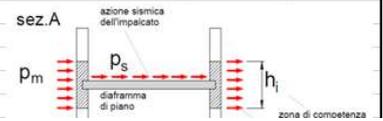
Caratteristiche dei Materiali e Carichi agenti su Impalcato

Peso Specifico Muratura Portante	$\gamma_m =$	18.00	kN/m ³	Peso Proprio Solaio: Gk1+Gk2	4.70	kN/m ²
Tipologia muratura	Muratura in mattoni pieni e malta di calce			Peso Accidentale: Qk	5.00	kN/m ²
conoscenza	LC2			Carico Totale Caratteristico	9.70	kN/m ²
modulo elastico	$E_M =$	1500	N/mm ²	ψ (Sismico)	0.60	
	$J_M =$	1.0417E+10	mm ⁴			

VERIFICA BARRE DI CONNESSIONE SOLAIO E CONTROVENTI DI FALDA

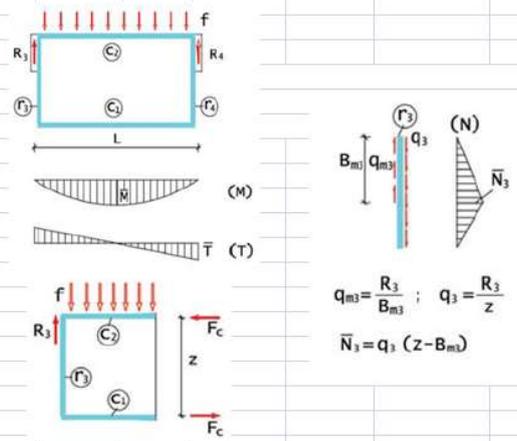
Parametri per la definizione della Forzante Sismica e Forze inerziali Generate

Accelerazione orizzontale massima	a_g PGA = 0.21	g	$W_{\alpha} = h_{imp} \cdot L \cdot S_1 \cdot \gamma_m$	W_2	78.34	KN
Fattore di amplificazione	$F_0 = 2.51$		$W_{k1} = S_1 \cdot \gamma_m$	W_{k1}	9.00	kN/m ²
Fattore di Struttura (tab 7.2.1)	$q_0 = 2.25$		$S_{k1} = (S_{\alpha} / q_0) \cdot W_{k1}$	S_{k1}	1.84	kN/m ²
Categoria Sottosuolo	S=SSxST = 1.19		$W_{k2} = S_2 \cdot \gamma_m$	W_{k2}	9.00	kN/m ²
Quota impalcato Interessato	$z_1 = 5.90$	m	$S_{k2} = (S_{\alpha} / q_0) \cdot W_{k2}$	S_{k2}	1.84	kN/m ²
Altezza totale edificio	$H_{tot} = 12.00$	m	$G_0 + \psi(\text{sismico}) \cdot Q_0$	W_i	7.70	kN/m ²
	$\psi(z) = 0.49$		$S_i = (S_{\alpha} / q_0) \cdot W_i$	S_i	1.56	kN/m ²



AZIONI SOLLECITANTI - DIAFRAMMA DI PIANO

Sollecitazioni su diaframma			
Azioni sismiche su striscia Mur. K1	$f_{k1} = 7.91$	KN/m	$f_{k1} = S_{k1} \cdot h$
Azioni sismiche su striscia Mur. K2	$f_{k2} = 7.91$	KN/m	$f_{k2} = S_{k2} \cdot h$
Azioni sismiche su Impalcato	$f_i = 4.69$	KN/m	$f_i = S_i \cdot B$
Forza Totale Agente su impalcato	$f = 20.50$	KN/m	
Reazione offerta dai setti R3 e R4	$R_3=R_4 = 55.76$	KN	
Momento Flettente su Impalcato	$M = 75.83$	KNm	
Taglio su impalcato	$T_3=T_4 = 55.76$	KN	
Braccio della coppia interna	$z = 3.50$	m	$z = B - (b_1 + b_2) - (b_{c1} + b_{c2}) / 2$
Azione di trazione e compressione	$F_c = 21.67$	KN	$F_c = M / z$
Flussi degli Sforzi Tangenziali	$q = 15.93$	KN/m	$q = T / z$
	$q_3 = 15.93$	KN/m	$q_3 = R_3 / z$
Flusso agente sul ripartitore r3	$qm_3 = 13.94$	KN/m	
Azione assiale su Ripartitore N3	$N_3 = -7.97$	KN	$N_3 = q_3 \cdot (z - B_{m3})$
Azione assiale su Ripartitore N4	$N_4 = -7.97$	KN	$N_4 = q_4 \cdot (z - B_{m4})$



VERIFICA SOLETTA ARMATA

spessore soletta	d = 60	mm			22000*fc _m /10^0.3
materiale soletta	LC30/33		massa = 1800	kg/mc	fc _m =fck+8
diámetro rete	φ = 8	mm	A _{sw} = 50.27	mm ²	
passo	s = 200	mm	J _s = 18000000	mm ⁴	
modulo elastico	E _s = 21981.5042		$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot A_{sw} / s \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$		
taglio trazione	V _{Rsd} = 88.51	kN/m	$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha \cdot c \cdot f_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + [\cot \alpha]^2 \theta)$		
taglio compressione	V _{Rcd} = 183.60	kN/m	$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$		
	V _{Rd} = 88.51	kN/m			
	q = V _{Ed} = 15.93	kN/m			

VRd > VEd - VERIFICA

PROGETTO/VERIFICA SPINOTTI

LATO SOLETTA			LATO MURATURA		
Diametro del gambo del spinotto	d	12 mm	Diametro del gambo dello spinotto	d	12 mm
Lunghezza del spinotto lato soletta	h	200 mm	Diametro del foro su muratura	d	16 mm
Resistenza ultima a trazione	f _u	450 N/mm ²	Lunghezza del spinotto lato muratura	h	400 mm
			Resistenza ultima a trazione	f _u	450 N/mm ²
Res. caratteristica della soletta	f _{ck}	30.00 N/mm ²	Res. media della muratura iniettata	f _{ck}	3.20 N/mm ²
Valore medio del modulo secante	E _c	21982 kN/mm ²	Valore medio del modulo secante	E _m	1500 N/mm ²
				FC	1.20
Resistenza a taglio Acciaio	P _{Rd,1}	35.40 kN	Resistenza a taglio Acciaio	P _{Rd,3}	35.40 kN
Resistenza a taglio Calcestruzzo	P _{Rd,2}	22.61 kN	Resistenza a taglio Muratura	P _{Rd,4}	7.11 kN
	Resistenza di Progetto	min (P _{Rd,1} ; P _{Rd,2} ; P _{Rd,3} ; P _{Rd,4})		7.11	kN
		n, min		8	
		passo, max		380	mm

VERIFICA BARRE DI CONNESSIONE SOLAIO E CONTROVENTI DI FALDA

PROGETTO/VERIFICA TIRANTI				
Diametro del gambo del tirante	d	12	mm	
Lunghezza del tirante	h	450	mm	
Resistenza ultima a trazione	f_u	450	N/mm ²	
Resistenza pull-out barra	F_1	18.06	kN	
Resistenza pull-out barra+malta	F_2	2.90	kN	
Resistenza cono muratura	F_3	38.17	kN	
Resistenza della barra	F_4	44.26	kN	
Resistenza di Progetto	$\min(F_1; F_2; F_3; F_4)$	2.90	kN	
	n, min	15		
	passo, max	340	mm	

PROGETTO/VERIFICA CORDOLO				
cordolo acciaio	L 80 x 80 x 8			
Materiale Cordolo	S 275			
	$F_{yk} =$	275	kN/mm ²	
Coef. Di Sicurezza	$\gamma_{MO} =$	1.25		
lato foro	<input type="radio"/> 80 <input checked="" type="radio"/> 80			
diametro foro max		33	mm	
Area-lorda - foro max	A =	966	mm ²	
	Nu =	212.52	kN	
	NE =	21.67	kN	

Nu > NE - VERIFICA

Caratteristiche profilo in acciaio			
Profilo Cordolo	L80X80X8		
Materiale Cordolo	$F_{yk} =$	275	Mpa
Coef. Di Sicurezza	$\gamma_{MO} =$	1.05	
Area-lorda	A =	12.30	cm ²
Momento D'inerzia rispetto y-y	$J_y =$	72.20	cm ⁴
Momento D'inerzia rispetto z-z	$J_z =$	72.20	cm ⁴
Raggio D'inerzia rispetto y-y	$i_y =$	2.42	cm
Raggio D'inerzia rispetto z-z	$i_z =$	2.42	cm
	$i_{y-z} =$	2.42	cm
lunghezza libera	$L_0 = i \cdot \beta =$	5.00	m
Modulo elastico	E =	210000	Mpa
Snellezza adimensionale	$\lambda =$	2.38	
	$\lambda_{1-c} =$	86.81	
	$i_{y-c} =$	2.38	
	$i_{y-c} =$	206.6	
	$i_y =$	2.28	
	$SLENDR_{max} =$	206.61	
Forza elastica	$N_{cr,elast} =$	60	kN
	$N_{cr,elast} =$	60	kN
	$\alpha =$	0.49	
	$\phi =$	3.60	
	$k =$	0.16	
	$\beta =$	0.92	

Verifica del profilo ad "L" in acciaio

Resistenza plastica della sezione lorda soggetta a trazione			
Nt.Rd =	295.1	kN	7.34% OK

Resistenza plastica della sezione lorda soggetta a compressione			
Nb.Rd =	46.1	kN	46.97% OK

Precisazione : la scala in acciaio è stata considerata come carico applicato al solaio e muratura

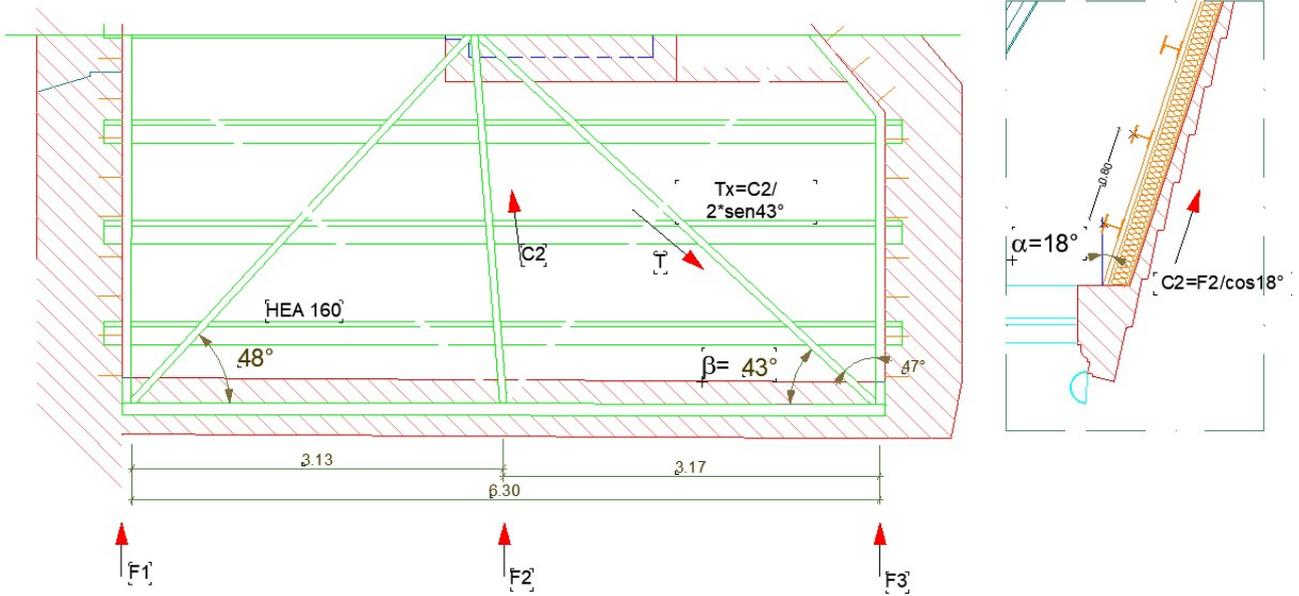
Verifica controvento di copertura lato cortile direzione più sfavorevole SISMA X:

PESO SISMICO COPERTURA : 784 KN

Accelerazione orizzontale massima	$a_g \text{ PGA} =$	0.21
Fattore di amplificazione	$F_o =$	2.51
Fattore di Struttura (tab 7.2.1)	$q_o =$	2.25
Categoria Sottosuolo	$S=SSxST =$	1.19

VERIFICA BARRE DI CONNESSIONE SOLAIO E CONTROVENTI DI FALDA

Forza simica X := $0.21 \cdot 1.19 \cdot 784 = 195.92 \text{ KN}$

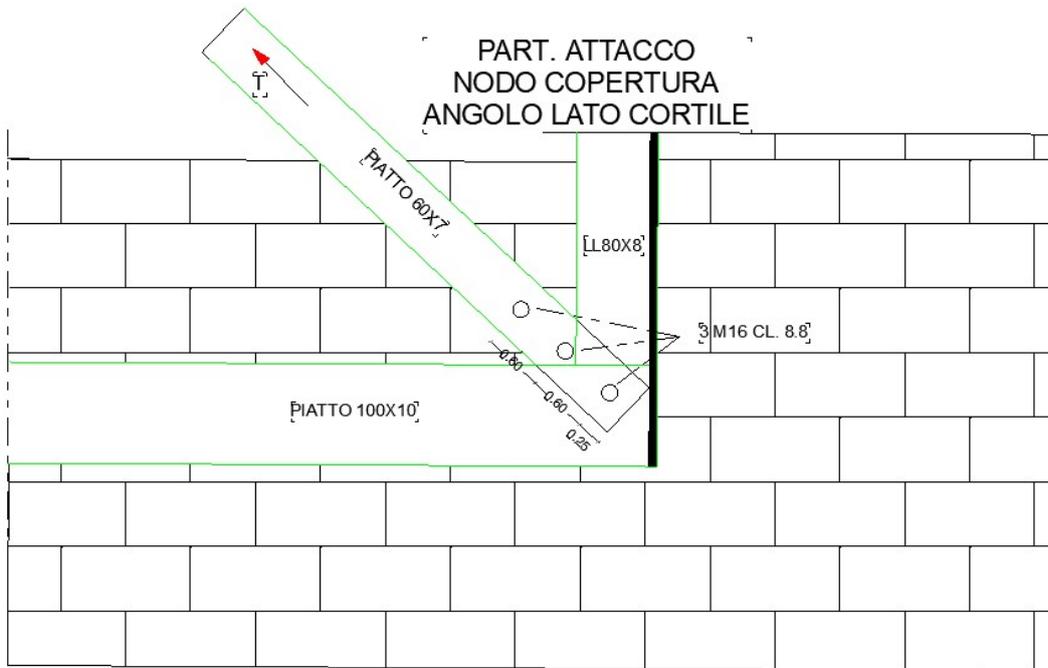


Schema forze su controvento

$$F_2 = (195,92/6.3) \cdot 3.15 = 97.96 \text{ KN}$$

$$C_2 = 97.96 / \cos 18^\circ = 103 \text{ KN}$$

$$T = 103/2 \cdot \sin 43^\circ = 75.73 \text{ KN}$$



Verifica a trazione controvento Acciaio S275 Piatto 60x7

VERIFICA BARRE DI CONNESSIONE SOLAIO E CONTROVENTI DI FALDA

Considerando un bullone di collegamento M16 cl. 8.8 – foro 17 mm Area netta Piatto 60x7 :=301 mm >
Area minima richiesta : $75.73 \times 1000 / 275 = 272.72 \text{ mm}^2$

Verifica collegamento 3M16 cl. 8.8

Resistenza del nodo < fra F_{vrd} e F_{brd}

Forze resistenti singolo bullone

$F_{vrd} = (0.6 \times 157 \times 500) / 1.25 = 37680 \text{ N}$ (37.68 KN) Taglio

$F_{brd} = (2.5 \times 0.49 \times 430 \times 16 \times 7) / 1.25 = 58996 \text{ N}$ (59 KN) Rifollamento bullone più esterno

Quindi : Verifica collegamento 3M16 cl. 8.8 := $3 \times 37.68 = 113.04 > 75.73 \text{ kN}$