

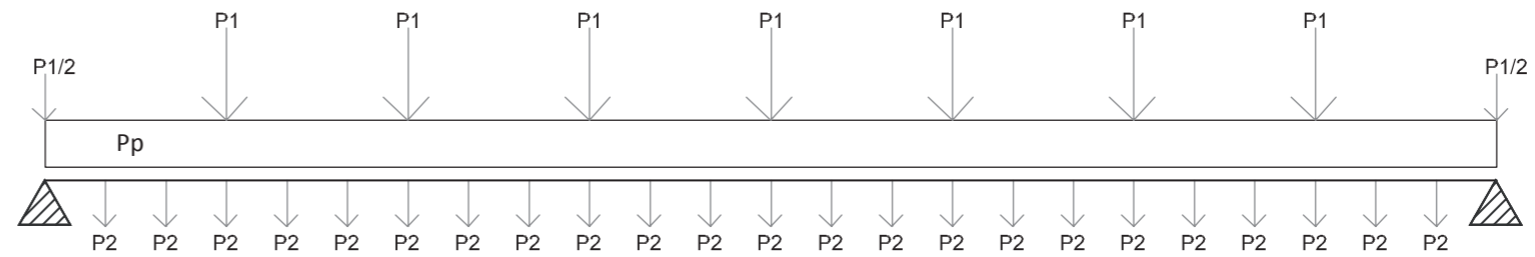
La struttura é progettata in calcestruzzo armato, É un sistema doppio di setti murari e trave/pilastro. La ricerca sul calcestruzzo é stato un'interesse di questo esercizio accademico, sia come elemento strutturale, sia come risoluzione dell'involucro e la potenzialità delle sue qualità estetiche, prendendo come paradigma e punto di partenza la ricerca che ha fatto italcemento sul calcestruzzo trasparente.

Tre sono stati le problematiche trattate durante lo sviluppo del progetto. 1. Lo sviluppo della carpenteria in tal modo che tutti due edifici abbiano una coerenza strutturale, anche se la geometria proposta era irregolare, risolvendo con il sistema predalles i solai. 2. Il calcolo dello sbalzo, il cui era fondamentale nella proposta volumetrica del progetto. 3. La proposta sulla copertura della galleria, tomando come riferimento il pavillione costruito da Sverre Fehn a Venezia, in tal modo di riflettere sulla relazione struttura, architettura, illuminazione naturale.

ANALISI CARICHI				
CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI (COPERTURA)				
	VETRO	TELAIO 1 (Alluminio)	TELAIO 2 (Alluminio)	TOTALE TELAIO
Volume	2,4 x 2,4 x 0,02 m ³	2,4 x 2,4 x 0,04 m ³	0,30 x 0,04 x 0,04 m ³	
	0,12 m ³	0,01 m ³	0 m ³	0,01 m ³
Peso specifico	25 kN/m ³	27 kN/m ³	27 kN/m ³	
CARICHI TOTALI	2,88 kN/m ³			0,36 kN
TOTALE COPERTURA				3,24 kN
CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI (PANNELLI SCHERMANTI)				
CALCESTRUZZO ALLEGGERITO CON ARGILLA ESPANSA				
Volume	0,8 x 0,1 x 2,4 m ³			
Peso specifico	11 kN/m ³			
CARICHI TOTALI	2,11 kN			
TOTALE PANNELLI				2,11 kN
CARICHI VARIABILI				
Coefficiente per accessibilità	0,5 kN/m ²	Copertura accessibile per la sola manutenzione		
Area	2,4 x 2,4 m ²			
TOTALE P VARIABILE				2,88 kN
CARICO NEVE ($\rho_s = \mu \cdot \rho_{sk} \cdot C_e \cdot C_t$)				
μ	Coefficiente di forma sulla copertura. $0 < \alpha > 30$			0,8
ρ_{sk}	Carico neve al suolo. Quota suolo sul livello del mare. MILANO=100m. Zona E			1,5 kN/m ²
C_e	Coefficiente di esposizione			1
C_t	Coefficiente termico			1
TOTALE Qs				1,2 kN/m ²
Area	2,4 x 2,4 m ²			
TOTALE Qs concentrato				6,91 kN
P1	P permanente + P variabile + Carico neve			13,03 kN
P2	P permanente Pannelli Schermanti			2,11 kN

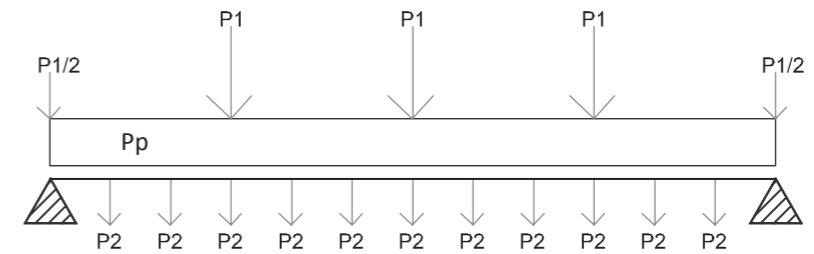
	TRAVE SECONDARIA LUNGA	TRAVE SECONDARIA CORTA	TRAVE PRINCIPALE
Peso specifico C.A.	2500 Kg/mc	2500 Kg/mc	2500 Kg/mc
Base (B)	0,11 m	0,11 m	0,5 m
Altezza (H)	0,8 m	0,8 m	2 m
Lunghezza totale (l tot)	19,2 m	9,6 m	46,05 m
Area sezione (A sez)	0,09 mq	0,09 mq	1 mq
Peso proprio (Pp)	220 Kg/m	220 Kg/m	2500 Kg/m
	2,2 kN/m	2,2 kN/m	25 kN/m

TRAVE SECONDARIA LUNGA



Σ Forze Verticali = 0
 MA = 0
 Forze Verticali = VA + VB - (6,75kN x 2) - (13,5 kN x 7) - (2,5kN x 23) - (2,2kN/m x 19,2m) = 0
 MA = 2,5 kN x (0,8 + 1,6 + 2,4 + 3,2 + 4 + 4,8 + 5,6 + 6,4 + 7,2 + 8 + 8,8 + 9,6 + 10,4 + 11,2 + 12 + 14,4 + 15,2 + 16 + 16,8 + 17,6 + 18,4)m +
 + 13,5 kN x (2,4 + 4,8 + 7,2 + 9,6 + 12 + 14,4 + 16,8) m +
 + 6,75 kN x 19,2 m + (2,2kN/m x 19,2m x 9,6m) +
 - VB x 19,2m = 0
 VB = (552kNm + 907,2 kNm + 129,6kNm + 405,5kNm) / 19,2 m
 Totale P per braccio 1994 kNm /19,2m
 VB 103,85 kN
 VA = - VB + 207,7 kN 103,85 kN

TRAVE SECONDARIA CORTA



Σ Forze Verticali = 0
 MA = 0
 Forze Verticali = VA + VB - (6,75kN x 2) - (13,5 kN x 3) - (2,5kN x 11) - (2,2kN/m x 9,6m) = 0
 MA = 2,5 kN x (0,8 + 1,6 + 2,4 + 3,2 + 4 + 4,8 + 5,6 + 6,4 + 7,2 + 8 + 8,8)m +
 + 13,5 kN x (2,4 + 4,8 + 7,2) m +
 + 6,75 kN x 9,6 m + (2,2kN/m x 9,6m x 4,8m) +
 - VB x 9,6m = 0
 VB = (132kNm + 194,4 kNm + 64,8kNm + 101,3 kNm) / 9,6 m
 Totale P per braccio 492,6 kNm /9,6 m
 VB 51,31 kN
 VA = - VB + 102,62kN 51,31 kN

CALCOLO CARICHI DISTRIBUITI

CARICHI PERMANENTI

P permanente copertura	3,24 kN
P permanente pannelli	2,11 kN
Pp trave secondaria	2,2 kN/m

Tot carichi permanenti $3,24 \text{ kN} / 2 \times 2 + 3,24 \text{ kN} \times 7 + 2,11 \text{ kN} \times 23 + 2,2 \text{ kN/m} \times 19,2 \text{ m} = 116,69 \text{ kN}$

Tot carichi permanenti DISTRIBUITI $116,69 \text{ kN} / 19,2 \text{ m} = 6,08 \text{ kN/m}$

CARICHI VARIABILI

P variabile	2,88 kN
Carico neve	6,91 kN

Tot carichi variabili $(2,88 \text{ kN} + 6,91 \text{ kN}) / 2 \times 2 + (2,88 \text{ kN} + 6,91 \text{ kN}) \times 7 = 78,32 \text{ kN}$

Tot carichi variabili DISTRIBUITI $78,32 \text{ kN} / 19,2 \text{ m} = 4,08 \text{ kN/m}$

Titolo : Trave Secondaria da 9,6 m

Tipo di calcolo delle sollecitazioni: Esercizio Stato Limite Ultimo

Numero campate (Compresi Sbalzi) : 1

Camp. N*	Luce	Perm.	Var.	Sez.N*
1	9,6	6	4	1

App.	Largh.
1	0
2	0

Vincoli di estremità

	Sinistra	Destra
Appoggio	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Incastro	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Libero	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Elastico	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Diagrammi

Visualizza Deformata
Momento 1: 50

Scale fisse Taglio 1: 50
Freccia 1: 0,01

N. Punti Plottaggio: 100

Visualizza Stampa

M I M ± T

DWG Esporta Blocco ?

Titolo : Trave Secondaria da 9,6 m

Tipo di calcolo delle sollecitazioni: Esercizio Stato Limite Ultimo

Numero campate (Compresi Sbalzi) : 1

Camp. N*	Luce	Perm.	Var.	Sez.N*
1	9,6	6	4	1

App.	Largh.
1	0
2	0

Vincoli di estremità

	Sinistra	Destra
Appoggio	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Incastro	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Libero	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Elastico	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Diagrammi

Visualizza Deformata
Momento 1: 50

Scale fisse Taglio 1: 50
Freccia 1: 0,01

N. Punti Plottaggio: 100

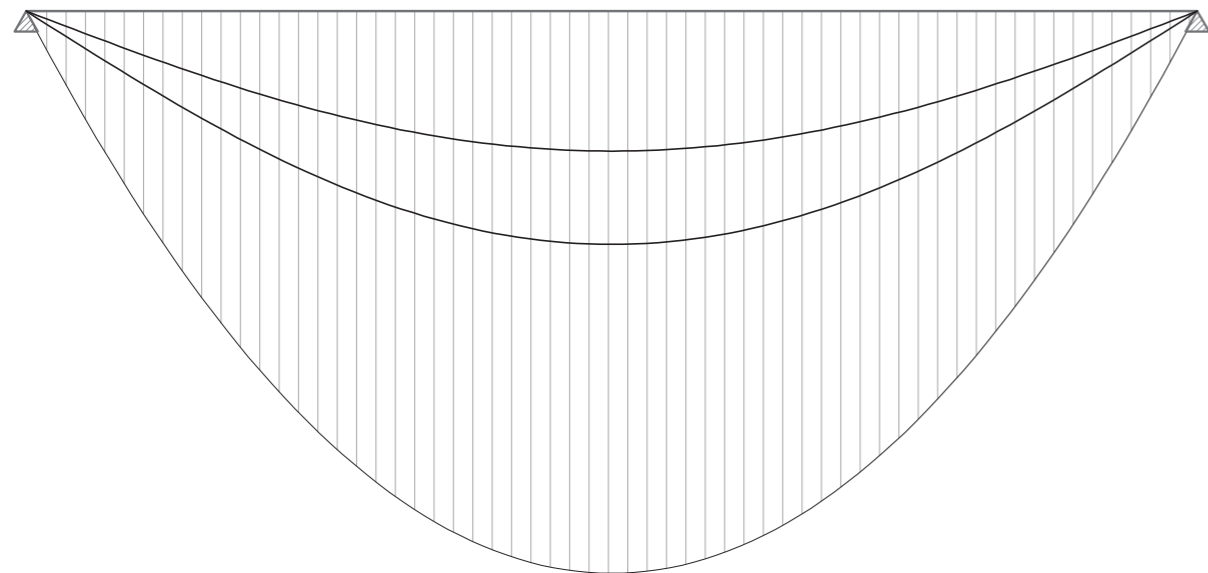
Visualizza Stampa

M I M ± T

DWG Esporta Blocco ?

TRAVE SECONDARIA LUNGA

Stato limite di esercizio SLE



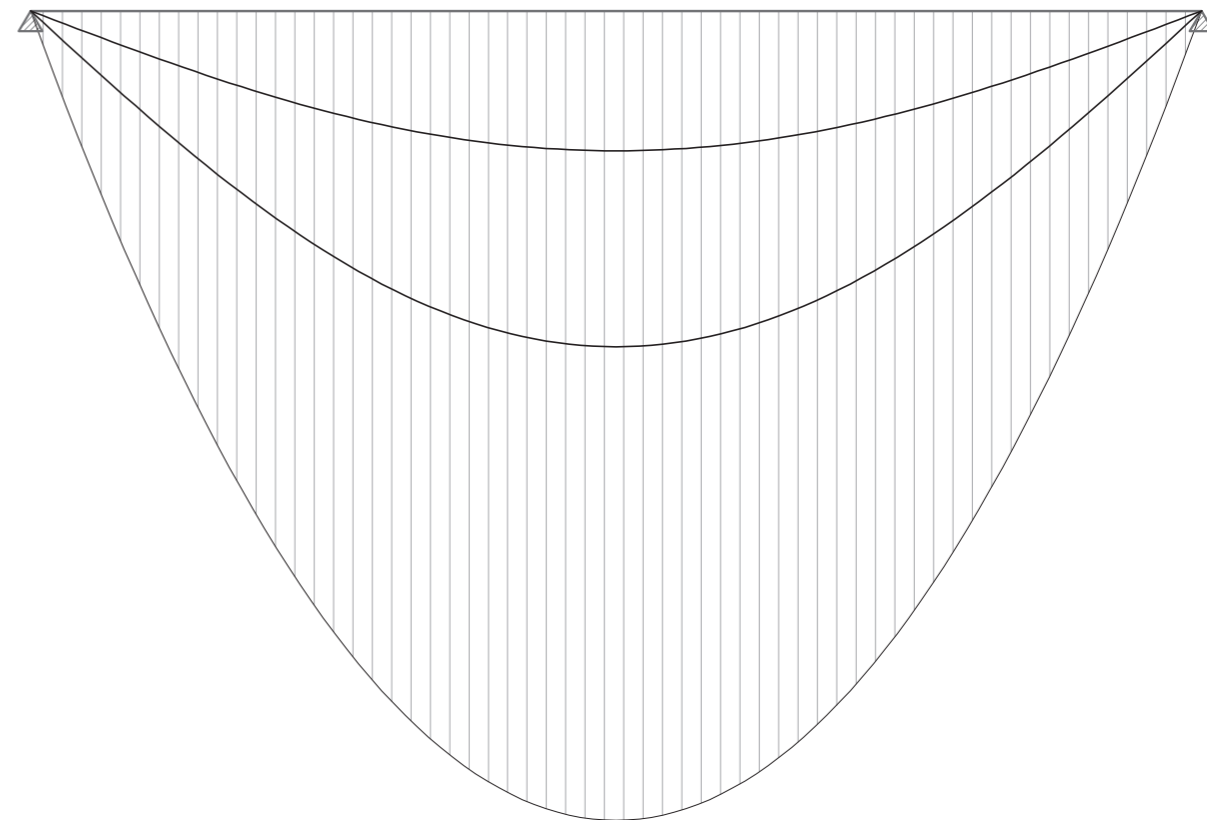
M min	0	0
M max	460,8 kNm	
R max	96 kN	96 kN
R min	57,6 kN	57,6 kN
f max	3,82E-02 m	
f min	2,29E-02 m	



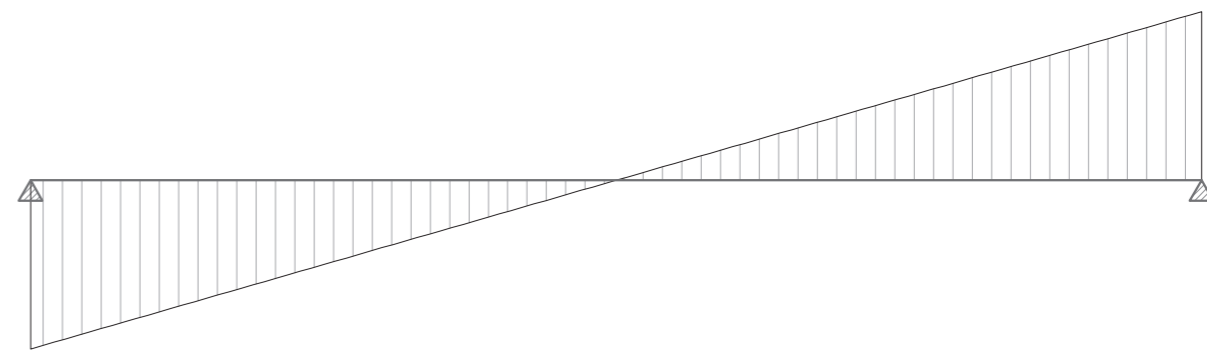
T maxs	0	-96
T maxd	96	0
Luci	19,2 m	
gk	6 kN/m	
qk	4 kN/m	

TRAVE SECONDARIA LUNGA

Stato limite ultimo SLU



M min	0	0
M max	663,6 kNm	
R max	138,2 kN	138,2 kN
R min	57,6 kN	57,6 kN
f max	5,51E-02 m	
f min	2,29E-02 m	



T maxs	0	-138,2
T maxd	138,2	0
Luci	19,2 m	
gk	6 kN/m	
qk	4 kN/m	

TRAVE SECONDARIA PRECOMPRESSA



Sverre Fehn

Padiglione dei paesi nordici ai Giardini della Biennale

Venezia
1958-62



TRAVE PRINCIPALE

Stato limite di esercizio SLE

Titolo : Trave Principale

Tipo di calcolo delle sollecitazioni: Esercizio Stato Limite Ultimo

Numero campate (Compresi Sbalzi) : 4

Appoggi

Sezioni

v. Elastici

Diagrammi

Visualizza Deformata

Momento 1: 50

Scale fisse Taglio 1: 50

Freccia 1: 0,01

N. Punti Plottaggio: 100

Visualizza Stampa

M I M + T

DWG Esporta Blocco ?

Camp. N*	Luce	Perm.	Var.	Sez.N*
1	12,4	48,4	0	1
2	5,5	48,4	0	1
3	5,5	65,5	0	1
4	21,3	65,5	0	1

App.	Largh.
1	3
2	0,4
3	0,4
4	0,4
5	0,4

Vincoli di estremità

Sinistra Destra

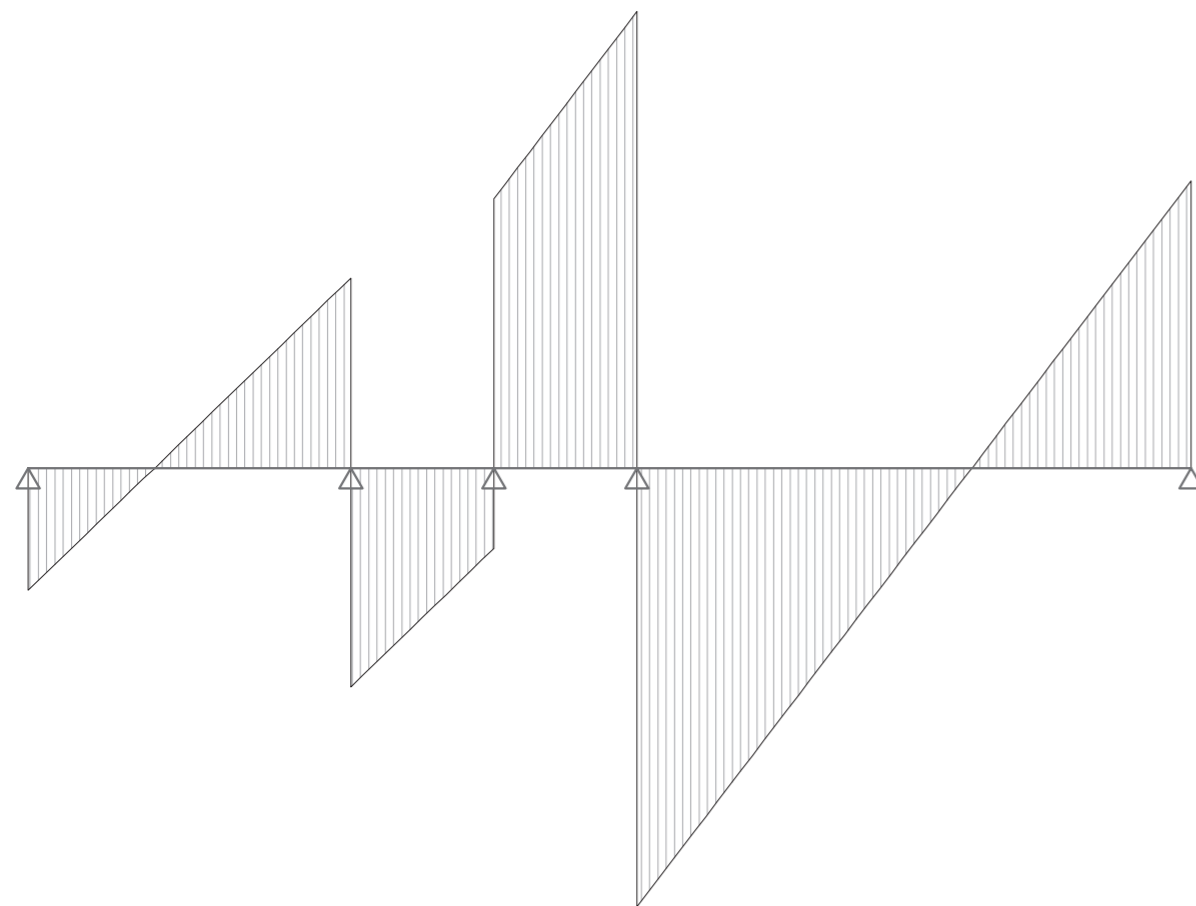
Appoggio

Incastro

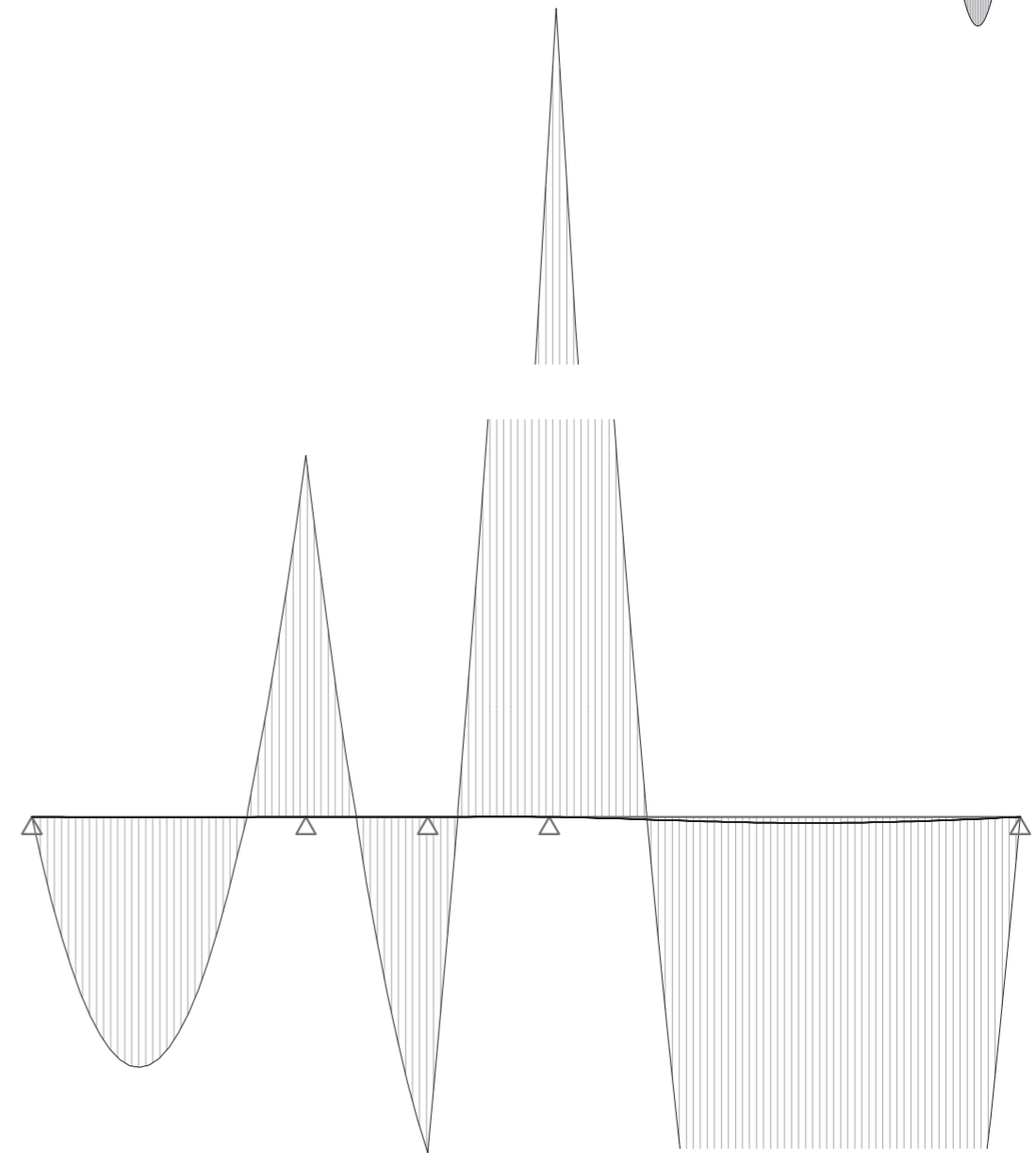
Libero

Elastico

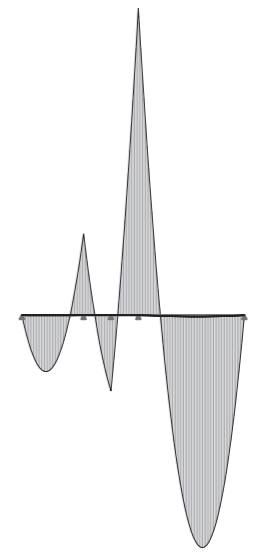
δ 1 ? Calcolo



T maxs	0	-366.0 kN	-518.1 kN	-878.3 kN	-552.9 kN
T maxd	234.2 kN	419.7 kN	153.5 kN	842.2 kN	0
Luci	12.4 m	5.5 m	5.5 m	21.3 m	
gk	48.4	48.4	65.5	65.5	
qk	0	0	0	0	

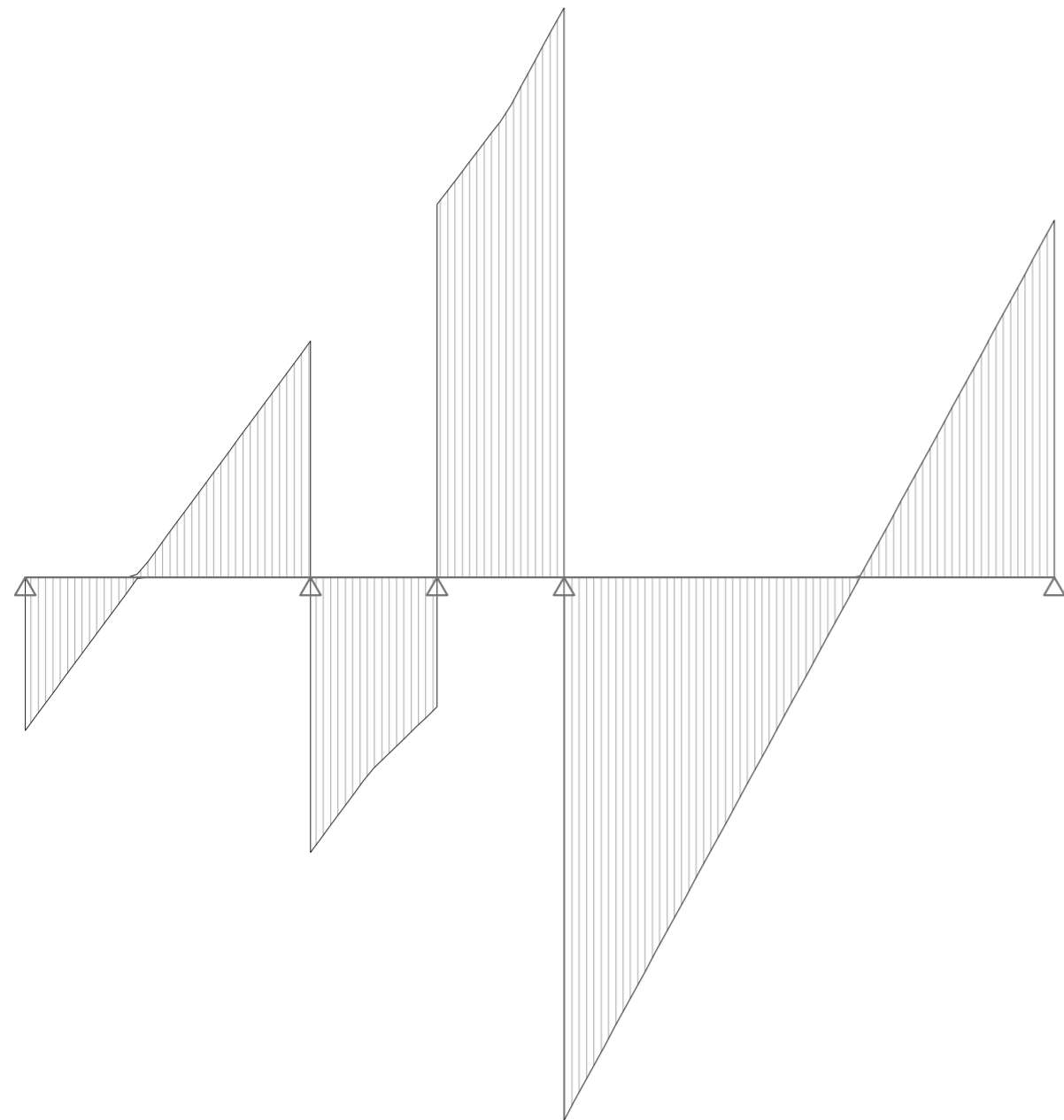


M min	0	-817.3 kNm	759.2 kNm	-3 081 kNm	1.055E-03 kNm
M max	566.5 kNm	759.2 kNm	759.2 kNm	2 334 kNm	
R max	234.2 kN	785.7 kN	-671.6 kN	1 721 kN	552.9 kN
R min	234.2 kN	785.7 kN	-671.6 kN	1 721 kN	552.9 kN
f max	2.19E-04 m	2.13E-05 m	-1.20E-04 m	2.73E-03 m	
f min	-1.08E-19 m	-4.17E-06 m	-1.20E-04 m	2.73E-03 m	

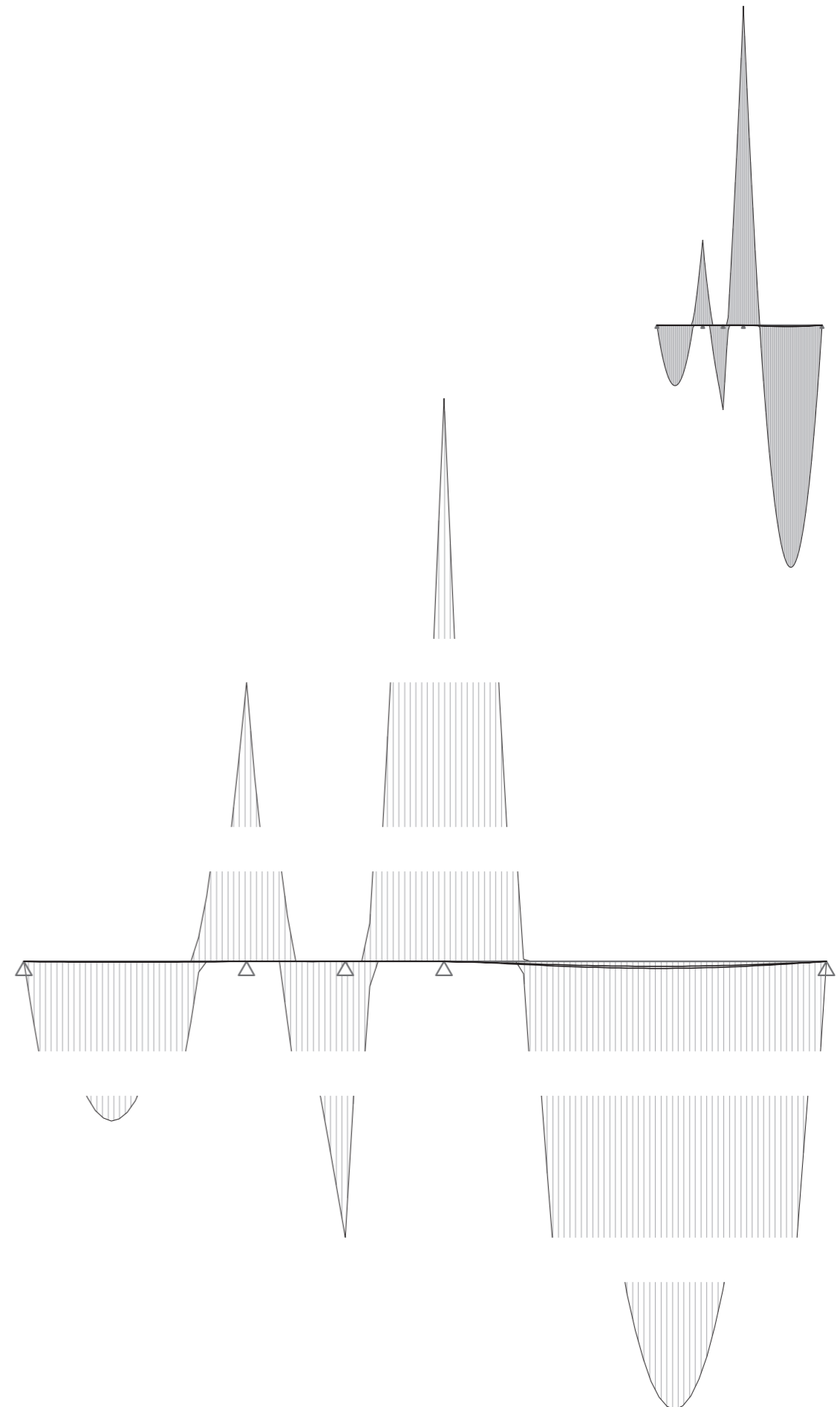


TRAVE PRINCIPALE

Stato limite ultimo SLU



T maxs	0	-513.0 kN	-809.8 kN	-1 236 kN	-775.2 kN
T maxd	333.1 kN	597.6 kN	281.0 kN	1 179 kN	0
Luci	12.4 m	5.5 m	5.5 m	21.3 m	
gk	48.4	48.4	65.5	65.5	
qk	0	0	0	0	



M min	0	-1 152 kNm	678.6 kNm	-4 317 kNm	1.053E-03 kNm
M max	818.9 kNm	1 144 kNm	1 144 kNm	3 276 kNm	
R max	333.1 kN	1 111 kN	-521.1 kN	2 416 kN	775.2 kN
R min	228.9 kN	775.2 kN	-1 091 kN	1 714 kN	551.9 kN
f max	3.25E-04 m	4.04E-05 m	-1.12E-04 m	3.85E-03 m	
f min	-1.08E-19 m	-1.38E-05 m	-1.76E-04 m	2.72E-03 m	

Acciaio

Sigla	fyk	ftk	sig. adm
FeB22k	215	335	115
FeB32k	315	490	155
FeB38k	375	450	215
> FeB44k	430	540	255
Trefolo	1620	1800	1080
B450C	450	518	260

Aggiungi Elimina

FeB44k

fyk: 430 N/mm²
ftk: 540 N/mm²
γs: 1,15
Es/Ec: 15
Es: 200.000 N/mm²
εsu: 10 ‰
fyd: 373,9 N/mm²
εsyd: 1,87 ‰
σs,adm: 255 N/mm²

Calcestruzzo

Sigla	fck	Rck
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
> C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45

Aggiungi Elimina

C25/30

fck: 25 N/mm²
Rck: 30 N/mm²
γc: 1,6
εcu: 3,5 ‰
fyd: 15,63 N/mm²
α: 0,85
fcd: 0,8
σc,adm: 9,75 N/mm²
τco: 0,6
τc1: 1,829 N/mm²

Trave Principale

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 1 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	50	200	1	65,97	4,2

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N Sd: 0 kN
M xSd: -4317 kNm
M ySd: 0 kNm

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls Coord.[cm]

Tipo rottura: Lato acciaio - Acciaio snervato

M xRd: -4.355 kN m
σc: -13,29 N/mm²
εc: 3,162 ‰
εs: 10 ‰
d: 195,8 cm
x: 47,04 x/d: 0,2402 δ: 0,7403

Metodo di calcolo: S.L.U.+ S.L.U.- Metodo n

Tipo flessione: Retta Deviata

N° rett.: 100

Calcola MRd Dominio M-N

Lo: 1597,5 cm Col. modello

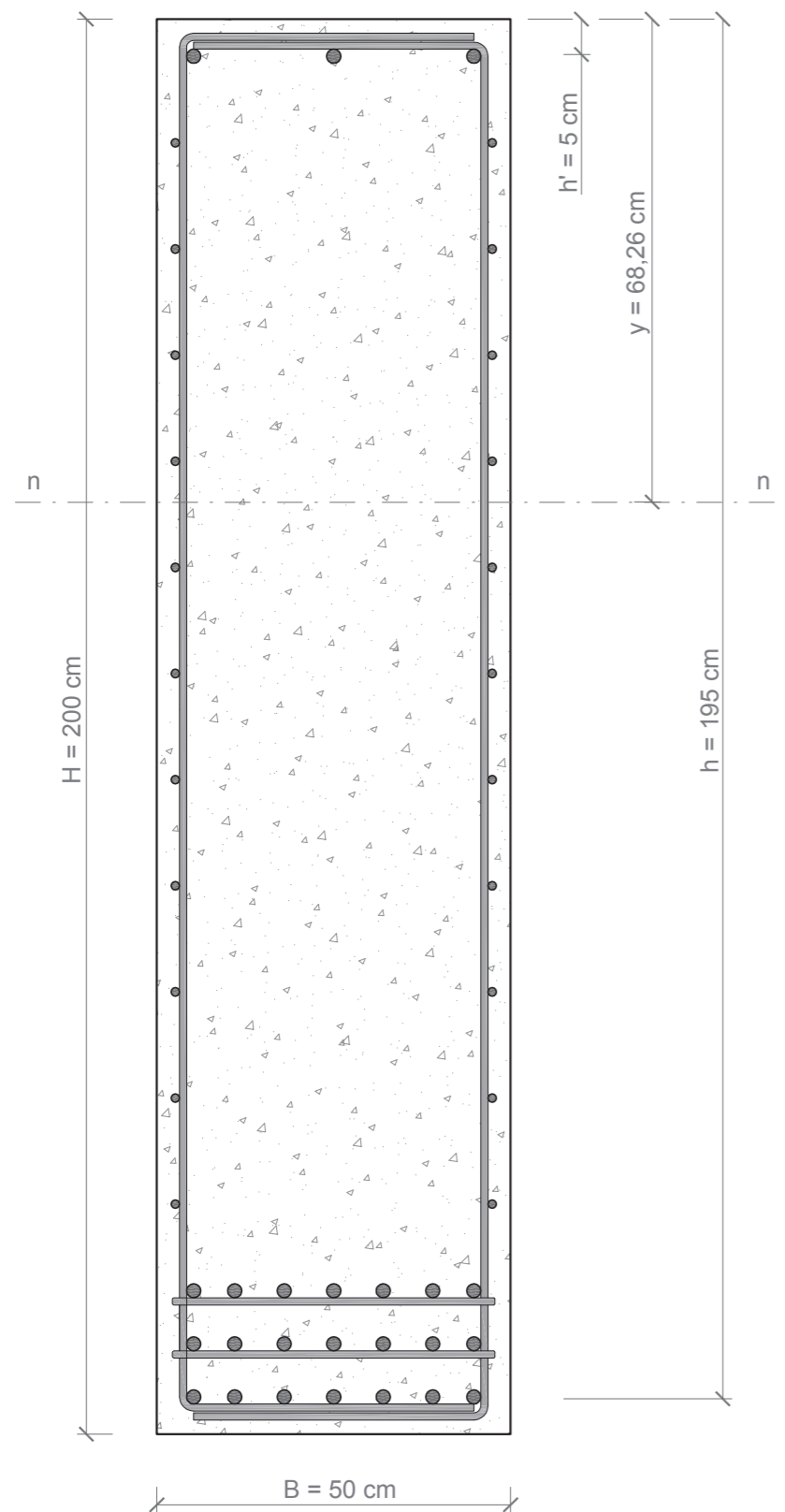
Precompresso

TRAVE PRINCIPALE	CALCESTRUZZO ARMATO	Tensione Ammissibile
Calcestruzzo	C25/30	σc adm: 9,75 N/mm ²
Acciaio	Feb 44k	σs adm: 255 N/mm ² fyd: 373,9 N/mm ²
TRAVE PRINCIPALE Verifica a Flessione		
Momento Sollecitante (M max)	4317 kNm	
Base (B)	0,5 m	50 cm
Altezza (H)	2 m	200 cm
ipotesi di Acciaio snervato		
Acciaio Teso	As _{min} = Mmax / (0,9 x h x f _{yd})	65,79 cm ²
Acciaio Compresso	A's	7Ø20: 65,97 cm ² 3Ø20: 9,42 cm ² Ø10/15cm
Staffa		
h utile (h)	H - (2 + 2Øst + 1/2Øtond)	195 cm
h'	2 + 2Øst + 1/2Øtond	5 cm
y	n(As+A's) / B x (-1 + (1 + 2B(Asxh + A'sxh')) / (n(As+A's) ²)) ^{1/2}	68,26 cm
Momento Resistente (Mr)	Mr = f _{yd} x As x 0,9h	4355 kNm
		Mmax = MxSd Mr = MxRd

MxRd = 4355 kNm < MxSd = 4317 kNm

TRAVE PRINCIPALE

Armatura

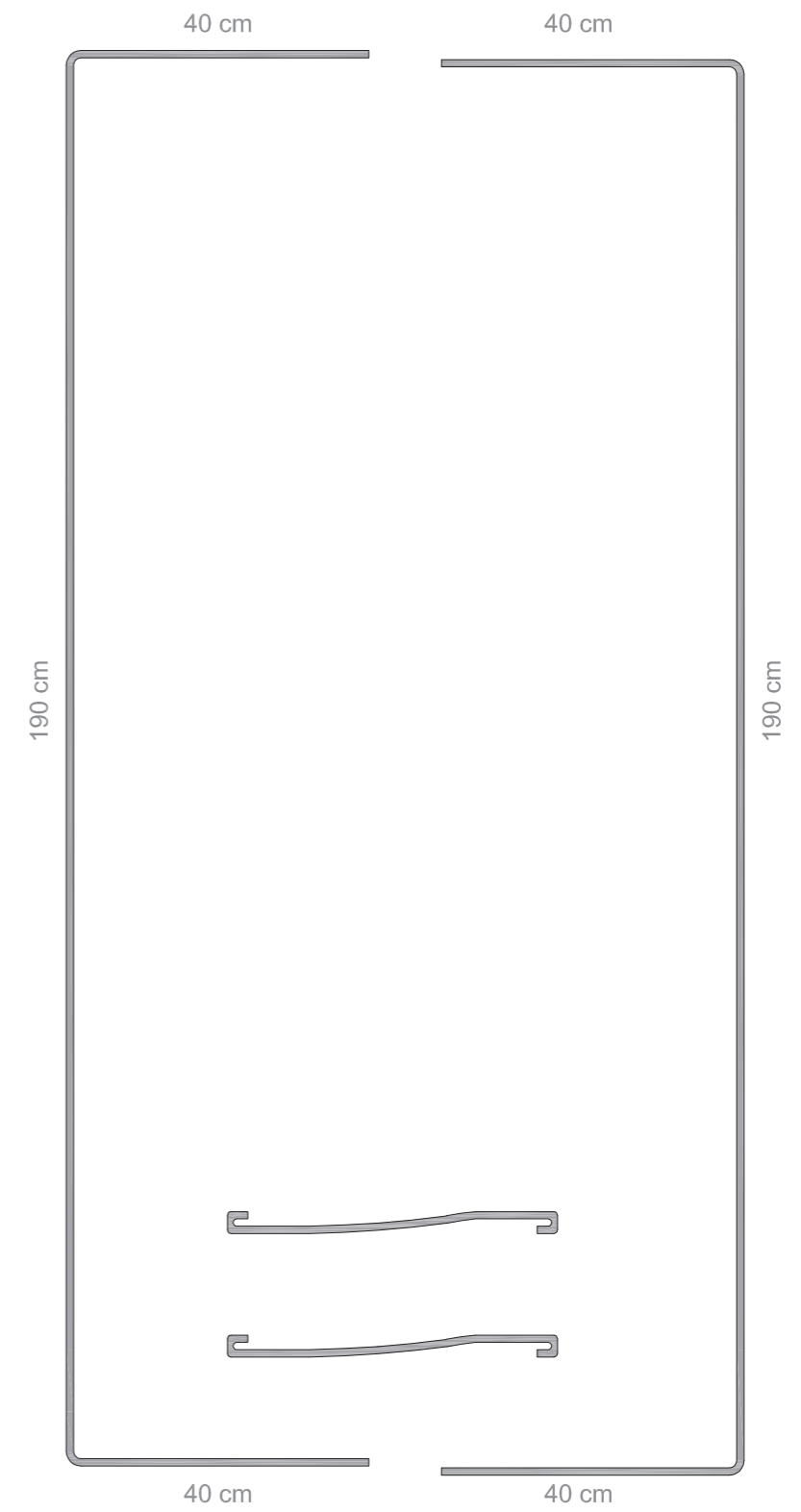


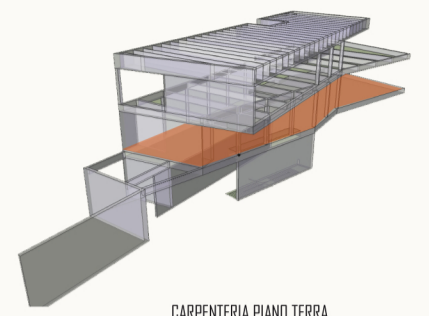
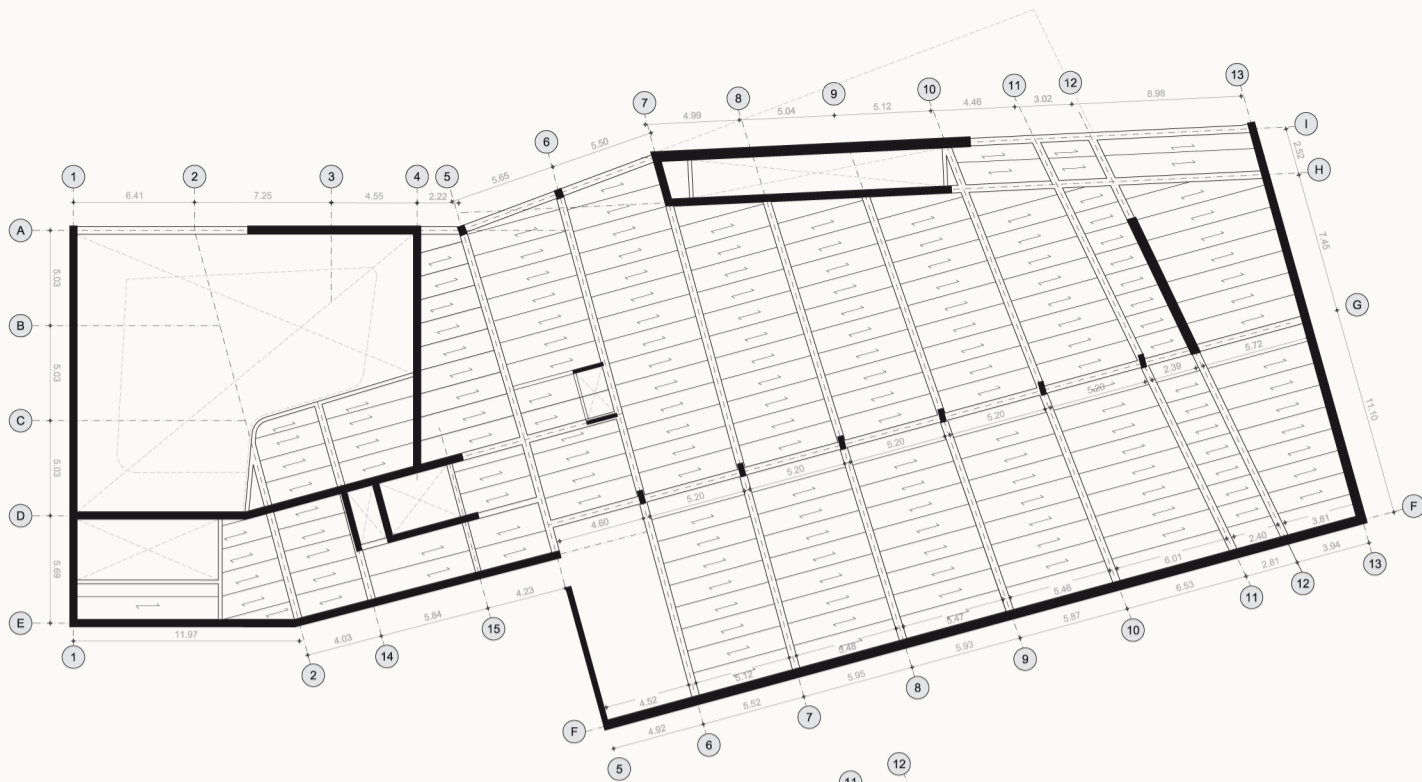
$A's = 3\text{Ø}20$

$A_t = 1\text{Ø}12/15\text{cm}$

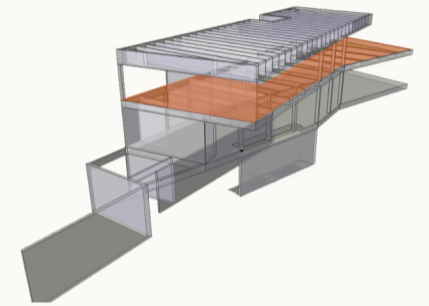
$A_{st} = 1\text{Ø}10/15\text{cm}$

$A_s = 21\text{Ø}20$

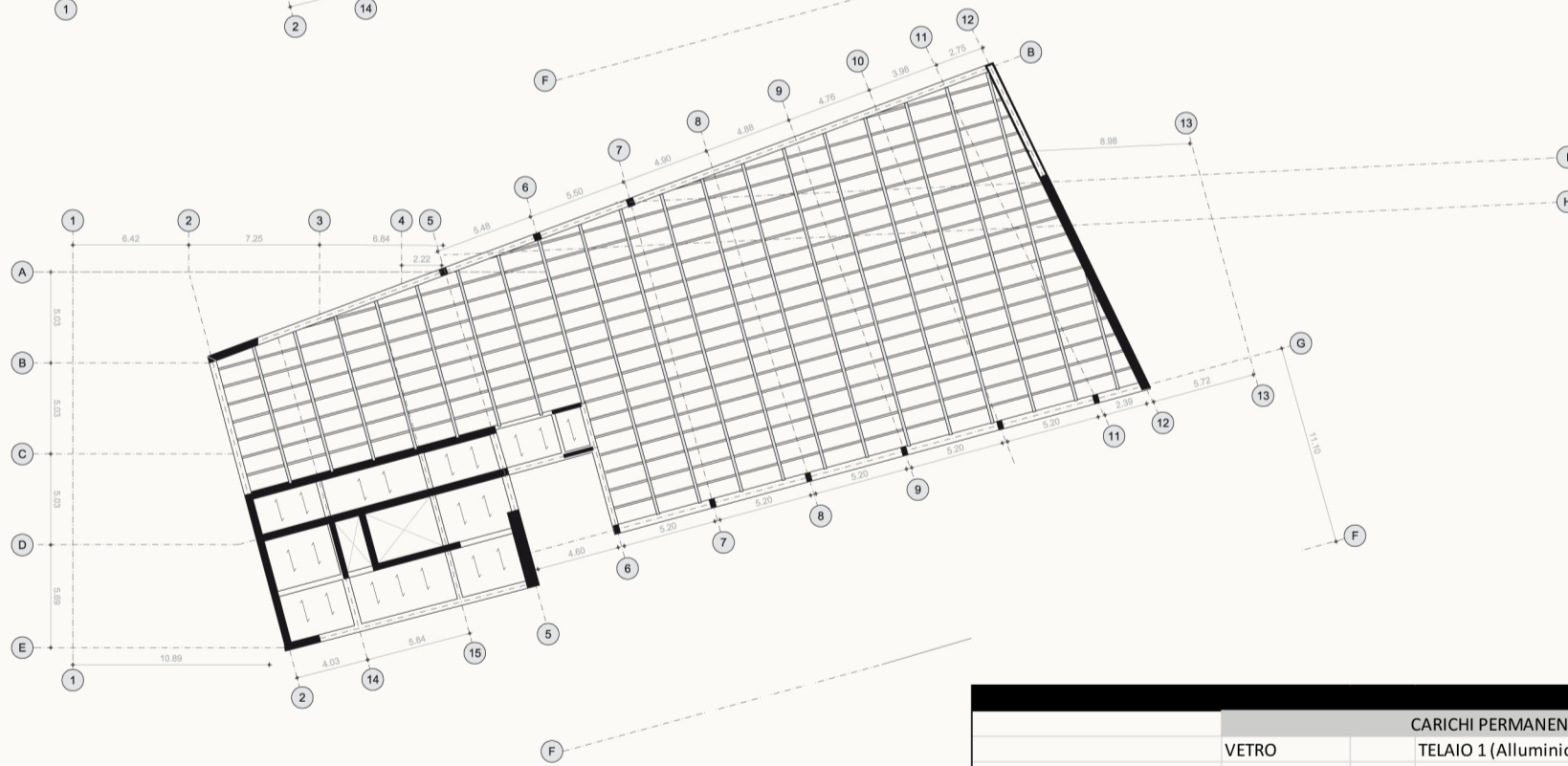




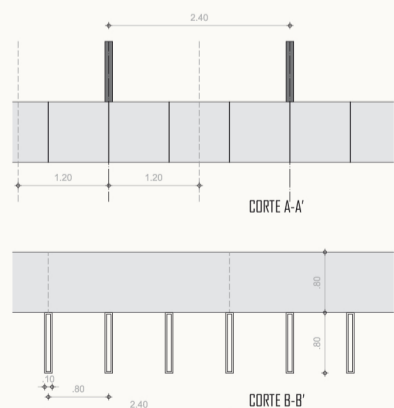
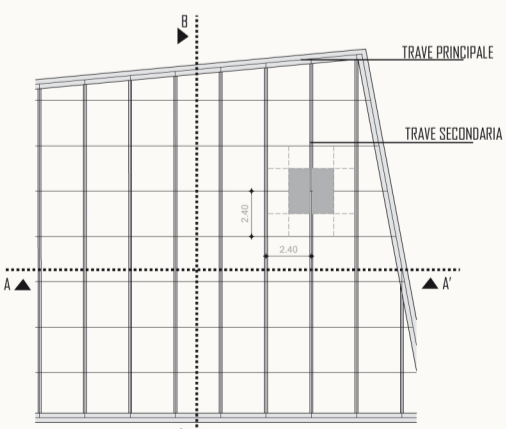
CARPENTERIA PIANO TERRA



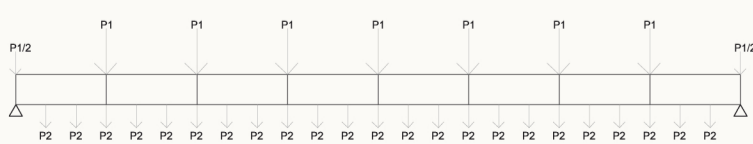
CARPENTERIA PRIMO PIANO



CARPENTERIA COPERTURA



ANALISI CARICHI CONCENTRATI SULLA TRAVE SECONDARIA



ANALISI CARICHI				
	CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI (COPERTURA)			
	VETRO	TELAIO 1 (Alluminio)	TELAIO 2 (Alluminio)	TOTALE TELAIO
Volume	2,4x2,4x0,02 mc	2,4 x 2,4 x 0,04 mc	0,30 x 0,04 x 0,04 mc	0,01392 mc
Peso specifico	0,1152 mc	0,01344 mc	0,00048 mc	0,01392 mc
CARICHI TOTALI	25 kN/mc	27 kN/mc	27 kN/mc	0,36288 kN
TOTALE COPERTURA	2,88 kN/mc			0,36288 kN
	CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI (PANNELLI SCHERMANTI)			
	CALCESTRUZZO ALLEGGERITO CON ARGILLA ESPANSA			
Volume	0,8 x 0,1 x 2,4 mc			
Peso specifico	11 kN/mc			
CARICHI TOTALI	2,112 kN			
TOTALE PANNELLI				2,112 kN
	CARICHI VARIABILI			
	Coefficiente per accessibilità	0,5 kN/mq	Copertura accessibile per la sola manutenzione	
Area	2,4 x 2,4 mq			
TOTALE P VARIABILE				2,88 kN
	CARICO NEVE ($\rho_s = \mu \cdot \rho_{sk} \cdot C_e \cdot C_t$)			
	μ	Coefficiente di forma sulla copertura. $0 < \alpha > 30$		
ρ_{sk}	Carico neve al suolo. Quota suolo sul livello del mare. MILANO=100m. Zona E			
C_e	Coefficiente di esposizione			
C_t	Coefficiente termico			
TOTALE Qs				1,2 kN/mq
Area	2,4 x 2,4 mq			
TOTALE Qs concentrato				6,912 kN
P1	P permanente + P variabile + Carico neve			13,03 kN
P2	P permanente Pannelli Schermanti			2,11 kN



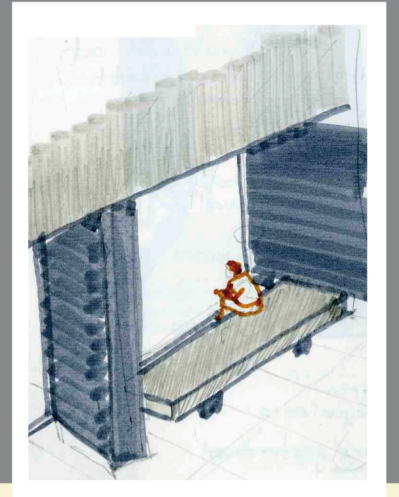
STRUTTURA IN ACCIAIO
 PRO: Convenienza come sistema costruttivo in tempo e facilità costruttiva
 CONTRA: Incoerenza con il linguaggio architettonico proposto

STRUTTURA IN CALCESTRUZZO
 PRO: Coerenza con il linguaggio, sviluppo di geometrie irregolari tramite setti murari
 CONTRA: PORTICATO: Solo porticos no permiterebbe facilmente la relazione della volumetria
 SETTO MURARIO: Solo setti non permettono definire il quarto braccio del chiostro analogando il paso strutturale esistente

SCELTE STRUTTURALI . A. SISTEMA

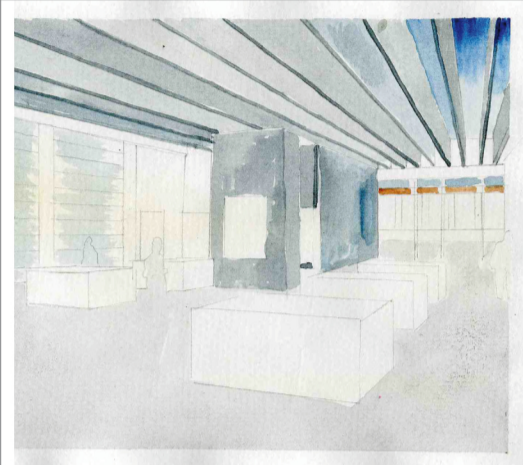
"Il calcestruzzo offre stupefacenti possibilità scultoree...lasciato grezzo come appena disarmato è il materiale dell'espressione strutturale per eccellenza".

Santiago Calatrava, "The Ancient Virtues of Concrete" in Casabella, vol. 66 706/7 dic 2002/gen.2003 pp 68-74

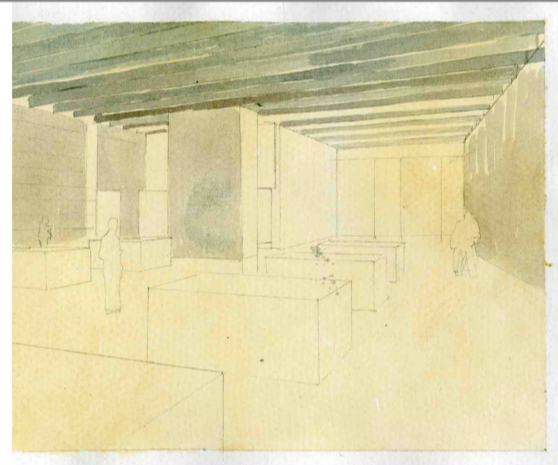


SCELTE STRUTTURALI . B. COPERTURA

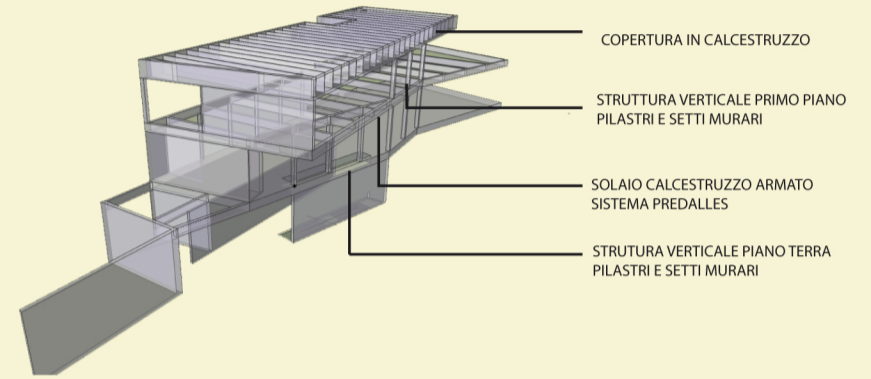
La copertura, costituita da una griglia sospesa su un unico spazio di 643 mq di superficie, libero al suo interno da qualsiasi elemento strutturale verticale, è costituita da un doppio ordine di travi sovrapposte in calcestruzzo a vista, de lo spessore di 10 centimetri, con un'altezza pari a 80 centimetri. Le travi principali si incastrano a una trave de bordo di altezza pari a 2 metri.



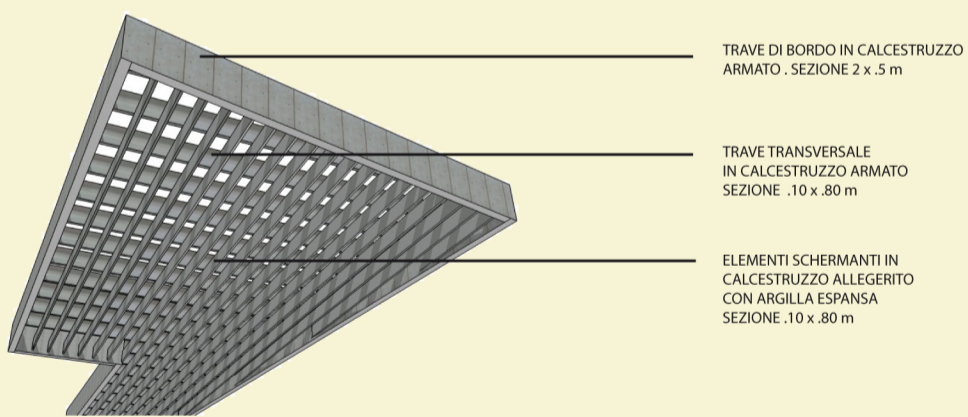
L'orditura secondaria appende di quella principale, e grazie all'altezza e al passo breve dei singoli elementi impedisce ai raggi solari - anche durante il solstizio estivo, ossia quando formano un angolo di 64 gradi con la superficie terrestre - di penetrare in maniera diretta nello spazio sottostante, garantendo un'illuminazione uniforme e priva di ombre alle opere esposte



DESCRIZIONE . SCOMPOSIZIONE

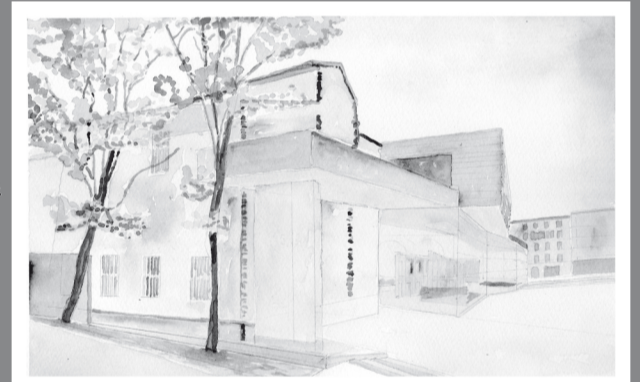
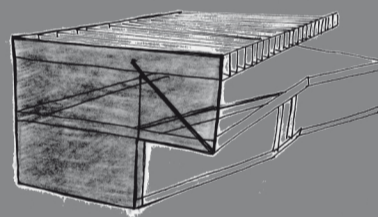


DESCRIZIONE . SCOMPOSIZIONE

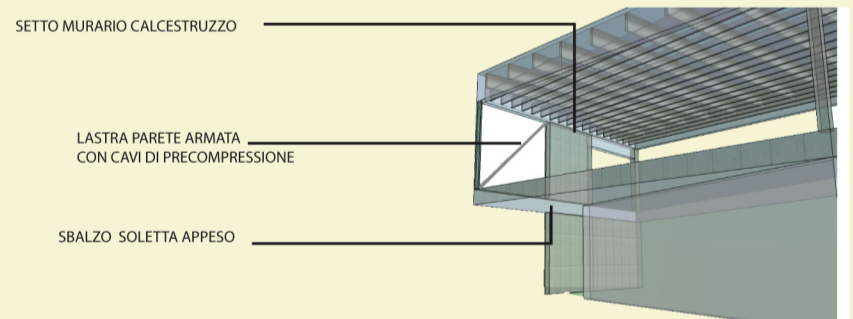


SCELTE STRUTTURALI . C. SBALZO

Schema di lastra-parete in calcestruzzo armato con cavi di precompressione a sorreggere la porzione a sbalzo



DESCRIZIONE . SCOMPOSIZIONE



SCELTE STRUTTURALI . SBALZO . ANALISI E CALCOLO DELLA TRAVE PRINCIPALE

