

S.S. 45bis - Gardesana Occidentale

Opere di costruzione della galleria in variante tra il km 86+567 e il km 88+800 finalizzata a sottendere le attuali gallerie ogivali a sezione ristretta

PROGETTO DEFINITIVO

COD. MI92

PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

PROGETTISTA:

*Dott. Ing. Antonio Scalamandrè
Ordine Ing. di Frosinone n. 1063*

IL GEOLOGO

*Dott. Geol. Serena Majetta
Ordine Geol. di Roma n. 928*

IL RESPONSABILE DEL S.I.A.

*Dott. Ing. Laura Troiani
Ordine Ing. di Roma n. 31890*

COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Geom. Fabio Quondam

VISSO IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Giancarlo Luongo

PROTOCOLLO

DATA

OPERE D'ARTE

SCATOLARE IDRAULICO TORRENTE VALLE DELLA TORRE

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

CODICE PROGETTO		NOME FILE .pdf		REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV. PROG.	CODICE ELAB.			
DPMI0092	D 18	T00TM01STRRE01		A	-
D					
C					
B					
A	EMISSIONE		Gen 2020		
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE		Pagina
1	INQUADRAMENTO GENERALE	4
1.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA	5
2	NORMATIVE DI RIFERIMENTO	7
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	8
3.1	CALCESTRUZZO	8
3.2	ACCIAIO PER ARMATURA LENTA	8
4	PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO	9
5	MODELLO DI CALCOLO	10
6	ANALISI DEI CARICHI	12
6.1	PESI PROPRI STRUTTURALI	12
6.2	SOVRACCARICHI PERMANENTI	12
6.3	SPINTA DEL TERRENO	12
6.4	SOVRACCARICHI VARIABILI SULLA COPERTURA	12
6.5	FRENATURA	15
6.6	AZIONE TERMICA	15
6.7	RITIRO	15
6.8	AZIONI SISMICHE	17
6.8.1	Forze sismiche orizzontali	17
6.8.2	Spinta del terreno in fase sismica	17
7	CARICHI ELEMENTARI E LORO COMBINAZIONI	18
7.1	CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI	18
7.2	COMBINAZIONI DI CARICO	18
8	SOLLECITAZIONI	23
9	VERIFICHE A PRESSOFLESSIONE	25
9.1	SOLETTA SUPERIORE IN CAMPATA	25
9.2	SOLETTA SUPERIORE ALL'INCASTRO	26
9.3	PIEDRITTO ALLO SPICCATO	27
9.4	PIEDRITTO IN SOMMITA'	28
9.5	SOLETTA INFERIORE IN CAMPATA	29

9.6	SOLETTA INFERIORE ALL'INCASTRO	30
10	VERIFICHE TAGLIO	31
11	VERIFICHE DI FESSURAZIONE	32
11.1	SOLETTA SUPERIORE IN CAMPATA	32
11.2	SOLETTA SUPERIORE ALL'INCASTRO	33
11.3	PIEDRITTO ALLO SPICCATO	34
11.4	PIEDRITTO IN SOMMITA'	35
11.5	SOLETTA INFERIORE IN CAMPATA	36
11.6	SOLETTA INFERIORE ALL'INCASTRO	37
11.7	RIEPILOGO FESSURAZIONE	38
12	VERIFICA PRESSIONI SUL TERRENO	39

1 INQUADRAMENTO GENERALE

La presente relazione riguarda il dimensionamento del tombino idraulico previsto nell'ambito dei lavori inerenti il progetto definitivo delle "opere di costruzione della Galleria in variante tra il km 86+567 e il km 88+800 - S.S. n.45bis Gardesana occidentale", finalizzata a sottendere le attuali gallerie ovali a sezione ristretta.

Nel seguito vengono descritte le caratteristiche generali dell'opera e vengono esposte le modalità di calcolo, i risultati delle analisi e le verifiche degli elementi strutturali.

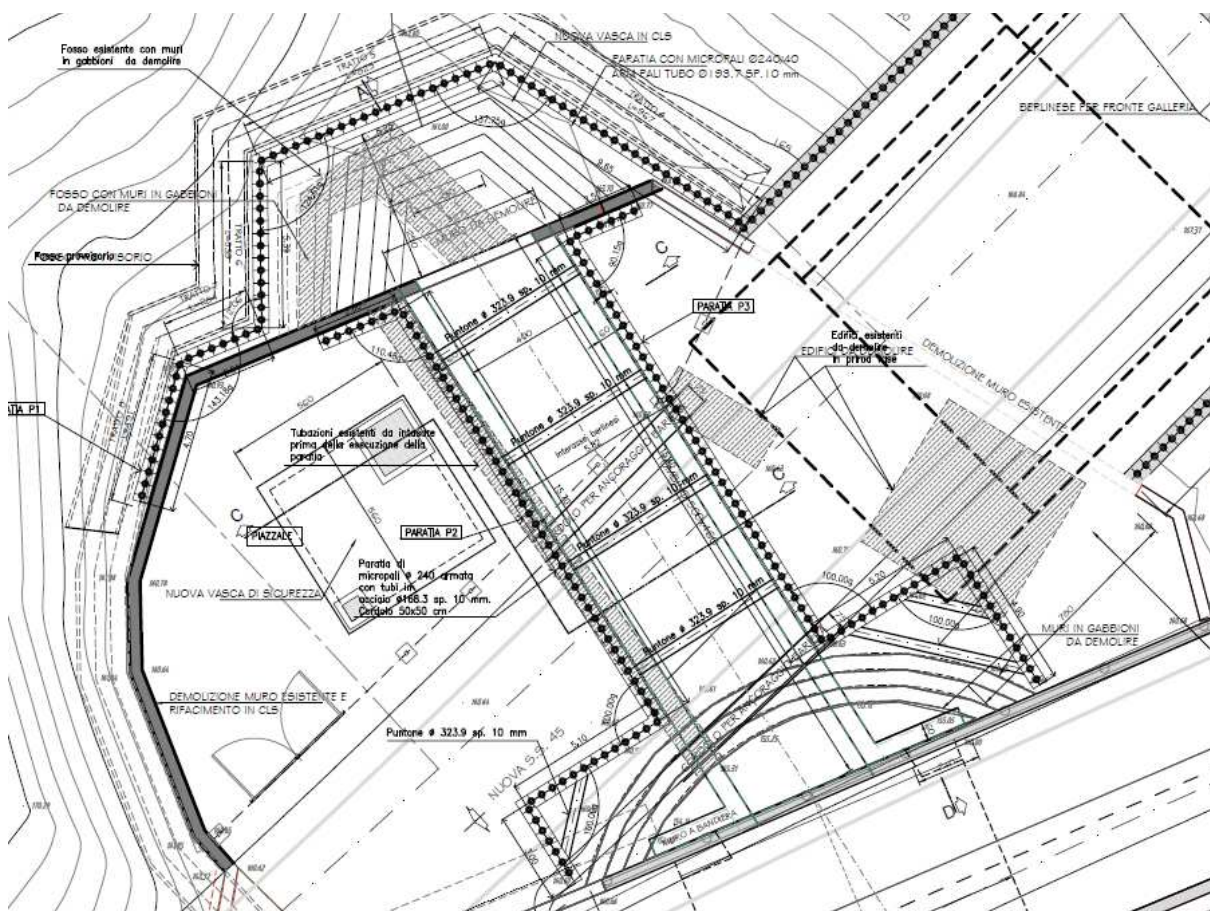


Figura 1: Vista in pianta tombino

1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Oggetto della presente relazione di calcolo è il nuovo scatolare idraulico posto in corrispondenza dell'imbocco Sud della galleria.

Il tombino è realizzato con una struttura scatolare in c.a. avente lunghezza totale di circa 21.9 m e larghezza netta costante pari a 4.0 m; l'altezza interna varia da un minimo di 2.40 m ad un massimo di 4.53 m in corrispondenza del soprastante attraversamento stradale della S.S. 45.

I piedritti ed il traverso superiore sono realizzati con spessore di 60 cm, mentre la zattera di fondazione, che non presenta risvolti laterali, ha un'altezza di 70 cm.

Si riportano di seguito i parametri di progetto e la geometria del tombino in esame, il cui dimensionamento è effettuato per la sezione trasversale più sollecitata, ovvero quella di massima altezza.

Caratteristiche materiali e terreno

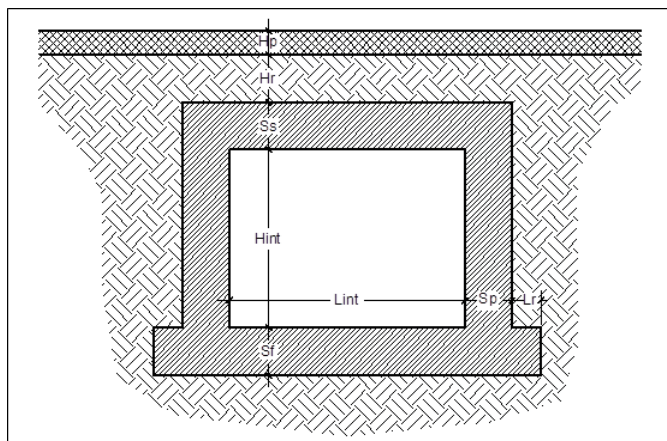
Calcestruzzo armato - Peso specifico	γ	25	kN/m ³
Calcestruzzo armato - Tipo		C30/37	
Calcestruzzo armato - Res. caratt. cubica	R_{ck}	37	N/mm ²
Calcestruzzo armato - Res. caratt. cilindrica	f_{ck}	30.7	N/mm ²
Calcestruzzo armato - Modulo elastico	E	33000	N/mm ²
Pacchetto stradale - Peso specifico	γ	24	kN/m ³
Terreno del rilevato - Peso specifico	γ	20	kN/m ³
Terreno del rilevato - Angolo di attrito	φ	32	°
Terreno di fondazione	K_w	7000	kN/m ³
Condizioni ambientali per ver. a fessurazione		aggressive	

Ricoprimento

Spessore pacchetto stradale	H_p	0.12	m
Spessore del rinterro	H_r	1.30	m

Geometria

Spessore soletta superiore	S_s	0.60	m
Spessore soletta di fondazione	S_f	0.70	m
Spessore piedritti	S_p	0.60	m
Altezza netta	H_{int}	4.55	m
Larghezza netta	L_{int}	4.00	m
Lunghezza risvolti sol. inf.	L_r	0.00	m



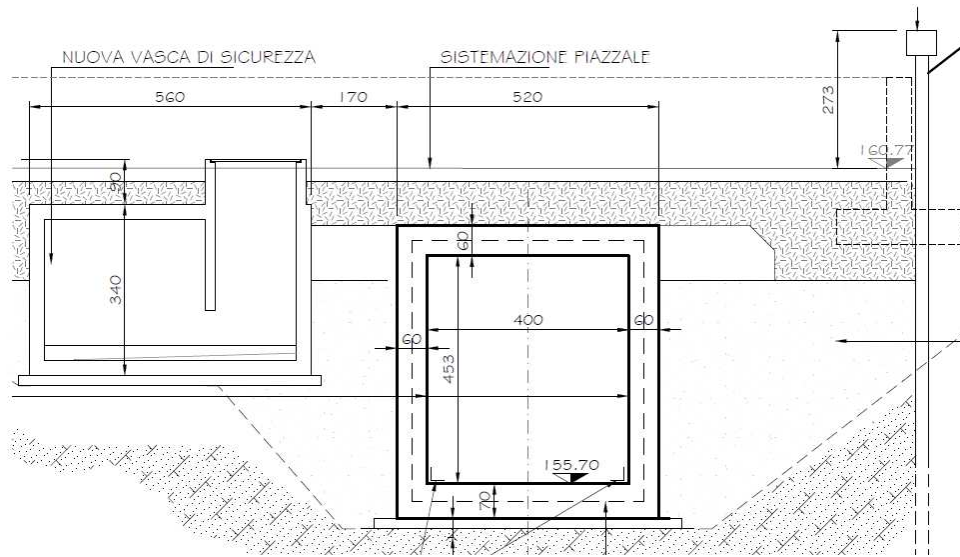


Figura 2: Sezione trasversale tombino

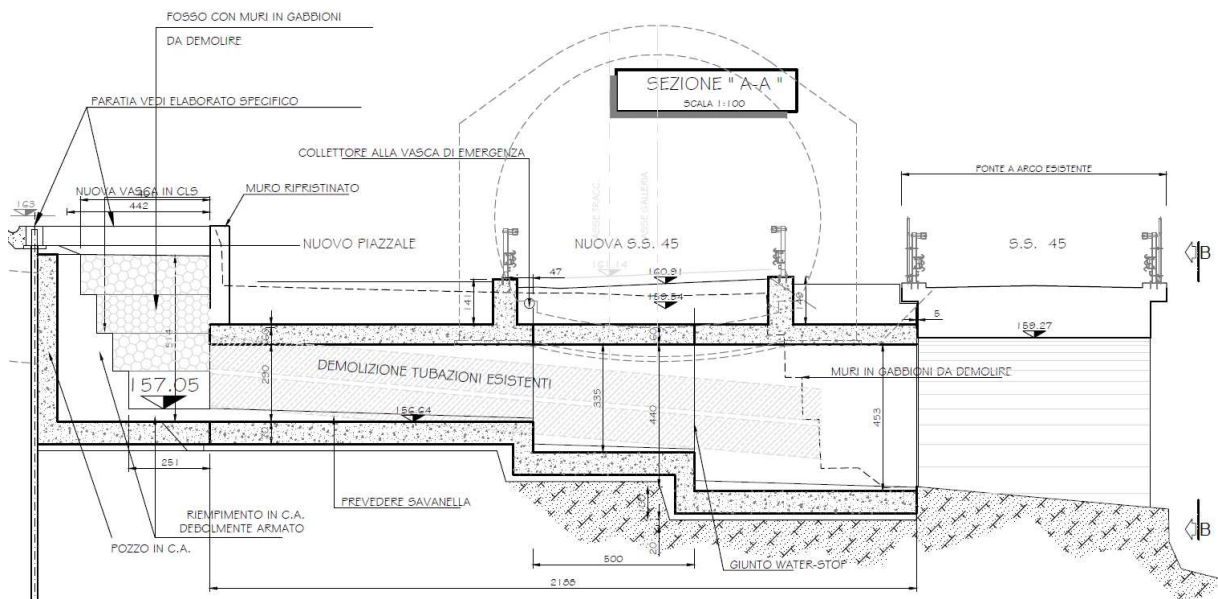


Figura 3: Sezione longitudinale tombino

2 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Nella progettazione sono state prese in considerazione le normative di seguito riportate:

- Legge 5 novembre 1971, n. 1086 - Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica.
- Decreto del ministero dei Lavori Pubblici 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.
- Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici 15 Ottobre 1996, n. 252 AA.GG/STC -Istruzioni per l'applicazione delle «Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche» di cui al decreto ministeriale del 9 Gennaio 1996».
- Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici 16 gennaio 1996 – Norme tecniche relative ai «Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi.
- Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici 4 luglio 1996, n. 156 AA.GG/STC – Istruzioni per l'applicazione delle «Norme Tecniche relative ai Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi» di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996.
- Legge 5 febbraio 1974, n. 64 - Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici 11 marzo 1988 - Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici 24 settembre 1988 – Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione.
- Decreto Ministero Infrastrutture 14 gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni.
- Circolare Ministero Infrastrutture 02 febbraio 2009 n.617 - Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- Decreto Ministero Infrastrutture 17 gennaio 2018 – Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni.
- Circolare Ministero Infrastrutture 21 gennaio 2019 n.7 - Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018.
- Eurocodici UNI EN 1990:2006; UNI EN 1991; UNI EN 1992; UNI EN 1997; UNI EN 1998.
- Calcestruzzo - specificazione, prestazione, produzione e conformità (UNI EN 206-1:2006).

3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

3.1 CALCESTRUZZO

La classe di esposizione prevista per l'opera risulta XC2/XA1, per la quale è richiesta una classe di resistenza minima del calcestruzzo C30/37.

Il copriferro minimo prescritto è pari a 40 mm.

Calcestruzzo - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005		
Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	37 [MPa]
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	30 [MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per il calcestruzzo	γ_c	1.5 [-]
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	α_{cc}	0.85 [-]
Valore medio della resistenza a compressione cilindrica	f_{cm}	38 [MPa]
Valore medio della resistenza a trazione assiale del calcestruzzo	f_{ctm}	2.9 [MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 5%)	$f_{ctk,0,05}$	2.0 [MPa]
Valore caratteristico della resistenza a trazione assiale (frattile 95%)	$f_{ctk,0,95}$	3.8 [MPa]
Modulo di elasticità secante del calcestruzzo	E_{cm}	32837 [MPa]
Deformazione di contrazione nel calcestruzzo alla tensione f_c	ϵ_{c1}	0.0020 [-]
Deformazione ultima di contrazione nel calcestruzzo	ϵ_{cu}	0.0035 [-]
Resistenza di progetto a compressione del calcestruzzo	f_{cd}	17.00 [MPa]
Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo	f_{ctd}	1.35 [MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione caratteristica	$\sigma_{c,caratt.}$	18 [MPa]
Tensione ammissibile nel calcestruzzo nella combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	13.5 [MPa]

3.2 ACCIAIO PER ARMATURA LENTA

Acciaio - Rif. UNI EN 1992 - 1 - 1 : 2005		
Resistenza a snervamento dell'acciaio	f_{yk}	450 [MPa]
Coefficiente di sicurezza parziale per l'acciaio	γ_s	1.15 [-]
Modulo di elasticità secante dell'acciaio	E_s	200000 [MPa]
Deformazione a snervamento dell'acciaio	ϵ_{yd}	0.001957 [-]
Deformazione ultima dell'acciaio	ϵ_{su}	0.01 [-]
Resistenza di progetto a trazione dell'acciaio	f_{yd}	391.3 [MPa]
Tensione ammissibile nell'acciaio per le combinazioni a SLS	σ_s	360 [MPa]

4 PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

I parametri geotecnici considerati sono i seguenti:

- Peso specifico terreno $\gamma = 20.0 \text{ kN/m}^3$
- Angolo attrito interno $\phi = 32^\circ$
- Modulo elastico $E = 35 \text{ MPa}$

Il coefficiente di sottofondo alla Winkler è determinato secondo la formulazione di Vesic (1961):

Calcolo costante sottofondo

coefficiente di Poisson	ν	0.2
larghezza fondazione	B	5.2 m
modulo elastico terreno	E	35 N/mm ²
		35000 kN/m ²
costante di sottofondo	K_w	7011 kN/m³

5 MODELLO DI CALCOLO

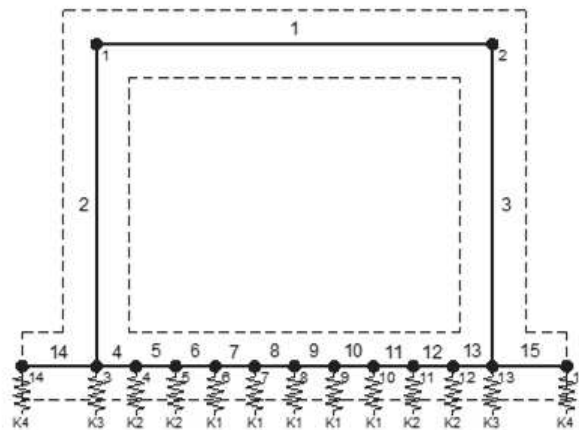
Come modello di calcolo si è assunto lo schema statico di telaio chiuso, analizzato attraverso un'analisi elastico-lineare mediante il programma di calcolo agli elementi finiti "CsiBridge v19.2.1" della *Computer and Structures Inc.*

Tale telaio viene discretizzato con elementi "frame" di larghezza unitaria, mentre il suolo viene modellato facendo ricorso all'usuale artificio delle molle elastiche alla Winkler. La soletta inferiore è divisa in 12 elementi per poter schematizzare, tramite le molle applicate, l'interazione terreno struttura:

Terreno di fondazione	K_w	7000	kN/m^3
-----------------------	-------	------	-----------------

Rigidezze molle

Interasse molle	i	$(0.60/2 + 4.00 + 0.60/2) / 10 =$	0.46	m
Molle centrali	K_1	$7000 \cdot 0.46 =$	3'220	kN/m
Molle intermedie	K_2	$1.5 \cdot 7000 \cdot 0.46 =$	4'830	kN/m
Molle laterali	K_3	$2.0 \cdot 7000 \cdot (0.46/2 + 0.60/2) =$	7'420	kN/m
Molle risolto	K_4	-	0	kN/m



Lo schema statico della struttura e la relativa numerazione dei nodi e delle aste sono riportati nelle seguenti figure.

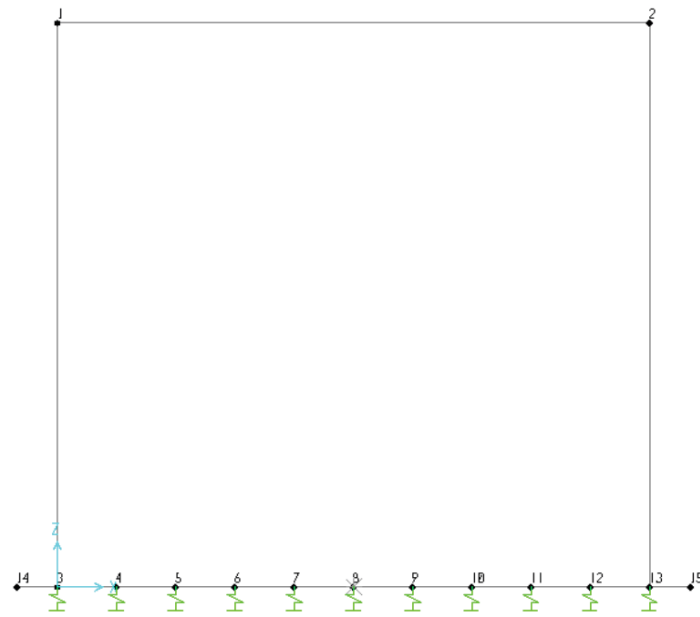


Figura 4: Numerazione nodi

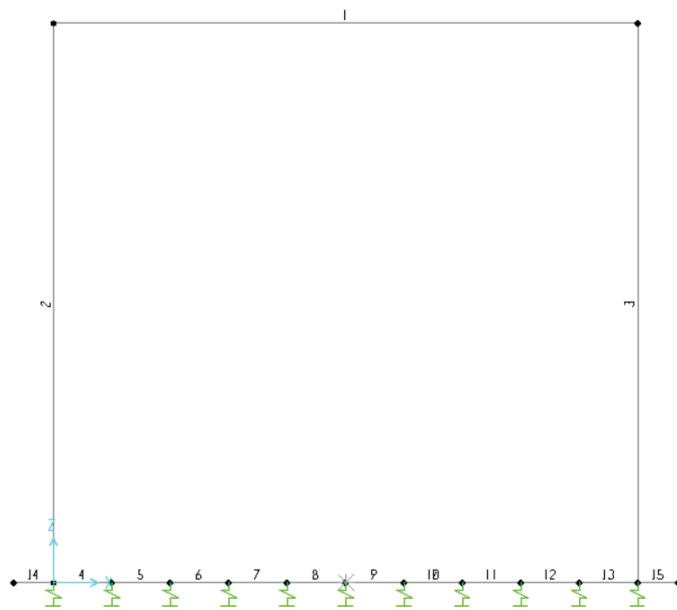


Figura 5: Numerazione aste

6 ANALISI DEI CARICHI

L'analisi dei carichi agenti è di seguito condotta sulla base delle prescrizioni di norma (D.M. 17-01-2018) e dell'effettiva destinazione e geometria dell'opera oggetto della presente relazione.

6.1 PESI PROPRI STRUTTURALI

Il peso proprio della struttura in c.a. è computato automaticamente dal software di calcolo considerando per il calcestruzzo armato un peso specifico pari a $\gamma=25.0 \text{ kN/m}^3$.

6.2 SOVRACCARICHI PERMANENTI

I carichi permanenti sono rappresentati dal rinterro e dalla pavimentazione stradale.

Carichi permanenti

Soletta superiore

Peso pacchetto stradale	Ps	$0.12 \cdot 24 =$	2.88	kN/m^2
Peso del rinterro	Pr	$1.30 \cdot 20 =$	26.00	kN/m^2
Totale			28.88	kN/m^2

6.3 SPINTA DEL TERRENO

La spinta del terreno viene considerata in regime di spinta a riposo, assumendo condizioni di spinta bilanciata (spinta SX ed DX sfavorevoli) e sbilanciata (spinta SX favorevole e DX sfavorevole) sui piedritti al fine di massimizzare le sollecitazioni.

Sul rilevato ai lati del tombino si considera un sovraccarico accidentale di 20 kN/m^2 .

Spinta del terreno

K0		$1 - \text{sen}(32^\circ) =$	0.470	
Spinta alla quota di estradosso sol. sup.	p1	$0.470 \cdot 28.88 =$	13.58	kN/m^2
Spinta in asse sol. sup.	p2	$0.470 \cdot (28.88 + 20 \cdot 0.60/2) =$	16.40	kN/m^2
Spinta in asse sol. inf.	p3	$0.470 \cdot [28.88 + 20 \cdot (0.60/2 + 4.55 + 0.70/2)] =$	65.28	kN/m^2
Spinta alla quota di intradosso sol. inf.	p4	$0.470 \cdot [28.88 + 20 \cdot (0.60/2 + 4.55 + 0.70)] =$	68.58	kN/m^2
Spinta semispessore sol. sup.	F1	$(13.58 + 16.40)/2 \cdot 0.60/2$	4.50	kN/m
Spinta semispessore sol. inf.	F2	$(65.28 + 68.58)/2 \cdot 0.70/2$	23.43	kN/m

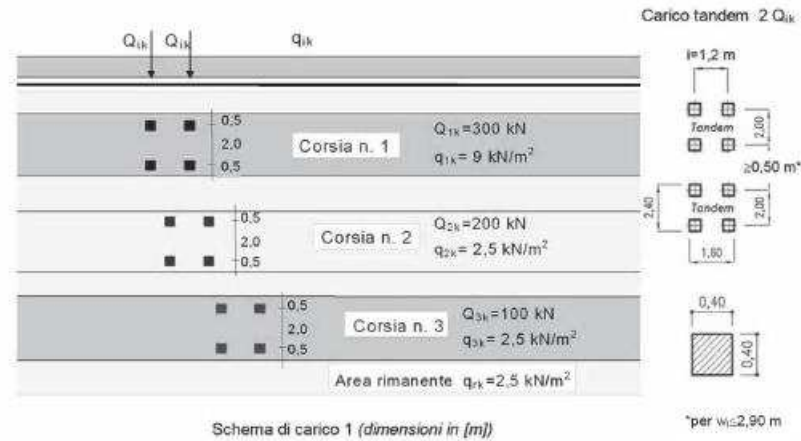
Spinta del carico accidentale

Spinta dovuta a $q = 20 \text{ kN/m}^2$	p	$0.470 \cdot 20$	9.40	kN/m^2
---	---	------------------	-------------	-----------------------------------

6.4 SOVRACCARICHI VARIABILI SULLA COPERTURA

Si considerano agenti sul rinterro al di sopra della copertura i carichi stradali da traffico definiti dal cap. 5 delle NTC.

In particolare, secondo quanto specificato al par. C5.1.3.3.5.1 della Circolare n.7 del 2019, si applica lo schema di carico 1 in cui, per semplicità, i carichi tandem sono sostituiti da carichi uniformemente distribuiti equivalenti, applicati su una superficie rettangolare larga 3.00 m e lunga 2.20 m.



L'asse stradale risulta ortogonale all'asse del tombino ed i carichi da traffico vengono diffusi verticalmente sia in direzione longitudinale che trasversale dal piano stradale sino al piano medio della soletta superiore.

Si assume una diffusione del carico nel terreno con angolo di 30°, ed attraverso la pavimentazione e lo spessore della soletta secondo un angolo di 45°.

La larghezza di diffusione viene tuttavia ridotta, da un lato, a causa dell'eventuale presenza della seconda colonna di carico, prevista dallo schema di normativa, in adiacenza alla prima.

Carichi accidentali sulla copertura

Tandem

Ldiffusione x		2.20	m
Ldiffusione y		3.00	m
Impronta di carico x	Ld1	$2.20 + 2 \cdot (0.12 + \tan 30^\circ \cdot 1.30 + 0.60/2) =$	4.54 m
Impronta di carico y	Ld2	$3.00 + 1 \cdot (0.12 + \tan 30^\circ \cdot 1.30 + 0.60/2) =$	4.17 m
Impronta sull'impalcato		$4.54 \cdot 4.17 =$	18.94 m ²
carico q1 (totale)			600 kN
carico q1 (ripartito)	Q _{1k}	$600 / 18.94 =$	31.68 kN/m²

Carico distribuito

Ld3	$3.00 + 1 \cdot (0.12 + \tan 30^\circ \cdot 1.30 + 0.60/2) =$	4.17	m
q _{1k}	$9.00 \cdot (3.00 / 4.17) =$	6.47	kN/m²

Si prendono in considerazione due differenti disposizioni dei carichi mobili, illustrate nelle figure seguenti, tali da massimizzare rispettivamente la sollecitazione flettente ed il taglio sul traverso.

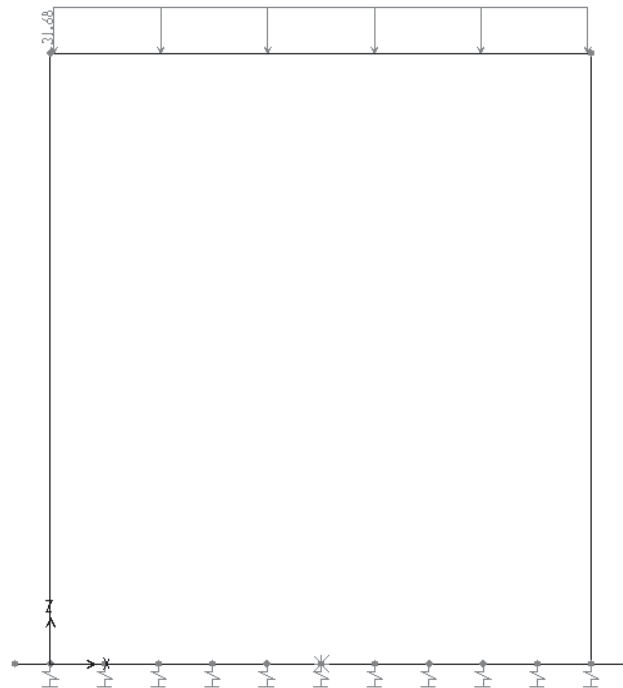


Figura 6: Carichi tandem – CdC Mmax

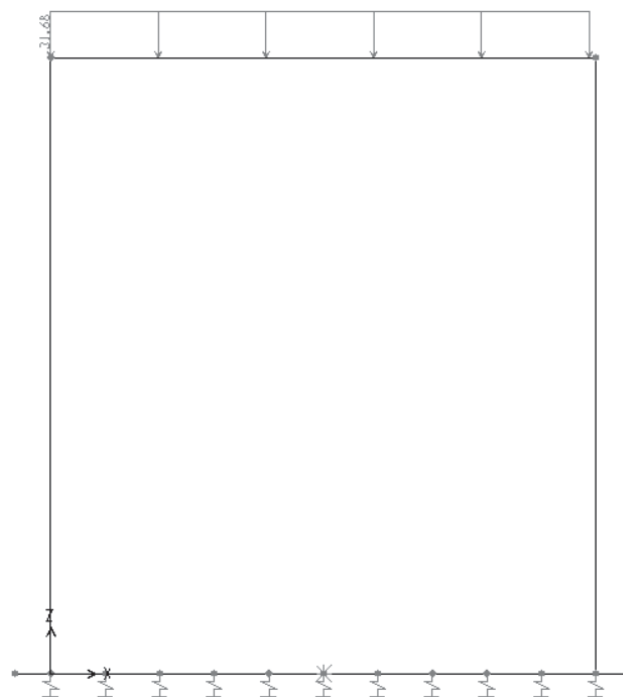


Figura 7: Carichi tandem – CdC Vmax

Si evidenzia che, nel caso in questione, le due condizioni di carico sono praticamente coincidenti.

6.5 FRENATURA

La forza di frenamento q_3 è valutata con la formulazione fornita al par. 5.1.3.5 delle NTC.

Tale azione viene applicata alla soletta superiore dello scatolare, distribuendo il valore del carico frenante sulla larghezza di diffusione in direzione trasversale.

Frenamento q_3

$$q_3 \quad q_3 \quad 180 < 0.6(2Q_{1k}) + 0.10q_{1k} \cdot w \cdot L < 900 \text{ kN} \quad \mathbf{89.69 \quad kN/m}$$

6.6 AZIONE TERMICA

Si considera una variazione termica uniforme ed una differenziale applicate alla soletta superiore, di seguito valutate.

Variazioni termiche		
Zona termica		I
Quota del suolo sul livello del mare	a_s	0 m
Temperatura massima dell'aria all'ombra	T_{max}	42.0 °C
Temperatura minima dell'aria all'ombra	T_{min}	-15.0 °C
Variazione termica uniforme		
Temperatura interna scatolare - Estate	$T_{in,sum}$	31 °C
Temperatura interna scatolare - Inverno	$T_{in,win}$	5 °C
Profondità sotto la quota campagna		minore di 1m
Temperatura indicativa esterna - Estate	$T_{out,sum}$	8 °C
Temperatura indicativa esterna - Inverno	$T_{out,win}$	-5 °C
Temperatura media attuale	T	19.5 °C
Temperatura iniziale	T_0	10 °C
Variazione termica uniforme calcolata	$\Delta t_{u,calc}$	9.5 °C
Variazione termica uniforme assunta	ΔT_u	10 °C
Variazione termica differenziale		
Variazione termica differenziale calcolata	$\Delta t_{M,calc}$	23 °C
Variazione termica differenziale assunta	Δt_M	24 °C
Variazione termica a farfalla equivalente	$\pm \Delta T$	12 °C

6.7 RITIRO

Si considera una variazione termica uniforme equivalente applicata al traverso, di seguito calcolata.

Ritiro della soletta		
Deformazione da ritiro		
Spessore soletta superiore	h_{sol}	60 cm
Resistenza caratteristica cubica del cls	R_{ck}	35 N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica del cls	f_{ck}	29.05 N/mm ²
Resistenza media a compressione del cls	f_{cm}	37.05 N/mm ²
Tipo di cemento		N

Coefficienti dipendenti dal tipo di cemento	α_{ds1}	4
	α_{ds2}	0.12
Umidità relativa	RH	70 %
Coefficiente per umidità relativa	β_{RH}	1.018
Deformazione base per ritiro da essiccamento	ϵ_{cd0}	0.000366
Area della sezione trasversale di cls	A_c	600000 mm ²
Perimetro della sezione esposto all'aria	u	2000 mm
Dimensione fittizia della sezione	h_0	600.00 mm
Valore di k_h per interpolazione lineare	k_h	0.700
Età del cls al momento considerato	t	20833 gg
Età del cls all'inizio del ritiro da essiccamento	t_s	1 gg
Coefficiente dipendente dal tempo	$\beta_{ds}(t;t_s)$	0.973
Deformazione per ritiro da essiccamento	$\epsilon_{cd}(t)$	0.000249
Coefficiente dipendente dal tempo	$\beta_{as}(t)$	1.00
Deformazione da ritiro autogeno	$\epsilon_{ca}(t)$	0.000048
Deformazione totale da ritiro calcolata	$\epsilon_{cs}(t)$	0.000297
Deformazione totale da ritiro assunta	ϵ_{cs}	0.0003
Variazione termica equivalente al ritiro ($E_c/3$)	ΔT_{r}	-10 °C

6.8 AZIONI SISMICHE

In merito alle opere scatolari di cui trattasi, rientrando tra le opere che si muovono con il terreno (par. 7.9.2.1), si può ritenere che la struttura debba mantenere sotto l'azione sismica un comportamento elastico, senza subire amplificazione dell'accelerazione al suolo.

6.8.1 Forze sismiche orizzontali

Il calcolo viene eseguito con il metodo pseudostatico, con cui l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico:

$$k_h = \beta_m \cdot a_{max}/g$$

con $\beta_m = 1.0$ per muri non liberi di subire spostamenti relativi rispetto al terreno.

Sisma orizzontale

Stato limite	Salvaguardia della vita - SLU -		SLV
Vita nominale	Vr		50 anni
Classe d'uso	Cu		IV
accelerazione orizzontale	a_g/g		0.202
amplificazione spettrale	Fo		2.495
Categoria sottosuolo	A, B, C, D, E		E
Coeff. Amplificazione stratigrafica	Ss		1.446
Coeff. Amplificazione topografica	St		1.2
Coefficiente S	S	= Ss · St	1.735
accelerazione orizzontale max	a_{max}/g	= $a_g/g \cdot S$	0.350
Fattore di struttura	q		1.00
Forza orizz. sul s. di cop. dovuta a perm+0.2acc.	FHs	$0.350 \cdot (0.60 \cdot 25 + 28.88 + 0.2 \cdot 37.75) / 1.00 =$	18.02 kN/m²
Forza orizz. sui piedritti	FHp	$0.350 \cdot (0.60 \cdot 25) / 1.00 =$	5.26 kN/m²

6.8.2 Spinta del terreno in fase sismica

L'incremento dinamico di spinta del terreno è calcolato adottando la trattazione di Wood valida per opere che subiscono piccoli spostamenti, che va a sommarsi alle all'azione statica valutata in condizioni di spinta a riposo.

Si assume che tale incremento sia applicato a metà altezza dello scatolare.

Spinta del terreno in fase sismica (Wood)

Coefficiente sismico orizzontale	k_h	= a_{max}/g	0.350
Coefficiente sismico verticale	k_v	= $\pm 0.5 \cdot k_h$	0.175
Risultante della spinta sismica	ΔS_E	= $\Delta p_E \cdot (Hint+Ss+Sf)$	293.14 kN/m
Pressione risultante	Δp_E	= $(a_{max}/g) \cdot \gamma \cdot (Hr+Hint+Ss+Sf)$	50.11 kN/m²

7 CARICHI ELEMENTARI E LORO COMBINAZIONI

7.1 CONDIZIONI DI CARICO ELEMENTARI

PERM	Carichi permanenti (pavimentazione + rinterro)
Q1k-M	Carico accid. Q1k sul solettone di copertura (disposizione per Mmax)
Q1k-T	Carico accid. Q1k sul solettone di copertura (disposizione per Vmax)
Q2	Carico acc. q1k sul solettone di copertura (disposizione per Vmax)
Q3	Frenamento
SPTSX	Spinta del terreno sulla parete SX
SPTDX	Spinta del terreno sulla parete DX
SPACCSX	Spinta del carico accid. sulla parete SX
SPACCDX	Spinta del carico accid. sulla parete DX
TERM	Variazione termica uniforme e a farfalla sul solettone sup.
RITIRO	Variazione termica equivalente al ritiro sul solettone sup.
SISMAH	Azione sismica (forze d'inerzia)
SPSDX	Incremento sismico della spinta del terreno sulla parete DX

7.2 COMBINAZIONI DI CARICO

Le condizioni di carico di cui al paragrafo precedente sono state combinate secondo quanto indicato dalle norme tecniche sulle costruzioni NTC18:

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.1]$$

- Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.2]$$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.3]$$

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.4]$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.5]$$

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.6]$$

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad [2.5.7]$$

Nelle combinazioni per SLE, si intende che vengono omessi i carichi Q_{kj} che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi G_2 .

Il terreno e l'acqua costituiscono carichi permanenti (strutturali) quando, nella modellazione utilizzata, contribuiscono al comportamento dell'opera con le loro caratteristiche di peso, resistenza e rigidezza.

Ai fini della determinazione dei valori caratteristici delle azioni dovute al traffico, si considerano le combinazioni riportate in Tab. 5.1.IV delle NTC.

La Tab. 5.1.V fornisce i valori dei coefficienti parziali delle azioni da assumere nell'analisi per la determinazione degli effetti delle azioni nelle verifiche agli stati limite ultimi.

I valori dei coefficienti ψ per le diverse categorie di azioni sono riportati nella Tab. 5.1.VI.

Tab. 5.1.IV – Valori caratteristici delle azioni dovute al traffico

Gruppo di azioni	Carichi sulla superficie carrabile					Carichi su marciapiedi e piste ciclabili non sormontabili
	Carichi verticali			Carichi orizzontali		Carichi verticali
	Modello principale (schemi di carico 1, 2, 3, 4 e 6)	Veicoli speciali	Folla (Schema di carico 5)	Frenatura	Forza centrifuga	Carico uniformemente distribuito
1	Valore caratteristico					Schema di carico 5 con valore di combinazione 2,5kN/m ²
2a	Valore frequente			Valore caratteristico		
2b	Valore frequente				Valore caratteristico	
3 (*)						Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0kN/m ²
4 (**)			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0kN/m ²			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0kN/m ²
5 (***)	Da definirsi per il singolo progetto	Valore caratteristico o nominale				

(*) Ponti pedonali
 (**) Da considerare solo se richiesto dal particolare progetto (ad es. ponti in zona urbana)
 (***) Da considerare solo se si considerano veicoli speciali

Tab. 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1	A2
Azioni permanenti g_1 e g_3	favorevoli	γ_{G1} e γ_{G3}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾ g_2	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Azioni variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	γ_{e1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 ⁽³⁾	1,00 ⁽⁴⁾	1,00
Ritiro e viscosità, Cedimenti vincolari	favorevoli	γ_{e2} , γ_{e3} , γ_{e4}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

Tab. 5.1.VI - Coefficienti ψ per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali

Azioni	Gruppo di azioni (Tab. 5.1.IV)	Coefficiente Ψ_0 di combi- nazione	Coefficiente Ψ_1 (valori frequent)	Coefficiente Ψ_2 (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tab. 5.1.IV)	Schema 1 (carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folia)	—	0,75	0,0
	5	0,0	0,0	0,0
Vento	a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	in esecuzione	0,8	0,0	0,0
	a ponte carico SLU e SLE	0,6	0,0	0,0
Neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	in esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	SLU e SLE	0,6	0,6	0,5

Si riportano a seguire le combinazioni di carico utilizzate ai fini del calcolo della struttura in oggetto.

Gruppo	N	PERM	Q1k-M	Q1k-T	Q2	Q3	SPTSX	SPTDX	SPACCSX	SPACCDX	TERM	RITIRO	SISMAH	SPSDX		
S 1-	11M	01	01S1-11M	1.35	1.35	0	1.35	0	1.00	1.00	0	0	0.9	0	0	0
S 1-	11T	02	02S1-11T	1.35	0	1.35	1.35	0	1.00	1.00	0	0	0.9	0	0	0
S 1-	12M	03	03S1-12M	1.35	1.35	0	1.35	0	1.35	1.35	1.35	1.35	0.9	0	0	0
S 1-	12T	04	04S1-12T	1.35	0	1.35	1.35	0	1.35	1.35	1.35	1.35	0.9	0	0	0
S 1-	13M	05	05S1-13M	1.35	1.35	0	1.35	0	1.00	1.35	0	1.35	0.9	0	0	0
S 1-	13T	06	06S1-13T	1.35	0	1.35	1.35	0	1.00	1.35	0	1.35	0.9	0	0	0
S 1-	14-	07	07S1-14-	1.35	0	0	0	0	1.35	1.35	1.35	1.35	0.9	0	0	0
S 1-	15-	08	08S1-15-	1.35	0	0	0	0	1.00	1.35	0	1.35	0.9	0	0	0
S 1-	21M	09	09S1-21M	1.35	1.35	0	1.35	0	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.2	0	0
S 1-	21T	10	10S1-21T	1.35	0	1.35	1.35	0	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.2	0	0
S 1-	22M	11	11S1-22M	1.35	1.35	0	1.35	0	1.35	1.35	1.35	1.35	-0.9	1.2	0	0
S 1-	22T	12	12S1-22T	1.35	0	1.35	1.35	0	1.35	1.35	1.35	1.35	-0.9	1.2	0	0
S 1-	23M	13	13S1-23M	1.35	1.35	0	1.35	0	1.00	1.35	0	1.35	-0.9	1.2	0	0
S 1-	23T	14	14S1-23T	1.35	0	1.35	1.35	0	1.00	1.35	0	1.35	-0.9	1.2	0	0
S 1-	24-	15	15S1-24-	1.35	0	0	0	0	1.35	1.35	1.35	1.35	-0.9	1.2	0	0
S 1-	25-	16	16S1-25-	1.35	0	0	0	0	1.00	1.35	0	1.35	-0.9	1.2	0	0
S 1T	11M	17	17S1T11M	1.35	1.01	0	0.54	0	1.00	1.00	0	0	1.5	0	0	0
S 1T	11T	18	18S1T11T	1.35	0	1.01	0.54	0	1.00	1.00	0	0	1.5	0	0	0

SCATOLARE IDRAULICO - Relazione Tecnica e di Calcolo

S	1T	12M	19	19S1T12M	1.35	1.01	0	0.54	0	1.35	1.35	0.54	0.54	1.5	0	0	0
S	1T	12T	20	20S1T12T	1.35	0	1.01	0.54	0	1.35	1.35	0.54	0.54	1.5	0	0	0
S	1T	13M	21	21S1T13M	1.35	1.01	0	0.54	0	1.00	1.35	0	0.54	1.5	0	0	0
S	1T	13T	22	22S1T13T	1.35	0	1.01	0.54	0	1.00	1.35	0	0.54	1.5	0	0	0
S	1T	14-	23	23S1T14-	1.35	0	0	0	0	1.35	1.35	0.54	0.54	1.5	0	0	0
S	1T	15-	24	24S1T15-	1.35	0	0	0	0	1.00	1.35	0	0.54	1.5	0	0	0
S	1T	21M	25	25S1T21M	1.35	1.01	0	0.54	0	1.00	1.00	0	0	-1.5	1.2	0	0
S	1T	21T	26	26S1T21T	1.35	0	1.01	0.54	0	1.00	1.00	0	0	-1.5	1.2	0	0
S	1T	22M	27	27S1T22M	1.35	1.01	0	0.54	0	1.35	1.35	0.54	0.54	-1.5	1.2	0	0
S	1T	22T	28	28S1T22T	1.35	0	1.01	0.54	0	1.35	1.35	0.54	0.54	-1.5	1.2	0	0
S	1T	23M	29	29S1T23M	1.35	1.01	0	0.54	0	1.00	1.35	0	0.54	-1.5	1.2	0	0
S	1T	23T	30	30S1T23T	1.35	0	1.01	0.54	0	1.00	1.35	0	0.54	-1.5	1.2	0	0
S	1T	24-	31	31S1T24-	1.35	0	0	0	0	1.35	1.35	0.54	0.54	-1.5	1.2	0	0
S	1T	25-	32	32S1T25-	1.35	0	0	0	0	1.00	1.35	0	0.54	-1.5	1.2	0	0
S	2-	11M	33	33S2-11M	1.35	1.01	0	0.54	1.35	1.00	1.00	0	0	0.9	0	0	0
S	2-	11T	34	34S2-11T	1.35	0	1.01	0.54	1.35	1.00	1.00	0	0	0.9	0	0	0
S	2-	12M	35	35S2-12M	1.35	1.01	0	0.54	1.35	1.35	1.35	0.54	0.54	0.9	0	0	0
S	2-	12T	36	36S2-12T	1.35	0	1.01	0.54	1.35	1.35	1.35	0.54	0.54	0.9	0	0	0
S	2-	13M	37	37S2-13M	1.35	1.01	0	0.54	1.35	1.00	1.35	0	0.54	0.9	0	0	0
S	2-	13T	38	38S2-13T	1.35	0	1.01	0.54	1.35	1.00	1.35	0	0.54	0.9	0	0	0
S	2-	21M	39	39S2-21M	1.35	1.01	0	0.54	1.35	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.2	0	0
S	2-	21T	40	40S2-21T	1.35	0	1.01	0.54	1.35	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.2	0	0
S	2-	22M	41	41S2-22M	1.35	1.01	0	0.54	1.35	1.35	1.35	0.54	0.54	-0.9	1.2	0	0
S	2-	22T	42	42S2-22T	1.35	0	1.01	0.54	1.35	1.35	1.35	0.54	0.54	-0.9	1.2	0	0
S	2-	23M	43	43S2-23M	1.35	1.01	0	0.54	1.35	1.00	1.35	0	0.54	-0.9	1.2	0	0
S	2-	23T	44	44S2-23T	1.35	0	1.01	0.54	1.35	1.00	1.35	0	0.54	-0.9	1.2	0	0
S	2T	11M	45	45S2T11M	1.35	1.01	0	0.54	0	1.00	1.00	0	0	1.5	0	0	0
S	2T	11T	46	46S2T11T	1.35	0	1.01	0.54	0	1.00	1.00	0	0	1.5	0	0	0
S	2T	12M	47	47S2T12M	1.35	1.01	0	0.54	0	1.35	1.35	0.54	0.54	1.5	0	0	0
S	2T	12T	48	48S2T12T	1.35	0	1.01	0.54	0	1.35	1.35	0.54	0.54	1.5	0	0	0
S	2T	13M	49	49S2T13M	1.35	1.01	0	0.54	0	1.00	1.35	0	0.54	1.5	0	0	0
S	2T	13T	50	50S2T13T	1.35	0	1.01	0.54	0	1.00	1.35	0	0.54	1.5	0	0	0
S	2T	21M	51	51S2T21M	1.35	1.01	0	0.54	0	1.00	1.00	0	0	-1.5	1.2	0	0
S	2T	21T	52	52S2T21T	1.35	0	1.01	0.54	0	1.00	1.00	0	0	-1.5	1.2	0	0
S	2T	22M	53	53S2T22M	1.35	1.01	0	0.54	0	1.35	1.35	0.54	0.54	-1.5	1.2	0	0
S	2T	22T	54	54S2T22T	1.35	0	1.01	0.54	0	1.35	1.35	0.54	0.54	-1.5	1.2	0	0
S	2T	23M	55	55S2T23M	1.35	1.01	0	0.54	0	1.00	1.35	0	0.54	-1.5	1.2	0	0
S	2T	23T	56	56S2T23T	1.35	0	1.01	0.54	0	1.00	1.35	0	0.54	-1.5	1.2	0	0
S	ED	1-	57	57SED1-	1	0.2	0	0.2	0	0.7	1	0	0	0.5	0	1	1
S	ED	2-	58	58SED2-	1	0.2	0	0.2	0	0.7	1	0	0	-0.5	1	1	1

SCATOLARE IDRAULICO - Relazione Tecnica e di Calcolo

O	1-	11-	59	59O1-11-	1	0	0	0	0	0	0.7	0.7	0	0	0.5	0	0	0
O	1-	12-	60	60O1-12-	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0.5	0	0	0
O	1-	13-	61	61O1-13-	1	0	0	0	0	0	0.7	1	0	0	0.5	0	0	0
O	1-	21-	62	62O1-21-	1	0	0	0	0	0	0.7	0.7	0	0	-0.5	1	0	0
O	1-	22-	63	63O1-22-	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	-0.5	1	0	0
O	1-	23-	64	64O1-23-	1	0	0	0	0	0	0.7	1	0	0	-0.5	1	0	0
F	1-	11M	65	65F1-11M	1	0.75	0	0.4	0	0	0.7	0.7	0	0	0.5	0	0	0
F	1-	11T	66	66F1-11T	1	0	0.75	0.4	0	0	0.7	0.7	0	0	0.5	0	0	0
F	1-	12M	67	67F1-12M	1	0.75	0	0.4	0	0	1	1	0.4	0.4	0.5	0	0	0
F	1-	12T	68	68F1-12T	1	0	0.75	0.4	0	0	1	1	0.4	0.4	0.5	0	0	0
F	1-	13M	69	69F1-13M	1	0.75	0	0.4	0	0	0.7	1	0	0.4	0.5	0	0	0
F	1-	13T	70	70F1-13T	1	0	0.75	0.4	0	0	0.7	1	0	0.4	0.5	0	0	0
F	1-	14-	71	71F1-14-	1	0	0	0	0	0	1	1	0.4	0.4	0.5	0	0	0
F	1-	15-	72	72F1-15-	1	0	0	0	0	0	0.7	1	0	0.4	0.5	0	0	0
F	1-	21M	73	73F1-21M	1	0.75	0	0.4	0	0	0.7	0.7	0	0	-0.5	1	0	0
F	1-	21T	74	74F1-21T	1	0	0.75	0.4	0	0	0.7	0.7	0	0	-0.5	1	0	0
F	1-	22M	75	75F1-22M	1	0.75	0	0.4	0	0	1	1	0.4	0.4	-0.5	1	0	0
F	1-	22T	76	76F1-22T	1	0	0.75	0.4	0	0	1	1	0.4	0.4	-0.5	1	0	0
F	1-	23M	77	77F1-23M	1	0.75	0	0.4	0	0	0.7	1	0	0.4	-0.5	1	0	0
F	1-	23T	78	78F1-23T	1	0	0.75	0.4	0	0	0.7	1	0	0.4	-0.5	1	0	0
F	1-	24-	79	79F1-24-	1	0	0	0	0	0	1	1	0.4	0.4	-0.5	1	0	0
F	1-	25-	80	80F1-25-	1	0	0	0	0	0	0.7	1	0	0.4	-0.5	1	0	0

8 SOLLECITAZIONI

Si riportano di seguito le schermate estratte dal modello di calcolo rappresentative delle caratteristiche di sollecitazione allo SLU sugli aste del telaio.

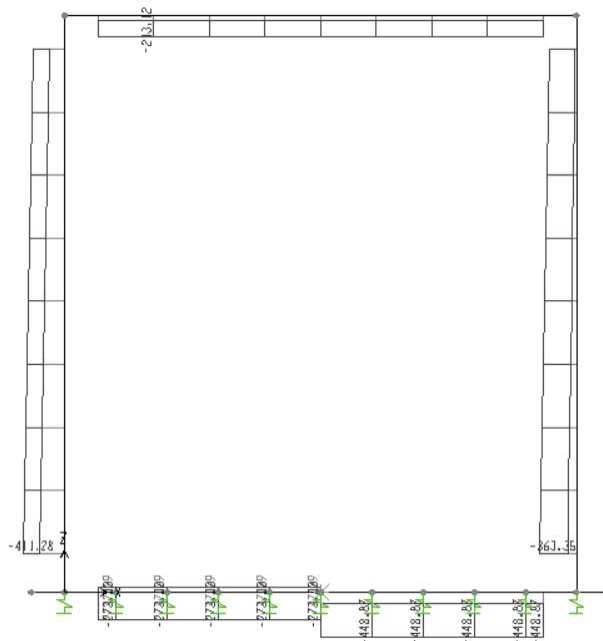


Figura 8: Sforzo normale – Involuppo SLU

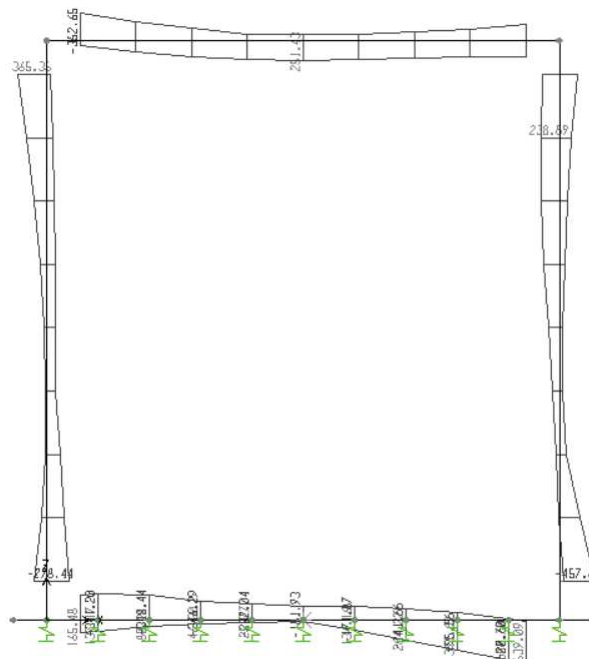


Figura 9: Momento flettente – Involuppo SLU

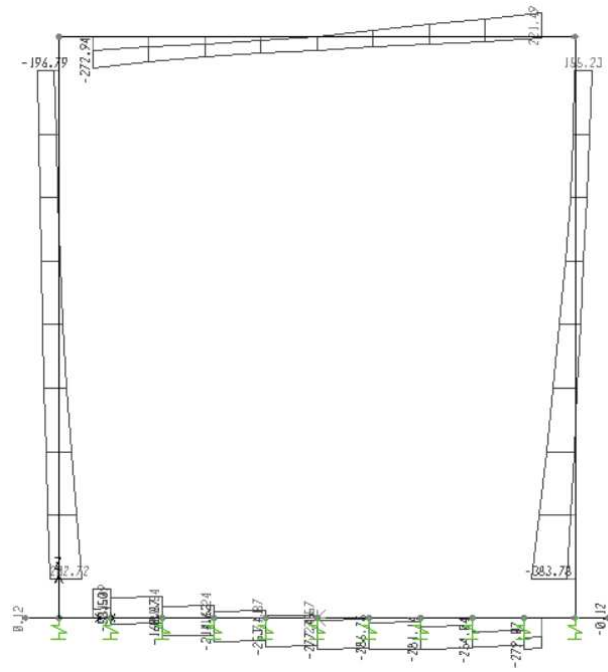


Figura 10: Taglio – Involuppo SLU

9 VERIFICHE A PRESSOFLESSIONE

9.1 SOLETTA SUPERIORE IN CAMPATA

Acciaio		Calcestruzzo	
Tensione car. di rottura	$f_{tk} = 540$ N/mm ²	Tipo	C30/37
Tensione car. di snervamento	$f_{yk} = 450$ N/mm ²	R_{ck}	37 N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$	f_{ck}	30.7 N/mm ²
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = 391$ N/mm ²	γ_c	1.5
Modulo elastico	$E_s = 205000$ N/mm ²	f_{cd}	20.5 N/mm ²
	$\epsilon_{yd} = 0.00191$	f_{cc}	17.4 N/mm ²

Geometria della sezione		Armatura tesa		Armatura compressa	
Altezza geometrica della sezione	$h = 60$ cm	N° ferri	Diametro	Area	
Base della sezione	$b = 100$ cm	5	20	15.71	cm ²
Copriferro	$d' = 5$ cm			0.00	cm ²
Altezza utile della sezione	$d = 55$ cm			0.00	cm ²
		15.71		cm²	

Caratteristiche di sollecitazione			
	Comb.	Nsd	Msd
(Nmax)	35S2-12M	213	24
(Nmin)	26S1T21T	52	251
(Mmax)	25S1T21M	52	251
(Mmin)	23S1T14-	161	-84

Caratteristiche di sollecitazione			
	Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	111	71	
02S1-11T	111	71	
03S1-12M	176	40	
04S1-12T	176	40	
05S1-13M	144	56	
06S1-13T	144	56	
07S1-14-	170	-44	
08S1-15-	137	-29	
09S1-21M	67	229	
10S1-21T	67	229	
11S1-22M	132	198	
12S1-22T	132	198	
13S1-23M	99	214	
14S1-23T	99	214	
15S1-24-	125	113	
16S1-25-	93	129	
17S1T11M	122	-4	
18S1T11T	122	-4	
19S1T12M	166	-26	
20S1T12T	166	-26	
21S1T13M	144	-15	
22S1T13T	144	-15	
23S1T14-	161	-84	
24S1T15-	139	-73	
25S1T21M	52	251	
26S1T21T	52	251	
27S1T22M	95	230	
28S1T22T	95	230	
29S1T23M	74	241	
30S1T23T	74	241	
31S1T24-	91	171	
32S1T25-	69	182	
33S2-11M	169	45	
34S2-11T	169	45	
35S2-12M	213	24	
36S2-12T	213	24	
37S2-13M	191	34	
38S2-13T	191	34	
39S2-21M	125	203	
40S2-21T	125	203	
41S2-22M	169	181	
42S2-22T	169	181	
43S2-23M	147	192	
44S2-23T	147	192	
45S2T11M	122	-4	
46S2T11T	122	-4	
47S2T12M	166	-26	
48S2T12T	166	-26	
49S2T13M	144	-15	
50S2T13T	144	-15	
51S2T21M	52	251	
52S2T21T	52	251	
53S2T22M	95	230	
54S2T22T	95	230	
55S2T23M	74	241	
56S2T23T	74	241	
57SED1-	147	-18	
58SED2-	121	72	

DOMINIO DI RESISTENZA

Momento Flettente

Forza Normale (positiva se di compressione)

9.2 SOLETTA SUPERIORE ALL'INCASTRO

Acciaio			Calcestruzzo		
Tensione car. di rottura	$f_{tk} = 540$	N/mm ²	Tipo	C30/37	
Tensione car. di snervamento	$f_{yk} = 450$	N/mm ²	R_{ck}	37	N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$		f_{ck}	30.71	N/mm ²
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = 391$	N/mm ²	γ_c	1.5	
Modulo elastico	$E_s = 205000$	N/mm ²	f_{cd}	20.5	N/mm ²
	$\epsilon_{yd} = 0.00191$		f_{cc}	17.4	N/mm ²

Geometria della sezione			Armatura tesa			Armatura compressa		
Altezza geometrica della sezione	$h = 60$	cm	N° ferri	Diametro	Area	N° ferri	Diametro	Area
Base della sezione	$b = 100$	cm	5	24	22.62	5	20	15.71
Copriferro	$d' = 5$	cm			0.00			0.00
Altezza utile della sezione	$d = 55$	cm			0.00			0.00
					22.62			15.71
					cm²			cm²

	Caratteristiche di sollecitazione		
	Comb.	Nsd	Msd
(Nmax)	35S2-12M	213	299
(Nmin)	26S1T21T	52	-62
(Mmax)	57SED1-	183	353
(Mmin)	26S1T21T	52	-62

	Caratteristiche di sollecitazione		
	Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	111	150	
02S1-11T	111	150	
03S1-12M	176	181	
04S1-12T	176	181	
05S1-13M	144	217	
06S1-13T	144	217	
07S1-14-	170	163	
08S1-15-	137	199	
09S1-21M	67	-7	
10S1-21T	67	-7	
11S1-22M	132	23	
12S1-22T	132	23	
13S1-23M	99	60	
14S1-23T	99	60	
15S1-24-	125	5	
16S1-25-	93	42	
17S1T11M	122	193	
18S1T11T	122	193	
19S1T12M	166	215	
20S1T12T	166	215	
21S1T13M	144	238	
22S1T13T	144	238	
23S1T14-	161	203	
24S1T15-	139	226	
25S1T21M	52	-62	
26S1T21T	52	-62	
27S1T22M	95	-40	
28S1T22T	95	-40	
29S1T23M	74	-17	
30S1T23T	74	-17	
31S1T24-	91	-53	
32S1T25-	69	-29	
33S2-11M	169	277	
34S2-11T	169	277	
35S2-12M	213	299	
36S2-12T	213	299	
37S2-13M	191	322	
38S2-13T	191	322	
39S2-21M	125	119	
40S2-21T	125	119	
41S2-22M	169	141	
42S2-22T	169	141	
43S2-23M	147	164	
44S2-23T	147	164	
45S2T11M	122	193	
46S2T11T	122	193	
47S2T12M	166	215	
48S2T12T	166	215	
49S2T13M	144	238	
50S2T13T	144	238	
51S2T21M	52	-62	
52S2T21T	52	-62	
53S2T22M	95	-40	
54S2T22T	95	-40	
55S2T23M	74	-17	
56S2T23T	74	-17	
57SED1-	183	353	
58SED2-	157	262	

DOMINIO DI RESISTENZA

Momento Flettente

Forza Normale (positiva se di compressione)

Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	111	150
02S1-11T	111	150
03S1-12M	176	181
04S1-12T	176	181
05S1-13M	144	217
06S1-13T	144	217
07S1-14-	170	163
08S1-15-	137	199
09S1-21M	67	-7
10S1-21T	67	-7
11S1-22M	132	23
12S1-22T	132	23
13S1-23M	99	60
14S1-23T	99	60
15S1-24-	125	5
16S1-25-	93	42
17S1T11M	122	193
18S1T11T	122	193
19S1T12M	166	215
20S1T12T	166	215
21S1T13M	144	238
22S1T13T	144	238
23S1T14-	161	203
24S1T15-	139	226
25S1T21M	52	-62
26S1T21T	52	-62
27S1T22M	95	-40
28S1T22T	95	-40
29S1T23M	74	-17
30S1T23T	74	-17
31S1T24-	91	-53
32S1T25-	69	-29
33S2-11M	169	277
34S2-11T	169	277
35S2-12M	213	299
36S2-12T	213	299
37S2-13M	191	322
38S2-13T	191	322
39S2-21M	125	119
40S2-21T	125	119
41S2-22M	169	141
42S2-22T	169	141
43S2-23M	147	164
44S2-23T	147	164
45S2T11M	122	193
46S2T11T	122	193
47S2T12M	166	215
48S2T12T	166	215
49S2T13M	144	238
50S2T13T	144	238
51S2T21M	52	-62
52S2T21T	52	-62
53S2T22M	95	-40
54S2T22T	95	-40
55S2T23M	74	-17
56S2T23T	74	-17
57SED1-	183	353
58SED2-	157	262

9.3 PIEDRITTO ALLO SPICCATO

Acciaio			Calcestruzzo		
Tensione car. di rottura	f_{tk}	= 540 N/mm ²	Tipo	C30/37	
Tensione car. di snervamento	f_{yk}	= 450 N/mm ²	R_{ck}	37	N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	γ_s	= 1.15	f_{ck}	30.71	N/mm ²
Resistenza di calcolo	f_{yd}	= 391 N/mm ²	γ_c	1.5	
Modulo elastico	E_s	= 200000 N/mm ²	f_{cd}	20.5	N/mm ²
	ϵ_{yd}	= 0.00196	f_{cc}	17.4	N/mm ²

Geometria della sezione			Armatura tesa			Armatura compressa		
Altezza geometrica della sezione	h	= 60 cm	N° ferri	Diametro	Area	N° ferri	Diametro	Area
Base della sezione	b	= 100 cm	5	24	22.62 cm ²	5	20	15.71 cm ²
Copriferro	d'	= 5 cm			0.00 cm ²			0.00 cm ²
Altezza utile della sezione	d	= 55 cm			0.00 cm ²			0.00 cm ²
			22.62 cm²			15.71 cm²		

Caratteristiche di sollecitazione			
	Comb.	Nsd	Msd
(Nmax)	01S1-11M	363	77
(Nmin)	57SED1-	84	423
(Mmax)	58SED2-	84	458
(Mmin)	18S1T11T	326	56

Caratteristiche di sollecitazione			
	Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M		363	77
02S1-11T		362	77
03S1-12M		363	97
04S1-12T		362	97
05S1-13M		337	180
06S1-13T		336	180
07S1-14-		246	78
08S1-15-		220	161
09S1-21M		363	134
10S1-21T		362	134
11S1-22M		363	154
12S1-22T		362	154
13S1-23M		337	237
14S1-23T		336	237
15S1-24-		246	134
16S1-25-		220	217
17S1T11M		327	56
18S1T11T		326	56
19S1T12M		327	70
20S1T12T		326	70
21S1T13M		310	127
22S1T13T		309	127
23S1T14-		246	57
24S1T15-		229	113
25S1T21M		327	142
26S1T21T		326	142
27S1T22M		327	157
28S1T22T		326	157
29S1T23M		310	213
30S1T23T		309	213
31S1T24-		246	143
32S1T25-		229	199
33S2-11M		261	213
34S2-11T		260	213
35S2-12M		261	227
36S2-12T		260	227
37S2-13M		244	283
38S2-13T		243	283
39S2-21M		261	269
40S2-21T		260	269
41S2-22M		261	283
42S2-22T		260	283
43S2-23M		244	339
44S2-23T		243	339
45S2T11M		327	56
46S2T11T		326	56
47S2T12M		327	70
48S2T12T		326	70
49S2T13M		310	127
50S2T13T		309	127
51S2T21M		327	142
52S2T21T		326	142
53S2T22M		327	157
54S2T22T		326	157
55S2T23M		310	213
56S2T23T		309	213
57SED1-		84	423
58SED2-		84	458

DOMINIO DI RESISTENZA

Momento Flettente

Forza Normale (positiva se di compressione)

Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	363	77
02S1-11T	362	77
03S1-12M	363	97
04S1-12T	362	97
05S1-13M	337	180
06S1-13T	336	180
07S1-14-	246	78
08S1-15-	220	161
09S1-21M	363	134
10S1-21T	362	134
11S1-22M	363	154
12S1-22T	362	154
13S1-23M	337	237
14S1-23T	336	237
15S1-24-	246	134
16S1-25-	220	217
17S1T11M	327	56
18S1T11T	326	56
19S1T12M	327	70
20S1T12T	326	70
21S1T13M	310	127
22S1T13T	309	127
23S1T14-	246	57
24S1T15-	229	113
25S1T21M	327	142
26S1T21T	326	142
27S1T22M	327	157
28S1T22T	326	157
29S1T23M	310	213
30S1T23T	309	213
31S1T24-	246	143
32S1T25-	229	199
33S2-11M	261	213
34S2-11T	260	213
35S2-12M	261	227
36S2-12T	260	227
37S2-13M	244	283
38S2-13T	243	283
39S2-21M	261	269
40S2-21T	260	269
41S2-22M	261	283
42S2-22T	260	283
43S2-23M	244	339
44S2-23T	243	339
45S2T11M	327	56
46S2T11T	326	56
47S2T12M	327	70
48S2T12T	326	70
49S2T13M	310	127
50S2T13T	309	127
51S2T21M	327	142
52S2T21T	326	142
53S2T22M	327	157
54S2T22T	326	157
55S2T23M	310	213
56S2T23T	309	213
57SED1-	84	423
58SED2-	84	458

9.4 PIEDRITTO IN SOMMITA'

Acciaio		Calcestruzzo	
Tensione car. di rottura	$f_{tk} = 540$ N/mm ²	Tipo	C30/37
Tensione car. di snervamento	$f_{yk} = 450$ N/mm ²	R_{ck}	37 N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$	f_{ck}	30.71 N/mm ²
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = 391$ N/mm ²	γ_c	1.5
Modulo elastico	$E_s = 205000$ N/mm ²	f_{cd}	20.5 N/mm ²
	$\epsilon_{yd} = 0.00191$	f_{cc}	17.4 N/mm ²

Geometria della sezione		Armatura tesa		Armatura compressa	
Altezza geometrica della sezione	$h = 60$ cm	N° ferri	Diametro	Area	
Base della sezione	$b = 100$ cm	5	24	22.62	cm ²
Copriferro	$d' = 5$ cm			0.00	cm ²
Altezza utile della sezione	$d = 55$ cm			0.00	cm ²
				22.62	cm²
					15.71
					cm²

	Caratteristiche di sollecitazione		
	Comb.	Nsd	Msd
(Nmax)	38S2-13T	319	353
(Nmin)	07S1-14-	154	155
(Mmax)	57SED1-	247	365
(Mmin)	31S1T24-	154	-38

	Caratteristiche di sollecitazione		
	Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	271	191	
02S1-11T	272	191	
03S1-12M	271	204	
04S1-12T	272	204	
05S1-13M	297	256	
06S1-13T	298	256	
07S1-14-	154	155	
08S1-15-	180	206	
09S1-21M	271	46	
10S1-21T	272	46	
11S1-22M	271	60	
12S1-22T	272	60	
13S1-23M	297	111	
14S1-23T	298	111	
15S1-24-	154	10	
16S1-25-	180	62	
17S1T11M	235	220	
18S1T11T	236	220	
19S1T12M	235	230	
20S1T12T	236	230	
21S1T13M	252	264	
22S1T13T	253	264	
23S1T14-	154	196	
24S1T15-	171	229	
25S1T21M	235	-14	
26S1T21T	236	-14	
27S1T22M	235	-4	
28S1T22T	236	-4	
29S1T23M	252	29	
30S1T23T	253	29	
31S1T24-	154	-38	
32S1T25-	171	-5	
33S2-11M	301	309	
34S2-11T	302	309	
35S2-12M	301	319	
36S2-12T	302	319	
37S2-13M	318	353	
38S2-13T	319	353	
39S2-21M	301	165	
40S2-21T	302	165	
41S2-22M	301	175	
42S2-22T	302	175	
43S2-23M	318	208	
44S2-23T	319	208	
45S2T11M	235	220	
46S2T11T	236	220	
47S2T12M	235	230	
48S2T12T	236	230	
49S2T13M	252	264	
50S2T13T	253	264	
51S2T21M	235	-14	
52S2T21T	236	-14	
53S2T22M	235	-4	
54S2T22T	236	-4	
55S2T23M	252	29	
56S2T23T	253	29	
57SED1-	247	365	
58SED2-	247	282	

DOMINIO DI RESISTENZA

Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	271	191
02S1-11T	272	191
03S1-12M	271	204
04S1-12T	272	204
05S1-13M	297	256
06S1-13T	298	256
07S1-14-	154	155
08S1-15-	180	206
09S1-21M	271	46
10S1-21T	272	46
11S1-22M	271	60
12S1-22T	272	60
13S1-23M	297	111
14S1-23T	298	111
15S1-24-	154	10
16S1-25-	180	62
17S1T11M	235	220
18S1T11T	236	220
19S1T12M	235	230
20S1T12T	236	230
21S1T13M	252	264
22S1T13T	253	264
23S1T14-	154	196
24S1T15-	171	229
25S1T21M	235	-14
26S1T21T	236	-14
27S1T22M	235	-4
28S1T22T	236	-4
29S1T23M	252	29
30S1T23T	253	29
31S1T24-	154	-38
32S1T25-	171	-5
33S2-11M	301	309
34S2-11T	302	309
35S2-12M	301	319
36S2-12T	302	319
37S2-13M	318	353
38S2-13T	319	353
39S2-21M	301	165
40S2-21T	302	165
41S2-22M	301	175
42S2-22T	302	175
43S2-23M	318	208
44S2-23T	319	208
45S2T11M	235	220
46S2T11T	236	220
47S2T12M	235	230
48S2T12T	236	230
49S2T13M	252	264
50S2T13T	253	264
51S2T21M	235	-14
52S2T21T	236	-14
53S2T22M	235	-4
54S2T22T	236	-4
55S2T23M	252	29
56S2T23T	253	29
57SED1-	247	365
58SED2-	247	282

9.5 SOLETTA INFERIORE IN CAMPATA

Acciaio		Calcestruzzo	
Tensione car. di rottura	$f_{tk} = 540$ N/mm ²	Tipo	C30/37
Tensione car. di snervamento	$f_{yk} = 450$ N/mm ²	R_{ck}	37 N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$	f_{ck}	30.71 N/mm ²
Resistenza di calcolo	$f_{y,d} = 391$ N/mm ²	γ_c	1.5
Modulo elastico	$E_s = 205000$ N/mm ²	f_{cd}	20.5 N/mm ²
	$\epsilon_{y,d} = 0.00191$	f_{cc}	17.4 N/mm ²

Geometria della sezione		Armatura tesa		Armatura compressa	
Altezza geometrica della sezione	$h = 70$ cm	N° ferri	Diametro	Area	
Base della sezione	$b = 100$ cm	5	20	15.71	cm ²
Copriferro	$d' = 5$ cm			0.00	cm ²
Altezza utile della sezione	$d = 65$ cm			0.00	cm ²
				15.71	cm²

Caratteristiche di sollecitazione			
Comb.	Nsd	Msd	
(Nmax)	15S1-24-	273	-12
(Nmin)	57SED1-	-47	35
(Mmax)	01S1-11M	129	182
(Mmin)	31S1T24-	263	-19

Caratteristiche di sollecitazione		
Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	129	182
02S1-11T	129	182
03S1-12M	223	137
04S1-12T	223	137
05S1-13M	97	159
06S1-13T	97	159
07S1-14-	229	58
08S1-15-	103	81
09S1-21M	174	111
10S1-21T	174	111
11S1-22M	267	66
12S1-22T	267	66
13S1-23M	141	89
14S1-23T	141	89
15S1-24-	273	-12
16S1-25-	148	10
17S1T11M	118	177
18S1T11T	118	177
19S1T12M	188	144
20S1T12T	188	144
21S1T13M	96	160
22S1T13T	96	160
23S1T14-	193	90
24S1T15-	101	106
25S1T21M	189	68
26S1T21T	189	68
27S1T22M	259	35
28S1T22T	259	35
29S1T23M	167	52
30S1T23T	167	52
31S1T24-	263	-19
32S1T25-	171	-3
33S2-11M	71	157
34S2-11T	71	157
35S2-12M	141	125
36S2-12T	141	125
37S2-13M	49	141
38S2-13T	49	141
39S2-21M	115	87
40S2-21T	115	87
41S2-22M	185	54
42S2-22T	185	54
43S2-23M	93	70
44S2-23T	93	70
45S2T11M	118	177
46S2T11T	118	177
47S2T12M	188	144
48S2T12T	188	144
49S2T13M	96	160
50S2T13T	96	160
51S2T21M	189	68
52S2T21T	189	68
53S2T22M	259	35
54S2T22T	259	35
55S2T23M	167	52
56S2T23T	167	52
57SED1-	-47	35
58SED2-	-21	-8

DOMINIO DI RESISTENZA

Momento Flettente

Forza Normale (positiva se di compressione)

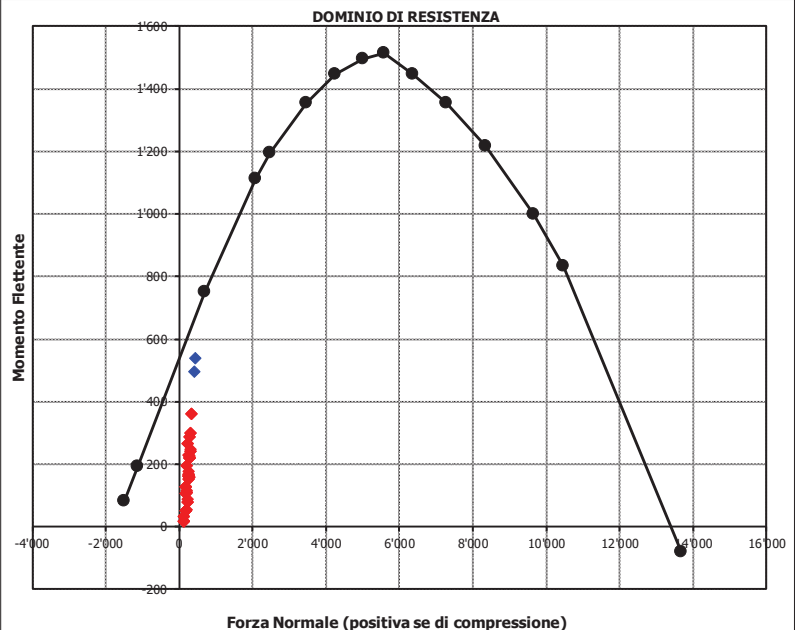
9.6 SOLETTA INFERIORE ALL'INCASTRO

Acciaio		Calcestruzzo	
Tensione car. di rottura	$f_{tk} = 540$ N/mm ²	Tipo	C30/37
Tensione car. di snervamento	$f_{yk} = 450$ N/mm ²	R_{ck}	37 N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$	f_{ck}	30.71 N/mm ²
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = 391$ N/mm ²	γ_c	1.5
Modulo elastico	$E_s = 205000$ N/mm ²	f_{ctd}	20.5 N/mm ²
	$\epsilon_{yd} = 0.00191$	f_{cc}	17.4 N/mm ²

Geometria della sezione		Armatura tesa		Armatura compressa	
Altezza geometrica della sezione	$h = 70$ cm	N° ferri	Diametro	Area	
Base della sezione	$b = 100$ cm	5	24	22.62	cm ²
Copriferro	$d' = 5$ cm			0.00	cm ²
Altezza utile della sezione	$d = 65$ cm			0.00	cm ²
				22.62	cm²
					15.71
					cm²

Caratteristiche di sollecitazione			
Comb.	Nsd	Msd	
(Nmax)	58SED2-	449	539
(Nmin)	17S1T11M	118	17
(Mmax)	58SED2-	449	539
(Mmin)	17S1T11M	118	17

Caratteristiche di sollecitazione		
Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	129	34
02S1-11T	129	34
03S1-12M	223	79
04S1-12T	223	80
05S1-13M	255	168
06S1-13T	255	169
07S1-14-	229	87
08S1-15-	262	176
09S1-21M	174	105
10S1-21T	174	105
11S1-22M	267	151
12S1-22T	267	151
13S1-23M	299	240
14S1-23T	299	240
15S1-24-	273	159
16S1-25-	306	248
17S1T11M	118	17
18S1T11T	118	17
19S1T12M	188	50
20S1T12T	188	50
21S1T13M	210	110
22S1T13T	210	110
23S1T14-	193	55
24S1T15-	215	115
25S1T21M	189	127
26S1T21T	189	127
27S1T22M	259	160
28S1T22T	259	160
29S1T23M	281	220
30S1T23T	281	220
31S1T24-	263	165
32S1T25-	285	225
33S2-11M	192	195
34S2-11T	192	195
35S2-12M	262	228
36S2-12T	262	228
37S2-13M	284	288
38S2-13T	284	288
39S2-21M	236	267
40S2-21T	236	267
41S2-22M	306	300
42S2-22T	306	300
43S2-23M	328	360
44S2-23T	328	360
45S2T11M	118	17
46S2T11T	118	17
47S2T12M	188	50
48S2T12T	188	50
49S2T13M	210	110
50S2T13T	210	110
51S2T21M	189	127
52S2T21T	189	127
53S2T22M	259	160
54S2T22T	259	160
55S2T23M	281	220
56S2T23T	281	220
57SED1-	423	495
58SED2-	449	539



10 VERIFICHE TAGLIO

Si dispongono legature $\Phi 12$ per i traversi e $\Phi 14$ per i piedritti, disposte con maglia 40x40 cm, quale armatura trasversale a taglio.

Calcestruzzo

Tipo	C30/37	
R_{ck}	37	N/mm ²
f_{ck}	30.7	N/mm ²
γ_c	1.5	
α_{cc}	0.85	
f_{cd}	17.4	N/mm ²

Acciaio

f_{tk}	540	N/mm ²
f_{yk}	450	N/mm ²
γ_s	1.15	
f_{yd}	391	N/mm ²

Sollecitazioni

		Soletta sup	Soletta inf	Piedritto sx	Piedritto dx
V_{Ed}	kN	273	287	203	384
N_{Ed}	kN	0	0	0	0

Armatura a taglio

		Soletta sup	Soletta inf	Piedritto sx	Piedritto dx
Diametro	mm	12	12	14	14
Numero barre		2.5	2.5	2.5	2.5
A_{sw}	cm ²	2.83	2.83	3.85	3.85
Passo s	cm	40	40	40	40
Angolo α	°	90	90	90	90

Armatura longitudinale

		Soletta sup	Soletta inf	Piedritto sx	Piedritto dx
n_1		5	5	5	5
\varnothing_1	mm	20	20	20	20
n_2					
\varnothing_2	mm				
Asl	cm ²	15.71	15.71	15.71	15.71

Sezione

		Soletta sup	Soletta inf	Piedritto sx	Piedritto dx
b_w	cm	100	100	100	100
H	cm	60	70	60	60
c	cm	5	5	5	5
d	cm	55	65	55	55
k	N/mm ²	1.60	1.55	1.60	1.60
v_{min}	N/mm ²	0.39	0.38	0.39	0.39
ρ		0.0029	0.0024	0.0029	0.0029
σ_{cp}	N/mm ²	0.00	0.00	0.00	0.00
α_c		1.00	1.00	1.00	1.00

Resistenza senza armatura a taglio

		Soletta sup	Soletta inf	Piedritto sx	Piedritto dx
V_{Rd}	kN	218	244	218	218

Resistenza con armatura a taglio

		Soletta sup	Soletta inf	Piedritto sx	Piedritto dx
Inclinazione puntone θ	°	21.8	21.8	21.8	21.8
V_{RSd}	kN	342	405	466	466
V_{RCd}	kN	1485	1755	1485	1485
V_{Rd}	kN	342	405	466	466

11 VERIFICHE DI FESSURAZIONE

Per rapidità di calcolo, e a vantaggio di sicurezza, la verifica di fessurazione è condotta in combinazione frequente ma assumendo il limite di apertura delle fessure previsto in condizioni ambientali aggressive per la combinazione quasi permanente.

11.1 SOLETTA SUPERIORE IN CAMPATA

Sollecitazioni			
Momento flettente	M	139	kN m
Sforzo normale	N	48	kN
Materiali			
Res. caratteristica cls	R_{ck}	37	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	σ_{camm}	11.5	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.0	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.1	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	σ_{samm}	260	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	
Caratteristiche geometriche			
Altezza sezione	H	60	cm
Larghezza sezione	B	100	cm
Armatura compressa (1° strato)	AS_1^1	15.71	cm ² 5 Ø 20 $c_{s1} = 5.0$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2^1	0.00	cm ² Ø $c_{s2} =$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	0.00	cm ² Ø $c_{t2} =$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	15.71	cm ² 5 Ø 20 $c_{t1} = 5.0$ cm
Tensioni nei materiali			
Compressione max nel cls.	σ_c	3.6	N/mm ² < σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	161.1	N/mm ² < σ_{samm}
Eccentricità	e (M)	292.4	cm > H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	262.4	cm
Posizione asse neutro	y (M)	13.8	cm
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	6440	cm ²
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	2094524	cm ⁴
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id^*}	505684	cm ⁴
Verifica a fessurazione			
Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	152	kN m La sezione non è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	214	kN m
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	449.8	cm
	u (M_{fess})	419.8	cm
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	5.5	
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	255.4	N/mm ²
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	13.4	cm
	β_1	1	
	β_2	0.5	
Deform. unitaria media dell'arm.	ϵ_{sm}	0.00031	
Copriferro netto	c'	4.0	cm
Altezza efficace	d_{eff}	19.0	cm
Area efficace	$A_{c_{eff}}$	1900	cm ²
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	15.7	cm ²
	ρ_r	0.00827	
Distanza tra le barre	s	20.0	cm
	K_2	0.4	
	K_3	0.125	
Distanza media tra le fessure	s_{fm}	24.1	cm
Valore medio dell'ap. delle fessure	w _m	0.07	mm
Valore caratter. dell'ap. delle fessure	w _k	-	mm

11.2 SOLETTA SUPERIORE ALL'INCASTRO

Sollecitazioni			
Momento flettente	M	129	kN m
Sforzo normale	N	92	kN
Materiali			
Res. caratteristica cls	R_{ck}	37	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	σ_{camm}	11.5	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.0	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.1	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	σ_{samm}	260	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	
Caratteristiche geometriche			
Altezza sezione	H	60	cm
Larghezza sezione	B	100	cm
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	15.71	cm ² 5 Ø 20 $c_{s1} = \downarrow$ 5.0 cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ² Ø $c_{s2} = \downarrow$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	0.00	cm ² Ø $c_{t2} = \downarrow$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	22.62	cm ² 5 Ø 24 $c_{t1} = \downarrow$ 5.0 cm
Tensioni nei materiali			
Compressione max nel cls.	σ_c	3.0	N/mm ² < σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	95.3	N/mm ² < σ_{samm}
Eccentricità	e (M)	140.4	cm > H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	110.4	cm
Posizione asse neutro	y (M)	17.4	cm
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	6537	cm ²
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	2159320	cm ⁴
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id*}	692009	cm ⁴
Verifica a fessurazione			
Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	161	kN m La sezione non è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	226	kN m
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	246.8	cm
	u (M_{fess})	216.8	cm
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	5.1	
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	181.1	N/mm ²
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	16.4	cm
	β_1	1	
	β_2	0.5	
Deform. unitaria media dell'arm.	ϵ_{sm}	0.00018	
Copriferro netto	c'	3.8	cm
Altezza efficace	d_{eff}	21.8	cm
Area efficace	AC_{eff}	2180	cm ²
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	22.6	cm ²
	ρ_r	0.01038	
Distanza tra le barre	s	20.0	cm
	K_2	0.4	
	K_3	0.125	
Distanza media tra le fessure	s_{rm}	23.2	cm
Valore medio dell'ap. delle fessure	w _m	0.04	mm
Valore caratter. dell'ap. delle fessure	w _k	-	mm

11.3 PIEDRITTO ALLO SPICCATO

Sollecitazioni			
Momento flettente	M	148	kN m
Sforzo normale	N	228	kN
Materiali			
Res. caratteristica cls	R_{ck}	37	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	σ_{camm}	11.5	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.0	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.1	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	σ_{samm}	260	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	
Caratteristiche geometriche			
Altezza sezione	H	60	cm
Larghezza sezione	B	100	cm
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	15.71	cm ² 5 Ø 20 $c_{s1} = 5.0$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ² Ø $c_{s2} =$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	0.00	cm ² Ø $c_{t2} =$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	22.62	cm ² 5 Ø 24 $c_{t1} = 5.0$ cm
Tensioni nei materiali			
Compressione max nel cls.	σ_c	3.5	N/mm ² < σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	86.6	N/mm ² < σ_{samm}
Eccentricità	e (M)	64.9	cm > H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	34.9	cm
Posizione asse neutro	y (M)	20.7	cm
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	6537	cm ²
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	2159320	cm ⁴
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id*}	753656	cm ⁴
Verifica a fessurazione			
Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	176	kN m La sezione non è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	241	kN m
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	105.5	cm
	u (M_{fess})	75.5	cm
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	5.6	
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	167.6	N/mm ²
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	18.3	cm
	β_1	1	
	β_2	0.5	
Deform. unitaria media dell'arm.	ϵ_{sm}	0.00016	
Copriferro netto	c'	3.8	cm
Altezza efficace	d_{eff}	21.8	cm
Area efficace	AC_{eff}	2180	cm ²
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	22.6	cm ²
	ρ_r	0.01038	
Distanza tra le barre	s	20.0	cm
	K_2	0.4	
	K_3	0.125	
Distanza media tra le fessure	s_{rm}	23.2	cm
Valore medio dell'ap. delle fessure	w _m	0.04	mm
Valore caratter. dell'ap. delle fessure	w _k	-	mm

11.4 PIEDRITTO IN SOMMITA'

Sollecitazioni				
Momento flettente	M	152	kN m	
Sforzo normale	N	188	kN	
Materiali				
Res. caratteristica cls	R _{ck}	37	N/mm ²	
Tensione ammissibile cls	σ _{amm}	11.5	N/mm ²	
Res. media a trazione cls	f _{ctm}	3.0	N/mm ²	
Res. caratteristica a trazione cls	f _{ctk}	2.1	N/mm ²	
Tensione ammissibile acciaio	σ _{samm}	260	N/mm ²	
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15		
Caratteristiche geometriche				
Altezza sezione	H	60	cm	
Larghezza sezione	B	100	cm	
Armatura compressa (1° strato)	AS ₁ ¹	15.71	cm ²	5 Ø 20 c _{s1} = 5.0 cm
Armatura compressa (2° strato)	AS ₂ ¹	0.00	cm ²	Ø c _{s2} = 5.0 cm
Armatura tesa (2° strato)	AS ₂	0.00	cm ²	Ø c _{t2} = 5.0 cm
Armatura tesa (1° strato)	AS ₁	22.62	cm ²	5 Ø 24 c _{t1} = 5.0 cm
Tensioni nei materiali				
Compressione max nel cls.	σ _c	3.6	N/mm ²	< σ _{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ _s	97.5	N/mm ²	< σ _{samm}
Eccentricità	e (M)	80.9	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	50.9	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	19.5	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	A _{id}	6537	cm ²	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J _{id}	2159320	cm ⁴	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J _{id*}	723434	cm ⁴	
Verifica a fessurazione				
Momento di fessurazione (f _{ctk})	M _{fess} [*]	172	kN m	La sezione non è fessurata
Momento di fessurazione (f _{ctm})	M _{fess}	236	kN m	
Eccentricità per M=M _{fess}	e (M _{fess})	125.9	cm	
	u (M _{fess})	95.9	cm	
Compressione max nel cls. per M=M _{fess}	σ _{cr}	5.4		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per M=M _{fess}	σ _{sr}	171.5	N/mm ²	
Posizione asse neutro per M=M _{fess}	y (M _{fess})	17.8	cm	
	β ₁	1		
	β ₂	0.5		
Deform. unitaria media dell'arm.	ε _{sm}	0.00019		
Copriferro netto	c'	3.8	cm	
Altezza efficace	d _{eff}	21.8	cm	
Area efficace	AC _{eff}	2180	cm ²	
Armatura nell'area efficace	AS _{eff}	22.6	cm ²	
	ρ _r	0.01038		
Distanza tra le barre	s	20.0	cm	
	K ₂	0.4		
	K ₃	0.125		
Distanza media tra le fessure	s _{fm}	23.2	cm	
Valore medio dell'ap. delle fessure	w _m	0.04	mm	
Valore caratter. dell'ap. delle fessure	w _k	-	mm	

11.5 SOLETTA INFERIORE IN CAMPATA

Sollecitazioni				
Momento flettente	M	114	kN m	
Sforzo normale	N	95	kN	
Materiali				
Res. caratteristica cls	R _{ck}	37	N/mm ²	
Tensione ammissibile cls	σ _{amm}	11.5	N/mm ²	
Res. media a trazione cls	f _{ctm}	3.0	N/mm ²	
Res. caratteristica a trazione cls	f _{ctk}	2.1	N/mm ²	
Tensione ammissibile acciaio	σ _{samm}	260	N/mm ²	
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15		
Caratteristiche geometriche				
Altezza sezione	H	70	cm	
Larghezza sezione	B	100	cm	
Armatura compressa (1° strato)	AS ₁ ¹	15.71	cm ²	5 Ø 20 c _{s1} = 5.0 cm
Armatura compressa (2° strato)	AS ₂ ¹	0.00	cm ²	Ø c _{s2} = 0.0 cm
Armatura tesa (2° strato)	AS ₂	0.00	cm ²	Ø c _{t2} = 0.0 cm
Armatura tesa (1° strato)	AS ₁	15.71	cm ²	5 Ø 20 c _{t1} = 5.0 cm
Tensioni nei materiali				
Compressione max nel cls.	σ _c	2.3	N/mm ²	< σ _{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ _s	93.0	N/mm ²	< σ _{samm}
Eccentricità	e (M)	120.9	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	85.9	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	17.6	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	A _{id}	7440	cm ²	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J _{id}	3282448	cm ⁴	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J _{id*}	748157	cm ⁴	
Verifica a fessurazione				
Momento di fessurazione (f _{ctk})	M _{fess} [*]	209	kN m	La sezione non è fessurata
Momento di fessurazione (f _{ctm})	M _{fess}	293	kN m	
Eccentricità per M=M _{fess}	e (M _{fess})	309.8	cm	
	u (M _{fess})	274.8	cm	
Compressione max nel cls. per M=M _{fess}	σ _{cr}	5.8		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per M=M _{fess}	σ _{sr}	281.4	N/mm ²	
Posizione asse neutro per M=M _{fess}	y (M _{fess})	15.3	cm	
	β ₁	1		
	β ₂	0.5		
Deform. unitaria media dell'arm.	ε _{sm}	0.00018		
Copriferro netto	c'	4.0	cm	
Altezza efficace	d _{eff}	19.0	cm	
Area efficace	AC _{eff}	1900	cm ²	
Armatura nell'area efficace	AS _{eff}	15.7	cm ²	
	ρ _r	0.00827		
Distanza tra le barre	s	20.0	cm	
	K ₂	0.4		
	K ₃	0.125		
Distanza media tra le fessure	s _{fm}	24.1	cm	
Valore medio dell'ap. delle fessure	w _m	0.04	mm	
Valore caratter. dell'ap. delle fessure	w _k	-	mm	

11.6 SOLETTA INFERIORE ALL'INCASTRO

Sollecitazioni					
Momento flettente	M	150	kN m		
Sforzo normale	N	197	kN		
Materiali					
Res. caratteristica cls	R_{ck}	37	N/mm ²		
Tensione ammissibile cls	σ_{camm}	11.5	N/mm ²		
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.0	N/mm ²		
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.1	N/mm ²		
Tensione ammissibile acciaio	σ_{samm}	260	N/mm ²		
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15			
Caratteristiche geometriche					
Altezza sezione	H	70	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS_1^1	15.71	cm ²	5 Ø 20	$c_{s1} = 5.0$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2^1	0.00	cm ²	Ø	$c_{s2} =$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	0.00	cm ²	Ø	$c_{t2} =$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	22.62	cm ²	5 Ø 24	$c_{t1} = 5.0$ cm
Tensioni nei materiali					
Compressione max nel cls.	σ_c	2.7	N/mm ²	<	σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	72.9	N/mm ²	<	σ_{samm}
Eccentricità	e (M)	76.0	cm	>	H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	41.0	cm		
Posizione asse neutro	y (M)	23.2	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	7537	cm ²		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	3375754	cm ⁴		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id}^*	1085943	cm ⁴		
Verifica a fessurazione					
Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	228	kN m	La sezione non è fessurata	
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	314	kN m		
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	159.8	cm		
	u (M_{fess})	124.8	cm		
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	5.5			
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	194.0	N/mm ²		
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	19.5	cm		
	β_1	1			
	β_2	0.5			
Deform. unitaria media dell'arm.	ϵ_{sm}	0.00014			
Copriferro netto	c'	3.8	cm		
Altezza efficace	d_{eff}	21.8	cm		
Area efficace	AC_{eff}	2180	cm ²		
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	22.6	cm ²		
	ρ_r	0.01038			
Distanza tra le barre	s	20.0	cm		
	K_2	0.4			
	K_3	0.125			
Distanza media tra le fessure	s_{fm}	23.2	cm		
Valore medio dell'ap. delle fessure	w _m	0.03	mm		
Valore caratter. dell'ap. delle fessure	w _k	-	mm		

11.7 RIEPILOGO FESSURAZIONE

Verifiche a fessurazione - Comb. frequenti

Condizioni ambientali aggressive

Limite ap. fessure = $w_1 = 0.2 \text{ mm}$

	Arm. tesa		Arm. comp.		M [kNm/m]	N [kN/m]	wk [mm]
	1° strato	2° strato	1° strato	2° strato			
Soletta superiore - Campata	5 Ø20	-	5 Ø20	-	139	48	-
Soletta superiore - Appoggio	5 Ø24	-	5 Ø20	-	129	92	-
Piedritto - Spiccato	5 Ø24	-	5 Ø20	-	148	228	-
Piedritto - Sommità	5 Ø24	-	5 Ø20	-	152	188	-
Soletta inferiore - Campata	5 Ø20	-	5 Ø20	-	114	95	-
Soletta inferiore - Appoggio	5 Ø24	-	5 Ø20	-	150	197	-

Tutte le sezioni risultano quindi non fessurate.

12 VERIFICA PRESSIONI SUL TERRENO

Carico limite fondazioni superficiali - Formulazione di Meyerhof (1963)

Condizioni drenate, terreno non stratificato, assenza di falda

$$q_{ult} = cN_c s_c d_c i_c + qN_q s_q d_q i_q + 0,5\gamma B' N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

Fattori di capacità portante per terreni

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \quad (\phi \text{ in gradi})$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1,4\phi)$$

Fattori di capacità portante per rocce

$$N_c = 5 \tan^4 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$N_q = \tan^6 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$N_\gamma = N_q + 1$$

Dati di input

Peso specifico del terreno al di sopra della fondazione	γ_1	1800 daN/m ³
Peso specifico del terreno al di sotto della fondazione	γ_2	2000 daN/m ³
Angolo di attrito interno del terreno di posa	Φ	32 °
Coesione del terreno	c	0 daN/cm ²
Tipologia di suolo di fondazione		terreno
Designazione qualità della roccia (solo fond. su roccia)	RQD	%
Approfondimento del piano di posa	D	4.0 m
Considerare fattori correttivi di profondità		NO
Larghezza della fondazione (lato minore)	B	5.2 m
Lunghezza della fondazione (lato maggiore)	L	1.00E+10 m
Angolo di inclinazione del carico rispetto alla verticale	θ	0 °
Eccentricità del carico lungo la larghezza B della fondazione	eB	0.87 m
Eccentricità del carico lungo la lunghezza L della fondazione	eL	0 m

Dati di output

Dimensioni efficaci della fondazione per carico eccentrico	B'	3.466667 m
	L'	1E+10 m
Coefficiente di spinta passiva	Kp	3.25
Fattori di capacità portante <i>secondo Meyerhof</i>	Nc	35.490
	Nq	23.177
	N γ	22.022
Fattori correttivi di forma	sc	1.000
	sq	1.000
	sy	1.000
Fattori correttivi di profondità	dc	1.000
	dq	1.000
	dy	1.000
Fattori correttivi di inclinazione del carico	ic	1.000
	iq	1.000
	iy	1.000
Contributo alla resistenza della coesione	c Nc sc dc ic	0.000 daN/cm ²
Contributo alla resistenza del sovraccarico	q Nq sq dq iq	16.687 daN/cm ²
Contributo alla resistenza del peso del terreno	0,5 γ_2 B' N γ sy dy iy	7.634 daN/cm ²
Carico limite fondazione-terreno	q _{ult}	24.32 daN/cm ²
Coefficiente di sicurezza	γ_R	2.3
Carico ammissibile sul terreno	q_{amm}	10.57 daN/cm²

Per quanto riguarda la verifica delle pressioni sul terreno, dal tabulato di calcolo risulta:

TABLE: Joint Reactions					
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	F3	σ
Text	Text	Text	Text	KN	kg/cm2
3	INVSLU	Combination	Max	248.8	4.70
3	INVSLU	Combination	Min	92.4	1.74
4	INVSLU	Combination	Max	138.5	3.01
4	INVSLU	Combination	Min	60.5	1.31

$$\sigma_{\max} = 4.70 \text{ daN/cm}^2 < \sigma_{\text{amm}} = 10.57 \text{ daN/cm}^2$$