

ITINERARIO RAGUSA-CATANIA

Collegamento viario compreso tra lo Svincolo della S.S. 514 "di Chiaramonte"
con la S.S. 115 e lo Svincolo della S.S. 194 "Ragusana"

LOTTO 1 - Dallo svincolo n. 1 sulla S.S. 115 (compreso) allo svincolo n. 3 sulla S.P. 5 (escluso)

PROGETTO ESECUTIVO

COD. **PA895**

PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - GP INGEGNERIA - COOPROGETTI -GDG - ICARIA - OMNISERVICE

PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Nando Granieri

Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351



IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Marco Leonardi

Ordine dei Geologi della Regione Lazio n° 1541

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Ambrogio Signorelli

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma n° A35111

VISTO IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Luigi Mupo

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



Dott. Ing. N.Granieri
Dott. Ing. F.Durastanti
Dott. Ing. V.Truffini
Dott. Arch. A.Bracchini
Dott. Ing. L.Nani

Dott. Ing. M.Abram
Dott. Ing. F.Pambianco
Dott. Ing. M.Briganti Botta
Dott. Ing. L.Gagliardini
Dott. Geol. G.Cerquiglioni

MANDANTI:



Dott. Ing. G.Guiducci
Dott. Ing. A.Signorelli
Dott. Ing. E.Moscattelli
Dott. Ing. A.Bela

Dott. Ing. G.Lucibello
Dott. Arch. G.Guastella
Dott. Geol. M.Leonardi
Dott. Ing. G.Parente



Dott. Arch. E.A.E.Crimi
Dott. Ing. M.Panfilii
Dott. Arch. P.Ghirelli
Dott. Ing. D.Pelle

Dott. Ing. L.Ragnacci
Dott. Arch. A.Strati
Archeol. M.G.Liseno



Dott. Ing. D.Carlaccini
Dott. Ing. S.Sacconi
Dott. Ing. C.Consorti

Dott. Ing. F.Aloe
Dott. Ing. A.Salvemini



Dott. Ing. V.Rotisciani
Dott. Ing. G.Pulli
Dott. Ing. F.Macchioni

Dott. Ing. G.Verini Supplizi
Dott. Ing. V.Piunno
Geom. C.Sugaroni



Dott. Ing. P.Agnello

IL RESPONSABILE DI PROGETTO:



OPERE D'ARTE MINORI
ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751
Relazione tecnica e di calcolo - spalle e fondazioni

CODICE PROGETTO

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

L O 4 0 8 Z E 2 1 0 1

NOME FILE

T01TM25STRRE02B

CODICE ELAB.

T 0 1 T M 2 5 S T R R E 0 2

REVISIONE

SCALA:

B

-

D

C

B

A

REV.

REVISIONE A SEGUITO DI RAPPORTO DI VERIFICA

EMISSIONE

DESCRIZIONE

NOVEMBRE 2021

GIUGNO 2021

DATA

M. Toreno

M. Toreno

REDATTO

A. Signorelli

A. Signorelli

VERIFICATO

N. Granieri

N. Granieri

APPROVATO

INDICE

1	PREMESSA	5
2	CLASSE D'USO E VITA NOMINALE DELL'OPERA	6
3	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	7
3.1	DESCRIZIONE DELLE SOTTOSTRUTTURE	8
3.1.1	Spalle.....	8
3.1.2	Muri d'ala.....	8
4	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	9
5	SOFTWARE DI CALCOLO	10
6	MATERIALI	11
6.1	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	11
6.1.1	Calcestruzzo	11
6.1.2	Acciaio per armature ordinarie	12
6.1.3	Tiranti di ancoraggio	12
7	MODELLAZIONE GEOTECNICA	13
7.1	PARAMETRI CARATTERISTICI	13
7.2	DEFINIZIONE DELLA STRATIGRAFIA.....	14
8	CARATTERISTICHE DI SISMICITÀ DELL'AREA.....	15
9	METODO DI CALCOLO	17
9.1	CRITERI DI VERIFICA	17
9.2	OPERE DI FONDAZIONE	19
9.2.1	Fondazioni su pali.....	19
9.3	VERIFICA DEI TIRANTI DI ANCORAGGIO	23
9.3.1	Verifica resistenza ancoraggi.....	23
9.3.2	Sfilamento ancoraggi	23

9.4	VERIFICA DELLE SEZIONI IN C.A.	26
9.4.1	Verifica agli stati limite ultimi per pressoflessione e taglio	26
9.4.2	Verifica agli stati limite di esercizio	26
10	VERIFICA DELLE SPALLE	28
10.1	GEOMETRIA SPALLE	28
10.2	SEZIONE DI CALCOLO E STRATIGRAFIA	31
10.3	MODELLO DI CALCOLO	31
10.4	ANALISI DEI CARICHI	31
10.4.1	Peso proprio della spalla	31
10.4.2	Carichi trasmessi dall'impalcato	32
10.4.3	Sovraccarichi sul rilevato	32
10.4.4	Spinta delle terre	32
10.4.5	Incremento di spinta delle terre in fase sismica	32
10.4.6	Forze inerziali	32
10.5	COMBINAZIONI DI CARICO	34
10.6	VERIFICA STABILITÀ GLOBALE MURO + TERRENO	37
10.7	ANALISI PALI	38
10.7.1	Scarichi in testa ai pali	38
10.7.2	Capacità portante del singolo palo	38
10.7.3	Capacità portante orizzontale del singolo palo	41
10.7.4	Verifiche strutturali dei pali	47
10.8	ANALISI PLATEA DI FONDAZIONE	52
10.8.1	Sollecitazioni platea di fondazione	52
10.8.2	Verifiche strutturali della platea di fondazione	57
10.9	ANALISI PARAMENTO ANTERIORE	63

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

10.9.1	Sollecitazioni paramento anteriore	63
10.9.2	Verifiche strutturali del paramento anteriore	67
10.10	ANALISI PARAGHIAIA.....	73
10.10.1	Sollecitazioni paraghiaia	73
10.10.1	Verifiche strutturali del paraghiaia	73
10.11	ANALISI MURI ANDATORI	76
10.11.1	Analisi dei carichi	78
10.11.1	Verifiche strutturali del muro andatore	80
10.12	ANALISI CONTRAFFORTE.....	89
10.12.1	Sollecitazioni contrafforte	89
10.12.2	Verifiche strutturali del contrafforte	92
10.13	ANALISI TIRANTI DI ANCORAGGIO	95
11	VERIFICA DEI MURI D'ALA	97
11.1	GEOMETRIA DEI MURI D'ALA	97
11.2	SEZIONE DI CALCOLO E STRATIGRAFIA	100
11.3	MODELLO DI CALCOLO	100
11.4	ANALISI DEI CARICHI	100
11.4.1	Peso proprio dei muri d'ala	100
11.4.2	Spinta delle terre	101
11.4.3	Incremento di spinta delle terre in fase sismica	101
11.4.4	Forze inerziali	101
11.5	COMBINAZIONI DI CARICO	102
11.6	VERIFICA STABILITÀ GLOBALE MURO + TERRENO	103
11.7	ANALISI PALI	104
11.7.1	Scarichi in testa ai pali	104

11.7.2	Capacità portante del singolo palo.....	104
11.7.3	Capacità portante orizzontale del singolo palo	107
11.7.4	Palo soggetto a forze orizzontali	109
11.7.5	Verifiche strutturali dei pali	113
11.8	ANALISI PLATEA DI FONDAZIONE.....	119
11.8.1	Sollecitazioni platea di fondazione.....	119
11.8.2	Verifiche strutturali della platea di fondazione	125
11.9	ANALISI PARAMENTO MURI D'ALA	130
11.9.1	Sollecitazioni paramento muri d'ala.....	130
11.9.1	Verifiche strutturali del paramento muri d'ala	134
11.10	ANALISI TIRANTI DI ANCORAGGIO	139
12	VERIFICA OPERA DI SOSTEGNO PROVVISORIO	141
13	TABULATI DI CALCOLO	142
13.1	SPALLA	142
13.1.1	Dati di input	142
13.1.2	Risultati	149
13.2	MURO D'ALA	174
13.2.1	Dati di input	174
13.2.2	Risultati	180

1 PREMESSA

La presente relazione illustra l'analisi e le verifiche strutturali effettuate per la progettazione delle spalle dell'attraversamento idraulico al km 12+750 (Lotto 1), previsto nell'ambito dei lavori di collegamento Ragusa-Catania: ammodernamento a n° 4 corsie della S.S. 514 "Di Chiaramonte" e della S.S. 194 Ragusana dallo svincolo con la S.S. 115 allo svincolo con la S.S. 114.

2 CLASSE D'USO E VITA NOMINALE DELL'OPERA

L'opera in oggetto è progettata per una vita nominale V_N pari a 50 anni. Ai fini del calcolo delle azioni sismiche è stata considerata una classe d'uso IV ("Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico") ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008, da cui scaturisce un coefficiente d'uso $CU = 2$.

Pertanto le azioni sismiche sull'opera vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento $VR = V_N \times CU = 50 \times 2 = 100$ anni.

3 DESCRIZIONE DELL'OPERA

L'opera in progetto prevede la realizzazione di due impalcati con 4 travi a "V" in calcestruzzo armato precompresso con pre-tensione, ad unica campata di luce pari a 32 m. L'impalcato è isolato sismicamente mediante isolatori elastomerici in numero di 1 sotto ogni trave. Il prospetto della carreggiata sinistra e le sezioni trasversali della spalla SP1 e SP2 sono riportate nelle figure seguenti.

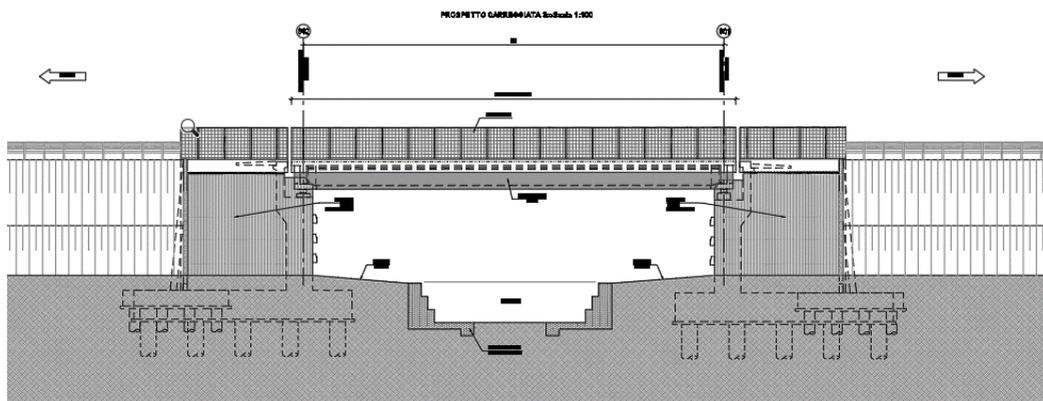


Figura 3-1 Prospetto carreggiata sinistra

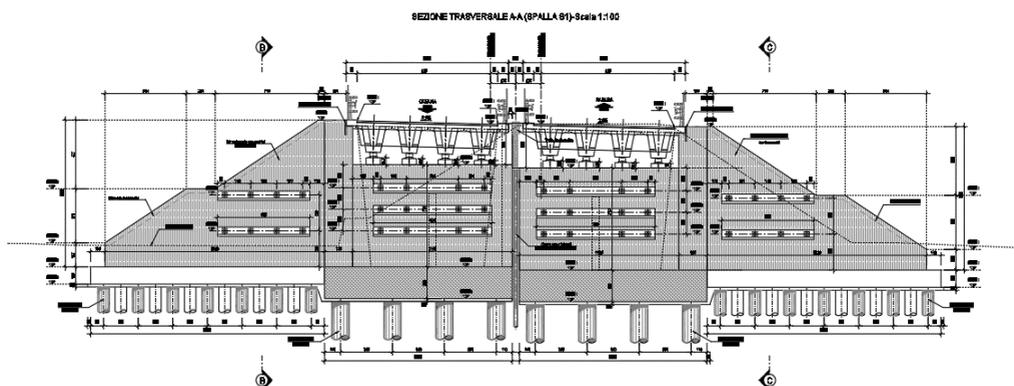


Figura 3-2 Sezione trasversale spalla SP1

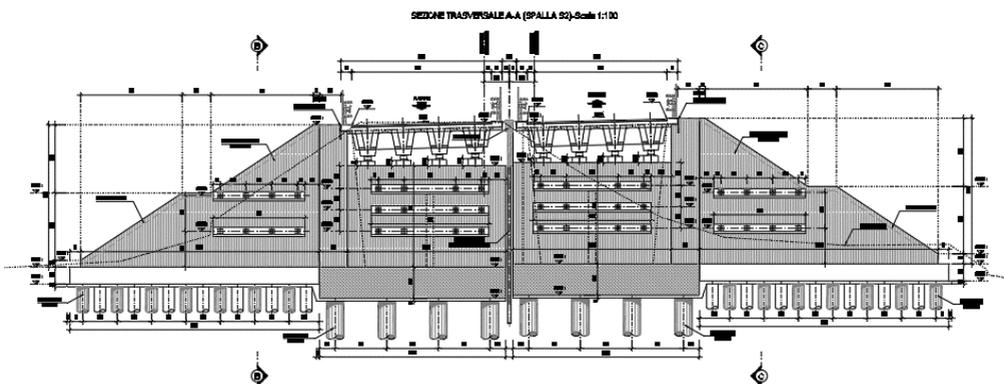


Figura 3-3 Sezione trasversale spalla SP2

3.1 DESCRIZIONE DELLE SOTTOSTRUTTURE

3.1.1 Spalle

La spalla Sp1 Dx presenta un muro frontale di spessore 2,00 m ed altezza di 7,10 m. Il muro paraghiaia ha un'altezza variabile di 2,755÷3,025 m e spessore di 60 cm; i muri di risvolto sono a sezione variabile con inclinazione di 1/10 del paramento interno fino in sommità su cui si attestano i cordoli stradali per le barriere di sicurezza.

La platea di fondazione, di dimensioni in pianta 13,00 x 16,60 m e spessore 2,20 m, è posata su una palificata di n. 20 pali trivellati Ø1200 mm e lunghezza 40 m.

La spalla Sp1 Sx presenta un muro frontale di spessore 2,00 m ed altezza di 7,10 m. Il muro paraghiaia ha un'altezza variabile di 2,545÷2.805 m e spessore di 60 cm; i muri di risvolto sono a sezione variabile con inclinazione di 1/10 del paramento interno fino in sommità su cui si attestano i cordoli stradali per le barriere di sicurezza.

La platea di fondazione, di dimensioni in pianta 13,00 x 16,60 m e spessore 2,20 m, è posata su una palificata di n. 20 pali trivellati Ø1200 mm e lunghezza 40 m.

La spalla Sp2 Dx presenta un muro frontale di spessore 2,00 m ed altezza di 7,32 m. Il muro paraghiaia ha un'altezza variabile di 2,545÷2,805 m e spessore di 60 cm; i muri di risvolto sono a sezione variabile con inclinazione di 1/10 del paramento interno fino in sommità su cui si attestano i cordoli stradali per le barriere di sicurezza.

La platea di fondazione, di dimensioni in pianta 13,00 x 16,60 m e spessore 2,20 m, è posata su una palificata di n. 20 pali trivellati Ø1200 mm e lunghezza 40 m.

La spalla Sp2 Sx presenta un muro frontale di spessore 2,00 m ed altezza di 7,10 m. Il muro paraghiaia ha un'altezza variabile di 2,545÷2,805 m e spessore di 60 cm; i muri di risvolto sono a sezione variabile con inclinazione di 1/10 del paramento interno fino in sommità su cui si attestano i cordoli stradali per le barriere di sicurezza.

La platea di fondazione, di dimensioni in pianta 13,00 x 16,60 m e spessore 2,20 m, è posata su una palificata di n. 20 pali trivellati Ø1200 mm e lunghezza 40 m.

Per ogni spalla, al fine di ridurre le sollecitazioni agenti in condizioni sismiche, è prevista la realizzazione di: tre ordini di tiranti attivi costituiti da n.4 tiranti di ancoraggio a 6 trefoli installati in direzione longitudinale sul muro frontale della spalla, un contrafforte di altezza 5 m, spessore 0,5 m ed estensione 5 m e di un blocco in misto cementato a valle della spalla.

3.1.2 Muri d'ala

I muri d'ala in corrispondenza delle spalle Sp1 Dx e Sp1 Sx presentano uno spessore variabile di 0,5÷1,3 m e un'altezza variabile di 1,7÷10 m. La platea di fondazione, di dimensioni in pianta 16,2x8 m e spessore 1,20 m, è posata su una palificata di n. 26 pali trivellati Ø800 mm e lunghezza 33 m disposti a quinconce.

I muri d'ala in corrispondenza delle spalle Sp2Dx e Sp2 Sx presentano uno spessore variabile di 0,35÷1,3 m e un'altezza variabile di 0,5÷10 m. La platea di fondazione, di dimensioni in pianta 17,2x8 m e spessore 1,20 m, è posata su una palificata di n. 28 pali trivellati Ø800 mm e lunghezza 33 m disposti a quinconce.

Per ogni muro d'ala, al fine di ridurre le sollecitazioni agenti in condizioni sismiche, è prevista la realizzazione di due ordini di tiranti attivi costituiti da n.4 tiranti di ancoraggio a 4 trefoli e di un blocco in misto cementato a tergo del muro.

4 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Il progetto e la verifica delle strutture sono stati svolti nel rispetto delle seguenti norme:

- D.M. 14/01/2008 "Norme tecniche per le costruzioni";
- Circolare n.617 del 2 Febbraio 2009 Ministero Infrastrutture e Trasporti, Istruzioni per l'applicazione dell'"Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni";
- UNI EN 1997-1:2005 Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali. Versione in lingua italiana della norma europea EN1997-1;
- UNI EN 1997-1:2005 Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo. Versione in lingua italiana della norma europea EN1997-2;
- UNI EN 1998:2005 Eurocodice 8 – Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici. Versione in lingua italiana della norma europea EN1998.

5 SOFTWARE DI CALCOLO

Le verifiche geotecniche delle fondazioni, delle spalle e dei tiranti sono condotte con l'ausilio di fogli di calcolo excel pubblicati dalla casa editrice DEI (M. Mancina, R. Nori, P. Iasiello - Progetti e Calcoli di Geotecnica con Excel vol.2 - ed. DEI).

Per le verifiche delle sezioni in cemento armato si ricorre al seguente programma:

- "VcaSLU" – ver. 7.7 del 30 Agosto 2011, sviluppato dal Prof. Piero Gelfi.

Il programma consente la verifica di sezioni in cemento armato normale e precompresso, soggette a presso-flessione o tensoflessione retta o deviata sia allo Stato Limite Ultimo che con il Metodo n e permette inoltre di tracciare il domino M-N.

La modellazione delle spalle e dei muri d'ala, per la determinazione delle sollecitazioni sugli elementi strutturali, sono eseguite con il software di calcolo MAX 15 della Aztec Informatica.

Per l'elaborazione dei dati di input/output in generale e la creazione di tabelle riepilogative, si adottano procedure opportunamente implementate in fogli elettronici Microsoft Office Excel.

6 MATERIALI

6.1 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

6.1.1 Calcestruzzo

Tabella 6-1 Caratteristiche del calcestruzzo per magrone.

Classe di resistenza minima	C _{min}	C12/15
-----------------------------	------------------	--------

Tabella 6-2 Caratteristiche del calcestruzzo per pali di fondazione.

Conforme alla norma UNI EN 206-1/UNI 11104 Cemento resistente ai solfati secondo UNI 9156		Classe di esposizione XA2
Classe di resistenza minima	C _{min}	C32/40
Classe di consistenza	S	S4
Dimensione max aggregati	D _{max}	25 mm
Classe di contenuto in cloruri	Cl	0,2
Copriferro	c	60 mm

Tabella 6-3 Caratteristiche del calcestruzzo per fondazioni.

Conforme alla norma UNI EN 206-1/UNI 11104 Cemento resistente ai solfati secondo UNI 9156		Classe di esposizione XA2
Classe di resistenza minima	C _{min}	C32/40
Classe di consistenza	S	S4
Dimensione max aggregati	D _{max}	30 mm
Classe di contenuto in cloruri	Cl	0,2
Copriferro	c	40 mm

Tabella 6-4 Caratteristiche calcestruzzo per elevazioni spalle.

Conforme alla norma UNI EN 206-1/UNI 11104 Cemento resistente ai solfati secondo UNI 9156		Classe di esposizione XA2
Classe di resistenza minima	C _{min}	C32/40
Classe di consistenza	S	S4
Dimensione max aggregati	D _{max}	25 mm
Classe di contenuto in cloruri	Cl	0,2
Copriferro	c	40 mm

Tabella 6-5 Caratteristiche del calcestruzzo per muri d'ala.

Calcestruzzo – fondazioni: (Conforme alla norma UNI EN 206-1/UNI 11104)		Classe di esposizione XA2
Classe di resistenza minima	C _{min}	C32/40
Classe di consistenza	S	S4
Dimensione max aggregati	D _{max}	30 mm
Classe di contenuto in cloruri	Cl	0,2
Copriferro	c	40 mm
Calcestruzzo – elevazioni: (Conforme alla norma UNI EN 206-1/UNI 11104)		Classe di esposizione XA2
Classe di resistenza minima	C _{min}	C32/40

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Classe di consistenza	S	S4
Dimensione max aggregati	D _{max}	25 mm
Classe di contenuto in cloruri	Cl	0,2
Copriferro	c	40 mm

Per garantire la durabilità delle strutture in calcestruzzo e per la definizione della classe di resistenza di queste ultime in funzione delle condizioni ambientali, si farà riferimento alle indicazioni contenute nelle norme UNI EN 206-1 ed UNI 11104.

6.1.2 Acciaio per armature ordinarie

Tabella 6-6 Caratteristiche dell'acciaio per armatura ordinaria.

Acciaio per armatura ordinaria		
Acciaio in barre ad aderenza migliorata tipo B450C controllato in stabilimento:		
Tensione caratteristica di snervamento	f _{yk}	≥450 N/mm ²
Tensione caratteristica di rottura	f _{tk}	≥540 N/mm ²

6.1.3 Tiranti di ancoraggio

Tabella 6-7 Caratteristiche dei tiranti di ancoraggio.

Boiaccia di cemento: (Conforme alla norma UNI EN 206-1/UNI 11104)	Classe di esposizione XA2	
È richiesto l'impiego di cemento resistente ai solfati secondo UNI 9156		
Classe di resistenza minima	C _{min}	C32/40
Cemento tipo CEM II/ A-L	42,5 R	
Acciaio armonico stabilizzato per trefoli:		
Tensione caratteristica di rottura	f _{ptk}	≥ 1860 N/mm ²
Tensione caratteristica all'1% di deformazione tot	F _{p(1)k}	≥ 1670 N/mm ²

7 MODELLAZIONE GEOTECNICA

7.1 PARAMETRI CARATTERISTICI

Per la definizione dei parametri geotecnici dei terreni di fondazione e del corpo del rilevato a tergo delle spalle si fa riferimento alle risultanze del sondaggio S048, posto in corrispondenza dell'attraversamento idraulico e dei sondaggi S046p e S049p, poiché caratterizzati da parametri geotecnici congruenti, oltreché prossimi allo stesso attraversamento idraulico. Alla luce delle indicazioni riportate nella relazione geotecnica generale (codice elaborato T01GE00GETRE01A), di seguito, si riporta la relativa tabella riassuntiva:

Tabella 7-1 Parametri fisico/meccanici caratteristici

Litotipi	γ_n	ϕ'	c'	C_u		E
	[kN/m ³]	[°]	[kPa]	[kPa]	[m]	[kPa]
R	19	35	0	0	-	30000
Ar	17,5	35	0	0	-	25000
Qm	19	30	10	100	10<z<13,5	8400
				180	13,5<z<23,50	
				200	z>23,50	

dove:

- γ_n peso di volume;
- ϕ' angolo di attrito efficace;
- c' coesione efficace;
- C_u coesione non drenata;
- E modulo elastico.

Per maggiori dettagli riguardo la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazioni si rimanda alla relazione geotecnica (codice elaborato T00VI01GETRE01).

7.2 DEFINIZIONE DELLA STRATIGRAFIA

Secondo quanto riportato negli elaborati geotecnici, la stratigrafia e i parametri caratteristici di calcolo assunti per le opere di fondazione sono illustrati nella tabella Tabella 7-2 (dove la quota 0 m corrisponde all'estradosso della platea di fondazione del corpo spalla).

Tabella 7-2 Stratigrafia del sito.

Litotipi	Descrizione	da [m]	a [m]	γ_n [kN/m ³]	ϕ' [°]	c' [kPa]	C_u [kPa]	E [kPa]
R	Rilevato stradale	-10	0	19	35	0	0	30000
Ar	Ghiaia sabbioso limosa	0	2,5	17,5	35	0	0	25000
Qm	Ghiaia sabbiosa limosa	2,5	5	19	30	10	0	8400
Qm	Sabbia medio fine	5	8	19	30	10	0	8400
Qm	Sabbia medio fine	8	10	19	0	0	0	8400
Qm	Argilla e argilla limoso sabbiosa	10	13,50	19	30	10	100	8400
Qm	Argilla e argilla limoso sabbiosa	13,50	23,50	19	30	10	180	8400
Qm	Argilla e argilla limoso sabbiosa	23,50	100	19	30	10	200	8400

Tra gli 8 e i 10 m da p.c. i parametri di resistenza ϕ' e c' vengono posti pari a zero a causa della presenza di terreni potenzialmente liquefacibili. Per maggiori dettagli si rimanda alla relazione sismica (codice elaborato T01GE03GEORE01A).

8 CARATTERISTICHE DI SISMICITÀ DELL'AREA

Secondo il D.M. 14 gennaio 2008 le azioni sismiche, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite, si definiscono a partire dalla pericolosità sismica di base del sito di costruzione. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione massima orizzontale attesa su suolo rigido ($V_{s,eq} > 800$ m/s) con superficie topografica orizzontale.

La stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento.

Al fine di definire compiutamente lo spettro di progetto, la normativa richiede di precisare la vita nominale delle opere strutturali V_N , intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata ed effettuare una scelta in merito alla classe d'uso della struttura e alle condizioni del suolo di fondazione.

I parametri principali utilizzati per la definizione dello spettro riguardanti le scelte progettuali sono:

- Vita nominale (V_N) = 50 anni;
- Classe d'uso IV ($C_U=2,0$);
- Periodo di riferimento dell'opera: $VR = V_N * C_U = 100$ anni.
- Categoria Topografica T1.

Per quanto riguarda la categoria stratigrafica, sulla base dei risultati delle indagini geofisiche, è stato necessario eseguire analisi di risposta sismica locale, secondo le indicazioni dei paragrafi 3.2.2 e 7.11.3 del DM 14/01/2008, in corrispondenza della MASW M014. Nella Figura 8-1 viene riportato il confronto tra lo spettro elastico di risposta orizzontale allo stato limite SLV da normativa, valutato per categoria di sottosuolo C e categoria topografica T1 e quello ottenuto da risposta sismica locale. Nella Tabella 8-1 si riporta il valore massimo dell'accelerazione orizzontale attesa al suolo, in corrispondenza del periodo $T=0$ s, ottenuto da RSL. Per i dettagli sull'analisi di risposta sismica locale si rimanda al paragrafo della relazione sismica (codice elaborato T01GE03GEORE01A).

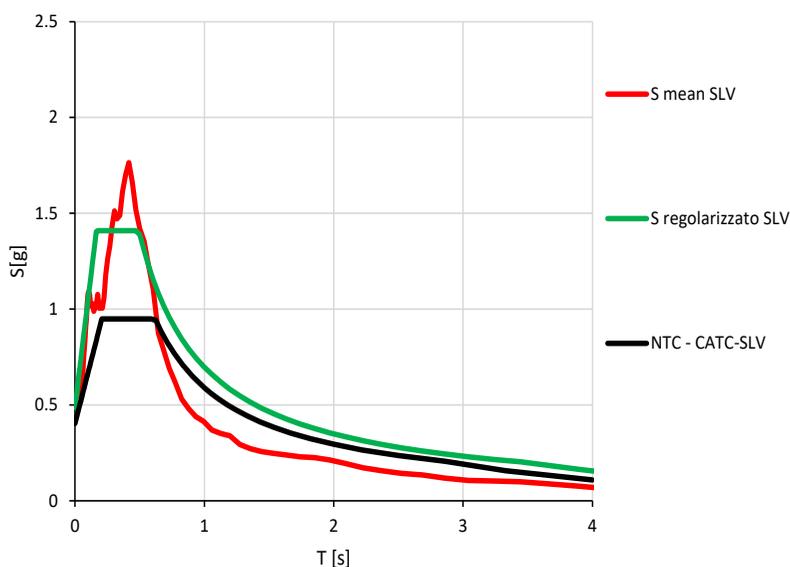


Figura 8-1 Confronto tra lo spettro elastico medio delle accelerazioni orizzontali ottenuto dalle analisi di risposta sismica (curva rossa), lo spettro normalizzato (curva in verde) e quello da normativa per categoria di sottosuolo C (curva nera)

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Tabella 8-1 Valore della massima accelerazione attesa in sito ottenuto da RSL (T=0s)

Opera di riferimento	a_{max} [g]
Attraversamento idraulico	0,4877

9 METODO DI CALCOLO

Nel presente paragrafo sono descritti i criteri di verifica delle opere geotecniche.

9.1 CRITERI DI VERIFICA

Le verifiche sono state eseguite in accordo al DM 14/01/2008.

Per ogni stato limite ultimo (SLU) deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove E_d è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione

$$E_d = E \left[\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

ovvero

$$E_d = \gamma_E E \left[F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

con $\gamma_E = \gamma_F$

e dove R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

L'effetto delle azioni e la resistenza sono espressi in funzione delle azioni di progetto $\gamma_F \cdot F_k$, dei parametri di progetto X_k/γ_M e della geometria di progetto a_d . L'effetto delle azioni può anche essere valutato direttamente come $E_d = E_k \cdot \gamma_E$. Nella formulazione della resistenza R_d , compare esplicitamente un coefficiente γ_R che opera direttamente sulla resistenza del sistema.

La verifica della suddetta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.

Nel primo approccio progettuale (Approccio 1) sono previste due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti: la prima combinazione è generalmente più severa nei confronti del dimensionamento strutturale delle opere a contatto con il terreno, mentre la seconda combinazione è generalmente più severa nei riguardi del dimensionamento geotecnico.

Nel secondo approccio progettuale (Approccio 2) è prevista un'unica combinazione di gruppi di coefficienti, da adottare sia nelle verifiche strutturali sia nelle verifiche geotecniche.

Azioni

I coefficienti parziali γ_F relativi alle azioni sono indicati nella Tab. 6.2.I del DM 14/01/2008. Ad essi deve essere fatto riferimento con le precisazioni riportate nel § 2.6.1 della citata norma. Si deve comunque

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

intendere che 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 rigidità.

Nella valutazione della combinazione delle azioni i coefficienti di combinazione ψ_{ij} devono essere assunti come specificato nel Cap. 2 del DM 14/01/2008.

In caso di analisi in condizione statica, si adottano i seguenti coefficienti parziali:

Tabella 9-1 Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni (tab. 6.2.1 del DM 14/01/2008).

Carichi	Effetto	Coefficiente parziale	EQU	A1	A2
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,00	1,00
	Sfavorevole		1,1	1,30	1,00
Permanenti non strutturali	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

Resistenze

Il valore di progetto della resistenza R_d può essere determinato:

- in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale γ_M specificato nella Tab. 6.2.II del DM 14/01/2008 e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali γ_{Ri} ;
- in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati di prove in sito, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_{Ri} ;
- sulla base di misure dirette su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_{Ri} .

Tabella 9-2 Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (tab. 6.2.II del DM 14/01/2008).

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale	M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\tan\phi'$	$\gamma_{\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	c'	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	c_u	γ_{c_u}	1,00	1,40
Peso dell'unità di volume	γ	γ_{γ}	1,00	1,00

Per gli ammassi rocciosi e per i terreni a struttura complessa, nella valutazione della resistenza caratteristica occorre tener conto della natura e delle caratteristiche geometriche e di resistenza delle discontinuità strutturali.

In condizioni sismiche, le verifiche agli SLU devono essere effettuate ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e impiegando i parametri geotecnici e le resistenze di progetto.

9.2 OPERE DI FONDAZIONE

9.2.1 Fondazioni su pali

Le verifiche di sicurezza si effettuano nei confronti degli stati limite ultimi di tipo geotecnico:

- Collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi assiali;
- Collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi trasversali;
- Collasso per carico limite di sfilamento nei riguardi dei carichi assiali di trazione;
- Stabilità globale.

Le verifiche (ad eccezione della stabilità globale) vengono essere effettuate secondo l'Approccio 2, con la combinazione (A1 + M1 + R3), tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II, 6.4.II e 6.4.VI, del DM 14/01/2008.

Tabella 9-3 Coefficienti parziali da applicare alle resistenze caratteristiche (tab. 6.4.II del DM 14/01/2008).

	Pali infissi	Pali trivellati	Pali ad elica continua
Resistenza	R3	R3	R3
Base	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	1,15	1,15	1,15
Totale (*)	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	1,25	1,25	1,25

Il valore della resistenza caratteristica R_k del singolo palo è determinata con metodi di calcolo analitici, applicando alle resistenze calcolate i fattori di correlazione ξ , che dipendono dal numero di verticali indagate e riportati nella tabella 6.4.IV del DM 14/01/2008.

$$R_{c,k} = \min \left\{ \frac{(R_{c,cal})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

$$R_{t,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{t,cal})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{t,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

Tabella 9-4 Fattori di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate (tab. 6.4.IV del DM 14/01/2008).

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Per la determinazione del valore di progetto della resistenza di pali soggetti a carichi trasversali sono stati applicati i coefficienti parziali γ_T riportati nella Tab. 6.4.VI del DM 14/01/2008.

La campagna di indagini condotta, consente di individuare 3 sondaggi geognostici significativi per l'opera in esame (come specificato nel Paragrafo 7.1), pertanto, in sede di calcolo si adottano i fattori di correlazioni specifici

Tabella 9-5 Coefficienti parziali per le verifiche agli SLU di pali soggetti a carichi trasversali (tab. 6.4.VI del DM 14/01/2008).

R3
$\gamma_r = 1,3$

Carico limite verticale

Il carico limite di un palo è convenzionalmente suddiviso in due aliquote, la resistenza alla punta e la resistenza laterale:

$$Q_{lim} = \frac{\pi D^2}{4} p + \pi D \int_0^L s \cdot dz = P + S$$

dove con p si indica la resistenza unitaria alla punta, con s la resistenza allo scorrimento all'interfaccia laterale palo-terreno, con D il diametro e con L la lunghezza del palo.

La stima delle resistenze unitarie per il calcolo dei pali di fondazione è riportato nel paragrafo relativo della presente relazione.

Carico limite orizzontale

Il calcolo della capacità portante orizzontale è stato condotto con il metodo proposto da Brinch-Hansen (1961), considerando lo schema di palo impedito di ruotare in testa.

In particolare, per questa condizione si individuano tre possibili cinematismi di rottura:

- palo corto;
- palo intermedio;
- palo lungo.

Per il caso generale di un terreno coesivo ed attritivo, l'andamento della pressione limite, alla generica profondità z , risulta pari a:

$$p_u = K_q \cdot \sigma'_z + K_c \cdot c$$

Dove σ'_z e c definiscono, rispettivamente, lo stato tensionale verticale efficace e il valore di coesione assunti dal terreno alla quota considerata e i fattori K_q e K_c dipendono dall'angolo di attrito del terreno e dal rapporto z/D (D diametro del palo).

Se il mezzo è solamente attritivo, la relazione si semplifica in:

$$p_u = K_q \cdot \sigma'_z$$

Il coefficiente K_q è definito come:

$$K_q = \frac{K_q^0 + K_q^\infty \alpha_q \frac{z}{D}}{1 + \alpha_q \frac{z}{D}}$$

in cui i vari parametri che compaiono sono a loro volta definiti, in funzione dell'angolo d'attrito ϕ , come segue,

$$K_q^0 = \left[e^{\left(\frac{\pi+\phi}{2}\right)\tan\phi} \cos\phi \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) \right] - \left[e^{-\left(\frac{\pi-\phi}{2}\right)\tan\phi} \cos\phi \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right) \right]$$

$$K_q^\infty = N_c d_c^\infty K_0 \tan\phi$$

$$\alpha_q = \frac{K_q^0 K_0 \sin\phi}{(K_q^\infty - K_q^0) \sin\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right)}$$

$$K_0 = 1 - \sin\phi$$

$$N_c = \left[e^{\pi \tan\phi} \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) - 1 \right] \cot\phi$$

$$d_c^\infty = 1,58 + 4,09 \tan^4\phi$$

L'andamento dei valori di K_q (così come quello di K_c , relativo a terreni coesivi) è altresì rappresentabile in forma grafica, come riportato nella

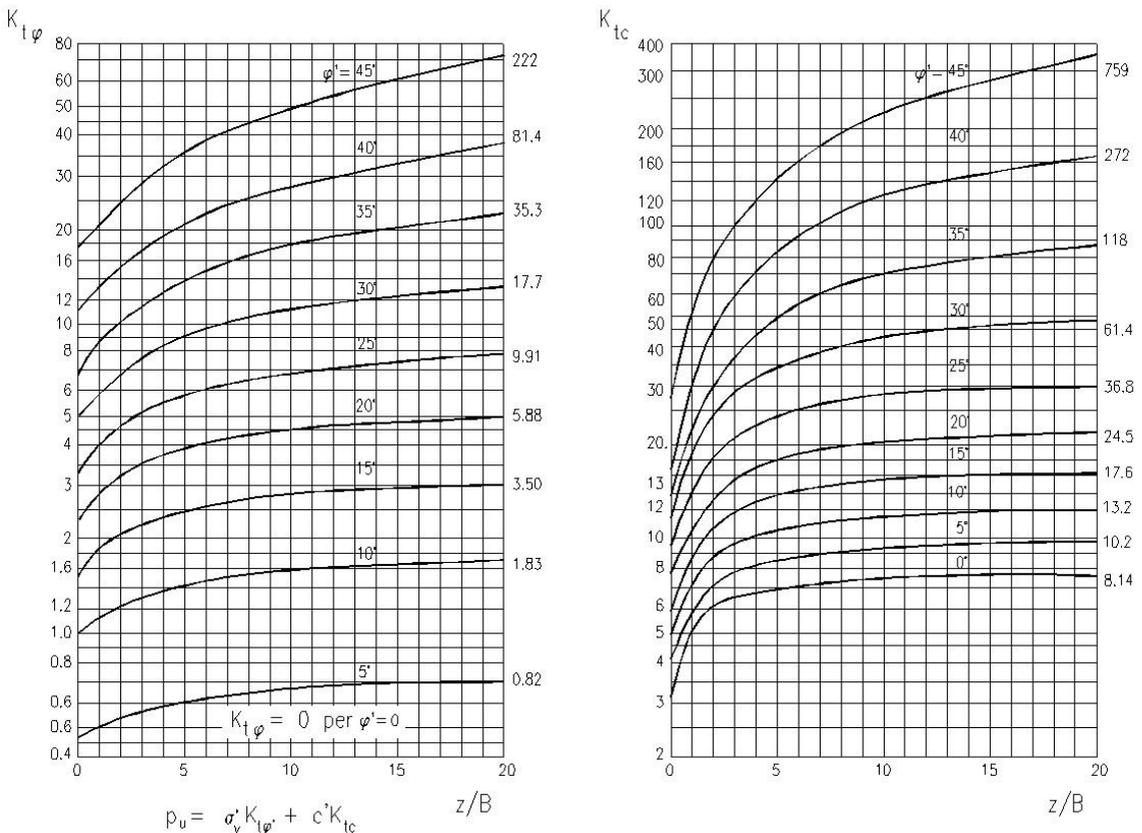


Figura 9-1 Andamenti dei parametri K_q e K_c di Brinch-Hansen, 1961.

Per la determinazione del valore di progetto $R_{v,d}$ della resistenza di pali soggetti a carichi trasversali valgono le indicazioni del § 6.4.3.1.1, applicando il coefficiente parziale γ_T della Tab. 6.4.VI.

Tab. 6.4.VI - Coefficiente parziale γ_T per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi trasversali

Coefficiente parziale (R3)
$\gamma_T = 1,3$

Comportamento ai carichi trasversali

Lo studio del comportamento di un palo soggetto ai carichi orizzontali è condotto schematizzando il terreno come un mezzo alla Winkler.

Indicando con y lo spostamento orizzontale di un generico punto del palo a profondità z e con P la corrispondente reazione del terreno per unità di lunghezza ($P = p \cdot d$), l'equazione del modello alla Winkler si scrive:

$$p = k_h \cdot y$$

con k_h coefficiente di reazione orizzontale del terreno.

L'andamento del modulo di reazione con la profondità tiene conto del tipo di terreno attraversato, di norma è crescente con la profondità.

Il modulo di reazione orizzontale è stimato mediante le seguenti relazioni:

Per terreni argillosi sovra consolidati si assume k_h costante con la profondità e valutabile con l'espressione di Davisson (1970):

$$k_h = 67 \cdot \frac{c_u}{d}$$

dove d è il diametro del palo.

Per terreni argillosi normalmente consolidati e per terreni incoerenti si assume k_h variabile linearmente con la profondità secondo la seguente espressione di Reese e Matlock (1956):

$$k_h = n_h \cdot \frac{z}{d}$$

I valori orientativi di n_h per argille e per altri tipi di terreni sono riportati nella seguente tabella:

Tipo di terreno	n_h [N/cm ³]	Fonte
Argilla n.c. o lievemente o.c.	0,2 ÷ 3,5 0,3 ÷ 0,5	Reese, Matlock (1956) Davisson, Prakash (1963)
Argilla organica n.c.	0,1 ÷ 1,0 0,1 ÷ 0,8	Peck, Davisson (1970) Davisson (1970)
Torba	0,05 0,03 ÷ 0,1	Davisson (1970) Wilson, Hilts (1967)
Loess	8 ÷ 10	Bowles (1968)

Per i terreni incoerenti il valore di n_h dipende dallo stato di addensamento e dalla presenza o meno della falda e può essere ottenuto dalla seguente relazione:

$$n_h = \frac{A \cdot \gamma}{1,35}$$

Nella quale γ è il peso dell'unità di volume del terreno. Valori orientativi di n_h e A sono riportati nella tabella seguente (Viggiani):

Stato di addensamento	Sciolto	Medio	Denso
Campo dei valori di A	100 ÷ 300	300 ÷ 1000	1000 ÷ 3000
Valore consigliato di A	200	600	1500
N _h [N/cm ³], sabbie non immerse	2,5	7,5	20
N _h [N/cm ³], sabbie immerse	1,5	5	12

Nel caso in esame, per le ghiaie sabbioso limose e le sabbie medio fini sopra falda è stato assunto un valore di n_h pari a 2,5, per le sabbie medio fini sotto falda è stato assunto un valore di n_h pari a 1,5, mentre per le argille e argille limoso sabbiose è stato assunto un valore di k_h costante ricavato con l'espressione di Davisson (1970).

9.3 VERIFICA DEI TIRANTI DI ANCORAGGIO

9.3.1 Verifica resistenza ancoraggi

Nel caso di ancoraggi in trefoli il carico assiale agente deve rispettare la condizione seguente:

$$N_a \leq N_R = \frac{0.8 \cdot f_{p(1)k} A_t}{\gamma_M}$$

dove:

- f_{p(1)k} è la tensione caratteristica all'1% di deformazione totale
- A_t è la sezione del tirante
- γ_M è il coefficiente di sicurezza per la resistenza dell'acciaio e pari a 1.05

9.3.2 Sfilamento ancoraggi

La resistenza di progetto allo sfilamento di un ancoraggio, N_{Rd,sfil}, è data dal minimo tra la resistenza a rottura dell'interfaccia malta-terreno, N_{Rd,ter}, e la resistenza a rottura dell'interfaccia malta-barra, N_{Rd,cls}:

$$N_{Rd,sfil} = \min(N_{Rd,cls}, N_{Rd,ter})$$

Interfaccia malta-terreno

Per il calcolo della resistenza a rottura dell'interfaccia malta-terreno si ricorre a quanto indicato da Bustamante e Doix (1985, riportati da Tanzini 2004) sulla base di una serie di prove sperimentali. In questo caso la resistenza ultima calcolata (N_{Rk,ter}) può essere definita sulla base dei grafici forniti dagli autori in relazione alle caratteristiche geotecniche dei materiali interessati e al tipo di iniezione (semplice o multipla):

$$N_{Rd,ter} = p \times D_b \times L_b \times q_a$$

dove:

D_b = diametro medio del bulbo: D_b = α × D_p

D_p = diametro di perforazione;

L_b = lunghezza del bulbo;

α = fattore di sbulbamento;

q_a = aderenza limite bulbo-terreno.

Sulla base di quanto descritto nel paragrafo 6.6.2 del D.M. 2008 (caso b) ed in assenza di prove dirette (caso a) il calcolo del valore di resistenza caratteristica N_{Rk,ter} deriva dalla seguente espressione:

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

$$N_{Rk,ter} = \min[N_{R,ter\ medio} / \xi_{a3} ; N_{R,ter\ min} / \xi_{a4}],$$

dove $N_{R,ter\ medio}$ e $N_{R,ter\ min}$ sono i valori medio e minimo della resistenza $N_{R,ter}$ ottenuta dal calcolo e ξ_a fattori di correlazione che dipendono dalla conoscenza del modello geotecnico di riferimento, funzione del numero dei profili di indagine eseguiti (vedi tabella seguente).

Tabella 9-6 Fattori di correlazione per derivare la resistenza caratteristica dalle prove geotecniche, in funzione del numero n di profili di indagine (tabella 6.6.III del D.M.)

Numero di profili d'indagine	1	2	3	4	≥5
ξ_{a3}	1.80	1.75	1.70	1.65	1.60
ξ_{a4}	1.80	1.70	1.65	1.60	1.55

La resistenza di calcolo, $N_{Rd,ter}$ viene definita mediante la relazione:

$$N_{Rd,ter} = N_{Rk,ter} / \gamma_R$$

Con γ_R definito nella tabella seguente:

Tabella 9-7 Coefficienti parziali per la resistenza di ancoraggi (tabella 6.6.I del D.M.)

Tipologia tirante	Simbolo g_R	Coefficiente parziale
Temporaneo	$\gamma_{R,t}$	1.1
Permanente	$\gamma_{R,p}$	1.2

Nella tabella seguente si riportano i valori di progetto per le verifiche allo sfilamento.

Tabella 9-8 Valori di progetto per le verifiche allo sfilamento

	Diametro di perforazione	Fattore di sbulbamento	Aderenza limite bulbo-terreno	Fattore	Fattore
Terreno	D_p	α	q_a	ξ_{a3}	ξ_{a4}
	[mm]	(IRS)	[kPa]	[-]	[-]
Rilevato	180	1,8	120	1,8	1,8

Resistenza adesione barra-malta cementizia

La tensione limite di ancoraggio $R_{ak,c}$ viene valutata con la seguente formula:

$$R_{ak,c} = \pi \times d_{eq} \times f_{bd} \times L_b$$

dove:

- d_{eq} : diametro equivalente tirante
- L_b : lunghezza bulbo
- f_{bd} : $2,25 \times n \times f_{ctk\ 0.05} / \gamma_c$

in cui:

- γ_c : 1.5
- $n = 1$, per $\phi \leq 32$ mm; $n = (132 - \phi) / 100$, per $\phi > 32$ mm
- $f_{ctk\ 0.05}$: $0,7 \times 0,30 \times f_{ck}^{2/3}$ (2.12 MPa per C32/40)

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

–
Anche su questo valore si applica il coefficiente γ_R per definire la resistenza di calcolo $R_{ad,c}$.

La lunghezza di ancoraggio L_a è quindi determinata sulla base della verifica più restrittiva tra le due sopra menzionate.

9.4 VERIFICA DELLE SEZIONI IN C.A.

Per le sezioni in cemento armato si effettuano:

- Verifiche per gli stati limite ultimi a presso-flessione ed a taglio
- Verifiche per gli stati limite di esercizio per la fessurazione e per la limitazione delle tensioni.

9.4.1 Verifica agli stati limite ultimi per pressoflessione e taglio

Le verifiche a pressoflessione vengono condotte confrontando le resistenze ultime e le sollecitazioni massime agenti.

Le verifiche allo SLU sono eseguite adottando le seguenti ipotesi:

- Conservazione delle sezioni piane;
- Perfetta aderenza tra acciaio e calcestruzzo;
- Resistenza a trazione del calcestruzzo nulla;
- Rottura del calcestruzzo determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima a compressione;
- Rottura dell'armatura tesa determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima.

Le tensioni nel calcestruzzo e nell'armatura sono state dedotte dalle deformazioni utilizzando i rispettivi diagrammi tensione-deformazione.

Per quanto si attiene la legge σ - ϵ del calcestruzzo di è utilizzata una curva parabola-rettangolo, considerando solo la porzione compressa e con $\epsilon_{c2}=0,2\%$ e $\epsilon_{cu}=0,35\%$.

Per quanto riguarda l'acciaio si è assunto un diagramma bilineare elastico-perfettamente plastico.

La verifica allo stato limite ultimo per azioni di taglio è condotta secondo quanto prescritto nel paragrafo 4.1.2.3.5.1 delle NTC08 per gli elementi senza armature trasversali resistenti a taglio e secondo quanto prescritto nel paragrafo 4.1.2.3.5.1 per gli elementi con armature trasversali resistenti al taglio.

9.4.2 Verifica agli stati limite di esercizio

Stato limite di apertura delle fessure

Il valore limite di apertura della fessura calcolato al livello considerato è pari ad uno dei seguenti valori nominali:

$$w_1 = 0.2 \text{ mm}$$

$$w_2 = 0.3 \text{ mm}$$

$$w_3 = 0.4 \text{ mm}$$

Lo stato limite di fessurazione deve essere fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione; nel caso specifico si ha:

Condizioni ambientali: Aggressive (Classe di esposizione XA2)

Armatura: Poco sensibile

Combinazione:

Frequente $\rightarrow w_d \leq w_2 = 0.30 \text{ mm}$

Quasi Permanente $\rightarrow w_d \leq w_1 = 0.20 \text{ mm}$

Con $w_d = 1.7 w_m = 1.7 \times (\epsilon_{sm} \times D_{sm})$

Per il calcolo di ε_{sm} e D_{sm} vanno utilizzati criteri consolidati riportati nella letteratura tecnica.

I valori nominali dell'apertura della fessura vengono forniti secondo quanto indicato nella tabella 4.1.IV - § 4.1.2.2.4.5 della normativa, di seguito riportata:

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_d	Stato limite	w_d
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

In alternativa la verifica dell'ampiezza di fessurazione può anche essere condotta senza calcolo diretto, limitando la tensione di trazione nell'armatura, valutata nella sezione parzializzata per la combinazione di carico pertinente, ad un massimo correlato al diametro delle barre ed alla loro spaziatura. Tale metodo indiretto si applica secondo i criteri indicati al § C4.1.2.2.4.6 della circolare n. 617 del 02/02/09 C.S.LL.PP.

Stato limite di limitazione delle tensioni

Si deve verificare che le tensioni dei materiali siano inferiori ai massimi valori consentiti di seguito riportati.

Massima tensione nel calcestruzzo:

Combinazione rara: $\sigma_c < 0,60 f_{ck} = 19,2 \text{ MPa}$

Combinazione quasi permanente: $\sigma_c < 0,45 f_{ck} = 14,4 \text{ MPa}$

Massima tensione dell'acciaio

Combinazione rara: $\sigma_s < 0,80 f_{yk} = 360 \text{ MPa}$

10 VERIFICA DELLE SPALLE

Viene effettuata un'unica verifica per le quattro spalle, poiché sono sollecitate dagli stessi carichi e presentano variazioni geometriche limitate.

10.1 GEOMETRIA SPALLE

Nelle seguenti tabelle e figure vengono riportate le principali dimensioni geometriche della spalla, del sistema di fondazione e del sistema di ancoraggio adottate nel modello di calcolo.

Tabella 10-1 Dimensioni geometriche della spalla.

Elemento	[m]
Lunghezza muro	13
Altezza paramento	7,30
Altezza paraghiaia	2,8
Larghezza paramento	2
Larghezza paraghiaia	0,6

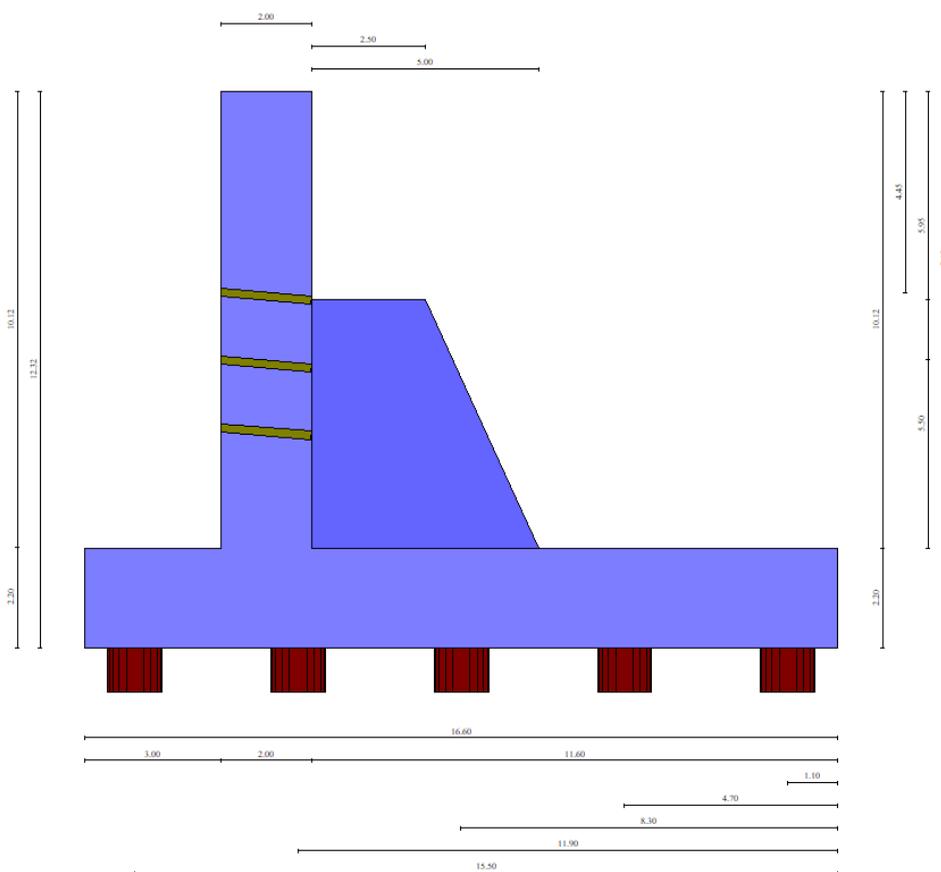


Figura 10-1 Sezione quotata della spalla.

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Tabella 10-2 Dimensioni geometriche del sistema di fondazione.

Altezza platea di fondazione	2,20
Spessore magrone	0,2
Lunghezza mensola di valle	3
Lunghezza mensola di monte	11,60
Diametro pali	1,2
Lunghezza pali	40
Interasse pali	3,6

1.10	3.60	n° 4 pali - Ordinata fila y = 15.50 m D = 1.2000 m - L = 36.00 m - l = 0.00 °
1.10	3.60	n° 4 pali - Ordinata fila y = 11.90 m D = 1.2000 m - L = 36.00 m - l = 0.00 °
1.10	3.60	n° 4 pali - Ordinata fila y = 8.30 m D = 1.2000 m - L = 36.00 m - l = 0.00 °
1.10	3.60	n° 4 pali - Ordinata fila y = 4.70 m D = 1.2000 m - L = 36.00 m - l = 0.00 °
1.10	3.60	n° 4 pali - Ordinata fila y = 1.10 m D = 1.2000 m - L = 36.00 m - l = 0.00 °

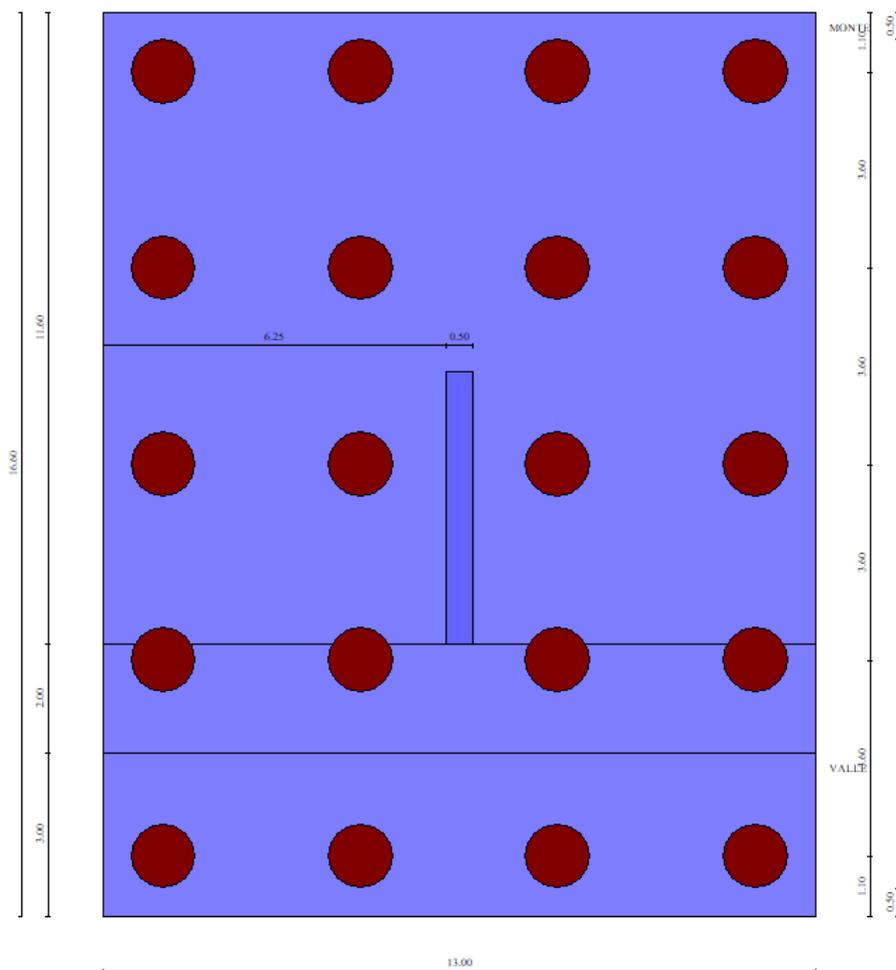


Figura 10-2 Pianta fondazione della spalla.

La spalla presenta tre ordini di quattro tiranti attivi a trefoli in acciaio armonico di diametro 0,6". Il primo ordine di tiranti è posto ad una distanza di 7,45 m dalla sommità del paraghiaia, il secondo ordine di tiranti ad una distanza di 5,95 m, mentre, il terzo ordine di tiranti, ad una profondità di 4,45 m. I tiranti, di

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

lunghezza totale compresa tra i 34 e i 38 m, sono posti ad un interasse orizzontale di 1,8 m e hanno un'inclinazione di 5°. L'azione di contrasto dei tiranti è distribuita sul paramento tramite un cordolo di ripartizione in c.a.. Nella seguente tabella si riportano le caratteristiche dei tiranti:

Tabella 10-3 Dimensioni geometriche del sistema di ancoraggio.

Livello	Diam perforazione [mm]	n° trefoli	Pretiro [kN]	Lung. libera [m]	Lung. bulbo [m]	Lung. totale [m]	Incl. [°]
1	200	6	600	21	13	34	5
2	200	6	600	23	13	36	5
3	200	6	600	25	13	38	5

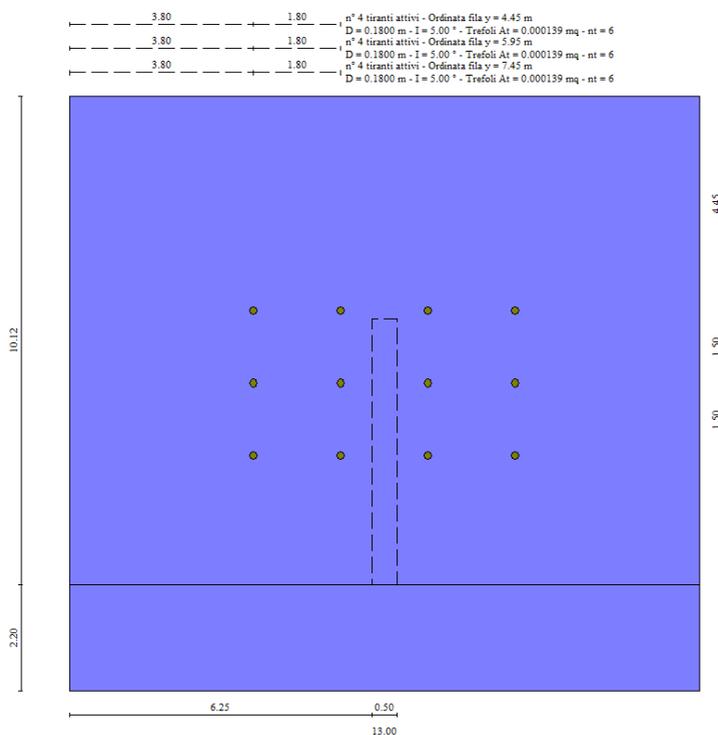


Figura 10-3 Sezione trasversale in corrispondenza dei tiranti.

10.2 SEZIONE DI CALCOLO E STRATIGRAFIA

Nel modello di calcolo sono stati implementati il rilevato a tergo della spalla e il terreno di fondazione. Nel calcolo è stato tenuto conto della presenza del blocco di misto cementato a valle della spalla considerando un materiale caratterizzato da un angolo di attrito ϕ' pari a 35° e coesione c' pari a 15 kPa. Per ulteriori dettagli riguardanti la geometria si veda l'elaborato grafico T01TM25STRDIO4AN. Nella successiva tabella sono riportati i parametri caratteristici utilizzati nel calcolo.

Tabella 10-4 Stratigrafia di calcolo

	Materiale	γ [kN/m ³]	ϕ' [°]	c' [kPa]
Rilevato in misto cementato	R	19	35	15
Terreno di fondazione	Qm	19	30	10

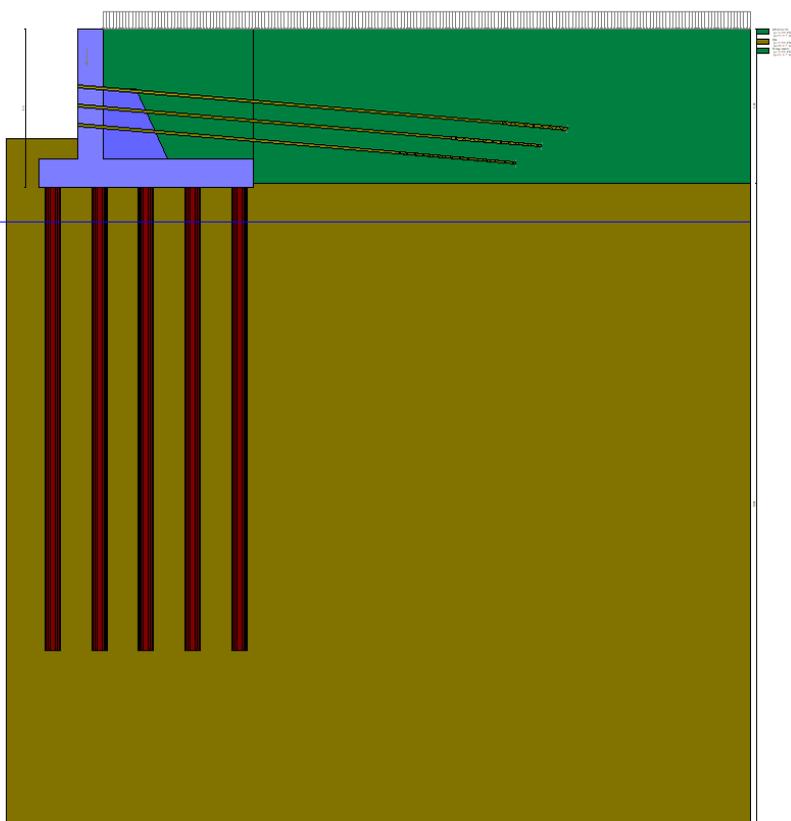


Figura 10-4 Sezione di calcolo della spalla

10.3 MODELLO DI CALCOLO

Le sollecitazioni di calcolo per la spalla sono state ottenute con l'ausilio del programma di calcolo MAX 15 della Aztec Informatica.

10.4 ANALISI DEI CARICHI

10.4.1 Peso proprio della spalla

Il peso proprio della spalla è stato calcolato tenendo conto del peso specifico del calcestruzzo armato pari a 25.0kN/m³.

10.4.2 Carichi trasmessi dall'impalcato

Si riportano di seguito le azioni caratteristiche derivanti dall'analisi strutturale per i vari casi di carico definiti. Le azioni sono valutate in corrispondenza del baricentro degli appoggi ubicato alla mezzzeria dello sviluppo trasversale del muro frontale.

Tabella 10-5 Azioni dall'impalcato al baricentro appoggi.

Tipologia di carico		[kN]
Peso proprio impalcato permanente	G1	2873
Peso proprio impalcato permanente non strutturale	G2	631
Carico da traffico tandem	Q1	1306
Carico da traffico distribuito	Q2	807
Taglio sismico variabile	SLV_EX+0,3Ey	1119

Tali valori dei carichi agenti nel baricentro degli appoggi sono stati divisi per una lunghezza del muro pari a 13 m, al fine di ottenere i carichi per unità di lunghezza del muro da applicare al modello di calcolo.

10.4.3 Sovraccarichi sul rilevato

Il rilevato si assume caricato uniformemente mediante un sovraccarico accidentale pari a:

- $q_1 = 20 \text{ kN/m}^2$ in condizioni statiche;
- $q_2 = 9 \text{ kN/m}^2$ in condizioni statiche in presenza dei carichi da traffico tandem e distribuito.

10.4.4 Spinta delle terre

Le caratteristiche del terreno di rilevato sono:

Tabella 10-6 Caratteristiche meccaniche del terreno

	γ [kN/m ³]	ϕ' [°]	c' [kPa]	δ [°]
Rilevato	19	35	15	23,3

dove δ è l'angolo d'attrito terreno-muro.

La spinta delle terre e del sovraccarico è stata calcolata con il metodo di Culmann, considerando una spinta di tipo attiva.

10.4.5 Incremento di spinta delle terre in fase sismica

Avendo utilizzato il metodo di Culmann per il calcolo della spinta attiva, l'incremento di spinta sismica viene calcolato automaticamente considerando nell'equazione risolutiva la forza d'inerzia del cuneo di spinta.

10.4.6 Forze inerziali

Le forze di inerzia orizzontali e verticali che si destano per effetto del sisma vengono calcolate con le relazioni:

$$F_{iH} = k_h W$$

$$F_{iV} = \pm k_v W$$

Dove W è il peso delle masse e k_h e k_v sono coefficienti di intensità sismica orizzontale e verticale calcolati come prescritto al 7.11.6.2.1 del D.M. 14/01/2008:

$$k_h = S a_g / g$$

$$k_v = 0.5 \cdot k_h$$

dove:

- $S=S_s$ S_t è il coefficiente che comprende l'effetto di amplificazione stratigrafica (S_s) e dell'amplificazione topografica (S_t);
- a_g è l'accelerazione massima attesa su sito di riferimento rigido.

Come riportato nel Paragrafo 8 gli effetti di amplificazione stratigrafica sono stati valutati mediante analisi di risposta sismica locale, mentre essendo la categoria topografica pari a T1 il coefficiente di amplificazione topografica S_t viene posto pari a 1. Nella tabella seguente si riportano i valori dell'accelerazione orizzontale massima al suolo e dei coefficienti di intensità sismica orizzontale e verticale.

Tabella 10-7 Valori di a_g , k_h e k_v ottenuti da RSL (SLV).

a_{max} [g]	0,4877
k_h	0,4877
k_v	0,2438

10.5 COMBINAZIONI DI CARICO

Simbologia adottata

γ Coefficiente di partecipazione della condizione γ

Ψ Coefficiente di combinazione della condizione Ψ

Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
G1 Permanente	1.30	--	Sfavorevole
G2 Permanente portato	1.50	--	Sfavorevole
Distribuito 20kPa	1.35	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 2 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
G1 Permanente	1.30	--	Sfavorevole
G2 Permanente portato	1.50	--	Sfavorevole
Distribuito 9kPa	1.35	1.00	Sfavorevole
Tandem max	1.35	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 3 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
G1 Permanente	1.30	--	Sfavorevole
G2 Permanente portato	1.50	--	Sfavorevole
Distribuito 9kPa	1.35	1.00	Sfavorevole
Distribuito max	1.35	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 4 – STR H+V (A1-M1-R3)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
G1 Permanente	1.00	--	Sfavorevole
G2 Permanente portato	1.00	--	Sfavorevole
SLV EX+0,3EY	1.00	1.00	Sfavorevole
Distribuito 20kPa	1.00	0.25	Sfavorevole

Combinazione n° 5 - STR (A1-M1-R3) H - V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
G1 Permanente	1.00	--	Sfavorevole
G2 Permanente portato	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 6 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.30	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.30	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
G1 Permanente	1.30	--	Sfavorevole
G2 Permanente portato	1.50	--	Sfavorevole

Combinazione n° 7 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.30	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
G1 Permanente	1.30	--	Sfavorevole
G2 Permanente portato	1.50	--	Sfavorevole
Distribuito 20kPa	1.35	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 8 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.30	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
G1 Permanente	1.30	--	Sfavorevole
G2 Permanente portato	1.50	--	Sfavorevole
Distribuito 20kPa	1.35	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 9 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.30	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.30	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
G1 Permanente	1.30	--	Sfavorevole
G2 Permanente portato	1.50	--	Sfavorevole
Distribuito 9kPa	1.35	1.00	Sfavorevole
Tandem max	1.35	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 10 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.30	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
G1 Permanente	1.30	--	Sfavorevole
G2 Permanente portato	1.50	--	Sfavorevole
Distribuito 9kPa	1.35	1.00	Sfavorevole
Tandem max	1.35	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 11 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.30	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
G1 Permanente	1.30	--	Sfavorevole
G2 Permanente portato	1.50	--	Sfavorevole
Distribuito 9kPa	1.35	1.00	Sfavorevole
Traff. Tan. Max N	1.35	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 12 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.30	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.30	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
G1 Permanente	1.30	--	Sfavorevole
G2 Permanente portato	1.50	--	Sfavorevole
Distribuito 9kPa	1.35	1.00	Sfavorevole
Distribuito max	1.35	1.00	Sfavorevole

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Combinazione n° 13 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.30	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
G1 Permanente	1.30	--	Sfavorevole
G2 Permanente portato	1.50	--	Sfavorevole
Distribuito 9kPa	1.35	1.00	Sfavorevole
Distribuito max	1.35	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 15 - GEO (A2-M2-R2)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
G1 Permanente	1.00	--	Sfavorevole
G2 Permanente portato	1.30	--	Sfavorevole
Distribuito 20kPa	1.15	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 17 - GEO (A2-M2-R2)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
G1 Permanente	1.00	--	Sfavorevole
G2 Permanente portato	1.30	--	Sfavorevole
Distribuito 9kPa	1.15	1.00	Sfavorevole
Distribuito max	1.15	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 19 – GEO (A2-M2-R2) H-V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
G1 Permanente	1.00	--	Sfavorevole
G2 Permanente portato	1.00	--	Sfavorevole
SLV EX+0,3EY	1.00	1.00	Sfavorevole
Distribuito 20kPa	1.00	0.25	Sfavorevole

Combinazione n° 21 – SLEF

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
G1 Permanente	1.00	--	Sfavorevole
G2 Permanente portato	1.00	--	Sfavorevole
Distribuito 20kPa	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 23 – SLER

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
G1 Permanente	1.00	--	Sfavorevole
G2 Permanente portato	1.00	--	Sfavorevole
Distribuito 9kPa	1.00	1.00	Sfavorevole
Tandem max	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 14 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.30	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
G1 Permanente	1.30	--	Sfavorevole
G2 Permanente portato	1.50	--	Sfavorevole
Distribuito 9kPa	1.35	1.00	Sfavorevole
Distribuito max	1.35	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 16 – GEO (A2-M2-R2)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
G1 Permanente	1.00	--	Sfavorevole
G2 Permanente portato	1.30	--	Sfavorevole
Distribuito 9kPa	1.15	1.00	Sfavorevole
Tandem max	1.15	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 18 – GEO (A2-M2-R2) H+V

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
G1 Permanente	1.00	--	Sfavorevole
G2 Permanente portato	1.00	--	Sfavorevole
SLV EX+0,3EY	1.00	1.00	Sfavorevole
Distribuito 20kPa	1.00	0.25	Sfavorevole

Combinazione n° 20 – SLER

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
G1 Permanente	1.00	--	Sfavorevole
G2 Permanente portato	1.00	--	Sfavorevole
Distribuito 20kPa	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 22 – SLEQP

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
G1 Permanente	1.00	--	Sfavorevole
G2 Permanente portato	1.00	--	Sfavorevole
Distribuito 20kPa	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 24 – SLEF

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
G1 Permanente	1.00	--	Sfavorevole
G2 Permanente portato	1.00	--	Sfavorevole
Distribuito 20kPa	1.00	1.00	Sfavorevole
Tandem max	1.00	1.00	Sfavorevole

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Combinazione n° 25 – SLEQP

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
G1 Permanente	1.00	--	Sfavorevole
G2 Permanente portato	1.00	--	Sfavorevole
Distribuito 9kPa	1.00	1.00	Sfavorevole
Tandem max	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 27 – SLEF

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
G1 Permanente	1.00	--	Sfavorevole
G2 Permanente portato	1.00	--	Sfavorevole
Distribuito 9kPa	1.00	1.00	Sfavorevole
Tandem max	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 26 – SLER

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
G1 Permanente	1.00	--	Sfavorevole
G2 Permanente portato	1.00	--	Sfavorevole
Distribuito 20kPa	1.00	1.00	Sfavorevole
Distribuito max	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 28 – SLEQP

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
G1 Permanente	1.00	--	Sfavorevole
G2 Permanente portato	1.00	--	Sfavorevole
Distribuito 20kPa	1.00	1.00	Sfavorevole
Distribuito max	1.00	1.00	Sfavorevole

10.6 VERIFICA STABILITÀ GLOBALE MURO + TERRENO

Simbologia adottata

- Ic Indice/Tipo combinazione
- C Centro superficie di scorrimento, espresso in [m]
- R Raggio, espresso in [m]
- FS Fattore di sicurezza

Tabella 10-8 Valori del centro, del raggio e del fattore di sicurezza della superficie di scorrimento.

Ic	C [m]	R [m]	FS
15 - GEO (A2-M2-R2)	-4.00; 4.50	37.72	5.284
16 - GEO (A2-M2-R2)	-4.00; 4.50	37.72	5.598
17 - GEO (A2-M2-R2)	-4.00; 4.50	37.72	5.600
18 - GEO (A2-M2-R2) H + V	-1.50; 4.50	54.17	2.146
19 - GEO (A2-M2-R2) H - V	-4.50; 4.50	37.91	1.552

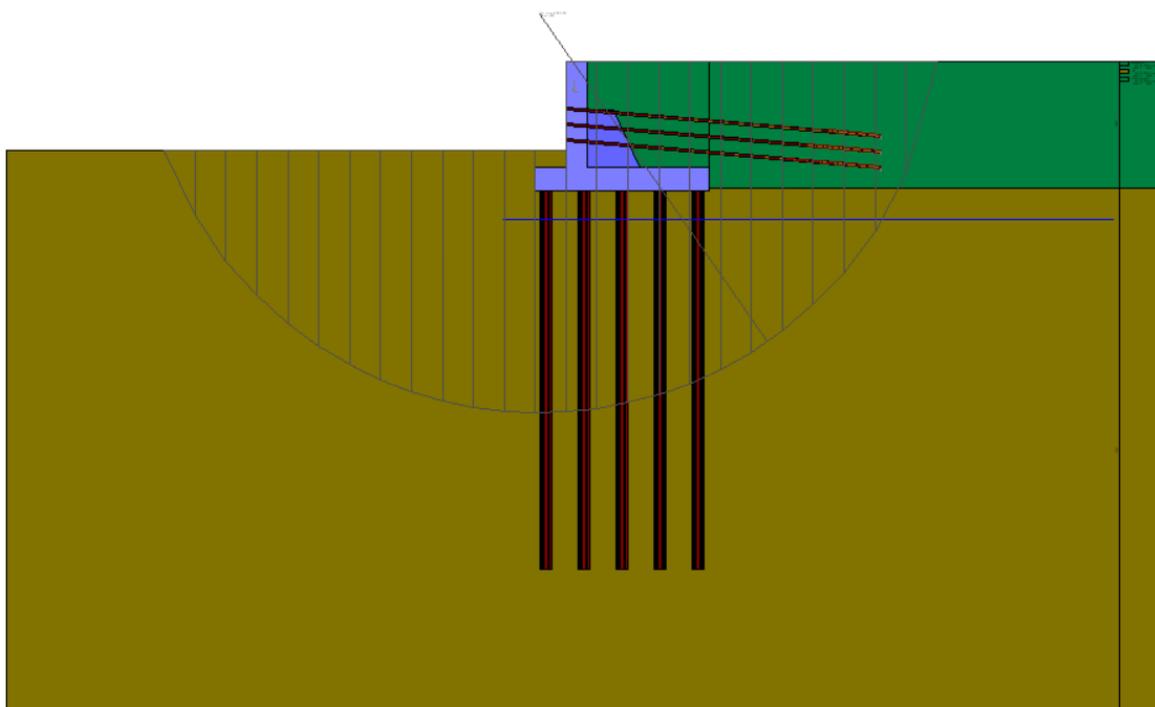


Figura 10-5 Stabilità globale – cerchio critico (combinazione n°19).

10.7 ANALISI PALI

10.7.1 Scarichi in testa ai pali

Simbologia adottata

Cmb Indice/Tipo combinazione

Ip Indice palo

N Sforzo normale, espresso in [kN]

T Taglio, espresso in [kN]

Si riportano i risultati per le combinazioni nelle quali si ottengono i massimi valori delle sollecitazioni sui pali.

Tabella 10-9 Pali spalle - Scarichi in testa allo SLU

Cmb	Ip	N [kN]	T [kN]
4 - STR (A1-M1-R3) H + V	1	1010.82	-1550.61
	2	2214.76	-1550.61
	3	3418.70	-1550.61
	4	4622.63	-1550.61
	5	5794.38	-1550.61
5 - STR (A1-M1-R3) H - V	1	-436.11	-1558.73
	2	912.80	-1558.73
	3	2261.71	-1558.73
	4	3610.62	-1558.73
	5	4958.90	-1558.73

Tabella 10-10 Pali spalle - Scarichi in testa allo SLE

Cmb	Ip	N [kN]	T [kN]
23-24-25 SLEQ SLER SLEF	1	3404.35	60.80
	2	3106.94	60.80
	3	2809.52	60.80
	4	2512.11	60.80
	5	2214.69	60.80
26-27-28 SLEQ SLER SLEF	1	3097.41	60.80
	2	2784.50	60.80
	3	2471.59	60.80
	4	2158.68	60.80
	5	3410.32	60.80

10.7.2 Capacità portante del singolo palo

Si riporta l'estratto del calcolo della capacità portante del palo singolo, in cui al carico in testa è sommato il peso proprio del palo. Il peso del palo sarà moltiplicato per il coefficiente parziale $\gamma=1,0$ per le verifiche allo stato limite SLV. Il peso proprio del palo viene calcolato dalla seguente relazione:

$$P_p = L_s \times A_{\text{palo}} \times (\gamma_{\text{cls}} - \gamma_w) + L_{\text{ns}} \times A_{\text{palo}} \times \gamma_{\text{cls}} = 34,5 \text{ m} \times 1,13 \text{ m}^2 \times (25-10) \text{ kN/m}^3 + 5,5 \text{ m} \times 1,13 \text{ m}^2 \times (25) \text{ kN/m}^3 = 740,78 \text{ kN}$$

Il massimo carico verticale agente sul palo fornito dalla combinazione sismica n.4 SLV è pari a:

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

$$N_{d,max} = Q_{max} + (P_p \times 1,0) = 5794,38 + 740,78 = 6535,17 \text{ kN}$$

Calcolo della capacità portante verticale

CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DI UN PALO TRIVELLATO DI GRANDE DIAMETRO

CANTIERE: Attraversamento idraulico

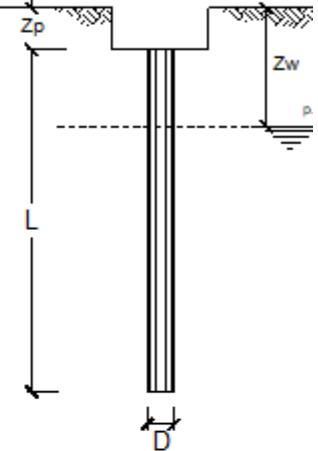
OPERA:

Attraversamento idraulico

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D):	1,20	(m)	Area del Palo (Ap):	1,131	(m ²)
Quota testa Palo dal p.c. (z _p):	2,40	(m)	Quota falda dal p.c. (z _w):	8,00	(m)
Carico Assiale Permanente (G):	6535,2	(kN)	Carico Assiale variabile (Q):		(kN)
Numero di strati	6		L _{palo} =	40,00	(m)

coefficienti parziali		azioni		resistenza laterale e di base		
Metodo di calcolo		permanenti	variabili	T _k	T _v	T _{base}
		γ _c	γ _q			
SLU	A1+M1+R1	1,30	1,50	1,00	1,00	1,00
	A2+M1+R2	1,00	1,30	1,70	1,45	1,60
	A1+M1+R3	1,30	1,50	1,35	1,15	1,25
	SISMA	1,00	1,00	1,35	1,15	1,25
DM88		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
definiti dal progettista		1,00	1,00	1,35	1,15	1,25



n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
γ _c	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40	1,00	1,00
γ _q	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21	1,00	1,00

PARAMETRI MEDI

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m ³)	c' med (kPa)	φ' med (°)	c _u med (kPa)
1	2,50	Ghisa in matrice sabbiosa limosa	19,00	10,0	30,0	
2	3,00	Sabbia medio fine	19,00	10,0	30,0	
3	2,00	Sabbia medio fine	19,00	0,0	0,0	
4	3,50	Argilla e argilla limoso sabbiosa	19,00			100,0
5	10,00	Argilla e argilla limoso sabbiosa	19,00			180,0
6	19,00	Argilla e argilla limoso sabbiosa	19,00			200,0

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	α	β
(-)	(-)	(-)	(-)
0,50	0,58	1,00	
0,50	0,58	1,00	
0,00	0,00		
0,00	0,00		0,40
0,00	0,00		0,40
0,00	0,00		0,40

(n.b.: la spessore degli strati è computata dalla quota di intradazza del plinto)

PARAMETRI MINIMI (solo per SLU)

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m ³)	c' min (kPa)	φ' min (°)	c _u min (kPa)
1	2,50	Ghisa in matrice sabbiosa limosa	19,00	10,0	30,0	
2	3,00	Sabbia medio fine	19,00	10,0	30,0	
3	2,00	Sabbia medio fine	19,00	0,0	0,0	
4	3,50	Argilla e argilla limoso sabbiosa	19,00			100,0
5	10,00	Argilla e argilla limoso sabbiosa	19,00			180,0
6	19,00	Argilla e argilla limoso sabbiosa	19,00			200,0

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	α	β
(-)	(-)	(-)	(-)
0,50	0,58	1,00	
0,50	0,58	1,00	
0,00	0,00		
0,00	0,00		0,40
0,00	0,00		0,40
0,00	0,00		0,40

RISULTATI

Strato	Spess (-)	Tipo di terreno	media					minima (solo SLU)					
			Qsi (kN)	Hq (-)	Nc (-)	qb (kPa)	Qbm (kN)	Qsi (kN)	Hq (-)	Nc (-)	qb (kPa)	Qbm (kN)	
1	2,50	Ghiaia in matrice sabbiosa limosa	282,9					282,9					
2	3,00	Sabbia medio fine	510,1					510,1					
3	2,00	Sabbia medio fine	0,0					0,0					
4	3,50	Argilla e argilla limoso sabbiosa	527,8					527,8					
5	10,00	Argilla e argilla limoso sabbiosa	2714,3					2714,3					
6	19,00	Argilla e argilla limoso sabbiosa	5730,3	0,00	9,00	2605,6	2946,3	5730,3	0,00	9,00	2605,6	2946,3	

CARICO ASSIALE AGENTE

$$N_d = N_c \cdot \gamma_c + N_s \cdot \gamma_s$$

$$N_d = 6535,2 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE MEDIA

$$\text{base } R_{s,med} = 2946,9 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s,med} = 9765,4 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{s,med} = 12712,3 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE MINIMA

$$\text{base } R_{s,min} = 2946,9 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s,min} = 9765,4 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{s,min} = 12712,3 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA

$$R_{s,k} = \text{Min}(R_{s,med} / \gamma_s : R_{s,min} = 1841,8 \text{ (kN)})$$

$$R_{s,k} = \text{Min}(R_{s,med} / \gamma_s : R_{s,min} = 6103,4 \text{ (kN)})$$

$$R_{s,k} = R_{s,k} + R_{s,k} = 7945,2 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO

$$R_{s,d} = R_{s,k} / \gamma_s + R_{s,k} / \gamma_s$$

$$R_{s,d} = 6671,6 \text{ (kN)}$$

$$F_s = R_{s,d} / N_d$$

$$F_s = 1,02$$

Tabella 10-11 Pali spalle - Fattore di sicurezza minimo $F_{s,min}$ a carico limite verticale.

$R_{d,c}$	$N_{d,max}$	$F_{s,min} = R_{d,c} / N_{d,max}$
6671,6	6535,2	1,02

Dove:

- $R_{d,c}$ è la capacità portante di progetto a compressione;
- $N_{d,max}$ è il massimo carico assiale di compressione.

La verifica a carico limite in risulta soddisfatta.

10.7.3 Capacità portante orizzontale del singolo palo

Prima di procedere con la verifica a carico limite orizzontale dei pali di fondazione è necessario determinare il momento di plasticizzazione della sezione in c.a..

Calcolo del momento di plasticizzazione

Si riportano di seguito la geometria del palo e le caratteristiche dei materiali.

Calcolo del momento di plasticizzazione di una sezione circolare

Diametro = 1200 (mm)
Raggio = 600 (mm)
Sforzo Normale = -436,11 (kN)

Caratteristiche dei Materiali

calcestruzzo

Rck = 40 (Mpa)

fck = 32 (Mpa)

$\gamma_c = 1,5$

$\alpha_{cc} = 0,85$

$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 18,13$ (Mpa)

Acciaio

tipo di acciaio

f_{yk} = 450 (Mpa)

$\gamma_s = 1,15$

$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 391,3$ (Mpa)

E_s = 206000 (Mpa)

$\epsilon_{ys} = 0,190\%$

$\epsilon_{uk} = 10,000\%$

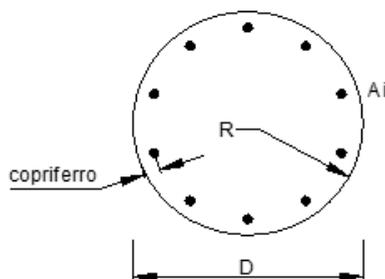


Figura 10-6 Pali spalle - Geometria e caratteristiche dei materiali.

Armature

numero	diametro (mm)	area (mm ²)	copriferro (mm)
24	32	19301,95	80
24	32	19301,95	134
0	8	0,00	30

Momento di Plasticizzazione

M_y = 5750,9 (kN m)

Figura 10-7 Pali spalle -Armature e momento di plasticizzazione.

Calcolo del carico limite orizzontale

coefficienti parziali				A		M		R	
Metodo di calcolo				permanenti γ_G	variabili γ_Q	γ_T	γ_{R1}	γ_{R2}	γ_{R3}
SLU	A1+M1+R1	○		1,30	1,50	1,00	1,00	1,00	
	A2+M1+R2	○		1,00	1,30	1,00	1,00	1,60	
	A1+M1+R3	○		1,30	1,50	1,00	1,00	1,30	
	SISMA	○		1,00	1,00	1,00	1,00	1,30	
DM88		○			1,00	1,00	1,00	1,00	
definiti dal progettista				1,00	1,00	1,00	1,00	1,30	

n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
γ_1	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40	1,00	1,00
γ_2	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21	1,00	1,00

strati terreno	descrizione	Quota [m]	γ [kN/m ³]	Parametri medi		Parametri minimi	
				ϕ [°]	c [kPa]	ϕ [°]	c [kPa]
strato 1	Ghiaia in matrice sabbiosa	100,00	19	30	10	30	10
☑ strato 2	Sabbia medio fine	97,50	19	30	10	30	10
☑ strato 3	Sabbia medio fine	94,50	19	0	0	0	0
☑ strato 4	Argilla e argilla limoso sabbiosa	92,50	19		100		100
☑ strato 5	Argilla e argilla limoso sabbiosa	89,00	19		180		180
☑ strato 6	Argilla e argilla limoso sabbiosa	79,00	19		200		200

z_u	94,3	[m]	Quota falda
q	0	[kPa]	Sovraccarico applicato a quota strato 1 (già comprensivo di coefficiente parziali sulle azioni)
M_u	5750,9	[kNm]	Momento ultimo della sezione
D	1,2	[m]	Diametro del palo
L	40	[m]	Lunghezza del palo

Risultati:

	H medio		H minimo	
Palo lungo	3393 (kN)		3393 (kN)	
Palo intermedio	24146 (kN)		24146 (kN)	
Palo corto	58731 (kN)		58731 (kN)	

H_{max}	3393 (kN)	Palo lungo	H_{min}	3392,8 (kN)	Palo lungo
$H_k = \text{Min}(H_{max} / \xi_3 ; R_{min} / \xi_4)$			2120,49	(kN)	
$H_d = H_k / \gamma_T$			1631,15	(kN)	
Carico Assiale Permanente (G):		G =	1558	(kN)	
Carico Assiale variabile (Q):		Q =	0	(kN)	
$F_d = G \cdot \gamma_G + Q \cdot \gamma_Q =$			1558,00	(kN)	
$FS = H_d / F_d =$			1,05		



Tabella 10-12 Pali spalle - Fattore di sicurezza minimo FS_{min} a carico orizzontale.

H_d	$F_{d,max}$	$FS_{min} = H_d / F_d$
1631,58	1558,73	1,05

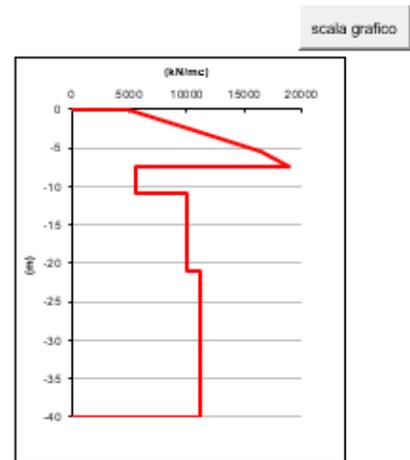
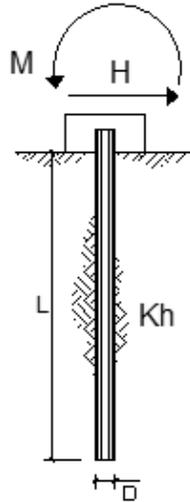
Dove:

- $H_d = H_k / \gamma_T$ è il carico limite orizzontale di progetto;
- $F_{d,max}$ è il massimo carico orizzontale.

La verifica a carico orizzontale risulta soddisfatta.

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Palo soggetto a forze orizzontali
Sollecitazioni lungo il palo allo SLV



strati terreno	descrizione	quote (m)	k_h (kN/m ³)	n_h (kN/m ²)
p.c.=strato 1	Ghiaia in matrice sabbiosa limosa	0,00	5000	2500
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2	Sabbia medio fine	-2,50	10208	2500
<input checked="" type="checkbox"/> strato 3	Sabbia medio fine	-5,50	16458	1500
<input checked="" type="checkbox"/> strato 4	Argilla e argilla limosa sabbiosa	-7,50	5583	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 5	Argilla e argilla limosa sabbiosa	-11,00	10050	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 6	Argilla e argilla limosa sabbiosa	-21,00	11167	

Diametro del palo	1,2 (m)
J palo	0,10179 (m ⁴)
Lunghezza del palo	40 (m)
Forza orizzontale in testa	1558,73 (kN)
Momento in testa	0 (kNm)
E cls	33300 (Mpa)
dimensione elementi	0,2 (m)

- palo impedito di ruotare
 palo impedito di traslare
 palo libero

Calcolo
(ctrl+r)

Nella seguente tabella vengono riportate le sollecitazioni agenti in testa al palo e alle profondità di 10m e 20m allo stato limite SLV.

Tabella 10-13 Pali spalle- Sollecitazioni in testa e alle profondità di 10 m e 20 m (SLV)

Profondità [m]	SLV [kNm]
0	4870,22
10	913,14
20	70

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Di seguito vengono riportati i diagrammi delle sollecitazioni di momento e taglio allo SLV lungo il palo.

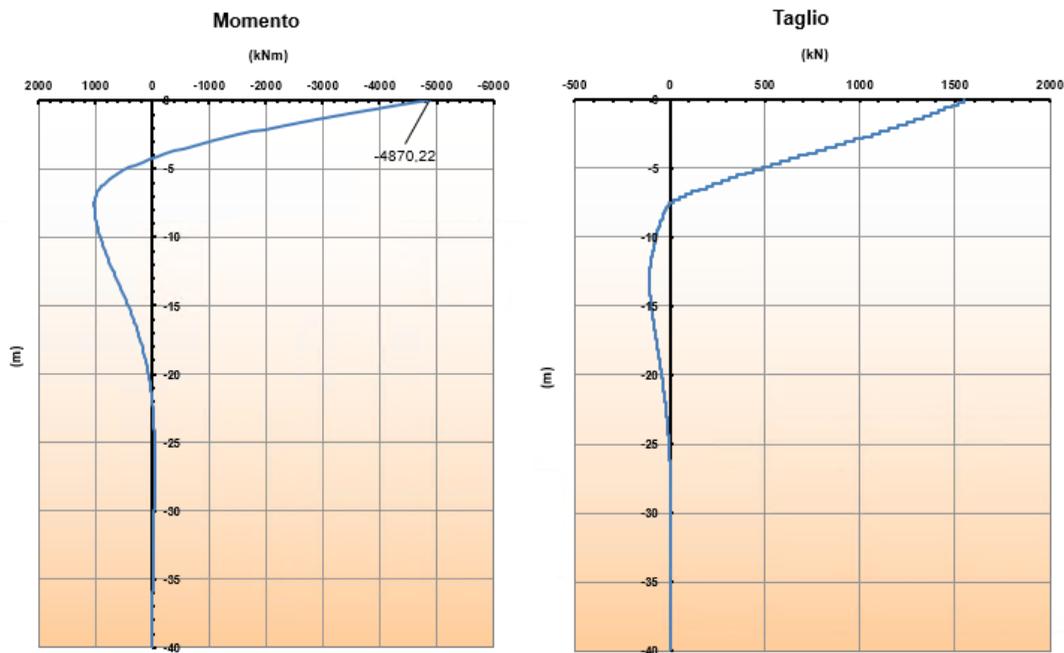
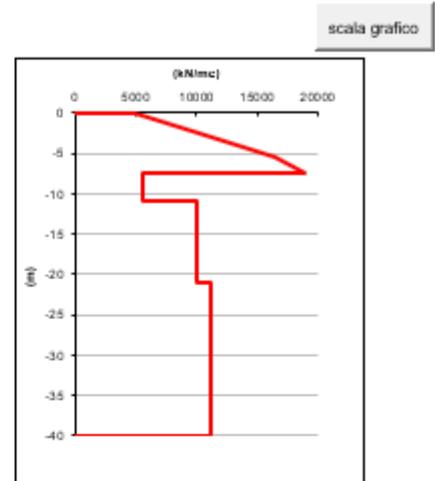
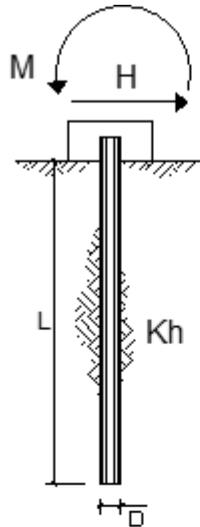


Figura 10-8 Pali spalle- Sollecitazioni di momento e taglio allo SLV lungo il palo

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Sollecitazioni lungo il palo allo SLE



strati terreno	descrizione	quote (m)	k_h (kN/m ³)	n_h (kN/m ³)
p.c. = strato 1	Ghiaia in matrice sabbiosa limosa	0,00	5000	2500
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2	Sabbia medio fine	-2,50	10208	2500
<input checked="" type="checkbox"/> strato 3	Sabbia medio fine	-5,50	16458	1500
<input checked="" type="checkbox"/> strato 4	Argilla e argilla limosa sabbiosa	-7,50	5583	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 5	Argilla e argilla limosa sabbiosa	-11,00	10050	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 6	Argilla e argilla limosa sabbiosa	-21,00	11167	

Diametro del palo	1,2	(m)
J palo	0,10179	(m ⁴)
Lunghezza del palo	40	(m)
Forza orizzontale in testa	60,8	(kN)
Momento in testa	0	(kNm)
E cls	33300	(Mpa)
dimensione elementi	0,2	(m)

- palo impedito di ruotare
 palo impedito di traslare
 palo libero

Calcolo
(ctrl+r)

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Di seguito vengono riportati i diagrammi delle sollecitazioni di momento e taglio allo SLE lungo il palo.

Tabella 10-14 Pali spalle- Sollecitazioni in testa e alle profondità di 10 m e 20 m (SLE)

Profondità [m]	SLE [kNm]
0	189,97
10	36
20	2,7

Di seguito vengono riportati i diagrammi delle sollecitazioni di momento e taglio allo SLE lungo il palo.

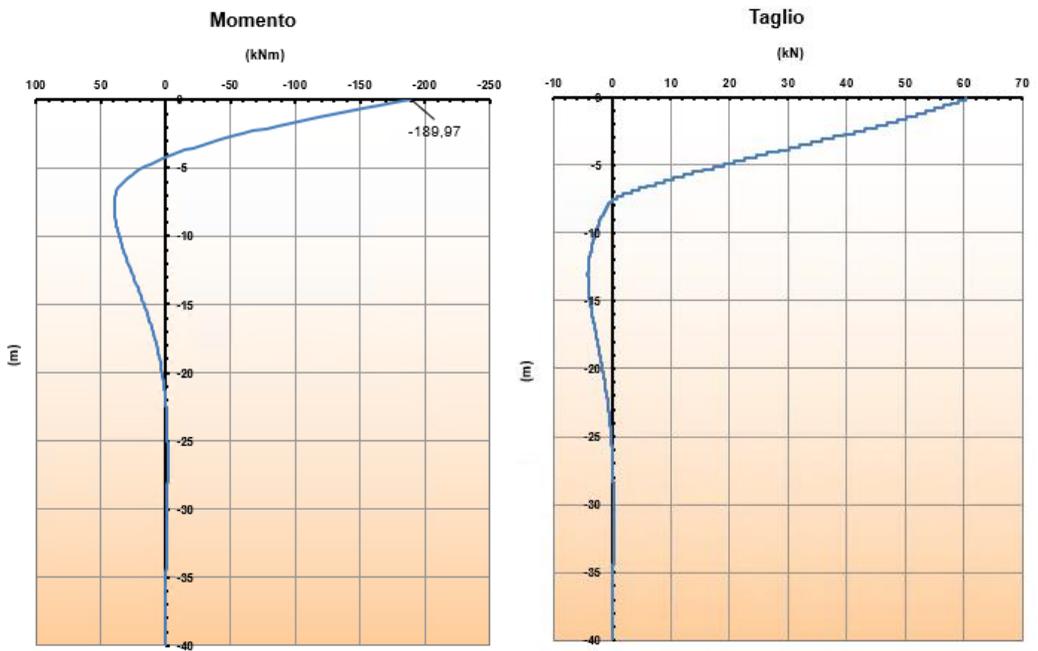


Figura 10-9 Pali spalle- Sollecitazioni di momento e taglio allo SLE lungo il palo

10.7.4 Verifiche strutturali dei pali

Nella seguente tabella si riportano le caratteristiche delle sezioni analizzate.

Tabella 10-15 Pali spalle -Armature

Elemento strutturale	Diametro sezione [cm]	Sezione [-]	Armatura [-]	Ordine armatura [-]	Copriferro [cm]	Armatura a taglio (spirale) [-]
Pali spalle	120	1-z=0m	24 Ø32	1	8	Ø12/10
			24 Ø32	2	13,4	Ø12/10
		2-z= -10m	24Ø32	1	8	Ø12/20
		3-z=-20	24Ø16	1	8	Ø12/20

Verifiche allo stato limite SLV per sollecitazioni flettenti

Nella tabella seguente si riportano le azioni sollecitanti e resistenti in termini di momento flettente.

Tabella 10-16 Pali spalle -Azioni sollecitanti e resistenti di momento flettente

Elemento strutturale	Sezione [-]	M _{ed}	M _{rd}
Pali spalle	1-z=0m	4870,22	5750,9
	2-z=-10m	913	3327
	2-z=-20m	70	955,6

dove:

- M_{ed} è il momento sollecitante di progetto;
- M_{rd} è il momento resistente

Di seguito si riporta il calcolo del momento resistente della sezione in testa al palo.

Figura 10-10 Pali spalle -Calcolo del momento resistente della sezione 1 in testa al palo z=0m.

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Il momento resistente calcolato mediante VcaSLU risulta di poco maggiore rispetto al momento plastico considerato per il calcolo del carico limite orizzontale. Tale differenza è dovuta all'aver considerato, nel primo caso un copriferro medio tra i due ordini di armatura, nel secondo caso il doppio ordine di armatura specificando le rispettive posizioni del copriferro.

Di seguito si riporta il calcolo del momento resistente della sezione posta a z=-10 m da p.c. e a z=-20m.

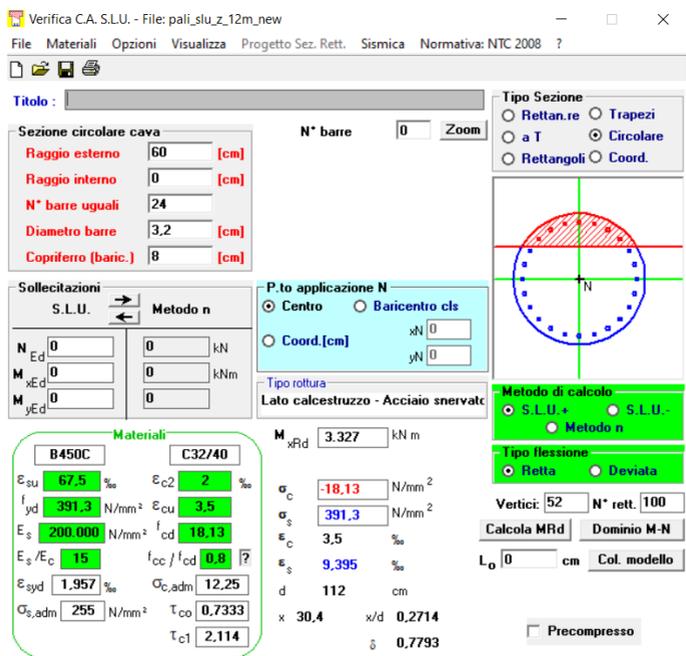


Figura 10-11 Pali spalle -Calcolo del momento resistente della sezione 2 posta a z=-10m.

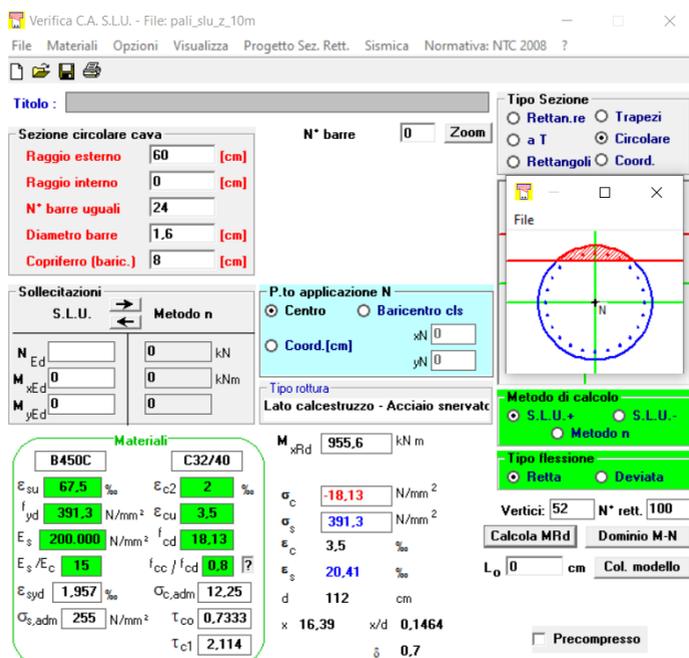


Figura 10-12 Pali spalle - Calcolo del momento resistente della sezione 3 posta a z=-20m.

Le verifiche risultano soddisfatte.

Verifiche allo stato limite SLV per sollecitazioni taglianti

Si riporta di seguito la verifica a taglio nella sezione 1 posta a z=0m.

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI			
Calcestruzzo			
SLU			
Classe			
$R_{ck} \geq$	40	MPa	classe identificativa del calcestruzzo
γ_c	1,5		coefficiente parziale SLU
α_{cc}	0,85		fattore che tiene conto degli effetti dei carichi di lunga durata
$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	33,2	MPa	resistenza a compressione cilindrica caratteristica
$f_{cm} = f_{ck} + 8$	41,2	MPa	resistenza a compressione cilindrica media
$f_{cd} = \alpha \cdot f_{ck} / \gamma_c$	18,81	MPa	resistenza a compressione cilindrica di progetto per SLU
$f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{(2/3)}$	3,10	MPa	resistenza a trazione media
$f_{ctk 0.05} = 0.7 f_{ctm}$	2,17	MPa	resistenza a trazione caratteristica (frattile 5%)
$f_{ctk 0.95} = 1.3 f_{ctm}$	4,03	MPa	resistenza a trazione caratteristica (frattile 95%)
$f_{ctd} = f_{ctk 0.05} / \gamma_c$	1,45	MPa	resistenza a trazione di progetto
$f_{ctfm} = 1.2 f_{ctm}$	3,72	MPa	resistenza a trazione per flessione media (frattile 50%)
$f_{ctfk} = 0.7 f_{ctfm}$	2,60	MPa	resistenza a trazione per flessione caratteristica (frattile 5%)
$f_{ctfk} = 1.3 f_{ctfm}$	4,83	MPa	resistenza a trazione per flessione caratteristica (frattile 95%)
$E_{cm} = 22000 (f_{cm} / 10)$	33643	MPa	modulo elastico
SLE			
$\sigma_1 = f_{ctm} / 1.2$	2,58	MPa	stato limite di formazione delle fessure
$\sigma_c < 0.60 f_{ck}$	19,92	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio (per combinazione rara)
$\sigma_c < 0.45 f_{ck}$	14,94	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio (per combinazione quasi permanente)
Acciaio B450C			
SLU			
$f_{yk} \geq$	450	MPa	tensione di snervamento caratteristica (frattile 5%)
γ_s	1,15		coefficiente parziale SLU
$f_{ytd} = f_{yk} / \gamma_s$	391,30	MPa	tensione di snervamento di calcolo
E_s	210000	MPa	modulo elastico
SLE			
$\sigma_s < 0.80 f_{yk}$	360	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio
n	15		coefficiente omogeneizzazione
δ	1,05	cm	copriferro

Taglio resistente nelle sezioni con armatura trasversale a taglio

Taglio agente $V_{Ed} = 1558,73 \text{ kN}$

Larghezza minima della sezione	b_w	1200	mm	
Altezza della sezione	h	960	mm	
Copriferro della sezione	δ	10,5	mm	
Altezza utile della sezione	d	949,5	mm	
Diametro delle staffe	d_w	12	mm	
Numero di braccia	n_w	2		
Area totale staffe	A_{sw}	226,08	mm ²	
Passo delle staffe	s	100	mm	
Inclinazione delle staffe	α	90	deg	
Inclinazione delle bielle compresse	θ	21,8	deg	$\cot(\theta) \text{ 2,5}$
Coeff. maggiorativo per sezioni compresse	α_c	1		

Resistenza di calcolo a "taglio-trazione" $V_{Rsd} = 1890,0 \text{ kN}$ $V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{ytd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$

Resistenza di calcolo a "taglio-comprensione" $V_{Rcd} = 3326,3 \text{ kN}$ $V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta)$

Resistenza a taglio della sezione $V_{Rd} = 1890,0 \text{ kN}$ $V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$

Esito della verifica *soddisfatta*

La verifica risulta soddisfatta disponendo armatura a taglio realizzata mediante spirale $\varnothing 12$ passo 10.

Si riporta di seguito la verifica a taglio nella sezione 2 posta a $z=10\text{m}$.

Taglio resistente nelle sezioni senza armatura trasversale a taglio

Taglio agente		$V_{Ed} = 101,15$		kN	
Larghezza minima della sezione	b_w	1200	mm	Diametro	
Altezza della sezione	h	960	mm		
Copriferro della sezione	δ	80	mm		
Altezza utile della sezione	d	880	mm		
n° ferri zona tesa		17			
diametro ferri zona tesa		32	mm		
Armatura totale longitudinale	A_l	13665,3	mm²		
	k	1,477			
Rapporto geom. di armatura longitudin	ρ_l	0,012		< 0,02	
Sforzo normale agente	N_{Ed}	0	kN		
Tensione di compressione agente	σ_{cp}	0	Mpa	< 0,2 x $f_{cd} = 3,7627$	Mpa
Resistenza unitaria a taglio	v_{min}	0,362			
Taglio resistente	V_{Rd}	636,7	kN		

Esito della verifica Soddisfatta, non occorre armatura specifica a taglio

La verifica a taglio risulta soddisfatta senza la disposizione di armatura specifica a taglio. Tuttavia si dispone armatura a taglio realizzata mediante spirale $\varnothing 12$ passo 20.

Si riporta di seguito la verifica a taglio nella sezione 3 posta a $z=20\text{m}$.

Taglio resistente nelle sezioni senza armatura trasversale a taglio

Taglio agente		$V_{Ed} = 50$		kN	
Larghezza minima della sezione	b_w	1200	mm	Diametro	
Altezza della sezione	h	960	mm		
Copriferro della sezione	δ	80	mm		
Altezza utile della sezione	d	880	mm		
n° ferri zona tesa		19			
diametro ferri zona tesa		16	mm		
Armatura totale longitudinale	A_l	3818,24	mm²		
	k	1,477			
Rapporto geom. di armatura longitudin	ρ_l	0,003		< 0,02	
Sforzo normale agente	N_{Ed}	0	kN		
Tensione di compressione agente	σ_{cp}	0	Mpa	< 0,2 x $f_{cd} = 3,7627$	Mpa
Resistenza unitaria a taglio	v_{min}	0,362			
Taglio resistente	V_{Rd}	416,2	kN		

Esito della verifica Soddisfatta, non occorre armatura specifica a taglio

La verifica a taglio risulta soddisfatta senza la disposizione di armatura specifica a taglio. Tuttavia si dispone armatura a taglio realizzata mediante spirale $\varnothing 12$ passo 20.

Verifica allo stato limite SLE

Si riporta di seguito il calcolo delle tensioni allo SLE e la verifica allo stato limite di apertura delle fessure.

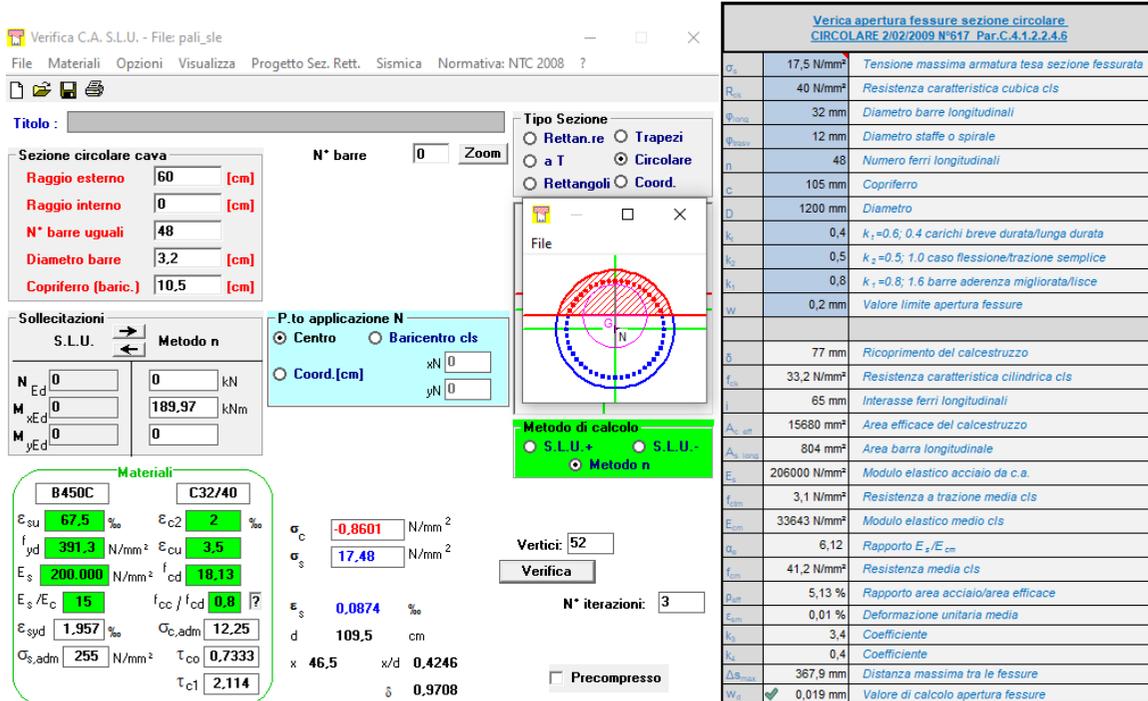


Figura 10-13Pali spalle- Verifiche SLE - Sez 1

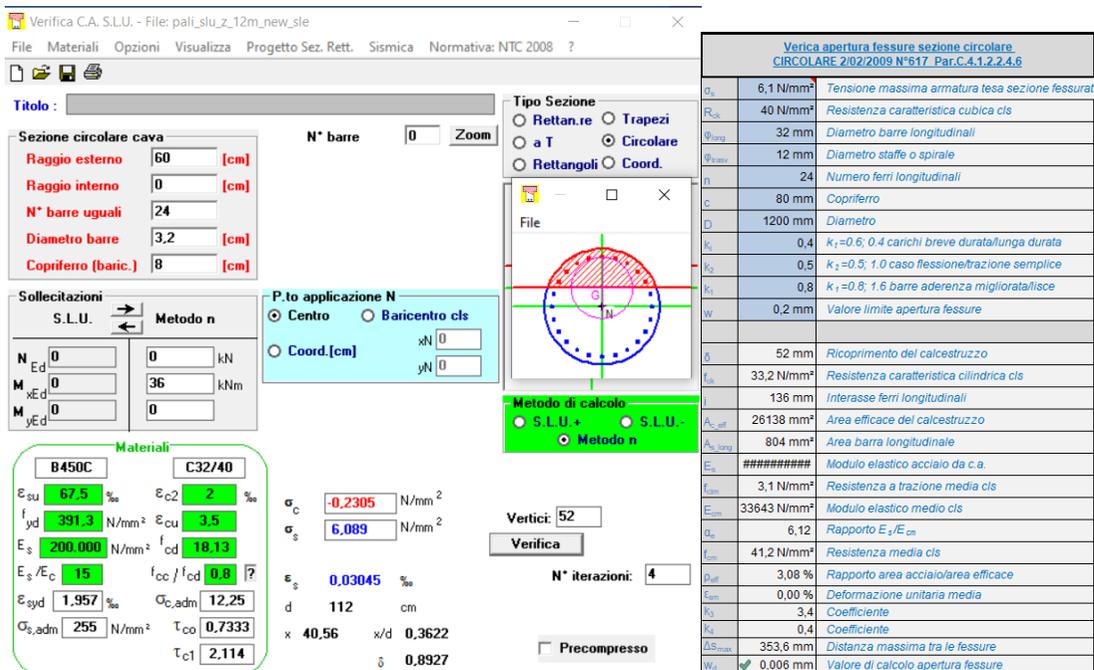


Figura 10-14 Pali spalle- Verifiche SLE – Sez 2

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

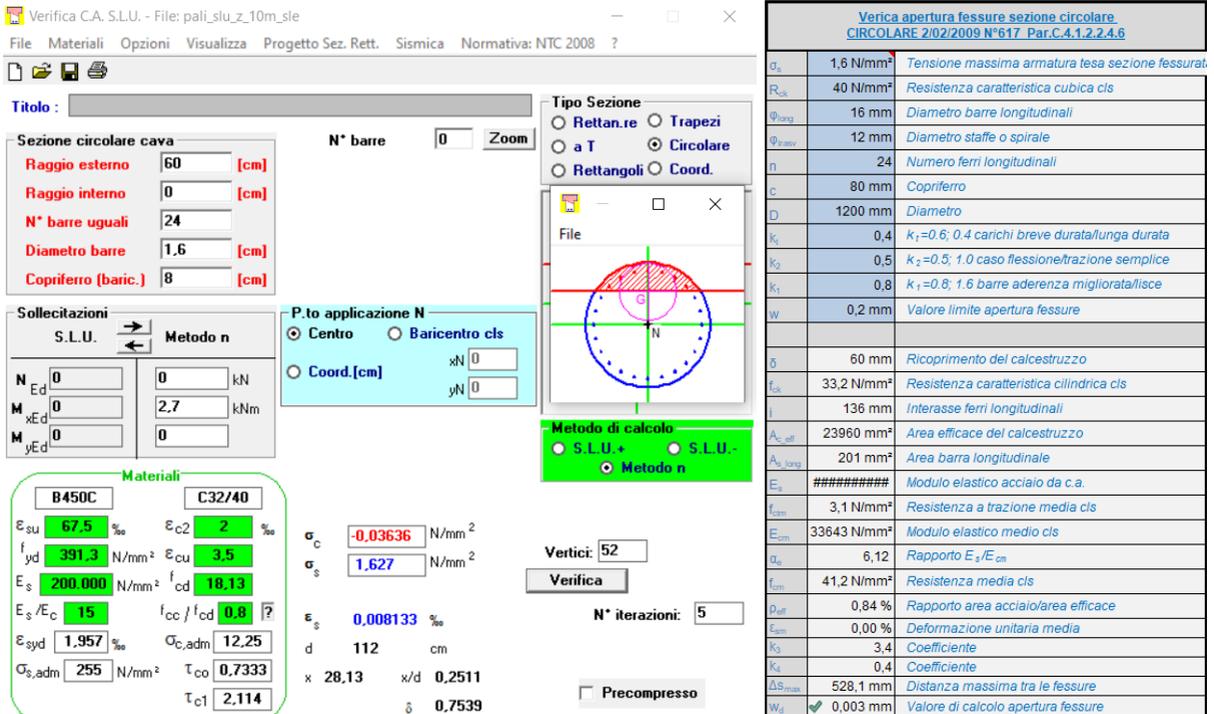


Figura 10-15 Pali spalle - Verifiche SLE – Sez 3

La verifica allo stato limite di apertura delle fessure risulta soddisfatta.

Si riporta di seguito la verifica allo stato limite di limitazione delle tensioni.

Tabella 10-17 Pali spalle -Verifiche SLE -Tensioni di esercizio

Elemento strutturale	Sezione [-]	M_{es} [kNm]	$ \sigma_{cmax} $ [MPa]	$ \sigma_{smax} $ [MPa]	w [mm]
Pali spalle	1-z=0m	189,97	0,86	17,48	0,019
	2-z=-10m	36	0,23	6,089	0,006
	3-z=-20m	2,7	0,03	1,7	0,003

dove:

- M_{es} è il valore del momento di calcolo in condizioni di esercizio;
- σ_{cmax} è la tensione massima nel calcestruzzo;
- σ_{smax} è la tensione di compressione o trazione massima nell'acciaio.

La verifica allo stato limite di limitazione delle tensioni risulta soddisfatta.

10.8 ANNALISI PLATEA DI FONDAZIONE

10.8.1 Sollecitazioni platea di fondazione

Si riportano di seguito i contour delle massime sollecitazioni di taglio e momento agenti nella platea di fondazione.

Sollecitazioni allo SLU

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

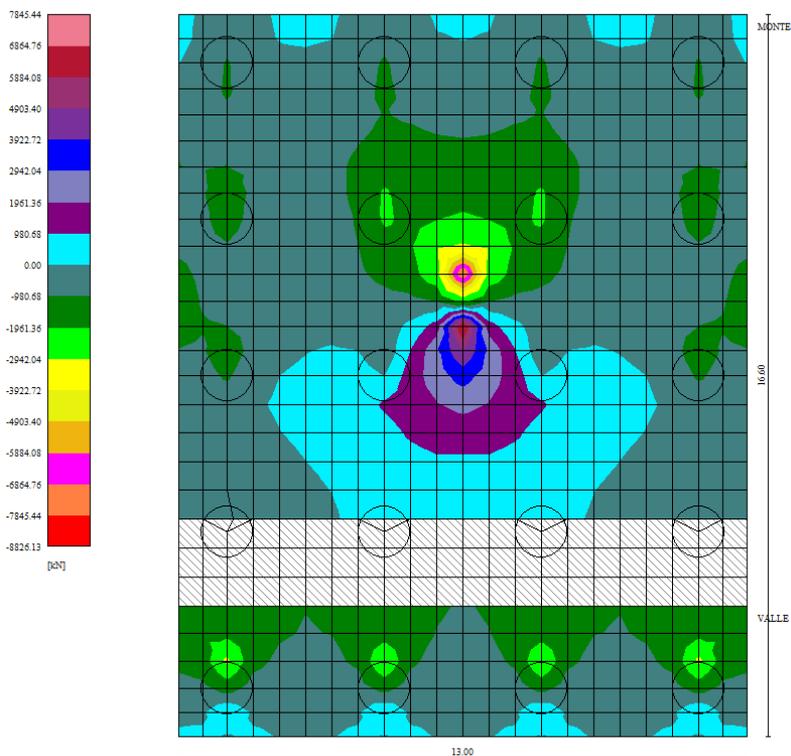


Figura 10-16 Platea di fondazione spalle – Taglio Ty (Combinazione n°5)

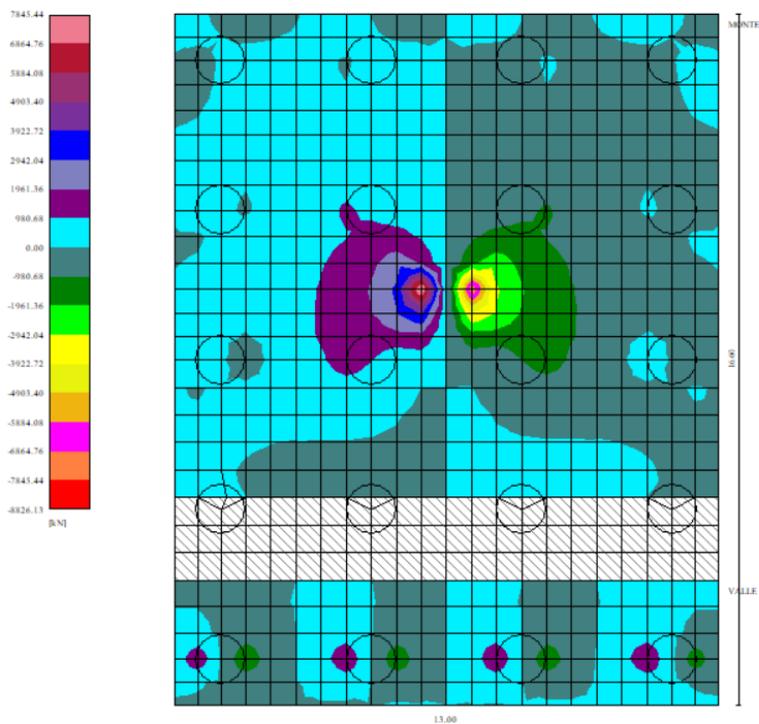


Figura 10-17 Platea di fondazione spalle – Taglio Tx (Combinazione n°5)

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

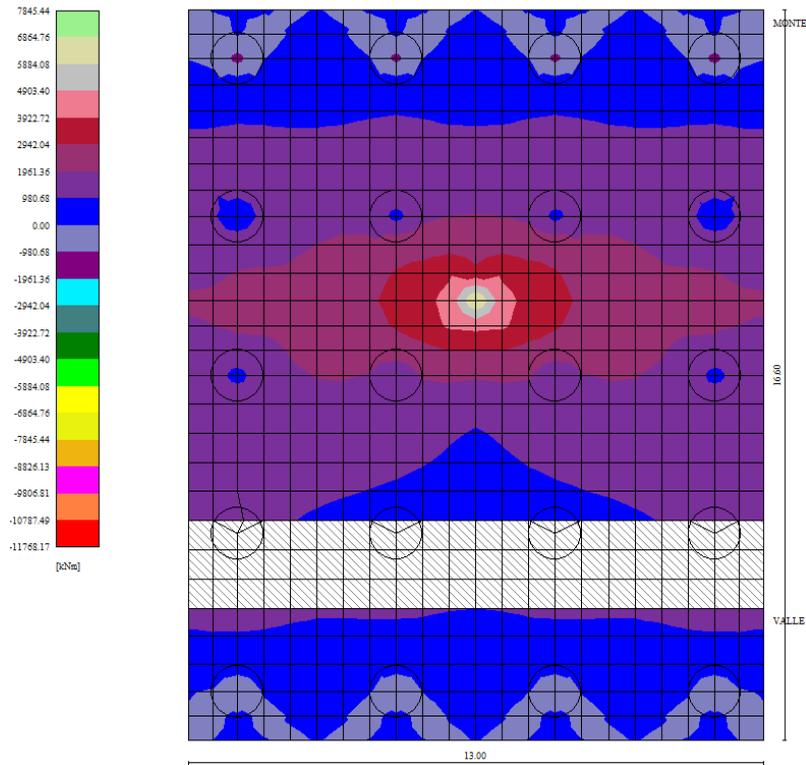


Figura 10-18 Platea di fondazione spalle – Momento Mymax (Combinazione n°6)

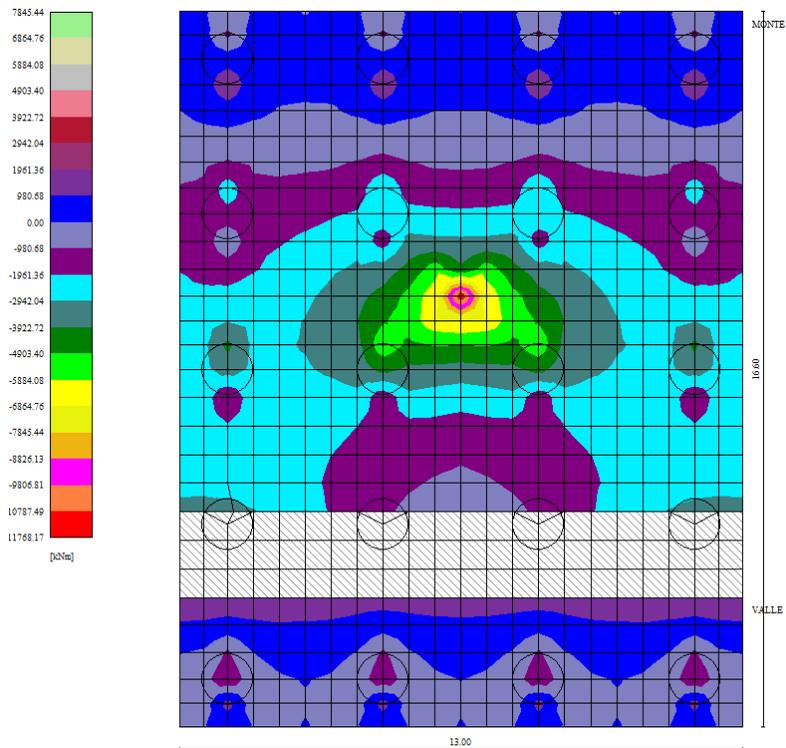


Figura 10-19 Platea di fondazione spalle – Momento Mymin (Combinazione n°5)

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

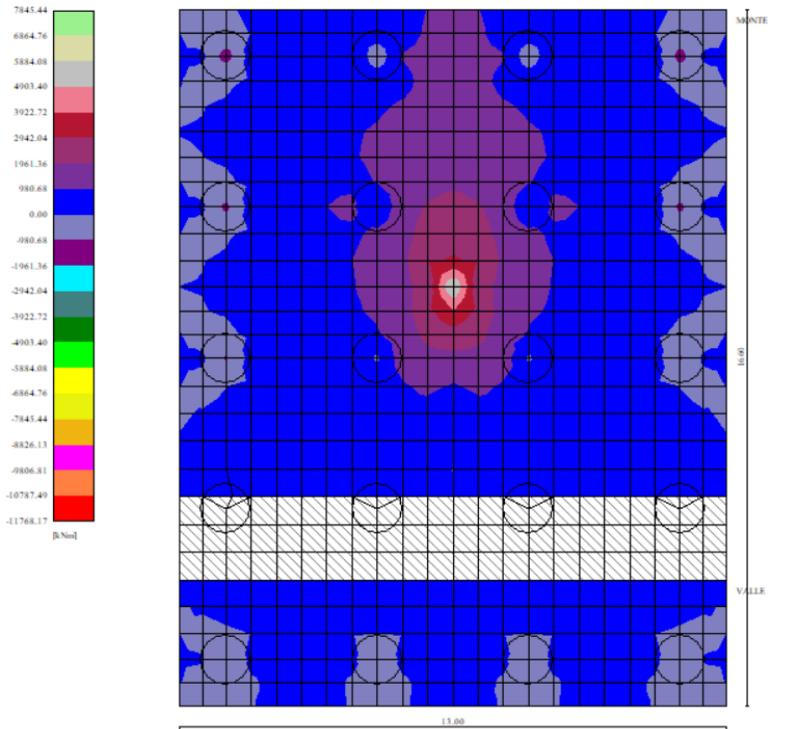


Figura 10-20 Platea di fondazione spalle – Momento M_{xmax} (Combinazione n°6)

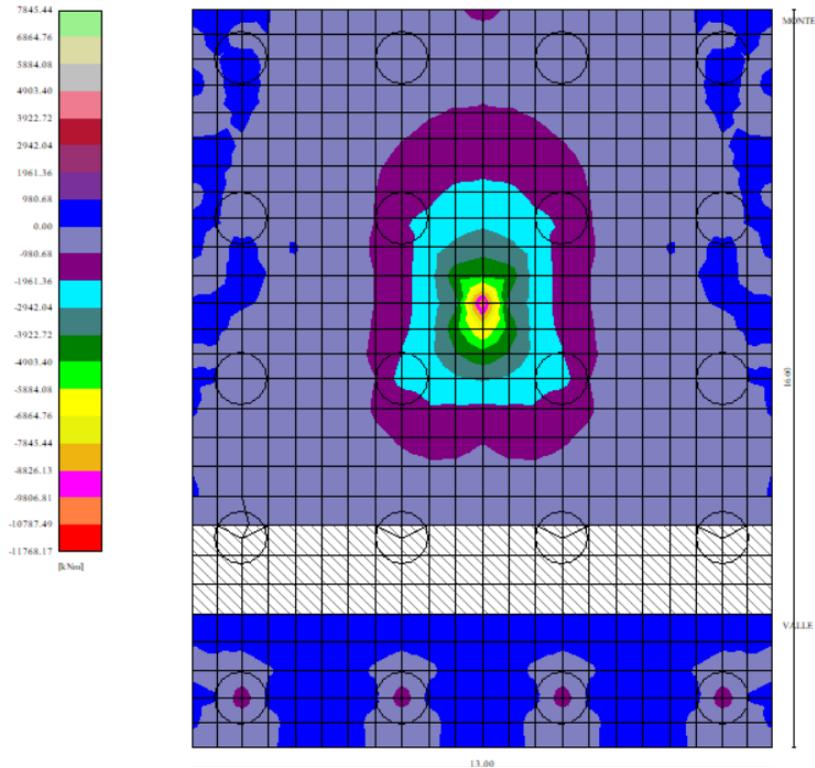


Figura 10-21 Platea di fondazione spalle – Momento M_{xmin} (Combinazione n°5)

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Sollecitazioni allo SLE

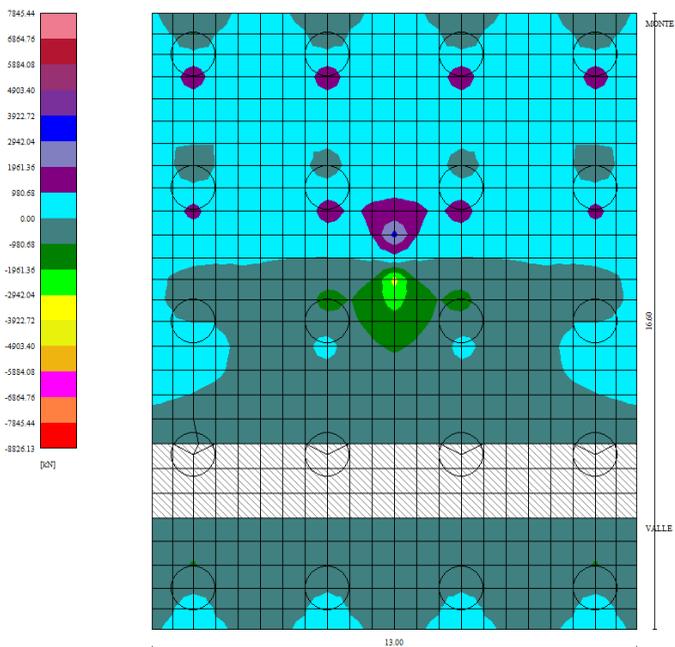


Figura 10-22 Platea di fondazione spalle – Taglio Ty (Combinazione n°20)

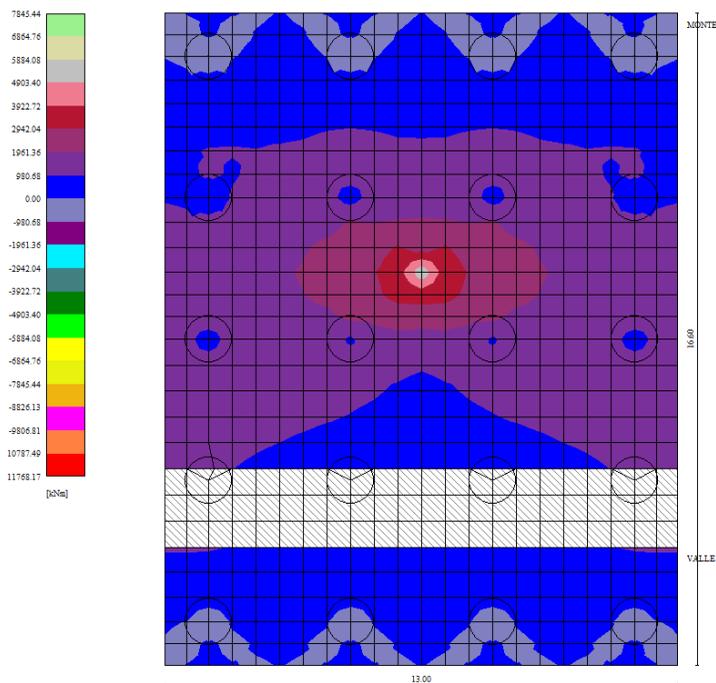


Figura 10-23 Platea di fondazione spalle – Momento My (Combinazione n°20)

Dove:

M_x , M_y sono i momenti flettenti, espressi in [kNm];

Tx, Ty sono i tagli, espressi in [kN]. Positivi se tendono le fibre contro terra (a monte)
I momenti flettenti sono positivi se tendono le fibre inferiori (intradosso fondazione).

10.8.2 Verifiche strutturali della platea di fondazione

Nella seguente tabella vengono riportate le dimensioni geometriche della fondazione, le armature a flessione e le armature a taglio.

Tabella 10-18 Platea di fondazione -Geometria e armature.

Elemento strutturale	B [cm]	H [cm]	Distanza dall'estradosso [cm]	Armatura a flessione		Armatura a taglio
				In direzione longitudinale	In direzione trasversale	
Platea di fondazione	100	220	6	Ø28/20+infittimento Ø28/10 in prossimità dei pali	Ø28/20+infittimento Ø28/10 in prossimità dei pali	Ø16- 40/40
			13	Ø28/20	-	
			214	Ø28/20+infittimento Ø28/10 in prossimità dei pali	Ø28/20+infittimento Ø28/10 in prossimità dei pali	

Verifiche allo stato limite SLV per sollecitazioni flettenti in direzione longitudinale

La verifica viene effettuata considerando una sezione della platea di fondazione di lunghezza 7,5 m. Considerando una sollecitazione media di momento negativo di 4000 kNm nella zona centrale della platea si ottiene un momento M_{min} totale di 30000 kNm, mentre considerando una sollecitazione media di momento positivo di 3400 kNm nella zona centrale della platea si ottiene un momento M_{max} totale di 25500 kNm.

$$M_{\min} = -30000 \text{ kNm}$$

$$M_{\max} = 25000 \text{ kNm}$$

Tabella 10-19 Platea di fondazione – Geometria e armature di calcolo (B=750 cm).

Elemento strutturale	B [cm]	H [cm]	Distanza dall'estradosso [cm]	Armatura a flessione		Armatura a taglio
				In direzione longitudinale	In direzione trasversale	
Platea di fondazione	750	220	6	51Ø28	51Ø28	Ø16- 40/40
			13	18Ø28	-	
			214	51Ø28	51Ø28	

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Si riporta la verifica a flessione SLU-:

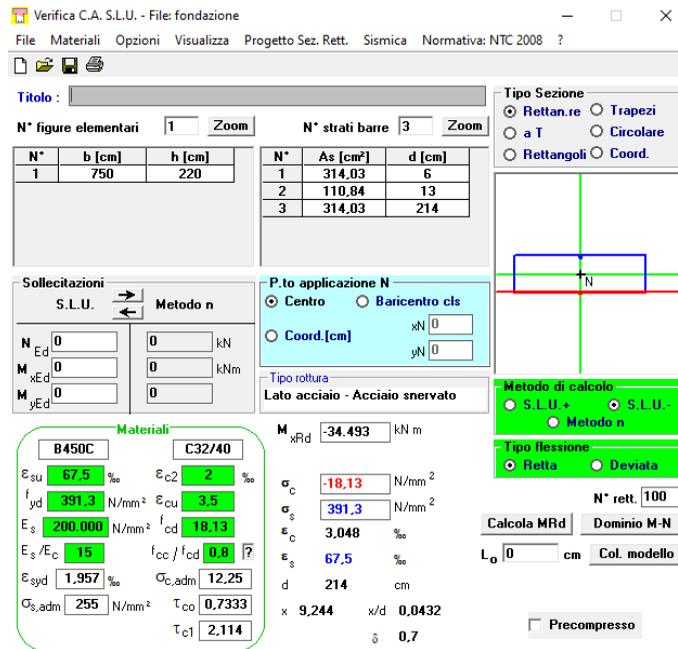


Figura 10-24 Platea di fondazione -Calcolo del momento resistente in direzione longitudinale (SLU -)

La verifica risulta soddisfatta.

Si riporta la verifica a flessione SLU+:

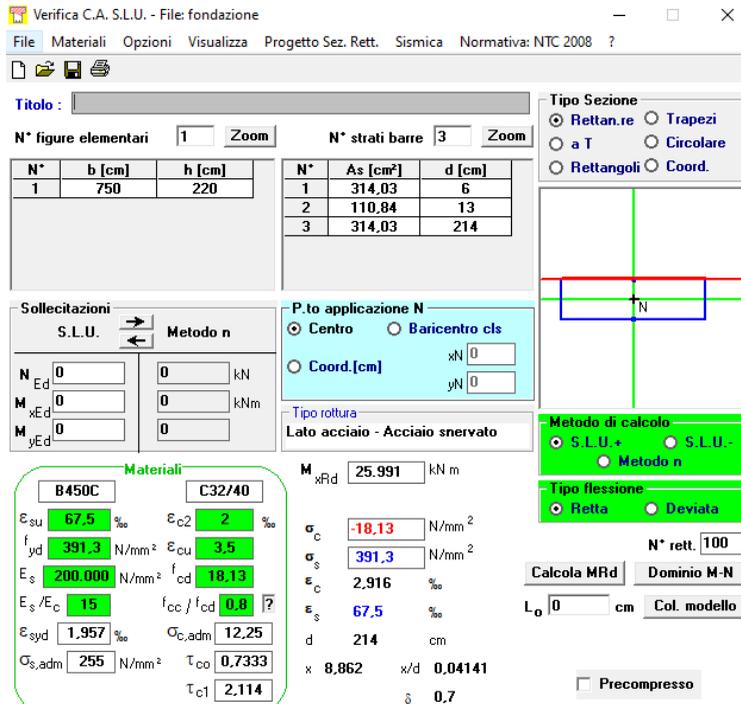


Figura 10-25 Platea di fondazione -Calcolo del momento in direzione longitudinale (SLU +)

La verifica risulta soddisfatta.

Verifiche allo stato limite SLV per sollecitazioni taglianti in direzione longitudinale

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI			
Calcestruzzo			
SLU			
Classe			
$R_{ck} \geq$	40	MPa	classe identificativa del calcestruzzo
γ_o	1,5		coefficiente parziale SLU
α_{oo}	0,85		fattore che tiene conto degli effetti dei carichi di lunga durata
$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	28	MPa	resistenza a compressione cilindrica caratteristica
$f_{cm} = f_{ck} + 8$	36	MPa	resistenza a compressione cilindrica media
$f_{cd} = \alpha \cdot f_{ck} / \gamma_o$	15,87	MPa	resistenza a compressione cilindrica di progetto per SLU
$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{(2/3)}$	2,77	MPa	resistenza a trazione media
$f_{ctk,0.05} = 0.7 \cdot f_{ctm}$	1,94	MPa	resistenza a trazione caratteristica (frattile 5%)
$f_{ctk,0.95} = 1.3 \cdot f_{ctm}$	3,60	MPa	resistenza a trazione caratteristica (frattile 95%)
$f_{ctd} = f_{ctk,0.05} / \gamma_c$	1,29	MPa	resistenza a trazione di progetto
$f_{ctm} = 1.2 \cdot f_{ctm}$	3,32	MPa	resistenza a trazione per flessione media (frattile 50%)
$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm}$	2,32	MPa	resistenza a trazione per flessione caratteristica (frattile 5%)
$f_{ctk} = 1.3 \cdot f_{ctm}$	4,32	MPa	resistenza a trazione per flessione caratteristica (frattile 95%)
$E_{cm} = 22000 (f_{cm} / 10)^2$	32308	MPa	modulo elastico
SLE			
$\sigma_s = f_{ctm} / 1.2$	2,31	MPa	stato limite di formazione delle fessure
$\sigma_c < 0.60 \cdot f_{ck}$	16,80	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio (per combinazione rara)
$\sigma_c < 0.45 \cdot f_{ck}$	12,60	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio (per combinazione quasi permanente)
Acciaio B450C			
SLU			
$f_{yk} \geq$	450	MPa	tensione di snervamento caratteristica (frattile 5%)
γ_s	1,15		coefficiente parziale SLU
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$	391,30	MPa	tensione di snervamento di calcolo
E_s	210000	MPa	modulo elastico
SLE			
$\sigma_s < 0.80 \cdot f_{yk}$	360	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio
n	15		coefficiente omogeneizzazione
δ	6	cm	copriferro

Taglio resistente nelle sezioni con armatura trasversale a taglio					
<i>Taglio agente</i> $V_{Ed} = 2205$ kN					
Larghezza minima della sezione	b_w	1000	mm		
Altezza della sezione	h	2200	mm		
Copriferro della sezione	δ	60	mm		
Altezza utile della sezione	d	2140	mm		
Diametro delle staffe	d_w	16	mm		
Numero di braccia	n_w	2,5			
Area totale staffe	A_{sw}	502,40	mm ²		
Passo delle staffe	s	400	mm		
Inclinazione delle staffe	α	90	deg		1
Inclinazione delle bielle compresse	θ	21,8	deg	$\cot(\theta)$	2,50
Coeff. maggiorativo per sezioni compresse	α_c	1			2,5
Resistenza di calcolo a "taglio-trazione"	V_{Rtd}	2366,5	kN	$V_{Rtd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$	
Resistenza di calcolo a "taglio-comprensione"	V_{Rcd}	5268,8	kN	$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta)$	
Resistenza a taglio della sezione	V_{Rd}	2366,5	kN	$V_{Rd} = \min(V_{Rtd}, V_{Rcd})$	
Esito della verifica	soddisfatta				

La verifica a taglio risulta soddisfatta.

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Verifiche allo stato limite SLV per sollecitazioni flettenti in direzione trasversale

La verifica viene effettuata considerando una sezione della platea di fondazione di lunghezza 7,5 m. Considerando una sollecitazione media di momento negativo di 2500 kNm nella zona centrale della platea si ottiene un momento M_{min} totale di 18750 kNm, mentre considerando una sollecitazione media di momento positivo di 1500 kNm nella zona centrale della platea si ottiene un momento M_{max} totale di 11250 kNm.

$M_{min} = -18750 \text{ kNm}$

$M_{max} = 11250 \text{ kNm}$

Si riporta la verifica a flessione SLU-:

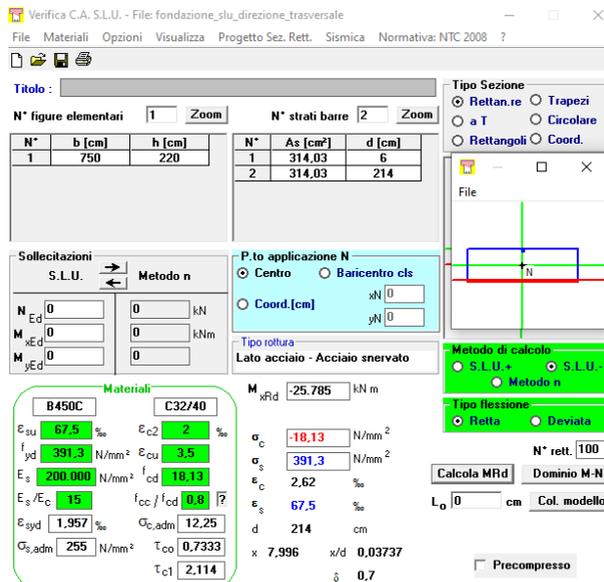


Figura 10-26 Platea di fondazione - Calcolo del momento resistente in direzione trasversale (SLU -)

La verifica risulta soddisfatta.

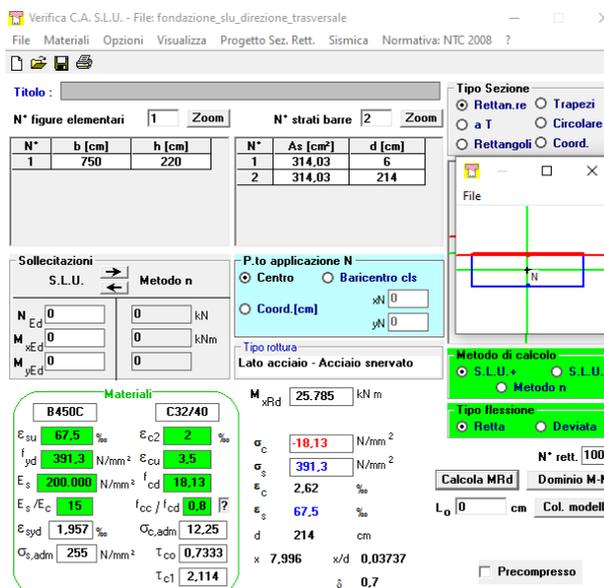


Figura 10-27 Platea di fondazione - Calcolo del momento resistente in direzione trasversale (SLU +)

La verifica risulta soddisfatta.

Verifiche allo stato limite SLV per sollecitazioni taglianti in direzione trasversale

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI			
Calcestruzzo			
SLU			
Classe			
$R_{ck} \geq$	40	MPa	classe identificativa del calcestruzzo
γ_c	1,5		coefficiente parziale SLU
α_{99}	0,85		fattore che tiene conto degli effetti dei carichi di lunga durata
$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	28	MPa	resistenza a compressione cilindrica caratteristica
$f_{ctm} = f_{ck} + 8$	36	MPa	resistenza a compressione cilindrica media
$f_{ctd} = \alpha f_{ctk} / \gamma_c$	15,87	MPa	resistenza a compressione cilindrica di progetto per SLU
$f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{(2/3)}$	2,77	MPa	resistenza a trazione media
$f_{ctk 0.05} = 0.7 f_{ctm}$	1,94	MPa	resistenza a trazione caratteristica (frattile 5%)
$f_{ctk 0.95} = 1.3 f_{ctm}$	3,60	MPa	resistenza a trazione caratteristica (frattile 95%)
$f_{ctd} = f_{ctk 0.05} / \gamma_c$	1,29	MPa	resistenza a trazione di progetto
$f_{ctm} = 1.2 f_{ctm}$	3,32	MPa	resistenza a trazione per flessione media (frattile 50%)
$f_{ctk} = 0.7 f_{ctm}$	2,32	MPa	resistenza a trazione per flessione caratteristica (frattile 5%)
$f_{ctk} = 1.3 f_{ctm}$	4,32	MPa	resistenza a trazione per flessione caratteristica (frattile 95%)
$E_{cm} = 22000 (f_{cm} / 10)^2$	32308	MPa	modulo elastico
SLE			
$\sigma_t = f_{ctm} / 1.2$	2,31	MPa	stato limite di formazione delle fessure
$\sigma_c < 0.60 f_{ck}$	16,80	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio (per combinazione rara)
$\sigma_c < 0.45 f_{ck}$	12,60	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio (per combinazione quasi permanente)
Acciaio B450C			
SLU			
$f_{yk} \geq$	450	MPa	tensione di snervamento caratteristica (frattile 5%)
γ_s	1,15		coefficiente parziale SLU
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$	391,30	MPa	tensione di snervamento di calcolo
E_s	210000	MPa	modulo elastico
SLE			
$\sigma_s < 0.80 f_{yk}$	360	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio
n	15		coefficiente omogeneizzazione
δ	6	cm	copriferro

Taglio resistente nelle sezioni con armatura trasversale a taglio

Taglio agente $V_{Ed} = 2000 \text{ kN}$					
Larghezza minima della sezione	b_w	1000	mm		
Altezza della sezione	h	2200	mm		
Copriferro della sezione	δ	60	mm		
Altezza utile della sezione	d	2140	mm		
Diametro delle staffe	d_w	16	mm		
Numero di braccia	n_w	2,5			
Area totale staffe	$A_{s,w}$	502,40	mm ²		
Passo delle staffe	s	400	mm		
Inclinazione delle staffe	α	90	deg		1
Inclinazione delle bielle compresse	θ	21,8	deg	$\cot(\theta)$	2,50
Coef. maggiorativo per sezioni compresse	α_c	1			2,5
Resistenza di calcolo a "taglio-trazione"	$V_{Rtd} =$	2366,5	kN	$V_{Rtd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{s,w}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$	
Resistenza di calcolo a "taglio-comprensione"	$V_{Rcd} =$	5268,8	kN	$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta)$	
Resistenza a taglio della sezione	$V_{Rd} =$	2366,5	kN	$V_{Rd} = \min (V_{Rtd}, V_{Rcd})$	
Esito della verifica	soddisfatta				

Verifica mensola tozza SLU

Materiali				
cls	classe			
		$f_{cd} =$	18,81	MPa
acciaio		$f_{yd} =$	391,30	MPa
Geometria				
altezza	H =	2,20	m	
copriferro	c =	0,06	m	
alt. utile	d =	2,14	m	
dist. parete	a =	1,90	m	
l. mens.	l =	2,33	m	
Largh.	b =	2,90	m	
tan ψ	tan $\psi =$	0,827		
	$\lambda =$	1,209		
Armatura				
Presenza di staffe? y/n		n		
	c =	1		
		Primo strato		Secondo strato
numero ferri		23,0		14
diametro		28	mm	28
area		141,62	cmq	86,21
Area Tot.		227,83	cmq	
Carichi applicati				
Carico verticale	$R_{pEd} =$	5794,4	kN	
Carico Orizzontale	$H_{Ed} =$	0,0	kN	
Carico Armatura	$R_{sEd} =$	7004	kN	
Carico Biella cls	$R_{cEd} =$	9090	kN	
Resistenza Ultima dell'acciaio				
	$R_{su} =$	8915	kN	$R_{su} / R_{sEd} =$ 1,27
Resistenza Ultima della biella di cls				
	$R_{cu} =$	18973	kN	$R_{cu} / R_{cEd} =$ 2,09

La verifica risulta soddisfatta.

Verifica mensola tozza SLE

Verifica mensola Tozza SLE				
Rif. Normativa	DM2008	C4.1.2.1.5		
Materiali				
cls	classe	C32/40		
rara	$\sigma_{c,rara} =$	19,92	MPa	11,29
q.p.	$\sigma_{c,q.p.} =$	14,94	MPa	
acciaio	$\sigma_{s,max} =$	360,0	MPa	
Carichi applicati SLE Rara				
Reaz. Palo	$R_{pEd} =$	3410,0	kN	
Carico Armatura	$R_{sEd} =$	4121,7	kN	
Carico Biella cls	$R_{cEd} =$	5349,5	kN	
Tensione nell'acciaio				
	$\sigma_s =$	180,9	MPa	
Tensione cls della biella				
	$\sigma_c =$	5,3	MPa	
Carichi applicati SLE Q.P.				
Reaz. Palo	$R_{pEd} =$	3410,0	kN	
Carico Armatura	$R_{sEd} =$	4121,7	kN	
Carico Biella cls	$R_{cEd} =$	5349,5	kN	
Tensione nell'acciaio				
	$\sigma_s =$	180,9	MPa	
Tensione cls della biella				
	$\sigma_c =$	5,3	MPa	

La verifica risulta soddisfatta.

10.9 ANALISI PARAMENTO ANTERIORE

10.9.1 Sollecitazioni paramento anteriore

Si riportano di seguito i contour delle massime sollecitazioni di taglio e momento agenti sul paramento anteriore.

Sollecitazioni allo SLU

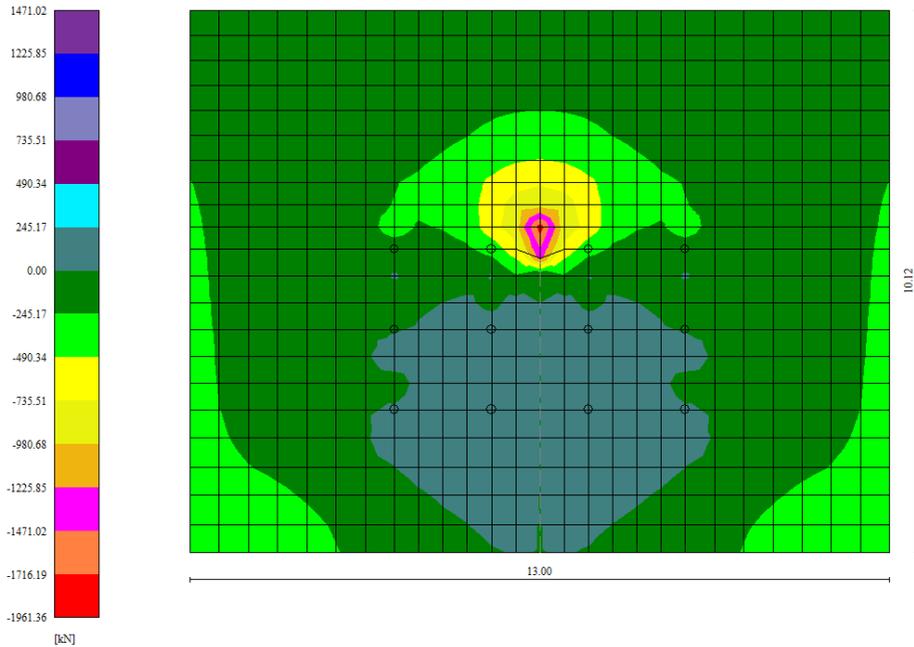


Figura 10-28 Paramento anteriore – Taglio Ty (Combinazione n°4)

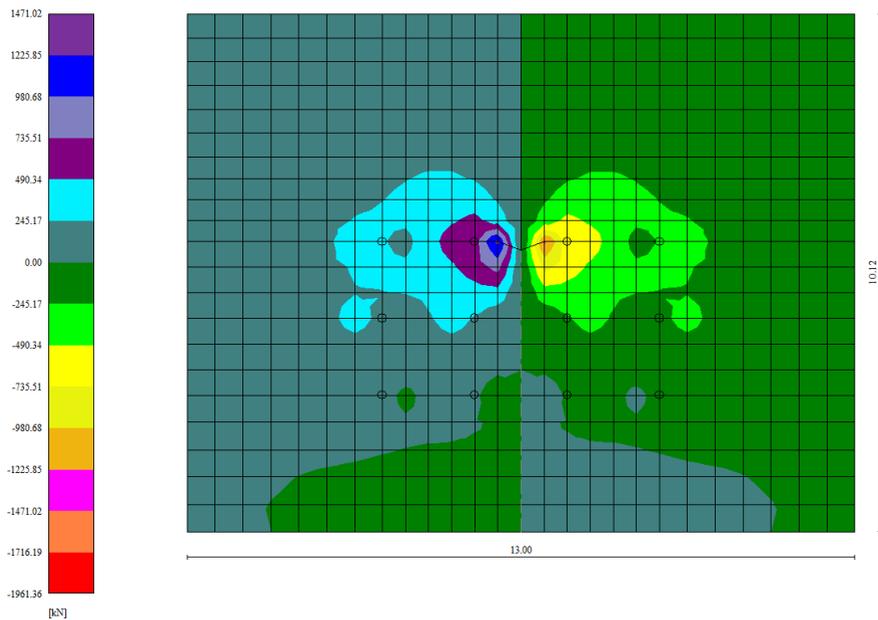


Figura 10-29 Paramento anteriore – Taglio Tx (Combinazione n°4)

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

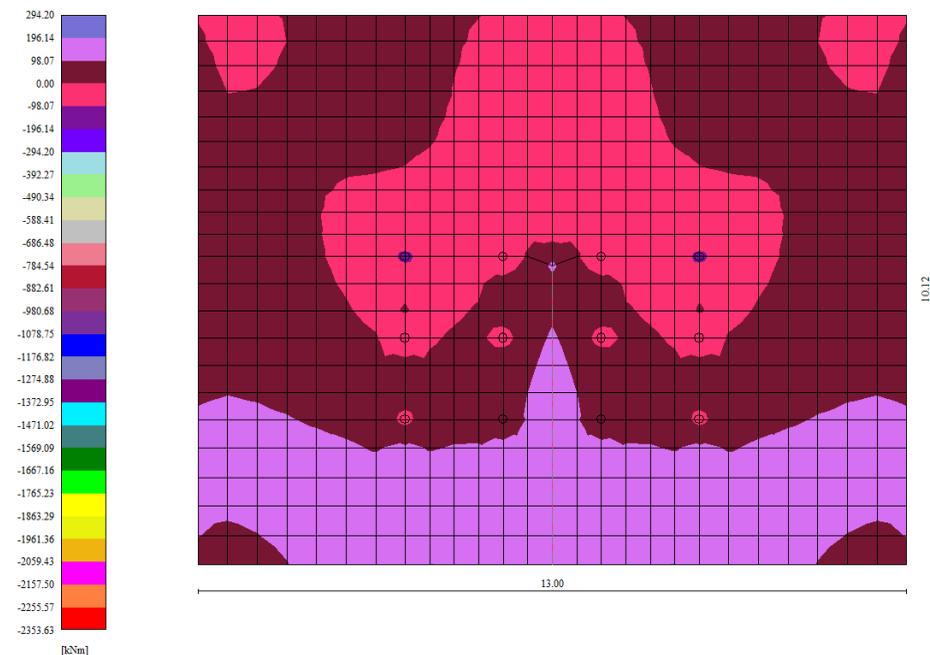


Figura 10-30 Paramento anteriore – Momento Mymax (Combinazione n°2)

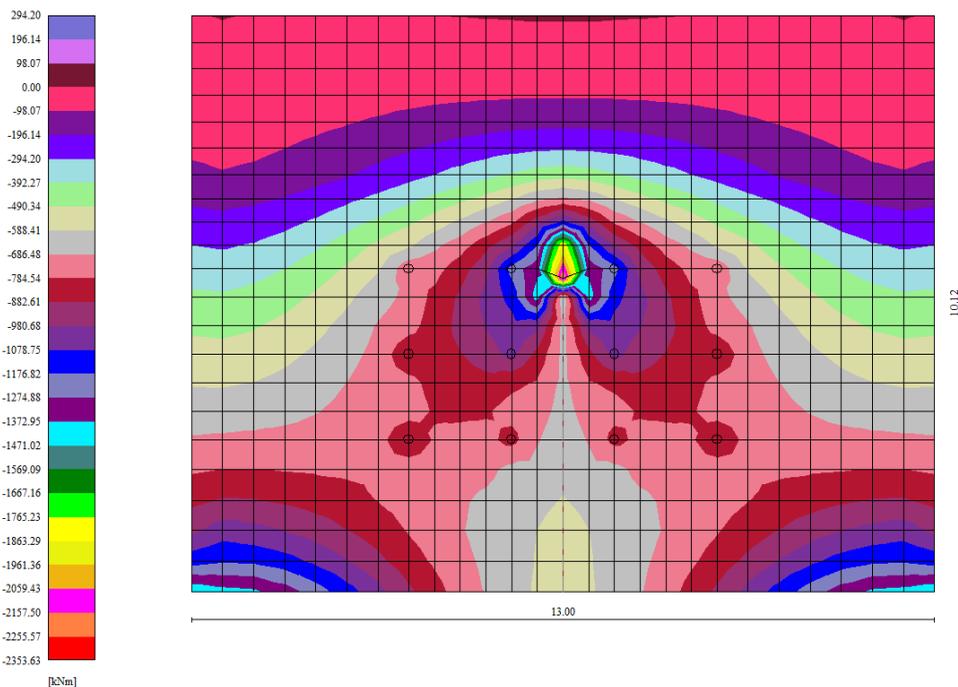


Figura 10-31 Paramento anteriore – Momentario Mymin (Combinazione n°4)

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

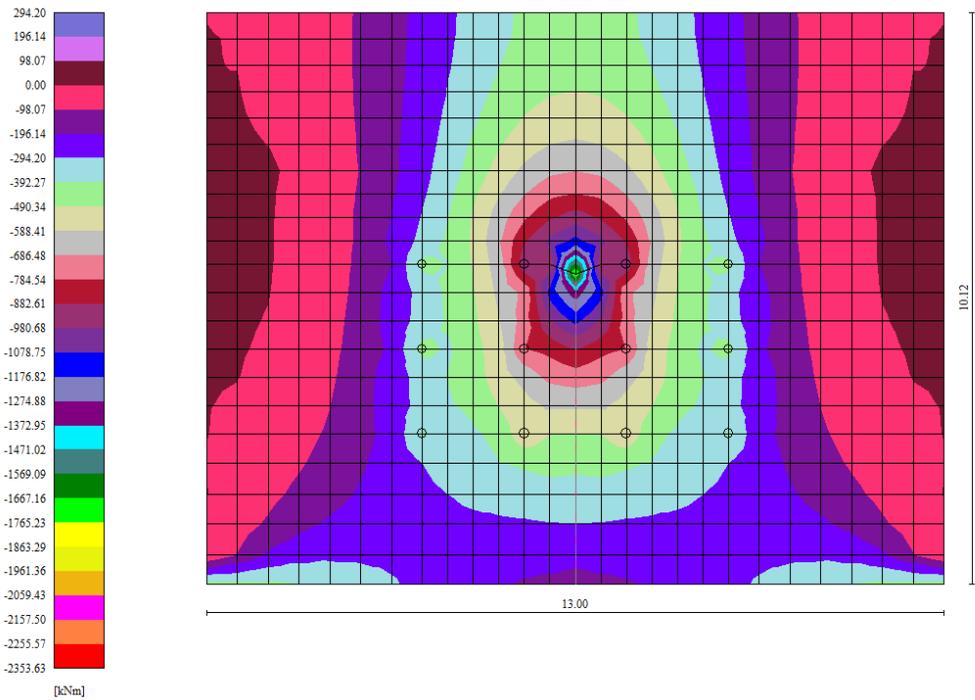


Figura 10-32 Paramento anteriore – Momento M_x (Combinazione n°4)

Sollecitazioni allo SLE

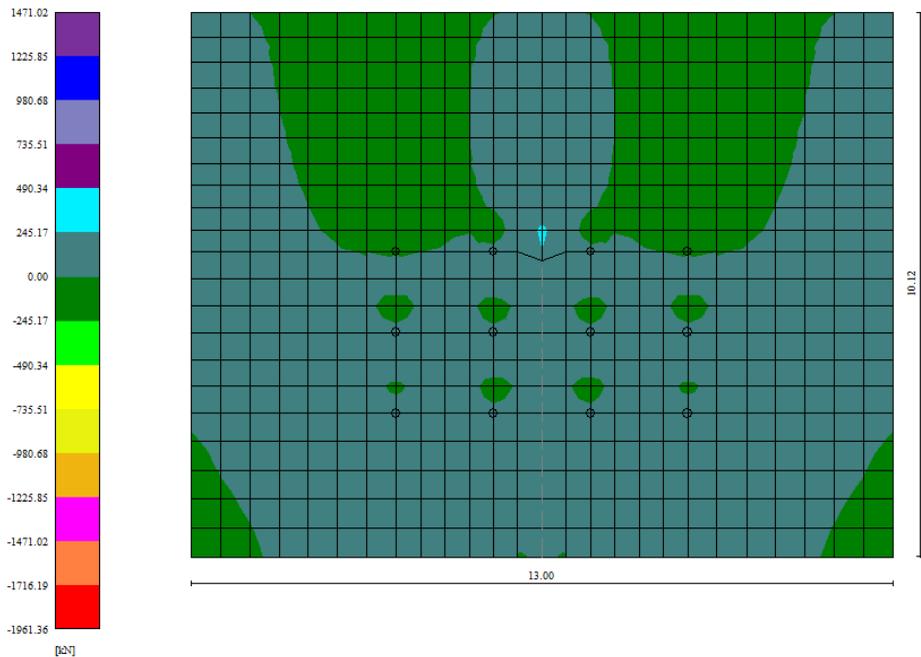


Figura 10-33 Paramento anteriore – Taglio T_y (Combinazione n°23)

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

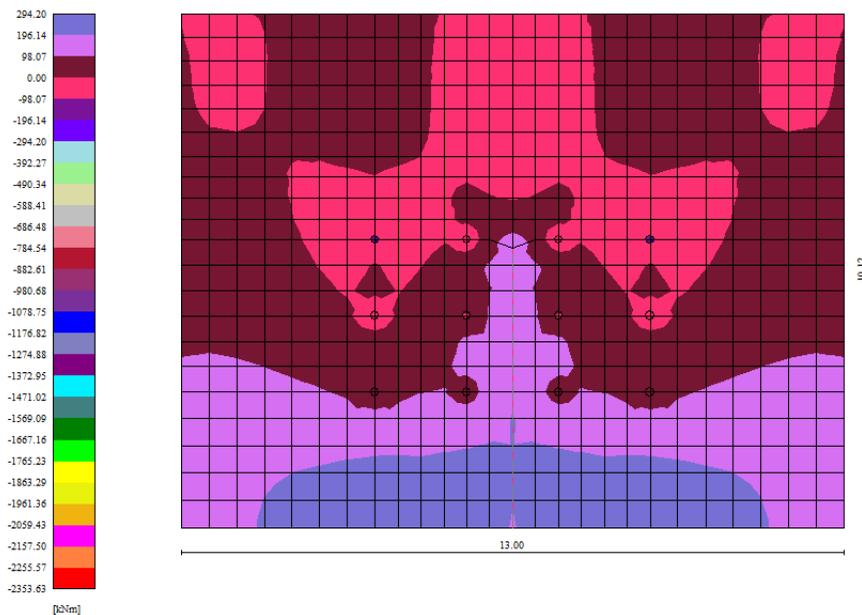


Figura 10-34 Paramento anteriore – Momento My (Combinazione n°23)

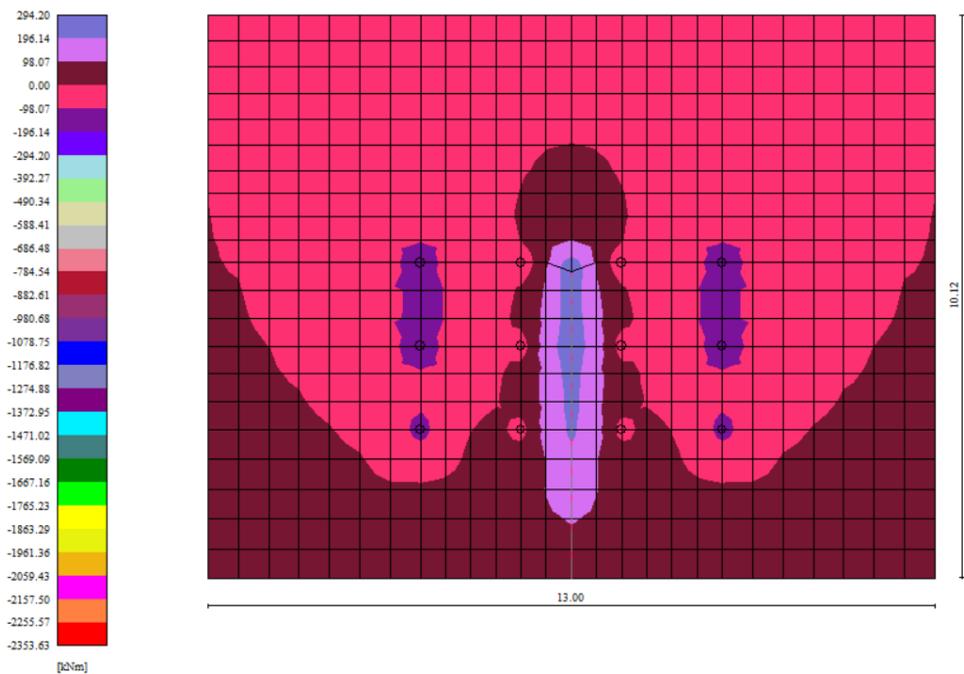


Figura 10-35 Paramento anteriore - Mx (Combinazione n°23)

Dove:

M_x , M_y sono i momenti flettenti, espressi in [kNm];

T_x , T_y sono i tagli, espressi in [kN]. Positivi se tendono le fibre contro terra (a monte)

I momenti flettenti sono positivi se tendono le fibre inferiori (paramento esterno).

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Sul paramento si considera uno sforzo normale agente dato dalla somma del peso proprio del paraghia e del peso proprio del paramento considerati per la lunghezza di 1 m di muro.

$$N = P_{\text{paramento}} + P_{\text{paraghiaia}} = 410 \text{ kN}$$

10.9.2 Verifiche strutturali del paramento anteriore

Nella seguente tabella vengono riportate le dimensioni geometriche del paramento anteriore, le armature a flessione e le armature a taglio.

Tabella 10-20 Paramento anteriore -Geometria e armature.

Elemento strutturale	B [cm]	H [cm]	Distanza dal paramento interno [cm]	Armatura a flessione verticale	Armatura a flessione orizzontale	Armatura a taglio
Paramento anteriore	100	200	5	5Ø20	5Ø20	Ø12-40/40
			195	5Ø20	5Ø20	

Verifiche allo stato limite SLV per sollecitazioni flettenti

$$M_{\min} = -1500 \text{ kNm}$$

$$M_{\max} = 200 \text{ kNm}$$

Si riporta la verifica a flessione in direzione verticale:

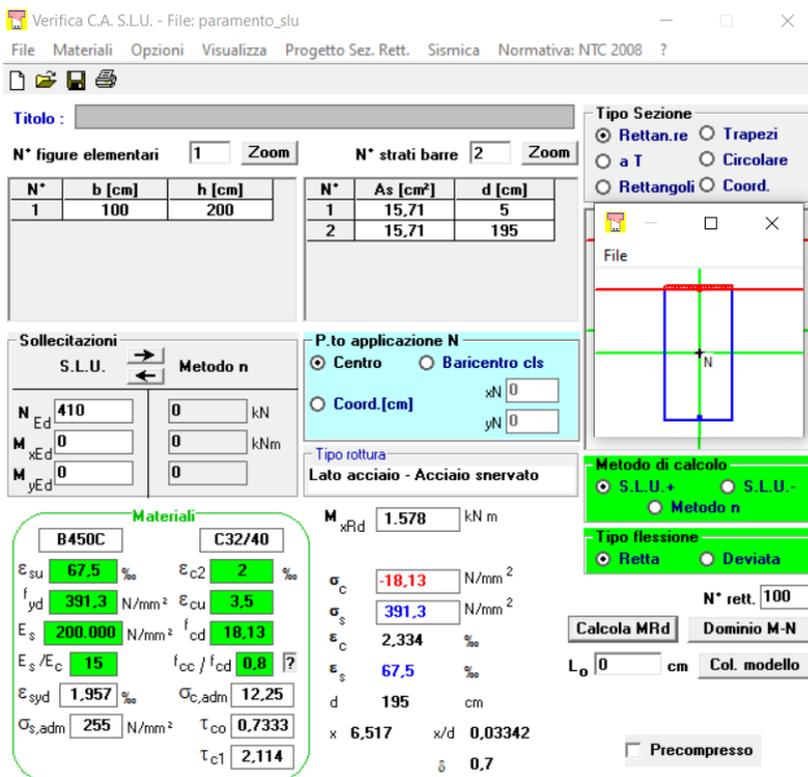


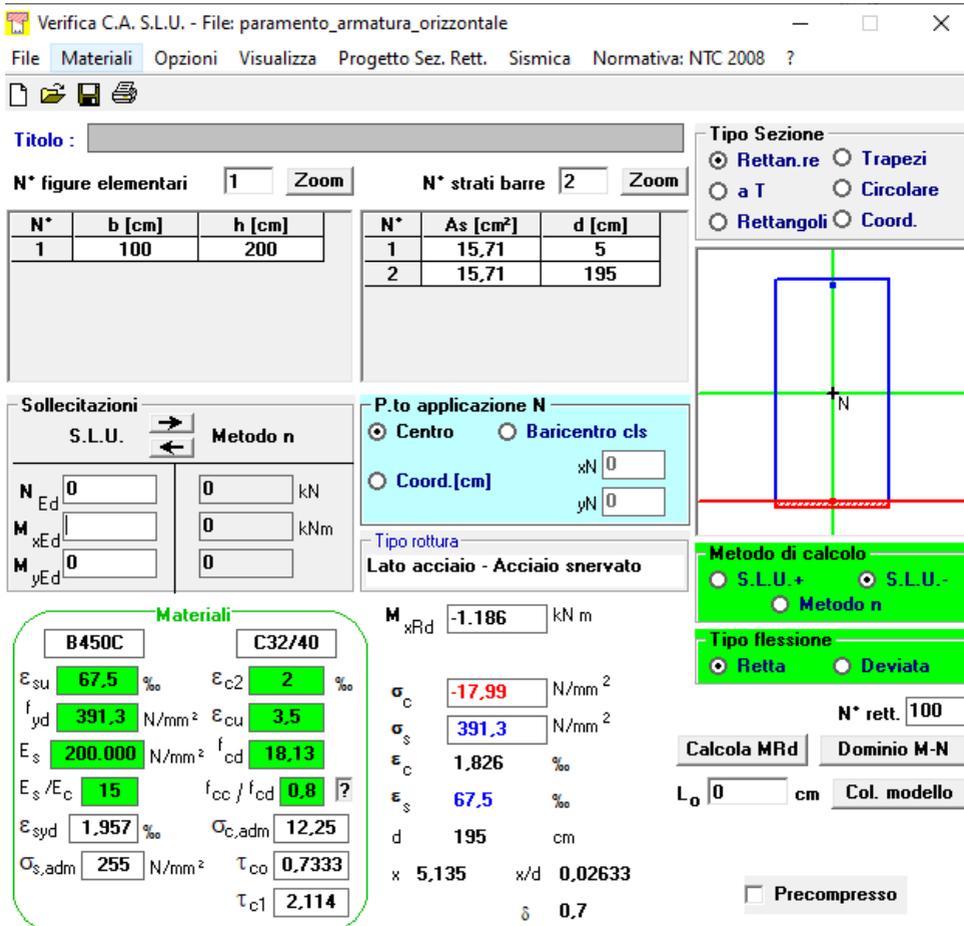
Figura 10-36 Paramento anteriore -Calcolo del momento resistente in direzione verticale (fibre tese paramento interno).

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Poiché nel paramento è disposta la stessa quantità di armatura verticale sia lungo il bordo esterno sia lungo il bordo interno, la verifica a flessione risulta soddisfatta sia a momento positivo sia a momento negativo.

Si riporta la verifica a flessione in direzione orizzontale:

$M_{max} = -790 \text{ kNm}$



Verifica C.A. S.L.U. - File: paramento_armatura_orizzontale

File | Materiali | Opzioni | Visualizza | Progetto Sez. Rett. | Sismica | Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

N° figure elementari: 1 | Zoom | N° strati barre: 2 | Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	200	1	15,71	5
			2	15,71	195

Sollecitazioni
 S.L.U. | Metodo n

N_{Ed} 0 | 0 kN
 M_{xEd} | 0 kNm
 M_{yEd} 0 | 0

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Materiali
 B450C | C32/40
 ε_{su} 67,5 ‰ | ε_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391,3 N/mm² | ε_{cu} 3,5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² | f_{cd} 18,13 N/mm²
 E_s/E_c 15 | f_{cc}/f_{cd} 0,8
 ε_{syd} 1,957 ‰ | σ_{c,adm} 12,25 N/mm²
 σ_{s,adm} 255 N/mm² | τ_{co} 0,7333
 τ_{c1} 2,114

P.to rottura
 Lato acciaio - Acciaio snervato

M_{xRd} -1,186 kNm
 σ_c -17,99 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 ε_c 1,826 ‰
 ε_s 67,5 ‰
 d 195 cm
 x 5,135 x/d 0,02633
 δ 0,7

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett. 100
 Calcola MRd | Dominio M-N
 L₀ 0 cm | Col. modello
 Precompresso

Figura 10-37 Paramento anteriore - Calcolo del momento resistente in direzione orizzontale .

La verifica risulta soddisfatta.

Verifiche allo stato limite SLV per sollecitazioni taglianti T_y

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Calcestruzzo

SLU

Classe

$R_{ck} \geq$	40	MPa	classe identificativa del calcestruzzo
γ_c	1,5		resistenza a compressione cubica caratteristica
α_{∞}	0,85		coefficiente parziale SLU
$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	28	MPa	fattore che tiene conto degli effetti dei carichi di lunga durata
$f_{cm} = f_{ck} + 8$	36	MPa	resistenza a compressione cilindrica caratteristica
$f_{cd} = \alpha \cdot f_{ck} / \gamma_c$	15,87	MPa	resistenza a compressione cilindrica media
$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{cm}^{(2/3)}$	2,77	MPa	resistenza a compressione cilindrica di progetto per SLU
$f_{ctk,0.05} = 0.7 \cdot f_{ctm}$	1,94	MPa	resistenza a trazione media
$f_{ctk,0.95} = 1.3 \cdot f_{ctm}$	3,60	MPa	resistenza a trazione caratteristica (frattile 5%)
$f_{td} = f_{ctk,0.05} / \gamma_c$	1,29	MPa	resistenza a trazione caratteristica (frattile 95%)
$f_{ctm} = 1.2 \cdot f_{ctm}$	3,32	MPa	resistenza a trazione di progetto
$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm}$	2,32	MPa	resistenza a trazione per flessione media (frattile 50%)
$f_{ctk} = 1.3 \cdot f_{ctm}$	4,32	MPa	resistenza a trazione per flessione caratteristica (frattile 95%)
$E_{cm} = 22000 (f_{cm} / 10)^2$	32308	MPa	resistenza a trazione per flessione caratteristica (frattile 95%)
		MPa	modulo elastico
SLE			
$\sigma_t = f_{ctm} / 1.2$	2,31	MPa	stato limite di formazione delle fessure
$\sigma_c < 0.60 \cdot f_{ck}$	16,80	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio (per combinazione rara)
$\sigma_c < 0.45 \cdot f_{ck}$	12,60	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio (per combinazione quasi permanente)

Acciaio B450C

SLU

$f_{yk} \geq$	450	MPa	tensione di snervamento caratteristica (frattile 5%)
γ_s	1,15		coefficiente parziale SLU
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$	391,30	MPa	tensione di snervamento di calcolo
E_s	210000	MPa	modulo elastico

SLE

$\sigma_s < 0.80 \cdot f_{yk}$	360	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio
n	15		coefficiente omogeneizzazione
δ	5	cm	copriferro

Taglio resistente nelle sezioni con armatura trasversale a taglio

Taglio agente $V_{Ed} = 735,51 \text{ kN}$

Larghezza minima della sezione	b_w	1000	mm
Altezza della sezione	h	2000	mm
Copriferro della sezione	δ	50	mm
Altezza utile della sezione	d	1950	mm
Diametro delle staffe	d_w	12	mm
Numero di braccia	n_w	2,5	
Area totale staffe	A_{sw}	282,60	mm ²
Passo delle staffe	s	400	mm
Inclinazione delle staffe	α	90	deg
Inclinazione delle bielle compresse	θ	21,8	deg
Coeff. maggiorativo per sezioni compresse	α_c	1,02135	

Resistenza di calcolo a "taglio-trazione" $V_{Rtd} = 1213,0 \text{ kN}$ $V_{Rtd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$

Resistenza di calcolo a "taglio-compressione" $V_{Rcd} = 4903,5 \text{ kN}$ $V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta)$

Resistenza a taglio della sezione $V_{Rd} = 1213,0 \text{ kN}$ $V_{Rd} = \min (V_{Rtd}, V_{Rcd})$

Esito della verifica **soddisfatta**

La verifica a taglio risulta soddisfatta inserendo spilli $\varnothing 12 \text{ 40/40}$.

Verifiche allo stato limite SLV per sollecitazioni taglianti Tx

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Calcestruzzo

SLU

Classe			classe identificativa del calcestruzzo
$R_{ck} \geq$	40	MPa	resistenza a compressione cubica caratteristica
γ_c	1,5		coefficiente parziale SLU
α_{∞}	0,85		fattore che tiene conto degli effetti dei carichi di lunga durata
$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	28	MPa	resistenza a compressione cilindrica caratteristica
$f_{cm} = f_{ck} + 8$	36	MPa	resistenza a compressione cilindrica media
$f_{cd} = \alpha \cdot f_{ck} / \gamma_c$	15,87	MPa	resistenza a compressione cilindrica di progetto per SLU
$f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{(2/3)}$	2,77	MPa	resistenza a trazione media
$f_{ctk,0.05} = 0.7 f_{ctm}$	1,94	MPa	resistenza a trazione caratteristica (frattile 5%)
$f_{ctk,0.95} = 1.3 f_{ctm}$	3,60	MPa	resistenza a trazione caratteristica (frattile 95%)
$f_{td} = f_{ctk,0.05} / \gamma_c$	1,29	MPa	resistenza a trazione di progetto
$f_{ctm} = 1.2 f_{ctm}$	3,32	MPa	resistenza a trazione per flessione media (frattile 50%)
$f_{ctk} = 0.7 f_{ctm}$	2,32	MPa	resistenza a trazione per flessione caratteristica (frattile 5%)
$f_{ctk} = 1.3 f_{ctm}$	4,32	MPa	resistenza a trazione per flessione caratteristica (frattile 95%)
$E_{cm} = 22000 (f_{cm} / 10)$	32308	MPa	modulo elastico
SLE			
$\sigma_t = f_{ctm} / 1.2$	2,31	MPa	stato limite di formazione delle fessure
$\sigma_c < 0.60 f_{ck}$	16,80	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio (per combinazione rara)
$\sigma_c < 0.45 f_{ck}$	12,60	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio (per combinazione quasi permanente)

Acciaio B450C

SLU

$f_{yk} \geq$	450	MPa	tensione di snervamento caratteristica (frattile 5%)
γ_s	1,15		coefficiente parziale SLU
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$	391,30	MPa	tensione di snervamento di calcolo
E_s	210000	MPa	modulo elastico
SLE			
$\sigma_s < 0.80 f_{yk}$	360	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio
n	15		coefficiente omogeneizzazione
δ	5	cm	copriferro

Taglio resistente nelle sezioni con armatura trasversale a taglio

Taglio agente $V_{Ed} = 650 \text{ kN}$

Larghezza minima della sezione	b_w	1000	mm		
Altezza della sezione	h	2000	mm		
Copriferro della sezione	δ	50	mm		
Altezza utile della sezione	d	1950	mm		
Diametro delle staffe	d_w	12	mm		
Numero di braccia	n_w	2,5			
Area totale staffe	A_{sw}	282,60	mm ²		
Passo delle staffe	s	400	mm		
Inclinazione delle staffe	α	90	deg		1
Inclinazione delle bielle compresse	θ	21,8	deg	$\cot(\theta)$	2,50
Coeff. maggiorativo per sezioni compresse	α_c	1			2,5

Resistenza di calcolo a "taglio-trazione" $V_{Rtd} = 1213,0 \text{ kN}$ $V_{Rtd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$

Resistenza di calcolo a "taglio-comprensione" $V_{Rod} = 4801,0 \text{ kN}$ $V_{Rod} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$

Resistenza a taglio della sezione $V_{Rd} = 1213,0 \text{ kN}$ $V_{Rd} = \min(V_{Rtd}, V_{Rod})$

Esito della verifica **soddisfatta**

La verifica a taglio risulta soddisfatta inserendo spilli $\varnothing 12 \text{ } 40/40$.

Verifica allo stato limite SLE

Si riporta di seguito il calcolo delle tensioni allo SLE e la verifica allo stato limite di apertura delle fessure in direzione verticale.

$M_{y_{max}} = 270,23 \text{ kNm}$

Verifica apertura fessure

σ_s	92,1 N/mm ²	Tensione massima armatura tesa sezione fessurata
k_s	264 mm	Asse neutro della sezione
R_{ck}	40 N/mm ²	Resistenza caratteristica cubica cls
ϕ_{long}	20 mm	Diametro barre longitudinali in zona tesa
ϕ_{spir}	12 mm	Diametro staffe o spirale
n	5	Numero ferri longitudinali
c	50 mm	Copriferro
b	1000 mm	Larghezza sezione
h	2000 mm	Altezza sezione
k_1	0,4	$k_1=0,6$; 0,4 carichi breve durata/lunga durata
k_2	0,5	$k_2=0,3$; 1,0 caso flessione/trazione semplice
k_3	0,8	$k_3=0,8$; 1,6 barre aderenza migliorata/lisce
w	0,2 mm	Valore limite apertura fessure
d	1950 mm	Altezza utile della sezione
b_f	28 mm	Ricoprimento del calcestruzzo
f_{ck}	33,2 N/mm ²	Resistenza caratteristica cilindrica cls
$A_{s,eff}$	125000 mm ²	Area efficace del calcestruzzo
$A_{s,long}$	1571 mm ²	Area ferri longitudinali in zona tesa
E_s	206000 N/mm ²	Modulo elastico acciaio da c.a.
f_{ctm}	3,1 N/mm ²	Resistenza a trazione media cls
E_{cm}	33643 N/mm ²	Modulo elastico medio cls
$\sigma_{s,lim}$	6,12	Rapporto E_s/E_{cm}
f_{ctk}	41,2 N/mm ²	Resistenza media cls
β_{rel}	1,26 %	Rapporto area acciaio/area efficace
ϵ_{sm}	0,03 %	Deformazione unitaria media
k_1	3,4	Coefficiente
k_2	0,4	Coefficiente
ΔS_{max}	365,8 mm	Distanza massima tra le fessure
w_f	0,098 mm	Valore di calcolo apertura fessure

Figura 10-38 Paramento anteriore – Verifiche SLE in direzione verticale

La verifica allo stato limite di apertura delle fessure risulta soddisfatta.

Si riporta di seguito la verifica allo stato limite di limitazione delle tensioni.

Tabella 10-21 Paramento anteriore-Verifiche SLE -Tensioni di esercizio in direzione verticale.

Elemento strutturale	M_{es} [kNm]	$ \sigma_{cmax} $ [MPa]	$ \sigma_{smax} $ [MPa]	w [mm]
Paramento anteriore direzione verticale	270,23	0,95	92,13	0,098

dove:

- M_{es} è il valore del momento di calcolo in condizioni di esercizio;
- σ_{cmax} è la tensione massima nel calcestruzzo;
- σ_{smax} è la tensione di compressione o trazione massima nell'acciaio.

La verifica allo stato limite di limitazione delle tensioni risulta soddisfatta.

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Si riporta di seguito il calcolo delle tensioni allo SLE e la verifica allo stato limite di apertura delle fessure in direzione orizzontale.

$M_{x_{max}} = 280 \text{ kNm}$

σ_s	95,5 N/mm ²	Tensione massima armatura tesa sezione fessurata
x_s	264 mm	Asse neutro della sezione
R_{ct}	40 N/mm ²	Resistenza caratteristica cubica cls
Φ_{long}	20 mm	Diametro barre longitudinali in zona tesa
Φ_{spiral}	12 mm	Diametro staffe o spirale
n	5	Numero ferri longitudinali
c	50 mm	Copriferro
b	1000 mm	Larghezza sezione
h	2000 mm	Altezza sezione
k_1	0,4	$k_1=0,6; 0,4$ carichi breve durata/lunga durata
k_2	0,5	$k_2=0,5; 1,0$ caso flessione/trazione semplice
k_3	0,8	$k_3=0,8; 1,6$ barre aderenza migliorata/isc
w	0,2 mm	Valore limite apertura fessure
d	1950 mm	Altezza utile della sezione
β	28 mm	Ricoprimento del calcestruzzo
f_{ck}	33,2 N/mm ²	Resistenza caratteristica cilindrica cls
$A_{c,eff}$	125000 mm ²	Area efficace del calcestruzzo
$A_{s, long}$	1571 mm ²	Area ferri longitudinali in zona tesa
E_s	206000 N/mm ²	Modulo elastico acciaio da c.a.
f_{ctm}	3,1 N/mm ²	Resistenza a trazione media cls
E_{cm}	33643 N/mm ²	Modulo elastico medio cls
g_{cs}	6,12	Rapporto E_s/E_{cm}
f_{ctm}	41,2 N/mm ²	Resistenza media cls
$\sigma_{s,lim}$	1,26 %	Rapporto area acciaio/area efficace
ϵ_{sm}	0,03 %	Deformazione unitaria media
k_1	3,4	Coefficiente
k_2	0,4	Coefficiente
ΔS_{max}	365,8 mm	Distanza massima tra le fessure
w_d	0,102 mm	Valore di calcolo apertura fessure

Figura 10-39 Paramento anteriore – Verifiche SLE in direzione orizzontale

La verifica allo stato limite di apertura delle fessure risulta soddisfatta.

Si riporta di seguito la verifica allo stato limite di limitazione delle tensioni.

Tabella 10-22 Paramento anteriore-Verifiche SLE -Tensioni di esercizio in direzione orizzontale.

Elemento strutturale	M_{es} [kNm]	$ \sigma_{cmax} $ [MPa]	$ \sigma_{smax} $ [MPa]	w [mm]
Paramento anteriore direzione verticale	280	0,99	95,47	0,102

La verifica risulta soddisfatta

10.10 ANALISI PARAGHIAIA

10.10.1 Sollecitazioni paraghiaia

Per le massime sollecitazioni agenti sul paraghiaia si faccia riferimento ai contour dalla Figura 10-28 alla Figura 10-34.

10.10.1 Verifiche strutturali del paraghiaia

Nella seguente tabella vengono riportate le dimensioni geometriche del paramento anteriore, le armature a flessione e le armature a taglio.

Tabella 10-23 Paraghiaia -Geometria e armature.

Elemento strutturale	B [cm]	H [cm]	Distanza dal paramento interno [cm]	Armatura a flessione verticale	Armatura a flessione orizzontale	Armatura a taglio
Paraghiaia	100	60	5	5Ø20	5Ø16	Ø12-40/40
			55	5Ø20	5Ø16	

Sul paraghiaia si considera uno sforzo normale agente dato dal peso proprio del paraghia considerato per la lunghezza di 1 m di muro.

$$N = P_{\text{paraghiaia}} = 42 \text{ kN}$$

Verifiche allo stato limite SLV per sollecitazioni flettenti

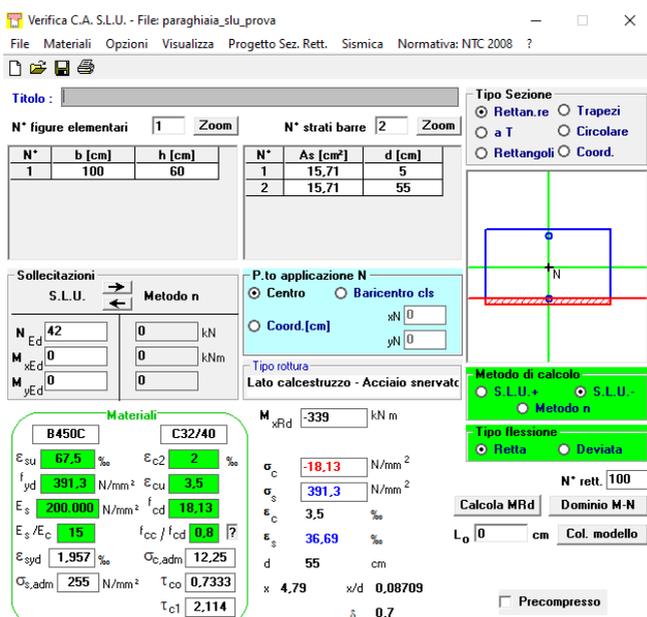
Le sollecitazioni medie di momento agenti su un metro di lunghezza del paraghiaia sono:

$$M_{\text{min}} = -327 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{max}} = 37,5 \text{ kNm}$$

$$N = 42 \text{ kN}$$

Si riporta la verifica a flessione:



The screenshot shows a software window titled "Verifica C.A. S.L.U. - File: paraghiaia_slu_prova". It displays various input and output parameters for a structural analysis:

- Titolo:** [Empty field]
- N° figure elementari:** 1
- N° strati barre:** 2
- Table 1 (Dimensions):**

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	60
- Table 2 (Reinforcement):**

N°	As [cm²]	d [cm]
1	15,71	5
2	15,71	55
- Sollecitazioni (Loads):**
 - N_{Ed}: 42 kN
 - M_{xEd}: 0 kNm
 - M_{yEd}: 0 kNm
- P.to applicazione N (Load application point):** Centro
- Metodo di calcolo:** S.L.U.
- Metodo di flessione:** Retta
- Materiali:**
 - B450C: ϵ_{su} 67,5%, f_{yd} 391,3 N/mm², E_s 200.000 N/mm², E_s/E_c 15, $\epsilon_{s,adm}$ 1,957%
 - C32/40: ϵ_{c2} 2‰, ϵ_{cu} 3,5, f_{cd} 18,13, f_{cc}/f_{cd} 0,8, $\sigma_{c,adm}$ 12,25, τ_{co} 0,7333, τ_{c1} 2,114
- Results:**
 - σ_c : -18,13 N/mm²
 - σ_s : 391,3 N/mm²
 - ϵ_c : 3,5‰
 - ϵ_s : 36,69‰
 - d: 55 cm
 - x: 4,79, x/d: 0,08709
 - δ : 0,7

Figura 10-40 Paraghiaia-Calcolo del momento resistente.

La verifica risulta soddisfatta sia a momento positivo sia a momento negativo.

Verifiche allo stato limite SLV per sollecitazioni taglianti

La sollecitazione media di taglio agente su un metro di lunghezza è pari a 320 kN.

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Calcestruzzo

SLU

Classe			classe identificativa del calcestruzzo
$R_{ck} \geq$	40	MPa	resistenza a compressione cubica caratteristica
γ_o	1,5		coefficiente parziale SLU
α_{99}	0,85		fattore che tiene conto degli effetti dei carichi di lunga durata
$f_{ck} = 0,83 R_{ck}$	28	MPa	resistenza a compressione cilindrica caratteristica
$f_{cm} = f_{ck} + 8$	36	MPa	resistenza a compressione cilindrica media
$f_{cd} = \alpha f_{ck} / \gamma_c$	15,87	MPa	resistenza a compressione cilindrica di progetto per SLU
$f_{ctm} = 0,30 f_{ck}^{(2/3)}$	2,77	MPa	resistenza a trazione media
$f_{ctk 0,05} = 0,7 f_{ctm}$	1,94	MPa	resistenza a trazione caratteristica (frattile 5%)
$f_{ctk 0,95} = 1,3 f_{ctm}$	3,60	MPa	resistenza a trazione caratteristica (frattile 95%)
$f_{ctd} = f_{ctk 0,05} / \gamma_c$	1,29	MPa	resistenza a trazione di progetto
$f_{ctm} = 1,2 f_{ctm}$	3,32	MPa	resistenza a trazione per flessione media (frattile 50%)
$f_{ctk} = 0,7 f_{ctm}$	2,32	MPa	resistenza a trazione per flessione caratteristica (frattile 5%)
$f_{ctk} = 1,3 f_{ctm}$	4,32	MPa	resistenza a trazione per flessione caratteristica (frattile 95%)
$E_{cm} = 22000 (f_{cm} / 10)^2$	32308	MPa	modulo elastico
SLE			
$\sigma_t = f_{ctm} / 1,2$	2,31	MPa	stato limite di formazione delle fessure
$\sigma_c < 0,60 f_{ck}$	16,80	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio (per combinazione rara)
$\sigma_c < 0,45 f_{ck}$	12,60	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio (per combinazione quasi permanente)

Acciaio B450C

SLU

$f_{yk} \geq$	450	MPa	tensione di snervamento caratteristica (frattile 5%)
γ_s	1,15		coefficiente parziale SLU
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$	391,30	MPa	tensione di snervamento di calcolo
E_s	210000	MPa	modulo elastico

SLE

$\sigma_s < 0,80 f_{yk}$	360	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio
n	15		coefficiente omogeneizzazione
δ	5	cm	copriferro

Taglio resistente nelle sezioni con armatura trasversale a taglio

Taglio agente $V_{Ed} = 320$ kN

Larghezza minima della sezione	b_w	1000	mm		
Altezza della sezione	h	600	mm		
Copriferro della sezione	δ	50	mm		
Altezza utile della sezione	d	550	mm		
Diametro delle staffe	d_w	12	mm		
Numero di braccia	n_w	2,5			
Area totale staffe	A_{sw}	282,60	mm ²		
Passo delle staffe	s	400	mm		
Inclinazione delle staffe	α	90	deg		1
Inclinazione delle bielle compresse	θ	21,8	deg	$\cot(\theta)$	2,50
Coeff. maggiorativo per sezioni compresse	α_c	1,0044			2,5

Resistenza di calcolo a "taglio-trazione" $V_{Rsd} = 342,1$ kN $V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$

Resistenza di calcolo a "taglio-compressione" $V_{Rsd} = 1360,1$ kN $V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta)$

Resistenza a taglio della sezione $V_{Rd} = 342,1$ kN $V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$

Esito della verifica **soddisfatta**

La verifica risulta soddisfatta.

Verifica allo stato limite SLE

Si riporta di seguito il calcolo delle tensioni allo SLE e la verifica allo stato limite di apertura delle fessure.

$M_{max} = -10 \text{ kNm}$

σ_s	12,6 N/mm ²	Tensione massima armatura tesa sezione fessurata
x_c	128 mm	Asse neutro della sezione
R_{ck}	40 N/mm ²	Resistenza caratteristica cubica cls
ϕ_{lim}	20 mm	Diametro barre longitudinali in zona tesa
$\phi_{lim,sp}$	12 mm	Diametro staffe o spirale
n	5	Numero ferri longitudinali
c	50 mm	Copriferro
d	1000 mm	Larghezza sezione
h	600 mm	Altezza sezione
k_1	0,4	$k_1 = 0,6$; 0,4 carichi breve durata/lunga durata
k_2	0,5	$k_2 = 0,5$; 1,0 caso flessione/trazione semplice
k_3	0,8	$k_3 = 0,8$; 1,6 barre aderenza migliorata/lisce
w	0,2 mm	Valore limite apertura fessure
d	550 mm	Altezza utile della sezione
β	28 mm	Ricoprimento del calcestruzzo
f_{ck}	33,2 N/mm ²	Resistenza caratteristica cilindrica cls
$A_{s,eff}$	125000 mm ²	Area efficace del calcestruzzo
$A_{s,long}$	1571 mm ²	Area ferri longitudinali in zona tesa
$E_{s,acc}$	206000 N/mm ²	Modulo elastico acciaio da c.a.
$f_{t,acc}$	3,1 N/mm ²	Resistenza a trazione media cls
E_{cm}	33643 N/mm ²	Modulo elastico medio cls
σ_c	6,12	Rapporto E_s/E_{cm}
σ_s	41,2 N/mm ²	Resistenza media cls
ρ_{acc}	1,26 %	Rapporto area acciaio/area efficace
ρ_{lim}	0,00 %	Deformazione unitaria media
β_s	3,4	Coefficiente
β_c	0,4	Coefficiente
$\beta_{s,max}$	365,8 mm	Distanza massima tra le fessure
w_f	0,013 mm	Valore di calcolo apertura fessure

Figura 10-41 VERIFICHE SLE – Paraghiaia.

La verifica allo stato limite di apertura delle fessure risulta soddisfatta.

Si riporta di seguito la verifica allo stato limite di limitazione delle tensioni.

Tabella 10-24 Paraghiaia -Verifiche SLE -Tensioni di esercizio

Elemento strutturale	M_{es} [kNm]	$ \sigma_{cmax} $ [MPa]	$ \sigma_{smax} $ [MPa]	w [mm]
Paramento anteriore	-10	0,25	12,58	0,013

dove:

- M_{es} è il valore del momento di calcolo in condizioni di esercizio;
- σ_{cmax} è la tensione massima nel calcestruzzo;
- σ_{smax} è la tensione di compressione o trazione massima nell'acciaio.

La verifica allo stato limite di limitazione delle fessure risulta soddisfatta.

10.11 ANALISI MURI ANDATORI

Lo schema statico adottato per i muri andatori è quello di piastra rettangolare incastrata su tre lati e libera superiormente, caricata con pressione ortogonale al suo piano ad andamento trapezoidale.

Per il calcolo delle sollecitazioni si fa riferimento alle soluzioni proposte da Richard Bares (1970) nel libro "Calcolo di lastre e piastre". In particolare, vengono utilizzate la tabella 1.39 per ricavare le sollecitazioni ottenute da diagrammi di pressioni rettangolari e la tabella 1.96 per ricavare le sollecitazioni ottenute da diagrammi di pressioni triangolari.

Nella figura seguente si riporta un estratto del libro degli schemi di calcolo adottati.

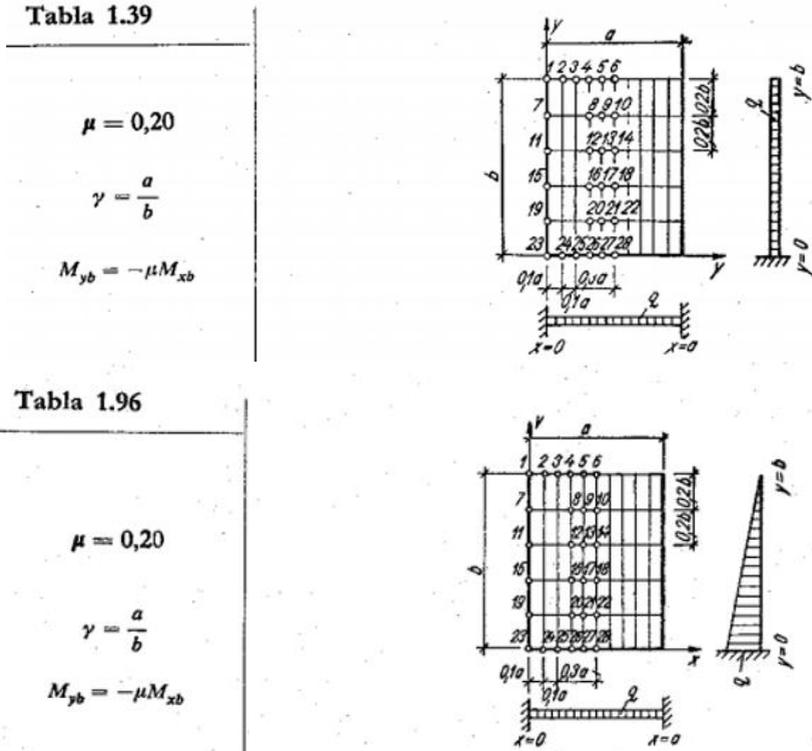


Figura 10-42 Estratto dal libro "Calcolo di lastre e piastre" di Richard Bares (1970).

In funzione del rapporto H/B tra l'altezza del muro e la base è possibile ricavare dei coefficienti riduttivi o amplificativi (Tabella 10-26) per ottenere, a partire dalle sollecitazioni calcolate ipotizzando il muro come una mensola, le sollecitazioni agenti su una piastra incastrata su tre lati. Nel caso in esame il rapporto H/B è pari a 0,8, considerando le dimensioni geometriche riportate nella tabella seguente.

Tabella 10-25 Muri andatori -Dimensioni geometriche.

Geometria			
H =	10,00	m	
B =	8,00	m	
	Sp [m]	z [m]	
Testa	1,00	10,00	
Spicc. Paragh. +	1,00	1,00	
Spicc. Paragh. -	1,00	1,00	
Spiccato Muro	1,00	0,00	

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Tabella 10-26 Interpolazione delle tabelle fornite da Bares per un rapporto H/B pari a 0,8.

TABELLE MURO ANDATORE		$\mu = 0,20$					
(Si veda: "Calcolo di Lastre e Piastre" di Richard Bares)							
PRESSIONI TRIANGOLARI Tab. 1.96							
	$\gamma = B/H$	mx1,C	mx19,L	my28,E	vx1,C	vx19,L	vy28,E
	0,250	-0,0064	-0,0608	-0,0030	0,0328	0,3768	0,1056
	0,500	-0,0088	-0,0408	-0,0107	0,0294	0,2988	0,0336
	0,750	-0,0148	-0,0326	-0,0200	0,0283	0,2537	0,2645
	1,000	-0,0151	-0,0160	-0,0325	0,0326	0,1607	0,3236
	1,500	-0,0180	-0,0072	-0,0584	0,0707	0,0891	0,4055
	2,000	-0,0161	-0,0039	-0,0845	0,0992	0,0554	0,4584
	$\gamma = B/H$	mx1,C	mx19,L	my28,E	vx1,C	vx19,L	vy28,E
(0.25-0.5)	0,250	-0,0064	-0,0608	-0,0030	0,0328	0,3768	0,1056
(0.5-0.750)	0,500	-0,0088	-0,0408	-0,0107	0,0294	0,2988	0,0336
(0.750 - 1)	0,800	-0,0149	-0,0293	-0,0225	0,0292	0,2351	0,2763
(1-1,5)	1,000	-0,0151	-0,0160	-0,0325	0,0326	0,1607	0,3236
(1.5 - 2)	1,500	-0,0180	-0,0072	-0,0584	0,0707	0,0891	0,4055
	0,800	-0,0149	-0,0293	-0,0225	0,0292	0,2351	0,2763
PRESSIONI RETTANGOLARI Tab. 1.39							
	$\gamma = B/H$	mx1,C	mx19,L	my28,E	vx1,C	vx19,L	vy28,E
	0,250	-0,0832	-0,0768	-0,0033	0,4996	0,4740	0,1141
	0,500	-0,0836	-0,0548	-0,0135	0,4966	0,3810	0,2301
	0,750	-0,1071	-0,0472	-0,0288	0,5566	0,3199	0,3410
	1,000	-0,0852	-0,0250	-0,0523	0,5101	0,1928	0,4572
	1,500	-0,0795	-0,0128	-0,1212	0,5727	0,0790	0,6725
	2,000	-0,0653	-0,0076	-0,2043	0,6057	0,0217	0,8450
	$\gamma = B/H$	mx1,C	mx19,L	my28,E	vx1,C	vx19,L	vy28,E
(0.25-0.5)	0,250	-0,0832	-0,0768	-0,0033	0,4996	0,4740	0,1141
(0.5-0.750)	0,500	-0,0836	-0,0548	-0,0135	0,4966	0,3810	0,2301
(0.750 - 1)	0,800	-0,1027	-0,0428	-0,0335	0,5473	0,2945	0,3642
(1-1,5)	1,000	-0,0852	-0,0250	-0,0523	0,5101	0,1928	0,4572
(1.5 - 2)	1,500	-0,0795	-0,0128	-0,1212	0,5727	0,0790	0,6725
	0,800	-0,1027	-0,0428	-0,0335	0,5473	0,2945	0,3642

10.11.1 Analisi dei carichi

In condizioni statiche la spinta è stata calcolata con il metodo della spinta attiva di Rankine, mentre in condizioni sismiche l'incremento di spinta è stato stimato mediante il metodo di Wood.

Si riportano nella tabella seguente i carichi agenti sui muri andatori.

Peso Muro	altezza	10,00	m
	Spessore medio	1,00	m
	Peso	250,00	kN/m
	xg par.	0	m
Spinta terreno	altezza	10,00	m
	Peso per unità di volume (γt)	19,0	kN/mc
	Angolo d'attrito (ϕ')	35,0	gradi
	Coeff. Spinta attiva Rankine	0,271	
	Press. alla base	51,49	kN/mq
	spinta	257,45	kN/m
	zg spinta terreno	3,33	m
	Momento	858,17	kNm/m
Spinta sovracc. SLE-SLU	altezza	10,00	m
	carico accidentale	20	kN/mq
	Coeff. Spinta attiva Rankine	0,271	
	Press. alla base	5,42	kN/mq
	Spinta	54,20	kN/m
	zg accid.	5,00	m
	Momento	271,00	kNm/m
Sisma	ag/g	0,4877	
	S	1,00	
	kh masse e rinterro	0,488	
	kv masse e rinterro	0,244	
Inerzia Muro	inerzia orizzontale	121,93	kN/m
	zg par.	5,00	m
	inerzia verticale	60,96	kN/m
	zg inerzia	5,000	m
	Momento	609,63	kNm/m
	Press,media	12,19	kN/m
Incr. Spinta Wood	altezza	10,00	m
	γt	19,0	kN/mc
	Kh	0,488	
	Press. alla base	37,07	kN/mq
	Spinta	370,65	kN/m
	zg incremento	5,00	m
	Momento	1853,26	kNm/m

Tabella 10-27 Carichi agenti sui muri andatori

Si riportano nella tabella seguente i valori dei momenti e dei tagli calcolati nei punti in esame per le differenti tipologie di carico.

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Tabella 10-28 Valori delle sollecitazioni di momento e taglio calcolati nei punti in esame per le differenti tipologie di carico.

Spinta terreno							
(vd. tab. 1.96 - Pressioni Triangolari)							
		cm	m			cv	v
$mC = m \cdot x1 = cm \cdot Pb \cdot B \cdot B$		-0,0149	-48,97	kNm/m	$vC = vx1 = cv \cdot Pb \cdot B$	0,03	12,01 kN/m
$mL = mx19 = cm \cdot Pb \cdot B \cdot B$		-0,0293	-96,49	kNm/m	$vL = vx19 = cv \cdot Pb \cdot B$	0,24	96,84 kN/m
$mE = my28 = cm \cdot Pb \cdot H \cdot H$		-0,0225	-115,85	kNm/m	$vE = vy28 = cv \cdot Pb \cdot H$	0,28	142,28 kN/m
Spinta sovracc.							
(vd. Tab. 1.39 - Pressioni Rettangolari)							
		c	m			cv	v
$mC = m \cdot x1 = cm \cdot Pb \cdot B \cdot B$		-0,1027	-35,63	kNm/m	$vC = vx1 = cv \cdot Pb \cdot B$	0,5473	23,73 kN/m
$mL = mx19 = cm \cdot Pb \cdot B \cdot B$		-0,0428	-14,83	kNm/m	$vL = vx19 = cv \cdot Pb \cdot B$	0,2945	12,77 kN/m
$mE = my28 = cm \cdot Pb \cdot H \cdot H$		-0,0335	-18,16	kNm/m	$vE = vy28 = cv \cdot Pb \cdot H$	0,36	19,74 kN/m
Inerzia Muro							
(vd. Tab. 1.39 - Pressioni Rettangolari)							
		c	m			cv	v
$mC = m \cdot x1 = cm \cdot Pb \cdot B \cdot B$		-0,1027	-80,15	kNm/m	$vC = vx1 = cv \cdot Pb \cdot B$	0,5473	53,38 kN/m
$mL = mx19 = cm \cdot Pb \cdot B \cdot B$		-0,0428	-33,37	kNm/m	$vL = vx19 = cv \cdot Pb \cdot B$	0,2945	28,72 kN/m
$mE = my28 = cm \cdot Pb \cdot H \cdot H$		-0,0335	-40,85	kNm/m	$vE = vy28 = cv \cdot Pb \cdot H$	0,3642	44,41 kN/m
Incr. Spinta Wood							
(vd. Tab. 1.39 - Pressioni Rettangolari)							
		c	m			cv	v
$mC = m \cdot x1 = cm \cdot Pb \cdot B \cdot B$		-0,1027	-243,67	kNm/m	$vC = vx1 = cv \cdot Pb \cdot B$	0,5473	162,29 kN/m
$mL = mx19 = cm \cdot Pb \cdot B \cdot B$		-0,0428	-101,43	kNm/m	$vL = vx19 = cv \cdot Pb \cdot B$	0,2945	87,32 kN/m
$mE = my28 = cm \cdot Pb \cdot H \cdot H$		-0,0335	-124,20	kNm/m	$vE = vy28 = cv \cdot Pb \cdot H$	0,3642	135,01 kN/m

Tabella 10-29 Valori delle sollecitazioni calcolati nei punti in esame per le differenti combinazioni di carico.

		V	N	M
SLE Rara	Punto	[kN]	[kN]	[kN]
	P.to C	36	0	-85
	P.to L	110	200	-111
	P.to E	162	250	-134
SLE Freq	Punto	[kN]	[kN]	[kN]
	P.to C	22	0	-63
	P.to L	102	200	-102
	P.to E	150	250	-123
SLE Q.P.	Punto	[kN]	[kN]	[kN]
	P.to C	12	0	-49
	P.to L	97	200	-96
	P.to E	142	250	-116
SLU	Punto	[kN]	[kN]	[kN]
	P.to C	48	0	-114
	P.to L	148	200	-150
	P.to E	219	250	-181
SLV	Punto	[kN]	[kN]	[kN]
	P.to C	251	0	-373
	P.to L	226	139	-231
	P.to E	341	189	-281

10.11.1 Verifiche strutturali del muro andatore

Nella seguente tabella vengono riportate le dimensioni geometriche del paramento anteriore, le armature a flessione e le armature a taglio.

Tabella 10-30 Muri andatori -Geometria sezioni di calcolo e armature .

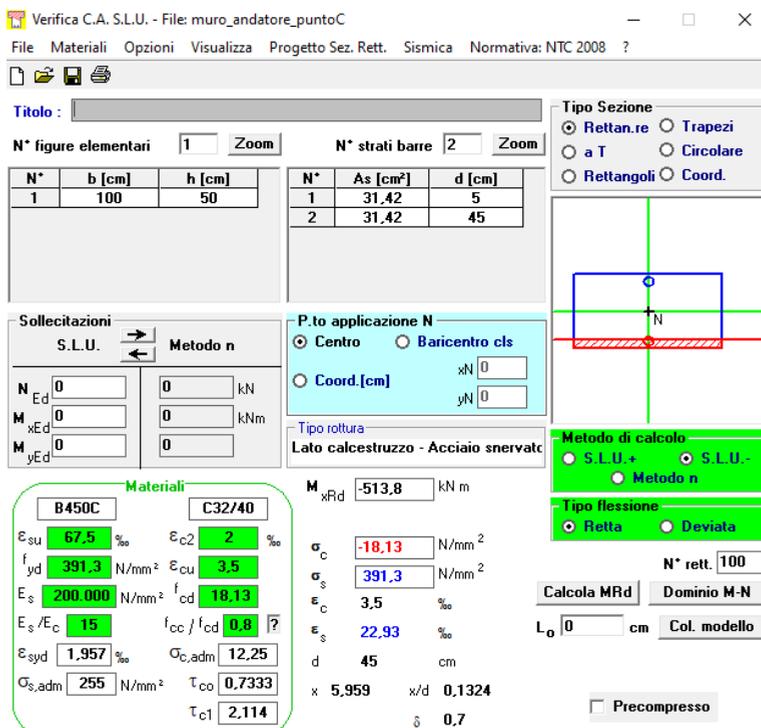
Elemento strutturale	B	H	Distanza dal paramento interno	Armatura a flessione	Armatura a taglio
Muro andatore	[cm]	[cm]	[cm]		
Sezione di calcolo P.to C	100	50	5	10Ø20	Ø12/
			45	10Ø20	40/40
Sezione di calcolo P.to E	100	125	5	5Ø20	Ø12/
			120	5Ø20	40/40
Sezione di calcolo P.to L	100	100	5	5Ø20	Ø12/
			95	5Ø20	40/40

10.11.1.1 Verifica strutturale del punto C

Verifiche allo stato limite SLV per sollecitazioni flettenti in direzione orizzontale

$M_{max} = -373 \text{ kNm}$

Si riporta la verifica a flessione:



The screenshot shows a software window titled "Verifica C.A. S.L.U. - File: muro_andatore_puntoC". It contains several panels:

- Section Data:**

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	50	1	31.42	5
			2	31.42	45
- Materials:**

Property	B450C	C32/40
E_{su}	67,5 ‰	2 ‰
f_{yd}	391,3 N/mm²	3,5
E_s	200.000 N/mm²	18,13
E_s/E_c	15	0,8
E_{syd}	1.957 ‰	12,25
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	0,7333
		2,114
- Calculation Results:**
 - Moment: $M_{xRd} = -513,8 \text{ kNm}$
 - Stress: $\sigma_c = -18,13 \text{ N/mm}^2$
 - Strain: $\epsilon_s = 22,93 \text{ ‰}$
 - Depth: $d = 45 \text{ cm}$
 - Relative depth: $x/d = 0,1324$
 - Parameter: $\delta = 0,7$
- Design Parameters:**
 - Method: Metodo n
 - Calculation Method: S.L.U. +
 - Reinforcement Type: Retta
 - Number of bars: N° rett. 100
 - Design Length: $L_0 = 0 \text{ cm}$

Figura 10-43 Muro andatore p.to C - Calcolo del momento resistente.

La verifica risulta soddisfatta.

Verifiche allo stato limite SLV per sollecitazioni taglianti in direzione orizzontale

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI			
Calcestruzzo			
SLU			
Classe classe identificativa del calcestruzzo			
$R_{ck} \geq$	40	MPa	resistenza a compressione cubica caratteristica
γ_o	1,5		coefficiente parziale SLU
α_{oo}	0,85		fattore che tiene conto degli effetti dei carichi di lunga durata
$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	28	MPa	resistenza a compressione cilindrica caratteristica
$f_{cm} = f_{ck} + 8$	36	MPa	resistenza a compressione cilindrica media
$f_{cd} = \alpha f_{ck} / \gamma_c$	15,87	MPa	resistenza a compressione cilindrica di progetto per SLU
$f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{(2/3)}$	2,77	MPa	resistenza a trazione media
$f_{ctk 0.05} = 0.7 f_{ctm}$	1,94	MPa	resistenza a trazione caratteristica (frattile 5%)
$f_{ctk 0.95} = 1.3 f_{ctm}$	3,60	MPa	resistenza a trazione caratteristica (frattile 95%)
$f_{ctd} = f_{ctk 0.05} / \gamma_c$	1,29	MPa	resistenza a trazione di progetto
$f_{ctm} = 1.2 f_{ctm}$	3,32	MPa	resistenza a trazione per flessione media (frattile 50%)
$f_{ctk} = 0.7 f_{ctm}$	2,32	MPa	resistenza a trazione per flessione caratteristica (frattile 5%)
$f_{ctk} = 1.3 f_{ctm}$	4,32	MPa	resistenza a trazione per flessione caratteristica (frattile 95%)
$E_{cm} = 22000 (f_{cm} / 1)$	32308	MPa	modulo elastico
SLE			
$\sigma_t = f_{ctm} / 1.2$	2,31	MPa	stato limite di formazione delle fessure
$\sigma_c < 0.60 f_{ck}$	16,80	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio (per combinazione rara)
$\sigma_c < 0.45 f_{ck}$	12,60	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio (per combinazione quasi permanente)
Acciaio B450C			
SLU			
$f_{yk} \geq$	450	MPa	tensione di snervamento caratteristica (frattile 5%)
γ_s	1,15		coefficiente parziale SLU
$f_{td} = f_{yk} / \gamma_s$	391,30	MPa	tensione di snervamento di calcolo
E_s	210000	MPa	modulo elastico
SLE			
$\sigma_s < 0.80 f_{yk}$	360	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio
n	15		coefficiente omogeneizzazione
δ	5	cm	copriferro

Taglio resistente nelle sezioni con armatura trasversale a taglio

Taglio agente $V_{Ed} = 251 \text{ kN}$					
Larghezza minima della sezione	b_w	1000	mm		
Altezza della sezione	h	500	mm		
Copriferro della sezione	δ	50	mm		
Altezza utile della sezione	d	450	mm		
Diametro delle staffe	d_w	12	mm		
Numero di braccia	n_w	2,5			
Area totale staffe	A_{sw}	282,60	mm ²		
Passo delle staffe	s	400	mm		
Inclinazione delle staffe	α	90	deg		1
Inclinazione delle bielle compresse	θ	21,8	deg	$\cot(\theta)$	2,50
Coeff. maggiorativo per sezioni compresse	α_c	1			2,5
Resistenza di calcolo a "taglio-trazione"	$V_{Rtd} =$	279,9	kN	$V_{Rtd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot\alpha + \cot\theta) \cdot \sin\alpha$	
Resistenza di calcolo a "taglio-comprensione"	$V_{Rod} =$	1107,9	kN	$V_{Rod} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\cot\alpha + \cot\theta) / (1 + \cot^2\theta)$	
Resistenza a taglio della sezione	$V_{Rd} =$	279,9	kN	$V_{Rd} = \min(V_{Rtd}, V_{Rod})$	
Esito della verifica soddisfatta					

La verifica risulta soddisfatta.

Verifiche allo stato limite SLE in direzione orizzontale

Verifica apertura fessure

σ_s	67,3 N/mm ²	Tensione massima armatura tesa sezione fessurata
x_n	142 mm	Asse neutro della sezione
R_{sk}	40 N/mm ²	Resistenza caratteristica cubica cls
ψ_{long}	20 mm	Diámetro barre longitudinali in zona tesa
ψ_{sbarre}	12 mm	Diámetro staffe o spirale
n	10	Numero ferri longitudinali
c	50 mm	Copriferro
b	1000 mm	Larghezza sezione
h	500 mm	Altezza sezione
k_1	0,4	$k_1=0,6; 0,4$ carichi breve durata/lunga durata
k_2	0,5	$k_2=0,5; 1,0$ caso flessione/trazione semplice
k_3	0,8	$k_3=0,8; 1,6$ barre aderenza migliorata/lisce
w	0,2 mm	Valore limite apertura fessure

d	450 mm	Altezza utile della sezione
δ	28 mm	Ricoprimento del calcestruzzo
f_{ck}	33,2 N/mm ²	Resistenza caratteristica cilindrica cls
$A_{s,eff}$	119200 mm ²	Area efficace del calcestruzzo
$A_{s,long}$	3142 mm ²	Area ferri longitudinali in zona tesa
E_s	206000 N/mm ²	Modulo elastico acciaio da c.a.
f_{tk}	3,1 N/mm ²	Resistenza a trazione medio cls
E_{cm}	33643 N/mm ²	Modulo elastico medio cls
$\sigma_{s,lim}$	6,12	Rapporto E_s/E_{cm}
$E_{s,lim}$	41,2 N/mm ²	Resistenza media cls
D_{rel}	2,64 %	Rapporto area acciaio/area efficace
ϵ_{sm}	0,02 %	Deformazione unitaria media
η	3,4	Coefficiente
k_1	0,4	Coefficiente
ΔS_{max}	224,2 mm	Distanza massima tra le fessure
w_f	0,044 mm	Valore di calcolo apertura fessure

Figura 10-44 Muro andatore P.to C – Verifiche SLE.

Tabella 10-31 Muro andatore P.to C - -Tensioni di esercizio

Elemento strutturale	M_{es} [kNm]	$ \sigma_{cmax} $ [MPa]	$ \sigma_{smax} $ [MPa]	w [mm]
Muro andatore direzione orizzontale	-85	2,078	67,3	0,044

La verifica allo stato limite di apertura delle fessure e la verifica di limitazione delle fessure risultano soddisfatte.

10.11.1.2 Verifica strutturale del punto E

Verifiche allo stato limite SLV per sollecitazioni flettenti in direzione verticale

$$M_{\max} = -281 \text{ kNm}$$

$$N = 189 \text{ kN}$$

Si riporta la verifica a flessione:

Verifica C.A. S.L.U. - File: muro_andatore_puntoL

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO: _____

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	125

N°	As [cm²]	d [cm]
1	15,71	5
2	15,71	120

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 189 kN
M_{xEd} 0 kNm
M_{yEd} 0 kNm

P.to applicazione N
Centro Baricentro cls
Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura
Lato acciaio - Acciaio snervato

Materiali

Materiali	B450C	C32/40
ϵ_{su}	67,5 ‰	ϵ_{c2} 2 ‰
f_{yd}	391,3 N/mm ²	ϵ_{cu} 3,5 ‰
E_s	200.000 N/mm ²	f_{cd} 18,13
E_s/E_c	15	f_{cc}/f_{cd} 0,8 ?
ϵ_{syd}	1,957 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 12,25
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm ²	τ_{co} 0,7333
		τ_{c1} 2,114

M_{xRd} -836,9 kNm

σ_c -18,13 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 ϵ_c 3,096 ‰
 ϵ_s 67,5 ‰
d 120 cm
x 5,263 x/d 0,04386
 δ 0,7

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett. 100
Calcola MRd Dominio M-N
L₀ 0 cm Col. modello
 Precompresso

Figura 10-45 Muro andatore p.to E - Calcolo del momento resistente.

La verifica risulta soddisfatta.

Verifiche allo stato limite SLV per sollecitazioni taglianti in direzione verticale

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI			
Calcestruzzo			
SLU			
Classe classe identificativa del calcestruzzo			
$R_{ck} \geq$	40	MPa	resistenza a compressione cubica caratteristica
γ_o	1,5		coefficiente parziale SLU
α_{∞}	0,85		fattore che tiene conto degli effetti dei carichi di lunga durata
$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	28	MPa	resistenza a compressione cilindrica caratteristica
$f_{cm} = f_{ck} + 8$	36	MPa	resistenza a compressione cilindrica media
$f_{cd} = \alpha f_{ck} / \gamma_c$	15,87	MPa	resistenza a compressione cilindrica di progetto per SLU
$f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{(2/3)}$	2,77	MPa	resistenza a trazione media
$f_{ctk 0.05} = 0.7 f_{ctm}$	1,94	MPa	resistenza a trazione caratteristica (frattile 5%)
$f_{ctk 0.95} = 1.3 f_{ctm}$	3,60	MPa	resistenza a trazione caratteristica (frattile 95%)
$f_{ctd} = f_{ctk 0.05} / \gamma_c$	1,29	MPa	resistenza a trazione di progetto
$f_{ctm} = 1.2 f_{ctm}$	3,32	MPa	resistenza a trazione per flessione media (frattile 50%)
$f_{ctk} = 0.7 f_{ctm}$	2,32	MPa	resistenza a trazione per flessione caratteristica (frattile 5%)
$f_{ctk} = 1.3 f_{ctm}$	4,32	MPa	resistenza a trazione per flessione caratteristica (frattile 95%)
$E_{cm} = 22000 (f_{cm} / 1)$	32308	MPa	modulo elastico
SLE			
$\sigma_t = f_{ctm} / 1.2$	2,31	MPa	stato limite di formazione delle fessure
$\sigma_c < 0.60 f_{ck}$	16,80	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio (per combinazione rara)
$\sigma_c < 0.45 f_{ck}$	12,60	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio (per combinazione quasi permanente)
Acciaio B450C			
SLU			
$f_{yk} \geq$	450	MPa	tensione di snervamento caratteristica (frattile 5%)
γ_s	1,15		coefficiente parziale SLU
$f_{td} = f_{yk} / \gamma_s$	391,30	MPa	tensione di snervamento di calcolo
E_s	210000	MPa	modulo elastico
SLE			
$\sigma_s < 0.80 f_{yk}$	360	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio
n	15		coefficiente omogeneizzazione
δ	5	cm	copriferro

Taglio resistente nelle sezioni senza armatura trasversale a taglio			
<i>Taglio agente $V_{Ed} = 341 \text{ kN}$</i>			
Larghezza minima della sezione	b_w	1000	mm
Altezza della sezione	h	1200	mm
Copriferro della sezione	δ	50	mm
Altezza utile della sezione	d	1150	mm
n° ferri zona tesa		10	
diametro ferri zona tesa		20	mm
Armatura totale longitudinale	A_t	3140	mm ²
	k	1,417	
Rapporto geom. di armatura longitudin	ρ_l	0,003	< 0,02
Sforzo normale agente	N_{Ed}	189	kN
Tensione di compressione agente	σ_{cp}	0,1575	Mpa < $0,2 \times f_{cd} = 3,1733 \text{ Mpa}$
Resistenza unitaria a taglio	v_{min}	0,312	
Taglio resistente	V_{Rd}	407,0	kN
Esito della verific Soddisfatta, non occorre armatura specifica a taglio			

La verifica risulta soddisfatta in assenza di armatura a taglio. Tuttavia si inseriscono spilli $\varnothing 12/40/40$.

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Verifiche allo stato limite SLE in direzione orizzontale

Verifica C.A. S.L.U. - File: muro_andatore_puntoL_sle

File | Materiali | Opzioni | Visualizza | Progetto Sez. Rett. | Sismica | Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: _____

N° figure elementari: 1 | Zoom | N° strati barre: 2 | Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	125	1	15,71	5
			2	15,71	120

Tipologia Sezione:
 Rettang. re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Materiali:
 B450C | C32/40
 ϵ_{su} 67,5 ‰ | ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391,3 N/mm² | ϵ_{cu} 3,5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² | f_{cd} 18,13 ‰
 E_s / E_c 15 | f_{cc} / f_{cd} 0,8
 ϵ_{syd} 1,957 ‰ | $\sigma_{c,adm}$ 12,25
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² | τ_{co} 0,7333
 τ_{c1} 2,114

P.to applicazione N:
 Centro Baricentro cls
 Coord. [cm] | xN 0 | yN 0

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

Verifica:
 N° iterazioni: 5
 Precompresso

Verifica apertura fessure		
σ_s	75,1 N/mm²	Tensione massima armatura tesa sezione fessurata
k_x	200 mm	Asse neutro della sezione
R_{ck}	40 N/mm²	Resistenza caratteristica cubica cls
ϕ_{long}	20 mm	Diametro barre longitudinali in zona tesa
ϕ_{spira}	12 mm	Diametro staffe o spirale
n	5	Numero ferri longitudinali
c	50 mm	Copriferro
b	1000 mm	Larghezza sezione
h	1200 mm	Altezza sezione
k_1	0,4	$k_1 = 0,6; 0,4$ carichi breve durata/lunga durata
k_2	0,5	$k_2 = 0,5; 1,0$ caso flessione/trazione semplice
k_3	0,8	$k_3 = 0,8; 1,6$ barre aderenza migliorata/fisce
W	0,2 mm	Valore limite apertura fessure
d	1150 mm	Altezza utile della sezione
δ	28 mm	Ricoprimento del calcestruzzo
f_{ct}	33,2 N/mm²	Resistenza caratteristica cilindrica cls
A_{eff}	125000 mm²	Area efficace del calcestruzzo
$A_{s, long}$	1571 mm²	Area ferri longitudinali in zona tesa
E_s	206000 N/mm²	Modulo elastico acciaio da c.a.
f_{ctm}	3,1 N/mm²	Resistenza a trazione media cls
E_{cm}	33843 N/mm²	Modulo elastico medio cls
α_e	6,12	Rapporto E_s/E_{cm}
f_{ctd}	41,2 N/mm²	Resistenza media cls
D_{rel}	1,26 ‰	Rapporto area acciaio/area efficace
ϵ_{sm}	0,02 ‰	Deformazione unitaria media
k_1	3,4	Coefficiente
k_2	0,4	Coefficiente
AS_{max}	365,8 mm	Distanza massima tra le fessure
W_f	0,080 mm	Valore di calcolo apertura fessure

Figura 10-46 Muro andatore P.to E – Verifiche SLE.

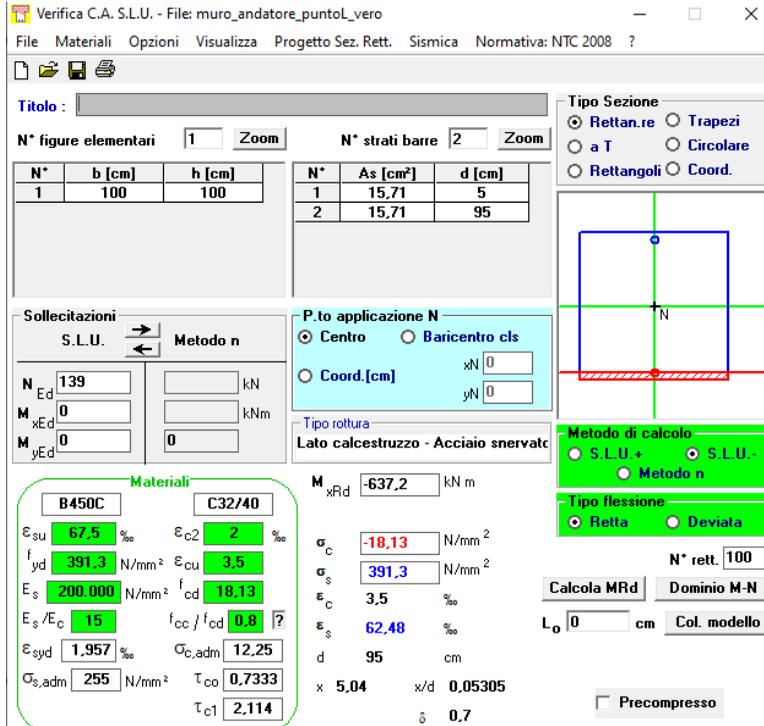
Tabella 10-32 Muro andatore P.to E -- Tensioni di esercizio

Elemento strutturale	M_{es} [kNm]	$ \sigma_{cmax} $ [MPa]	$ \sigma_{smax} $ [MPa]	W [mm]
Muro andatore direzione verticale	-134	1	75,1	0,08

La verifica allo stato limite di apertura delle fessure e la verifica di limitazione delle fessure risultano soddisfatte.

10.11.1.3 Verifica strutturale del punto L

Verifiche allo stato limite SLV per sollecitazioni flettenti in direzione orizzontale



Verifica C.A. S.L.U. - File: muro_andatore_puntoL_vero

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	100	1	15,71	5
			2	15,71	95

Tipologia Sezione:
 Rettang. re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Diagramma di sezione: Rettangolo con dimensioni b=100 cm, h=100 cm. Centro di gravità (G) e centro di massa (C) sono indicati.

Sollecitazioni:
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 139 kN
 M_{xEd} 0 kNm
 M_{yEd} 0 kNm

P.to applicazione N:
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipologia rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipologia flessione:
 Retta Deviata

Materiali:
 B450C C32/40
 E_{su} 67,5 ‰ E_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391,3 N/mm² E_{cu} 3,5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 18,13 ‰
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8 ?
 E_{syd} 1,957 ‰ σ_{c,adm} 12,25 ‰
 σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0,7333 ‰
 τ_{c1} 2,114 ‰

M_{xRd} -637,2 kN m
 σ_c -18,13 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 E_c 3,5 ‰
 ε_s 62,48 ‰
 d 95 cm
 x 5,04 x/d 0,05305
 δ 0,7

N° rett. 100
 Calcola MRd Dominio M-N
 L₀ 0 cm Col. modello
 Precompresso

Figura 10-47 Muro andatore p.to L - Calcolo del momento resistente.

La verifica risulta soddisfatta.

Verifiche allo stato limite SLV per sollecitazioni taglianti in direzione orizzontale

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI			
Calcestruzzo			
SLU			
Classe			
$R_{ck} \geq$	40	MPa	resistenza a compressione cubica caratteristica
γ_o	1,5		coefficiente parziale SLU
α_{oo}	0,85		fattore che tiene conto degli effetti dei carichi di lunga durata
$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	28	MPa	resistenza a compressione cilindrica caratteristica
$f_{cm} = f_{ck} + 8$	36	MPa	resistenza a compressione cilindrica media
$f_{cd} = \alpha f_{ck} / \gamma_c$	15,87		resistenza a compressione cilindrica di progetto per SLU
$f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{(2/3)}$	2,77	MPa	resistenza a trazione media
$f_{ctk,0.05} = 0.7 f_{ctm}$	1,94	MPa	resistenza a trazione caratteristica (frattile 5%)
$f_{ctk,0.95} = 1.3 f_{ctm}$	3,60	MPa	resistenza a trazione caratteristica (frattile 95%)
$f_{ctd} = f_{ctk,0.05} / \gamma_c$	1,29	MPa	resistenza a trazione di progetto
$f_{ctm} = 1.2 f_{ctm}$	3,32	MPa	resistenza a trazione per flessione media (frattile 50%)
$f_{ctk} = 0.7 f_{ctm}$	2,32	MPa	resistenza a trazione per flessione caratteristica (frattile 5%)
$f_{ctk} = 1.3 f_{ctm}$	4,32	MPa	resistenza a trazione per flessione caratteristica (frattile 95%)
$E_{cm} = 22000 (f_{cm} / 1)$	32308	MPa	modulo elastico
SLE			
$\sigma_1 = f_{ctm} / 1.2$	2,31	MPa	stato limite di formazione delle fessure
$\sigma_c < 0.60 f_{ck}$	16,80	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio (per combinazione rara)
$\sigma_c < 0.45 f_{ck}$	12,60	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio (per combinazione quasi permanente)
Acciaio B450C			
SLU			
$f_{yk} \geq$	450	MPa	tensione di snervamento caratteristica (frattile 5%)
γ_s	1,15		coefficiente parziale SLU
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$	391,30	MPa	tensione di snervamento di calcolo
E_s	210000	MPa	modulo elastico
SLE			
$\sigma_s < 0.80 f_{yk}$	360	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio
n	15		coefficiente omogeneizzazione
δ	5	cm	copriferro

Taglio resistente nelle sezioni senza armatura trasversale a taglio

<i>Taglio agente $V_{Ed} = 226 \text{ kN}$</i>			
Larghezza minima della sezione	b_w	1000	mm
Altezza della sezione	h	1000	mm
Copriferro della sezione	δ	50	mm
Altezza utile della sezione	d	950	mm
n° ferri zona tesa		10	
diametro ferri zona tesa		20	mm
Armatura totale longitudinale	A_t	3140	mm ²
	k	1,459	
Rapporto geom. di armatura longitudin	ρ_l	0,003	< 0,02
Sforzo normale agente	N_{Ed}	139	kN
Tensione di compressione agente	σ_{cp}	0,139	Mpa < $0,2 \times f_{cd} = 3,1733 \text{ Mpa}$
Resistenza unitaria a taglio	v_{min}	0,326	
Taglio resistente	V_{Rd}	363,1	kN

Esito della verific Soddisfatta, non occorre armatura specifica a taglio

La verifica risulta soddisfatta. La verifica risulta soddisfatta in assenza di armatura a taglio. Tuttavia si inseriscono spilli $\varnothing 12/40/40$.

Verifiche allo stato limite SLE in direzione orizzontale

Verifica C.A. S.L.U. - File: muro_andatore_punto_vero_SLE

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Tipo Sezione
 Rettang. re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

N° figure elementari 1 **Zoom** **N° strati barre** 2 **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	100	1	15,71	5
			2	15,71	95

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n
 N_{Ed} [] kN
 M_{xEd} 0 [-111] kNm
 M_{yEd} 0 [0] kNm

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN [0] yN [0]

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

Verifica N° iterazioni: 5 Precompresso

Materiali
 B450C C32/40
 ϵ_{su} 67,5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391,3 N/mm² ϵ_{cu} 3,5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 18,13 ‰
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8
 ϵ_{syd} 1,957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 12,25
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0,7333
 τ_{c1} 2,114

Verifica
 σ_c -1,191 N/mm²
 σ_s 79,12 N/mm²
 ϵ_s 0,3956 ‰
 d 95 cm
 x 17,5 x/d 0,1842
 δ 0,7

Verifica apertura fessure		
σ_s	79,1 N/mm ²	Tensione massima armatura tesa sezione fessurata
A_s	175 mm	Asse neutro della sezione
R_{ck}	40 N/mm ²	Resistenza caratteristica cubica cls
ϕ_{long}	20 mm	Diametro barre longitudinali in zona tesa
ϕ_{spiral}	12 mm	Diametro staffe o spirale
n	5	Numero ferri longitudinali
c	50 mm	Copriferro
b	1000 mm	Larghezza sezione
h	1000 mm	Altezza sezione
k_1	0,4	$k_1=0,6; 0,4$ carichi breve durata/lunga durata
k_2	0,5	$k_2=0,5; 1,0$ caso flessione/trazione semplice
k_3	0,8	$k_3=0,8; 1,6$ barre aderenza migliorata/lisce
s_w	0,2 mm	Valore limite apertura fessure
d	950 mm	Altezza utile della sezione
λ	28 mm	Ricoprimento del calcestruzzo
f_{ctk}	33,2 N/mm ²	Resistenza caratteristica cilindrica cls
$A_{c,eff}$	125000 mm ²	Area efficace del calcestruzzo
$A_{s,long}$	1571 mm ²	Area ferri longitudinali in zona tesa
E_s	206000 N/mm ²	Modulo elastico acciaio da c.a.
f_{ctm}	3,1 N/mm ²	Resistenza a trazione media cls
E_{cm}	33643 N/mm ²	Modulo elastico medio cls
η_s	6,12	Rapporto E_s/E_{cm}
σ_{sm}	41,2 N/mm ²	Resistenza media cls
ω_{def}	1,26 ‰	Rapporto area acciaio/area efficace
ϵ_{sm}	0,02 ‰	Deformazione unitaria media
ϵ_{cs}	3,4	Coefficiente
ϵ_{si}	0,4	Coefficiente
$s_{l,max}$	365,8 mm	Distanza massima tra le fessure
w_k	0,084 mm	Valore di calcolo apertura fessure

Figura 10-48 Muro andatore P.to L – Verifiche SLE.

Tabella 10-33 Muro andatore P.to E - -Tensioni di esercizio

Elemento strutturale	M _{es} [kNm]	\sigma _{cmax} [MPa]	\sigma _{smax} [MPa]	w [mm]
Muro andatore direzione orizzontale	-111	1,19	79,12	0,084

La verifica allo stato limite di apertura delle fessure e la verifica di limitazione delle fessure risultano soddisfatte.

10.12 ANALISI CONTRAFFORTE

10.12.1 Sollecitazioni contrafforte

Si riportano di seguito i diagrammi delle massime sollecitazioni di taglio e momento agenti sul contrafforte.

Sollecitazioni allo SLU

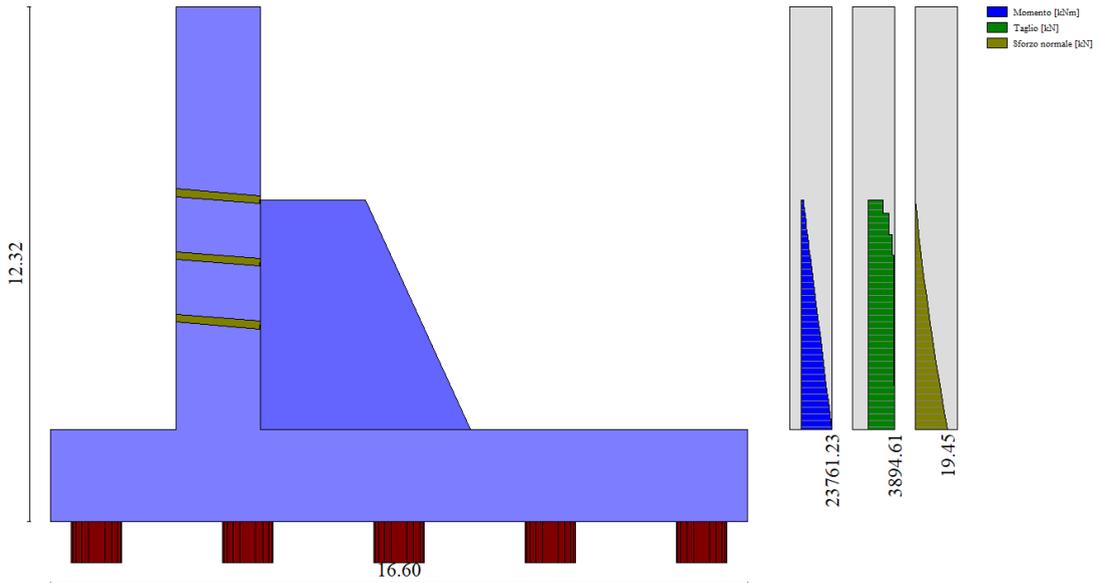


Figura 10-49 Contrafforte – diagrammi delle sollecitazioni (combinazione n°4)

Tabella 10-34 Contrafforte – sollecitazioni (combinazione n°4)

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	-4.62	0.00	2228.47	-1594.26
2	-4.95	0.80	2228.47	-2329.66
3	-4.95	0.80	3098.76	-2879.30
4	-5.45	2.10	3098.76	-4428.68
5	-5.45	2.10	3549.90	-4847.97
6	-5.95	3.51	3549.90	-6622.93
7	-5.95	3.51	3752.31	-6905.24
8	-6.45	5.03	3752.31	-8781.40
9	-6.45	5.03	3837.96	-8988.06
10	-6.95	6.66	3837.96	-10907.04
11	-6.95	6.66	3861.34	-11066.84
12	-7.45	8.39	3861.34	-12997.50
13	-7.45	8.39	3853.08	-13127.40
14	-7.98	10.36	3853.08	-15184.94
15	-7.98	10.36	3845.98	-15289.12
16	-8.52	12.45	3845.98	-17342.88
17	-8.52	12.45	3858.10	-17427.21
18	-9.05	14.66	3858.10	-19487.44

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

n°	X	N	T	M
	[m]	[kN]	[kN]	[kNm]
19	-9.05	14.66	3878.77	-19557.49
20	-9.59	16.99	3878.77	-21628.76
21	-9.59	16.99	3894.61	-21681.50
22	-10.12	19.45	3894.61	-23761.23

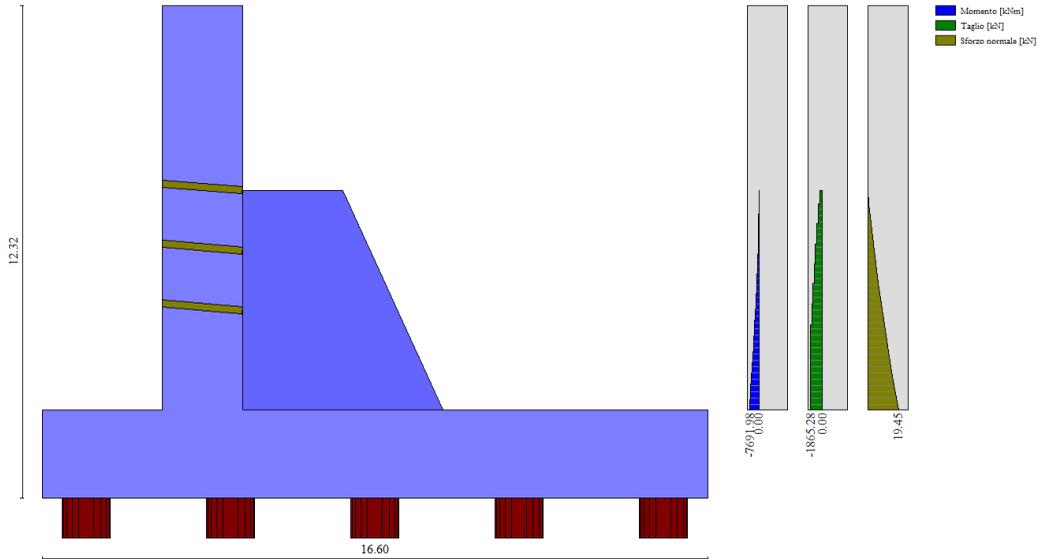


Figura 10-50 Contrafforte – diagrammi delle sollecitazioni (combinazione n°10)

Tabella 10-35 Contrafforte – sollecitazioni (combinazione n°10)

n°	X	N	T	M
	[m]	[kN]	[kN]	[kNm]
1	-4.62	0.00	-359.88	27.42
2	-4.95	0.80	-359.88	146.18
3	-4.95	0.80	-601.00	137.39
4	-5.45	2.10	-601.00	437.90
5	-5.45	2.10	-851.11	426.07
6	-5.95	3.51	-851.11	851.63
7	-5.95	3.51	-1085.75	840.97
8	-6.45	5.03	-1085.75	1383.84
9	-6.45	5.03	-1304.07	1377.91
10	-6.95	6.66	-1304.07	2029.95
11	-6.95	6.66	-1502.95	2030.65
12	-7.45	8.39	-1502.95	2782.13
13	-7.45	8.39	-1678.28	2791.83
14	-7.98	10.36	-1678.28	3688.03
15	-7.98	10.36	-1802.16	3707.96
16	-8.52	12.45	-1802.16	4670.31
17	-8.52	12.45	-1857.90	4691.38
18	-9.05	14.66	-1857.90	5683.50
19	-9.05	14.66	-1865.28	5697.91
20	-9.59	16.99	-1865.28	6693.97
21	-9.59	16.99	-1853.75	6702.07
22	-10.12	19.45	-1853.75	7691.98

Sollecitazioni allo SLE

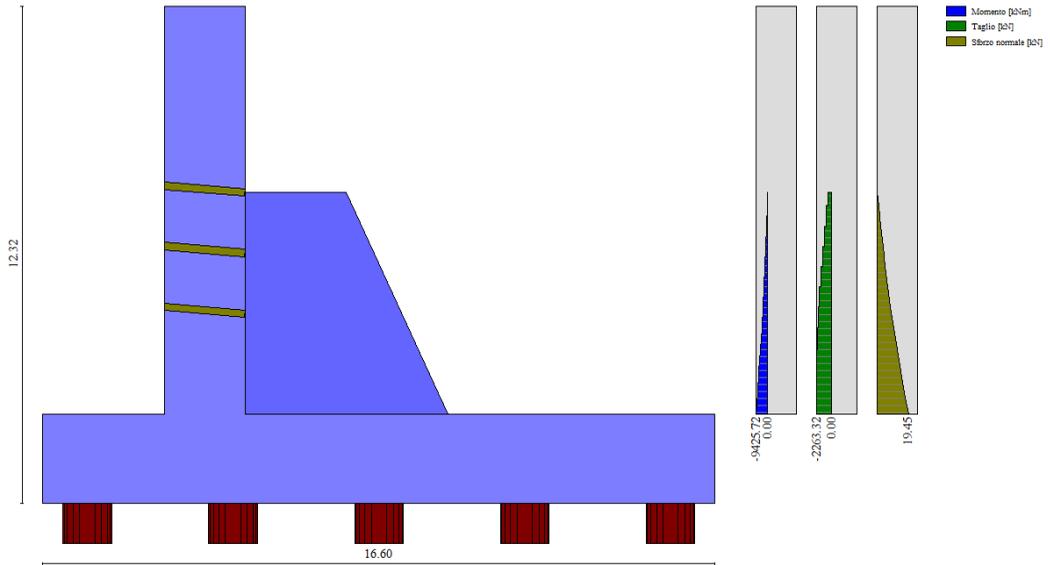


Figura 10-51 Contrafforte – diagrammi delle sollecitazioni (combinazioni n° 23-28)

Tabella 10-36 Contrafforte – sollecitazioni (combinazioni n° 23-28)

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	-4.62	0.00	-463.10	68.23
2	-4.95	0.80	-463.10	221.06
3	-4.95	0.80	-758.18	224.11
4	-5.45	2.10	-758.18	603.20
5	-5.45	2.10	-1053.34	599.94
6	-5.95	3.51	-1053.34	1126.61
7	-5.95	3.51	-1325.61	1121.66
8	-6.45	5.03	-1325.61	1784.46
9	-6.45	5.03	-1577.88	1783.26
10	-6.95	6.66	-1577.88	2572.21
11	-6.95	6.66	-1807.99	2577.62
12	-7.45	8.39	-1807.99	3481.62
13	-7.45	8.39	-2012.62	3496.62
14	-7.98	10.36	-2012.62	4571.36
15	-7.98	10.36	-2162.89	4597.30
16	-8.52	12.45	-2162.89	5752.28
17	-8.52	12.45	-2240.17	5779.68
18	-9.05	14.66	-2240.17	6975.93
19	-9.05	14.66	-2263.32	6996.45
20	-9.59	16.99	-2263.32	8205.06
21	-9.59	16.99	-2260.92	8218.39
22	-10.12	19.45	-2260.92	9425.72

dove:

- N è lo sforzo normale, positivo se di compressione;
- T è il taglio, positivo se diretto da monte verso valle;

- M è il momento flettente, negativo se tende le fibre contro terra (a monte);

10.12.2 Verifiche strutturali del contrafforte

Nella seguente tabella vengono riportate le dimensioni geometriche del paramento anteriore, le armature a flessione e le armature a taglio.

Tabella 10-37 Contrafforte -Geometria e armature.

Elemento strutturale	B [cm]	H [cm]	Distanza dal paramento interno [cm]	Armatura a flessione	Armatura a taglio
Paraghiaia	50	500	5	3Ø28	
			25-485	2Ø28	Ø16/20
			495	3Ø28	

Lungo l'altezza del contrafforte vengono disposti 3Ø28 alla distanza di 5 cm e 295 cm dal paramento interno. A partire dalla distanza di 25 cm vengono disposti 2Ø28 di parete ogni 20 cm.

Verifiche allo stato limite SLV per sollecitazioni flettenti

$$M_{\min} = 7691,97 \text{ kNm}$$

$$M_{\max} = -23761,23 \text{ kNm}$$

$$N = 19,45 \text{ kN}$$

Figura 10-52 Contrafforte -Calcolo del momento resistente.

La verifica a flessione risulta soddisfatta sia a momento positivo sia a momento negativo poiché l'armatura è simmetrica.

Verifiche allo stato limite SLV per sollecitazioni taglianti

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI			
Calcestruzzo			
SLU			
Classe			
$R_{ck} \geq$	40	MPa	classe identificativa del calcestruzzo
γ_c	1,5		coefficiente parziale SLU
α_{cc}	0,85		fattore che tiene conto degli effetti dei carichi di lunga durata
$f_{ck} = 0,83 R_{ck}$	28	MPa	resistenza a compressione cilindrica caratteristica
$f_{cm} = f_{ck} + 8$	36	MPa	resistenza a compressione cilindrica media
$f_{cd} = \alpha f_{ck} / \gamma_c$	15,87	MPa	resistenza a compressione cilindrica di progetto per SLU
$f_{ctm} = 0,30 f_{ck}^{(2/3)}$	2,77	MPa	resistenza a trazione media
$f_{ctk,0.05} = 0,7 f_{ctm}$	1,94	MPa	resistenza a trazione caratteristica (frattile 5%)
$f_{ctk,0.95} = 1,3 f_{ctm}$	3,60	MPa	resistenza a trazione caratteristica (frattile 95%)
$f_{ctd} = f_{ctk,0.05} / \gamma_c$	1,29	MPa	resistenza a trazione di progetto
$f_{ctm} = 1,2 f_{ctm}$	3,32	MPa	resistenza a trazione per flessione media (frattile 50%)
$f_{ctk} = 0,7 f_{ctm}$	2,32	MPa	resistenza a trazione per flessione caratteristica (frattile 5%)
$f_{ctk} = 1,3 f_{ctm}$	4,32	MPa	resistenza a trazione per flessione caratteristica (frattile 95%)
$E_{cm} = 22000 (f_{cm} / 10)$	32308	MPa	modulo elastico
SLE			
$\sigma_t = f_{ctm} / 1,2$	2,31	MPa	stato limite di formazione delle fessure
$\sigma_c < 0,60 f_{ck}$	16,80	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio (per combinazione rara)
$\sigma_c < 0,45 f_{ck}$	12,60	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio (per combinazione quasi permanente)
Acciaio B450C			
SLU			
$f_{yk} \geq$	450	MPa	tensione di snervamento caratteristica (frattile 5%)
γ_s	1,15		coefficiente parziale SLU
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$	391,30	MPa	tensione di snervamento di calcolo
E_s	210000	MPa	modulo elastico
SLE			
$\sigma_s < 0,80 f_{yk}$	360	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio
n	15		coefficiente omogeneizzazione
δ	5	cm	copriferro

Taglio resistente nelle sezioni con armatura trasversale a taglio

Taglio agente		$V_{Ed} = 3858,1 \text{ kN}$	
Larghezza minima della sezione	b_w	500	mm
Altezza della sezione	h	5000	mm
Copriferro della sezione	δ	50	mm
Altezza utile della sezione	d	4950	mm
Diametro delle staffe	d_w	16	mm
Numero di braccia	n_w	2,0	
Area totale staffe	A_{sw}	401,92	mm ²
Passo delle staffe	s	200	mm
Inclinazione delle staffe	α	90	deg
Inclinazione delle bielle compresse	θ	26,4	deg
Coeff. maggiorativo per sezioni compresse	α_c	1,0005	
Resistenza di calcolo a "taglio-trazione"	$V_{Rtd} =$	7047,4 kN	$V_{Rtd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{td} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$
Resistenza di calcolo a "taglio-comprensione"	$V_{Rcd} =$	7047,4 kN	$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta)$
Resistenza a taglio della sezione	$V_{Rd} =$	7047,4 kN	$V_{Rd} = \min (V_{Rtd}, V_{Rcd})$
Esito della verifica	soddisfatta		

La verifica risulta soddisfatta.

Verifica allo stato limite SLE

Si riporta di seguito il calcolo delle tensioni allo SLE e la verifica allo stato limite di apertura delle fessure.

$M_{max} = -9425,72 \text{ kNm}$

Verifica C.A. S.L.U. - File: contrafforte_sle

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO: _____

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 26 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	50	500	1	18,47	5
2			2	12,32	25
3			3	12,32	45
4			4	12,32	65
5			5	12,32	85
6			6	12,32	105

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 0 kN
 M_{xEd}: -9425,72 kNm
 M_{yEd}: 0

Materiali: B450C C32/40

ϵ_{su} : 67,5 ‰ ϵ_{c2} : 2 ‰
 f_{yd} : 391,3 N/mm² ϵ_{cu} : 3,5 ‰
 E_s : 200.000 N/mm² f_{cd} : 18,13
 E_s/E_c : 15 f_{cc}/f_{cd} : 0,8
 $\sigma_{s,adm}$: 255 N/mm² τ_{co} : 0,7333
 τ_{c1} : 2,114

σ_c : -6,142 N/mm²
 σ_s : 226,7 N/mm²
 ϵ_s : 1,134 ‰
 d: 495 cm
 x: 143 x/d: 0,289
 δ : 0,8012

Verifica: N° iterazioni: 4

Precompresso

Verifica apertura fessure		
σ_s	226,7 N/mm²	Tensione massima armatura tesa sezione fessurata
x_c	1430 mm	Asse neutro della sezione
R_{ct}	40 N/mm²	Resistenza caratteristica cubica cls
ϕ_{long}	28 mm	Diámetro barre longitudinali in zona tesa
ϕ_{spiral}	12 mm	Diámetro staffe o spirale
n	5	Numero ferri longitudinali
c	50 mm	Copriferro
b	500 mm	Larghezza sezione
h	5000 mm	Altezza sezione
k_1	0,4	$k_1 = 0,6; 0,4$ carichi breve durata/lunga durata
k_2	0,5	$k_2 = 0,5; 1,0$ caso flessione/trazione semplice
k_3	0,8	$k_3 = 0,8; 1,6$ barre aderenza migliorata/lisce
w	0,2 mm	Valore limite apertura fessure
d	4950 mm	Altezza utile della sezione
δ	24 mm	Ricoprimento del calcestruzzo
f_{ct}	33,2 N/mm²	Resistenza caratteristica cilindrica cls
$A_{c,eff}$	62500 mm²	Area efficace del calcestruzzo
$A_{s,eff}$	3079 mm²	Area ferri longitudinali in zona tesa
E _s	206000 N/mm²	Modulo elastico acciaio da c.a.
E_{cm}	3,1 N/mm²	Resistenza a trazione media cls
E_{cm}	33643 N/mm²	Modulo elastico medio cls
η_s	6,12	Rapporto E_s/E_{cm}
f_{ctm}	41,2 N/mm²	Resistenza media cls
$\sigma_{s,lim}$	4,93 ‰	Rapporto area acciaio/area efficace
$\epsilon_{s,lim}$	0,09 ‰	Deformazione unitaria media
k_1	3,4	Coefficiente
k_2	0,4	Coefficiente
ΔS_{max}	178,2 mm	Distanza massima tra le fessure
w	0,168 mm	Valore di calcolo apertura fessure

Figura 10-53 Contrafforte – Verifiche SLE

La verifica allo stato limite di apertura delle fessure risulta soddisfatta.

Si riporta di seguito la verifica allo stato limite di limitazione delle tensioni.

Tabella 10-38 Verifiche SLE -Tensioni di esercizio- paraghiaia

Elemento strutturale	M_{es} [kNm]	$ \sigma_{cmax} $ [MPa]	$ \sigma_{smax} $ [MPa]	w [mm]
Paramento anteriore	-9425,72	6,142	226,7	0,168

dove:

- M_{es} è il valore del momento di calcolo in condizioni di esercizio;
- σ_{cmax} è la tensione massima nel calcestruzzo;
- σ_{smax} è la tensione di compressione o trazione massima nell'acciaio.

La verifica allo stato limite di limitazione delle fessure risulta soddisfatta.

10.13 ANALISI TIRANTI DI ANCORAGGIO

Massime sollecitazioni agenti sui tiranti di ancoraggio.

 Risultati Tiranti

	S [m]	nt	N [kN]	L [m]	Lf [m]	sf [kPa]	Fs	
•	4.45 [P]	4	600.00	38.00	13.00	719424	2.28	
	5.95 [P]	4	600.00	36.00	13.00	719424	2.28	
	7.45 [P]	4	600.00	34.00	13.00	719424	2.28	

Vengono di seguito riportate le verifiche effettuate sui tiranti.

Azione sul tirante	600 kN	
Verifica a sfilamento malta-terreno		
Lf	13 m	Lunghezza fondazione
τ_k	120 kPa	Tensione caratteristica bulbo terreno
τ_m	120 kPa	Tensione media bulbo terreno
D_p	0,18 m	Diametro perforazione
alpha	1,8	Fattore di sbulbamento
D_b	0,324 m	Diametro bulbo
n' verticali indagate	1	
tipo tirante	Permanente	
ξ_3	1,8	Fattore di correlazione
ξ_4	1,8	Fattore di correlazione
γ_R	1,2	Coefficiente parziale sulla resistenza
R_{ak}	882 kN	Resistenza caratteristica a sfilamento del bulbo
$R_{d,d}$	735 kN	Resistenza di progetto a sfilamento del bulbo
Verifica soddisfatta: 600 kN < 735 kN		
Verifica a sfilamento trefoli-malta		
n' trefoli	6	
Area trefolo	0,000139 m ²	
Area tirante	0,000834 m ²	
$D_{e,q}$	0,033 m	Diametro equivalente
f_{ck}	32 MPa	Resistenza caratteristica a compressione malta
$f_{ctk,0.05}$	2,12 MPa	Resistenza caratteristica a trazione malta
n	0,994134724	Coefficiente correttivo
γ_c	1,5	Coefficiente parziale sulla resistenza
$f_{b,d}$	3,16 MPa	Resistenza di progetto di aderenza della malta
$R_{ak,c}$	4201 kN	Resistenza caratteristica a sfilamento dei trefoli
$R_{d,c}$	3501 kN	Resistenza di progetto a sfilamento dei trefoli
Verifica soddisfatta: 600 kN < 3501 kN		
Verifica a trazione dei trefoli		
$f_{p(t)k}$	1670 MPa	tensione caratteristica all'1% di deformazione
γ_m	1,05	Coefficiente parziale sul materiale
N_R	1061 kN	Resistenza a trazione dei trefoli
Verifica soddisfatta: 600 kN < 1061 kN		
Verifica rispetto gerarchia delle resistenze		
γ_{Rd}	1	Fattore di sovreresistenza
$R_{ak,max}$	882 kN	Resistenza caratteristica a sfilamento del bulbo
$R_{ak,max} \cdot \gamma_{Rd} < N_R$	Verifica soddisfatta: 882 kN < 1061 kN	
Tutte le verifiche sono soddisfatte		

Le verifiche risultano soddisfatte.

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Analisi cordolo di ripartizione

Sul cordolo di ripartizione viene effettuata una verifica a compressione dell'area di calcestruzzo interessata dal tirante.

C	32/40	
fcd	18.13	MPa
lp	0,2	m
Ntiro	600	kN
σ_c	15	MPa

La verifica risulta soddisfatta.

11 VERIFICA DEI MURI D'ALA

Viene effettuata un'unica verifica per i quattro muri d'ala considerando un'altezza del muro pari a 8m.

11.1 GEOMETRIA DEI MURI D'ALA

Nelle seguenti tabelle e figure vengono riportate le principali dimensioni geometriche dei muri d'ala, del sistema di fondazione e del sistema di ancoraggio adottate nel modello di calcolo. La sezione di calcolo

Tabella 11-1 Dimensioni geometriche dei muri d'ala

Elemento	[m]
Lunghezza muro	6,60
Altezza paramento	8
Larghezza paramento	0,3÷1,10

Per le verifiche sui muri d'ala si è fatto riferimento ad una sezione di altezza pari a 8 m.

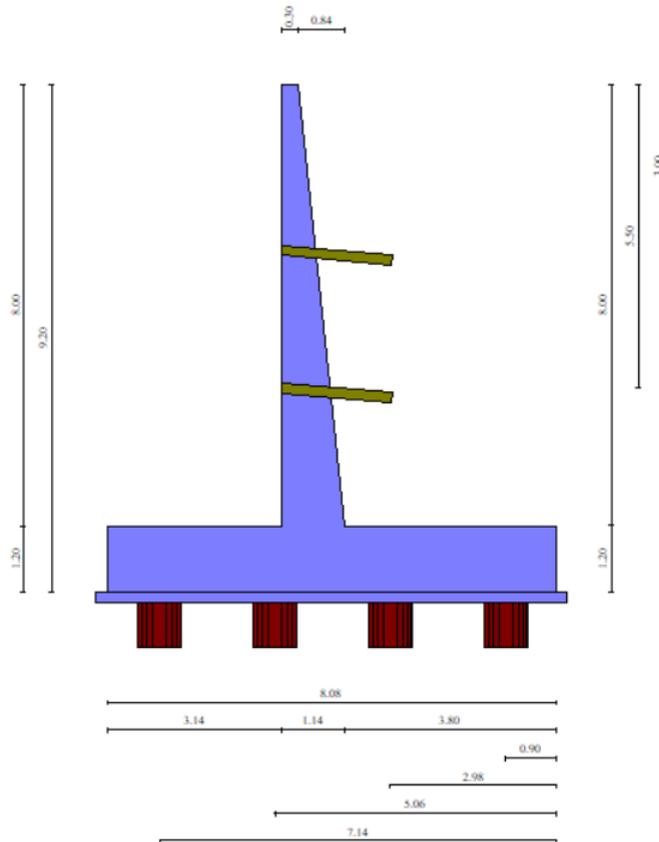


Figura 11-1 Muri d'ala - Sezione quotata.

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Tabella 11-2 Dimensioni geometriche del sistema di fondazione.

Altezza platea di fondazione	1,20
Spessore magrone	0,2
Lunghezza mensola di valle	3,14
Lunghezza mensola di monte	3,80
Diametro pali	0,8
Lunghezza pali	40
Interasse pali (disposizione a quinconce)	2,4

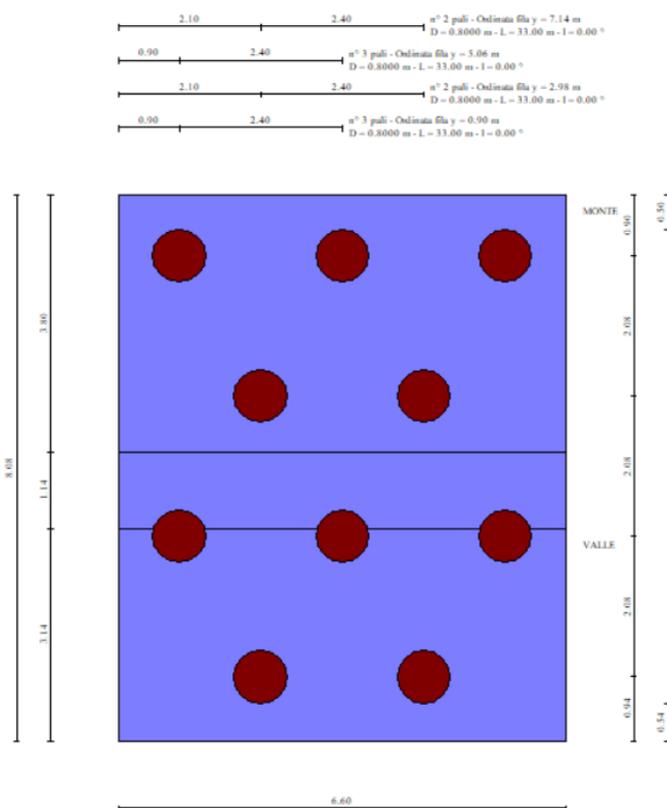


Figura 11-2 Muri d'ala -Pianta fondazione.

I muri d'ala presentano due ordini di quattro tiranti attivi a trefoli in acciaio armonico di diametro 0,6". Il primo ordine di tiranti è posto ad una distanza di 5,50 m dalla sommità del muro, mentre il secondo ordine di tiranti è posto ad una distanza di 3 m. I tiranti, di lunghezza totale di 25 m, sono posti ad un interasse orizzontale di 1,8 m e hanno un'inclinazione di 5°. L'azione di contrasto dei tiranti è distribuita sul paramento tramite un cordolo di ripartizione in c.a.. Nella seguente tabella si riportano le caratteristiche dei tiranti:

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Tabella 11-3 Dimensioni geometriche del sistema di ancoraggio.

Livello	Diam perforazione [mm]	n° trefoli	Pretiro [kN]	Lung. libera [m]	Lung. bulbo [m]	Lung. totale [m]	Incl. [°]
1	200	4	150	17	8	25	5
2	200	4	150	17	8	25	5

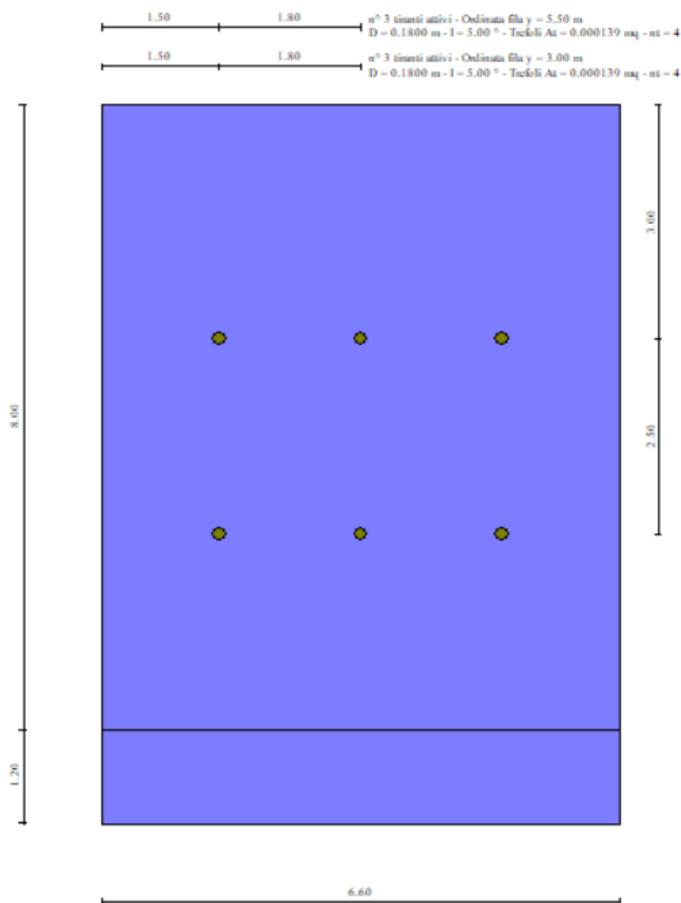


Figura 11-3 Sezione trasversale in corrispondenza dei tiranti.

11.2 SEZIONE DI CALCOLO E STRATIGRAFIA

Nel modello di calcolo sono stati implementati il rilevato a tergo dei muri d'ala e il terreno di fondazione. Nel calcolo è stato tenuto conto della presenza del blocco di misto cementato a valle dei muri d'ala considerando un materiale caratterizzato da un angolo di attrito ϕ' pari a 35° e coesione c' pari a 15 kPa. Per ulteriori dettagli riguardanti la geometria si veda l'elaborato grafico T01TM25STRDI04AN. Nella successiva tabella sono riportati i parametri caratteristici utilizzati nel calcolo.

Tabella 11-4 Stratigrafia di calcolo

	Materiale	γ [kN/m ³]	ϕ' [°]	c' [kPa]
Rilevato in misto cementato	R	19	35	15
Terreno di fondazione	Qm	19	30	10

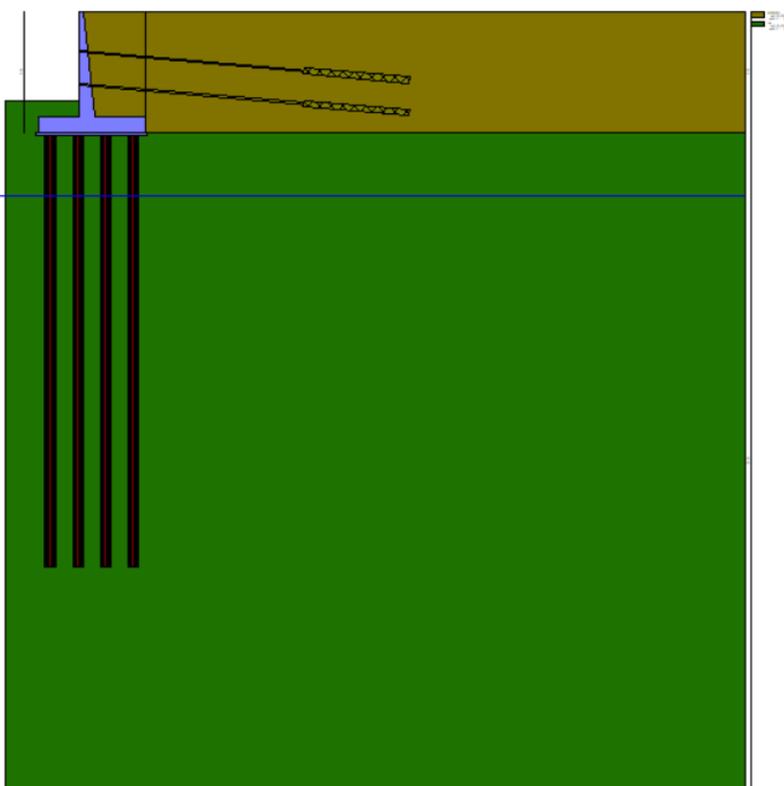


Figura 11-4 Sezione di calcolo dei muri d'ala

11.3 MODELLO DI CALCOLO

Le sollecitazioni di calcolo per la spalla sono state ottenute con l'ausilio del programma di calcolo MAX 15 della Aztec Informatica.

11.4 ANALISI DEI CARICHI

11.4.1 Peso proprio dei muri d'ala

Il peso proprio dei muri d'ala è stato calcolato tenendo conto del peso specifico del calcestruzzo armato pari a 25.0kN/m³.

11.4.2 Spinta delle terre

Le caratteristiche del terreno di rilevato sono:

Tabella 11-5 Caratteristiche meccaniche del terreno

	γ [kN/m ³]	ϕ' [°]	c' [kPa]	δ [°]
Rilevato	19	35	15	23,3

dove δ è l'angolo d'attrito terreno-muro.

La spinta delle terre e del sovraccarico è stata calcolata con il metodo di Culmann, considerando una spinta di tipo attiva.

11.4.3 Incremento di spinta delle terre in fase sismica

Avendo utilizzato il metodo di Culmann per il calcolo della spinta attiva, l'incremento di spinta sismica viene calcolato automaticamente considerando nell'equazione risolutiva la forza d'inerzia del cuneo di spinta.

11.4.4 Forze inerziali

Le forze di inerzia orizzontali e verticali che si destano per effetto del sisma vengono calcolate con le relazioni:

$$F_{iH} = k_h W$$

$$F_{iV} = \pm k_v W$$

Dove W è il peso delle masse e k_h e k_v sono coefficienti di intensità sismica orizzontale e verticale calcolati come prescritto al 7.11.6.2.1 del D.M. 17/01/2008:

$$k_h = S a_g / g$$

$$k_v = 0.5 \cdot k_h$$

dove:

- $S = S_s St$ è il coefficiente che comprende l'effetto di amplificazione stratigrafica (S_s) e dell'amplificazione topografica (St);
- a_g è l'accelerazione massima attesa su sito di riferimento rigido.

Come riportato nel Paragrafo 8 gli effetti di amplificazione stratigrafica sono stati valutati mediante analisi di risposta sismica locale, mentre essendo la categoria topografica pari a T1 il coefficiente di amplificazione topografica St viene posto pari a 1. Nella tabella seguente si riportano i valori dell'accelerazione orizzontale massima al suolo e dei coefficienti di intensità sismica orizzontale e verticale.

Tabella 11-6 Valori di a_g , k_h e k_v ottenuti da RSL (SLV).

a_{max} [g]	0,4877
k_h	0,4877
k_v	0,2438

11.5 COMBINAZIONI DI CARICO

Simbologia adottata

- γ Coefficiente di partecipazione della condizione γ
- Ψ Coefficiente di combinazione della condizione Ψ

Simbologia adottata

- γ Coefficiente di partecipazione della condizione γ
- Ψ Coefficiente di combinazione della condizione Ψ

Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	g	Y	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole

Combinazione n° 3 - STR (A1-M1-R3) H-V

Condizione	g	Y	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 5 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	g	Y	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.30	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole

Combinazione n° 7 - GEO (A2-M2-R3)

Condizione	g	Y	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 9 - GEO (A2-M2-R3) H-V

Condizione	g	Y	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 11 - SLEF

Condizione	g	Y	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 2 - STR (A1-M1-R3) H+V

Condizione	g	Y	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 4 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	g	Y	Effetto
Peso muro	1.30	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.30	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole

Combinazione n° 6 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	g	Y	Effetto
Peso muro	1.30	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole

Combinazione n° 8 - GEO (A2-M2-R3) H+V

Condizione	g	Y	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 10 - SLER

Condizione	g	Y	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 12 - SLEQ

Condizione	g	Y	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

11.6 VERIFICA STABILITÀ GLOBALE MURO + TERRENO

Tabella 11-7 Valori del centro, del raggio e del fattore di sicurezza della superficie di scorrimento.

lc	C [m]	R [m]	FS
7 - GEO (A2-M2-R2)	-2.50; 4.50	30.84	6.041
8 - GEO (A2-M2-R2) H + V	-4.00; 4.50	31.18	2.220
9 - GEO (A2-M2-R2) H - V	-4.50; 4.50	31.30	1.605

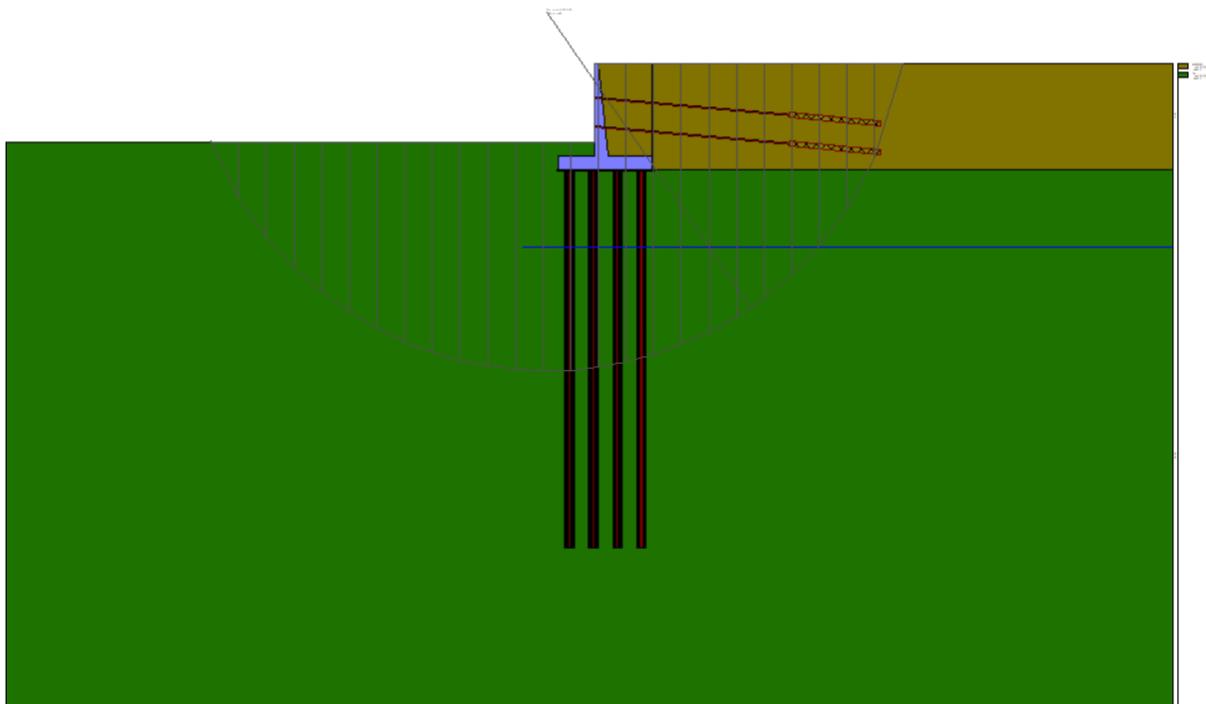


Figura 11-5 Stabilità globale – cerchio critico (combinazione n°9).

11.7 ANALISI PALI

11.7.1 Scarichi in testa ai pali

Simbologia adottata

Cmb Indice/Tipo combinazione

Ip Indice palo

N Sforzo normale, espresso in [kN]

T Taglio, espresso in [kN]

Tabella 11-8 Muri d'ala -Scarichi in testa ai pali allo SLU

Cmb	Ip	N [kN]	T [kN]
2 - STR (A1-M1-R3) H + V	1	408.53	-462.42
	2	802.49	-462.42
	3	1196.46	-462.42
	4	1588.21	-462.42
3 - STR (A1-M1-R3) H - V	1	-41.53	-455.41
	2	438.28	-455.41
	3	918.10	-455.41
	4	1397.91	-455.41

Tabella 11-9 Muri d'ala -Scarichi in testa ai pali allo SLE

Cmb	Ip	N [kN]	T [kN]
10-11-12 SLER-SLEF-SLEQ	1	1174.01	27.95
	2	837.87	27.95
	3	501.73	27.95
	4	165.58	27.95

11.7.2 Capacità portante del singolo palo

Si riporta l'estratto del calcolo della capacità portante del palo singolo, in cui al carico in testa è sommato il peso proprio del palo. Il peso del palo sarà moltiplicato per il coefficiente parziale $\gamma=1,0$ per le verifiche allo stato limite SLV. Il peso proprio del palo viene calcolato dalla seguente relazione:

$$P_p = L_s \times A_{\text{palo}} \times (\gamma_{\text{cls}} - \gamma_w) + L_{\text{ns}} \times A_{\text{palo}} \times \gamma_{\text{cls}} = 26,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}^2 \times (25-10) \text{ kN/m}^3 + 6,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}^2 \times (25) \text{ kN/m}^3 = 281,5$$

Il massimo carico verticale agente sul palo fornito dalla combinazione sismica n.4 SLV è pari a:

$$N_{d,\text{max}} = Q_{\text{max}} + (P_p \times 1,0) = 1588,21 + 281,5 = 1868,7 \text{ kN}$$

Calcolo della capacità portante verticale

CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DI UN PALO TRIVELLATO DI GRANDE DIAMETRO

CANTIERE: Attraversamento idraulico

OPERA:

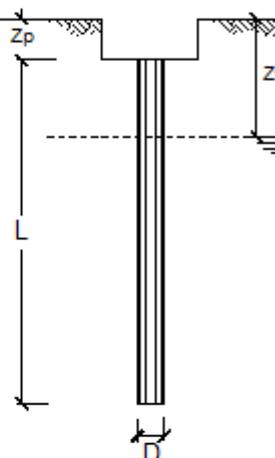
Muro d'ala

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D):	0,80	(m)	Area del Palo (Ap):	0,503	(m ²)
Quota testa Palo dal p.c. (z _p):	1,40	(m)	Quota falda dal p.c. (z _f):	8,00	(m)
Carico Assiale Permanente (G):	1868,7	(kN)	Carico Assiale variabile (Q):		(kN)
Numero di strati	6		Lpalo =	33,00	(m)

coefficienti parziali		azioni		resistenza laterale e di base		
Metodo di calcolo		permanenti	variabili	T _k	T _s	T ₁₋₁₀₀
		γ _c	γ _q			
SLU	A1+M1+R1	1,30	1,50	1,00	1,00	1,00
	A2+M1+R2	1,00	1,30	1,70	1,45	1,60
	A1+M1+R3	1,30	1,50	1,35	1,15	1,25
	SISMA	1,00	1,00	1,35	1,15	1,25
DM58		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
definiti dal progettista		1,00	1,00	1,35	1,15	1,25

n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
γ _c	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40	1,00	1,00
γ _q	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21	1,00	1,00



PARAMETRI MEDI

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			T (kN/m ²)	c' med (kPa)	φ' med (°)	c _{u med} (kPa)
1	3,70	Ghiaia in matrice sabbiosa limosa	13,00	10,0	30,0	
2	3,00	Sabbia medio fine	13,00	10,0	30,0	
3	2,00	Sabbia medio fine	13,00	0,0	0,0	
4	3,50	Argilla e argilla limoso sabbiosa	13,00			100,0
5	10,00	Argilla e argilla limoso sabbiosa	13,00			180,0
6	10,80	Argilla e argilla limoso sabbiosa	13,00			200,0

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	α	β
(-)	(-)	(-)	(-)
0,50	0,58		
0,50	0,58		
0,00	0,00		
0,00	0,00		0,40
0,00	0,00		0,40
0,00	0,00		0,40

(n.b.: la spessore degli strati è computata dalla quota di intradazza del plinto)

PARAMETRI MINIMI (solo per SLU)

Strato	Spess (m)	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			T (kN/m ²)	c' min (kPa)	φ' min (°)	c _{u min} (kPa)
1	3,70	Ghiaia in matrice sabbiosa limosa	13,00	10,0	30,0	
2	3,00	Sabbia medio fine	13,00	10,0	30,0	
3	2,00	Sabbia medio fine	13,00	0,0	0,0	
4	3,50	Argilla e argilla limoso sabbiosa	13,00			100,0
5	10,00	Argilla e argilla limoso sabbiosa	13,00			180,0
6	10,80	Argilla e argilla limoso sabbiosa	13,00			200,0

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	α	β
(-)	(-)	(-)	(-)
0,50	0,58		
0,50	0,58		
0,00	0,00		
0,00	0,00		0,40
0,00	0,00		0,40
0,00	0,00		0,40

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

RISULTATI

Strato	Spessa	Tipo di terreno	media					minima (solo SLU)					
			Qsi (kN)	Nq (-)	Nc (-)	qb (kPa)	Qbm (kN)	Qsi (kN)	Nq (-)	Nc (-)	qb (kPa)	Qbm (kN)	
1	3,70	Ghiaia in matrice sabbiosa limosa	165,8					165,8					
2	3,00	Sabbia medio fine	272,9					272,9					
3	2,00	Sabbia medio fine	0,0					0,0					
4	3,50	Argilla e argilla limoso sabbiosa	351,9					351,9					
5	10,00	Argilla e argilla limoso sabbiosa	1809,6					1809,6					
6	10,80	Argilla e argilla limoso sabbiosa	2171,5	0,00	9,00	2453,6	1233,3	2171,5	0,00	9,00	2453,6	1233,3	

CARICO ASSIALE AGENTE

$$N_d = N_c \cdot \gamma_c + N_a \cdot \gamma_a$$

$$N_d = 1868,7 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE MEDIA

$$\text{base } R_{s,med} = 1233,3 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s,med} = 4771,6 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{s,med} = 6004,9 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE MINIMA

$$\text{base } R_{s,min} = 1233,3 \text{ (kN)}$$

$$\text{laterale } R_{s,min} = 4771,6 \text{ (kN)}$$

$$\text{totale } R_{s,min} = 6004,9 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA

$$R_{s,k} = \text{Min}(R_{s,med} / \gamma_s ; R_{s,min} = 770,8 \text{ (kN)})$$

$$R_{s,k} = \text{Min}(R_{s,med} / \gamma_s ; R_{s,min} = 2982,2 \text{ (kN)})$$

$$R_{s,k} = R_{s,k} + R_{s,k} = 3753,0 \text{ (kN)}$$

CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO

$$R_{s,d} = R_{s,k} / \gamma_s + R_{s,k} / \gamma_s$$

$$R_{s,d} = 3164,2 \text{ (kN)}$$

$$F_s = R_{s,d} / N_d$$

$$F_s = 1,69$$

Verifica a carico limite soddisfatta.

Tabella 11-10 Muri d'ala - Fattore di sicurezza minimo $F_{S,min}$ a carico limite verticale

$R_{d,c}$	$N_{d,max}$	$F_{S,min} = R_{d,c} / N_{d,max}$
3164,2	1868,7	1,69

Dove:

- $R_{d,c}$ è la capacità portante di progetto a compressione;
- $N_{d,max}$ è il massimo carico assiale di compressione.

11.7.3 Capacità portante orizzontale del singolo palo

Prima di procedere con la verifica a carico limite orizzontale dei pali di fondazione è necessario determinare il momento di plasticizzazione della sezione in c.a..

Calcolo del momento di plasticizzazione

Si riportano di seguito la geometria del palo, le caratteristiche dei materiali e il calcolo del momento di plasticizzazione.

Calcolo del momento di plasticizzazione di una sezione circolare

Diametro 800 (mm)
Raggio 400 (mm)
Sforzo Normale -41,53 (kN)

Caratteristiche dei Materiali

calcestruzzo C32/40

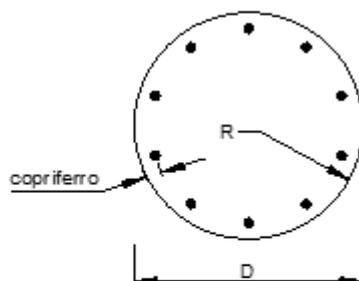
f_{ck} = 40 (Mpa)

f_{cd} = 32 (Mpa)

γ_c = 1,5

α_{cc} = 0,85

$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{cd} \cdot \gamma_c = 18,13$ (Mpa)



Acciaio

tipo di acciaio B450C

f_{yk} = 450 (Mpa)

γ_s = 1,15

$f_{yd} = f_{yk} \cdot \gamma_s \cdot \gamma_E = 391,3$ (Mpa)

E_s = 206000 (Mpa)

ϵ_{su} = 0,190%

ϵ_{sl} = 10,000%

Figura 11-6 Geometria del palo e caratteristiche dei materiali.

Armature

numero	diametro (mm)	area (mm ²)	copriferro (mm)
24	24	10857,34	80
0	0	0,00	70
0	8	0,00	30

calcolo

Momento di Plasticizzazione

M_p = 1139,9 (kN m)

Inserisci

Figura 11-7 Armature e momento di plasticizzazione dei pali dei muri d'ala.

Calcolo del carico limite orizzontale

Input:

coefficienti parziali				A		M			R
Metodo di calcolo				permanenti γ_G	variabili γ_Q	γ_{1c}	γ_{1s}	γ_T	
SUU	A1-M1-R1	<input type="radio"/>		1,30	1,50	1,00	1,00	1,00	
	A2-M1-R2	<input type="radio"/>		1,00	1,30	1,00	1,00	1,60	
	A1-M1-R3	<input type="radio"/>		1,30	1,50	1,00	1,00	1,30	
	SISMA	<input type="radio"/>		1,00	1,00	1,00	1,00	1,30	
DM88	<input type="radio"/>		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		
definiti dal progettista				<input checked="" type="radio"/>		1,00	1,00	1,00	1,30

n	1	2	3	4	5	7	≥ 10	T.A.	prog.
γ_1	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40	1,00	1,00
γ_2	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21	1,00	1,00

strati terreno	descrizione	Quota [m]	γ [kN/m ³]	Parametri medi		Parametri minimi	
				ϕ [°]	c [kPa]	ϕ [°]	c [kPa]
strato 1	Ghiaia in matrice sabbiosa	100,00	19	30	10	30	10
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2	Sabbia medio fine	96,30	19	30	10	30	10
<input checked="" type="checkbox"/> strato 3	Sabbia medio fine	93,30	19	0	0	0	0
<input checked="" type="checkbox"/> strato 4	Argilla e argilla limoso sabbiosa	91,30	19		100		100
<input checked="" type="checkbox"/> strato 5	Argilla e argilla limoso sabbiosa	87,80	19		180		180
<input checked="" type="checkbox"/> strato 6	Argilla e argilla limoso sabbiosa	77,80	19		200		200

z_u	93,3	[m]	Quota falda
q	0	[kPa]	Sovraccarico applicato a quota strato 1 (già comprensivo di coefficienti parziali sulle azioni)
Mu	1129	[kNm]	Momento ultimo della sezione
D	0,8	[m]	Diametro del palo
L	33	[m]	Lunghezza del palo

Risultati:

	H medio		H minimo	
Palo lungo	1069 (kN)		1069 (kN)	
Palo intermedio	12785 (kN)		12785 (kN)	
Palo corto	31224 (kN)		31224 (kN)	

H_{max}	1069 (kN)	Palo lungo	H_{min}	1069,3 (kN)	Palo lungo
-----------	-----------	------------	-----------	-------------	------------

$$H_k = \text{Min}(H_{max} / \xi_3 ; R_{min} / \xi_4)$$

668,32 (kN)

$$H_d = H_k / \gamma_T$$

514,09 (kN)

Carico Assiale Permanente (G): G = 462,42 (kN)
 Carico Assiale variabile (Q): Q = 0 (kN)

$$F_d = G \cdot \gamma_G + Q \cdot \gamma_Q = 462,42 (kN)$$

$$FS = H_d / F_d = 1,11$$


Verifica a carico orizzontale in condizioni non drenate soddisfatta.

Tabella 11-11 Muri d'ala -Fattore di sicurezza minimo FS_{min} a carico orizzontale.

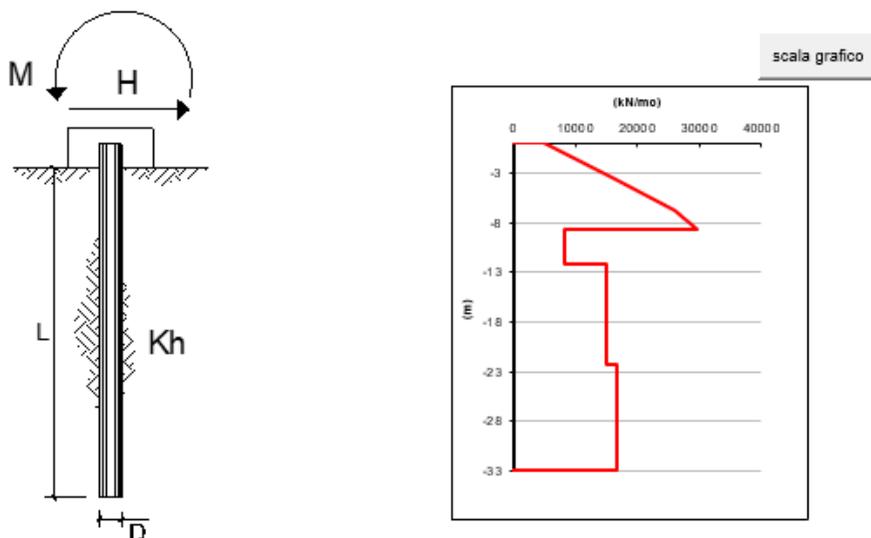
H _d	F _{d,max}	FS _{min} = H _d / F _d
514,05	462,42	1,11

Dove:

- H_d=H_k / γ_T è il carico limite orizzontale di progetto;
- F_{d,max} è il massimo carico orizzontale.

11.7.4 Palo soggetto a forze orizzontali

Sollecitazioni lungo il palo allo SLV



strati terreno	descrizione	quote (m)	k_n (kN/m ³)	n_n (kN/m ³)
p.c.=strato 1	Ghiaia in matrice sabbiosa limosa	0,00	5000	2500
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2	Sabbia medio fine	-3,70	16562	2500
<input checked="" type="checkbox"/> strato 3	Sabbia medio fine	-6,70	25938	1500
<input checked="" type="checkbox"/> strato 4	Argilla e argilla limosa sabbiosa	-8,70	8357	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 5	Argilla e argilla limosa sabbiosa	-12,20	15075	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 6	Argilla e argilla limosa sabbiosa	-22,20	16750	

Diametro del palo	0,8 (m)
J palo	0,02011 (m ⁴)
Lunghezza del palo	33 (m)
Forza orizzontale in testa	462,42 (kN)
Momento in testa	0 (kNm)
E cls	33300 (Mpa)
dimensione elementi	0,2 (m)

- palo impedito di ruotare
 palo impedito di traslare
 palo libero

Calcolo
(ctrl+r)

Nella seguente tabella vengono riportate le sollecitazioni agenti in testa al palo e ad una profondità di 10 m allo SLV

Tabella 11-12 Muri d'ala -Sollecitazioni in testa al palo ed ad una profondità di 10 m allo SLV

Profondità [m]	SLV [kNm]
0	1081,53
10	120

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Di seguito vengono riportati i diagrammi delle sollecitazioni di momento e taglio allo SLV lungo il palo.

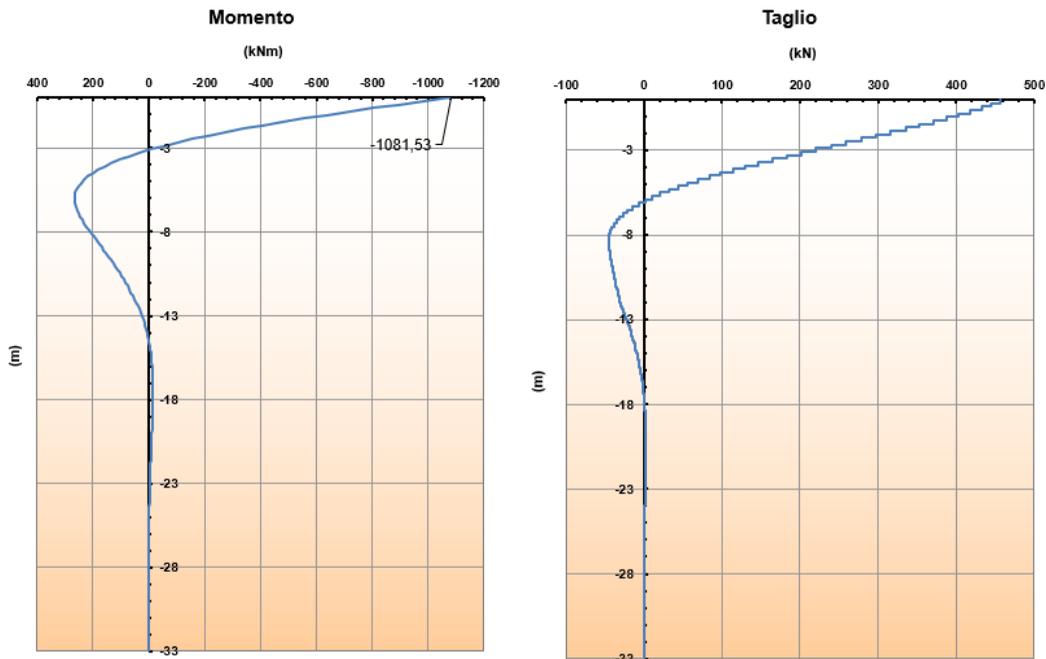
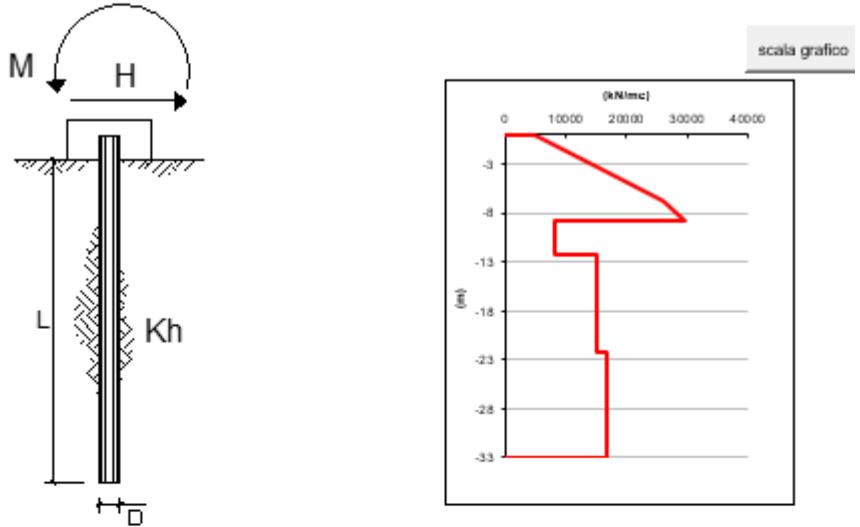


Figura 11-8 Muri d'ala - Sollecitazioni di momento e taglio allo SLV lungo il palo

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Sollecitazioni lungo il palo allo SLE



strati terreno	descrizione	quote (m)	k_b (kN/m ³)	n_b (kN/m ³)
p.c.=strato 1	Ghiaia in matrice sabbiosa limosa	0,00	5000	2500
<input checked="" type="checkbox"/> strato 2	Sabbia medio fine	-3,70	16562	2500
<input checked="" type="checkbox"/> strato 3	Sabbia medio fine	-6,70	25938	1500
<input checked="" type="checkbox"/> strato 4	Argilla e argilla limosa sabbiosa	-8,70	8357	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 5	Argilla e argilla limosa sabbiosa	-12,20	15075	
<input checked="" type="checkbox"/> strato 6	Argilla e argilla limosa sabbiosa	-22,20	16750	

Diametro del palo	0,8 (m)
J palo	0,02011 (m ⁴)
Lunghezza del palo	33 (m)
Forza orizzontale in testa	27,95 (kN)
Momento in testa	0 (kNm)
E cls	33300 (Mpa)
dimensione elementi	0,2 (m)

- palo impedito di ruotare
 palo impedito di traslare
 palo libero

Calcolo
 (ctrl+r)

Di seguito vengono riportati i diagrammi delle sollecitazioni di momento e taglio allo SLE lungo il palo.

Tabella 11-13 Muri d'ala- Sollecitazioni in testa al palo e alla profondità di 12 m allo SLE

Profondità [m]	SLE [kNm]
0	65,37
10	7,24

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Di seguito vengono riportati i diagrammi delle sollecitazioni di momento e taglio allo SLE lungo il palo.

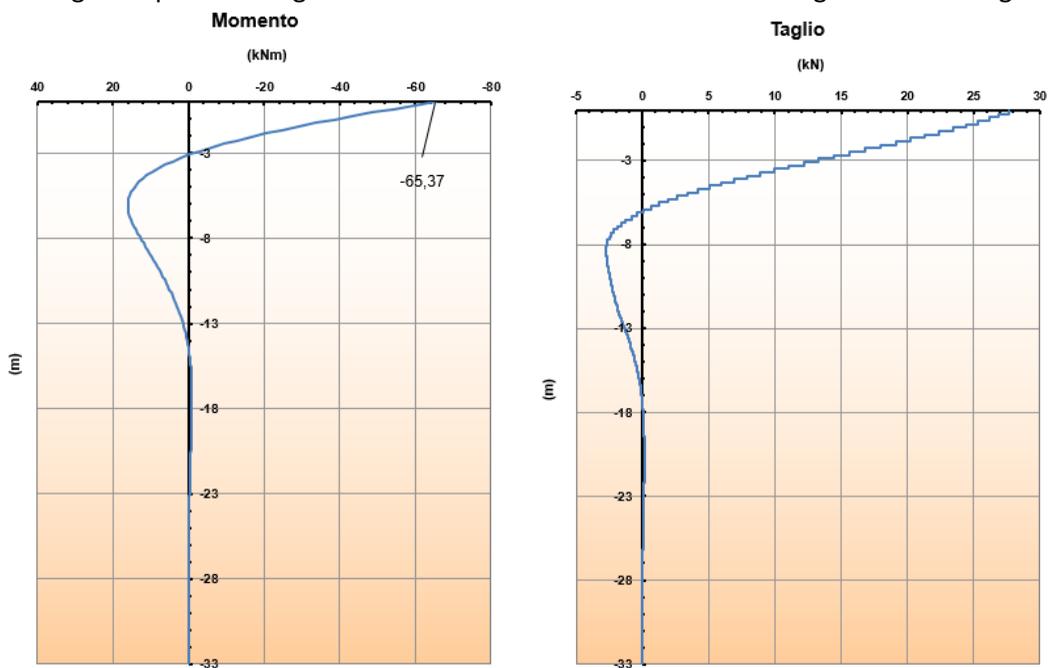


Figura 11-9 Muri d'ala -Sollecitazioni di momento e taglio allo SLE lungo il palo

11.7.5 Verifiche strutturali dei pali

Nella seguente tabella si riportano le caratteristiche delle sezioni analizzate.

Tabella 11-14 Armature dei pali di fondazione dei muri d'ala

Elemento strutturale	Diametro sezione [cm]	Sezione [-]	Armatura [-]	Ordine armatura [-]	Copriferro [cm]	Armatura a taglio (spirale) [-]
Pali muri d'ala	80	1-z=0m	24Ø24	1	8	Ø12/10
		2-z= -10m	24Ø16	1	8	Ø12/20

Verifiche allo stato limite SLV per sollecitazioni flettenti

Nella tabella seguente si riportano le azioni sollecitanti e resistenti in termini di momento flettente.

Tabella 11-15 Azioni sollecitanti e resistenti di momento flettente

Elemento strutturale	Sezione [-]	M_{ed}	M_{rd}
Pali spalle	1-z=0m	1081,53	1139
	2-z=-10m	120	567,5

dove:

- M_{ed} è il momento sollecitante di progetto;
- M_{rd} è il momento resistente

Di seguito si riporta il calcolo del momento resistente della sezione in testa al palo.

Figura 11-10 Calcolo del momento resistente della sezione 1 in testa al palo z=0m.

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Di seguito si riporta il calcolo del momento resistente della sezione posta a z=-10 m da p.c..

Verifica C.A. S.L.U. - File: pali_tiranti_sl_u_quinconce_z=12m

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

Sezione circolare cava

Raggio esterno 40 [cm]
Raggio interno 0 [cm]
N° barre uguali 24
Diametro barre 1,6 [cm]
Copriferro (baric.) 8 [cm]

N° barre 0 Zoom

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 0 kN
M_{xEd} 0 0 kNm
M_{yEd} 0 0

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

Vertici: 52 N° rett. 100
Calcola MRd Dominio M-N
L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali

B450C C32/40

ε_{su} 67,5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
f_{yd} 391,3 N/mm² ε_{cu} 3,5 ‰
E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 18,13
E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8
ε_{syd} 1,957 ‰ σ_{c,adm} 12,25
σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0,7333
τ_{c1} 2,114

M_{xRd} 567,5 kNm
σ_c -18,13 N/mm²
σ_s 391,3 N/mm²
ε_c 3,5 ‰
ε_s 11,51 ‰
d 72 cm
x 16,79 x/d 0,2332
δ 0,7315

Figura 11-11 Calcolo del momento resistente della sezione 2 posta a z=-10m.

La verifica risulta soddisfatta.

Verifiche allo stato limite SLV per sollecitazioni taglianti sezione $z=0m$

Si riporta di seguito la verifica a taglio

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI			
Calcestruzzo			
SLU			
Classe			
$R_{ct} \geq$	40	MPa	classe identificativa del calcestruzzo
γ_c	1,5		coefficiente parziale SLU
α_{cm}	0,85		fattore che tiene conto degli effetti dei carichi di lunga durata
$f_{ctk} = 0,83 R_{ct}$	33,2	MPa	resistenza a compressione cilindrica caratteristica
$f_{cm} = f_{ctk} + 8$	41,2	MPa	resistenza a compressione cilindrica media
$f_{cd} = \alpha_{fctk} f_{ctk}$	18,81	MPa	resistenza a compressione cilindrica di progetto per SLU
$f_{ctm} = 0,30 f_{ctk}^{1,2/3}$	3,10	MPa	resistenza a trazione media
$f_{ctk,0.05} = 0,7 f_{ctm}$	2,17	MPa	resistenza a trazione caratteristica (frattile 5%)
$f_{ctk,0.95} = 1,3 f_{ctm}$	4,03	MPa	resistenza a trazione caratteristica (frattile 95%)
$f_{ctd} = f_{ctk,0.05} \gamma_c$	1,45	MPa	resistenza a trazione di progetto
$f_{ctm} = 1,2 f_{ctm}$	3,72	MPa	resistenza a trazione per flessione media (frattile 50%)
$f_{ctk} = 0,7 f_{ctm}$	2,60	MPa	resistenza a trazione per flessione caratteristica (frattile 5%)
$f_{ctk} = 1,3 f_{ctm}$	4,83	MPa	resistenza a trazione per flessione caratteristica (frattile 95%)
$E_{cm} = 22000 (f_{cm} / 10)^2$	33643	MPa	modulo elastico
SLE			
$\sigma_{st} = f_{ctm} / 1,2$	2,58	MPa	stato limite di formazione delle fessure
$\sigma_{st} < 0,60 f_{ctk}$	19,92	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio (per combinazione rara)
$\sigma_{st} < 0,45 f_{ctk}$	14,94	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio (per combinazione quasi permanente)
Acciaio B450C			
SLU			
$f_{yk} \geq$	450	MPa	tensione di snervamento caratteristica (frattile 5%)
γ_s	1,15		coefficiente parziale SLU
$f_{td} = f_{yk} / \gamma_s$	391,30	MPa	tensione di snervamento di calcolo
E_s	210000	MPa	modulo elastico
SLE			
$\sigma_{st} < 0,80 f_{yk}$	360	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio
n	15		coefficiente omogeneizzazione
δ	8	cm	copriferro

Taglio resistente nelle sezioni con armatura trasversale a taglio

Taglio agente V_{Ed} = 462,4 kN

Larghezza minima della sezione	b_w	800	mm
Altezza della sezione	h	640	mm
Copriferro della sezione	δ	80	mm
Altezza utile della sezione	d	560	mm
Diametro delle staffe	d_s	12	mm
Numero di braccia	n_s	2	
Area totale staffe	A_{sw}	226,08	mm ²
Passo delle staffe	s	100	mm
Inclinazione delle staffe	α	90	deg
Inclinazione delle bielle compresse	θ	21,8	deg
Coef. maggiorativo per sezioni compresse	α_{sc}	1,0424	
			cot(θ) 2,5

Resistenza di calcolo a "taglio-trazione" $V_{Rd1} = 1114,7 \text{ kN}$ $V_{Rd1} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yk} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$

Resistenza di calcolo a "taglio-compressione" $V_{Rd2} = 1363,3 \text{ kN}$ $V_{Rd2} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_{sc} \cdot f'_{ctk} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta)$

Resistenza a taglio della sezione $V_{Rd} = 1114,7 \text{ kN}$ $V_{Rd} = \min (V_{Rd1}, V_{Rd2})$

Esito della verifica *soddisfatta*

La verifica risulta soddisfatta.

Verifiche allo stato limite SLV per sollecitazioni taglianti sezione $z=10m$

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI			
Calcestruzzo			
SLU			
Classe			classe identificativa del calcestruzzo
$R_{ct} \geq$	40	MPa	resistenza a compressione cubica caratteristica
γ_c	1,5		coefficiente parziale SLU
α_{cm}	0,85		fattore che tiene conto degli effetti dei carichi di lunga durata
$f_{ctk} = 0,83 R_{ct}$	33,2	MPa	resistenza a compressione cilindrica caratteristica
$f_{ctm} = f_{ctk} + 8$	41,2	MPa	resistenza a compressione cilindrica media
$f_{ctd} = \alpha_c f_{ctm} / \gamma_c$	18,81	MPa	resistenza a compressione cilindrica di progetto per SLU
$f_{ctm,0.30} = 0,30 f_{ctm}^{(2/3)}$	3,10	MPa	resistenza a trazione media
$f_{ctm,0.95} = 0,7 f_{ctm}$	2,17	MPa	resistenza a trazione caratteristica (frattile 5%)
$f_{ctm,1.35} = 1,3 f_{ctm}$	4,03	MPa	resistenza a trazione caratteristica (frattile 95%)
$f_{ctd,0.95} = f_{ctm,1.35} / \gamma_c$	1,45	MPa	resistenza a trazione di progetto
$f_{ctd,0.50} = 1,2 f_{ctd}$	3,72	MPa	resistenza a trazione per flessione media (frattile 50%)
$f_{ctk,0.50} = 0,7 f_{ctm}$	2,60	MPa	resistenza a trazione per flessione caratteristica (frattile 5%)
$f_{ctk,0.95} = 1,3 f_{ctm}$	4,83	MPa	resistenza a trazione per flessione caratteristica (frattile 95%)
$E_{cm} = 22000 (f_{ctm} / 10)^2$	33643	MPa	modulo elastico
SLE			
$\sigma_{sl} = f_{ctm,0.95} / 1,2$	2,58	MPa	stato limite di formazione delle fessure
$\sigma_{sl} < 0,60 f_{ctk}$	19,92	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio (per combinazione rara)
$\sigma_{sl} < 0,45 f_{ctk}$	14,94	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio (per combinazione quasi permanente)
Acciaio B450C			
SLU			
$f_{yk} \geq$	450	MPa	tensione di snervamento caratteristica (frattile 5%)
γ_s	1,15		coefficiente parziale SLU
$f_{td} = f_{yk} / \gamma_s$	391,30	MPa	tensione di snervamento di calcolo
E_s	210000	MPa	modulo elastico
SLE			
$\sigma_{sl} < 0,80 f_{yk}$	360	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio
n	15		coefficiente omogeneizzazione
δ	8	cm	copriferro

Taglio resistente nelle sezioni senza armatura trasversale a taglio			
<i>Taglio agente $V_{Ed} = 41 \text{ kN}$</i>			
Larghezza minima della sezione	b_w	800 mm	Diametro
Altezza della sezione	h	640 mm	
Copriferro della sezione	δ	80 mm	
Altezza utile della sezione	d	560 mm	
n° ferri zona tesa		19	
diametro ferri zona tesa		24 mm	
Armatura totale longitudinale	A_{l1}	8591 mm ²	
	k	1,598	
Rapporto geom. di armatura longitudi	ρ_1	0,017	< 0,02
Sforzo normale agente	N_{Ed}	kN	
Tensione di compressione agente	$\sigma_{c,Ed}$	0 Mpa	< $0,2 \times f_{ctd} = 3,7627 \text{ Mpa}$
Resistenza unitaria a taglio	$v_{c,Ed}$	0,407	
Taglio resistente	V_{Rd1}	328,6 kN	
<i>Esito della verific. Soddisfatta, non occorre armatura specifica a taglio</i>			

La verifica a taglio risulta soddisfatta senza la disposizione di armatura specifica a taglio. Tuttavia si dispone armatura a taglio realizzata mediante spirale $\varnothing 12$ passo 20.

Verifica allo stato limite SLE

Si riporta di seguito il calcolo delle tensioni allo SLE e la verifica allo stato limite di apertura delle fessure.

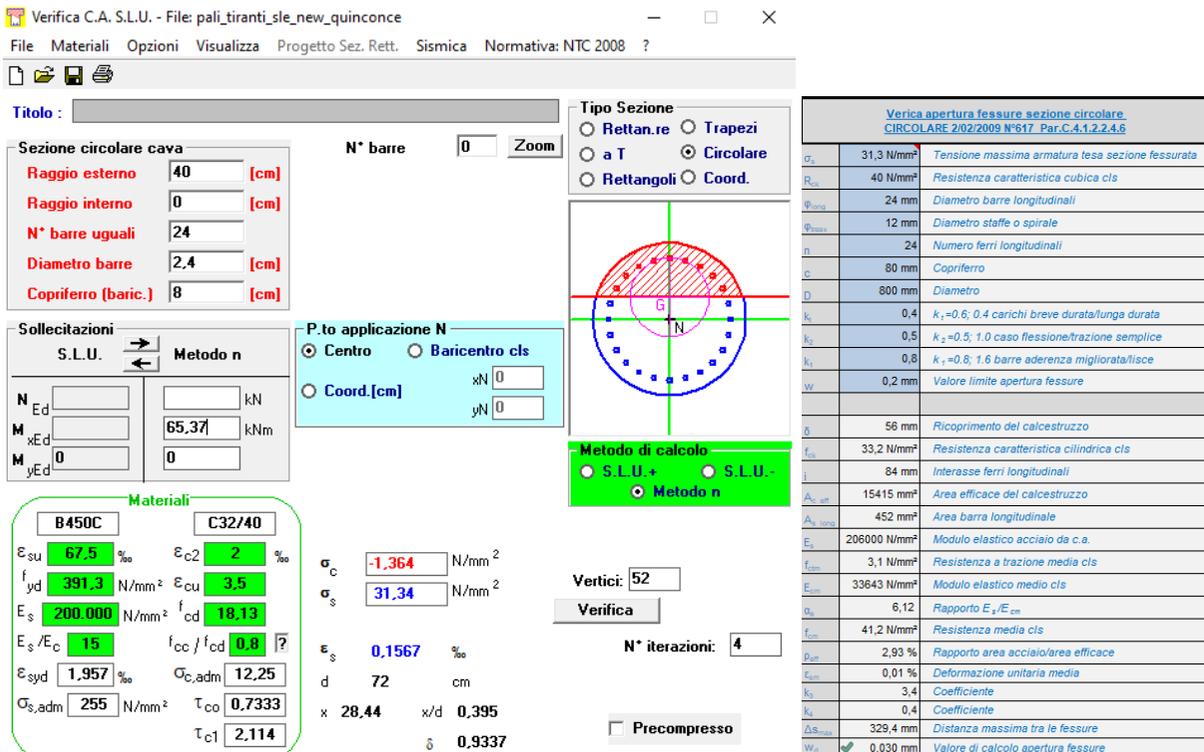


Figura 11-12 Muri d'ala - Verifiche SLE - Sez 1

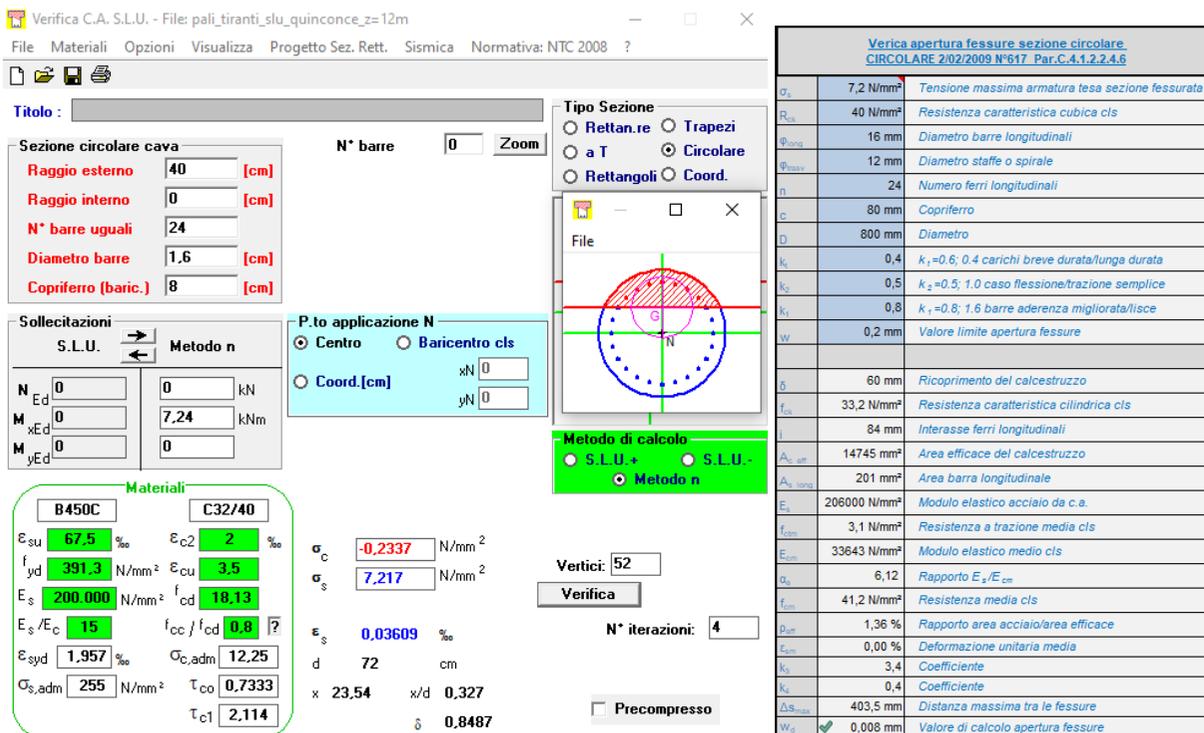


Figura 11-13 Muri d'ala - Verifiche SLE - Sez 2

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Le verifiche allo stato limite di apertura delle fessure risultano soddisfatte.

Si riporta di seguito la verifica allo stato limite di limitazione delle tensioni.

Tabella 11-16 Verifiche SLE -Tensioni di esercizio-Pali muri d'ala

Elemento strutturale	Sezione [-]	M_{es} [kNm]	$ \sigma_{cmax} $ [MPa]	$ \sigma_{smax} $ [MPa]	w [mm]
Pali muri andatori	1-z=0m	65,37	1,364	31,34	0,030
	2-z=-12m	7,24	0,23	7,21	0,008

dove:

- M_{es} è il valore del momento di calcolo in condizioni di esercizio;
- σ_{cmax} è la tensione massima nel calcestruzzo;
- σ_{smax} è la tensione di compressione o trazione massima nell'acciaio.

La verifica allo stato limite di limitazione delle fessure risulta soddisfatta.

11.8 ANALISI PLATEA DI FONDAZIONE

11.8.1 Sollecitazioni platea di fondazione

Si riportano di seguito i contour delle massime sollecitazioni di taglio e momento agenti nella platea di fondazione.

Sollecitazioni allo SLU

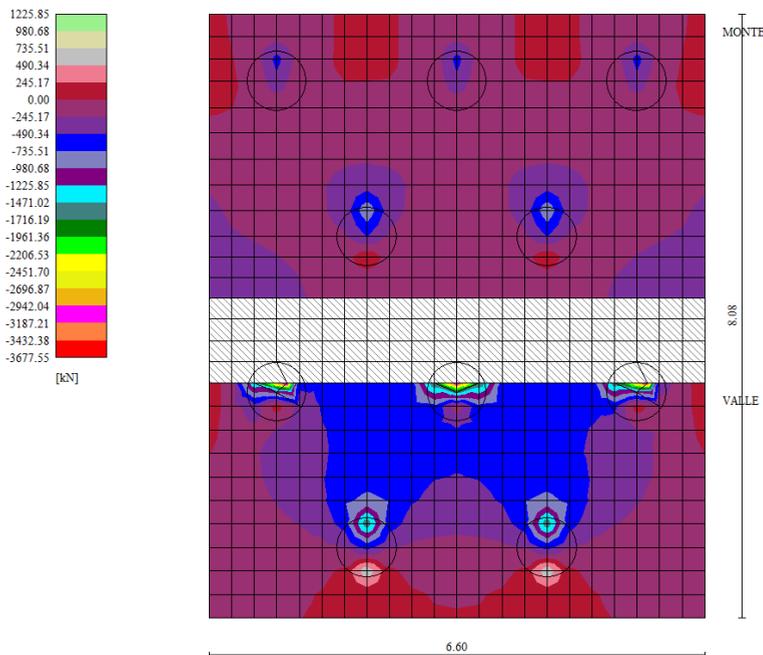


Figura 11-14 Fondazione muro d'ala – Taglio Ty – (combinazione n°2)

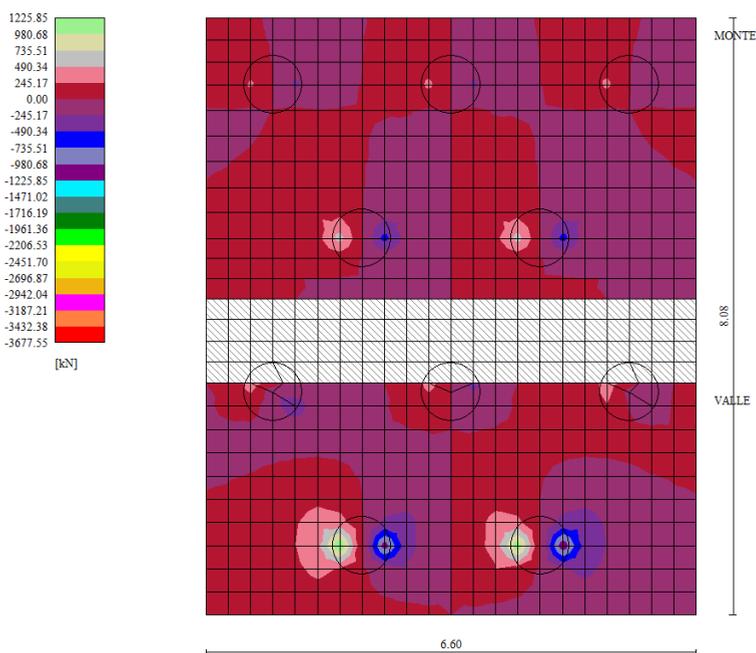


Figura 11-15 Fondazione muro d'ala – Taglio Tx – (combinazione n°2)

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

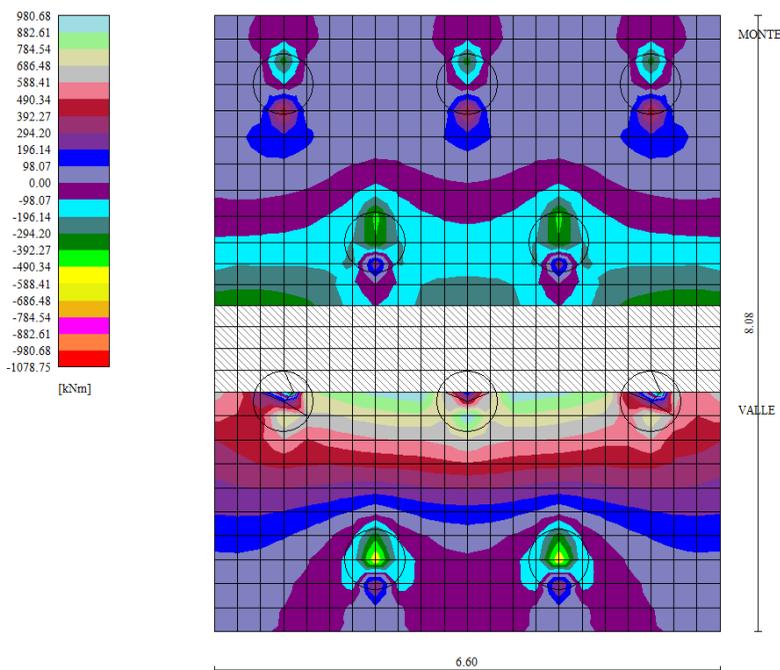


Figura 11-16 Fondazione muro d'ala – Momento $M_{y_{max}}$ – (combinazione n°2)

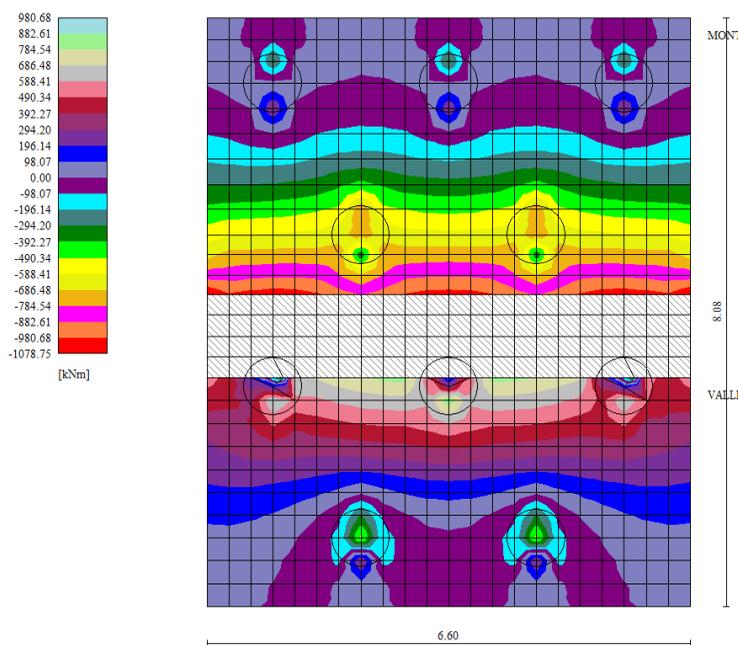


Figura 11-17 – Fondazione muro d'ala – Momento $M_{y_{min}}$ – (combinazione n°3)

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

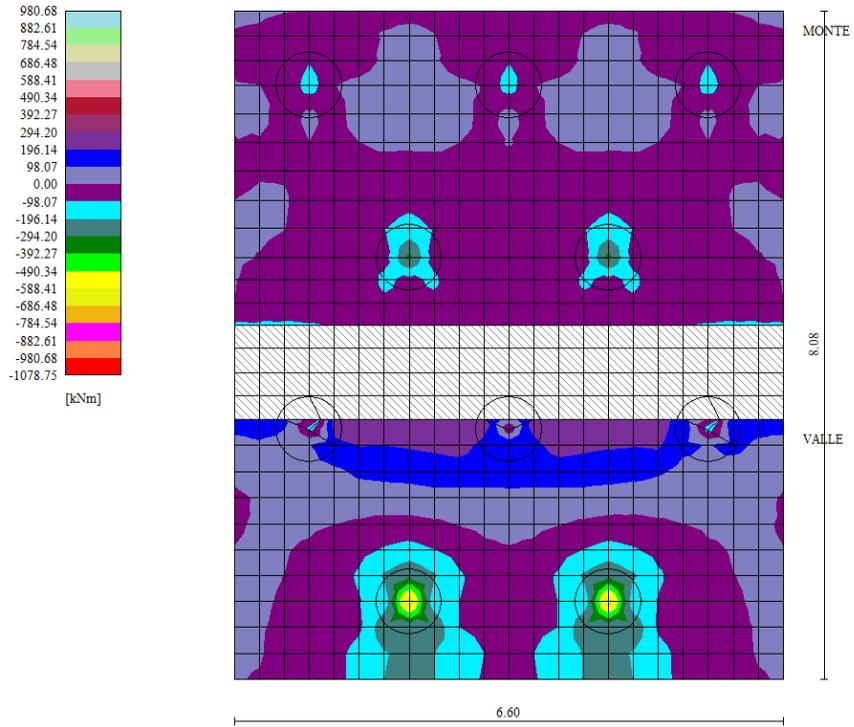


Figura 11-18 Fondazione muro d'ala – Momento $M_{x_{max}}$ – (combinazione n°2)

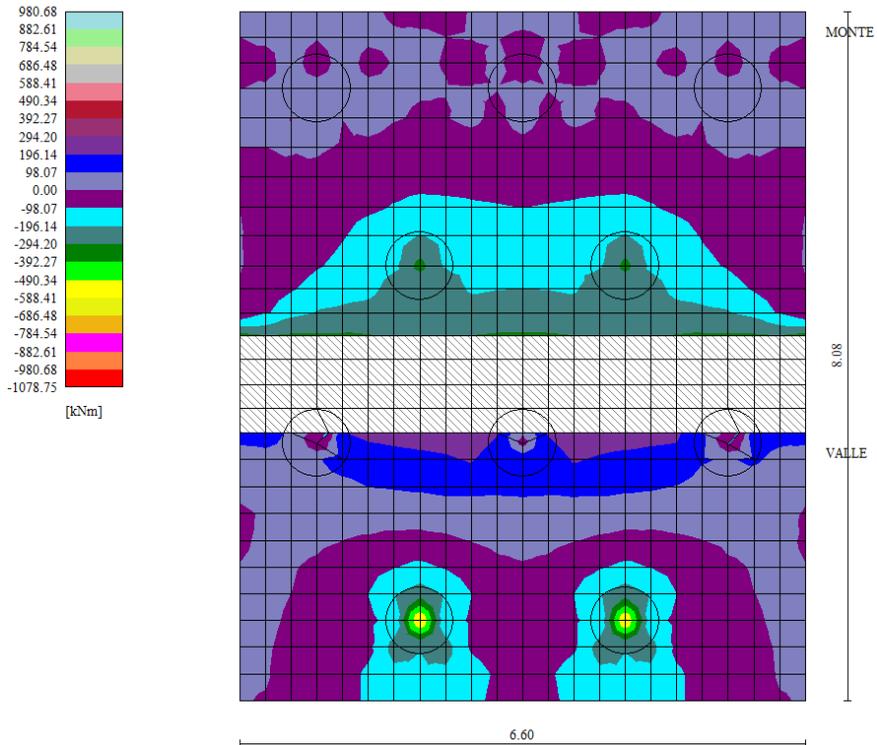


Figura 11-19 Fondazione muro d'ala – Momento $M_{x_{min}}$ – (combinazione n°3)

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Sollecitazioni allo SLE

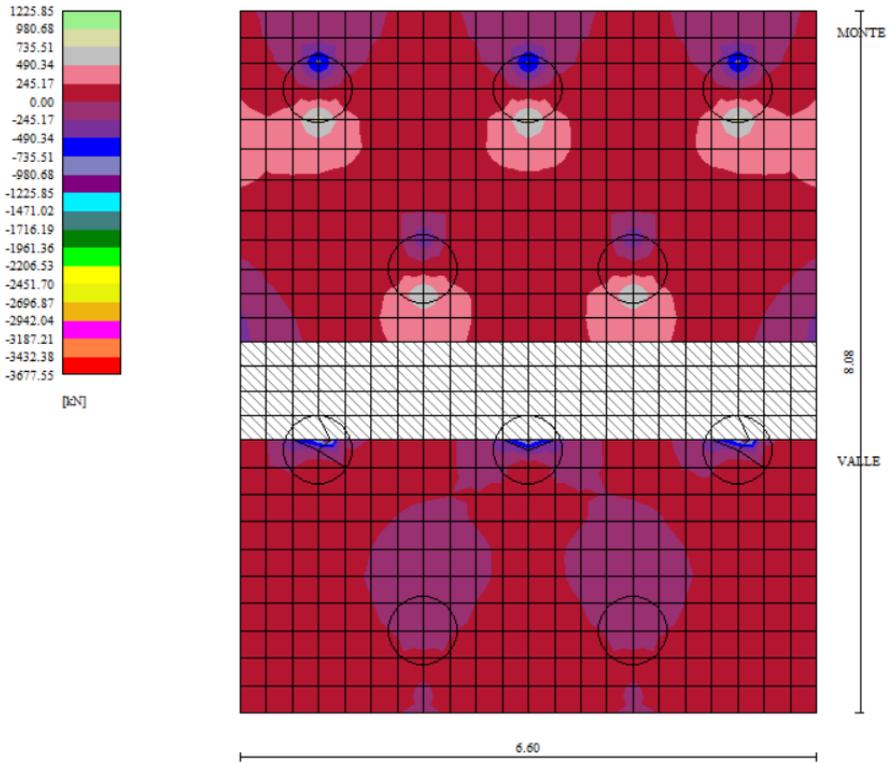


Figura 11-20 Fondazione muro d'ala -Taglio Ty (combinazioni n°10-11-12)

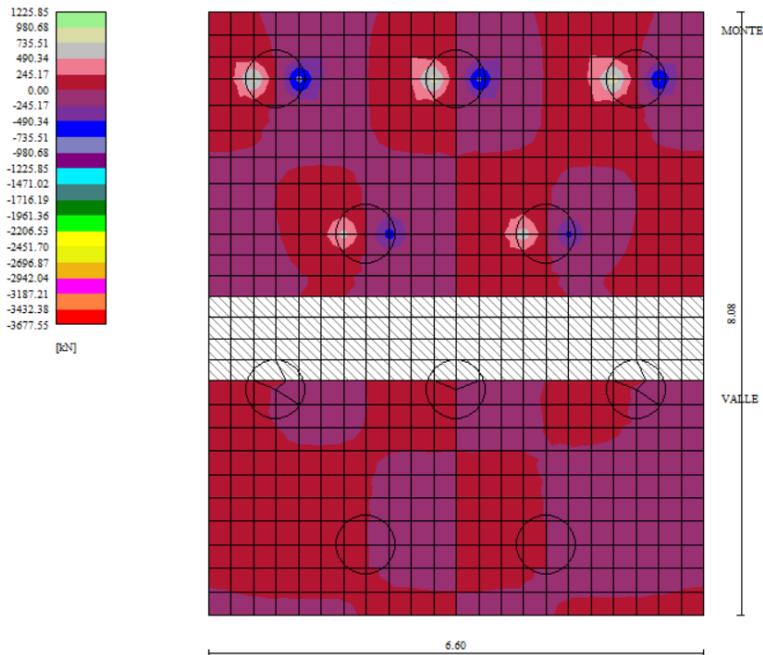


Figura 11-21 Fondazione muro d'ala – Taglio Tx (combinazioni n° 10-11-12)

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

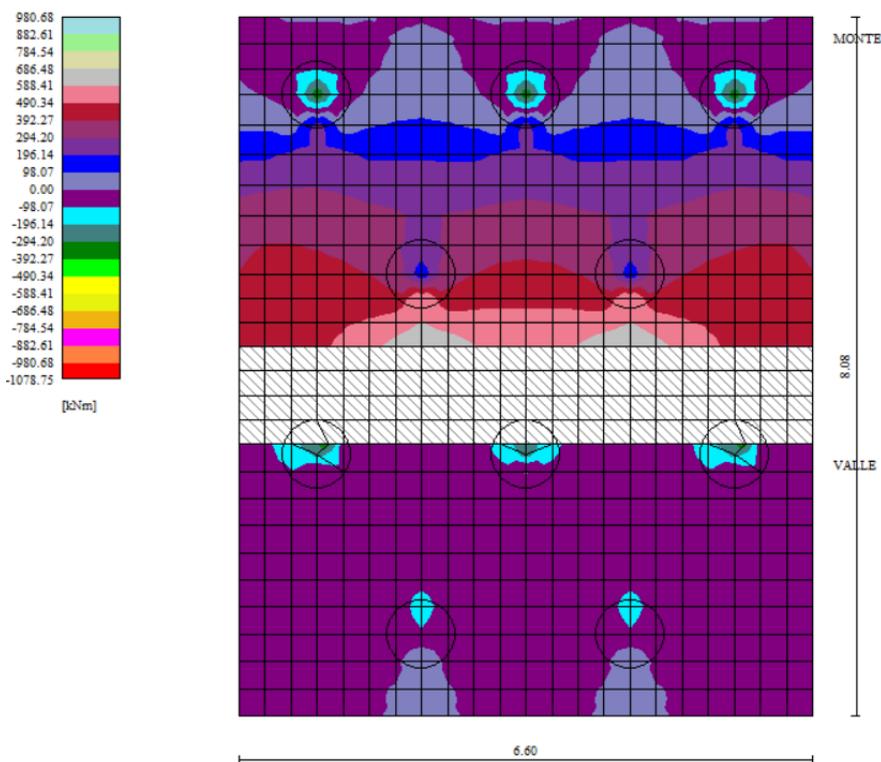


Figura 11-22 Fondazione muro d'ala – Momento My (combinazioni n°10-11-12)

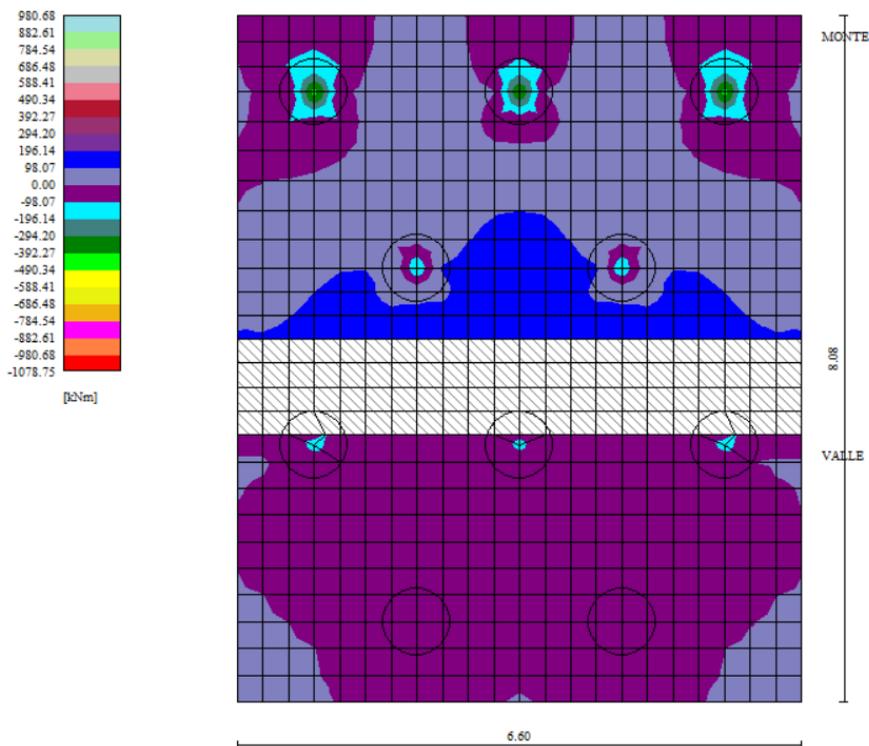


Figura 11-23 Fondazione muro d'ala -Momento Mx (combinazioni n° 10-11-12)

dove:

- M_x e M_y sono i momenti flettenti, positivi se tendono le fibre inferiori (intradosso fondazione)
- M_{xy} è il momento torcente, positivo se diretto da monte verso valle;
- T_x e T_y sono i tagli, positivi se tendono le fibre contro terra (a monte).

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

11.8.2 Verifiche strutturali della platea di fondazione

Nella seguente tabella vengono riportate le dimensioni geometriche della fondazione, le armature a flessione e le armature a taglio.

Tabella 11-17 Geometria e armature platea di fondazione dei muri d'ala.

Elemento strutturale	B [cm]	H [cm]	Distanza dall'estradosso [cm]	Armatura a flessione in direzione longitudinale	Armatura a flessione in direzione trasversale	Armatura a taglio
Platea di fondazione muri d'ala	100	120	6 114	5Ø24 5Ø24	5Ø24 5Ø24	Ø16- 40/40

Verifiche allo stato limite SLV per sollecitazioni flettenti in direzione longitudinale

$M_{max}=840$ kNm

$M_{min}=-880$ kNm (Copro con 5f24) Inferiore e superiore

Si riporta la verifica a flessione:

Verifica C.A. S.L.U. - File: Fondazione_slu

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: Paramento_SLU

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	120	1	22,62	6
			2	22,62	114

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
 M_{xEd} 0 kNm
 M_{yEd} 0

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M_{xRd} -980,4 kNm

Materiali: B450C C25/30

ε_{su} 67,5 % ε_{c2} 2 %
 f_{yd} 391,3 N/mm² ε_{cu} 3,5 %
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 14,17
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8 ?
 ε_{syd} 1,957 % σ_{c,adm} 9,75
 σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0,6
 τ_{c1} 1,829

σ_c -14,17 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 ε_c 3,5 %
 ε_s 57,51 %
 d 114 cm
 x 6,54 x/d 0,05737
 δ 0,7

Barre: N° 5 φ 24
 0 8
 0 8
 As 22,62 Calcola Inserisci

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

Tipo flessione: Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N
 L_o 0 cm Col. modello

Precompresso

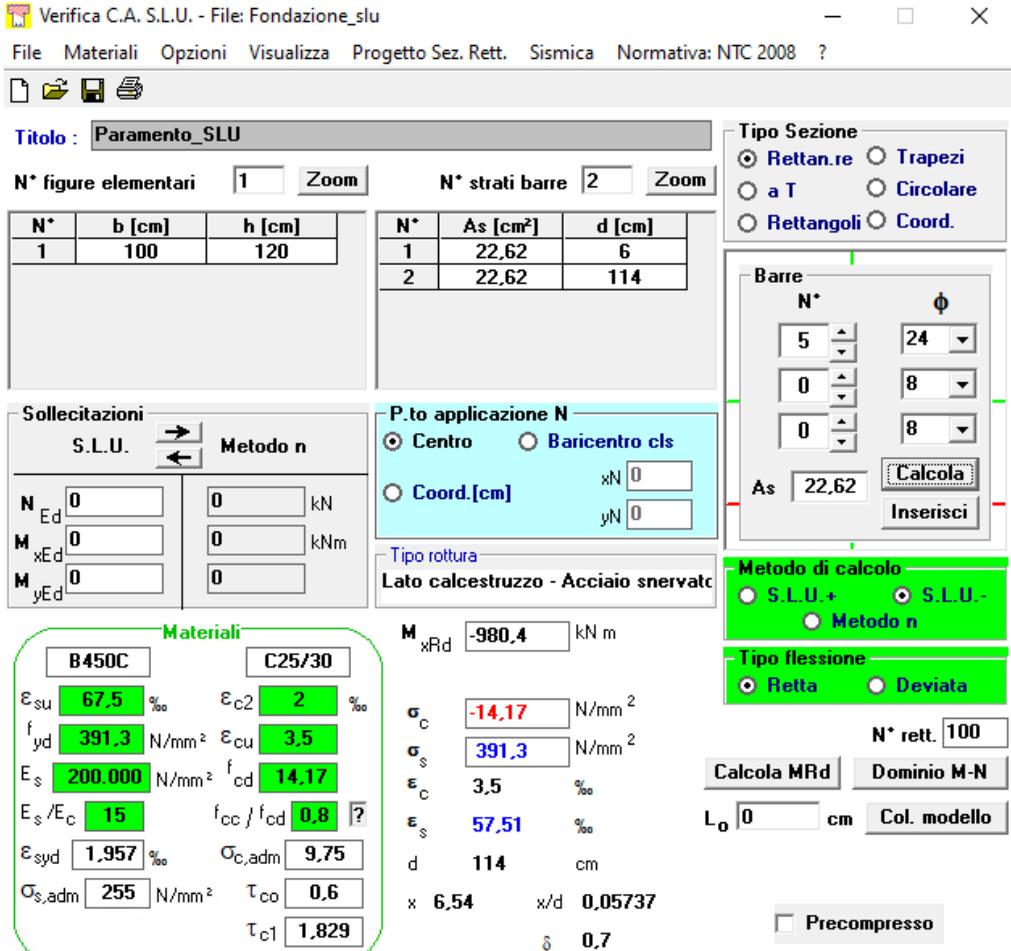
Figura 11-24 Muri d'ala -Calcolo del momento resistente della platea di fondazione in direzione longitudinale.

Poiché l'armatura è simmetrica la verifica risulta soddisfatta sia a SLU+ sia a SLU-.

Verifiche allo stato limite SLV per sollecitazioni flettenti in direzione trasversale

$M_{max} = 290 \text{ kNm}$

$M_{min} = -300 \text{ kNm}$



Verifica C.A. S.L.U. - File: Fondazione_slu

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: Paramento_SLU

N° figure elementari 1 Zoom N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	120	1	22,62	6
			2	22,62	114

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
 M_{xEd} 0 kNm
 M_{yEd} 0

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Barre: N° 5 φ 24
 0 φ 8
 0 φ 8
 As 22,62

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

Tipo flessione: Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N
 L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali: B450C C25/30

ε_{su} 67,5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391,3 N/mm² ε_{cu} 3,5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 14,17
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8
 ε_{syd} 1,957 ‰ σ_{c,adm} 9,75
 σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0,6
 τ_{c1} 1,829

M_{xRd} -980,4 kNm

σ_c -14,17 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 ε_c 3,5 ‰
 ε_s 57,51 ‰
 d 114 cm
 x 6,54 x/d 0,05737
 δ 0,7

Figura 11-25 Muri d'ala -Calcolo del momento resistente della platea di fondazione in direzione trasversale.

Poiché l'armatura è simmetrica la verifica risulta soddisfatta sia a SLU+ sia a SLU-.

Verifiche allo stato limite SLV per sollecitazioni taglianti in direzione longitudinale

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI			
Calcestruzzo			
SLU			
Classe			classe identificativa del calcestruzzo
$R_{ck} \geq$	40	MPa	resistenza a compressione cubica caratteristica
γ_c	1,5		coefficiente parziale SLU
α_{00}	0,85		fattore che tiene conto degli effetti dei carichi di lunga durata
$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	28	MPa	resistenza a compressione cilindrica caratteristica
$f_{cm} = f_{ck} + 8$	36	MPa	resistenza a compressione cilindrica media
$f_{cd} = \alpha \cdot f_{ck} / \gamma_c$	15,87	MPa	resistenza a compressione cilindrica di progetto per SLU
$f_{ctm} = 0.30 \cdot f_{ck}^{(2/3)}$	2,77	MPa	resistenza a trazione media
$f_{ctk,0.05} = 0.7 \cdot f_{ctm}$	1,94	MPa	resistenza a trazione caratteristica (frattile 5%)
$f_{ctk,0.95} = 1.3 \cdot f_{ctm}$	3,60	MPa	resistenza a trazione caratteristica (frattile 95%)
$f_{ctd} = f_{ctk,0.05} / \gamma_c$	1,29	MPa	resistenza a trazione di progetto
$f_{ctm} = 1.2 \cdot f_{ctm}$	3,32	MPa	resistenza a trazione per flessione media (frattile 50%)
$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm}$	2,32	MPa	resistenza a trazione per flessione caratteristica (frattile 5%)
$f_{ctk} = 1.3 \cdot f_{ctm}$	4,32	MPa	resistenza a trazione per flessione caratteristica (frattile 95%)
$E_{cm} = 22000 (f_{cm} / 10)^{1/3}$	32308	MPa	modulo elastico
SLE			
$\sigma_t = f_{ctm} / 1.2$	2,31	MPa	stato limite di formazione delle fessure
$\sigma_c < 0.60 \cdot f_{ck}$	16,80	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio (per combinazione rara)
$\sigma_c < 0.45 \cdot f_{ck}$	12,60	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio (per combinazione quasi permanente)
Acciaio B450C			
SLU			
$f_{yk} \geq$	450	MPa	tensione di snervamento caratteristica (frattile 5%)
γ_s	1,15		coefficiente parziale SLU
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$	391,30	MPa	tensione di snervamento di calcolo
E_s	210000	MPa	modulo elastico
SLE			
$\sigma_s < 0.80 \cdot f_{yk}$	360	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio
n	15		coefficiente omogeneizzazione
δ	6	cm	copriferro

Taglio resistente nelle sezioni con armatura trasversale a taglio

Taglio agente		$V_{Ed} = 620 \text{ kN}$	
Larghezza minima della sezione	b_w	1000	mm
Altezza della sezione	h	1200	mm
Copriferro della sezione	δ	60	mm
Altezza utile della sezione	d	1140	mm
Diametro delle staffe	d_w	16	mm
Numero di braccia	n_w	2,5	
Area totale staffe	A_{sw}	502,40	mm ²
Passo delle staffe	s	400	mm
Inclinazione delle staffe	α	90	deg
Inclinazione delle bielle compresse	θ	21,8	deg
Coeff. maggiorativo per sezioni compresse	α_c	1	
		$\cot(\theta)$	2,50
			2
			2,5
Resistenza di calcolo a "taglio-trazione"	$V_{Rtd} = 1260,6 \text{ kN}$	$V_{Rtd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot\alpha + \cot\theta) \cdot \sin\alpha$	
Resistenza di calcolo a "taglio-compresione"	$V_{Rcd} = 2806,8 \text{ kN}$	$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\cot\alpha + \cot\theta) / (1 + \cot^2\theta)$	
Resistenza a taglio della sezione	$V_{Rd} = 1260,6 \text{ kN}$	$V_{Rd} = \min(V_{Rtd}, V_{Rcd})$	
Esito della verifica	soddisfatta		

La verifica a taglio risulta soddisfatta.

Verifiche allo stato limite SLV per sollecitazioni taglianti in direzione trasversale

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI			
Calcestruzzo			
SLU			
Classe			classe identificativa del calcestruzzo
$R_{ck} \geq$	40	MPa	resistenza a compressione cubica caratteristica
γ_c	1,5		coefficiente parziale SLU
α_{oo}	0,85		fattore che tiene conto degli effetti dei carichi di lunga durata
$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	28	MPa	resistenza a compressione cilindrica caratteristica
$f_{cm} = f_{ck} + 8$	36	MPa	resistenza a compressione cilindrica media
$f_{cd} = \alpha \cdot f_{ck} / \gamma_c$	15,87	MPa	resistenza a compressione cilindrica di progetto per SLU
$f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{(2/3)}$	2,77	MPa	resistenza a trazione media
$f_{ctk,0.05} = 0.7 f_{ctm}$	1,94	MPa	resistenza a trazione caratteristica (frattile 5%)
$f_{ctk,0.95} = 1.3 f_{ctm}$	3,60	MPa	resistenza a trazione caratteristica (frattile 95%)
$f_{ctd} = f_{ctk,0.05} / \gamma_c$	1,29	MPa	resistenza a trazione di progetto
$f_{ctm} = 1.2 f_{ctm}$	3,32	MPa	resistenza a trazione per flessione media (frattile 50%)
$f_{ctk} = 0.7 f_{ctm}$	2,32	MPa	resistenza a trazione per flessione caratteristica (frattile 5%)
$f_{ctk} = 1.3 f_{ctm}$	4,32	MPa	resistenza a trazione per flessione caratteristica (frattile 95%)
$E_{cm} = 22000 (f_{cm} / 10)^2$	32308	MPa	modulo elastico
SLE			
$\sigma_c = f_{ctm} / 1.2$	2,31	MPa	stato limite di formazione delle fessure
$\sigma_c < 0.60 f_{ck}$	16,80	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio (per combinazione rara)
$\sigma_c < 0.45 f_{ck}$	12,60	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio (per combinazione quasi permanente)
Acciaio B450C			
SLU			
$f_{yk} \geq$	450	MPa	tensione di snervamento caratteristica (frattile 5%)
γ_s	1,15		coefficiente parziale SLU
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$	391,30	MPa	tensione di snervamento di calcolo
E_s	210000	MPa	modulo elastico
SLE			
$\sigma_s < 0.80 f_{yk}$	360	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio
n	15		coefficiente omogeneizzazione
δ	6	cm	copriferro

Taglio resistente nelle sezioni con armatura trasversale a taglio

Taglio agente			
$V_{Ed} =$	400	kN	
Larghezza minima della sezione	b_w	1000	mm
Altezza della sezione	h	1200	mm
Copriferro della sezione	δ	60	mm
Altezza utile della sezione	d	1140	mm
Diametro delle staffe	d_w	16	mm
Numero di braccia	n_w	2,5	
Area totale staffe	A_{sw}	502,40	mm ²
Passo delle staffe	s	400	mm
Inclinazione delle staffe	α	90	deg
Inclinazione delle bielle compresse	θ	21,8	deg
Coeff. maggiorativo per sezioni compresse	α_c	1	
		$\cot(\theta)$	2,50
			2
			2,5
Resistenza di calcolo a "taglio-trazione"	$V_{Rtd} =$	1260,6	kN
		$V_{Rtd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$	
Resistenza di calcolo a "taglio-comprensione"	$V_{Rcd} =$	2806,8	kN
		$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta)$	
Resistenza a taglio della sezione	$V_{Rd} =$	1260,6	kN
		$V_{Rd} = \min (V_{Rtd}, V_{Rcd})$	
Esito della verifica	soddisfatta		

La verifica risulta soddisfatta.

Verifica allo stato limite SLE in direzione longitudinale e trasversale

Si riporta di seguito il calcolo delle tensioni allo SLE e la verifica allo stato limite di apertura delle fessure.
 M=-60 kNm

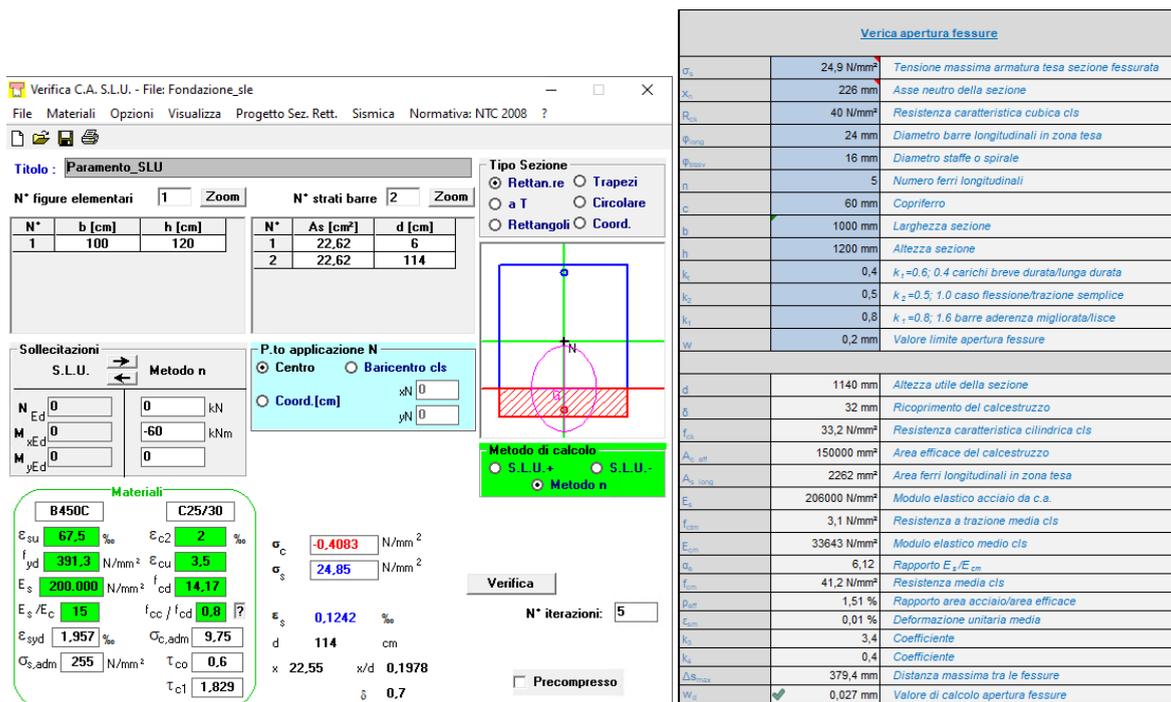


Figura 11-26 VERIFICHE SLE – Platea di fondazione muri d’ala

La verifica allo stato limite di apertura delle fessure risulta soddisfatta.

Si riporta di seguito la verifica allo stato limite di limitazione delle tensioni.

Tabella 11-18 Verifiche SLE -Tensioni di esercizio- Pali di fondazione

Elemento strutturale	M_{es} [kNm]	$ \sigma_{cmax} $ [MPa]	$ \sigma_{smax} $ [MPa]	w [mm]
Platea di fondazione	-60	0,4	24,85	0,027

dove:

- M_{es} è il valore del momento di calcolo in condizioni di esercizio;
- σ_{cmax} è la tensione massima nel calcestruzzo;
- σ_{smax} è la tensione di compressione o trazione massima nell’acciaio.

La verifica allo stato limite di limitazione delle fessure risulta soddisfatta.

11.9 ANALISI PARAMENTO MURI D'ALA

11.9.1 Sollecitazioni paramento muri d'ala

Nella seguente tabella si riporta l'involuppo allo SLU e allo SLE delle sollecitazioni agenti sul paramento anteriore.

dove:

- M_x e M_y sono i momenti flettenti, positivi se tendono le fibre inferiori (paramento esterno)
- M_{xy} è il momento torcente, positivo se diretto da monte verso valle;
- T_x e T_y sono i tagli, positivi se tendono le fibre contro terra (a monte).

Sul paramento si considera uno sforzo normale agente dato dalla somma del peso proprio del muro considerato per la lunghezza di 1 m di muro.

$$N = P_{\text{paramento}} = 220 \text{ kN}$$

Di seguito si riportano i contour delle sollecitazioni di taglio e momento agenti sul paramento dei muri d'ala.

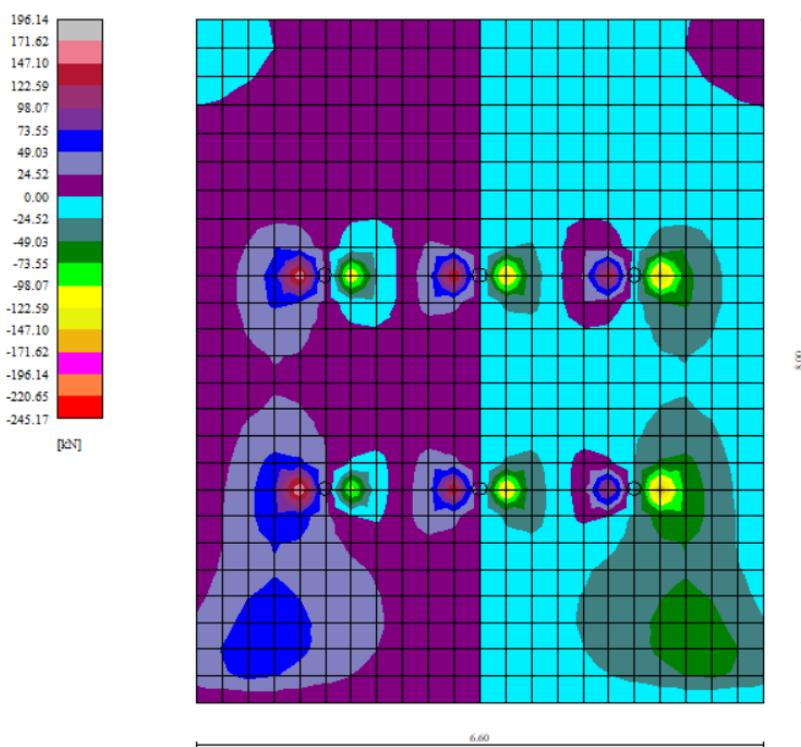


Figura 11-27 Paramento muro d'ala T_x (combinazione n°2)

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

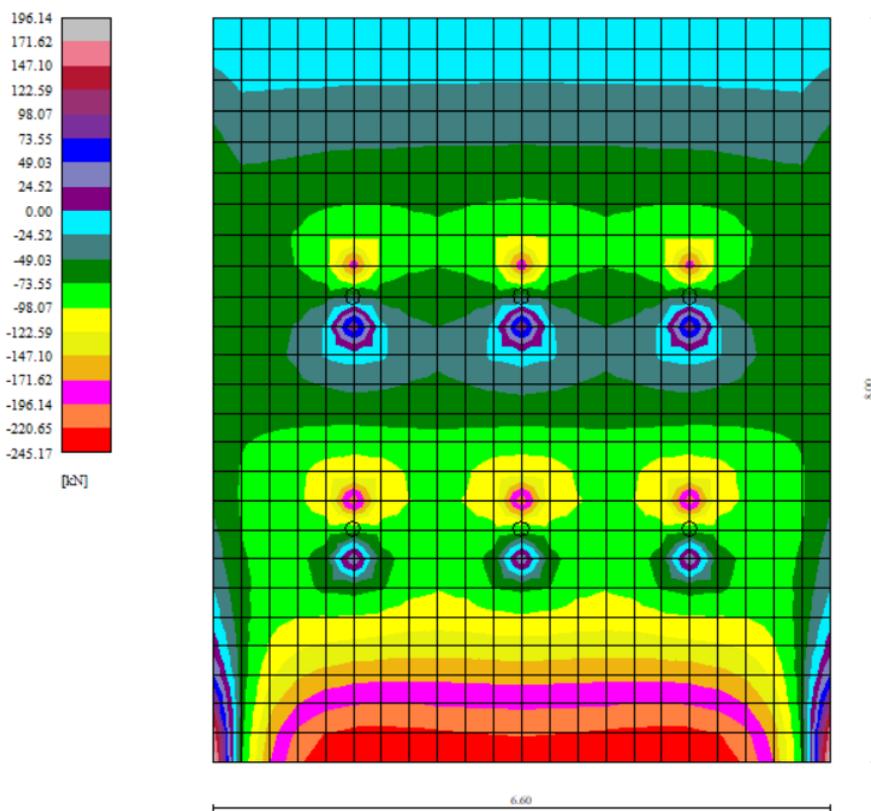


Figura 11-28 Paramento muro d'ala T_y (combinazione n°2)

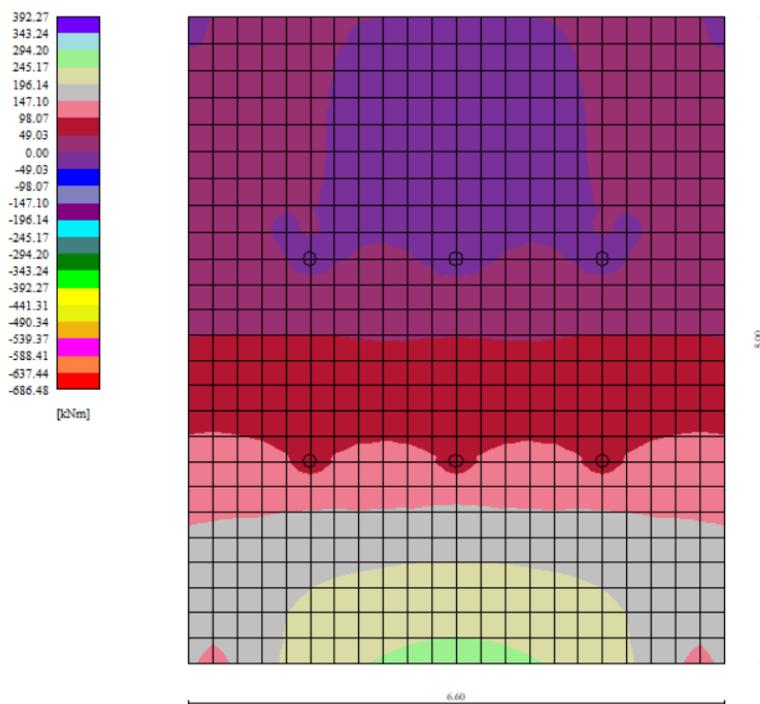


Figura 11-29 Paramento muro d'ala $M_{y_{max}}$ (combinazione n°6)

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

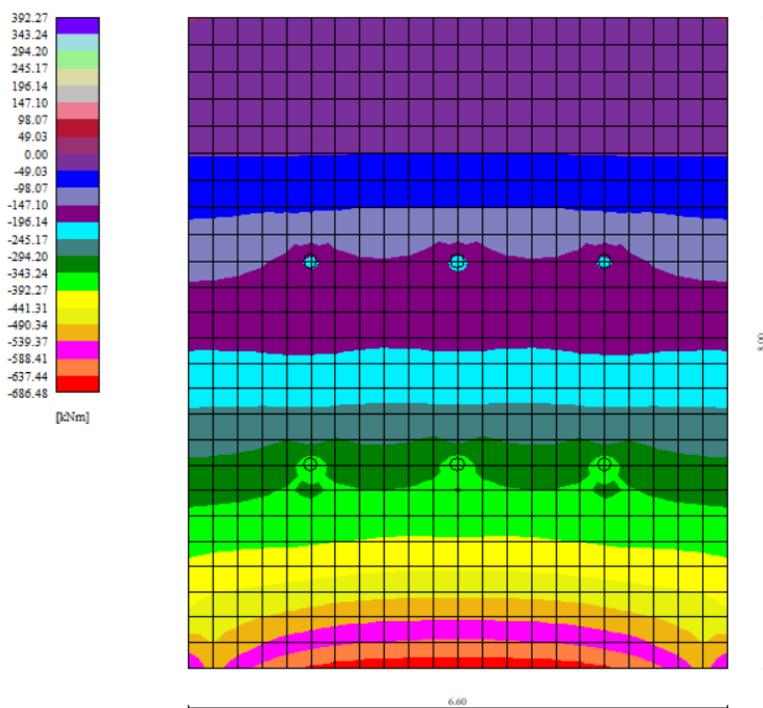


Figura 11-30 Paramento muro d'ala $M_{y_{min}}$ (combinazione n°2)

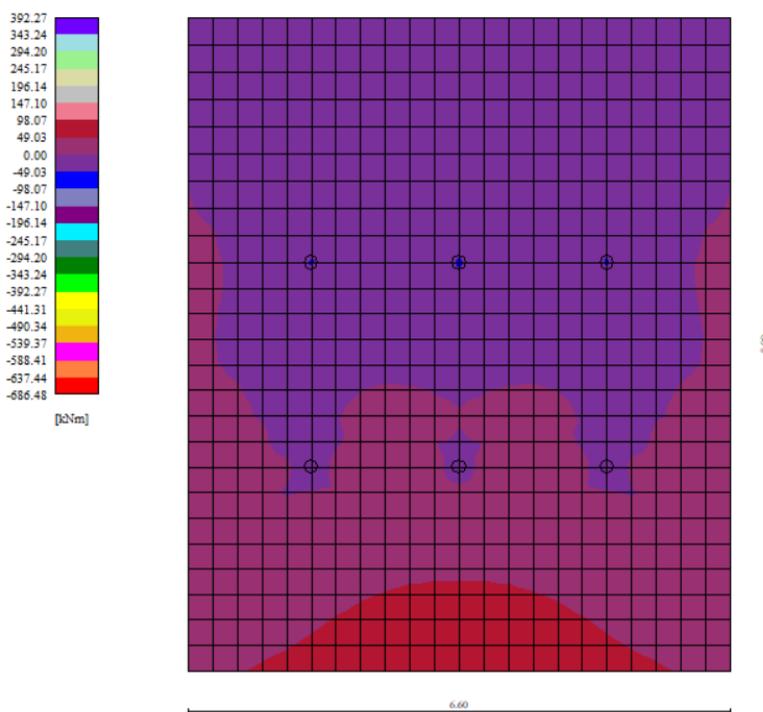


Figura 11-31 Paramento muro d'ala $M_{x_{max}}$ (combinazione n°6)

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

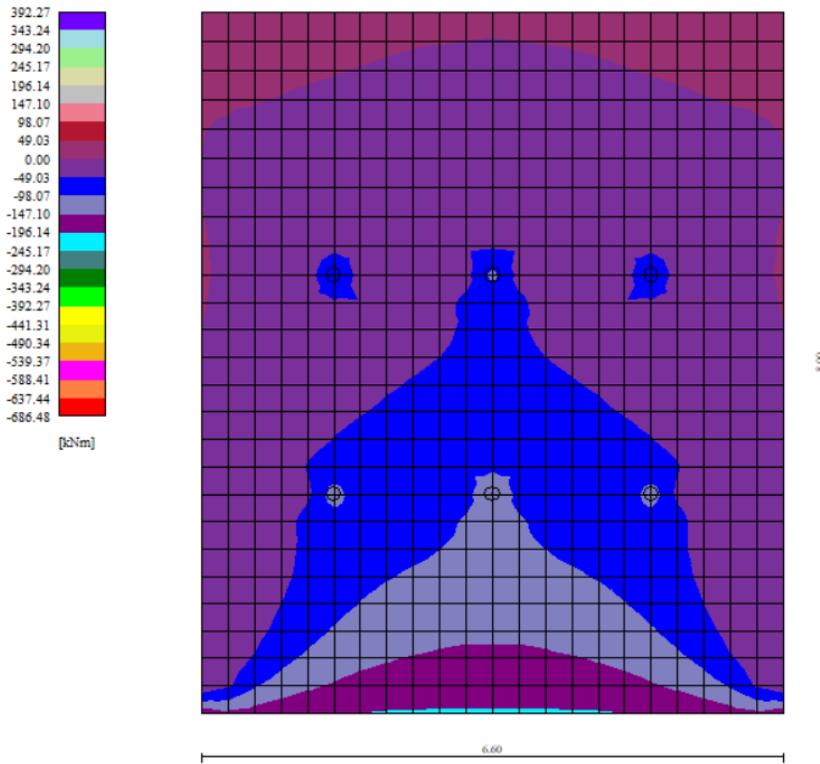


Figura 11-32 Paramento muro d'ala $M_{x_{min}}$ (combinazione n°2)

11.9.1 Verifiche strutturali del paramento muri d'ala

Nella seguente tabella vengono riportate le dimensioni geometriche del paramento anteriore, le armature a flessione e le armature a taglio.

Tabella 11-19 Geometria e armature paramento muri d'ala

Elemento strutturale	B [cm]	H [cm]	Distanza dal paramento interno [cm]	Armatura a flessione in direzione verticale	Armatura a flessione i direzione orizzontale	Armatura a taglio
Platea di fondazione	100	110	5	5Ø20	5Ø16	Ø12-40/40
			105	5Ø20	5Ø16	

Verifiche allo stato limite SLV per sollecitazioni flettenti in direzione verticale

$$M_{\max} = 258 \text{ kNm}$$

$$M_{\min} = -671 \text{ kNm}$$

Si riporta la verifica a flessione:

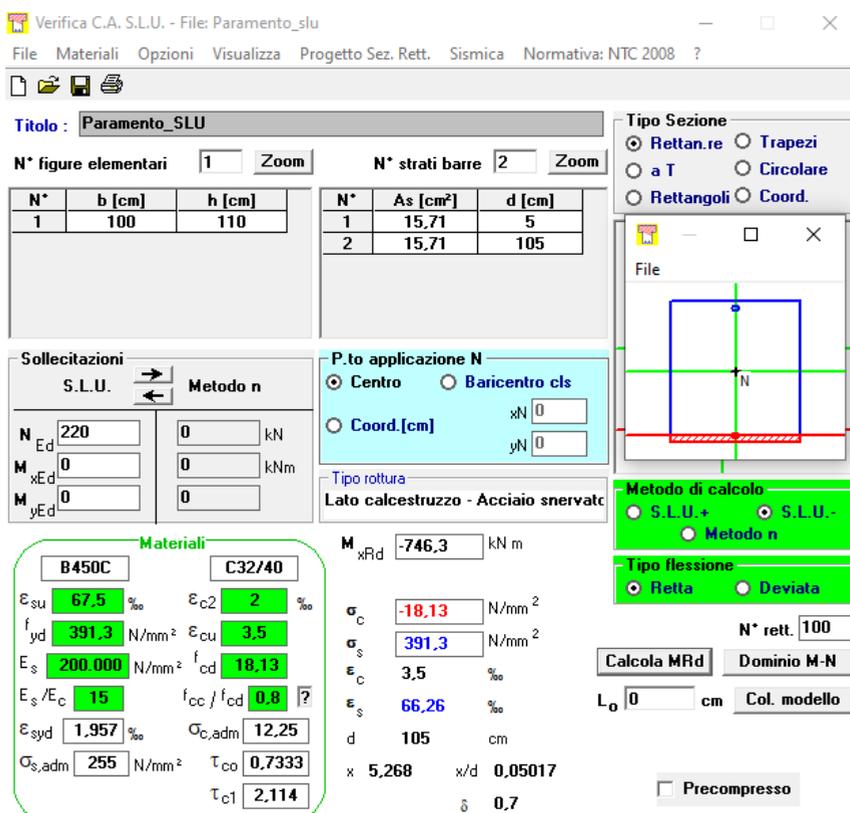


Figura 11-33 Calcolo del momento resistente del paramento anteriore in direzione verticale.

La verifica a flessione risulta soddisfatta.

Verifiche allo stato limite SLV per sollecitazioni taglianti in direzione longitudinale

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI			
Calcestruzzo			
SLU			
Classe			classe identificativa del calcestruzzo
$R_{ck} \geq$	40	MPa	resistenza a compressione cubica caratteristica
γ_o	1,5		coefficiente parziale SLU
α_{oo}	0,85		fattore che tiene conto degli effetti dei carichi di lunga durata
$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	28	MPa	resistenza a compressione cilindrica caratteristica
$f_{cm} = f_{ck} + 8$	36	MPa	resistenza a compressione cilindrica media
$f_{cd} = \alpha f_{ck} / \gamma_c$	15,87	MPa	resistenza a compressione cilindrica di progetto per SLU
$f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{(2/3)}$	2,77	MPa	resistenza a trazione media
$f_{ctk 0.05} = 0.7 f_{ctm}$	1,94	MPa	resistenza a trazione caratteristica (frattile 5%)
$f_{ctk 0.95} = 1.3 f_{ctm}$	3,60	MPa	resistenza a trazione caratteristica (frattile 95%)
$f_{ctd} = f_{ctk 0.05} / \gamma_c$	1,29	MPa	resistenza a trazione di progetto
$f_{ctm} = 1.2 f_{ctm}$	3,32	MPa	resistenza a trazione per flessione media (frattile 50%)
$f_{ctk} = 0.7 f_{ctm}$	2,32	MPa	resistenza a trazione per flessione caratteristica (frattile 5%)
$f_{ctk} = 1.3 f_{ctm}$	4,32	MPa	resistenza a trazione per flessione caratteristica (frattile 95%)
$E_{cm} = 22000 (f_{cm} / 10)^2$	32308	MPa	modulo elastico
SLE			
$\sigma_t = f_{ctm} / 1.2$	2,31	MPa	stato limite di formazione delle fessure
$\sigma_c < 0.60 f_{ck}$	16,80	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio (per combinazione rara)
$\sigma_c < 0.45 f_{ck}$	12,60	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio (per combinazione quasi permanente)
Acciaio B450C			
SLU			
$f_{yk} \geq$	450	MPa	tensione di snervamento caratteristica (frattile 5%)
γ_s	1,15		coefficiente parziale SLU
$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$	391,30	MPa	tensione di snervamento di calcolo
E_s	210000	MPa	modulo elastico
SLE			
$\sigma_s < 0.80 f_{yk}$	360	MPa	stato limite delle tensioni di esercizio
n	15		coefficiente omogeneizzazione
δ	5	cm	copriferro

Taglio resistente nelle sezioni senza armatura trasversale a taglio

Taglio agente $V_{Ed} = 245 \text{ kN}$			
Larghezza minima della sezione	b_w	1000	mm
Altezza della sezione	h	1100	mm
Copriferro della sezione	δ	50	mm
Altezza utile della sezione	d	1050	mm
n° ferri zona tesa		5	
diametro ferri zona tesa		20	mm
Armatura totale longitudinale	A_t	1570	mm ²
	k	1,436	
Rapporto geom. di armatura longitudinal	ρ_l	0,001	< 0,02
Sforzo normale agente	N_{Ed}	220	kN
Tensione di compressione agente	σ_{cp}	0,2	Mpa < $0,2 \times f_{cd} = 3,1733 \text{ Mpa}$
Resistenza unitaria a taglio	v_{min}	0,319	
Taglio resistente	V_{Rd}	366,3	kN

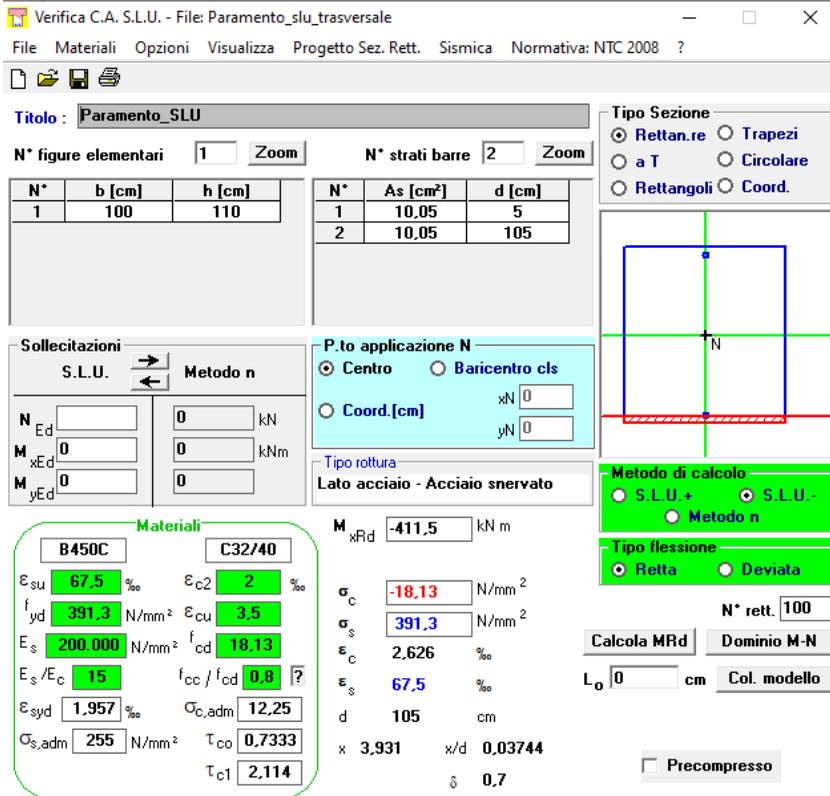
Esito della verifica Soddisfatta, non occorre armatura specifica a taglio

La verifica a taglio risulta soddisfatta senza la disposizione di armatura specifica a taglio. Tuttavia si dispone armatura a taglio realizzata mediante spilli $\varnothing 12$ passo 40.

Verifiche allo stato limite SLV per sollecitazioni flettenti in direzione trasversale

$M_{max} = 78 \text{ kNm}$

$M_{min} = -200 \text{ kNm}$



Verifica C.A. S.L.U. - File: Paramento_slu_trasversale

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: **Paramento_SLU**

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	110

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10,05	5
2	10,05	105

Tipo Sezione:
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Diagramma della sezione rettangolare con barre d'acciaio e asse neutro N.

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
 M_{xEd} 0 kNm
 M_{yEd} 0 kNm

P.to applicazione N:
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura: Lato acciaio - Acciaio snervato

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

Tipo flessione:
 Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L_0 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali:

B450C		C32/40	
ϵ_{su}	67,5 ‰	ϵ_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391,3 N/mm²	ϵ_{cu}	3,5 ‰
E_s	200.000 N/mm²	f_{cd}	18,13
E_s/E_c	15	f_{cc}/f_{cd}	0,8
ϵ_{syd}	1,957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	12,25
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	τ_{co}	0,7333
		τ_{c1}	2,114

M_{xRd} -411,5 kN m

σ_c -18,13 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 ϵ_c 2,626 ‰
 ϵ_s 67,5 ‰
 d 105 cm
 x 3,931 x/d 0,03744
 δ 0,7

Figura 11-34 Calcolo del momento resistente del paramento anteriore in direzione orizzontale.

Verifica allo stato limite SLE in direzione verticale

Si riporta di seguito il calcolo delle tensioni allo SLE e la verifica allo stato limite di apertura delle fessure.

$M_{max}=360 \text{ kNm}$

The screenshot shows a software interface for structural analysis. On the left, there are input fields for material properties (B450C, C32/40) and section properties (width b=100 cm, height h=110 cm). The main area displays a cross-section diagram with reinforcement bars and a load N applied at the center. On the right, a table titled 'Verifica apertura fessure' lists various parameters and their values, such as maximum reinforcement stress (172.7 N/mm²), section width (244 mm), and effective depth (1050 mm).

σ_s	172,7 N/mm ²	Tensione massima armatura tesa sezione fessurata
x	244 mm	Asse neutro della sezione
R_{ctk}	40 N/mm ²	Resistenza caratteristica cubica cls
$\sigma_{s,lim}$	20 mm	Diametro barre longitudinali in zona tesa
$\sigma_{s,lim}$	12 mm	Diametro staffe o spirale
n	5	Numero staffe o spirale
c	50 mm	Copriferro
b	1000 mm	Larghezza sezione
h	1100 mm	Altezza sezione
k_1	0,4	$k_1=0,6$; 0,4 carichi breve durata/lunga durata
k_2	0,5	$k_2=0,5$; 1,0 caso flessione/trazione semplice
k_3	0,8	$k_3=0,8$; 1,6 barre aderenza migliorata/fisce
w	0,2 mm	Valore limite apertura fessure
d	1050 mm	Altezza utile della sezione
δ	28 mm	Ricoprimento del calcestruzzo
f_{ctk}	33,2 N/mm ²	Resistenza caratteristica cilindrica cls
$A_{s,eff}$	125000 mm ²	Area efficace del calcestruzzo
$A_{s,lim}$	1571 mm ²	Area ferri longitudinali in zona tesa
E_s	206000 N/mm ²	Modulo elastico acciaio da c.a.
f_{ctm}	3,1 N/mm ²	Resistenza a trazione media cls
E_{cm}	33643 N/mm ²	Modulo elastico medio cls
$\sigma_{s,lim}$	6,12	Rapporto E_s/E_{cm}
f_{ctd}	41,2 N/mm ²	Resistenza media cls
$\sigma_{s,lim}$	1,26 %	Rapporto area acciaio/area efficace
$\epsilon_{s,lim}$	0,05 %	Deformazione unitaria media
k_1	3,4	Coefficiente
k_2	0,4	Coefficiente
Δs_{max}	365,8 mm	Distanza massima tra le fessure
w_{lim}	0,184 mm	Valore di calcolo apertura fessure

Figura 11-35 VERIFICHE SLE – Paramento muri d’ala.

La verifica allo stato limite di apertura delle fessure risulta soddisfatta.

Si riporta di seguito la verifica allo stato limite di limitazione delle tensioni.

Tabella 11-20 Verifiche SLE -Tensioni di esercizio- Platea di fondazione

Elemento strutturale	M_{es} [kNm]	$ \sigma_{cmax} $ [MPa]	$ \sigma_{smax} $ [MPa]	w [mm]
Paramento anteriore	367	3,5	172,7	0,184

dove:

- M_{es} è il valore del momento di calcolo in condizioni di esercizio;
- σ_{cmax} è la tensione massima nel calcestruzzo;
- σ_{smax} è la tensione di compressione o trazione massima nell'acciaio.

La verifica allo stato limite di limitazione delle tensioni risulta soddisfatta.

Verifica allo stato limite SLE in direzione orizzontale

Mmax=110.27 kNm

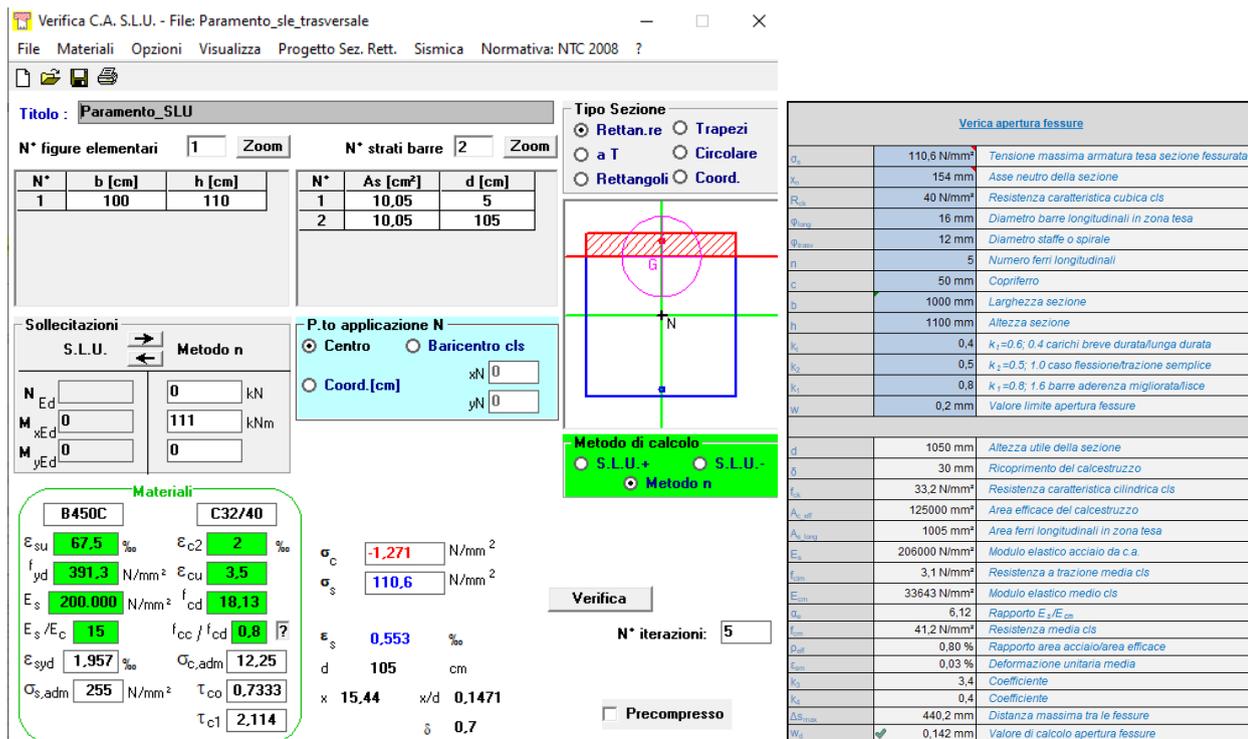


Figura 11-36

La verifica allo stato limite di apertura delle fessure risulta soddisfatta.

Si riporta di seguito la verifica allo stato limite di limitazione delle tensioni.

Tabella 11-21 Verifiche SLE -Tensioni di esercizio- Platea di fondazione

Elemento strutturale	M_{es} [kNm]	$ \sigma_{cmax} $ [MPa]	$ \sigma_{smax} $ [MPa]	w [mm]
Paramento anteriore	110,27	1,271	110,6	0,142

dove:

- M_{es} è il valore del momento di calcolo in condizioni di esercizio;
- σ_{cmax} è la tensione massima nel calcestruzzo;
- σ_{smax} è la tensione di compressione o trazione massima nell'acciaio.

La verifica allo stato limite di limitazione delle tensioni risulta soddisfatta.

11.10 ANALISI TIRANTI DI ANCORAGGIO

Risultati Tiranti							
S [m]	nt	N [kN]	L [m]	Lf [m]	sf [kPa]	Fs	
5.50 [P]	3	203.73	25.00	8.00	366418	2.22	
3.00 [P]	3	222.43	25.00	8.00	400057	2.05	

Vengono di seguito riportate le verifiche effettuate sui tiranti

Azione sul tirante	225 kN	
Verifica a sfilamento malta-terreno		
Lf	8 m	Lunghezza fondazione
τ_k	120 kPa	Tensione caratteristica bulbo terreno
τ_m	120 kPa	Tensione media bulbo terreno
D _p	0,2 m	Diametro perforazione
alpha	1,8	Fattore di sbulbamento
D _b	0,36 m	Diametro bulbo
n° verticali indaga	1	
tipo tirante	Prowisorio	
ξ_3	1,8	Fattore di correlazione
ξ_4	1,8	Fattore di correlazione
γ_R	1,1	Coefficiente parziale sulla resistenza
R _{ak}	603 kN	Resistenza caratteristica a sfilamento del bulbo
R _{ad}	548 kN	Resistenza di progetto a sfilamento del bulbo
Verifica soddisfatta: 225 kN < 548 kN		
Verifica a sfilamento trefoli-malta		
n° trefoli	4	
Area trefolo	0,000139 m ²	
Area tirante	0,000556 m ²	
D _{eq}	0,027 m	Diametro equivalente
f _{ck}	32 MPa	Resistenza caratteristica a compressione malta
f _{ctk,0.05}	2,12 MPa	Resistenza caratteristica a trazione malta
n	1	Coefficiente correttivo
γ_c	1,5	Coefficiente parziale sulla resistenza
f _{bd}	3,18 MPa	Resistenza di progetto di aderenza della malta
R _{ak,c}	2123 kN	Resistenza caratteristica a sfilamento dei trefoli
R _{ad,c}	1930 kN	Resistenza di progetto a sfilamento dei trefoli
Verifica soddisfatta: 225 kN < 1930 kN		
Verifica a trazione dei trefoli		
f _{p(1)k}	1670 MPa	tensione caratteristica all'1% di deformazione
γ_m	1,05	Coefficiente parziale sul materiale
N _R	707 kN	Resistenza a trazione dei trefoli
Verifica soddisfatta: 225 kN < 707 kN		
Verifica rispetto gerarchia delle resistenze		
γ_{Rd}	1	Fattore di sovraresistenza
R _{ak,max}	603 kN	Resistenza caratteristica a sfilamento del bulbo
R _{ak,max} * γ_{Rd} < N _R	Verifica soddisfatta: 603 kN < 707 kN	
Tutte le verifiche sono soddisfatte		

Le verifiche risultano soddisfatte.

Analisi cordolo di ripartizione

Sul cordolo di ripartizione viene effettuata una verifica a compressione dell'area di calcestruzzo interessata dal tirante.

C	32/40	
fcd	18.13	MPa
lp	0,15	m
Ntiro	225	kN
σ_c	10	MPa

La verifica risulta soddisfatta

12 VERIFICA OPERA DI SOSTEGNO PROVVISORIALE

Nella fase di esecuzione degli scavi delle spalle si ha un'interferenza con l'incisione idraulica scavalcata dal ponte in oggetto.

Pertanto si prevede, per entrambe le spalle la realizzazione, lato mensola anteriore di fondazione, di una paratia provvisoriale atta al contenimento degli argini dell'incisione idraulica.

Le opere sono costituite da una palancola metallica tipo Larssen PU6 di altezza complessiva di 10 m ed altezza fuori terra di circa 3,30 m.

Il calcolo della paratia viene condotto senza azione sismica, in quanto opera provvisoriale, e tenendo conto della spinta del terreno a tergo e della spinta idrostatica dovuta alla presenza di falda supposta a piano campagna.

Di seguito si riporta una tabella di verifica, per metro lineare di opera, della paratia prevista:

Caratteristiche terreno

Litotipo:	Ar
Angolo di attrito interno (litotipo Alt/b-f):	$\phi' = 34^\circ$
Angolo di attrito interno ridotto ($\tan\phi/1.25$):	$\phi' = 28.37^\circ$
Coesione drenata:	$c' = 0$ kPa
Coefficiente di spinta attiva:	$K_a = 0.356$
Peso specifico:	$\gamma = 17.5$ kN/m ³
Peso specifico efficace:	$\gamma' = 7.5$ kN/m ³
Presenza di acqua:	1 (1=si; 0=no)
Sovraccarico:	0 kPa

Geometria:

Altezza fuori terra della paratia:	Hft = 3.3 m
------------------------------------	--------------------

Sollecitazioni (per metro lineare di opera):

Spinta del terreno:	St = 14.53 kN/m
Momento agente:	Mt = 15.98 kNm/m
Spinta dovuta all'acqua:	Sw = 54.45 kN/m
Momento agente:	Mw = 59.90 kNm/m
Spinta dovuta al sovraccarico:	Sq = 0.00 kN/m
Momento agente:	Mq = 0.00 kNm/m

Spinta massima agente:	S_{Ed} = 68.98 kNm/m
Momento massimo agente:	M_{Ed} = 75.88 kNm/m

Tipo di paratia

Palancola tipo Larssen PU6	
Modulo di resistenza:	W = 600 cm ³ /m
Area della sezione:	A = 96 cm ² /m
Tensione resistente ultima:	f _{yd} = 261.90 MPa
Tensione agente:	$\sigma = 127.08$ MPa

La verifica risulta soddisfatta

La verifica risulta soddisfatta.

13 TABULATI DI CALCOLO

13.1 SPALLA

13.1.1 Dati di input

Materiali

Simbologia adottata

n°	Indice materiale
Descr	Descrizione del materiale
<u>Calcestruzzo armato</u>	
C	Classe di resistenza del cls
A	Classe di resistenza dell'acciaio
γ	Peso specifico, espresso in [kN/mc]
R _{ck}	Resistenza caratteristica a compressione, espressa in [kPa]
E	Modulo elastico, espresso in [kPa]
ν	Coeff. di Poisson
n	Coeff. di omogenizzazione acciaio/cls
ntc	Coeff. di omogenizzazione cls teso/compresso

Calcestruzzo armato

n°	Descr	C	A	γ [kN/mc]	R _{ck} [kPa]	E [kPa]	ν	n	ntc
1	C32/40	C32/40	B450C	25	40000	33642648	0.30	15.00	0.50

Acciai

Descr	f _{yk} [kPa]	f _{uk} [kPa]
B450C	450000	540000

Tipologie pali

Simbologia adottata

n°	Indice tipologia palo
Descr	Descrizione tipologia palo
P	Contributo portanza palo (laterale e/o punta)
T	Tecnologia costruttiva (trivellato, infisso o elica continua)
V	Vincolo palo-fondazione: Cerniera o Incastro (libero o impedito di ruotare in testa)
Imat	Indice materiale che lo costituisce
BD	usa metodo di Bustamante-Doix
PN	Portanza nota
Pp, Pl	Portanza di punta e laterale caratteristica, espressa in [kN]

n°	Descr	P	T	V	Imat	BD	PN	Pp	Pl
2	f1200	Laterale + Punta	Trivellato	Incastro	5	NO	NO	--	--

Tipologie tiranti

Simbologia adottata

Descr	Descrizione tipologia
Imat	Indice materiale
D	Diametro di perforazione, espresso in [m]
Cesp	Coeff. di espansione laterale
Tipo armatura	Attivo, Passivo tondini o Passivo tubolare
Caratteristiche:	
- per tiranti attivi: numero trefoli e area trefolo espresso in [mq]	
- per tiranti passivi con tondini: numero tondini e diametro tondino espresso in [m]	
- per tiranti passivi con tubolare: diametro e spessore tubolare, espressi in [m]	

Descr	Imat	D [m]	Cesp	Tipo armatura	Caratteristiche
Tiranti attivi con trefoli	5	0.1800	1.080	Attivo	6 / 0.000139 [mq]

Geometria profilo terreno a monte del muro

Simbologia adottata

(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

n°	numero ordine del punto
X	ascissa del punto espressa in [m]
Y	ordinata del punto espressa in [m]
A	inclinazione del tratto espressa in [°]

n°	X [m]	Y [m]	A [°]
1	0.00	0.00	0.000
2	50.00	0.00	0.000

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale 0.000 [°]

Falda

Simbologia adottata

(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

n°	numero ordine del punto
X	ascissa del punto espressa in [m]
Y	ordinata del punto espressa in [m]
A	inclinazione del tratto espressa in [°]

n°	X [m]	Y [m]	A [°]
1	-8.00	-15.00	0.000
2	50.00	-15.00	0.000

Geometria muro

Geometria paramento e fondazione

Muro con cotrafforti

Lunghezza muro 13.00 [m]

Paramento

Materiale	C32/40	
Altezza paramento	10.12	[m]
Altezza paramento libero	8.50	[m]
Spessore in sommità	2.00	[m]
Spessore all'attacco con la fondazione	2.00	[m]
Inclinazione paramento esterno	0.00	[°]
Inclinazione paramento interno	0.00	[°]

Contrafforti

Gettato in opera		
Pendenza sezione	Singola	
Altezza	5.50	[m]
Spessore	0.50	[m]
Interasse	10.00	[m]
Larghezza in testa	2.50	[m]
Larghezza alla base	5.00	[m]
Connessione Contrafforte-Paramento	Incastro	

Fondazione

Materiale	C32/40	
Lunghezza mensola di valle	3.00	[m]
Lunghezza mensola di monte	11.60	[m]
Lunghezza totale	16.60	[m]
Inclinazione piano di posa	0.00	[°]
Spessore	2.20	[m]
Spessore magrone	0.00	[m]

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

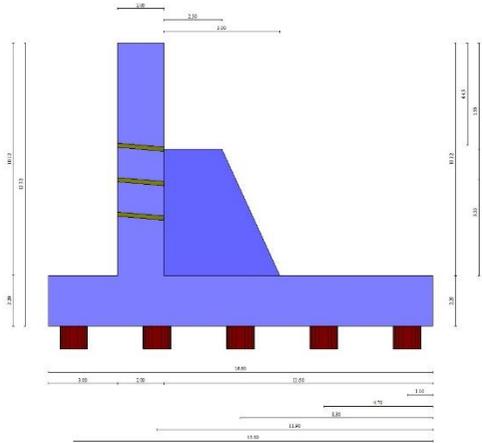


Fig. 1 - Sezione quotata del muro

Descrizione pali di fondazione

Simbologia adottata

- n° numero d'ordine della fila
- X ascissa della fila misurata dallo spigolo di monte della fondazione espressa in [m]
- I interasse tra i pali, espressa in [m]
- f franco laterale (distanza minima dal bordo laterale), espressa in [m]
- Np Numero di pali della fila
- D diametro dei pali della fila espresso in [m]
- L lunghezza dei pali della fila espressa in [m]
- α inclinazione dei pali della fila rispetto alla verticale espressa in [°]
- ALL allineamento dei pali della fila rispetto al baricentro della fondazione (CENTRATI o SFALSATI)

n°	Tipologia	X [m]	I [m]	f [m]	Np	D [m]	L [m]	α [°]	ALL
1	f1200	1.10	3.60	0.50	4	1.2000	36.00	0.00	Sfalsati
2	f1200	4.70	3.60	0.50	4	1.2000	36.00	0.00	Sfalsati
3	f1200	8.30	3.60	0.50	4	1.2000	36.00	0.00	Sfalsati
4	f1200	11.90	3.60	0.50	4	1.2000	36.00	0.00	Sfalsati
5	f1200	15.50	3.60	0.50	4	1.2000	36.00	0.00	Sfalsati

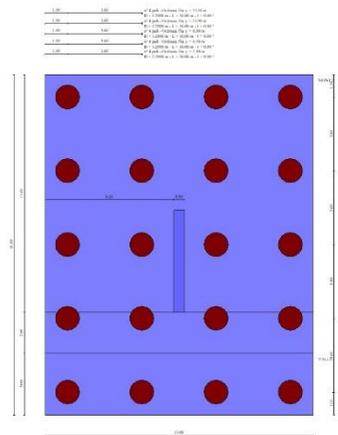


Fig. 2 - Pianta pali

Tiranti di ancoraggio

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della fila
Dest	Destinazione del tirante (Fondazione, Paramento)
S	ordinata della fila misurata dalla testa del muro (se il tirante è posizionato sul paramento), ascissa della fila misurata dal tacco della fondazione (se il tirante è posizionato sulla fondazione) espressa in [m]
I	Interasse tra i tiranti della fila espressa in [m]
F	Franco della fila espressa in [m]
ALL	allineamento dei tiranti della fila (CENTRATI o SFALSATI)
Nt	numero di tiranti della fila
α	inclinazione dei tiranti della fila rispetto all'orizzontale espressa in [°]
T	tiro iniziale espresso in [kN]. Solo per i tiranti attivi
Lt, Lf	Lunghezza totale e di fondazione espressa in [m]. Definiti solo nel caso di Verifica.

n°	Tipologia	Dest	S [m]	I [m]	F [m]	ALL	Nt	α [°]	T [kN]	Lt [m]	Lf [m]
1	Tiranti attivi con trefoli	Paramento	4.45	1.80	2.20	Sfalsati	4	5.00	600.00	38.00	13.00
2	Tiranti attivi con trefoli	Paramento	5.95	1.80	2.20	Sfalsati	4	5.00	600.00	36.00	13.00
3	Tiranti attivi con trefoli	Paramento	7.45	1.80	2.20	Sfalsati	4	5.00	600.00	34.00	13.00

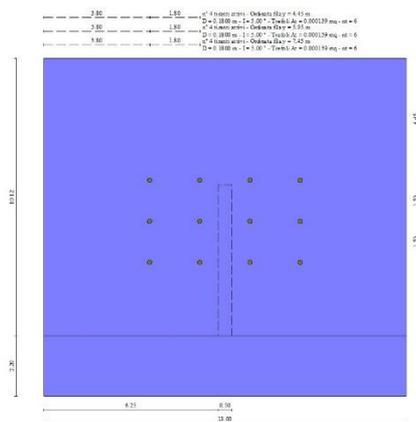


Fig. 3 - Prospetto del paramento con i tiranti

Descrizione terreni

Parametri di resistenza

Simbologia adottata

n°	Indice del terreno
Descr	Descrizione terreno
γ	Peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
γ_{sat}	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/mc]
ϕ	Angolo d'attrito interno espresso in [°]
δ	Angolo d'attrito terra-muro espresso in [°]
c	Coesione espressa in [kPa]
c_s	Adesione terra-muro espressa in [kPa]
Per calcolo portanza con il metodo di Bustamante-Doix	
Cesp	Coeff. di espansione laterale (solo per il metodo di Bustamante-Doix)
τ_l	Tensione tangenziale limite, espressa in [kPa]

n°	Descr	γ [kN/mc]	γ_{sat} [kN/mc]	ϕ [°]	δ [°]	c [kPa]	c_s [kPa]	Cesp	τ_l [kPa]	
1	RILEVATO	19.0000	19.0000	35.000	23.330	15	7	1.800	120	(CAR)
				35.000	23.333	15	7			(MIN)
				35.000	23.333	15	7			(MED)
2	Qm	19.0000	19.0000	30.000	20.000	10	5	1.000	0	(CAR)
				30.000	20.000	10	5			(MIN)
				30.000	20.000	10	5			(MED)
3	Riempimento	19.0000	19.0000	35.000	23.330	15	7	1.000	0	(CAR)
				35.000	23.333	15	7			(MIN)
				35.000	23.333	15	7			(MED)

Stratigrafia

Simbologia adottata

n°	Indice dello strato
H	Spessore dello strato espresso in [m]
α	Inclinazione espressa in [°]
Terreno	Terreno dello strato
Kwn, Kwt	Costante di Winkler normale e tangenziale alla superficie espressa in Kg/cm ² /cm
<u>Per calcolo pali (solo se presenti)</u>	
Kw	Costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm ² /cm
Cesp	Coefficiente di espansione laterale (per tutti i metodi tranne il metodo di Bustamante-Doix)

n°	H [m]	α [°]	Terreno	Kwn [Kg/cm ²]	Kwt [Kg/cm ²]	Kw [Kg/cm ²]	Cesp
1	12.00	0.000	RILEVATO	0.000	0.000	0.000	1.000
2	50.00	0.000	Qm	0.000	0.000	3.000	1.000

Terreno di riempimento: Riempimento
Inclinazione riempimento (rispetto alla verticale): 0.00 [°]

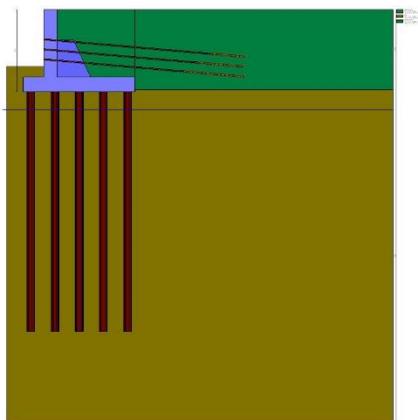


Fig. 4 - Stratigrafia

Condizioni di carico

Simbologia adottata

Carichi verticali positivi verso il basso.	
Carichi orizzontali positivi verso sinistra.	
Momento positivo senso antiorario.	
X	Ascissa del punto di applicazione del carico concentrato espressa in [m]
F _x	Componente orizzontale del carico concentrato espressa in [kN]
F _y	Componente verticale del carico concentrato espressa in [kN]
M	Momento espresso in [kNm]
X _i	Ascissa del punto iniziale del carico ripartito espressa in [m]
X _f	Ascissa del punto finale del carico ripartito espressa in [m]
Q _i	Intensità del carico per x=X _i espressa in [kN]
Q _f	Intensità del carico per x=X _f espressa in [kN]

Condizione n° 1 (Distribuito 20 kPa) - VARIABILE TF

Coeff. di combinazione $\Psi_0=1.00 - \Psi_1=1.00 - \Psi_2=1.00$

Carichi sul terreno

n°	Tipo	X [m]	F _x [kN]	F _y [kN]	M [kNm]	X _i [m]	X _f [m]	Q _i [kN]	Q _f [kN]
1	Distribuito					0.00	50.00	20.0000	20.0000

Condizione n° 2 (Distribuito 9 kPa) - VARIABILE TF

Coeff. di combinazione $\Psi_0=1.00 - \Psi_1=1.00 - \Psi_2=1.00$

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Carichi sul terreno

n°	Tipo	X [m]	Fx [kN]	Fy [kN]	M [kNm]	Xi [m]	Xf [m]	Qi [kN]	Qf [kN]
1	Distribuito					0.00	50.00	9.0000	9.0000

Condizione n° 3 (G1 permanente) - PERMANENTE

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y [m]	Fx [kN]	Fy [kN]	M [kNm]	Xi [m]	Xf [m]	Qi [kN]	Qf [kN]
1	Concentrato	Paramento	-1.30; -2.80	0.0000	221.0000	0.0000				

Condizione n° 4 (G2 Permanente portato) - PERMANENTE NS

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y [m]	Fx [kN]	Fy [kN]	M [kNm]	Xi [m]	Xf [m]	Qi [kN]	Qf [kN]
1	Concentrato	Paramento	-1.30; -2.80	0.0000	48.5000	0.0000				

Condizione n° 5 (Tandem max) - VARIABILE TF

Coeff. di combinazione $\Psi_0=1.00 - \Psi_1=1.00 - \Psi_2=1.00$

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y [m]	Fx [kN]	Fy [kN]	M [kNm]	Xi [m]	Xf [m]	Qi [kN]	Qf [kN]
1	Concentrato	Paramento	-1.30; -2.80	0.0000	100.5000	0.0000				

Condizione n° 6 (Distribuito max) - VARIABILE TF

Coeff. di combinazione $\Psi_0=1.00 - \Psi_1=1.00 - \Psi_2=1.00$

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y [m]	Fx [kN]	Fy [kN]	M [kNm]	Xi [m]	Xf [m]	Qi [kN]	Qf [kN]
1	Concentrato	Paramento	-1.30; -2.80	0.0000	62.0000	0.0000				

Condizione n° 7 (SLV EX+0.3 EY) - VARIABILE

Coeff. di combinazione $\Psi_0=1.00 - \Psi_1=1.00 - \Psi_2=1.00$

Carichi sul muro

n°	Tipo	Dest	X; Y [m]	Fx [kN]	Fy [kN]	M [kNm]	Xi [m]	Xf [m]	Qi [kN]	Qf [kN]
1	Concentrato	Paramento	-1.30; -2.80	86.0000	0.0000	0.0000				

Normativa

Normativa usata: **Norme Tecniche sulle Costruzioni 2008 (D.M. 14.01.2008) + Circolare C.S.LL.PP. 02/02/2009 n. 617**

Coeff. parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

Carichi	Effetto		Combinazioni statiche				Combinazioni sismiche			
			HYD	UPL	EQU	A1	A2	EQU	A1	A2
Permanenti strutturali	Favorevoli	$\gamma_{G1, fav}$	1.00	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti strutturali	Sfavorevoli	$\gamma_{G1, sfav}$	1.00	1.10	1.30	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti non strutturali	Favorevoli	$\gamma_{G2, fav}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Permanenti non strutturali	Sfavorevoli	$\gamma_{G2, sfav}$	1.00	1.50	1.50	1.50	1.30	1.00	1.00	1.00
Variabili	Favorevoli	$\gamma_{Q, fav}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevoli	$\gamma_{Q, sfav}$	1.00	1.50	1.50	1.50	1.30	1.00	1.00	1.00
Variabili da traffico	Favorevoli	$\gamma_{QT, fav}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili da traffico	Sfavorevoli	$\gamma_{QT, sfav}$	1.00	1.50	1.35	1.35	1.15	1.00	1.00	1.00

Coeff. parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro		Combinazioni statiche		Combinazioni sismiche	
		M1	M2	M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan(\phi')}$	1.00	1.25	1.00	1.00
Coesione efficace	γ_c	1.00	1.25	1.00	1.00

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Parametro		Combinazioni statiche		Combinazioni sismiche	
		M1	M2	M1	M2
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.00	1.40	1.00	1.00
Peso nell'unità di volume	γ_r	1.00	1.00	1.00	1.00

Coeff. parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO

Verifica	Combinazioni statiche			Combinazioni sismiche		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Capacità portante	--	--	1.40	--	--	1.20
Scorrimento	--	--	1.10	--	--	1.00
Resistenza terreno a valle	--	--	1.40	--	--	1.20
Ribaltamento	--	--	1.15	--	--	1.00
Stabilità fronte di scavo	--	1.10	--	--	1.20	--

Carichi verticali. Coeff. parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche

Resistenza		Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Punta	γ_b	--	--	1.15	--	--	1.35	--	--	1.30
Laterale compressione	γ_s	--	--	1.15	--	--	1.15	--	--	1.15
Totale compressione	γ_t	--	--	1.15	--	--	1.30	--	--	1.25
Laterale trazione	γ_{st}	--	--	1.25	--	--	1.25	--	--	1.25

Carichi trasversali. Coeff. parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche

		R1	R2	R3
Trasversale	γ_t	--	--	1.30

Coefficienti di riduzione ζ per la determinazione della resistenza caratteristica dei pali

Numero di verticali indagate 1

$\zeta_3=1.70$ $\zeta_4=1.70$

Coeff. parziali γ_R per la resistenza di ancoraggi

		R3
Laterale	γ_{Ra}	1.20

Coefficienti di riduzione ζ per la determinazione della resistenza caratteristica dei tiranti

Numero di verticali indagate 1

$\zeta_3=1.80$ $\zeta_4=1.80$

Dati sismici

	Simbolo	U.M.	SLU	SLE
Accelerazione al suolo	a_g	[m/s ²]	4.783	1.311
Accelerazione al suolo	a_0/g	[%]	0.488	0.134
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico	Ss		A	1.000
Categoria topografica - Coefficiente amplificazione topografica	St		T1	1.000

Stato limite ...	Coeff. di riduzione β_m	kh	kv
Ultimo	1.000	48.756	24.378
Ultimo - Ribaltamento	1.000	48.756	24.378

Forma diagramma incremento sismico **Rettangolare**

Opzioni di calcolo

Spinta

Metodo di calcolo della spinta

Tipo di spinta

Terreno a bassa permeabilità

Superficie di spinta limitata

Culmann

Spinta attiva

NO

NO

Stabilità globale

Metodo di calcolo della stabilità globale

Bishop

Altro

Partecipazione spinta passiva terreno antistante 50.00

Partecipazione resistenza passiva dente di fondazione 50.00

Componente verticale della spinta nel calcolo delle sollecitazioni NO

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Considera terreno sulla fondazione di valle SI
Considera spinta e peso acqua fondazione di valle NO

Spostamenti

Modello a blocchi
Non è stato richiesto il calcolo degli spostamenti
Spostamento limite 0.0500 [m]

Opzioni calcolo pali

Portanza verticale
Metodo di calcolo della portanza alla punta Berezantzev
Metodo di calcolo della portanza alla laterale Integrazione delle tensioni tangenziali ($k_s \sigma_v \tan(\delta) + c_a$)
Correzione angolo di attrito in funzione del tipo di palo (infilso/trivellato) Attiva
Andamento pressione verticale nel calcolo della portanza alla punta σ_v con la profondità Pressione geostatica
Andamento pressione verticale nel calcolo della portanza laterale Pressione geostatica
Portanza trasversale
Costante di Winkler: da strato Criterio rottura palo-terreno
- Spostamento limite Non attivo
- Pressione limite Pressione passiva con moltiplicatore $M=3.00$
- Palo infinitamente elastico Attivo
Cedimenti
Metodo di calcolo Metodo agli elementi finiti
Spostamento limite alla punta 0.0100 [m]
Spostamento limite laterale 0.0050 [m]

Opzioni calcolo tiranti

Superficie di ancoraggio Angolo di rottura
Tensione limite resistenza malta Media valori tc_0 e tc_1

13.1.2 Risultati

Scarichi in testa ai pali

Simbologia adottata

Cmb Indice/Tipo combinazione
Ip Indice palo
N Sforzo normale, espresso in [kN]
T Taglio, espresso in [kN]

Cmb	Ip	N [kN]	T [kN]
1 - STR (A1-M1-R3)	1	3599.82	-29.19
	2	3288.53	-29.19
	3	2977.25	-29.19
	4	2665.96	-29.19
	5	2354.68	-29.19
2 - STR (A1-M1-R3)	1	3406.71	-5.67
	2	3175.04	-5.67
	3	2943.38	-5.67
	4	2711.71	-5.67
	5	2480.05	-5.67
3 - STR (A1-M1-R3)	1	3414.76	-5.67
	2	3162.18	-5.67
	3	2909.59	-5.67
	4	2657.01	-5.67
	5	2404.42	-5.67
4 - STR (A1-M1-R3) H + V	1	1010.82	-1550.61
	2	2214.76	-1550.61
	3	3418.70	-1550.61
	4	4622.63	-1550.61
	5	5794.38	-1550.61
5 - STR (A1-M1-R3) H - V	1	-436.11	-1558.73
	2	912.80	-1558.73
	3	2261.71	-1558.73
	4	3610.62	-1558.73
	5	4958.90	-1558.73
6 - STR (A1-M1-R3)	1	4474.28	-29.19
	2	4089.81	-29.19
	3	3705.34	-29.19
	4	3320.87	-29.19

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Cmb	Ip	N [kN]	T [kN]
	5	2936.40	-29.19
7 - STR (A1-M1-R3)	1	4312.53	-29.19
	2	3871.36	-29.19
	3	3430.19	-29.19
	4	2989.02	-29.19
	5	2547.85	-29.19
8 - STR (A1-M1-R3)	1	3761.57	-29.19
	2	3506.98	-29.19
	3	3252.40	-29.19
	4	2997.81	-29.19
	5	2743.23	-29.19
9 - STR (A1-M1-R3)	1	4281.17	-5.67
	2	3976.32	-5.67
	3	3671.47	-5.67
	4	3366.62	-5.67
	5	3061.77	-5.67
10 - STR (A1-M1-R3)	1	4119.42	-5.67
	2	3757.87	-5.67
	3	3396.32	-5.67
	4	3034.77	-5.67
	5	2673.22	-5.67
11 - STR (A1-M1-R3)	1	3568.46	-5.67
	2	3393.49	-5.67
	3	3218.53	-5.67
	4	3043.56	-5.67
	5	2868.60	-5.67
12 - STR (A1-M1-R3)	1	4289.23	-5.67
	2	3963.46	-5.67
	3	3637.69	-5.67
	4	3311.92	-5.67
	5	2986.15	-5.67
13 - STR (A1-M1-R3)	1	4127.48	-5.67
	2	3745.01	-5.67
	3	3362.54	-5.67
	4	2980.07	-5.67
	5	2597.60	-5.67
14 - STR (A1-M1-R3)	1	3576.51	-5.67
	2	3380.63	-5.67
	3	3184.74	-5.67
	4	2988.86	-5.67
	5	2792.98	-5.67
20 - SLER	1	3549.75	44.54
	2	3191.93	44.54
	3	2834.11	44.54
	4	2476.29	44.54
	5	2118.47	44.54
21 - SLEF	1	3549.75	44.54
	2	3191.93	44.54
	3	2834.11	44.54
	4	2476.29	44.54
	5	2118.47	44.54
22 - SLEQ	1	3549.75	44.54
	2	3191.93	44.54
	3	2834.11	44.54
	4	2476.29	44.54
	5	2118.47	44.54
23 - SLER	1	3404.35	60.80
	2	3106.94	60.80
	3	2809.52	60.80
	4	2512.11	60.80
	5	2214.69	60.80
24 - SLEF	1	3404.35	60.80
	2	3106.94	60.80
	3	2809.52	60.80
	4	2512.11	60.80
	5	2214.69	60.80
25 - SLEQ	1	3404.35	60.80
	2	3106.94	60.80
	3	2809.52	60.80

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Cmb	Ip	N [kN]	T [kN]
	4	2512.11	60.80
	5	2214.69	60.80
26 - SLER	1	3410.32	60.80
	2	3097.41	60.80
	3	2784.50	60.80
	4	2471.59	60.80
	5	2158.68	60.80
27 - SLEF	1	3410.32	60.80
	2	3097.41	60.80
	3	2784.50	60.80
	4	2471.59	60.80
	5	2158.68	60.80
28 - SLEQ	1	3410.32	60.80
	2	3097.41	60.80
	3	2784.50	60.80
	4	2471.59	60.80
	5	2158.68	60.80

Verifica stabilità globale muro + terreno

Simbologia adottata

Ic	Indice/Tipo combinazione
C	Centro superficie di scorrimento, espresso in [m]
R	Raggio, espresso in [m]
FS	Fattore di sicurezza

Ic	C [m]	R [m]	FS
15 - GEO (A2-M2-R2)	-4.00; 4.50	37.72	5.284
16 - GEO (A2-M2-R2)	-4.00; 4.50	37.72	5.598
17 - GEO (A2-M2-R2)	-4.00; 4.50	37.72	5.600
18 - GEO (A2-M2-R2) H + V	-1.50; 4.50	54.17	2.146
19 - GEO (A2-M2-R2) H - V	-4.50; 4.50	37.91	1.552

Tiranti

Simbologia adottata

It	Indice tirante (tra parentesi viene indicata la posizione P: paramento, F: fondazione)
S	Ordinata sul paramento o ascissa sulla fondazione, espressa in [m]
Ic	Indice combinazione
Lf	Lunghezza bulbo fondazione necessaria ad assorbire il tiro in esercizio, espressa in [m]. In grassetto la lunghezza usata nel calcolo della resistenza
Lt	Lunghezza totale (lunghezza del bulbo di fondazione + tratto inefficace), espressa in [m]. In grassetto la lunghezza massima
N	Tiro in esercizio sul tirante, espresso in [kN]. In grassetto il tiro massimo in esercizio

It	S [m]	Ic	Lf [m]	Lt [m]	N [kN]		
1 [P]	4.45	1	5.70	30.70	326.35		
		2	5.70	30.70	326.35		
		3	5.70	30.70	326.35		
		4	5.70	30.70	326.35		
		5	5.70	30.70	326.35		
		6	5.70	30.70	326.35		
		7	5.70	30.70	326.35		
		8	5.70	30.70	326.35		
		9	5.70	30.70	326.35		
		10	5.70	30.70	326.35		
		11	5.70	30.70	326.35		
		12	5.70	30.70	326.35		
		13	5.70	30.70	326.35		
2 [P]	5.95	1	5.70	28.70	326.35		
		2	5.70	28.70	326.35		
		3	5.70	28.70	326.35		
		4	5.70	28.70	326.35		
		5	5.70	28.70	326.35		
					13.00	38.00	600.00

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

It	S [m]	Ic	Lf [m]	Lt [m]	N [kN]
		6	5.70	28.70	326.35
		7	5.70	28.70	326.35
		8	5.70	28.70	326.35
		9	5.70	28.70	326.35
		10	5.70	28.70	326.35
		11	5.70	28.70	326.35
		12	5.70	28.70	326.35
		13	5.70	28.70	326.35
		14	5.70	28.70	326.35
		20	4.80	27.80	326.35
		21	4.80	27.80	326.35
		22	4.80	27.80	326.35
		23	4.80	27.80	326.35
		24	4.80	27.80	326.35
		25	4.80	27.80	326.35
		26	4.80	27.80	326.35
		27	4.80	27.80	326.35
		28	4.80	27.80	326.35
			13.00	36.00	600.00
3 [P]	7.45	1	5.70	26.70	326.35
		2	5.70	26.70	326.35
		3	5.70	26.70	326.35
		4	5.70	26.70	326.35
		5	5.70	26.70	326.35
		6	5.70	26.70	326.35
		7	5.70	26.70	326.35
		8	5.70	26.70	326.35
		9	5.70	26.70	326.35
		10	5.70	26.70	326.35
		11	5.70	26.70	326.35
		12	5.70	26.70	326.35
		13	5.70	26.70	326.35
		14	5.70	26.70	326.35
		20	4.80	25.80	326.35
		21	4.80	25.80	326.35
		22	4.80	25.80	326.35
		23	4.80	25.80	326.35
		24	4.80	25.80	326.35
		25	4.80	25.80	326.35
		26	4.80	25.80	326.35
		27	4.80	25.80	326.35
		28	4.80	25.80	326.35
			13.00	34.00	600.00

Sollecitazioni

Elementi calcolati a trave

Simbologia adottata

- N Sforzo normale, espresso in [kN]. Positivo se di compressione.
- T Taglio, espresso in [kN]. Positivo se diretto da monte verso valle
- M Momento, espresso in [kNm]. Positivo se tende le fibre contro terra (a monte)

Elementi calcolati a piastra

Simbologia adottata

- Mx, My Momenti flettenti, espresso in [kNm]
 - Mxy Momento torcente, espresso in [kNm]. Positivo se diretto da monte verso valle
 - Tx, Ty Tagli, espresso in [kN]. Positivo se tende le fibre contro terra (a monte)
- I momenti flettenti sono positivi se tendono le fibre inferiori (intradosso fondazione, paramento esterno)

Piastra paramento

Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3)

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
178	152.14	83.95	0.00	0.00	0.95	MAX
373	-200.54	-138.95	6.42	-7.41	-26.63	MIN
290	48.44	161.47	2.86	0.00	9.59	MAX
373	-200.54	-138.95	6.42	-7.41	-26.63	MIN
510	11.83	95.33	42.49	0.22	-2.09	MAX
16	11.83	95.33	-42.49	-0.22	-2.09	MIN
208	8.54	-22.48	28.68	319.23	72.06	MAX
156	8.54	-22.48	-28.68	-319.23	72.06	MIN
366	-43.19	91.74	21.36	-4.01	192.06	MAX
164	-108.56	-30.17	-3.82	20.34	-175.98	MIN

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Combinazione n° 2 - STR (A1-M1-R3)

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
181	190.71	111.82	0.00	0.00	167.01	MAX
373	-200.54	-138.95	6.42	-7.41	-26.63	MIN
325	58.92	196.39	4.46	0.00	20.02	MAX
373	-200.54	-138.95	6.42	-7.41	-26.63	MIN
573	17.92	59.74	45.70	0.00	-157.47	MAX
1	17.92	59.74	-45.70	0.00	-157.47	MIN
208	37.50	9.53	20.84	366.34	93.92	MAX
156	37.50	9.53	-20.84	-366.34	93.92	MIN
182	41.07	-33.11	0.00	0.00	200.85	MAX
164	-108.56	-30.17	-3.82	20.34	-175.98	MIN

Combinazione n° 3 - STR (A1-M1-R3)

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
181	190.71	111.82	0.00	0.00	167.01	MAX
373	-200.54	-138.95	6.42	-7.41	-26.63	MIN
325	58.92	196.39	4.46	0.00	20.02	MAX
373	-200.54	-138.95	6.42	-7.41	-26.63	MIN
573	17.92	95.33	45.70	0.22	-2.09	MAX
1	11.83	59.74	-45.70	-0.22	-157.47	MIN
208	37.50	9.53	28.68	366.34	93.92	MAX
156	8.54	-22.48	-28.68	-366.34	72.06	MIN
182	41.07	91.74	21.36	0.00	200.85	MAX
164	-108.56	-30.17	-3.82	20.34	-175.98	MIN

Combinazione n° 4 - STR (A1-M1-R3) H + V

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
181	190.71	111.82	0.00	0.00	167.01	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	0.00	-1332.83	MIN
325	58.92	196.39	4.46	0.00	20.02	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	0.00	-1332.83	MIN
208	-910.97	-1350.34	405.20	-1282.48	-652.39	MAX
156	-910.97	-1350.34	-405.20	1282.48	-652.39	MIN
156	-910.97	-1350.34	-405.20	1282.48	-652.39	MAX
208	-910.97	-1350.34	405.20	-1282.48	-652.39	MIN
129	-624.58	-808.29	-196.50	128.67	232.99	MAX
182	-1112.11	-1899.75	0.00	0.00	-1861.85	MIN

Combinazione n° 5 - STR (A1-M1-R3) H - V

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
181	190.71	111.82	0.00	0.00	167.01	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
325	58.92	196.39	4.46	0.00	20.02	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
208	17.92	95.33	405.20	0.22	-2.09	MAX
156	-910.97	-1350.34	-405.20	-0.22	-652.39	MIN
156	37.50	9.53	28.68	1282.48	93.92	MAX
208	-910.97	-1350.34	-28.68	-1282.48	-652.39	MIN
129	41.07	91.74	21.36	128.67	232.99	MAX
182	-1112.11	-1899.75	-3.82	0.00	-1861.85	MIN

Combinazione n° 6 - STR (A1-M1-R3)

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
181	190.71	111.82	0.00	0.00	167.01	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
325	58.92	196.39	4.46	0.00	20.02	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
208	17.92	95.33	405.20	0.22	-2.09	MAX
156	-910.97	-1350.34	-405.20	-0.22	-652.39	MIN
156	37.50	9.53	28.68	1282.48	93.92	MAX
208	-910.97	-1350.34	-28.68	-1282.48	-652.39	MIN
129	41.07	91.74	21.36	128.67	232.99	MAX
182	-1112.11	-1899.75	-3.82	0.00	-1861.85	MIN

Combinazione n° 7 - STR (A1-M1-R3)

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
181	190.71	111.82	0.00	0.00	167.01	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
325	58.92	196.39	4.46	0.00	20.02	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
208	17.92	95.33	405.20	0.22	-2.09	MAX
156	-910.97	-1350.34	-405.20	-0.22	-652.39	MIN
156	37.50	9.53	28.68	1282.48	93.92	MAX
208	-910.97	-1350.34	-28.68	-1282.48	-652.39	MIN
129	41.07	91.74	21.36	128.67	232.99	MAX
182	-1112.11	-1899.75	-3.82	0.00	-1861.85	MIN

Combinazione n° 8 - STR (A1-M1-R3)

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
181	190.71	111.82	0.00	0.00	167.01	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
325	58.92	196.39	4.46	0.00	20.02	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
208	17.92	95.33	405.20	0.22	-2.09	MAX
156	-910.97	-1350.34	-405.20	-0.22	-652.39	MIN
156	37.50	9.53	28.68	1282.48	93.92	MAX
208	-910.97	-1350.34	-28.68	-1282.48	-652.39	MIN
129	41.07	91.74	21.36	128.67	232.99	MAX
182	-1112.11	-1899.75	-3.82	0.00	-1861.85	MIN

Combinazione n° 9 - STR (A1-M1-R3)

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
181	190.71	111.82	0.00	0.00	167.01	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
325	58.92	196.39	4.46	0.00	20.02	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
208	17.92	95.33	405.20	0.22	-2.09	MAX
156	-910.97	-1350.34	-405.20	-0.22	-652.39	MIN
156	37.50	9.53	28.68	1282.48	93.92	MAX
208	-910.97	-1350.34	-28.68	-1282.48	-652.39	MIN
129	41.07	91.74	21.36	128.67	232.99	MAX
182	-1112.11	-1899.75	-3.82	0.00	-1861.85	MIN

Combinazione n° 10 - STR (A1-M1-R3)

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
181	190.71	111.82	0.00	0.00	167.01	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
325	58.92	196.39	4.46	0.00	20.02	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
208	17.92	95.33	405.20	0.22	-2.09	MAX
156	-910.97	-1350.34	-405.20	-0.22	-652.39	MIN
156	37.50	9.53	28.68	1282.48	93.92	MAX
208	-910.97	-1350.34	-28.68	-1282.48	-652.39	MIN
129	41.07	91.74	21.36	128.67	232.99	MAX
182	-1112.11	-1899.75	-3.82	0.00	-1861.85	MIN

Combinazione n° 11 - STR (A1-M1-R3)

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
181	190.71	111.82	0.00	0.00	167.01	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
325	58.92	196.39	4.46	0.00	20.02	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
208	17.92	95.33	405.20	0.22	-2.09	MAX
156	-910.97	-1350.34	-405.20	-0.22	-652.39	MIN
156	37.50	9.53	28.68	1282.48	93.92	MAX
208	-910.97	-1350.34	-28.68	-1282.48	-652.39	MIN
129	41.07	91.74	21.36	128.67	232.99	MAX
182	-1112.11	-1899.75	-3.82	0.00	-1861.85	MIN

Combinazione n° 12 - STR (A1-M1-R3)

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
181	190.71	111.82	0.00	0.00	167.01	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
325	58.92	196.39	4.46	0.00	20.02	MAX

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
208	17.92	95.33	405.20	0.22	-2.09	MAX
156	-910.97	-1350.34	-405.20	-0.22	-652.39	MIN
156	37.50	9.53	28.68	1282.48	93.92	MAX
208	-910.97	-1350.34	-28.68	-1282.48	-652.39	MIN
129	41.07	91.74	21.36	128.67	232.99	MAX
182	-1112.11	-1899.75	-3.82	0.00	-1861.85	MIN

Combinazione n° 13 - STR (A1-M1-R3)

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
181	190.71	111.82	0.00	0.00	167.01	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
325	58.92	196.39	4.46	0.00	20.02	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
208	17.92	95.33	405.20	0.22	-2.09	MAX
156	-910.97	-1350.34	-405.20	-0.22	-652.39	MIN
156	37.50	9.53	28.68	1282.48	93.92	MAX
208	-910.97	-1350.34	-28.68	-1282.48	-652.39	MIN
129	41.07	91.74	21.36	128.67	232.99	MAX
182	-1112.11	-1899.75	-3.82	0.00	-1861.85	MIN

Combinazione n° 14 - STR (A1-M1-R3)

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
181	190.71	111.82	0.00	0.00	167.01	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
325	58.92	196.39	4.46	0.00	20.02	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
208	17.92	95.33	405.20	0.22	-2.09	MAX
156	-910.97	-1350.34	-405.20	-0.22	-652.39	MIN
156	37.50	9.53	28.68	1282.48	93.92	MAX
208	-910.97	-1350.34	-28.68	-1282.48	-652.39	MIN
129	41.07	91.74	21.36	128.67	232.99	MAX
182	-1112.11	-1899.75	-3.82	0.00	-1861.85	MIN

Combinazione n° 20 - SLER

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
181	244.77	153.85	0.00	0.00	199.63	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
325	73.37	244.57	-0.53	0.00	40.59	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
208	17.92	95.33	405.20	0.22	-2.09	MAX
156	-910.97	-1350.34	-405.20	-0.22	-652.39	MIN
156	37.50	9.53	28.68	1282.48	93.92	MAX
208	-910.97	-1350.34	-28.68	-1282.48	-652.39	MIN
182	72.74	-10.20	0.00	0.00	244.61	MAX
182	-1112.11	-1899.75	-3.82	0.00	-1861.85	MIN

Combinazione n° 21 - SLEF

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
181	244.77	153.85	0.00	0.00	199.63	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
325	73.37	244.57	4.46	0.00	40.59	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
208	17.92	95.33	405.20	0.22	-2.09	MAX
156	-910.97	-1350.34	-405.20	-0.22	-652.39	MIN
156	37.50	9.53	28.68	1282.48	93.92	MAX
208	-910.97	-1350.34	-28.68	-1282.48	-652.39	MIN
182	72.74	91.74	21.36	128.67	244.61	MAX
182	-1112.11	-1899.75	-3.82	0.00	-1861.85	MIN

Combinazione n° 22 - SLEQ

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
181	244.77	153.85	0.00	0.00	199.63	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
325	73.37	244.57	4.46	0.00	40.59	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
208	17.92	95.33	405.20	0.22	-2.09	MAX
156	-910.97	-1350.34	-405.20	-0.22	-652.39	MIN

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
156	37.50	9.53	28.68	1282.48	93.92	MAX
208	-910.97	-1350.34	-28.68	-1282.48	-652.39	MIN
182	72.74	91.74	21.36	128.67	244.61	MAX
182	-1112.11	-1899.75	-3.82	0.00	-1861.85	MIN

Combinazione n° 23 - SLER

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
181	279.77	186.05	0.00	0.00	223.33	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
362	81.07	270.23	2.72	0.00	50.97	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
208	17.92	95.33	405.20	0.22	-2.09	MAX
156	-910.97	-1350.34	-405.20	-0.22	-652.39	MIN
156	37.50	9.53	28.68	1282.48	93.92	MAX
208	-910.97	-1350.34	-28.68	-1282.48	-652.39	MIN
182	92.66	91.74	21.36	128.67	276.72	MAX
182	-1112.11	-1899.75	-3.82	0.00	-1861.85	MIN

Combinazione n° 24 - SLEF

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
181	279.77	186.05	0.00	0.00	223.33	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
362	81.07	270.23	4.46	0.00	50.97	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
208	17.92	95.33	405.20	0.22	-2.09	MAX
156	-910.97	-1350.34	-405.20	-0.22	-652.39	MIN
156	37.50	9.53	28.68	1282.48	93.92	MAX
208	-910.97	-1350.34	-28.68	-1282.48	-652.39	MIN
182	92.66	91.74	21.36	128.67	276.72	MAX
182	-1112.11	-1899.75	-3.82	0.00	-1861.85	MIN

Combinazione n° 25 - SLEO

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
181	279.77	186.05	0.00	0.00	223.33	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
362	81.07	270.23	4.46	0.00	50.97	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
208	17.92	95.33	405.20	0.22	-2.09	MAX
156	-910.97	-1350.34	-405.20	-0.22	-652.39	MIN
156	37.50	9.53	28.68	1282.48	93.92	MAX
208	-910.97	-1350.34	-28.68	-1282.48	-652.39	MIN
182	92.66	91.74	21.36	128.67	276.72	MAX
182	-1112.11	-1899.75	-3.82	0.00	-1861.85	MIN

Combinazione n° 26 - SLER

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
181	279.77	186.05	0.00	0.00	223.33	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
362	81.07	270.23	4.46	0.00	50.97	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
208	17.92	95.33	405.20	0.22	-2.09	MAX
156	-910.97	-1350.34	-405.20	-0.22	-652.39	MIN
156	37.50	9.53	28.68	1282.48	93.92	MAX
208	-910.97	-1350.34	-28.68	-1282.48	-652.39	MIN
182	92.66	91.74	21.36	128.67	276.72	MAX
182	-1112.11	-1899.75	-3.82	0.00	-1861.85	MIN

Combinazione n° 27 - SLEF

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
181	279.77	186.05	0.00	0.00	223.33	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
362	81.07	270.23	4.46	0.00	50.97	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
208	17.92	95.33	405.20	0.22	-2.09	MAX
156	-910.97	-1350.34	-405.20	-0.22	-652.39	MIN
156	37.50	9.53	28.68	1282.48	93.92	MAX
208	-910.97	-1350.34	-28.68	-1282.48	-652.39	MIN
182	92.66	91.74	21.36	128.67	276.72	MAX

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
182	-1112.11	-1899.75	-3.82	0.00	-1861.85	MIN

Combinazione n° 28 - SLEO

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
181	279.77	186.05	0.00	0.00	223.33	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
362	81.07	270.23	4.46	0.00	50.97	MAX
181	-1797.55	-2258.16	0.00	-7.41	-1332.83	MIN
208	17.92	95.33	405.20	0.22	-2.09	MAX
156	-910.97	-1350.34	-405.20	-0.22	-652.39	MIN
156	37.50	9.53	28.68	1282.48	93.92	MAX
208	-910.97	-1350.34	-28.68	-1282.48	-652.39	MIN
182	92.66	91.74	21.36	128.67	276.72	MAX
182	-1112.11	-1899.75	-3.82	0.00	-1861.85	MIN

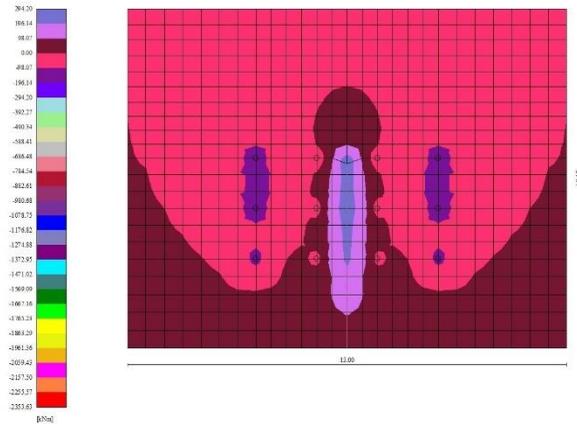


Figura 13-1 Piastra paramento - Momenti MxMAX (Combinazione n° 23)

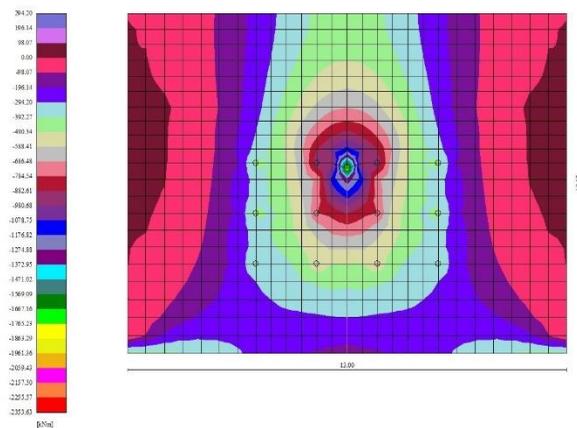


Figura 13-2 Piastra paramento - Momenti MxMIN (Combinazione n° 4)

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

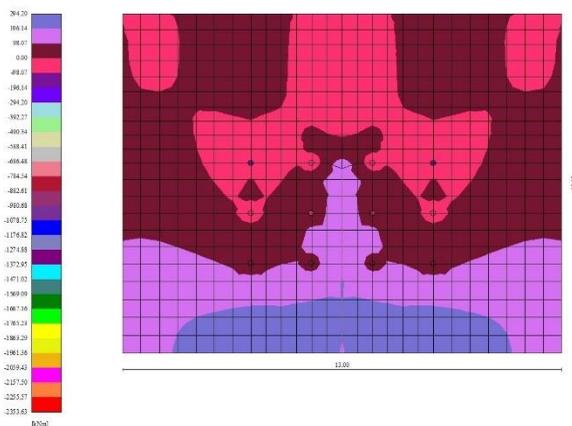


Figura 13-3 Piastra paramento - Momenti MyMAX (Combinazione n° 23)

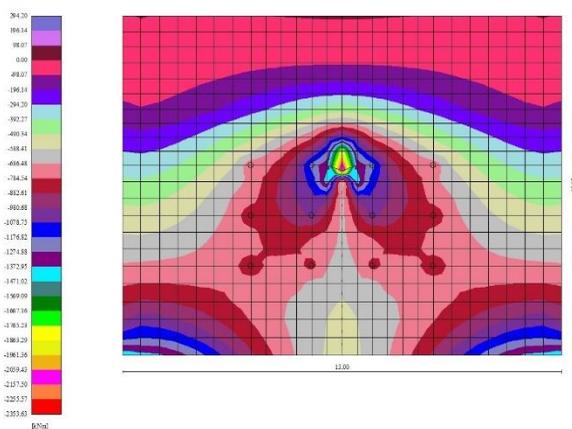


Figura 13-4 Piastra paramento - Momenti MyMIN (Combinazione n° 4)

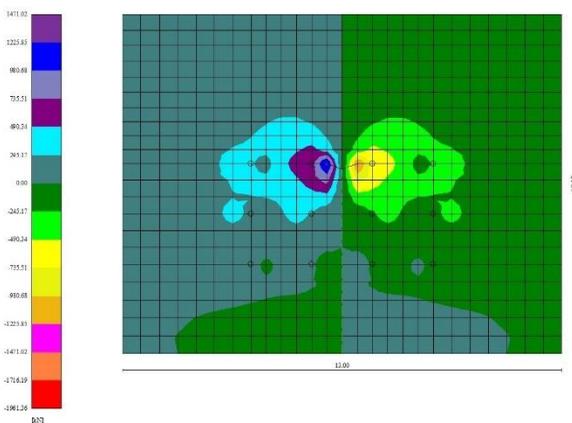


Figura 13-5 Piastra paramento - Taglio Tx (Combinazione n° 4)

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

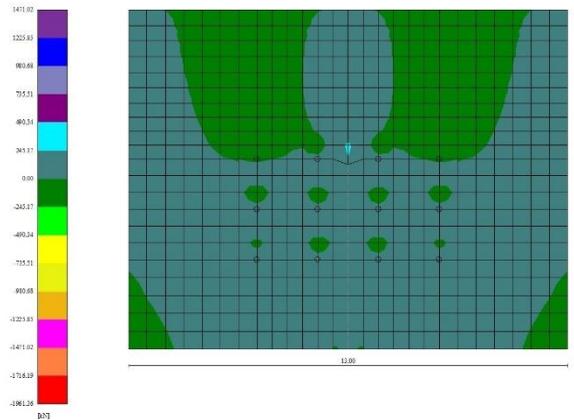


Figura 13-6 Piastra paramento - Taglio TyMAX (Combinazione n° 23)

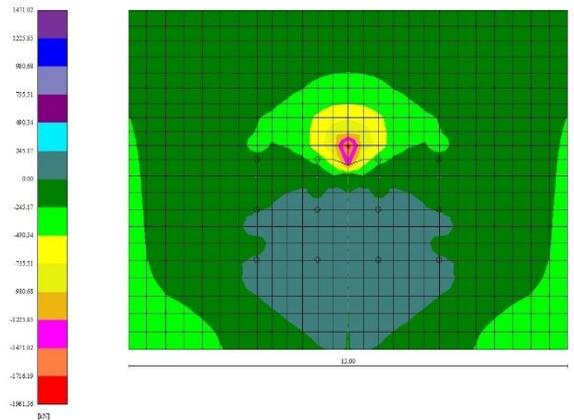


Figura 13-7 Piastra paramento - Taglio TyMIN (Combinazione n° 4)

Contrafforte

Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3)

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	-4.62	0.00	-286.21	9.90
2	-4.95	0.80	-286.21	-84.55
3	-4.95	0.80	-492.45	-63.81
4	-5.45	2.10	-492.45	-310.04
5	-5.45	2.10	-717.09	-289.18
6	-5.95	3.51	-717.09	-647.72
7	-5.95	3.51	-933.08	-630.93
8	-6.45	5.03	-933.08	-1097.47
9	-6.45	5.03	-1136.40	-1086.75
10	-6.95	6.66	-1136.40	-1654.96
11	-6.95	6.66	-1322.80	-1651.49
12	-7.45	8.39	-1322.80	-2312.89
13	-7.45	8.39	-1487.49	-2318.59
14	-7.98	10.36	-1487.49	-3112.92
15	-7.98	10.36	-1602.75	-3128.92
16	-8.52	12.45	-1602.75	-3984.78
17	-8.52	12.45	-1652.27	-4002.21
18	-9.05	14.66	-1652.27	-4884.52
19	-9.05	14.66	-1655.76	-4895.78
20	-9.59	16.99	-1655.76	-5779.95
21	-9.59	16.99	-1642.38	-5785.61

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
22	-10.12	19.45	-1642.38	-6662.64

Combinazione n° 2 - STR (A1-M1-R3)

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	-4.62	0.00	-359.88	-27.42
2	-4.95	0.80	-359.88	-146.18
3	-4.95	0.80	-601.00	-137.39
4	-5.45	2.10	-601.00	-437.90
5	-5.45	2.10	-851.11	-426.07
6	-5.95	3.51	-851.11	-851.63
7	-5.95	3.51	-1085.75	-840.97
8	-6.45	5.03	-1085.75	-1383.84
9	-6.45	5.03	-1304.07	-1377.91
10	-6.95	6.66	-1304.07	-2029.95
11	-6.95	6.66	-1502.95	-2030.65
12	-7.45	8.39	-1502.95	-2782.13
13	-7.45	8.39	-1678.28	-2791.83
14	-7.98	10.36	-1678.28	-3688.03
15	-7.98	10.36	-1802.16	-3707.96
16	-8.52	12.45	-1802.16	-4670.31
17	-8.52	12.45	-1857.90	-4691.38
18	-9.05	14.66	-1857.90	-5683.50
19	-9.05	14.66	-1865.28	-5697.91
20	-9.59	16.99	-1865.28	-6693.97
21	-9.59	16.99	-1853.75	-6702.07
22	-10.12	19.45	-1853.75	-7691.98

Combinazione n° 3 - STR (A1-M1-R3)

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	-4.62	0.00	-359.88	-27.42
2	-4.95	0.80	-359.88	-146.18
3	-4.95	0.80	-601.00	-137.39
4	-5.45	2.10	-601.00	-437.90
5	-5.45	2.10	-851.11	-426.07
6	-5.95	3.51	-851.11	-851.63
7	-5.95	3.51	-1085.75	-840.97
8	-6.45	5.03	-1085.75	-1383.84
9	-6.45	5.03	-1304.07	-1377.91
10	-6.95	6.66	-1304.07	-2029.95
11	-6.95	6.66	-1502.95	-2030.65
12	-7.45	8.39	-1502.95	-2782.13
13	-7.45	8.39	-1678.28	-2791.83
14	-7.98	10.36	-1678.28	-3688.03
15	-7.98	10.36	-1802.16	-3707.96
16	-8.52	12.45	-1802.16	-4670.31
17	-8.52	12.45	-1857.90	-4691.38
18	-9.05	14.66	-1857.90	-5683.50
19	-9.05	14.66	-1865.28	-5697.91
20	-9.59	16.99	-1865.28	-6693.97
21	-9.59	16.99	-1853.75	-6702.07
22	-10.12	19.45	-1853.75	-7691.98

Combinazione n° 4 - STR (A1-M1-R3) H + V

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	-4.62	0.00	2228.47	1594.26
2	-4.95	0.80	2228.47	2329.66
3	-4.95	0.80	3098.76	2879.30
4	-5.45	2.10	3098.76	4428.68
5	-5.45	2.10	3549.90	4847.97
6	-5.95	3.51	3549.90	6622.93
7	-5.95	3.51	3752.31	6905.24
8	-6.45	5.03	3752.31	8781.40
9	-6.45	5.03	3837.96	8988.06
10	-6.95	6.66	3837.96	10907.04
11	-6.95	6.66	3861.34	11066.84
12	-7.45	8.39	3861.34	12997.50
13	-7.45	8.39	3853.08	13127.40
14	-7.98	10.36	3853.08	15184.94
15	-7.98	10.36	3845.98	15289.12
16	-8.52	12.45	3845.98	17342.88
17	-8.52	12.45	3858.10	17427.21
18	-9.05	14.66	3858.10	19487.44
19	-9.05	14.66	3878.77	19557.49
20	-9.59	16.99	3878.77	21628.76

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
21	-9.59	16.99	3894.61	21681.50
22	-10.12	19.45	3894.61	23761.23

Combinazione n° 5 - STR (A1-M1-R3) H - V

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	-4.62	0.00	2218.96	1588.45
2	-4.95	0.80	2218.96	2320.71
3	-4.95	0.80	3085.08	2868.43
4	-5.45	2.10	3085.08	4410.97
5	-5.45	2.10	3533.49	4828.82
6	-5.95	3.51	3533.49	6595.56
7	-5.95	3.51	3734.09	6876.92
8	-6.45	5.03	3734.09	8743.97
9	-6.45	5.03	3818.41	8949.92
10	-6.95	6.66	3818.41	10859.13
11	-6.95	6.66	3840.75	11018.35
12	-7.45	8.39	3840.75	12938.72
13	-7.45	8.39	3831.66	13068.11
14	-7.98	10.36	3831.66	15114.22
15	-7.98	10.36	3823.93	15217.93
16	-8.52	12.45	3823.93	17259.91
17	-8.52	12.45	3835.63	17343.84
18	-9.05	14.66	3835.63	19392.06
19	-9.05	14.66	3856.05	19461.78
20	-9.59	16.99	3856.05	21520.91
21	-9.59	16.99	3871.80	21573.41
22	-10.12	19.45	3871.80	23640.95

Combinazione n° 6 - STR (A1-M1-R3)

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	-4.62	0.00	-286.21	9.90
2	-4.95	1.04	-286.21	-84.55
3	-4.95	1.04	-492.45	-63.81
4	-5.45	2.74	-492.45	-310.04
5	-5.45	2.74	-717.09	-289.18
6	-5.95	4.57	-717.09	-647.72
7	-5.95	4.57	-933.08	-630.93
8	-6.45	6.54	-933.08	-1097.47
9	-6.45	6.54	-1136.40	-1086.75
10	-6.95	8.65	-1136.40	-1654.96
11	-6.95	8.65	-1322.80	-1651.49
12	-7.45	10.90	-1322.80	-2312.89
13	-7.45	10.90	-1487.49	-2318.59
14	-7.98	13.46	-1487.49	-3112.92
15	-7.98	13.46	-1602.75	-3128.92
16	-8.52	16.18	-1602.75	-3984.78
17	-8.52	16.18	-1652.27	-4002.21
18	-9.05	19.05	-1652.27	-4884.52
19	-9.05	19.05	-1655.76	-4895.78
20	-9.59	22.09	-1655.76	-5779.95
21	-9.59	22.09	-1642.38	-5785.61
22	-10.12	25.28	-1642.38	-6662.64

Combinazione n° 7 - STR (A1-M1-R3)

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	-4.62	0.00	-286.21	9.90
2	-4.95	0.80	-286.21	-84.55
3	-4.95	0.80	-492.45	-63.81
4	-5.45	2.10	-492.45	-310.04
5	-5.45	2.10	-717.09	-289.18
6	-5.95	3.51	-717.09	-647.72
7	-5.95	3.51	-933.08	-630.93
8	-6.45	5.03	-933.08	-1097.47
9	-6.45	5.03	-1136.40	-1086.75
10	-6.95	6.66	-1136.40	-1654.96
11	-6.95	6.66	-1322.80	-1651.49
12	-7.45	8.39	-1322.80	-2312.89
13	-7.45	8.39	-1487.49	-2318.59
14	-7.98	10.36	-1487.49	-3112.92
15	-7.98	10.36	-1602.75	-3128.92
16	-8.52	12.45	-1602.75	-3984.78
17	-8.52	12.45	-1652.27	-4002.21
18	-9.05	14.66	-1652.27	-4884.52
19	-9.05	14.66	-1655.76	-4895.78

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
20	-9.59	16.99	-1655.76	-5779.95
21	-9.59	16.99	-1642.38	-5785.61
22	-10.12	19.45	-1642.38	-6662.64

Combinazione n° 8 - STR (A1-M1-R3)

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	-4.62	0.00	-286.21	9.90
2	-4.95	1.04	-286.21	-84.55
3	-4.95	1.04	-492.45	-63.81
4	-5.45	2.74	-492.45	-310.04
5	-5.45	2.74	-717.09	-289.18
6	-5.95	4.57	-717.09	-647.72
7	-5.95	4.57	-933.08	-630.93
8	-6.45	6.54	-933.08	-1097.47
9	-6.45	6.54	-1136.40	-1086.75
10	-6.95	8.65	-1136.40	-1654.96
11	-6.95	8.65	-1322.80	-1651.49
12	-7.45	10.90	-1322.80	-2312.89
13	-7.45	10.90	-1487.49	-2318.59
14	-7.98	13.46	-1487.49	-3112.92
15	-7.98	13.46	-1602.75	-3128.92
16	-8.52	16.18	-1602.75	-3984.78
17	-8.52	16.18	-1652.27	-4002.21
18	-9.05	19.05	-1652.27	-4884.52
19	-9.05	19.05	-1655.76	-4895.78
20	-9.59	22.09	-1655.76	-5779.95
21	-9.59	22.09	-1642.38	-5785.61
22	-10.12	25.28	-1642.38	-6662.64

Combinazione n° 9 - STR (A1-M1-R3)

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	-4.62	0.00	-359.88	-27.42
2	-4.95	1.04	-359.88	-146.18
3	-4.95	1.04	-601.00	-137.39
4	-5.45	2.74	-601.00	-437.90
5	-5.45	2.74	-851.11	-426.07
6	-5.95	4.57	-851.11	-851.63
7	-5.95	4.57	-1085.75	-840.97
8	-6.45	6.54	-1085.75	-1383.84
9	-6.45	6.54	-1304.07	-1377.91
10	-6.95	8.65	-1304.07	-2029.95
11	-6.95	8.65	-1502.95	-2030.65
12	-7.45	10.90	-1502.95	-2782.13
13	-7.45	10.90	-1678.28	-2791.83
14	-7.98	13.46	-1678.28	-3688.03
15	-7.98	13.46	-1802.16	-3707.96
16	-8.52	16.18	-1802.16	-4670.31
17	-8.52	16.18	-1857.90	-4691.38
18	-9.05	19.05	-1857.90	-5683.50
19	-9.05	19.05	-1865.28	-5697.91
20	-9.59	22.09	-1865.28	-6693.97
21	-9.59	22.09	-1853.75	-6702.07
22	-10.12	25.28	-1853.75	-7691.98

Combinazione n° 10 - STR (A1-M1-R3)

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	-4.62	0.00	-359.88	-27.42
2	-4.95	0.80	-359.88	-146.18
3	-4.95	0.80	-601.00	-137.39
4	-5.45	2.10	-601.00	-437.90
5	-5.45	2.10	-851.11	-426.07
6	-5.95	3.51	-851.11	-851.63
7	-5.95	3.51	-1085.75	-840.97
8	-6.45	5.03	-1085.75	-1383.84
9	-6.45	5.03	-1304.07	-1377.91
10	-6.95	6.66	-1304.07	-2029.95
11	-6.95	6.66	-1502.95	-2030.65
12	-7.45	8.39	-1502.95	-2782.13
13	-7.45	8.39	-1678.28	-2791.83
14	-7.98	10.36	-1678.28	-3688.03
15	-7.98	10.36	-1802.16	-3707.96
16	-8.52	12.45	-1802.16	-4670.31
17	-8.52	12.45	-1857.90	-4691.38
18	-9.05	14.66	-1857.90	-5683.50

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
19	-9.05	14.66	-1865.28	-5697.91
20	-9.59	16.99	-1865.28	-6693.97
21	-9.59	16.99	-1853.75	-6702.07
22	-10.12	19.45	-1853.75	-7691.98

Combinazione n° 11 - STR (A1-M1-R3)

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	-4.62	0.00	-359.88	-27.42
2	-4.95	1.04	-359.88	-146.18
3	-4.95	1.04	-601.00	-137.39
4	-5.45	2.74	-601.00	-437.90
5	-5.45	2.74	-851.11	-426.07
6	-5.95	4.57	-851.11	-851.63
7	-5.95	4.57	-1085.75	-840.97
8	-6.45	6.54	-1085.75	-1383.84
9	-6.45	6.54	-1304.07	-1377.91
10	-6.95	8.65	-1304.07	-2029.95
11	-6.95	8.65	-1502.95	-2030.65
12	-7.45	10.90	-1502.95	-2782.13
13	-7.45	10.90	-1678.28	-2791.83
14	-7.98	13.46	-1678.28	-3688.03
15	-7.98	13.46	-1802.16	-3707.96
16	-8.52	16.18	-1802.16	-4670.31
17	-8.52	16.18	-1857.90	-4691.38
18	-9.05	19.05	-1857.90	-5683.50
19	-9.05	19.05	-1865.28	-5697.91
20	-9.59	22.09	-1865.28	-6693.97
21	-9.59	22.09	-1853.75	-6702.07
22	-10.12	25.28	-1853.75	-7691.98

Combinazione n° 12 - STR (A1-M1-R3)

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	-4.62	0.00	-359.88	-27.42
2	-4.95	1.04	-359.88	-146.18
3	-4.95	1.04	-601.00	-137.39
4	-5.45	2.74	-601.00	-437.90
5	-5.45	2.74	-851.11	-426.07
6	-5.95	4.57	-851.11	-851.63
7	-5.95	4.57	-1085.75	-840.97
8	-6.45	6.54	-1085.75	-1383.84
9	-6.45	6.54	-1304.07	-1377.91
10	-6.95	8.65	-1304.07	-2029.95
11	-6.95	8.65	-1502.95	-2030.65
12	-7.45	10.90	-1502.95	-2782.13
13	-7.45	10.90	-1678.28	-2791.83
14	-7.98	13.46	-1678.28	-3688.03
15	-7.98	13.46	-1802.16	-3707.96
16	-8.52	16.18	-1802.16	-4670.31
17	-8.52	16.18	-1857.90	-4691.38
18	-9.05	19.05	-1857.90	-5683.50
19	-9.05	19.05	-1865.28	-5697.91
20	-9.59	22.09	-1865.28	-6693.97
21	-9.59	22.09	-1853.75	-6702.07
22	-10.12	25.28	-1853.75	-7691.98

Combinazione n° 13 - STR (A1-M1-R3)

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	-4.62	0.00	-359.88	-27.42
2	-4.95	0.80	-359.88	-146.18
3	-4.95	0.80	-601.00	-137.39
4	-5.45	2.10	-601.00	-437.90
5	-5.45	2.10	-851.11	-426.07
6	-5.95	3.51	-851.11	-851.63
7	-5.95	3.51	-1085.75	-840.97
8	-6.45	5.03	-1085.75	-1383.84
9	-6.45	5.03	-1304.07	-1377.91
10	-6.95	6.66	-1304.07	-2029.95
11	-6.95	6.66	-1502.95	-2030.65
12	-7.45	8.39	-1502.95	-2782.13
13	-7.45	8.39	-1678.28	-2791.83
14	-7.98	10.36	-1678.28	-3688.03
15	-7.98	10.36	-1802.16	-3707.96
16	-8.52	12.45	-1802.16	-4670.31
17	-8.52	12.45	-1857.90	-4691.38

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
18	-9.05	14.66	-1857.90	-5683.50
19	-9.05	14.66	-1865.28	-5697.91
20	-9.59	16.99	-1865.28	-6693.97
21	-9.59	16.99	-1853.75	-6702.07
22	-10.12	19.45	-1853.75	-7691.98

Combinazione n° 14 - STR (A1-M1-R3)

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	-4.62	0.00	-359.88	-27.42
2	-4.95	1.04	-359.88	-146.18
3	-4.95	1.04	-601.00	-137.39
4	-5.45	2.74	-601.00	-437.90
5	-5.45	2.74	-851.11	-426.07
6	-5.95	4.57	-851.11	-851.63
7	-5.95	4.57	-1085.75	-840.97
8	-6.45	6.54	-1085.75	-1383.84
9	-6.45	6.54	-1304.07	-1377.91
10	-6.95	8.65	-1304.07	-2029.95
11	-6.95	8.65	-1502.95	-2030.65
12	-7.45	10.90	-1502.95	-2782.13
13	-7.45	10.90	-1678.28	-2791.83
14	-7.98	13.46	-1678.28	-3688.03
15	-7.98	13.46	-1802.16	-3707.96
16	-8.52	16.18	-1802.16	-4670.31
17	-8.52	16.18	-1857.90	-4691.38
18	-9.05	19.05	-1857.90	-5683.50
19	-9.05	19.05	-1865.28	-5697.91
20	-9.59	22.09	-1865.28	-6693.97
21	-9.59	22.09	-1853.75	-6702.07
22	-10.12	25.28	-1853.75	-7691.98

Combinazione n° 20 - SLER

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	-4.62	0.00	-420.42	-49.10
2	-4.95	0.80	-420.42	-187.84
3	-4.95	0.80	-694.37	-184.93
4	-5.45	2.10	-694.37	-532.11
5	-5.45	2.10	-973.19	-524.35
6	-5.95	3.51	-973.19	-1010.94
7	-5.95	3.51	-1232.89	-1002.88
8	-6.45	5.03	-1232.89	-1619.33
9	-6.45	5.03	-1474.66	-1615.62
10	-6.95	6.66	-1474.66	-2352.95
11	-6.95	6.66	-1695.79	-2356.07
12	-7.45	8.39	-1695.79	-3203.96
13	-7.45	8.39	-1892.59	-3216.63
14	-7.98	10.36	-1892.59	-4227.27
15	-7.98	10.36	-2036.36	-4250.82
16	-8.52	12.45	-2036.36	-5338.24
17	-8.52	12.45	-2108.83	-5363.35
18	-9.05	14.66	-2108.83	-6489.46
19	-9.05	14.66	-2128.87	-6507.94
20	-9.59	16.99	-2128.87	-7644.75
21	-9.59	16.99	-2124.92	-7656.46
22	-10.12	19.45	-2124.92	-8791.17

Combinazione n° 21 - SLEF

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	-4.62	0.00	-420.42	-49.10
2	-4.95	0.80	-420.42	-187.84
3	-4.95	0.80	-694.37	-184.93
4	-5.45	2.10	-694.37	-532.11
5	-5.45	2.10	-973.19	-524.35
6	-5.95	3.51	-973.19	-1010.94
7	-5.95	3.51	-1232.89	-1002.88
8	-6.45	5.03	-1232.89	-1619.33
9	-6.45	5.03	-1474.66	-1615.62
10	-6.95	6.66	-1474.66	-2352.95
11	-6.95	6.66	-1695.79	-2356.07
12	-7.45	8.39	-1695.79	-3203.96
13	-7.45	8.39	-1892.59	-3216.63
14	-7.98	10.36	-1892.59	-4227.27
15	-7.98	10.36	-2036.36	-4250.82
16	-8.52	12.45	-2036.36	-5338.24

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
17	-8.52	12.45	-2108.83	-5363.35
18	-9.05	14.66	-2108.83	-6489.46
19	-9.05	14.66	-2128.87	-6507.94
20	-9.59	16.99	-2128.87	-7644.75
21	-9.59	16.99	-2124.92	-7656.46
22	-10.12	19.45	-2124.92	-8791.17

Combinazione n° 22 - SLEQ

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	-4.62	0.00	-420.42	-49.10
2	-4.95	0.80	-420.42	-187.84
3	-4.95	0.80	-694.37	-184.93
4	-5.45	2.10	-694.37	-532.11
5	-5.45	2.10	-973.19	-524.35
6	-5.95	3.51	-973.19	-1010.94
7	-5.95	3.51	-1232.89	-1002.88
8	-6.45	5.03	-1232.89	-1619.33
9	-6.45	5.03	-1474.66	-1615.62
10	-6.95	6.66	-1474.66	-2352.95
11	-6.95	6.66	-1695.79	-2356.07
12	-7.45	8.39	-1695.79	-3203.96
13	-7.45	8.39	-1892.59	-3216.63
14	-7.98	10.36	-1892.59	-4227.27
15	-7.98	10.36	-2036.36	-4250.82
16	-8.52	12.45	-2036.36	-5338.24
17	-8.52	12.45	-2108.83	-5363.35
18	-9.05	14.66	-2108.83	-6489.46
19	-9.05	14.66	-2128.87	-6507.94
20	-9.59	16.99	-2128.87	-7644.75
21	-9.59	16.99	-2124.92	-7656.46
22	-10.12	19.45	-2124.92	-8791.17

Combinazione n° 23 - SLER

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	-4.62	0.00	-463.10	-68.23
2	-4.95	0.80	-463.10	-221.06
3	-4.95	0.80	-758.18	-224.11
4	-5.45	2.10	-758.18	-603.20
5	-5.45	2.10	-1053.34	-599.94
6	-5.95	3.51	-1053.34	-1126.61
7	-5.95	3.51	-1325.61	-1121.66
8	-6.45	5.03	-1325.61	-1784.46
9	-6.45	5.03	-1577.88	-1783.26
10	-6.95	6.66	-1577.88	-2572.21
11	-6.95	6.66	-1807.99	-2577.62
12	-7.45	8.39	-1807.99	-3481.62
13	-7.45	8.39	-2012.62	-3496.62
14	-7.98	10.36	-2012.62	-4571.36
15	-7.98	10.36	-2162.89	-4597.30
16	-8.52	12.45	-2162.89	-5752.28
17	-8.52	12.45	-2240.17	-5779.68
18	-9.05	14.66	-2240.17	-6975.93
19	-9.05	14.66	-2263.32	-6996.45
20	-9.59	16.99	-2263.32	-8205.06
21	-9.59	16.99	-2260.92	-8218.39
22	-10.12	19.45	-2260.92	-9425.72

Combinazione n° 24 - SLEF

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	-4.62	0.00	-463.10	-68.23
2	-4.95	0.80	-463.10	-221.06
3	-4.95	0.80	-758.18	-224.11
4	-5.45	2.10	-758.18	-603.20
5	-5.45	2.10	-1053.34	-599.94
6	-5.95	3.51	-1053.34	-1126.61
7	-5.95	3.51	-1325.61	-1121.66
8	-6.45	5.03	-1325.61	-1784.46
9	-6.45	5.03	-1577.88	-1783.26
10	-6.95	6.66	-1577.88	-2572.21
11	-6.95	6.66	-1807.99	-2577.62
12	-7.45	8.39	-1807.99	-3481.62
13	-7.45	8.39	-2012.62	-3496.62
14	-7.98	10.36	-2012.62	-4571.36
15	-7.98	10.36	-2162.89	-4597.30

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
16	-8.52	12.45	-2162.89	-5752.28
17	-8.52	12.45	-2240.17	-5779.68
18	-9.05	14.66	-2240.17	-6975.93
19	-9.05	14.66	-2263.32	-6996.45
20	-9.59	16.99	-2263.32	-8205.06
21	-9.59	16.99	-2260.92	-8218.39
22	-10.12	19.45	-2260.92	-9425.72

Combinazione n° 25 - SLEO

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	-4.62	0.00	-463.10	-68.23
2	-4.95	0.80	-463.10	-221.06
3	-4.95	0.80	-758.18	-224.11
4	-5.45	2.10	-758.18	-603.20
5	-5.45	2.10	-1053.34	-599.94
6	-5.95	3.51	-1053.34	-1126.61
7	-5.95	3.51	-1325.61	-1121.66
8	-6.45	5.03	-1325.61	-1784.46
9	-6.45	5.03	-1577.88	-1783.26
10	-6.95	6.66	-1577.88	-2572.21
11	-6.95	6.66	-1807.99	-2577.62
12	-7.45	8.39	-1807.99	-3481.62
13	-7.45	8.39	-2012.62	-3496.62
14	-7.98	10.36	-2012.62	-4571.36
15	-7.98	10.36	-2162.89	-4597.30
16	-8.52	12.45	-2162.89	-5752.28
17	-8.52	12.45	-2240.17	-5779.68
18	-9.05	14.66	-2240.17	-6975.93
19	-9.05	14.66	-2263.32	-6996.45
20	-9.59	16.99	-2263.32	-8205.06
21	-9.59	16.99	-2260.92	-8218.39
22	-10.12	19.45	-2260.92	-9425.72

Combinazione n° 26 - SLER

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	-4.62	0.00	-463.10	-68.23
2	-4.95	0.80	-463.10	-221.06
3	-4.95	0.80	-758.18	-224.11
4	-5.45	2.10	-758.18	-603.20
5	-5.45	2.10	-1053.34	-599.94
6	-5.95	3.51	-1053.34	-1126.61
7	-5.95	3.51	-1325.61	-1121.66
8	-6.45	5.03	-1325.61	-1784.46
9	-6.45	5.03	-1577.88	-1783.26
10	-6.95	6.66	-1577.88	-2572.21
11	-6.95	6.66	-1807.99	-2577.62
12	-7.45	8.39	-1807.99	-3481.62
13	-7.45	8.39	-2012.62	-3496.62
14	-7.98	10.36	-2012.62	-4571.36
15	-7.98	10.36	-2162.89	-4597.30
16	-8.52	12.45	-2162.89	-5752.28
17	-8.52	12.45	-2240.17	-5779.68
18	-9.05	14.66	-2240.17	-6975.93
19	-9.05	14.66	-2263.32	-6996.45
20	-9.59	16.99	-2263.32	-8205.06
21	-9.59	16.99	-2260.92	-8218.39
22	-10.12	19.45	-2260.92	-9425.72

Combinazione n° 27 - SLEF

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	-4.62	0.00	-463.10	-68.23
2	-4.95	0.80	-463.10	-221.06
3	-4.95	0.80	-758.18	-224.11
4	-5.45	2.10	-758.18	-603.20
5	-5.45	2.10	-1053.34	-599.94
6	-5.95	3.51	-1053.34	-1126.61
7	-5.95	3.51	-1325.61	-1121.66
8	-6.45	5.03	-1325.61	-1784.46
9	-6.45	5.03	-1577.88	-1783.26
10	-6.95	6.66	-1577.88	-2572.21
11	-6.95	6.66	-1807.99	-2577.62
12	-7.45	8.39	-1807.99	-3481.62
13	-7.45	8.39	-2012.62	-3496.62
14	-7.98	10.36	-2012.62	-4571.36

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
15	-7.98	10.36	-2162.89	-4597.30
16	-8.52	12.45	-2162.89	-5752.28
17	-8.52	12.45	-2240.17	-5779.68
18	-9.05	14.66	-2240.17	-6975.93
19	-9.05	14.66	-2263.32	-6996.45
20	-9.59	16.99	-2263.32	-8205.06
21	-9.59	16.99	-2260.92	-8218.39
22	-10.12	19.45	-2260.92	-9425.72

Combinazione n° 28 - SLEO

n°	X [m]	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	-4.62	0.00	-463.10	-68.23
2	-4.95	0.80	-463.10	-221.06
3	-4.95	0.80	-758.18	-224.11
4	-5.45	2.10	-758.18	-603.20
5	-5.45	2.10	-1053.34	-599.94
6	-5.95	3.51	-1053.34	-1126.61
7	-5.95	3.51	-1325.61	-1121.66
8	-6.45	5.03	-1325.61	-1784.46
9	-6.45	5.03	-1577.88	-1783.26
10	-6.95	6.66	-1577.88	-2572.21
11	-6.95	6.66	-1807.99	-2577.62
12	-7.45	8.39	-1807.99	-3481.62
13	-7.45	8.39	-2012.62	-3496.62
14	-7.98	10.36	-2012.62	-4571.36
15	-7.98	10.36	-2162.89	-4597.30
16	-8.52	12.45	-2162.89	-5752.28
17	-8.52	12.45	-2240.17	-5779.68
18	-9.05	14.66	-2240.17	-6975.93
19	-9.05	14.66	-2263.32	-6996.45
20	-9.59	16.99	-2263.32	-8205.06
21	-9.59	16.99	-2260.92	-8218.39
22	-10.12	19.45	-2260.92	-9425.72

Piastra fondazione

Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3)

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
287	1828.59	2385.57	-0.01	-0.01	-64.16	MAX
582	-1152.01	-1094.18	93.66	-133.76	136.92	MIN
287	1828.59	2385.57	-0.01	-0.01	-64.16	MAX
582	-1152.01	-1094.18	93.66	-133.76	136.92	MIN
221	280.22	840.80	215.10	139.88	-407.19	MAX
243	280.28	840.81	-215.11	-139.90	-407.17	MIN
599	252.43	-42.63	-126.53	1458.57	211.79	MAX
583	252.43	-42.63	126.53	-1458.57	211.79	MIN
559	-94.28	415.40	109.51	-175.06	1487.63	MAX
255	1090.38	1443.19	-0.01	-0.01	-1474.08	MIN

Combinazione n° 2 - STR (A1-M1-R3)

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
287	1828.59	2385.57	-0.01	-0.01	-64.16	MAX
582	-1152.01	-1094.18	93.66	-133.76	136.92	MIN
287	1828.59	2385.57	-0.01	-0.01	-64.16	MAX
582	-1152.01	-1094.18	93.66	-133.76	136.92	MIN
221	280.22	840.80	215.10	139.88	-407.19	MAX
243	280.28	840.81	-215.11	-139.90	-407.17	MIN
599	252.43	-42.63	-126.53	1458.57	211.79	MAX
583	252.43	-42.63	126.53	-1458.57	211.79	MIN
559	-94.28	415.40	109.51	-175.06	1487.63	MAX
255	1090.38	1443.19	-0.01	-0.01	-1474.08	MIN

Combinazione n° 3 - STR (A1-M1-R3)

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
287	1828.59	2385.57	-0.01	-0.01	-64.16	MAX
582	-1152.01	-1094.18	93.66	-133.76	136.92	MIN
287	1828.59	2385.57	-0.01	-0.01	-64.16	MAX
582	-1152.01	-1094.18	93.66	-133.76	136.92	MIN
221	280.22	840.80	215.10	139.88	-407.19	MAX

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
243	280.28	840.81	-215.11	-139.90	-407.17	MIN
599	252.43	-42.63	-126.53	1458.57	211.79	MAX
583	252.43	-42.63	126.53	-1458.57	211.79	MIN
559	-94.28	415.40	109.51	-175.06	1487.63	MAX
255	1090.38	1443.19	-0.01	-0.01	-1474.08	MIN

Combinazione n° 4 - STR (A1-M1-R3) H + V

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
287	1828.59	2385.57	-0.01	-0.01	-64.16	MAX
287	-2336.35	-2471.12	-0.01	-0.01	-773.67	MIN
494	733.83	2446.09	-76.80	0.00	-2068.97	MAX
287	-2336.35	-2471.12	-0.01	-0.01	-773.67	MIN
583	126.72	430.39	713.90	-415.53	-40.11	MAX
599	126.73	430.39	-713.90	415.54	-40.11	MIN
367	200.30	-385.28	-511.23	2212.98	-793.18	MAX
12	200.30	-385.28	511.23	-2212.98	-793.18	MIN
559	-94.28	415.40	109.51	-175.06	1487.63	MAX
407	-318.63	-922.12	95.93	185.64	-3695.68	MIN

Combinazione n° 5 - STR (A1-M1-R3) H - V

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
287	1828.59	2385.57	-0.01	-0.01	-64.16	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	0.00	-2286.51	MIN
494	1828.59	2446.09	-0.01	0.00	-64.16	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	0.00	-2286.51	MIN
242	-1000.01	-3335.86	1288.06	-1614.15	455.03	MAX
192	-1000.06	-3335.86	-1288.08	1614.13	455.03	MIN
286	-3678.50	-6531.72	147.45	7832.98	-1023.05	MAX
288	-3678.49	-6531.72	-147.46	-7832.99	-1023.04	MIN
255	-7053.85	-7037.75	-0.01	-0.01	6872.18	MAX
321	-4731.06	-4103.80	-0.01	0.00	-8118.43	MIN

Combinazione n° 6 - STR (A1-M1-R3)

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
287	6004.77	6961.46	-0.01	-0.01	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
287	6004.77	6961.46	-0.01	-0.01	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
242	280.22	840.80	1288.06	139.88	455.03	MAX
192	-1000.06	-3335.86	-1288.08	-139.90	-407.17	MIN
286	252.43	-42.63	147.45	7832.98	211.79	MAX
288	-3678.49	-6531.72	-147.46	-7832.99	-1023.04	MIN
255	-94.28	415.40	109.51	-0.01	6872.18	MAX
321	-4731.06	-4103.80	-0.01	-0.01	-8118.43	MIN

Combinazione n° 7 - STR (A1-M1-R3)

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
287	6004.77	6961.46	-0.01	-0.01	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
287	6004.77	6961.46	-0.01	0.00	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
242	280.22	840.80	1288.06	139.88	455.03	MAX
192	-1000.06	-3335.86	-1288.08	-139.90	-407.17	MIN
286	252.43	-42.63	147.45	7832.98	211.79	MAX
288	-3678.49	-6531.72	-147.46	-7832.99	-1023.04	MIN
255	-94.28	415.40	109.51	-0.01	6872.18	MAX
321	-4731.06	-4103.80	-0.01	-0.01	-8118.43	MIN

Combinazione n° 8 - STR (A1-M1-R3)

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
287	6004.77	6961.46	-0.01	-0.01	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
287	6004.77	6961.46	-0.01	0.00	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
242	280.22	840.80	1288.06	139.88	455.03	MAX
192	-1000.06	-3335.86	-1288.08	-139.90	-407.17	MIN
286	252.43	-42.63	147.45	7832.98	211.79	MAX
288	-3678.49	-6531.72	-147.46	-7832.99	-1023.04	MIN

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
255	-94.28	415.40	109.51	-0.01	6872.18	MAX
321	-4731.06	-4103.80	-0.01	-0.01	-8118.43	MIN

Combinazione n° 9 - STR (A1-M1-R3)

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
287	6004.77	6961.46	-0.01	-0.01	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
287	6004.77	6961.46	-0.01	0.00	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
242	280.22	840.80	1288.06	139.88	455.03	MAX
192	-1000.06	-3335.86	-1288.08	-139.90	-407.17	MIN
286	252.43	-42.63	147.45	7832.98	211.79	MAX
288	-3678.49	-6531.72	-147.46	-7832.99	-1023.04	MIN
255	-94.28	415.40	109.51	-0.01	6872.18	MAX
321	-4731.06	-4103.80	-0.01	-0.01	-8118.43	MIN

Combinazione n° 10 - STR (A1-M1-R3)

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
287	6004.77	6961.46	-0.01	-0.01	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
287	6004.77	6961.46	-0.01	0.00	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
242	280.22	840.80	1288.06	139.88	455.03	MAX
192	-1000.06	-3335.86	-1288.08	-139.90	-407.17	MIN
286	252.43	-42.63	147.45	7832.98	211.79	MAX
288	-3678.49	-6531.72	-147.46	-7832.99	-1023.04	MIN
255	-94.28	415.40	109.51	-0.01	6872.18	MAX
321	-4731.06	-4103.80	-0.01	-0.01	-8118.43	MIN

Combinazione n° 11 - STR (A1-M1-R3)

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
287	6004.77	6961.46	-0.01	-0.01	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
287	6004.77	6961.46	-0.01	0.00	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
242	280.22	840.80	1288.06	139.88	455.03	MAX
192	-1000.06	-3335.86	-1288.08	-139.90	-407.17	MIN
286	252.43	-42.63	147.45	7832.98	211.79	MAX
288	-3678.49	-6531.72	-147.46	-7832.99	-1023.04	MIN
255	-94.28	415.40	109.51	-0.01	6872.18	MAX
321	-4731.06	-4103.80	-0.01	-0.01	-8118.43	MIN

Combinazione n° 12 - STR (A1-M1-R3)

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
287	6004.77	6961.46	-0.01	-0.01	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
287	6004.77	6961.46	-0.01	0.00	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
242	280.22	840.80	1288.06	139.88	455.03	MAX
192	-1000.06	-3335.86	-1288.08	-139.90	-407.17	MIN
286	252.43	-42.63	147.45	7832.98	211.79	MAX
288	-3678.49	-6531.72	-147.46	-7832.99	-1023.04	MIN
255	-94.28	415.40	109.51	-0.01	6872.18	MAX
321	-4731.06	-4103.80	-0.01	-0.01	-8118.43	MIN

Combinazione n° 13 - STR (A1-M1-R3)

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
287	6004.77	6961.46	-0.01	-0.01	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
287	6004.77	6961.46	-0.01	0.00	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
242	280.22	840.80	1288.06	139.88	455.03	MAX
192	-1000.06	-3335.86	-1288.08	-139.90	-407.17	MIN
286	252.43	-42.63	147.45	7832.98	211.79	MAX
288	-3678.49	-6531.72	-147.46	-7832.99	-1023.04	MIN
255	-94.28	415.40	109.51	-0.01	6872.18	MAX
321	-4731.06	-4103.80	-0.01	-0.01	-8118.43	MIN

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Combinazione n° 14 - STR (A1-M1-R3)

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
287	6004.77	6961.46	-0.01	-0.01	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
287	6004.77	6961.46	-0.01	0.00	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
242	280.22	840.80	1288.06	139.88	455.03	MAX
192	-1000.06	-3335.86	-1288.08	-139.90	-407.17	MIN
286	252.43	-42.63	147.45	7832.98	211.79	MAX
288	-3678.49	-6531.72	-147.46	-7832.99	-1023.04	MIN
255	-94.28	415.40	109.51	-0.01	6872.18	MAX
321	-4731.06	-4103.80	-0.01	-0.01	-8118.43	MIN

Combinazione n° 20 - SLER

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
287	6004.77	6961.46	-0.01	-0.01	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
287	6004.77	6961.46	-0.01	0.00	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
242	280.22	840.80	1288.06	139.88	455.03	MAX
192	-1000.06	-3335.86	-1288.08	-139.90	-407.17	MIN
286	252.43	-42.63	147.45	7832.98	211.79	MAX
288	-3678.49	-6531.72	-147.46	-7832.99	-1023.04	MIN
255	-94.28	415.40	109.51	-0.01	6872.18	MAX
321	-4731.06	-4103.80	-0.01	-0.01	-8118.43	MIN

Combinazione n° 21 - SLEF

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
287	6004.77	6961.46	-0.01	-0.01	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
287	6004.77	6961.46	-0.01	0.00	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
242	280.22	840.80	1288.06	139.88	455.03	MAX
192	-1000.06	-3335.86	-1288.08	-139.90	-407.17	MIN
286	252.43	-42.63	147.45	7832.98	211.79	MAX
288	-3678.49	-6531.72	-147.46	-7832.99	-1023.04	MIN
255	-94.28	415.40	109.51	-0.01	6872.18	MAX
321	-4731.06	-4103.80	-0.01	-0.01	-8118.43	MIN

Combinazione n° 22 - SLEQ

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
287	6004.77	6961.46	-0.01	-0.01	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
287	6004.77	6961.46	-0.01	0.00	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
242	280.22	840.80	1288.06	139.88	455.03	MAX
192	-1000.06	-3335.86	-1288.08	-139.90	-407.17	MIN
286	252.43	-42.63	147.45	7832.98	211.79	MAX
288	-3678.49	-6531.72	-147.46	-7832.99	-1023.04	MIN
255	-94.28	415.40	109.51	-0.01	6872.18	MAX
321	-4731.06	-4103.80	-0.01	-0.01	-8118.43	MIN

Combinazione n° 23 - SLER

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
287	6004.77	6961.46	-0.01	-0.01	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
287	6004.77	6961.46	-0.01	0.00	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
242	280.22	840.80	1288.06	139.88	455.03	MAX
192	-1000.06	-3335.86	-1288.08	-139.90	-407.17	MIN
286	252.43	-42.63	147.45	7832.98	211.79	MAX
288	-3678.49	-6531.72	-147.46	-7832.99	-1023.04	MIN
255	-94.28	415.40	109.51	-0.01	6872.18	MAX
321	-4731.06	-4103.80	-0.01	-0.01	-8118.43	MIN

Combinazione n° 24 - SLEF

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
287	6004.77	6961.46	-0.01	-0.01	662.06	MAX

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
287	6004.77	6961.46	-0.01	0.00	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
242	280.22	840.80	1288.06	139.88	455.03	MAX
192	-1000.06	-3335.86	-1288.08	-139.90	-407.17	MIN
286	252.43	-42.63	147.45	7832.98	211.79	MAX
288	-3678.49	-6531.72	-147.46	-7832.99	-1023.04	MIN
255	-94.28	415.40	109.51	-0.01	6872.18	MAX
321	-4731.06	-4103.80	-0.01	-0.01	-8118.43	MIN

Combinazione n° 25 - SLEQ

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
287	6004.77	6961.46	-0.01	-0.01	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
287	6004.77	6961.46	-0.01	0.00	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
242	280.22	840.80	1288.06	139.88	455.03	MAX
192	-1000.06	-3335.86	-1288.08	-139.90	-407.17	MIN
286	252.43	-42.63	147.45	7832.98	211.79	MAX
288	-3678.49	-6531.72	-147.46	-7832.99	-1023.04	MIN
255	-94.28	415.40	109.51	-0.01	6872.18	MAX
321	-4731.06	-4103.80	-0.01	-0.01	-8118.43	MIN

Combinazione n° 26 - SLER

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
287	6004.77	6961.46	-0.01	-0.01	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
287	6004.77	6961.46	-0.01	0.00	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
242	280.22	840.80	1288.06	139.88	455.03	MAX
192	-1000.06	-3335.86	-1288.08	-139.90	-407.17	MIN
286	252.43	-42.63	147.45	7832.98	211.79	MAX
288	-3678.49	-6531.72	-147.46	-7832.99	-1023.04	MIN
255	-94.28	415.40	109.51	-0.01	6872.18	MAX
321	-4731.06	-4103.80	-0.01	-0.01	-8118.43	MIN

Combinazione n° 27 - SLEF

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
287	6004.77	6961.46	-0.01	-0.01	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
287	6004.77	6961.46	-0.01	0.00	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
242	280.22	840.80	1288.06	139.88	455.03	MAX
192	-1000.06	-3335.86	-1288.08	-139.90	-407.17	MIN
286	252.43	-42.63	147.45	7832.98	211.79	MAX
288	-3678.49	-6531.72	-147.46	-7832.99	-1023.04	MIN
255	-94.28	415.40	109.51	-0.01	6872.18	MAX
321	-4731.06	-4103.80	-0.01	-0.01	-8118.43	MIN

Combinazione n° 28 - SLEQ

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
287	6004.77	6961.46	-0.01	-0.01	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
287	6004.77	6961.46	-0.01	0.00	662.06	MAX
287	-10833.09	-11755.58	-0.01	-133.76	-2286.51	MIN
242	280.22	840.80	1288.06	139.88	455.03	MAX
192	-1000.06	-3335.86	-1288.08	-139.90	-407.17	MIN
286	252.43	-42.63	147.45	7832.98	211.79	MAX
288	-3678.49	-6531.72	-147.46	-7832.99	-1023.04	MIN
255	-94.28	415.40	109.51	-0.01	6872.18	MAX
321	-4731.06	-4103.80	-0.01	-0.01	-8118.43	MIN

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

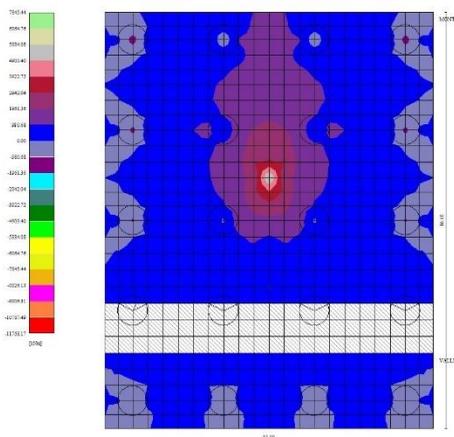


Figura 13-8 Piastra fondazione - Momenti MxMAX (Combinazione n° 6)

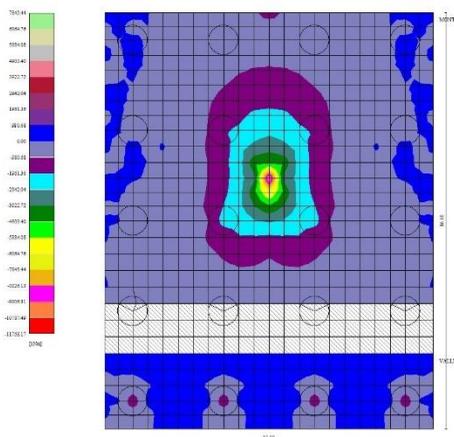


Figura 13-9 Piastra fondazione - Momenti MxMIN (Combinazione n° 5)

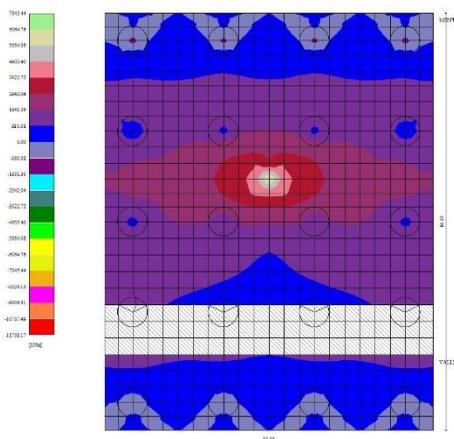


Figura 13-10 Piastra fondazione - Momenti MyMAX (Combinazione n° 6)

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

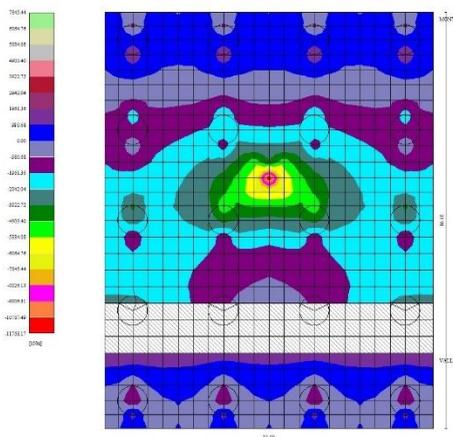


Figura 13-11 Piastra fondazione - Momenti MyMIN (Combinazione n° 5)

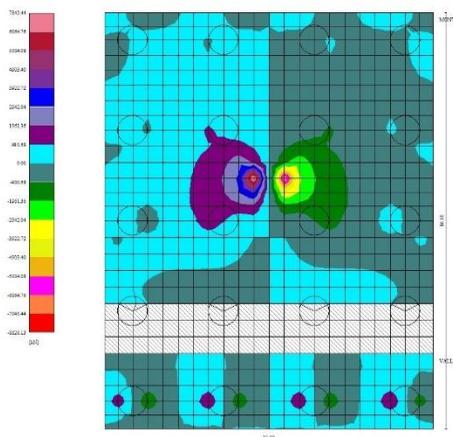


Figura 13-12 Piastra fondazione - Taglio Tx (Combinazione n° 5)

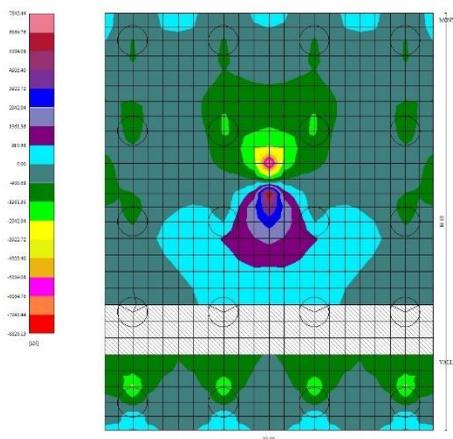


Figura 13-13 Piastra fondazione - Taglio Ty (Combinazione n° 5)

13.2 MURO D'ALA

13.2.1 Dati di input

Materiali

Simbologia adottata

n°	Indice materiale
Descr	Descrizione del materiale
Calcestruzzo armato	
C	Classe di resistenza del cls
A	Classe di resistenza dell'acciaio
γ	Peso specifico, espresso in [kN/mc]
R _{ck}	Resistenza caratteristica a compressione, espressa in [kPa]
E	Modulo elastico, espresso in [kPa]
ν	Coeff. di Poisson
n	Coeff. di omogenizzazione acciaio/cls
ntc	Coeff. di omogenizzazione cls teso/compresso

Calcestruzzo armato

n°	Descr	C	A	γ [kN/mc]	R _{ck} [kPa]	E [kPa]	ν	n	ntc
1	C32/40	C32/40	B450C	25	40000	33642648	0.30	15.00	0.50

Acciai

Descr	f _{yk} [kPa]	f _{uk} [kPa]
B450C	450000	540000

Tipologie pali

Simbologia adottata

n°	Indice tipologia palo
Descr	Descrizione tipologia palo
P	Contributo portanza palo (laterale e/o punta)
T	Tecnologia costruttiva (trivellato, infisso o elica continua)
V	Vincolo palo-fondazione: Cerniera o Incastro (libero o impedito di ruotare in testa)
Imat	Indice materiale che lo costituisce
BD	usa metodo di Bustamante-Doix
PN	Portanza nota
Pp, Pl	Portanza di punta e laterale caratteristica, espressa in [kN]

n°	Descr	P	T	V	Imat	BD	PN	Pp	Pl
2	f800	Laterale + Punta	Trivellato	Incastro	1	NO	NO	--	--

Tipologie tiranti

Simbologia adottata

Descr	Descrizione tipologia
Imat	Indice materiale
D	Diametro di perforazione, espresso in [m]
Cesp	Coeff. di espansione laterale
Tipo armatura	Attivo, Passivo tondini o Passivo tubolare
Caratteristiche:	
- per tiranti attivi: numero trefoli e area trefolo espresso in [mq]	
- per tiranti passivi con tondini: numero tondini e diametro tondino espresso in [m]	
- per tiranti passivi con tubolare: diametro e spessore tubolare, espressi in [m]	

Descr	Imat	D [m]	Cesp	Tipo armatura	Caratteristiche
Tiranti primo ordine	2	0.1800	1.800	Attivo	4 / 0.000139 [mq]
Tiranti secondo ordine	2	0.1800	1.800	Attivo	4 / 0.000139 [mq]

Geometria profilo terreno a monte del muro

Simbologia adottata

(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

n°	numero ordine del punto
----	-------------------------

X ascissa del punto espressa in [m]
Y ordinata del punto espressa in [m]
A inclinazione del tratto espressa in [°]

n°	X [m]	Y [m]	A [°]
1	0.00	0.00	0.000
2	50.00	0.00	0.000

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale 0.000 [°]

Falda

Simbologia adottata

(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

n° numero ordine del punto
X ascissa del punto espressa in [m]
Y ordinata del punto espressa in [m]
A inclinazione del tratto espressa in [°]

n°	X [m]	Y [m]	A [°]
1	-6.50	-14.00	0.000
2	50.00	-14.00	0.000

Geometria muro

Geometria paramento e fondazione

Lunghezza muro 6.60 [m]

Paramento

Materiale C32/40
Altezza paramento 8.00 [m]
Altezza paramento libero 6.80 [m]
Spessore in sommità 0.30 [m]
Spessore all'attacco con la fondazione 1.14 [m]
Inclinazione paramento esterno 0.00 [°]
Inclinazione paramento interno 6.00 [°]

Fondazione

Materiale C32/40
Lunghezza mensola di valle 3.14 [m]
Lunghezza mensola di monte 3.80 [m]
Lunghezza totale 8.08 [m]
Inclinazione piano di posa 0.00 [°]
Spessore 1.20 [m]
Spessore magrone 0.20 [m]

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

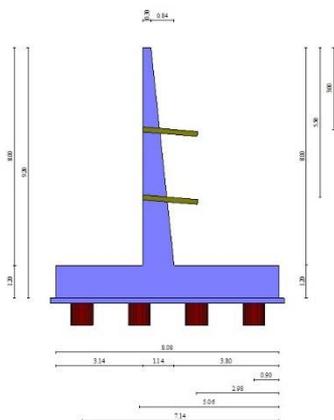


Figura 13-14 Sezione quotata del muro

Descrizione pali di fondazione

Simbologia adottata

- n° numero d'ordine della fila
- X ascissa della fila misurata dallo spigolo di monte della fondazione espressa in [m]
- I interasse tra i pali, espressa in [m]
- f franco laterale (distanza minima dal bordo laterale), espressa in [m]
- Np Numero di pali della fila
- D diametro dei pali della fila espresso in [m]
- L lunghezza dei pali della fila espressa in [m]
- α inclinazione dei pali della fila rispetto alla verticale espressa in [°]
- ALL allineamento dei pali della fila rispetto al baricentro della fondazione (CENTRATI o SFALSATI)

n°	Tipologia	X [m]	I [m]	f [m]	Np	D [m]	L [m]	α [°]	ALL
1	f800	0.90	2.40	0.50	3	0.8000	33.00	0.00	Centrati
2	f800	2.98	2.40	1.20	2	0.8000	33.00	0.00	Sfalsati
3	f800	5.06	2.40	0.50	3	0.8000	33.00	0.00	Centrati
4	f800	7.14	2.40	1.20	2	0.8000	33.00	0.00	Sfalsati

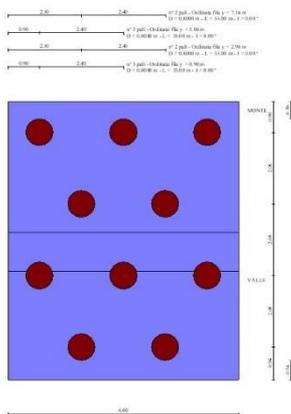


Figura 13-15 Pianta pali

Tiranti di ancoraggio

Simbologia adottata

- n° numero d'ordine della fila
- Dest Destinazione del tirante (Fondazione, Paramento)
- S ordinata della fila misurata dalla testa del muro (se il tirante è posizionato sul paramento), ascissa della fila misurata dal tacco della fondazione (se il tirante è posizionato sulla fondazione) espressa in [m]

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

- I Interasse tra i tiranti della fila espressa in [m]
- F Franco della fila espressa in [m]
- ALL allineamento dei tiranti della fila (CENTRATI o SFALSATI)
- Nt numero di tiranti della fila
- α inclinazione dei tiranti della fila rispetto all'orizzontale espressa in [°]
- T tiro iniziale espresso in [kN]. Solo per i tiranti attivi
- Lt, Lf Lunghezza totale e di fondazione espressa in [m]. Definiti solo nel caso di Verifica.

n°	Tipologia	Dest	S [m]	I [m]	F [m]	ALL	Nt	α [°]	T [kN]	Lt [m]	Lf [m]
1	Tiranti primo ordine	Paramento	5.50	1.80	0.50	Centrati	3	5.00	150.00	25.00	8.00
2	Tiranti secondo ordine	Paramento	3.00	1.80	0.50	Centrati	3	5.00	150.00	25.00	8.00

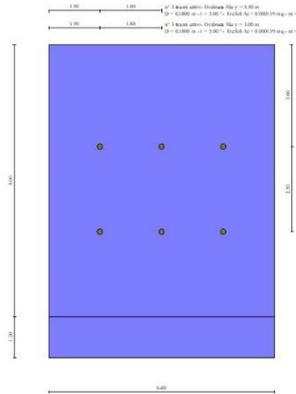


Figura 13-16 Prospetto del paramento con i tiranti

Descrizione terreni

Parametri di resistenza

Simbologia adottata

- n° Indice del terreno
- Descr Descrizione terreno
- γ Peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
- γ_s Peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/mc]
- ϕ Angolo d'attrito interno espresso in [°]
- δ Angolo d'attrito terra-muro espresso in [°]
- c Coesione espressa in [kPa]
- c_a Adesione terra-muro espressa in [kPa]
- Per calcolo portanza con il metodo di Bustamante-Doix
- Cesp Coeff. di espansione laterale (solo per il metodo di Bustamante-Doix)
- τ_l Tensione tangenziale limite, espressa in [kPa]

n°	Descr	γ [kN/mc]	γ_{sat} [kN/mc]	ϕ [°]	δ [°]	c [kPa]	c_a [kPa]	Cesp	τ_l [kPa]	
1	Terreno	17.6523	19.6136	30.000 0.000 0.000	0.000 0.000 0.000	0 0 0	0 0 0	1.000	0 0 0	(CAR) (MIN) (MED)
2	RILEVATO	19.0000	19.0000	35.000 35.000 35.000	23.330 23.333 23.333	15 15 15	7 7 7	1.800	120 120 120	(CAR) (MIN) (MED)
3	Qm	19.0000	19.0000	30.000 30.000 30.000	20.000 20.000 20.000	10 10 10	5 5 5	1.000	0 0 0	(CAR) (MIN) (MED)

Stratigrafia

Simbologia adottata

- n° Indice dello strato
- H Spessore dello strato espresso in [m]
- α Inclinazione espressa in [°]
- Terreno Terreno dello strato
- Kwn, Kwt Costante di Winkler normale e tangenziale alla superficie espressa in Kg/cm²/cm
- Per calcolo pali (solo se presenti)
- Kw Costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm²/cm
- Cesp Coefficiente di espansione laterale (per tutti i metodi tranne il metodo di Bustamante-Doix)

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

n°	H [m]	α [°]	Terreno	Kwn [Kg/cm ²]	Kwt [Kg/cm ²]	Kw [Kg/cm ²]	Cesp
1	9.20	0.000	RILEVATO	0.000	0.000	0.000	1.000
2	50.00	0.000	Qm	0.000	0.000	3.000	1.000

Terreno di riempimento: RILEVATO
Inclinazione riempimento (rispetto alla verticale): 0.00 [°]

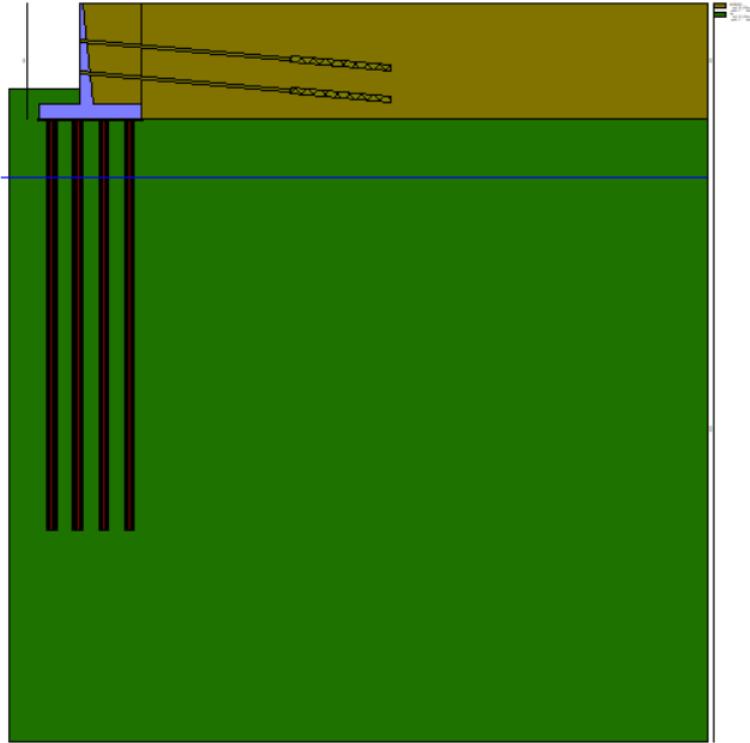


Figura 13-17 Stratigrafia

Normativa

Normativa usata: **Norme Tecniche sulle Costruzioni 2008 (D.M. 14.01.2008) + Circolare C.S.LL.PP. 2/02/2009 n.617**

Coef. parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

Carichi	Effetto		Combinazioni statiche					Combinazioni sismiche		
			HYD	UPL	EQU	A1	A2	EQU	A1	A2
Permanenti strutturali	Favorevoli	$\gamma_{G1, fav}$	1.00	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti strutturali	Sfavorevoli	$\gamma_{G1, sfav}$	1.00	1.10	1.30	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti non strutturali	Favorevoli	$\gamma_{G2, fav}$	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Permanenti non strutturali	Sfavorevoli	$\gamma_{G2, sfav}$	1.00	1.50	1.50	1.50	1.30	1.00	1.00	1.00
Variabili	Favorevoli	$\gamma_{Q, fav}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevoli	$\gamma_{Q, sfav}$	1.00	1.50	1.50	1.50	1.30	1.00	1.00	1.00
Variabili da traffico	Favorevoli	$\gamma_{QT, fav}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili da traffico	Sfavorevoli	$\gamma_{QT, sfav}$	1.00	1.50	1.35	1.35	1.15	1.00	1.00	1.00

Coef. parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro		Combinazioni statiche		Combinazioni sismiche	
		M1	M2	M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan(\phi)}$	1.00	1.25	1.00	1.00
Coesione efficace	γ_c	1.00	1.25	1.00	1.00
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.00	1.40	1.00	1.00
Peso nell'unità di volume	γ_s	1.00	1.00	1.00	1.00

Coef. parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Verifica	Combinazioni statiche			Combinazioni sismiche		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Capacità portante	--	--	1.40	--	--	1.20
Scorrimento	--	--	1.10	--	--	1.00
Resistenza terreno a valle	--	--	1.40	--	--	1.20
Ribaltamento	--	--	1.15	--	--	1.00
Stabilità fronte di scavo	--	1.10	--	--	1.20	--

Carichi verticali. Coeff. parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche

Resistenza		Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Punta	γ_b	--	--	1.15	--	--	1.35	--	--	1.30
Laterale compressione	γ_s	--	--	1.15	--	--	1.15	--	--	1.15
Totale compressione	γ_t	--	--	1.15	--	--	1.30	--	--	1.25
Laterale trazione	γ_{st}	--	--	1.25	--	--	1.25	--	--	1.25

Carichi trasversali. Coeff. parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche

		R1	R2	R3
Trasversale	γ_t	--	--	1.30

Coefficienti di riduzione ζ per la determinazione della resistenza caratteristica dei pali

Numero di verticali indagate 1

$\zeta_3=1.70$ $\zeta_4=1.70$

Coeff. parziali γ_R per la resistenza di ancoraggi

		R3
Laterale	γ_{Ra}	1.20

Coefficienti di riduzione ζ per la determinazione della resistenza caratteristica dei tiranti

Numero di verticali indagate 1

$\zeta_3=1.80$ $\zeta_4=1.80$

Dati sismici

	Simbolo	U.M.	SLU	SLE
Accelerazione al suolo	a_g	[m/s ²]	4.783	1.311
Accelerazione al suolo	a_g/g	[%]	0.488	0.134
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico	Ss		A	1.000
Categoria topografica - Coefficiente amplificazione topografica	St		T1	1.000

	Stato limite ...	Coeff. di riduzione β_m	kh	kv
Ultimo		1.000	48.756	24.378
Ultimo - Ribaltamento		1.000	48.756	24.378

Forma diagramma incremento sismico **Rettangolare**

Opzioni di calcolo

Spinta

Metodo di calcolo della spinta

Culmann

Tipo di spinta

Spinta attiva

Terreno a bassa permeabilità

NO

Superficie di spinta limitata

NO

Stabilità globale

Metodo di calcolo della stabilità globale

Bishop

Altro

Partecipazione spinta passiva terreno antistante

0.00

Partecipazione resistenza passiva dente di fondazione

50.00

Componente verticale della spinta nel calcolo delle sollecitazioni

NO

Considera terreno sulla fondazione di valle

NO

Considera spinta e peso acqua fondazione di valle

NO

Spostamenti

Modello a blocchi

Non è stato richiesto il calcolo degli spostamenti

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Spostamento limite	0.0500 [m]
<u>Opzioni calcolo pali</u>	
<i>Portanza verticale</i>	
Metodo di calcolo della portanza alla punta	Berezantzev
Metodo di calcolo della portanza alla laterale	Integrazione delle tensioni tangenziali ($k_s \sigma_v \tan(\delta) + c_a$)
Correzione angolo di attrito in funzione del tipo di palo (infisso/trivellato)	Attiva
Andamento pressione verticale nel calcolo della portanza alla punta σ_v con la profondità	Pressione geostatica
Andamento pressione verticale nel calcolo della portanza laterale	Pressione geostatica
<i>Portanza trasversale</i>	
Costante di Winkler: da strato Criterio rottura palo-terreno	
- Spostamento limite	Non attivo
- Pressione limite	Pressione passiva con moltiplicatore $M=3.00$
- Palo infinitamente elastico	Attivo
<i>Cedimenti</i>	
Metodo di calcolo	Metodo agli elementi finiti
Spostamento limite alla punta	0.0100 [m]
Spostamento limite laterale	0.0050 [m]
<u>Opzioni calcolo tiranti</u>	
Superficie di ancoraggio	Angolo di rottura
Tensione limite resistenza malta	Media valori $tc0$ e $tc1$

13.2.2 Risultati

Scarichi in testa ai pali

Simbologia adottata

Cmb	Indice/Tipo combinazione
Ip	Indice palo
N	Sforzo normale, espresso in [kN]
M	Momento, espresso in [kNm]
T	Taglio, espresso in [kN]

Cmb	Ip	N [kN]	M [kNm]	T [kN]
1 - STR (A1-M1-R3)	1	1153.62	-146.01	-4.66
	2	842.09	-146.01	-4.66
	3	530.55	-146.01	-4.66
	4	219.02	-146.01	-4.66
2 - STR (A1-M1-R3) H + V	1	408.53	-409.28	-462.42
	2	802.49	-409.28	-462.42
	3	1196.46	-409.28	-462.42
	4	1588.21	-409.28	-462.42
3 - STR (A1-M1-R3) H - V	1	-41.53	-361.78	-455.41
	2	438.28	-361.78	-455.41
	3	918.10	-361.78	-455.41
	4	1397.91	-361.78	-455.41
4 - STR (A1-M1-R3)	1	1440.78	-173.36	-4.66
	2	1068.52	-173.36	-4.66
	3	696.16	-173.36	-4.66
	4	323.80	-173.36	-4.66
5 - STR (A1-M1-R3)	1	1380.14	-177.97	-4.66
	2	997.53	-177.97	-4.66
	3	614.93	-177.97	-4.66
	4	232.32	-177.97	-4.66
6 - STR (A1-M1-R3)	1	1214.29	-141.39	-4.66
	2	913.03	-141.39	-4.66
	3	611.77	-141.39	-4.66
	4	310.51	-141.39	-4.66
10 - SLER	1	1174.01	-115.72	27.95
	2	837.87	-115.72	27.95
	3	501.73	-115.72	27.95
	4	165.58	-115.72	27.95
11 - SLEF	1	1174.01	-115.72	27.95
	2	837.87	-115.72	27.95
	3	501.73	-115.72	27.95
	4	165.58	-115.72	27.95
12 - SLEQ	1	1174.01	-115.72	27.95

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Cmb	Ip	N [kN]	M [kNm]	T [kN]
	2	837.87	-115.72	27.95
	3	501.73	-115.72	27.95
	4	165.58	-115.72	27.95

Verifica stabilità globale muro + terreno

Simbologia adottata

Ic	Indice/Tipo combinazione
C	Centro superficie di scorrimento, espresso in [m]
R	Raggio, espresso in [m]
FS	Fattore di sicurezza

Ic	C [m]	R [m]	FS
7 - GEO (A2-M2-R2)	-2.50; 4.50	30.84	6.041
8 - GEO (A2-M2-R2) H + V	-4.00; 4.50	31.18	2.220
9 - GEO (A2-M2-R2) H - V	-4.50; 4.50	31.30	1.605

Tiranti

Simbologia adottata

It	Indice tirante (tra parentesi viene indicata la posizione P: paramento, F: fondazione)
S	Ordinata sul paramento o ascissa sulla fondazione, espressa in [m]
Ic	Indice combinazione
Lf	Lunghezza bulbo fondazione necessaria ad assorbire il tiro in esercizio, espressa in [m]. In grassetto la lunghezza usata nel calcolo della resistenza
Lt	Lunghezza totale (lunghezza del bulbo di fondazione + tratto inefficace), espressa in [m]. In grassetto la lunghezza massima
N	Tiro in esercizio sul tirante, espresso in [kN]. In grassetto il tiro massimo in esercizio

It	S [m]	Ic	Lf [m]	Lt [m]	N [kN]		
1 [P]	5.50	1	2.40	19.40	137.47		
		2	3.50	20.50	198.55		
		3	3.60	20.60	203.73		
		4	2.40	19.40	137.47		
		5	2.40	19.40	137.47		
		6	2.40	19.40	137.47		
		10	2.00	19.00	137.47		
		11	2.00	19.00	137.47		
		12	2.00	19.00	137.47		
				8.00	25.00	203.73	
		2 [P]	3.00	1	2.30	19.30	132.82
				2	3.70	20.70	214.80
3	3.90			20.90	222.43		
4	2.30			19.30	132.82		
5	2.30			19.30	132.82		
6	2.30			19.30	132.82		
10	1.90			18.90	132.82		
11	1.90			18.90	132.82		
12	1.90			18.90	132.82		
				8.00	25.00	222.43	

Sollecitazioni

Elementi calcolati a piastra

Simbologia adottata

Mx, My	Momenti flettenti, espresso in [kNm]
Mxy	Momento torcente, espresso in [kNm]. Positivo se diretto da monte verso valle
Tx, Ty	Tagli, espresso in [kN]. Positivo se tende le fibre contro terra (a monte)
I momenti flettenti sono positivi se tendono le fibre inferiori (intradosso fondazione, paramento esterno)	

Piastra paramento

Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3)

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
122	77.23	257.43	0.00	0.00	40.47	MAX
284	-57.39	-40.30	0.00	0.00	35.66	MIN
122	77.23	257.43	0.00	0.00	40.47	MAX
284	-57.39	-40.30	0.00	0.00	35.66	MIN
485	47.20	157.33	55.39	0.00	-210.11	MAX
1	47.20	157.33	-55.39	0.00	-210.11	MIN
277	-8.86	0.02	-2.57	99.04	25.96	MAX
341	-8.86	0.02	2.57	-99.04	25.96	MIN
129	11.41	132.12	0.00	0.00	163.89	MAX

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
485	47.20	157.33	55.39	0.00	-210.11	MIN

Combinazione n° 2 - STR (A1-M1-R3) H + V

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
122	77.23	257.43	0.00	0.00	40.47	MAX
122	-201.27	-670.89	0.00	0.00	-232.87	MIN
122	77.23	257.43	0.00	0.00	40.47	MAX
122	-201.27	-670.89	0.00	0.00	-232.87	MIN
1	-176.13	-587.12	135.49	0.00	185.90	MAX
485	-176.13	-587.12	-135.49	0.00	185.90	MIN
77	-43.84	-323.91	5.58	170.14	-87.48	MAX
333	-43.84	-323.91	-5.58	-170.14	-87.48	MIN
1	-176.13	-587.12	135.49	0.00	185.90	MAX
257	-197.46	-658.21	-10.72	0.00	-244.50	MIN

Combinazione n° 3 - STR (A1-M1-R3) H - V

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
122	77.23	257.43	0.00	0.00	40.47	MAX
122	-201.27	-670.89	0.00	0.00	-232.87	MIN
122	77.23	257.43	0.00	0.00	40.47	MAX
122	-201.27	-670.89	0.00	0.00	-232.87	MIN
1	47.20	157.33	135.49	0.00	185.90	MAX
485	-176.13	-587.12	-135.49	0.00	-210.11	MIN
77	-40.11	-285.50	3.06	171.47	-71.64	MAX
333	-40.11	-285.50	-3.06	-171.47	-71.64	MIN
1	11.41	132.12	135.49	0.00	185.90	MAX
257	-197.46	-658.21	-10.72	0.00	-244.50	MIN

Combinazione n° 4 - STR (A1-M1-R3)

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
122	77.23	257.43	0.00	0.00	40.47	MAX
122	-201.27	-670.89	0.00	0.00	-232.87	MIN
122	77.23	257.43	0.00	0.00	40.47	MAX
122	-201.27	-670.89	0.00	0.00	-232.87	MIN
1	47.20	157.33	135.49	0.00	185.90	MAX
485	-176.13	-587.12	-135.49	0.00	-210.11	MIN
77	-8.86	0.02	5.58	171.47	25.96	MAX
333	-43.84	-323.91	-5.58	-171.47	-87.48	MIN
1	11.41	132.12	135.49	0.00	185.90	MAX
257	-197.46	-658.21	-10.72	0.00	-244.50	MIN

Combinazione n° 5 - STR (A1-M1-R3)

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
122	77.23	257.43	0.00	0.00	40.47	MAX
122	-201.27	-670.89	0.00	0.00	-232.87	MIN
122	77.23	257.43	0.00	0.00	40.47	MAX
122	-201.27	-670.89	0.00	0.00	-232.87	MIN
1	47.20	157.33	135.49	0.00	185.90	MAX
485	-176.13	-587.12	-135.49	0.00	-210.11	MIN
77	-8.86	0.02	5.58	171.47	25.96	MAX
333	-43.84	-323.91	-5.58	-171.47	-87.48	MIN
1	11.41	132.12	135.49	0.00	185.90	MAX
257	-197.46	-658.21	-10.72	0.00	-244.50	MIN

Combinazione n° 6 - STR (A1-M1-R3)

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
122	77.23	257.43	0.00	0.00	40.47	MAX
122	-201.27	-670.89	0.00	0.00	-232.87	MIN
122	77.23	257.43	0.00	0.00	40.47	MAX
122	-201.27	-670.89	0.00	0.00	-232.87	MIN
1	47.20	157.33	135.49	0.00	185.90	MAX
485	-176.13	-587.12	-135.49	0.00	-210.11	MIN
77	-8.86	0.02	5.58	171.47	25.96	MAX
333	-43.84	-323.91	-5.58	-171.47	-87.48	MIN
1	11.41	132.12	135.49	0.00	185.90	MAX
257	-197.46	-658.21	-10.72	0.00	-244.50	MIN

Combinazione n° 10 - SLER

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
122	110.27	367.55	0.00	0.00	87.57	MAX
122	-201.27	-670.89	0.00	0.00	-232.87	MIN
122	110.27	367.55	0.00	0.00	87.57	MAX
122	-201.27	-670.89	0.00	0.00	-232.87	MIN
1	47.20	157.33	135.49	0.00	185.90	MAX
485	-176.13	-587.12	-135.49	0.00	-210.11	MIN
77	-8.86	0.02	5.58	171.47	25.96	MAX
333	-43.84	-323.91	-5.58	-171.47	-87.48	MIN
129	19.79	165.63	0.00	0.00	187.06	MAX
257	-197.46	-658.21	-10.72	0.00	-244.50	MIN

Combinazione n° 11 - SLEF

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
122	110.27	367.55	0.00	0.00	87.57	MAX
122	-201.27	-670.89	0.00	0.00	-232.87	MIN
122	110.27	367.55	0.00	0.00	87.57	MAX
122	-201.27	-670.89	0.00	0.00	-232.87	MIN
1	47.20	157.33	135.49	0.00	185.90	MAX
485	-176.13	-587.12	-135.49	0.00	-210.11	MIN
77	-8.86	0.02	5.58	171.47	25.96	MAX
333	-43.84	-323.91	-5.58	-171.47	-87.48	MIN
129	19.79	165.63	135.49	0.00	187.06	MAX
257	-197.46	-658.21	-10.72	0.00	-244.50	MIN

Combinazione n° 12 - SLEQ

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
122	110.27	367.55	0.00	0.00	87.57	MAX
122	-201.27	-670.89	0.00	0.00	-232.87	MIN
122	110.27	367.55	0.00	0.00	87.57	MAX
122	-201.27	-670.89	0.00	0.00	-232.87	MIN
1	47.20	157.33	135.49	0.00	185.90	MAX
485	-176.13	-587.12	-135.49	0.00	-210.11	MIN
77	-8.86	0.02	5.58	171.47	25.96	MAX
333	-43.84	-323.91	-5.58	-171.47	-87.48	MIN
129	19.79	165.63	135.49	0.00	187.06	MAX
257	-197.46	-658.21	-10.72	0.00	-244.50	MIN

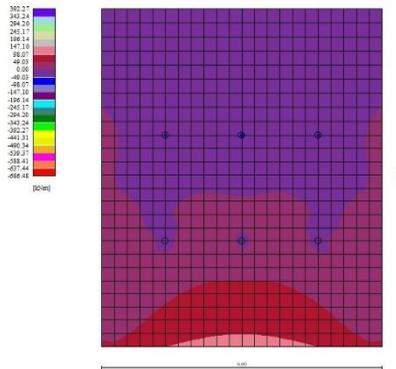


Figura 13-18 Piastra paramento - Momenti MxMAX (Combinazione n° 10)

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

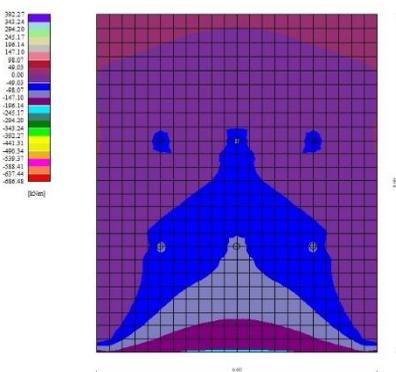


Figura 13-19 Piastra paramento - Momenti MxMIN (Combinazione n° 2)

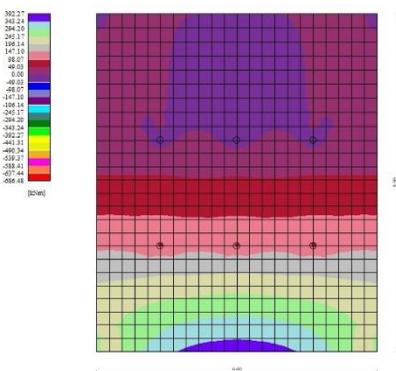


Figura 13-20 Piastra paramento - Momenti MyMAX (Combinazione n° 10)

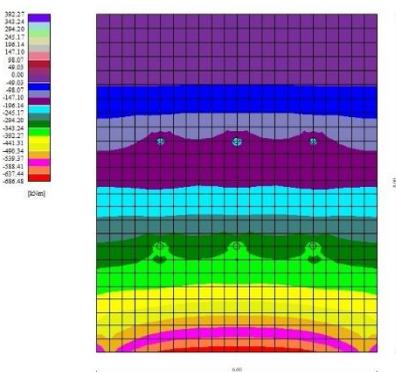


Figura 13-21 Piastra paramento - Momenti MyMIN (Combinazione n° 2)

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

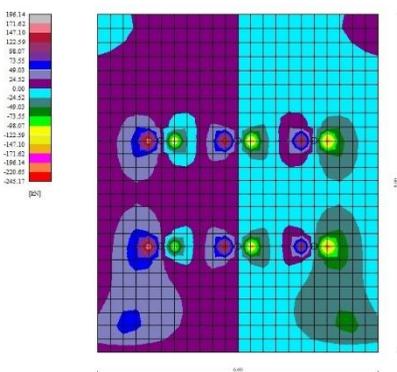


Figura 13-22 Piastra paramento - Taglio Tx (Combinazione n° 3)

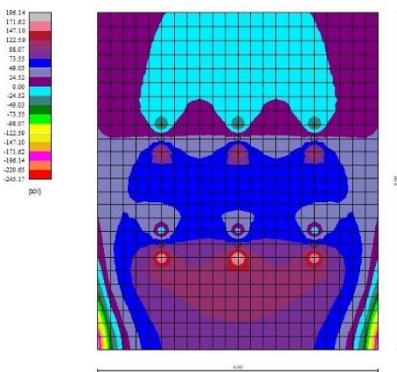


Figura 13-23 Piastra paramento - Taglio TyMAX (Combinazione n° 10)

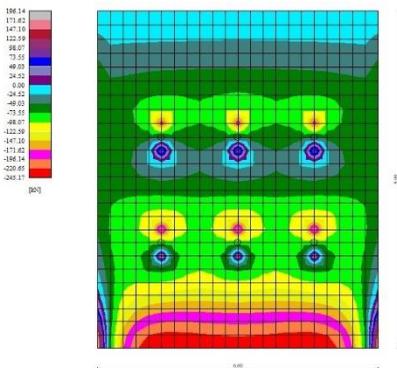


Figura 13-24 Piastra paramento - Taglio TyMIN (Combinazione n° 2)

Piastra fondazione

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3)

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
286	99.64	218.57	0.00	0.00	11.91	MAX
552	-432.97	-381.29	-23.24	31.48	-110.92	MIN
282	2.12	372.56	-7.70	-12.89	569.75	MAX
121	-122.35	-407.82	-35.19	0.00	-1321.71	MIN
537	-16.25	-50.09	75.20	-853.61	69.15	MAX
551	-16.25	-50.09	-75.20	853.61	69.15	MIN
551	-16.25	-50.09	-75.20	853.61	69.15	MAX
537	-16.25	-50.09	75.20	-853.61	69.15	MIN
529	-66.73	221.36	-24.78	26.49	729.28	MAX
121	-122.35	-407.82	-35.19	0.00	-1321.71	MIN

Combinazione n° 2 - STR (A1-M1-R3) H + V

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
182	286.57	955.23	-27.95	0.00	-653.54	MAX
231	-712.48	-597.37	-39.46	-23.80	-618.55	MIN
132	191.28	976.19	0.14	-0.17	-142.90	MAX
53	-712.32	-597.76	39.43	23.80	-618.18	MIN
112	188.51	628.37	183.46	0.00	185.75	MAX
375	-105.11	-350.37	-199.14	0.00	-3375.60	MIN
40	-143.45	-143.61	-102.26	1194.01	-253.10	MAX
262	-143.68	-143.10	102.37	-1193.89	-253.53	MIN
529	-66.73	221.36	-24.78	26.49	729.28	MAX
121	-111.99	-373.29	-13.29	0.00	-3447.47	MIN

Combinazione n° 3 - STR (A1-M1-R3) H - V

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
182	286.57	955.23	0.00	0.00	11.91	MAX
231	-712.48	-597.37	-39.46	-23.80	-618.55	MIN
132	191.28	976.19	0.14	-0.17	569.75	MAX
214	-322.20	-1074.00	185.41	0.00	-289.23	MIN
214	-322.20	-1074.00	185.41	0.00	-289.23	MAX
375	-105.11	-350.37	-199.14	0.00	-3375.60	MIN
40	-16.25	-50.09	-75.20	1194.01	69.15	MAX
262	-143.68	-143.10	75.20	-1193.89	-253.53	MIN
529	-66.73	221.36	-24.78	26.49	729.28	MAX
121	-122.35	-407.82	-35.19	0.00	-3447.47	MIN

Combinazione n° 4 - STR (A1-M1-R3)

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
182	286.57	955.23	0.00	0.00	11.91	MAX
231	-712.48	-597.37	-39.46	-23.80	-618.55	MIN
132	191.28	976.19	0.14	-0.17	569.75	MAX
214	-712.32	-1074.00	-35.19	0.00	-1321.71	MIN
214	188.51	628.37	185.41	0.00	185.75	MAX
375	-105.11	-350.37	-199.14	0.00	-3375.60	MIN
40	-16.25	-50.09	-75.20	1194.01	69.15	MAX
262	-143.68	-143.10	75.20	-1193.89	-253.53	MIN
513	-85.87	302.72	33.07	-34.09	970.67	MAX
121	-122.35	-407.82	-35.19	0.00	-3447.47	MIN

Combinazione n° 5 - STR (A1-M1-R3)

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
182	286.57	955.23	0.00	0.00	11.91	MAX
231	-712.48	-597.37	-39.46	-23.80	-618.55	MIN
132	191.28	976.19	0.14	-0.17	569.75	MAX
214	-712.32	-1074.00	-35.19	0.00	-1321.71	MIN
214	188.51	628.37	185.41	0.00	185.75	MAX
375	-105.11	-350.37	-199.14	0.00	-3375.60	MIN
40	-16.25	-50.09	-75.20	1194.01	69.15	MAX
262	-143.68	-143.10	75.20	-1193.89	-253.53	MIN
513	-66.73	302.72	33.07	26.49	970.67	MAX
121	-122.35	-407.82	-35.19	0.00	-3447.47	MIN

Combinazione n° 6 - STR (A1-M1-R3)

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
182	286.57	955.23	0.00	0.00	11.91	MAX
231	-712.48	-597.37	-39.46	-23.80	-618.55	MIN
132	191.28	976.19	0.14	-0.17	569.75	MAX
214	-712.32	-1074.00	-35.19	0.00	-1321.71	MIN
214	188.51	628.37	185.41	0.00	185.75	MAX
375	-105.11	-350.37	-199.14	0.00	-3375.60	MIN
40	-16.25	-50.09	-75.20	1194.01	69.15	MAX
262	-143.68	-143.10	75.20	-1193.89	-253.53	MIN
513	-66.73	302.72	33.07	26.49	970.67	MAX
121	-122.35	-407.82	-35.19	0.00	-3447.47	MIN

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
182	286.57	955.23	0.00	0.00	11.91	MAX
231	-712.48	-597.37	-39.46	-23.80	-618.55	MIN
132	191.28	976.19	0.14	-0.17	569.75	MAX
214	-712.32	-1074.00	-35.19	0.00	-1321.71	MIN
214	188.51	628.37	185.41	0.00	185.75	MAX
375	-105.11	-350.37	-199.14	0.00	-3375.60	MIN
40	-16.25	-50.09	-75.20	1194.01	69.15	MAX
262	-143.68	-143.10	75.20	-1193.89	-253.53	MIN
513	-66.73	302.72	33.07	26.49	970.67	MAX
121	-122.35	-407.82	-35.19	0.00	-3447.47	MIN

Combinazione n° 10 - SLER

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
182	286.57	955.23	0.00	0.00	11.91	MAX
231	-712.48	-597.37	-39.46	-23.80	-618.55	MIN
132	191.28	976.19	0.14	-0.17	569.75	MAX
214	-712.32	-1074.00	-35.19	0.00	-1321.71	MIN
214	188.51	628.37	185.41	0.00	185.75	MAX
375	-105.11	-350.37	-199.14	0.00	-3375.60	MIN
40	-16.25	-50.09	-75.20	1194.01	69.15	MAX
262	-143.68	-143.10	75.20	-1193.89	-253.53	MIN
513	-66.73	302.72	33.07	26.49	970.67	MAX
121	-122.35	-407.82	-35.19	0.00	-3447.47	MIN

Combinazione n° 11 - SLEF

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
182	286.57	955.23	0.00	0.00	11.91	MAX
231	-712.48	-597.37	-39.46	-23.80	-618.55	MIN
132	191.28	976.19	0.14	-0.17	569.75	MAX
214	-712.32	-1074.00	-35.19	0.00	-1321.71	MIN
214	188.51	628.37	185.41	0.00	185.75	MAX
375	-105.11	-350.37	-199.14	0.00	-3375.60	MIN
40	-16.25	-50.09	-75.20	1194.01	69.15	MAX
262	-143.68	-143.10	75.20	-1193.89	-253.53	MIN
513	-66.73	302.72	33.07	26.49	970.67	MAX
121	-122.35	-407.82	-35.19	0.00	-3447.47	MIN

Combinazione n° 12 - SLEQ

In	Mx [kNm]	My [kNm]	Mxy [kNm]	Tx [kN]	Ty [kN]	
182	286.57	955.23	0.00	0.00	11.91	MAX
231	-712.48	-597.37	-39.46	-23.80	-618.55	MIN
132	191.28	976.19	0.14	-0.17	569.75	MAX
214	-712.32	-1074.00	-35.19	0.00	-1321.71	MIN
214	188.51	628.37	185.41	0.00	185.75	MAX
375	-105.11	-350.37	-199.14	0.00	-3375.60	MIN
40	-16.25	-50.09	-75.20	1194.01	69.15	MAX
262	-143.68	-143.10	75.20	-1193.89	-253.53	MIN
513	-66.73	302.72	33.07	26.49	970.67	MAX
121	-122.35	-407.82	-35.19	0.00	-3447.47	MIN

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

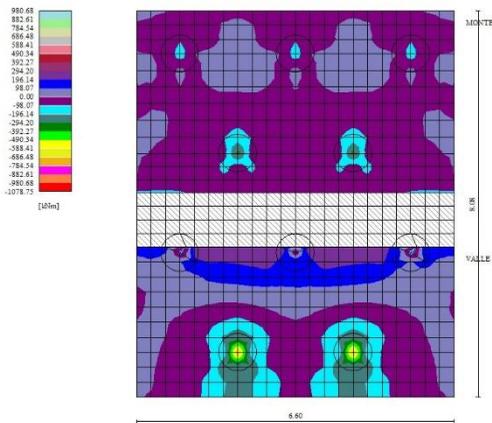


Figura 13-25 Piastra fondazione - Momenti Mx (Combinazione n° 2)

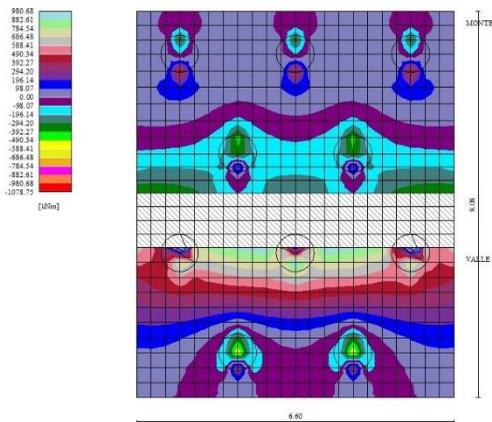


Figura 13-26 Piastra fondazione - Momenti MyMAX (Combinazione n° 2)

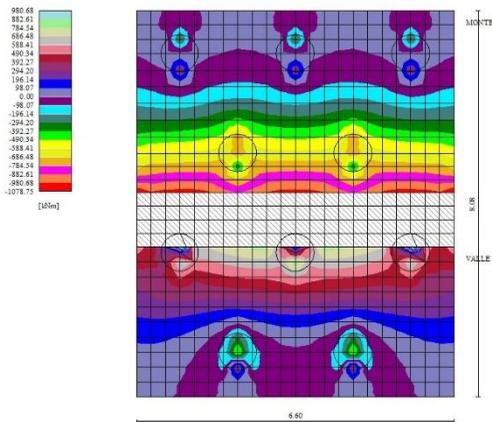


Figura 13-27 iastra fondazione - Momenti MyMIN (Combinazione n° 3)

ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO AL KM 12+751 – RELAZIONE DI CALCOLO

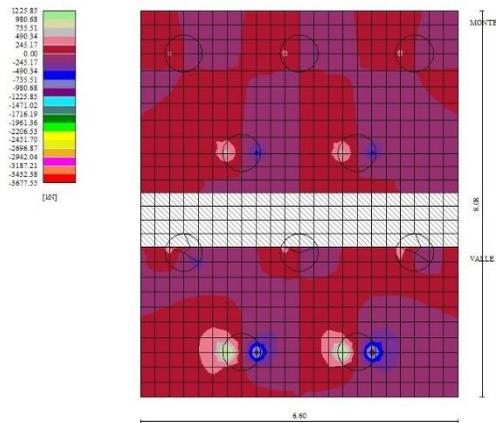


Figura 13-28 Piastra fondazione - Taglio Tx (Combinazione n° 2)

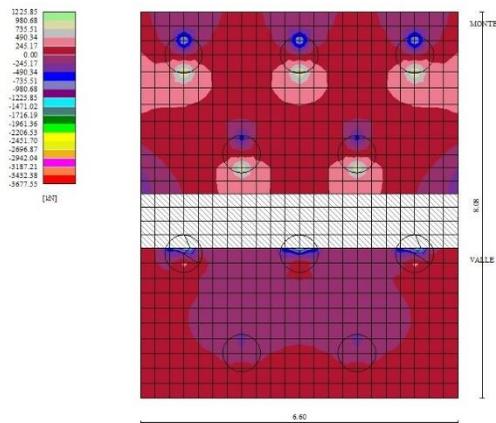


Figura 13-29 Piastra fondazione - Taglio TyMAX (Combinazione n° 4)

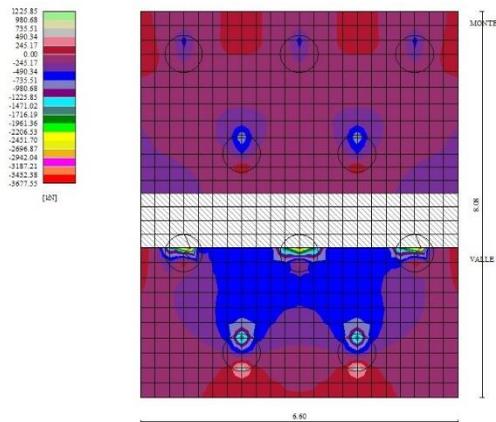


Figura 13-30 Piastra fondazione - Taglio TyMIN (Combinazione n° 2)