

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. COORDINAMENTO NO CAPTIVE E INGEGNERIA DI SISTEMA

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA

INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL PRG DELLA STAZIONE DI ELLERA

OPERE MINORI

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I R 0 B 0 2 D 1 0 C L I N 0 2 0 0 0 0 2 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	L.Dinelli 	Luglio 2020	S.Paoloni 	Luglio 2020	T.Paoletti 	Luglio 2020	L. Berardi Luglio 2020

File : IR0B.02.D.10.CL.IN02.0.0.002.A.doc

n. Elab.:

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	2 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

Indice

1	PREMESSA	5
2	DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA	7
3	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	11
3.1	NORMATIVA	11
3.2	ELABORATI DI RIFERIMENTO.....	12
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SITO.....	13
5	UNITA' DI MISURA	15
6	CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	16
7	MATERIALI	18
7.1	CALCESTRUZZO	18
7.2	ACCIAIO PER ARMATURE	19
8	ANALISI DEI CARICHI STATICI DI PROGETTO.....	20
8.1	STATICA DELLE TERRE E DELL'ACQUA	20
8.2	PESO PROPRIO DELLA PARATIA	22
8.3	AZIONE DEL SOVRACCARICO A TERGO DELLA PARATIA	22
8.4	CALCOLO INERZIA SISMICA SUL PALO	22
8.5	CALCOLO DELLA SPINTA SISMICA	22
9	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE.....	23
9.1	CRITERI DI VERIFICA STRUTTURALE.....	26
9.2	CRITERI DI VERIFICA DELLE SEZIONI IN C.A.	26
9.2.1	VERIFICHE PER GLI STATI LIMITE ULTIMI A FLESSIONE-PRESSOFLESSIONE.....	27
9.2.2	VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI A TAGLIO.....	27
10	METODO DI ANALISI - CALCOLO PARATIA	27

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	3 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

11	MODELLI DI CALCOLO	31
11.1	MODELLO 1.....	32
11.1.1	FASI DI CALCOLO	33
11.1.2	RISULTATI DELLE ANALISI	36
11.1.3	SOLLECITAZIONI MASSIME DELLA SEZIONE IN C.A.	37
11.1.4	VERIFICHE STRUTTURALI DELLA SEZIONE IN C.A.	38
11.1.5	VERIFICHE DEL PUNTONE.....	38
11.1.6	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	39
11.2	MODELLO 2.....	40
11.2.1	FASI DI CALCOLO	41
11.2.2	RISULTATI DELLE ANALISI	42
11.2.3	SOLLECITAZIONI MASSIME DELLA SEZIONE IN C.A.	43
11.2.4	VERIFICHE STRUTTURALI DELLA SEZIONE IN C.A.	44
11.2.5	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	44
11.3	MODELLO 3.....	45
11.3.1	FASI DI CALCOLO	46
11.3.2	RISULTATI DELLE ANALISI	47
11.3.3	SOLLECITAZIONI MASSIME DELLA SEZIONE IN C.A.	48
11.3.4	VERIFICHE STRUTTURALI DELLA SEZIONE IN C.A.	49
11.3.5	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	49
11.4	MODELLO 4.....	50
11.4.1	FASI DI CALCOLO	51
11.4.2	RISULTATI DELLE ANALISI	51
11.4.3	SOLLECITAZIONI MASSIME DELLA SEZIONE IN C.A.	53
11.4.4	VERIFICHE STRUTTURALI DELLA SEZIONE IN C.A.	53
11.4.5	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	58

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	4 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

11.5	MODELLO 5.....	59
11.5.1	FASI DI CALCOLO	60
11.5.2	RISULTATI DELLE ANALISI	60
11.5.3	SOLLECITAZIONI MASSIME DELLA SEZIONE IN C.A.	62
11.5.4	VERIFICHE STRUTTURALI DELLA SEZIONE IN C.A.	62
11.5.5	VERIFICHE GEOTECNICHE	66
12	RIVESTIMENTO PARATIE.....	67
12.1	PARETE	67
	VERIFICA A FLESSIONE	68
	VERIFICA A TAGLIO.....	70
12.2	SOLETTA DI FONDO.....	72
	VERIFICA A FLESSIONE	75
	VERIFICA A TAGLIO.....	78
13	INCIDENZE.....	79

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL PRG DELLA STAZIONE DI ELLERA</p>					
<p>OPERE MINORI</p> <p>Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno</p>	<p>COMMESSA</p> <p>IR0B</p>	<p>LOTTO</p> <p>02</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D10</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>CL IN0200 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>5 di 79</p>

1 PREMESSA

Nell'ambito del progetto “Potenziamento della linea Foligno–Terontola”, rientrano gli interventi di semplificazione e velocizzazione ed upgrade tecnologico presso la stazione di Assisi. Le attività prevedono la velocizzazione degli itinerari in deviata, l’adeguamento a STI dei marciapiedi di stazione e dei relativi sottopassi pedonali e l’upgrading tecnologico dell’impianto esistente ACEI in un più moderno apparato ACC.

Il Programma di Esercizio fornito come input di base dalla Committenza prevede interventi di semplificazione e velocizzazione dell’impianto. In particolare sono previste le seguenti lavorazioni:

- Sostituzione delle comunicazioni esistenti a 30 km/h con comunicazioni a 60 km/h
- Realizzazione di tronchini di indipendenza per i binari di precedenza
- Adeguamento a STI dei marciapiedi di stazione
- Costruzione nuovo sottopasso pedonale

Per la stazione di Assisi è inoltre previsto, come detto in precedenza, l’upgrade tecnologico dell’attuale apparato (con ACC telecomandabile) e conseguente riconfigurazione del Posto Centrale.

L’inizio dell’intervento è previsto alla progressiva Km 14+800 circa e termina alla progressiva Km 16+450 circa.

E’ prevista la modifica dell’attuale PRG di stazione allo schematico comunicato dal Cliente, la realizzazione di un nuovo sottopasso e dei collegamenti perdonali (rampe scale ed ascensori), innalzamento dei due marciapiedi esistenti ad H=55cm. Inoltre, verrà prevista la realizzazione di un nuovo sottopasso pedonale in aggiunta a quello esistente.

Entrambi i marciapiedi verranno dotati di due nuove pensiline ferroviarie in continuità a quelle esistenti a copertura del nuovo sottopasso.

A tal proposito, si evidenzia che per quanto riguarda il marciapiede ad isola, per il soddisfacimento del Programma di Esercizio anzidetto, si viene a determinare un ampliamento di circa 2m della banchina lato III binario. Per quanto riguarda la pensilina attuale prevista sul marciapiede del II e III binario si è deciso, d’intesa con la DTP RFI, di non

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	6 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

intervenire sull'ampliamento della pensilina esistente su detta banchina, in virtù del vincolo presente da parte della sovrintendenza BBCC sul fabbricato viaggiatori.

Verrà previsto un nuovo Fabbricato Tecnologico per ospitare la cabina ACC, i locali tecnologici e la Cabina MT/BT, quest'ultima necessaria per una migliore gestione dei carichi elettrici presenti in stazione.

Saranno previsti inoltre, dal punto di vista impiantistico:

- illuminazione punte scambi;
- impianti RED;
- illuminazione scale, sottopasso, banchine
- impianti IaP e DS

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	7 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

2 DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

Obiettivo dell'intervento è la sistemazione idraulica del fosso Bulagaio al fine di risolvere le criticità presenti nell'attraversamento esistente al di sotto della ferrovia che avviene in corrispondenza della stazione di Ellera.

La presente relazione descrive le analisi e le verifiche delle opere di sostegno relative al fosso Bulagaio, ubicate nel comune di Ellera. Queste sono costituite essenzialmente da paratie di pali di lunghezza variabile in dipendenza dell'altezza di scavo. Nei tratti con le massime altezze di scavo le paratie sono contrastate da puntoni in cemento armato di sezione rettangolare 60x100 cm e interasse 5.0 m posti in corrispondenza del cordolo di coronamento. La descrizione dei modelli di calcolo implementati per le paratie, le analisi e le verifiche sono riportate al capitolo 11.

In corrispondenza di alcuni punti specifici le paratie sono collegate al livello del cordolo per creare un attraversamento del fosso, tale collegamento è realizzato con una soletta in c.a. oggetto di specifica relazione.

Il rivestimento interno della paratia è costituito da pareti di spessore 25 cm collegate al cordolo sommitale e da una soletta di fondo di spessore 30 cm, entrambi sono oggetto di specifiche verifiche riportate al capitolo 12.

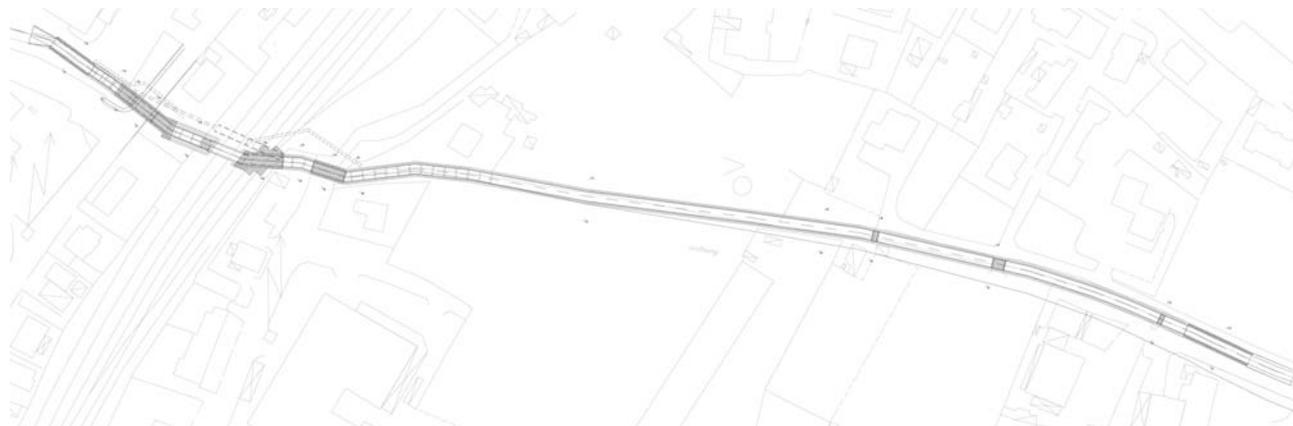


Figura 1: Planimetria

OPERE MINORI

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	8 di 79

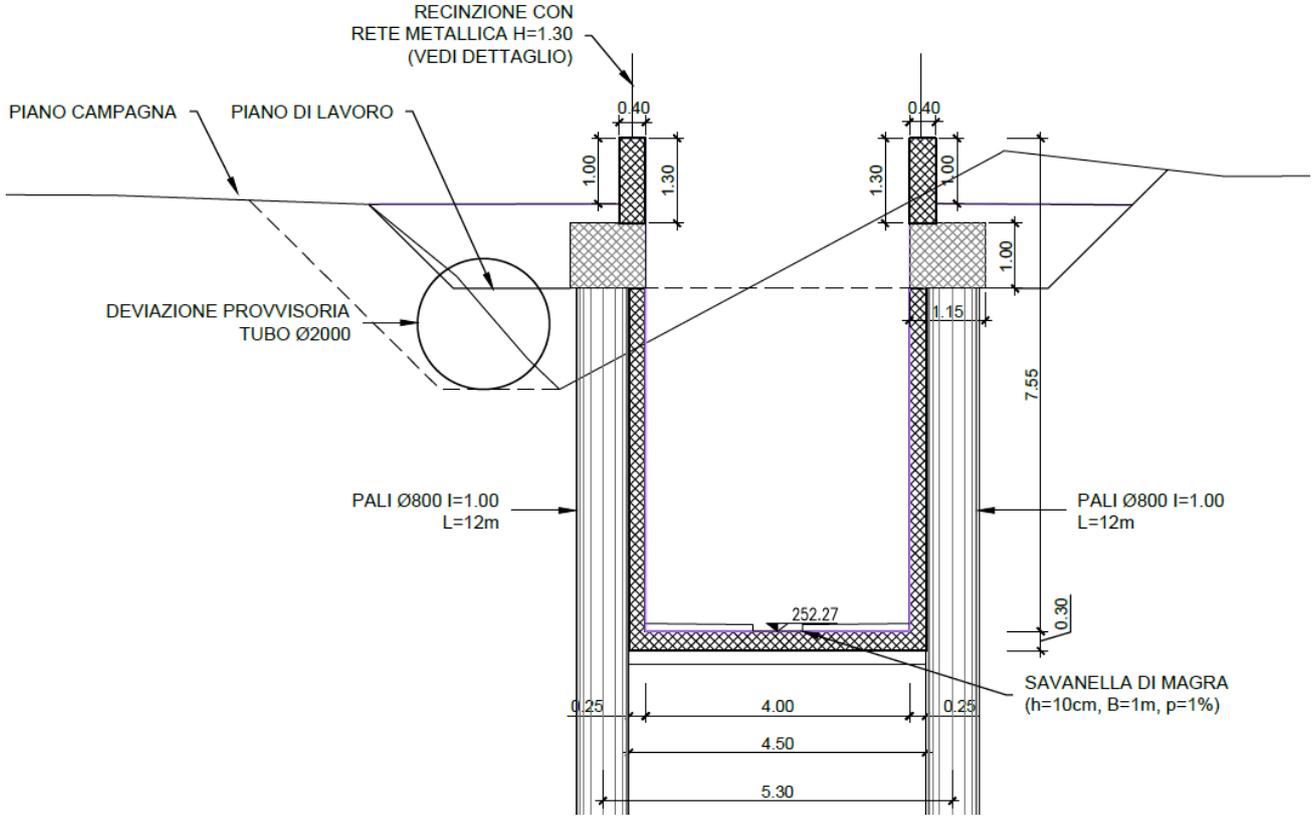


Figura 2: Sezione A-A

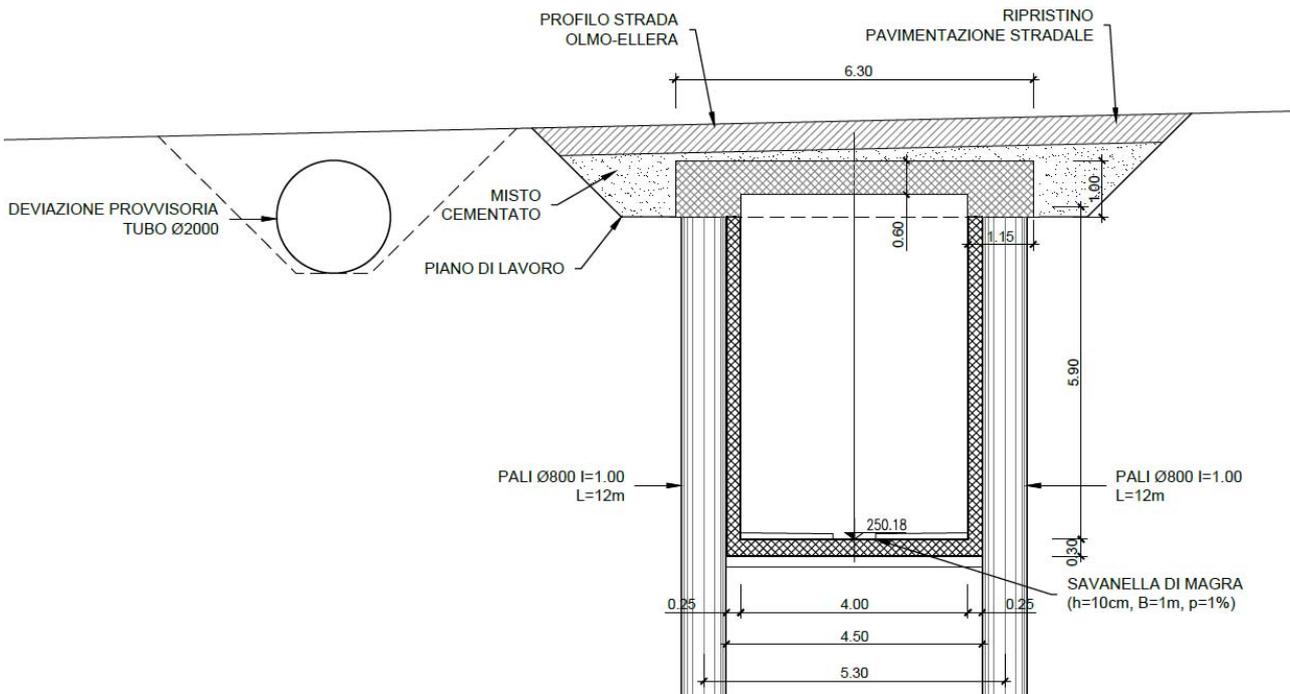


Figura 3: Sezione C-C

OPERE MINORI

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	9 di 79

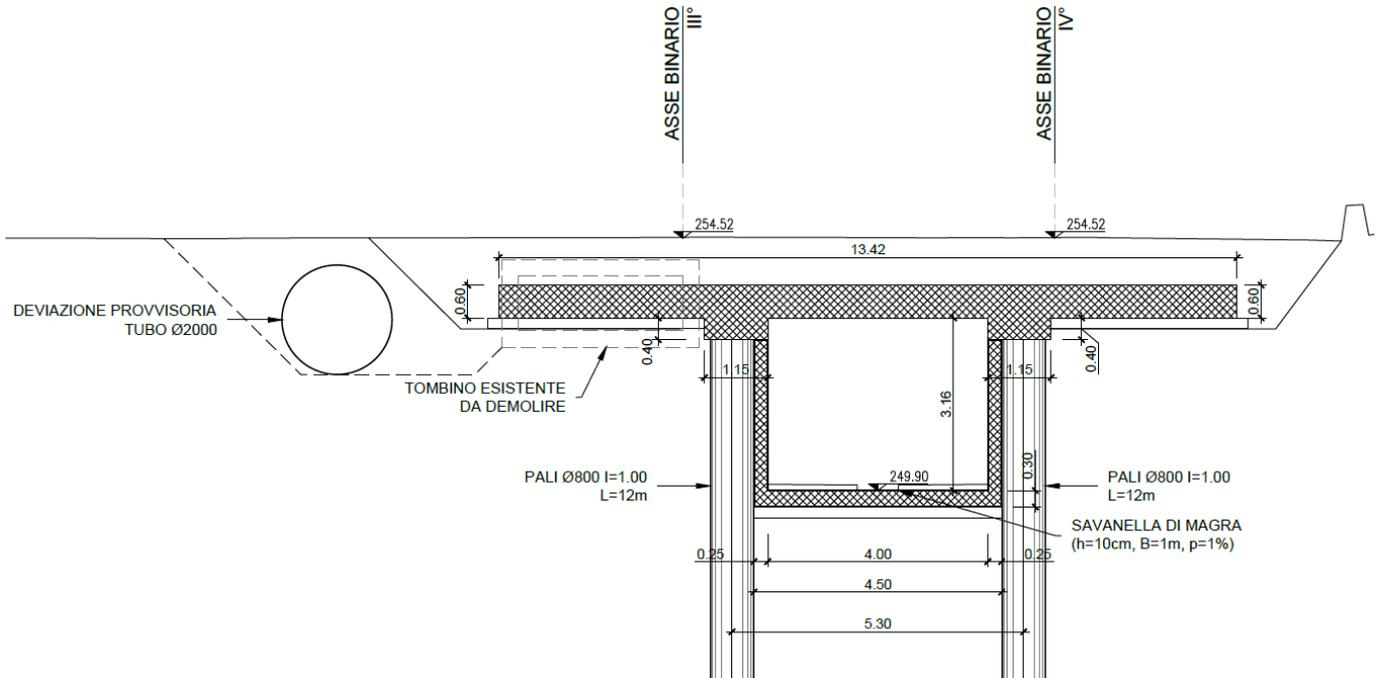


Figura 4: Sezione E-E

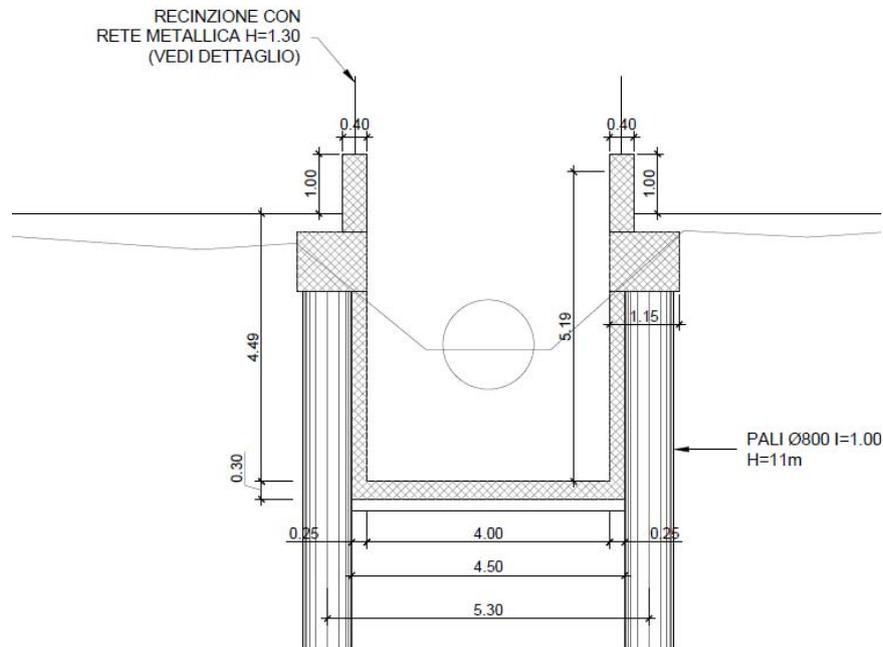


Figura 5: Sezione I-I

OPERE MINORI

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	10 di 79

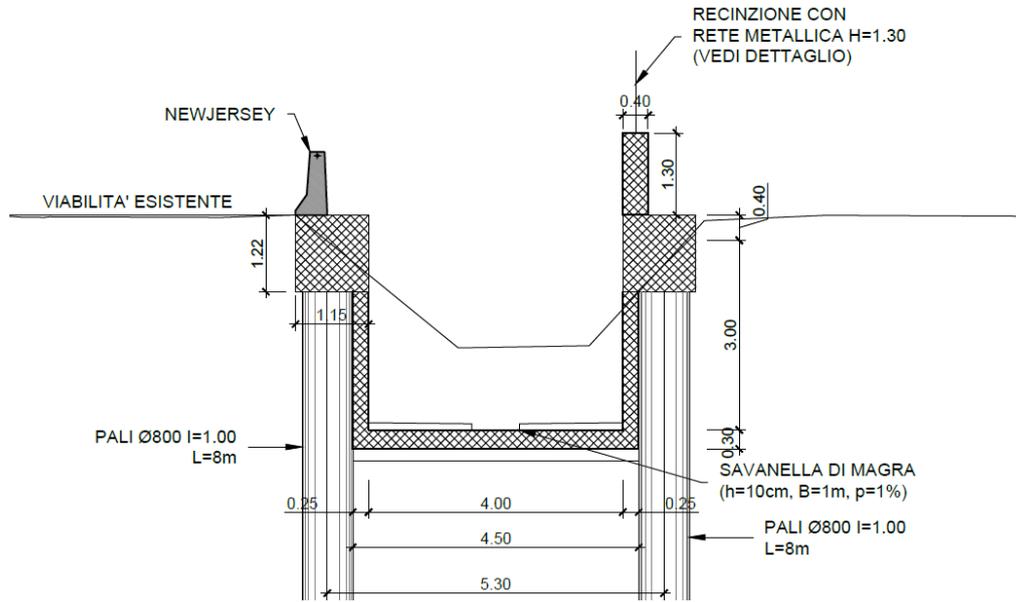


Figura 6: Sezione N1-N1

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL PRG DELLA STAZIONE DI ELLERA</p>					
<p>OPERE MINORI</p> <p>Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno</p>	<p>COMMESSA</p> <p>IR0B</p>	<p>LOTTO</p> <p>02</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D10</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>CL IN0200 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>11 di 79</p>

3 NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

3.1 Normativa

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono state effettuate in accordo con le seguenti normative.

- Legge 5-1-1971 n° 1086: Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica”;
- Legge. 2 febbraio 1974, n. 64. Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- D.M. 17 gennaio 2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Circolare 21 gennaio 2019 n.7 ” Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”;
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE I / Aspetti Generali (RFI DTC SI MA IFS 001 A)
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 2 / Ponti e Strutture (RFI DTC SI PS MA IFS 001 A– rev 30/12/2016)
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 3 / Corpo Stradale (RFI DTC SI CS MA IFS 001 A– rev 30/12/2016)
- Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 5 / Prescrizioni per i Marciapiedi e le Pensiline delle Stazioni Ferroviarie a servizio dei Viaggiatori (RFI DTC SI CS MA IFS 002 A– rev 30/12/2016)
- Regolamento (UE) N.1299/2014 della Commissione del 18 Novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione europea
- Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture, Parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento (UNI EN 1991-1-4)
- UNI 11104: Calcestruzzo: Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l’applicazione della EN 206-1

Si è tenuto inoltre conto dei seguenti documenti:

- *UNI EN 1990 – Aprile 2006: Eurocodice: Criteri generali di progettazione strutturale.*

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	12 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

- UNI EN 1991-1-1 – Agosto 2004: Eurocodice 1 – Parte 1-1: Azioni in generale – Pesì per unità di volume, pesì propri e sovraccarichi variabili.
- UNI EN 1991-1-4 – Luglio 2005: Eurocodice 1. Azioni sulle strutture. Parte 1-4: Azioni in generale - Azioni del vento.
- UNI EN 1992-1-1 – Novembre 2005: Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- UNI EN 1992-2 – Gennaio 2006: Eurocodice 2. Progettazione delle strutture di calcestruzzo. Parte 2: Ponti di calcestruzzo – Progettazione e dettagli costruttivi.
- UNI-EN 1997-1 – Febbraio 2005: Eurocodice 7. Progettazione geotecnica. Parte 1: Regole generali.
- UNI-EN 1998-5 – Gennaio 2005: Eurocodice 8: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- UNI EN 206-1-2016: Calcestruzzo. “Specificazione, prestazione, produzione e conformità”.
- Calcestruzzo Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l’applicazione della EN 206-1 UNI 11104/2016;
- RFI DTC SI MA IFS 001 D – Dicembre 2019: Manuale di progettazione delle opere civili;
- RFI DTC SI SP IFS 001 D – Dicembre 2019: Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili – RFI;
- Regolamento (UE) N. 1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;

3.2 Elaborati di riferimento

Costituiscono parte integrante di quanto esposto nel presente documento, l’insieme degli elaborati di progetto specifici relativi all’opera in esame e riportati in elenco elaborati.

OPERE MINORI																										
Fosso Bulagaio - relazione di calcolo solette di copertura	I	R	0	B	0	2	D	1	0	C	L	I	N	0	2	0	0	0	0	0	1	A				
Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno	I	R	0	B	0	2	D	1	0	C	L	I	N	0	2	0	0	0	0	0	2	A				
Fosso Bulagaio - relazione di calcolo monolite	I	R	0	B	0	2	D	1	0	C	L	I	N	0	2	0	0	0	0	0	3	A				
Fosso Bulagaio - Planimetria generale e Profilo Longitudinale dell'intervento	I	R	0	B	0	2	D	1	0	A	7	I	N	0	2	0	0	0	0	0	1	A				
Fosso Bulagaio - pianta, sezione longitudinale e sezioni trasversali tratto 1	I	R	0	B	0	2	D	1	0	P	A	I	N	0	2	0	0	0	0	0	1	A				
Fosso Bulagaio - pianta, sezione longitudinale e sezioni trasversali tratto 2	I	R	0	B	0	2	D	1	0	P	A	I	N	0	2	0	0	0	0	0	2	A				
Fosso Bulagaio - pianta, sezione longitudinale e sezioni trasversali tratto 3	I	R	0	B	0	2	D	1	0	P	A	I	N	0	2	0	0	0	0	0	3	A				
Fosso Bulagaio - pianta, sezione longitudinale e sezioni trasversali tratto 4	I	R	0	B	0	2	D	1	0	P	A	I	N	0	2	0	0	0	0	0	4	A				
Fosso Bulagaio - pianta, sezione longitudinale e sezioni trasversali tratto 5	I	R	0	B	0	2	D	1	0	P	A	I	N	0	2	0	0	0	0	0	5	A				
Fosso Bulagaio - pianta, sezione longitudinale e sezioni trasversali tratto 6	I	R	0	B	0	2	D	1	0	P	A	I	N	0	2	0	0	0	0	0	6	A				
Fosso Bulagaio - pianta, sezione longitudinale e sezioni trasversali tratto 7	I	R	0	B	0	2	D	1	0	P	A	I	N	0	2	0	0	0	0	0	7	A				
Fosso Bulagaio - pianta, sezione longitudinale e sezioni trasversali tratto 8	I	R	0	B	0	2	D	1	0	P	A	I	N	0	2	0	0	0	0	0	8	A				

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	13 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SITO

Dal punto di vista geotecnico le unità che caratterizzano le stratigrafia di progetto sono le seguenti:

- R: materiale di riporto;
- T1 e T2: travertino fratturato, ghiaie e sabbie. Seppur geologicamente accomunate in un'unica litologia (PGL3a), dal punto di vista geotecnico si è preferito operare la suddivisione nelle due unità indicate sulla base della risposta ottenuta dalle prove SPT e da quelle geofisiche. Inoltre, considerando l'elevato stato di fratturazione e alterazione descritto nei report stratigrafici, per il travertino è stato cautelativamente assunto un approccio di caratterizzazione da terreno sabbioso (grana grossa);
- LA: limi, limi argillosi, limi sabbiosi e argille con locali intercalazioni di sabbie e ghiaie. Rappresenta l'unità geologica PGU1a.

L'interpretazione delle prove in sito e di laboratorio ha condotto alla definizione dei seguenti valori dei parametri meccanici per i terreni tipo individuati:

Unità	γ	ϕ'	c'	c_u	G_0	E_{op}	k
	kN/m ³	(°)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	(m/s)
T1	19.0	32÷35	0	-	95 ÷ 200	20 ÷ 50	1E-04 ÷ 1E-05
T2	19.0	34÷38	0	-	175 ÷ 310	40 ÷ 75	1E-04 ÷ 1E-05
LA	20.0	22÷24	5 ÷ 10	100 ÷ 250	350 ÷ 500	85 ÷ 120	1E-07 ÷ 1E-08

La stratigrafia è stata dedotta direttamente dal profilo geotecnico tracciando una sezione in corrispondenza del fosso.

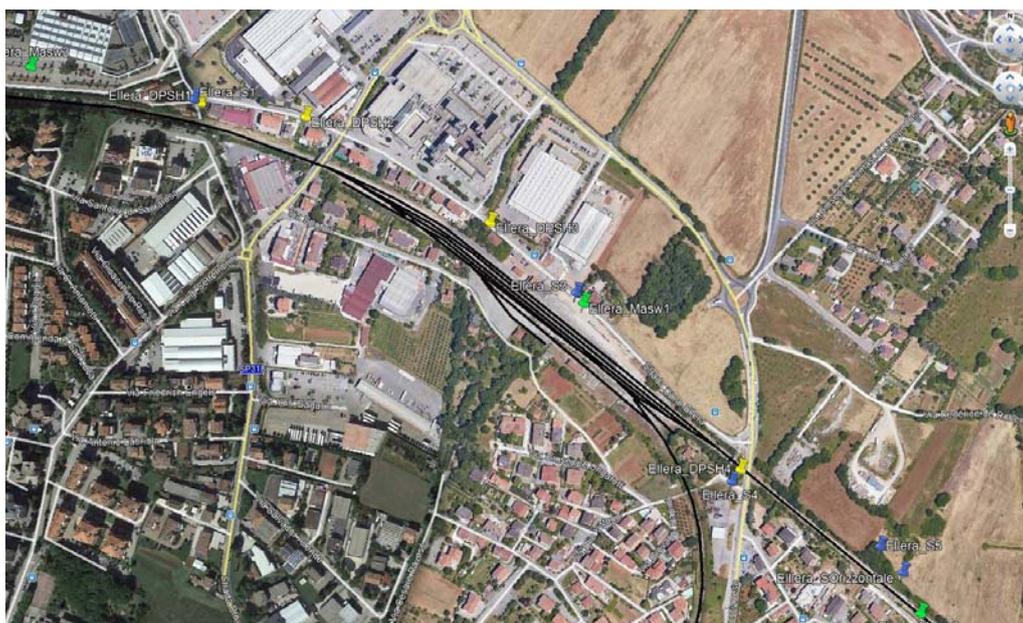


Figura 7 - Ubicazione indagini di fase PD - Google Earth

I dati della falda libera indicano un livello piezometrico che si attesta a circa 7.0 m dal piano campagna.

OPERE MINORI

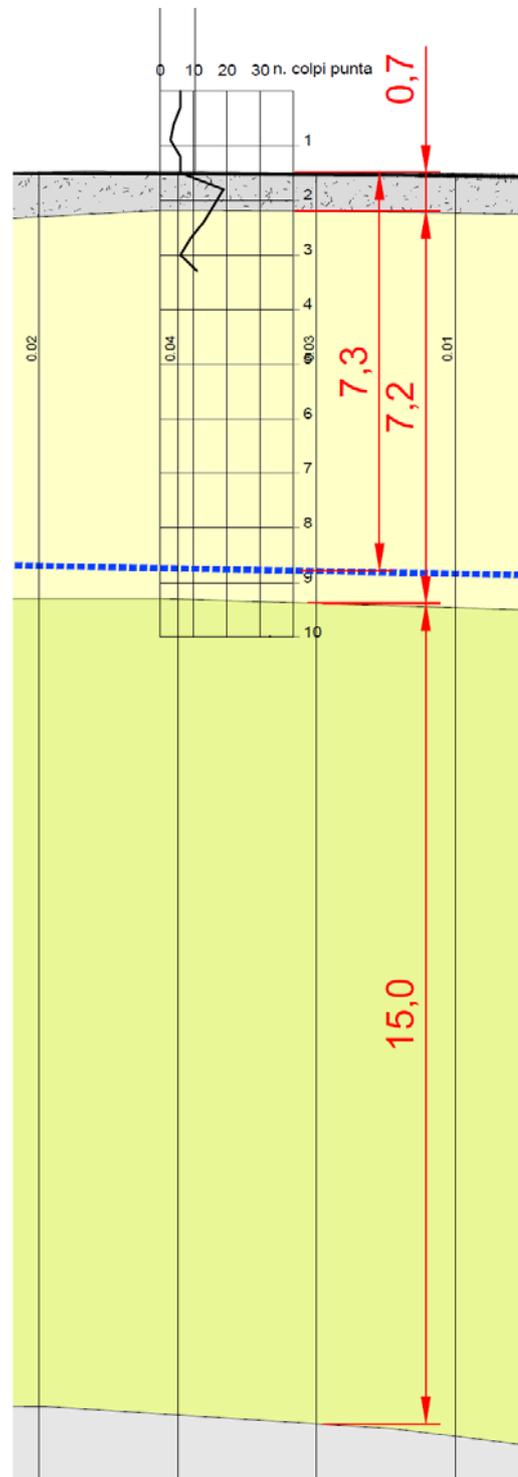
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	14 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

strato	profondità da	profondità a
	m da pc	m da pc
R	0	1.0
T1	1.0	8.0
T2	8.0	23.0
LA	23.0	-

Tabella 1 - Stratigrafia di calcolo Materiali in sito.

Dal punto di vista sismico il terreno è classificato di tipo B.



OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	15 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

5 UNITA' DI MISURA

Le unità di misura usate nella presente relazione sono:

- lunghezze [m]
- forze [kN]
- momenti [kNm]
- tensioni [MPa]

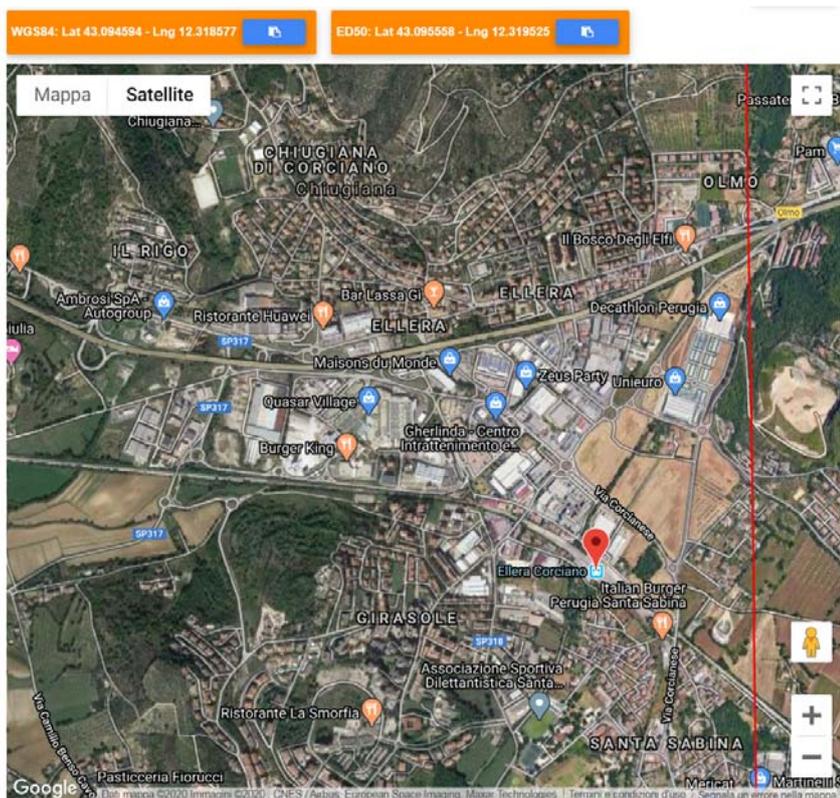
OPERE MINORI

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	16 di 79

6 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

La determinazione dell'azione sismica è stata svolta sulla base della normativa vigente con l'utilizzo del software freeware di geostru "Parametri Sismci". Tale software in funzione delle coordinate del sito, della vita utile e della categoria di sottosuolo fornisce i parametri sismici necessari alla definizione delle azioni sismiche.



Le coordinate geografiche espresse in questo file sono in ED50

Tipo di elaborazione:

Sito in esame.

latitudine: 43,096335 [°]

longitudine: 12,318778 [°]

Classe d'uso: II. Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Vita nominale: 50 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	17 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno
Siti di riferimento.

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	23181	43,078340	12,257930	5331,1
Sito 2	23182	43,079050	12,326400	2019,2
Sito 3	22960	43,129040	12,325480	3677,1
Sito 4	22959	43,128330	12,256970	6150,6

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente cu: 1

	Prob. superamento [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	30	0,059	2,505	0,268
Danno (SLD)	63	50	0,073	2,493	0,277
Salvaguardia della vita (SLV)	10	475	0,172	2,438	0,307
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	975	0,214	2,462	0,316

Coefficienti Sismici

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,200	1,430	1,000	0,050	--	0,692	0,705
SLD	1,200	1,420	1,000	0,062	--	0,857	0,705
SLV	1,200	1,390	1,000	0,145	--	2,020	0,705
SLC	1,190	1,380	1,000	0,179	--	2,497	0,705

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	18 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

7 MATERIALI

7.1 CALCESTRUZZO

Calcestruzzo pali C25/30

Classe di resistenza = C25/30

γ_c = peso specifico = 25.00 kN/m³

R_{ck} = resistenza cubica = 30.00 N/mm²

f_{ck} = resistenza cilindrica caratteristica = $0.83 \cdot R_{ck} = 24.9$ N/mm²

f_{cm} = resistenza cilindrica media = $f_{ck} + 8 = 32.9$ N/mm²

f_{ctm} = resistenza a trazione media = $0.30 \cdot f_{ck}^{2/3} = 2.558$ N/mm²

f_{ctfm} = resistenza a traz. per flessione media = $1.20 \cdot f_{ctm} = 3.07$ N/mm²

f_{ctfk} = resistenza a traz. per flessione caratt. = $0.70 \cdot f_{ctfm} = 1.79$ N/mm²

E_{cm} = modulo elast. tra 0 e $0.40f_{cm} = 22000 \cdot (f_{cm}/10)^{0.3} = 31447.16$ N/mm²

Classe minima di consistenza S4

Classe di esposizione XC2

Copriferro 60 mm

Calcestruzzo del cordolo e del rivestimento interno delle paratie C28/35

Classe di resistenza = C28/35

γ_c = peso specifico = 25.00 kN/m³

R_{ck} = resistenza cubica = 35.00 N/mm²

f_{ck} = resistenza cilindrica caratteristica = $0.83 \cdot R_{ck} = 29.05$ N/mm²

f_{cm} = resistenza cilindrica media = $f_{ck} + 8 = 37.05$ N/mm²

f_{ctm} = resistenza a trazione media = $0.30 \cdot f_{ck}^{2/3} = 2.83$ N/mm²

f_{ctfm} = resistenza a traz. per flessione media = $1.20 \cdot f_{ctm} = 3.40$ N/mm²

f_{ctfk} = resistenza a traz. per flessione caratt. = $0.70 \cdot f_{ctfm} = 2.38$ N/mm²

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	19 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

$$E_{cm} = \text{modulo elast. tra } 0 \text{ e } 0.40f_{cm} = 22000 \cdot (f_{cm}/10)^{0.3} = 32588.11 \text{ N/mm}^2$$

Classe minima di consistenza S4

Classe di esposizione XC2

Copriferro 40 mm

7.2 ACCIAIO PER ARMATURE

Tipo = B 450 C

$$\gamma_a = \text{peso specifico} = 78.50 \text{ kN/m}^3$$

$$f_{y \text{ nom}} = \text{tensione nominale di snervamento} = 450 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t \text{ nom}} = \text{tensione nominale di rottura} = 540 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yk \text{ min}} = \text{minima tensione caratteristica di snervamento} = 450 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{tk \text{ min}} = \text{minima tensione caratteristica di rottura} = 540 \text{ N/mm}^2$$

$$(f_t/f_y)_{k \text{ min}} = \text{minimo rapporto tra i valori caratteristici} = 1.15$$

$$(f_t/f_y)_{k \text{ max}} = \text{massimo rapporto tra i valori caratteristici} = 1.35$$

$$(f_y/f_{y \text{ nom}})_k = \text{massimo rapporto tra i valori nominali} = 1.25$$

$$(A_{gt})_k = \text{allungamento caratteristico sotto carico massimo} = 7.5 \%$$

$$E = \text{modulo di elasticità dell'acciaio} = 206000 \text{ N/mm}^2$$

Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche:

$$\emptyset < 12 \text{ mm} \quad \rightarrow 4 \emptyset;$$

$$12 \leq \emptyset \leq 16 \text{ mm} \quad \rightarrow 5 \emptyset;$$

$$16 < \emptyset \leq 25 \text{ mm} \quad \rightarrow 8 \emptyset;$$

$$25 < \emptyset \leq 40 \text{ mm} \quad \rightarrow 10 \emptyset.$$

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	20 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

8 ANALISI DEI CARICHI STATICI DI PROGETTO

8.1 STATICA DELLE TERRE E DELL'ACQUA

La spinta del terreno viene determinata investigando l'interazione statica tra il terreno e la struttura deformabile, a partire da uno stato di spinta a riposo del terreno sulla paratia.

I parametri che identificano il tipo di legge costitutiva possono essere distinti in due sottoclassi: parametri di spinta e parametri di deformabilità del terreno.

I parametri di spinta sono il coefficiente di spinta a riposo k_0 , il coefficiente di spinta attiva k_A e il coefficiente di spinta passiva k_P .

Il coefficiente di spinta a riposo fornisce lo stato tensionale presente in sito prima delle operazioni di scavo. Esso lega la tensione orizzontale efficace σ'_h a quella verticale σ'_v attraverso la relazione:

$$\sigma'_h = k_0 \cdot \sigma'_v$$

K_0 dipende dalla resistenza del terreno, attraverso il suo angolo di attrito efficace φ' , e dalla sua storia geologica. Si può assumere che:

$$k_0 = K_0^{NC} \cdot (OCR)^m$$

Dove

$$k_0^{NC} = 1 - \tan \varphi'$$

è il coefficiente di spinta a riposo per un terreno normalconsolidato ($OCR=1$). OCR è il grado di sovraconsolidazione e m è un parametro empirico, di solito compreso tra 0.4 e 0.7.

Il coefficiente di spinta attiva e passiva sono dati secondo Rankine per una parete liscia, da:

$$k_A = \tan^2(45 - \varphi'/2)$$

$$k_P = \tan^2(45 + \varphi'/2)$$

Per tener conto dell'angolo di attrito δ tra paratia e terreno il software Paratie impiega per k_A e k_P la formulazione rispettivamente di Coulomb e Caquot – Kerisel.

Formulazione di Coulomb per k_A :

$$k_a = \frac{\cos^2(\varphi' - \beta)}{\cos^2 \beta \cdot \cos(\beta + \delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi') \cdot \sin(\varphi' - i)}{\cos(\beta + \delta) \cdot \cos(\beta - i)}} \right]^2}$$

dove:

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	21 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

φ' è l'angolo di attrito del terreno

β è l'angolo d'inclinazione del diaframma rispetto alla verticale

δ è l'angolo di attrito paratia-terreno

i è l'angolo d'inclinazione del terreno a monte della paratia rispetto all'orizzontale

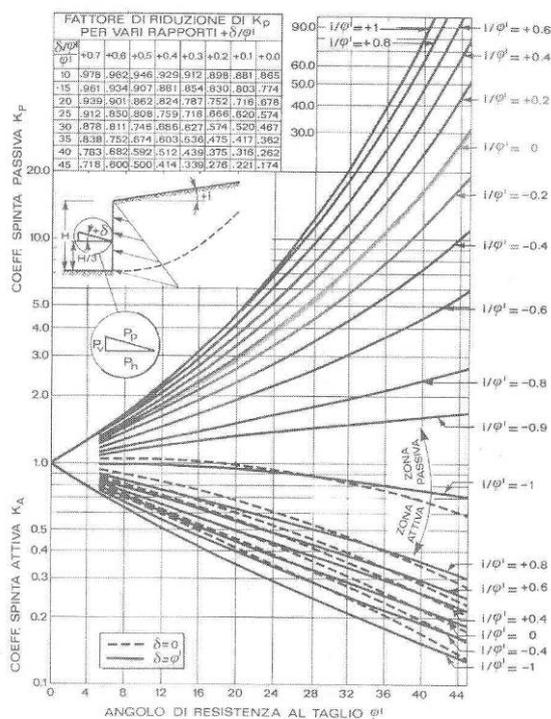


Figura 8 – Formulazione di Caquot – Kerisel per k_p che considera superfici di rottura curvilinee.

Il valore limite della tensione orizzontale sarà dato da:

$$\sigma_h = K_a \sigma_v - 2c' \sqrt{K_a}$$

$$\sigma_h = K_p \sigma_v + 2c' \sqrt{K_p}$$

a seconda che il collasso avvenga rispettivamente in spinta attiva o passiva.

c' è la coesione efficace del terreno.

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	22 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

8.2 PESO PROPRIO DELLA PARATIA

Il peso proprio del palo è pari a:

$$P_{\text{palo}} = \pi \cdot 0.8^2 \cdot 25 / 4 = 12.56 \text{ kN/palo}$$

Il peso proprio del cordolo sarà dato dall'area del cordolo per il peso specifico del calcestruzzo.

8.3 AZIONE DEL SOVRACCARICO A TERGO DELLA PARATIA

In fase di scavo provvisorio si adotta un sovraccarico pari a 10 kN/m² dovuto ai mezzi di cantiere. In fase di esercizio si considera un sovraccarico distribuito pari a 40 kN/m² e 20 kN/m² a seconda che la paratia sia a sostegno della soletta ferroviaria o stradale rispettivamente.

Per quelle paratie che corrono in affiancamento a strade urbane si considera anche il carico associato all'urto di un veicolo su un eventuale new jersey montato in sommità al cordolo. Secondo quanto riportato in NTC2018 al paragrafo 3.6.3.3.1 per una strada urbana è possibile considerare un carico di 50 kN applicato ad una quota di 1.0 m dal piano stradale (vedi modello 4 e 5 al capitolo 11).

8.4 CALCOLO INERZIA SISMICA SUL PALO

L'inerzia sismica è calcolata dal programma in automatico, attraverso la relazione:

$$F_{h, \text{palo}} = k_h \cdot W$$

8.5 CALCOLO DELLA SPINTA SISMICA

- Paratie libere in testa

L'effetto del sisma è tenuto in conto applicando un incremento di spinta del terreno valutato secondo la teoria di Mononobe – Okabe, agente direttamente sulla paratia secondo una distribuzione uniforme sull'intera altezza dell'opera.

$$\Delta S_E = \left[\frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot (K_{AE} - K_A) \right] / H,$$

dove γ rappresenta il peso dell'unità di volume della formazione con la quale l'opera interagisce, H rappresenta l'altezza totale dell'opera (comprensiva del tratto infisso), K_{AE} e K_A rappresentano i coefficienti di spinta attiva in condizioni sismiche e statiche rispettivamente.

I coefficienti di spinta attiva sono stati determinati attraverso la relazione di Mononobe (1929) e Okabe (1926). I coefficienti di spinta passiva sono stati determinati attraverso la relazione di Lancellotta (2007). L'angolo di attrito terreno/struttura, δ , è stato assunto pari a zero.

- Paratie puntonate

Le spinte delle terre, considerando la paratia puntonata in testa una struttura rigida e priva di spostamenti (par. 7.11.6.2.1 D.M. 17.01.18), sono calcolate attraverso la trattazione di Wood valida per pareti che accettano piccoli spostamenti:

$$\Delta F_E = S \cdot a_g / g \cdot \gamma \cdot H_{\text{tot}}^2$$

e va a sommarsi alle condizioni statiche.

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	23 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

9 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE

Le combinazioni di carico prese in considerazione nelle verifiche sono state definite in base a quanto prescritto dalle NTC2018 al par.2.5.3:

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

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

Combinazione caratteristica (Rara), impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche delle tensioni d'esercizio:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} \dots;$$

Combinazione Frequente, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili, da utilizzarsi nelle verifiche a fessurazione:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} \dots;$$

Combinazione Quasi Permanente, impiegata per gli effetti a lungo termine, da utilizzarsi nelle verifiche a fessurazione:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} \dots;$$

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

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza γ_F , γ_M e γ_R , nonché i coefficienti di combinazione ψ delle azioni, sono dati dalle tabelle NTC2018 5.2.V, 5.2.VI, 6.2.II e 6.4.II che vengono riportate nel seguito.

L'analisi mira a garantire la sicurezza e le prestazioni attese attraverso il conseguimento dei seguenti requisiti:

- sicurezza nei confronti degli Stati Limite di Esercizio.
- sicurezza nei confronti degli Stati Limite Ultimi

Tali verifiche sono state effettuate applicando il primo approccio progettuale (Approccio 1) che prevede le due seguenti combinazioni di coefficienti:

- Combinazione 1: A1+M1+R1 (STR)
- Combinazione 2: A2+M2+R1 (GEO)

Le verifiche delle strutture di sostegno sono state condotte nei riguardi dei seguenti stati limite ultimi (SLU):

- raggiungimento della resistenza del complesso opera-terreno;

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	24 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

- instabilità globale dell'insieme terreno-opera;
- raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali.

Per le verifiche di stabilità globale è stata impiegata l'Approccio 1 Combinazione 2 (A2+M2+R2 – tabb. 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I delle NTC2018).

		coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO	combinazione eccezionale	combinazione sismica
carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00
	sfavorevoli		1.10	1.35	1.00	1.00	1.00
carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00
	sfavorevoli		1.50	1.50	1.30	1.00	1.00
ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0.90	0.00	0.00	1.00	1.00
	sfavorevoli		1.50	1.50	1.30	1.00	1.00
carichi variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	sfavorevoli		1.45	1.45	1.25	0.20 ⁽⁵⁾	0.20 ⁽⁵⁾
carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	sfavorevoli		1.50	1.50	1.30	1.00	0.00
precompressione	favorevoli	γ_P	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00
	sfavorevoli		1.00 ⁽⁶⁾	1.00 ⁽⁷⁾	1.00	1.00	1.00

(1) equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.

(2) nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

(3) quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.

(4) le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.

(5) aliquota di carico da traffico da considerare.

(6) 1.30 per instabilità in strutture con precompressione esterna.

(7) 1.20 per effetti locali.

Tabella 2 – Tabella 5.2.V delle NTC2018 – coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU, eccezionali e sismica.

Nella Tabella 5.2.V il significato dei simboli è il seguente:

γ_{G1} coefficiente parziale del peso proprio della struttura, del terreno e dell'acqua, quando pertinente;

γ_{G2} coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	25 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

γ_B coefficiente parziale del peso proprio del ballast;

γ_Q coefficiente parziale delle azioni variabili da traffico;

γ_{Qi} coefficiente parziale delle azioni variabili.

azioni		ψ_0	ψ_1	ψ_2
azioni singole da traffico	carico sul rilevato a tergo delle spalle	0.80	0.50	0.00
	azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0.80	0.50	0.00
gruppi di carico	gr_1	0.80 ⁽²⁾	0.80 ⁽¹⁾	0.00
	gr_2	0.80 ⁽²⁾	0.80 ⁽¹⁾	-
	gr_3	0.80 ⁽²⁾	0.80 ⁽¹⁾	0.00
	gr_4	1.00	1.00 ⁽¹⁾	0.00
azioni del vento	F_{wk}	0.60	0.50	0.00
azioni da neve	in fase di esecuzione	0.80	0.00	0.00
	SLU e SLE	0.00	0.00	0.00
azioni termiche	T_k	0.60	0.60	0.50

Tabella 3 – Tabella 5.2.VI delle NTC08 – coefficienti di combinazione ψ delle azioni.

(1) 0.80 se è carico solo un binario, 0.60 se sono carichi due binari e 0.40 se sono carichi tre o più binari.

(2) Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0.0.

parametro	grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	coefficiente parziale γ_M	M1	M2
tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan\varphi'$	$\gamma_{\varphi'}$	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

Tabella 4 – Tabella 6.2.II delle NTC08 – coefficienti parziali di sicurezza per i parametri geotecnici del terreno.

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	26 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

Si ottengono le seguenti combinazioni di carico per le verifiche:

	A1+M1+R1
Peso proprio palo	1.00/1.35
Spinta terreno	1.35
Sovraccarico a tergo della paratia	1.50

	A2+M2+R1
Peso proprio palo	1.00
Spinta terreno	1.00
Sovraccarico a tergo della paratia	1.30

	SISMICA STR
Peso proprio palo	1.00
Spinta terreno	1.00
Sovraccarico a tergo della paratia	0.20
Inerzia orizzontale: palo + spinta sismica terreno	1.00

	SISMICA GEO
Peso proprio palo+soletta	1.00
Spinta terreno	1.00
Sovraccarico a tergo della paratia	0.20
Inerzia orizzontale: palo + spinta sismica terreno	1.00

9.1 CRITERI DI VERIFICA STRUTTURALE

Le verifiche di resistenza delle sezioni sono eseguite secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite. I coefficienti di sicurezza adottati sono i seguenti:

-coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo: 1.50;

-coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio in barre: 1.15.

Il paragrafo in oggetto illustra nel dettaglio i criteri generali adottati per le verifiche strutturali condotte nel progetto.

9.2 CRITERI DI VERIFICA DELLE SEZIONI IN C.A.

Per le sezioni in cemento armato si effettuano:

-verifiche per gli stati limite ultimi a presso-flessione;

-verifiche per gli stati limite ultimi a taglio;

-verifiche per gli stati limite di esercizio.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA FOLIGNO-TERONTOLA INTERVENTI DI SEMPLIFICAZIONE E VELOCIZZAZIONE SUL PRG DELLA STAZIONE DI ELLERA</p>					
<p>OPERE MINORI</p> <p>Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno</p>	<p>COMMESSA</p> <p>IR0B</p>	<p>LOTTO</p> <p>02</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D10</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>CL IN0200 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>27 di 79</p>

9.2.1 VERIFICHE PER GLI STATI LIMITE ULTIMI A FLESSIONE-PRESSOFLESSIONE

Allo stato limite ultimo, le verifiche a flessione o presso-flessione vengono condotte confrontando (per le sezioni più significative) le resistenze ultime e le sollecitazioni massime agenti, valutando di conseguenza il corrispondente fattore di sicurezza.

9.2.2 VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI A TAGLIO

La verifica allo stato limite ultimo per azioni di taglio è condotta secondo quanto prescritto dal D.M. 17/01/2018, per elementi privi di armatura trasversale resistente a taglio.

$$V_{Rd,c} = \max \left\{ \left[0.18 \frac{f_{ctk}}{\gamma_c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d; (v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right\}$$

10 METODO DI ANALISI - CALCOLO PARATIA

Il calcolo agli elementi finiti delle paratie è stato effettuato utilizzando il codice PARATIE PLUS prodotto dalla “CeAs” – Milano – ITA.

Gli effetti nelle opere di sostegno flessibile delle spinte del terreno e di eventuali azioni concentrate sono stati esaminati con l’ausilio del programma di calcolo per l’analisi di strutture di sostegno flessibili PARATIE PLUS.

PARATIE analizza il comportamento meccanico di una struttura di sostegno flessibile di uno scavo in terreno o roccia, ponendo l’accento sull’aspetto dell’interazione “locale” fra parete e terreno.

Lo studio di una parete flessibile è condotto attraverso una simulazione numerica del reale: il programma stabilisce e risolve un sistema di equazioni algebriche la cui soluzione permette di riprodurre abbastanza realisticamente l’effettivo comportamento dell’opera di sostegno.

La simulazione numerica utilizzata segue due differenti percorsi:

-Analisi classica = viene eseguita una analisi all’equilibrio limite della singola o doppia paratia. Il calcolo delle sollecitazioni avviene per mezzo delle teorie classiche. Il calcolo degli spostamenti avviene tramite un’analisi elastica semplificata considerando lo schema di carico e di vincoli imposti dall’utente.

-Analisi non lineare secondo un modello “a molle” elasto plastiche” per la parte terreno. La schematizzazione in elementi finiti avviene in questo modo:

si analizza un problema piano (nel piano Y-Z): i gradi di libertà nodali attivi sono lo spostamento laterale e la rotazione fuori piano: gli spostamenti verticali sono automaticamente vincolati (di conseguenza le azioni assiali nelle pareti verticali non sono calcolate);

- la parete flessibile di sostegno vera e propria è schematizzata da una serie di elementi finiti BEAM verticali;
- il terreno, che spinge contro la parete (da monte e da valle) e che reagisce in modo complesso alle deformazioni della parete, è simulato attraverso un doppio letto di molle elasto-plastiche connesse agli stessi nodi della parete;
- Si è adottato un valore dell’angolo di attrito terreno paratia, δ , pari 0.5ϕ . In sismica tale valore è nullo.

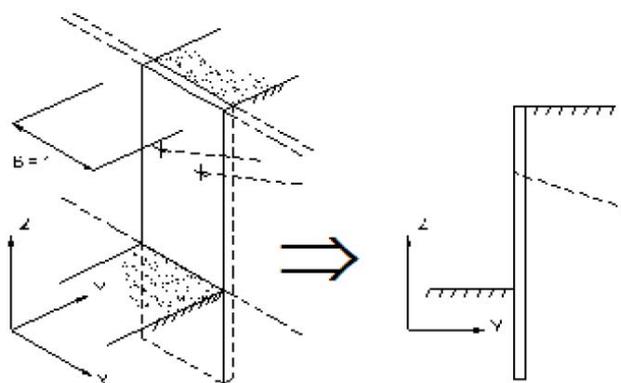
OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	28 di 79

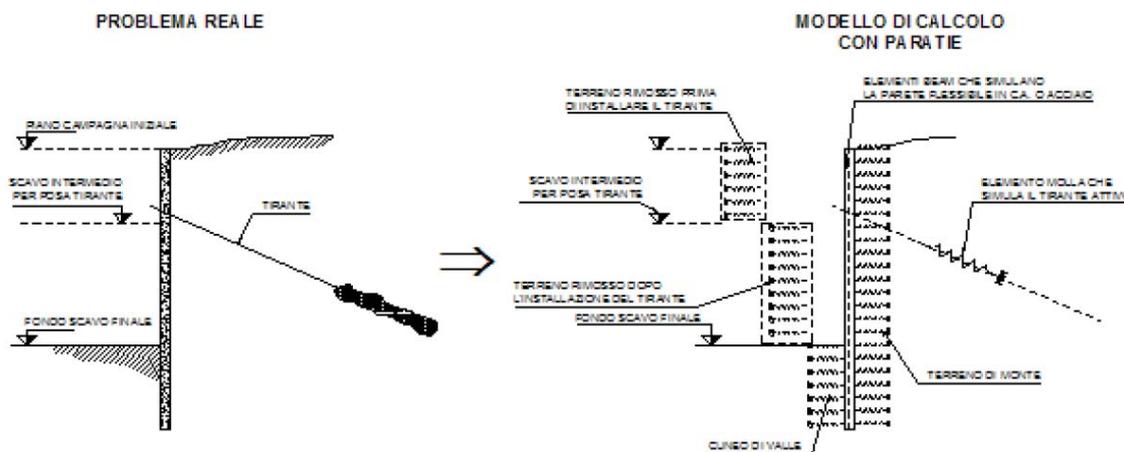
Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

- i tiranti, i puntoni, le solette, gli appoggi cedevoli o fissi, sono schematizzati tramite molle puntuali convergenti in alcuni punti (nodi) della parete ove convergono parimenti elementi BEAM ed elementi terreno.

Lo scopo di PARATIE PLUS è lo studio di un problema definito; in altre parole, il programma analizza la risposta, durante le varie fasi realizzative, di una parete caratterizzata in tutte le sue componenti (altezza, infissione e spessore della parete, entità dei tiranti, ecc.). Il problema è ricondotto a uno schema piano in cui viene analizzata una “fetta” di parete di larghezza unitaria, come mostrato nella Figura seguente.



La modellazione numerica dell’interazione terreno-struttura è del tipo “TRAVE SU SUOLO ELASTICO”. Le pareti di sostegno vengono rappresentate con elementi finiti trave il cui comportamento è definito dalla rigidità flessionale EJ , mentre il terreno viene simulato attraverso elementi elastoplastici monodimensionali (molle) connessi ai nodi delle paratie; ad ogni nodo convergono uno o al massimo due elementi terreno:



Il limite di questo schema sta nell’ammettere che ogni porzione di terreno, schematizzata da una “molla”, abbia comportamento del tutto indipendente dalle porzioni adiacenti; l’interazione fra le varie regioni di terreno è affidata alla rigidità flessionale della parete.

PARATIE calcola internamente e aggiorna costantemente tale parametro, sulla base del modulo elastico (Young) e la geometria del muro. In altre parole, ad ogni passo, la rigidità K della “molla” viene calcolata dalla seguente equazione:

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	29 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

$$k = a \cdot \frac{E_s \cdot t}{L}$$

dove

a è un fattore di scala posto pari a 1

E_s è il modulo di Young del terreno

t è l'interasse della molla

L è un parametro geometrico che tiene conto della geometria del muro

Il valore di L è differente in funzione del lato della paratia considerato (monte o valle):

$$L_M = \frac{2}{3} \cdot H' \cdot \tan(45^\circ - \phi/2)$$

$$L_V = \frac{2}{3} \cdot (H' - D) \cdot \tan(45^\circ + \phi/2)$$

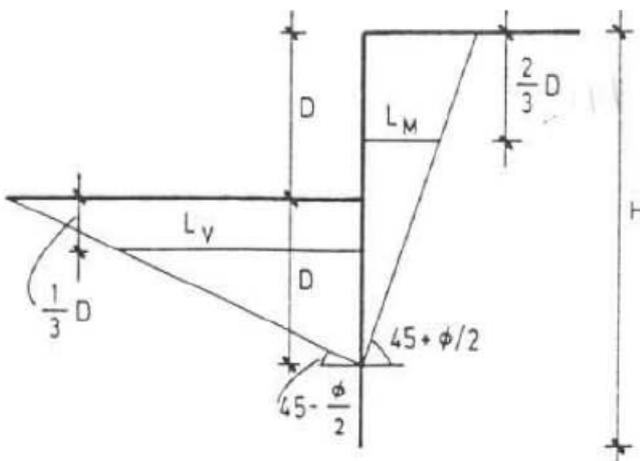
dove

D è la profondità di scavo

H è l'altezza totale del paramento

H' è definito come $\min(2D, H)$

Nella figura seguente viene riportato in via grafica il criterio per la definizione di L_M e L_V :



La realizzazione dello scavo sostenuto da una o due paratie, eventualmente tirantate e/o puntonate, viene seguita in tutte le varie fasi attraverso un'analisi statica incrementale: ogni passo di carico coincide con una ben precisa configurazione

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	30 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

caratterizzata da una certa quota di scavo, da un certo insieme di tiranti applicati, da una ben precisa disposizione di carichi applicati, ecc.

Poiché il comportamento degli elementi finiti è di tipo elastoplastico, ogni configurazione dipende in generale dalle configurazioni precedenti e lo sviluppo di deformazioni plastiche ad un certo passo condiziona la risposta della struttura nei passi successivi. La soluzione ad ogni nuova configurazione (step) viene raggiunta attraverso un calcolo iterativo alla Newton-Raphson (Bathe 1996).

L'analisi ha lo scopo di indagare la risposta strutturale in termini di deformazioni laterali subite dalla parete durante le varie fasi di scavo e di conseguenza la variazione delle pressioni orizzontali nel terreno. Per far questo, in corrispondenza di ogni nodo è necessario definire due soli gradi di libertà, cioè lo spostamento orizzontale e la rotazione attorno all'asse X ortogonale al piano della struttura (positiva se antioraria).

Ne consegue che con questo strumento non possono essere valutati cedimenti o innalzamenti verticali del terreno in vicinanza dello scavo.

In questa impostazione particolare, inoltre, gli sforzi verticali nel terreno non sono per ipotesi influenzati dal comportamento deformativo orizzontale, ma sono una variabile del tutto indipendente, legata ad un calcolo basato sulle classiche ipotesi di distribuzione geostatica.

I contrasti sono schematizzati mediante elementi finiti che divengono attivi a partire dal momento in cui vengono inseriti. L'inserimento di tali elementi provoca nel modello due effetti:

l'insorgenza di una forza nel nodo di applicazione, corrispondente alla forza di coazione eventualmente imposta e la modifica delle rigidezza globale della struttura (matrice di rigidezza assemblata) attraverso l'aggiunta di un contributo pari alla rigidezza del contrasto.

Quando, nelle fasi successive, in corrispondenza del nodo ove il contrasto è connesso viene a modificarsi lo spostamento, lo stato di sollecitazione nel tirante/puntone subirà incrementi pari all'incremento di spostamento moltiplicato per la rigidezza. Nelle equazioni di equilibrio si tiene ovviamente conto delle variazioni di sforzo nei contrasti.

Si riportano nel seguito i modelli di calcolo per le differenti sezioni di paratia analizzate.

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	31 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

11 MODELLI DI CALCOLO

Le paratie di pali hanno differente lunghezza, in dipendenza dell'altezza di scavo, diametro 0.80 m e interasse 1.0 m. Nei tratti con le massime altezze di scavo le paratie sono contrastate da puntoni in cemento armato di sezione rettangolare 60x100 cm e interasse 5.0 m posti in corrispondenza del cordolo di coronamento.

Il rivestimento interno della paratia è oggetto di specifiche verifiche riportate al capitolo 12, si ipotizza che la spinta del terreno sia completamente assorbita dalle paratie.

Si sono analizzate 5 sezioni di calcolo per tenere conto in maniera esaustiva delle differenti lunghezze dei pali; nel dettaglio si sono analizzati i modelli, le cui caratteristiche peculiari sono riassunte nella seguente Tabella 5.

Nella valutazione dell'altezza di scavo la quota di valle è stata diminuita in funzione di quanto riportato al §6.5.2.2 del DM17/01/2018.

Modello (-)	L_p (m)	H_s (m)	H_{cal} (m)	Vincolo in testa	Carico sul terrapieno	Armatura a flessione	Sezione di riferimento
1	12.00	6.50	7.0	Puntone 60x100 i=5m	Mezzi meccanici	20 Φ 20	A-A, D-D, F-F, H-H
2	12.00	7.20	7.70	Soletta stradale	Permanente pavimentazione + Accidentale stradale	20 Φ 20	B-B, C-C
3	11.00	4.30	4.60	Soletta ferroviaria	Permanente ballast + Accidentale ferroviario	20 Φ 20	E-E
4	11.00	4.50	5.0	No	Mezzi meccanici + urto	20 Φ 20	I-I, G-G, L-L (pali in destra)
5	8.00	3.5	4.0	No	Mezzi meccanici + urto	20 Φ 16	L-L (pali in sinistra), M-M, N-N, N1- N1, O-O, P-P

Tabella 5 – Modelli di calcolo delle paratie.

L_p = lunghezza dei pali

H_s = altezza di scavo dalla testa del cordolo

H_{cal} = altezza di calcolo

Si specifica che le altezze di scavo sono state valutate sulla sezione longitudinale in maniera cautelativa, andando a considerare le condizioni peggiori.

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	32 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno
11.1 MODELLO 1

Il modello 1 rappresenta la sezione corrente del fosso con altezza di scavo massima pari a 6.5 m.

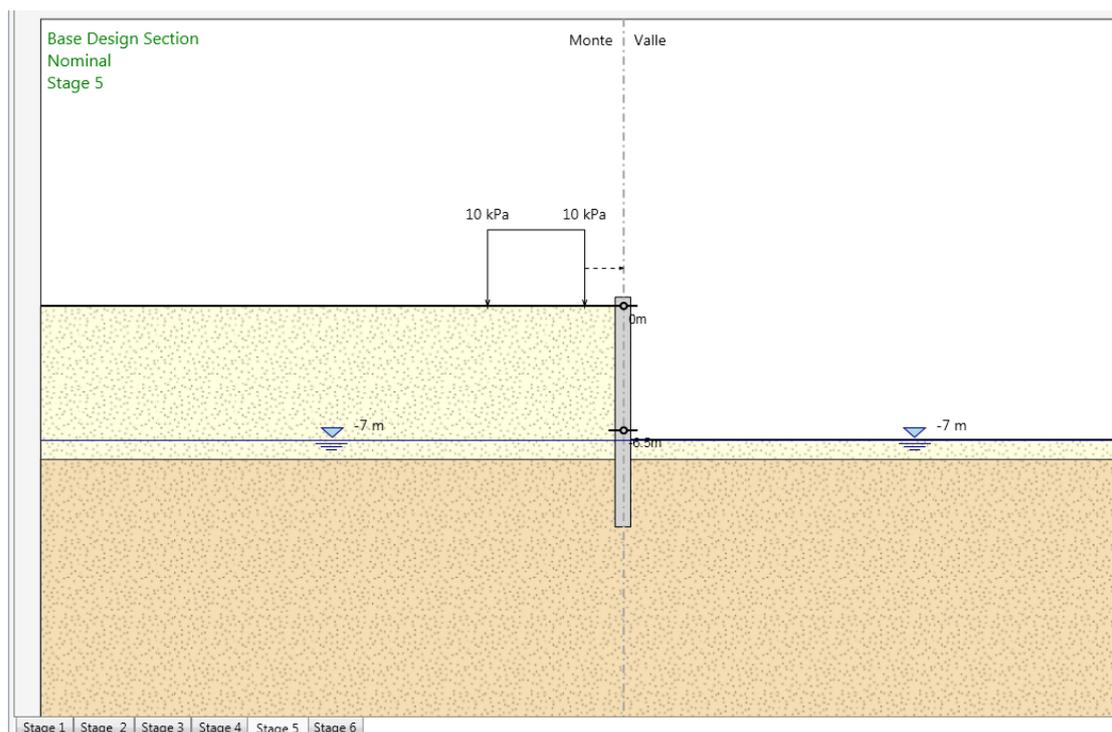


Figura 9 – Modello di calcolo 1.

In Tabella 6 sono riportate le principali caratteristiche geometriche della sezione di calcolo, mentre i parametri geotecnici di calcolo sono riportati al capitolo 4.

tipologia struttura di sostegno	paratia di pali $\phi = 800$ mm – interasse 1.0 m
altezza totale paratia	$H_{tot} = 12.0$ m (cordolo 1.0 m + pali $L = 11$ m)
altezza libera paratia	$H_s = 7.0$ m (da estradosso cordolo)
puntoni	$B = 0.6$ m, $H = 1.0$ m, $i = 5.0$ m
inclinazione del piano campagna a monte	piana
Spinta simica	Wood
sovraccarichi variabili a monte (in fase di scavo)	$q = 10$ kPa in condizioni statiche $q = 0$ kPa in condizioni sismiche
falda	- 7.0 m da p.c.

Tabella 6 – Caratteristiche geometriche della sezione di calcolo 1.

OPERE MINORI

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	33 di 79

11.1.1 FASI DI CALCOLO

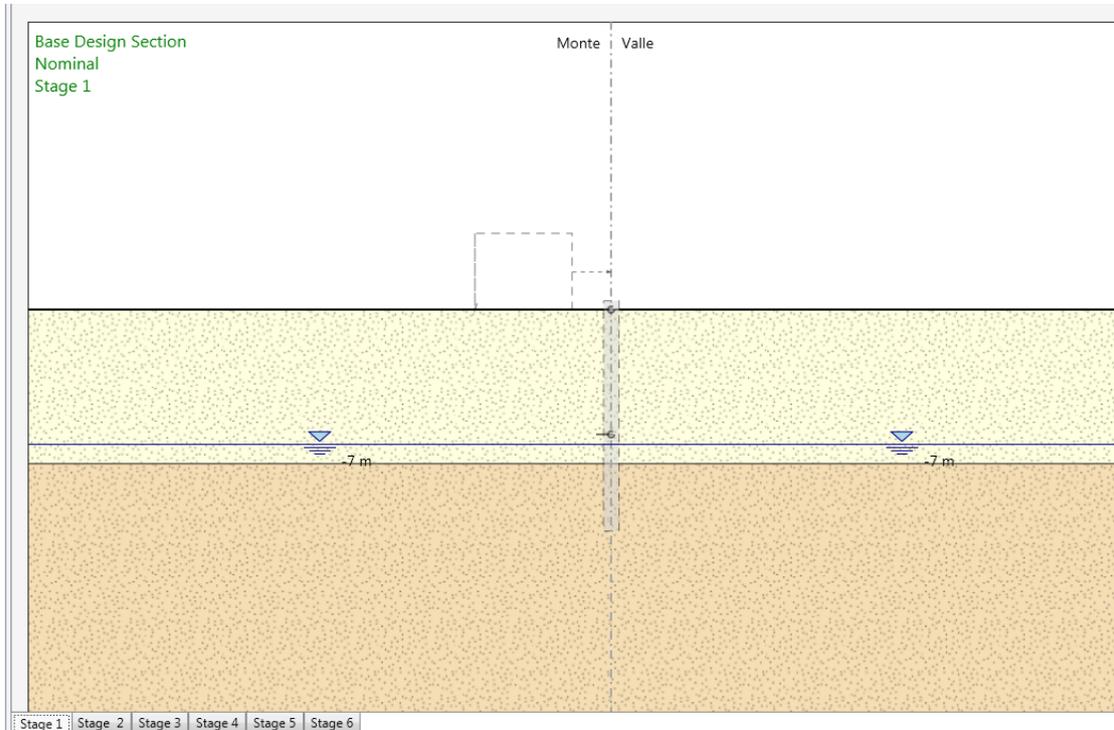


Figura 10 – Step 1: stato attuale.

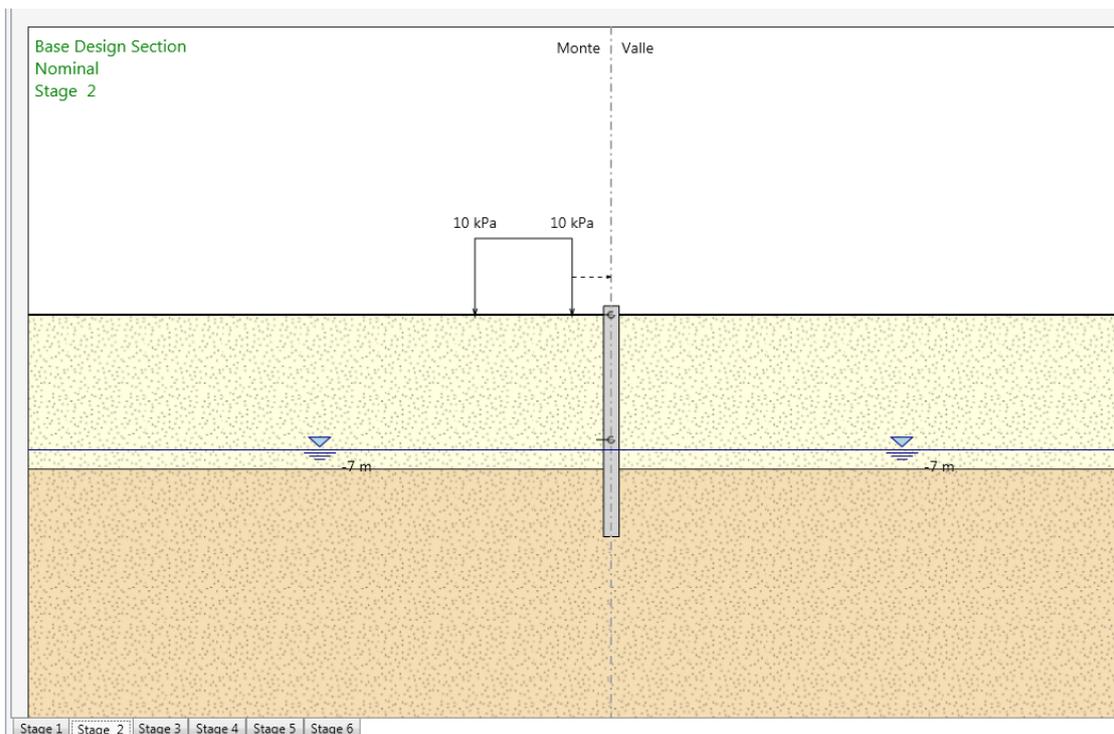


Figura 11 – Step 2: Realizzazione pali con applicazione del sovraccarico variabile a monte di 10 kPa.

OPERE MINORI

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	34 di 79

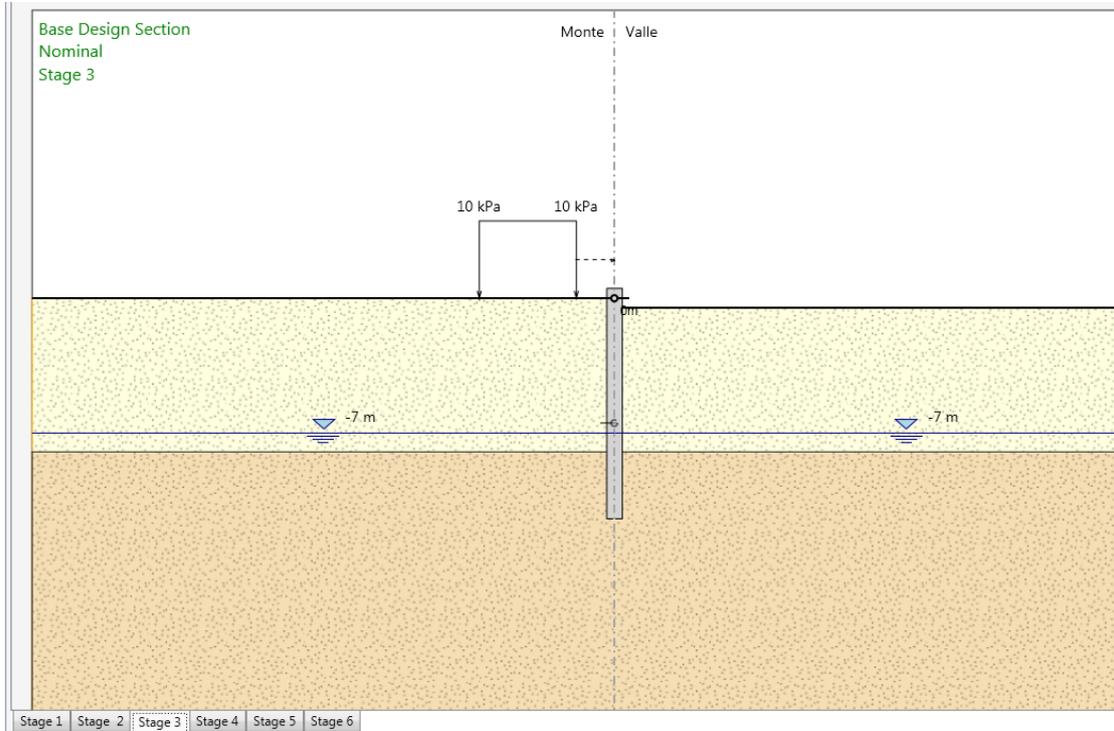


Figura 12 – Step 3: Realizzazione del puntone.

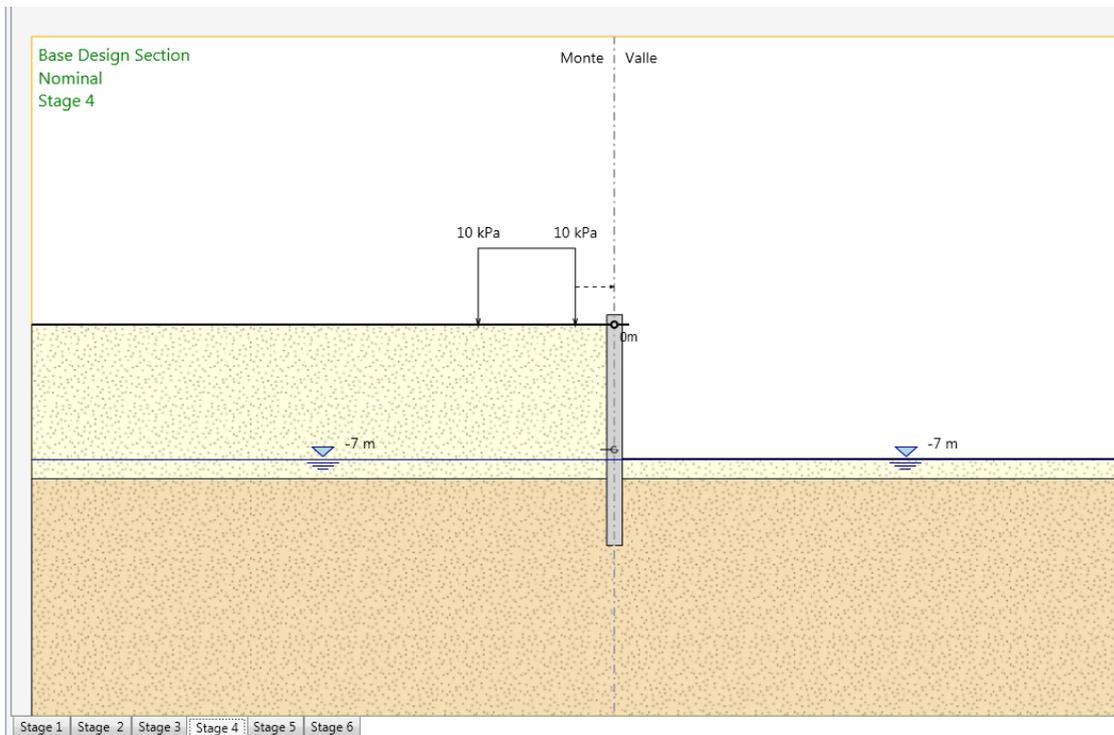


Figura 13 – Step 4: Scavo fino a -7.00 m da TC.

OPERE MINORI

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	35 di 79

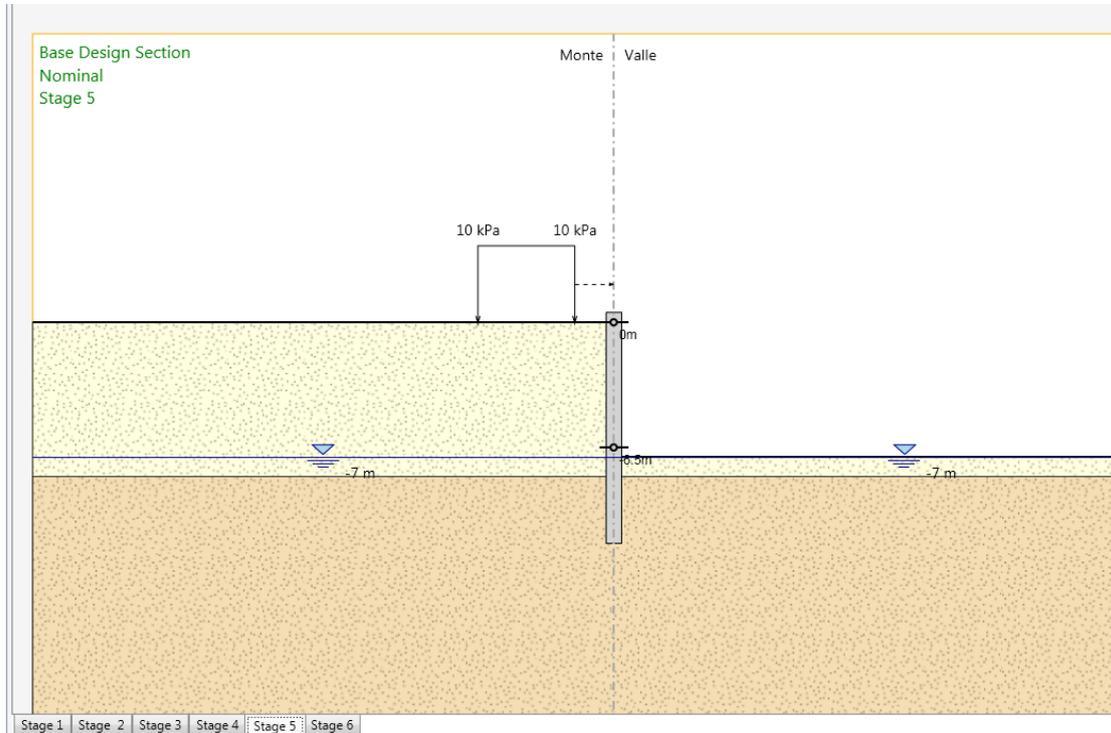


Figura 14 – Step 5: Realizzazione soletta di fondo.

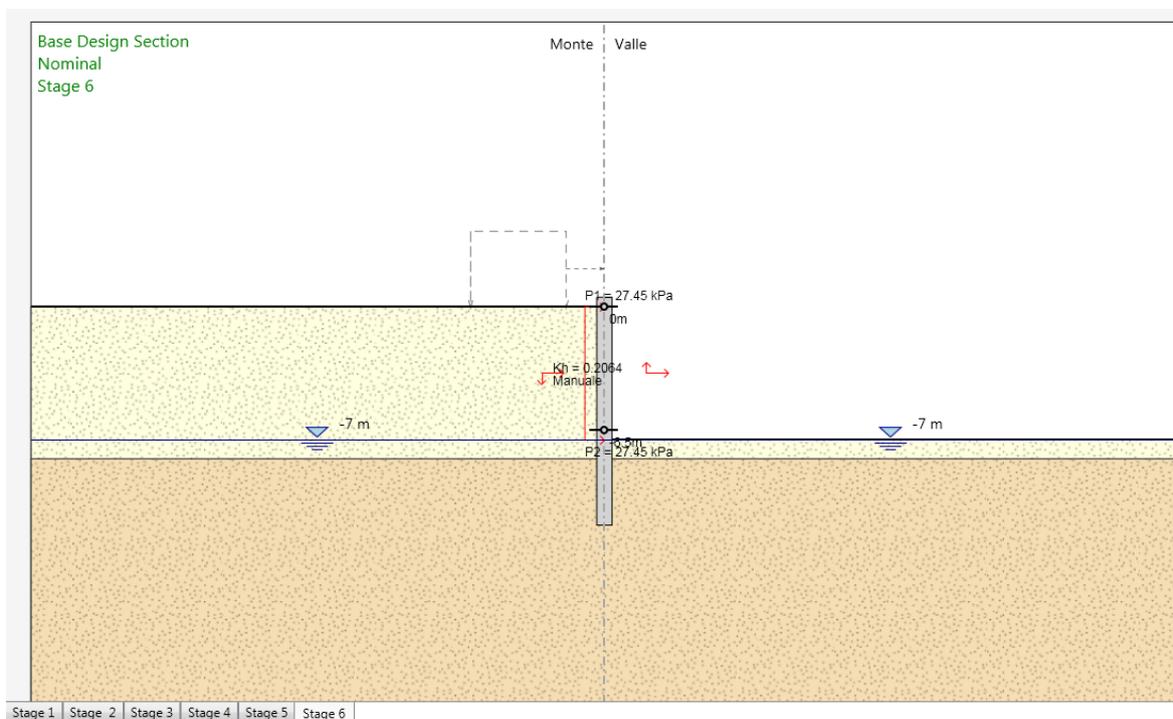


Figura 15 – Step 6: applicazione dell'azione sismica di progetto.

OPERE MINORI

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	36 di 79

11.1.2 RISULTATI DELLE ANALISI

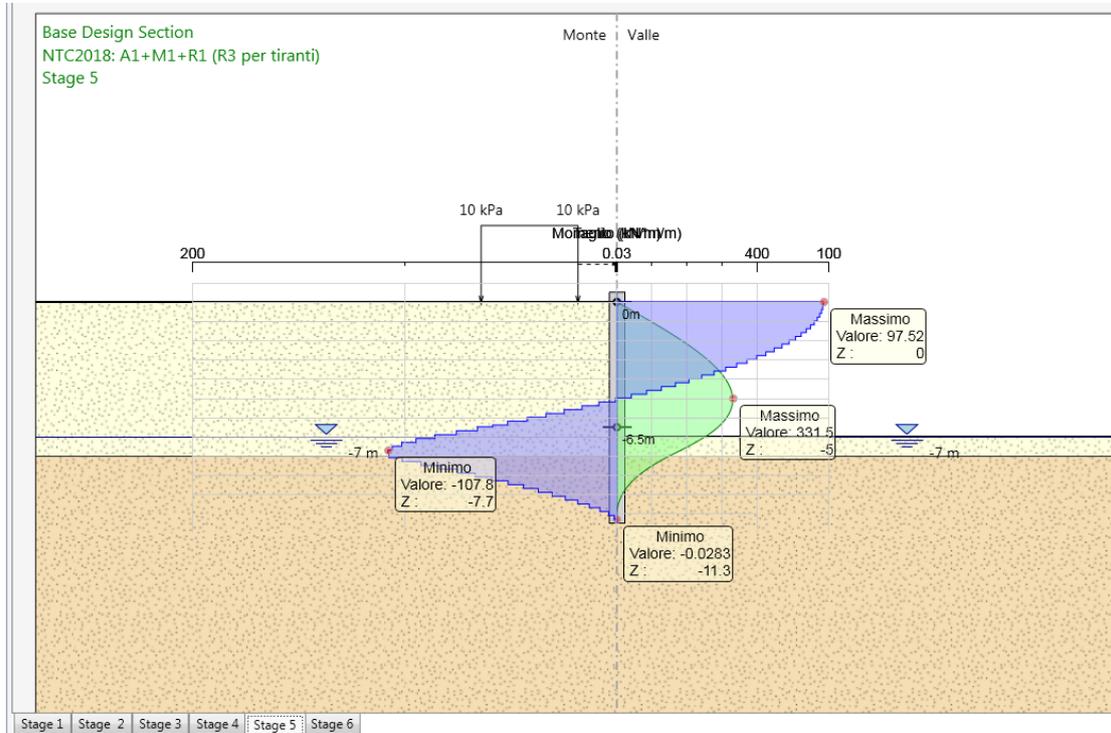


Figura 16 – Diagramma del momento flettente e del taglio sulla paratia in combinazione A1+M1+R1.

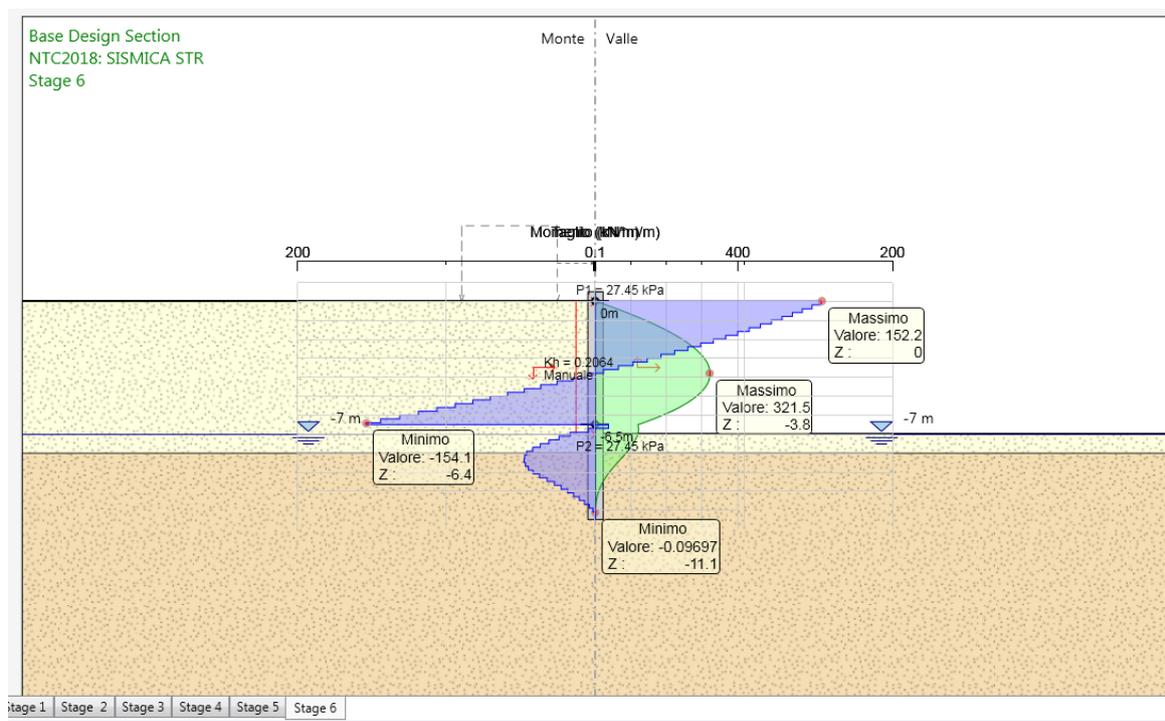


Figura 17 – Diagramma del momento flettente e del taglio sulla paratia in combinazione SISMICA STR.

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	37 di 79

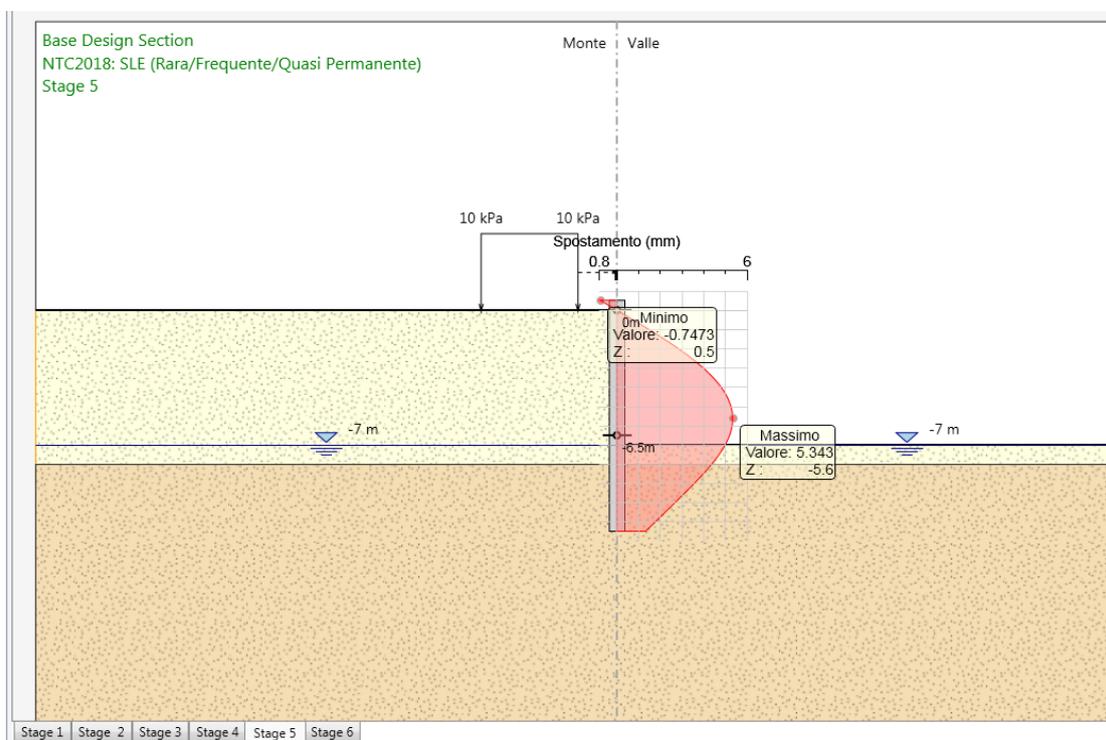
Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno


Figura 18 – Diagramma della deformata SLE.

11.1.3 SOLLECITAZIONI MASSIME DELLA SEZIONE IN C.A.

Nella tabella che segue si riportano le sollecitazioni massime, sia a metro lineare che sul singolo palo (ottenute moltiplicando quelle a metro lineare per l'interasse tra i pali), con cui si sono effettuate le verifiche.

Lo sforzo assiale agente sul singolo palo alla profondità considerata è valutato sommando al peso proprio del palo il peso del cordolo.

Le sollecitazioni sono state valutate per la sezione di riferimento della struttura sia in condizioni sismiche che in condizioni statiche. Nella verifica a presso-flessione si è considerato il peso proprio del palo valutato alla corrispondente quota di verifica.

COMBINAZIONE	FASE	z	M (kNm/m)	T (kN/m)	M _{palo} (kNm)	N _{palo} (kN)	T _{palo} (kN)
A1 + M1 +R1	Step 6	5.00	331.50	-	331.50	87.83	-
A1 + M1 +R1	Step 6	7.70	184.60	107.80	184.60	121.76	107.80
SISMICA STR	Step 7	3.80	321.50	-	321.50	72.75	
SISMICA STR	Step 7	0.00	0.00	89.26	0.00		89.26

Tabella 7 – Sollecitazioni di verifica della sezione in c.a.

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	38 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

11.1.4 VERIFICHE STRUTTURALI DELLA SEZIONE IN C.A.

I pali di lunghezza 11.0 e 12.0 m sono tutti armati con un'armatura corrente di 20 Φ 20, ed un'armatura trasversale costituita da una spirale Φ 12/20. Si rimanda alle verifiche del modello 4.

11.1.5 VERIFICHE DEL PUNTO

I puntoni sono realizzati in cemento armato gettato in opera di sezione rettangolare 60x100 cm e sono posti ad interasse 5.0m.

verifica puntone

dati

Rck	35	
γ_c	1.5	
f_{ck}	29.05	N/mm ²
f_{cm}	37.05	N/mm ²
f_{cd}	16.46	N/mm ²
B	0.6	m
H	1	m
A	0.6	m ²
I	0.05000	m ⁴
E	32588.1	N/mm ²
l₀	4	m

verifica compressione

P_d	155.3	kN/m	combo
i	5	m	sismica
N_{Ed}	776.50	kN	
N_{c,Rd}	9877.00	kN	
N_{c,Rd}/N_{Ed}	12.72	VERIFICATO	

verifica stabilità

N_{ed}	776500	N
b =	600	mm
a =	1000	mm
L	4	m
Ac	600000	mmq
J_x =	5.000E+10	mm ⁴
J_y =	1.800E+10	mm ⁴
v	0.078617	

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	39 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

fcd	16.46	MPa
λ lim	89.16	
β	1	
L0	4	m
i	288.7	mm
λ	13.86	
verifica soddisfatta		

11.1.6 VERIFICHE GEOTECNICHE

Viene analizzata la spinta passiva mobilitata per le combinazioni di carico più gravose:

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX) 0.12 D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Stage 1)

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX) 0.79 D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Stage 5)

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX) 0.09 D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Stage 1)

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX) 0.69 D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Stage 6)

Dai tabulati sopra riportati emerge che il valore massimo di spinta mobilitata è pari al 79 %, inferiore al limite del 100% consentito ($R1 = 1$).

OPERE MINORI

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	40 di 79

11.2 MODELLO 2

Il modello 2 rappresenta la sezione del fosso in corrispondenza dell'attraversamento stradale Olmo-Ellera con altezza di scavo massima pari a 7.2 m.

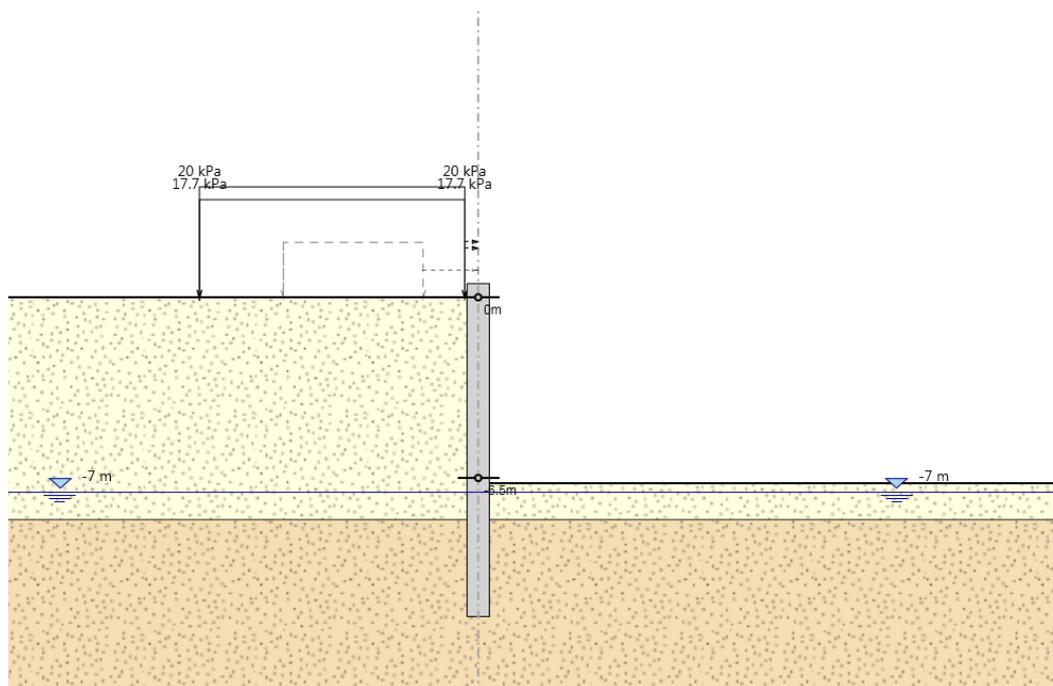


Figura 19 – Modello di calcolo 2.

Di seguito sono riportate le principali caratteristiche geometriche della sezione di calcolo, mentre i parametri geotecnici di calcolo sono riportati al capitolo 4.

tipologia struttura di sostegno	paratia di pali $\phi = 800$ mm – interasse 1.0 m
altezza totale paratia	$H_{tot} = 13.0$ m (cordolo 1.0 m + pali $L = 12$ m)
altezza libera paratia	$H_s = 7.7$ m (da estradosso cordolo)
soletta	$s = 0.6$ m,
inclinazione del piano campagna a monte	piana
Spinta simica	Wood
sovraccarichi variabili a monte (in fase di scavo)	$q = 10$ kPa in condizioni statiche $q = 0$ kPa in condizioni sismiche
sovraccarichi a monte (in fase di esercizio)	$q = 17.7$ kPa (permanenti) $q = 20$ kPa (accidentali)
falda	- 7.0 m da p.c.

Tabella 8 – Caratteristiche geometriche della sezione di calcolo 2.

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	41 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

11.2.1 FASI DI CALCOLO

Si prescinde dal riportare le immagini del modello di calcolo di tutte le fasi che comunque sono di seguito elencate:

Step 1: stato attuale.

Step 2: Realizzazione pali con applicazione del sovraccarico variabile a monte di 10 kPa.

Step 3: Realizzazione della soletta di copertura.

Step 4: Scavo fino a -7.7 m da TC.

Step 5: Realizzazione soletta di fondo.

Step 6: applicazione dei sovraccarichi accidentali stradali

Step 7: applicazione dell'azione sismica di progetto.

In testa al palo viene applicato un momento flettente associato all'effetto di semincastro che il cordolo sommitale offre alla soletta stradale.

L	4.5 m
Mprop	20.25 kNm
Mperm	16.2 kNm
Macc	27 kNm
MSLU	92.14 kNm
Msis	41.85 kNm

11.2.2 RISULTATI DELLE ANALISI

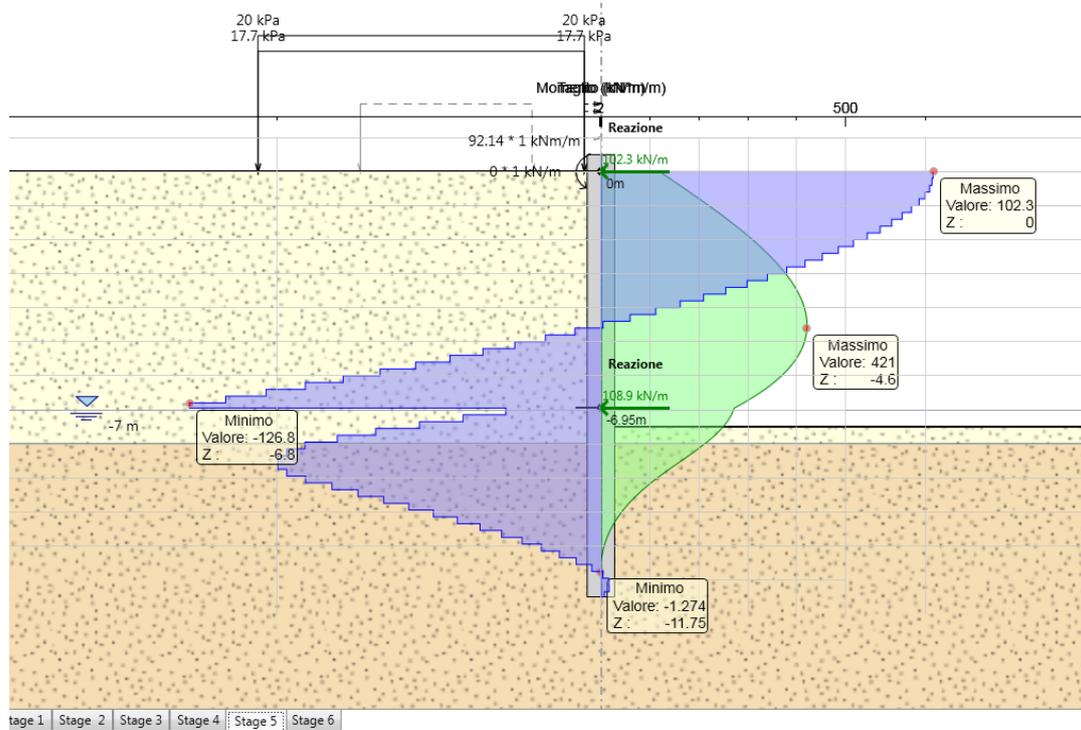


Figura 20 – Diagramma del momento flettente e del taglio sulla paratia in combinazione A1+M1+R1.

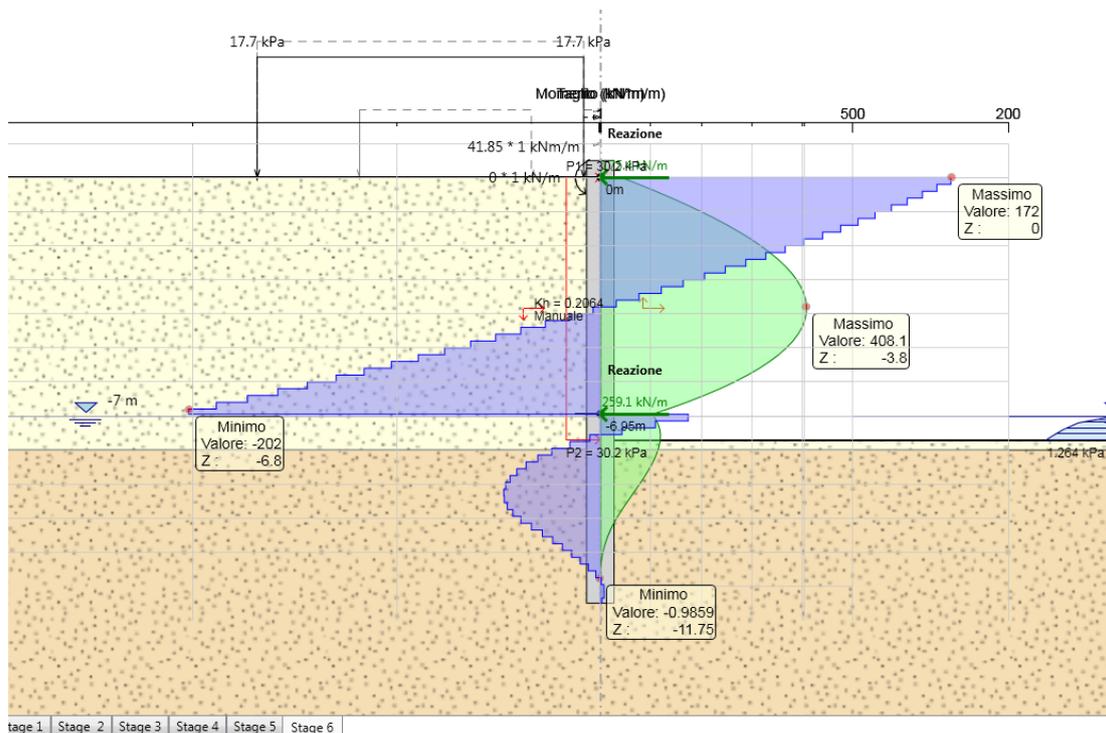


Figura 21 – Diagramma del momento flettente e del taglio sulla paratia in combinazione SISMICA STR.

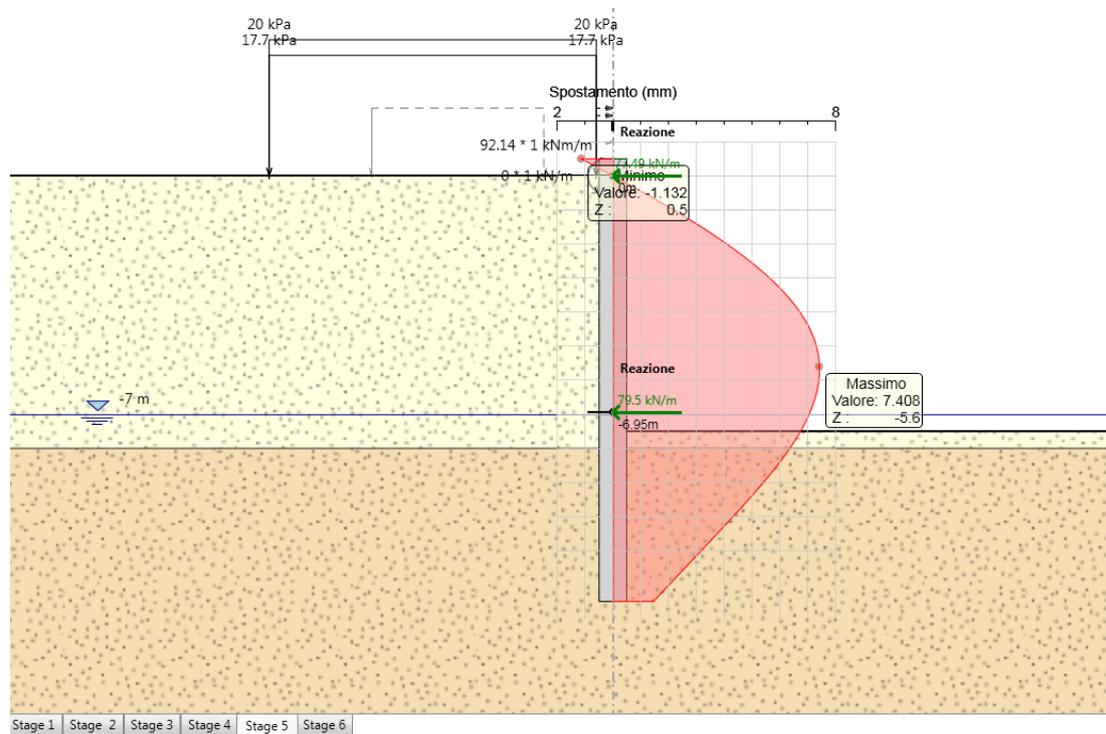


Figura 22 – Diagramma della deformata SLE.

11.2.3 SOLLECITAZIONI MASSIME DELLA SEZIONE IN C.A.

Nella tabella che segue si riportano le sollecitazioni massime, sia a metro lineare che sul singolo palo (ottenute moltiplicando quelle a metro lineare per l'interasse tra i pali), con cui si sono effettuate le verifiche.

Lo sforzo assiale agente sul singolo palo alla profondità considerata è valutato sommando al peso proprio del palo il peso del cordolo, della soletta e dei carichi permanenti agenti.

Le sollecitazioni sono state valutate per la sezione di riferimento della struttura sia in condizioni sismiche che in condizioni statiche. Nella verifica a presso-flessione si è considerato il peso proprio del palo valutato alla corrispondente quota di verifica.

COMBINAZIONE	FASE	z	M (kNm/m)	T (kN/m)	M _{palo} (kNm)	N _{palo} (kN)	T _{palo} (kN)
A1 + M1 + R1	Step 6	4.60	421.00	-	421.00	136.81	-
A1 + M1 + R1	Step 6	6.80	291.20	126.80	291.20	164.45	126.80
SISMICA STR	Step 7	3.80	408.10	-	408.10	126.75	-
SISMICA STR	Step 7	6.80	132.80	202.00	132.80		202.00

Tabella 9 – Sollecitazioni di verifica della sezione in c.a.

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	44 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

11.2.4 VERIFICHE STRUTTURALI DELLA SEZIONE IN C.A.

I pali di lunghezza 11.0 e 12.0 m sono tutti armati con un'armatura corrente di 20 Φ 20, ed un'armatura trasversale costituita da una spirale Φ 12/20. Si rimanda alle verifiche del modello 4.

11.2.5 VERIFICHE GEOTECNICHE

Viene analizzata la spinta passiva mobilitata per le combinazioni di carico più gravose:

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX) A2+M2+R1 (Stage 1)	0.12	D.A.	NTC2018:
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX) A2+M2+R1 (Stage 6)	0.8	D.A.	NTC2018:
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX) SISMICA GEO (Stage 1)	0.09	D.A.	NTC2018:
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX) SISMICA GEO (Stage 6)	0.71	D.A.	NTC2018:

Dai tabulati sopra riportati emerge che il valore massimo di spinta mobilitata è pari al 80 %, inferiore al limite del 100% consentito ($R1 = 1$).

OPERE MINORI
Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	45 di 79

11.3 MODELLO 3

Il modello 3 rappresenta la sezione del fosso in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario con altezza di scavo massima pari a 4.60 m.

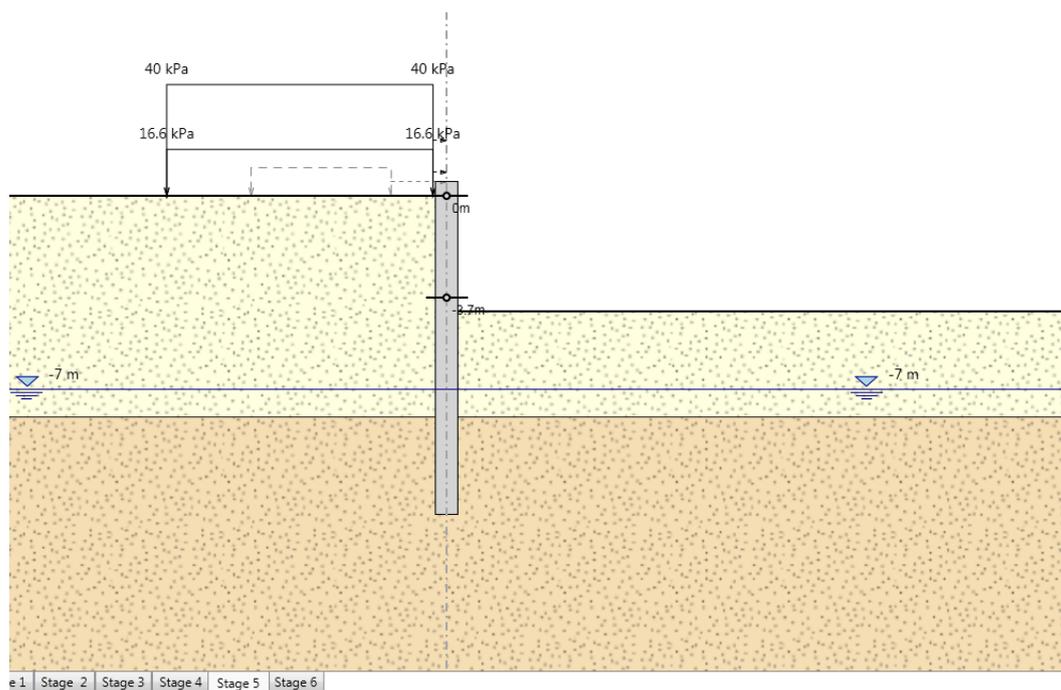


Figura 23 – Modello di calcolo 3.

Di seguito sono riportate le principali caratteristiche geometriche della sezione di calcolo, mentre i parametri geotecnici di calcolo sono riportati al capitolo 4.

tipologia struttura di sostegno	paratia di pali $\phi = 800$ mm – interasse 1.0 m
altezza totale paratia	$H_{tot} = 12.0$ m (cordolo 1.0 m + pali $L = 11$ m)
altezza libera paratia	$H_s = 4.6$ m (da estradosso cordolo)
soletta	$s = 0.6$ m,
inclinazione del piano campagna a monte	piana
Spinta simica	Wood
sovraccarichi variabili a monte (in fase di scavo)	$q = 10$ kPa in condizioni statiche $q = 0$ kPa in condizioni sismiche
sovraccarichi a monte (in fase di esercizio)	$q = 16.6$ kPa (permanenti) $q = 40$ kPa (accidentali)
falda	- 7.0 m da p.c.

Tabella 10 – Caratteristiche geometriche della sezione di calcolo 3.

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	46 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

11.3.1 FASI DI CALCOLO

Si prescinde dal riportare le immagini del modello di calcolo di tutte le fasi che comunque sono di seguito elencate:

Step 1: stato attuale.

Step 2: Realizzazione pali con applicazione del sovraccarico variabile a monte di 10 kPa.

Step 3: Realizzazione della soletta di copertura.

Step 4: Scavo fino a -4.60 m da TC.

Step 5: Realizzazione soletta di fondo.

Step 6: applicazione dei sovraccarichi accidentali ferroviari

Step 7: applicazione dell'azione sismica di progetto.

In testa al palo viene applicato un momento flettente associato all'effetto di semincastro che il cordolo sommitale offre alla soletta ferroviaria.

L	4.5 m
Mprop	20.25 kNm
Mperm	19.44 kNm
Macc	54 kNm
MSLU	137.50 kNm
Msis	50.49 kNm

OPERE MINORI

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	47 di 79

11.3.2 RISULTATI DELLE ANALISI

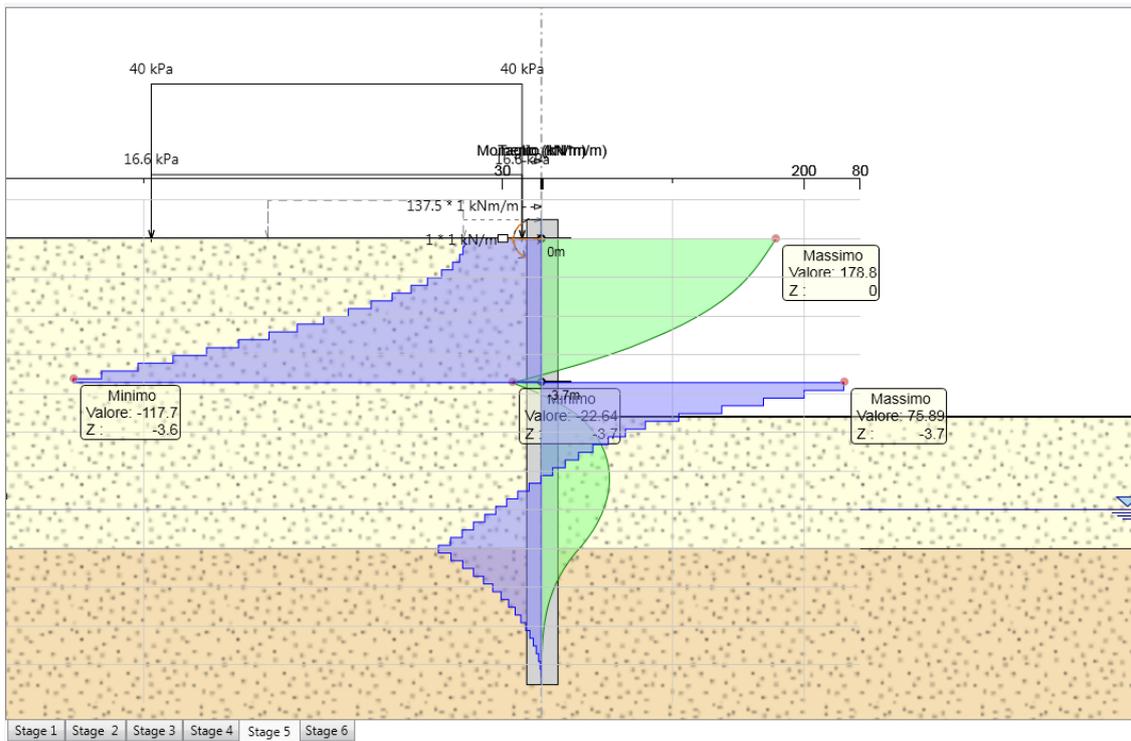


Figura 24 – Diagramma del momento flettente e del taglio sulla paratia in combinazione A1+M1+R1.

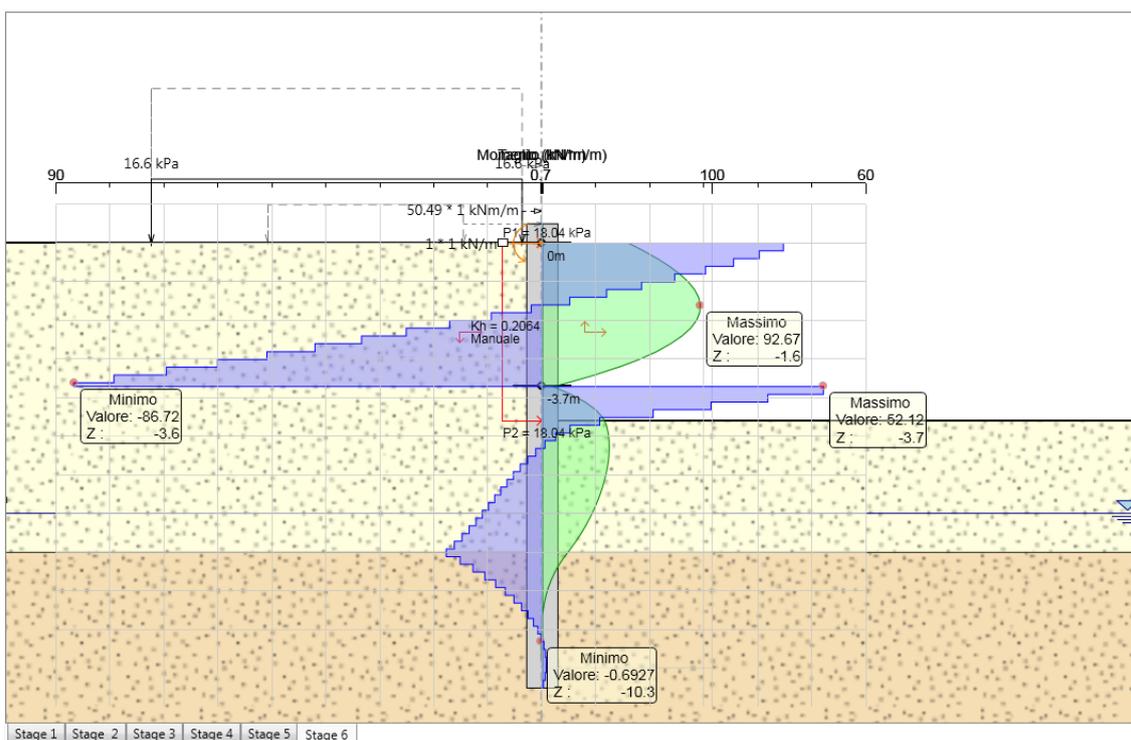


Figura 25 – Diagramma del momento flettente e del taglio sulla paratia in combinazione SISMICA STR.

OPERE MINORI
Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	48 di 79

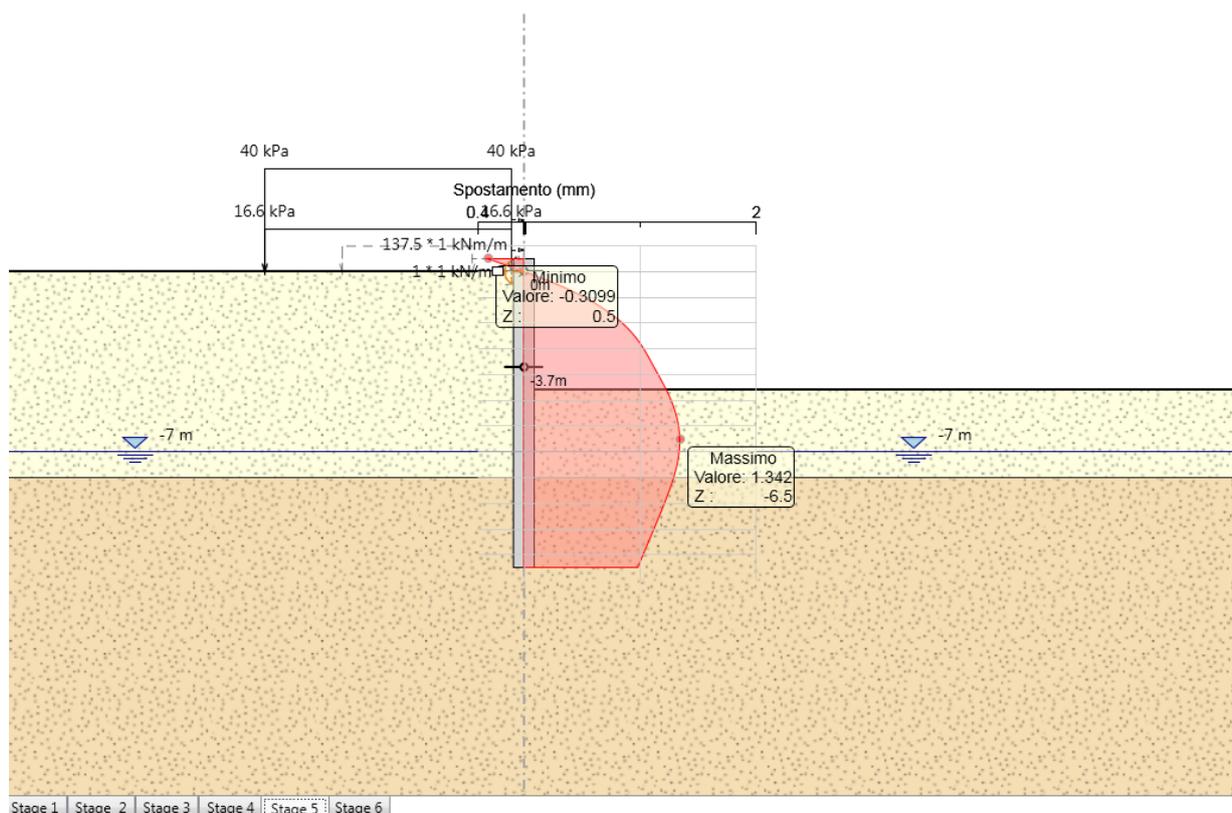


Figura 26 – Diagramma della deformata SLE.

11.3.3 SOLLECITAZIONI MASSIME DELLA SEZIONE IN C.A.

Nella tabella che segue si riportano le sollecitazioni massime, sia a metro lineare che sul singolo palo (ottenute moltiplicando quelle a metro lineare per l'interasse tra i pali), con cui si sono effettuate le verifiche.

Lo sforzo assiale agente sul singolo palo alla profondità considerata è valutato sommando al peso proprio del palo il peso del cordolo, della soletta e dei carichi permanenti agenti.

Le sollecitazioni sono state valutate per la sezione di riferimento della struttura sia in condizioni sismiche che in condizioni statiche. Nella verifica a presso-flessione si è considerato il peso proprio del palo valutato alla corrispondente quota di verifica.

COMBINAZIONE	FASE	z	M (kNm/m)	T (kN/m)	M _{palo} (kNm)	N _{palo} (kN)	T _{palo} (kN)
A1 + M1 + R1	Step 6	0.00	178.80	-	178.80	83.80	-
A1 + M1 + R1	Step 6	3.60	22.64	117.70	22.64	129.04	117.70
SISMICA STR	Step 7	1.60	92.67	-	92.67	103.91	-
SISMICA STR	Step 7	3.60	0.00	86.72	0.00		86.72

Tabella 11 – Sollecitazioni di verifica della sezione in c.a.

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	49 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

11.3.4 VERIFICHE STRUTTURALI DELLA SEZIONE IN C.A.

I pali di lunghezza 11.0 e 12.0 m sono tutti armati con un'armatura corrente di 20 Φ 20, ed un'armatura trasversale costituita da una spirale Φ 12/20. Si rimanda alle verifiche del modello 4 .

11.3.5 VERIFICHE GEOTECNICHE

Viene analizzata la spinta passiva mobilitata per le combinazioni di carico più gravose:

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX) 0.12 D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Stage 1)

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX) 0.29 D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Stage 5)

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX) 0.09 D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Stage 1)

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX) 0.25 D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Stage 6)

Dai tabulati sopra riportati emerge che il valore massimo di spinta mobilitata è pari al 25 %, inferiore al limite del 100% consentito ($R1 = 1$).

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	50 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

11.4 MODELLO 4

Il modello 4 rappresenta la sezione del fosso con altezza di scavo massima pari a 5.0 m in corrispondenza della quale la paratia non ha vincoli in testa (cordolo o soletta).

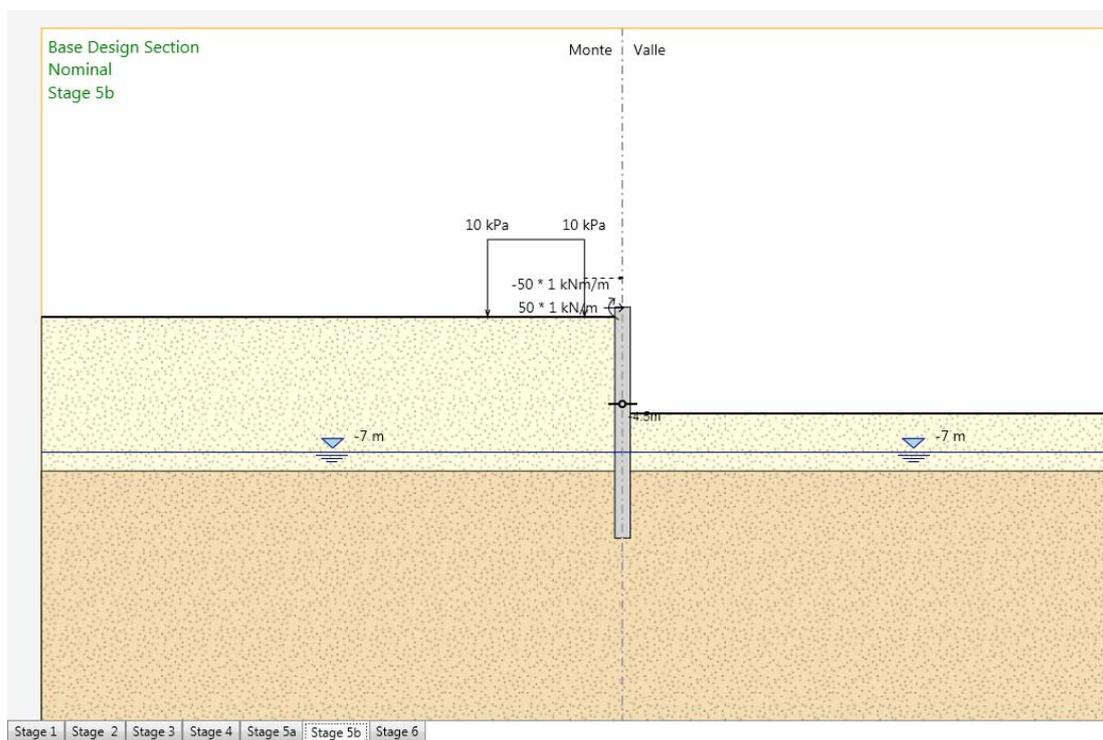


Figura 27 – Modello di calcolo 4.

Di seguito sono riportate le principali caratteristiche geometriche della sezione di calcolo, mentre i parametri geotecnici di calcolo sono riportati al capitolo 4.

tipologia struttura di sostegno	paratia di pali $\phi = 800$ mm – interasse 1.0 m
altezza totale paratia	$H_{tot} = 12.0$ m (cordolo 1.0 m + pali $L = 11$ m)
altezza libera paratia	$H_s = 5.0$ m (da estradosso cordolo)
puntoni	no
inclinazione del piano campagna a monte	piana
Spinta simica	Mononobe – Okabe
sovraccarichi variabili a monte (in fase di scavo)	$q = 10$ kPa in condizioni statiche $H = 50$ kN urto in condizione eccezionale $M = - 50$ kNm $q = 0$ kPa in condizioni sismiche
falda	- 7.0 m da p.c.

Tabella 12 – Caratteristiche geometriche della sezione di calcolo 4.

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	51 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

11.4.1 FASI DI CALCOLO

Si prescinde dal riportare le immagini del modello di calcolo di tutte le fasi che comunque sono di seguito elencate:

Step 1: stato attuale.

Step 2: Realizzazione pali con applicazione del sovraccarico variabile a monte di 10 kPa.

Step 3: Scavo fino a - 5.00 m da TC.

Step 4: Realizzazione soletta di fondo.

Step 5: Applicazione dell'azione dell'urto del veicolo sul new jersey in testa al cordolo.

Step 6: applicazione dell'azione sismica di progetto.

11.4.2 RISULTATI DELLE ANALISI

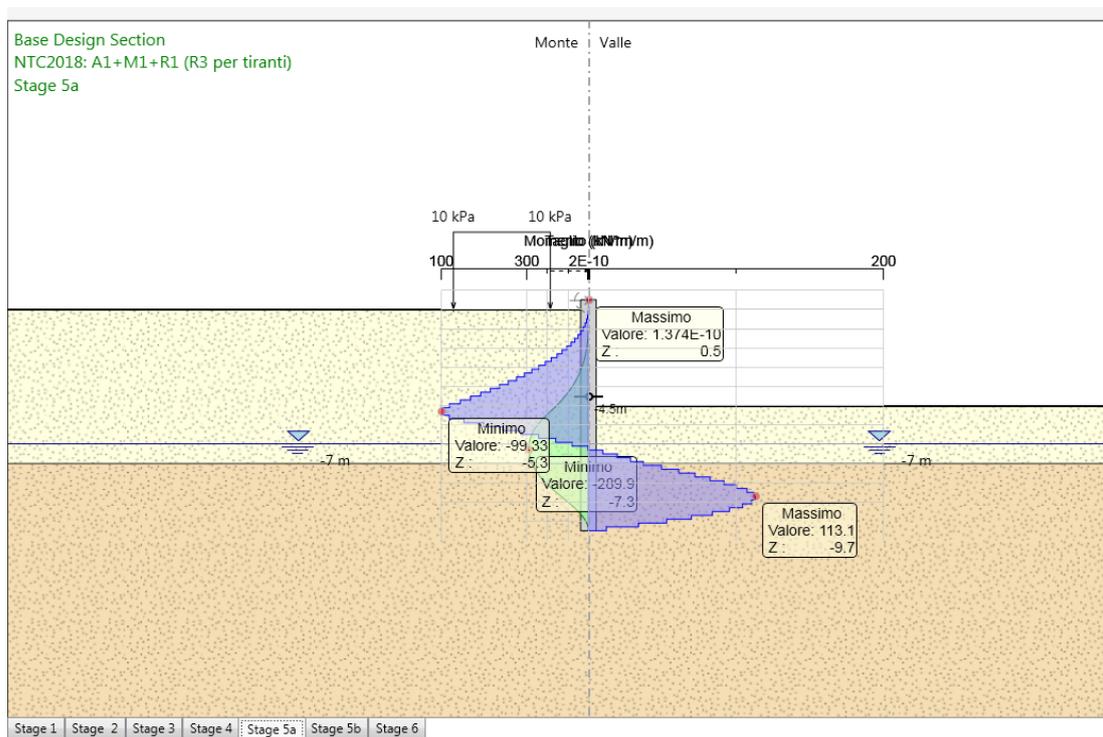


Figura 28 – Diagramma del momento flettente e del taglio sulla paratia in combinazione A1+M1+R1.

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	52 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

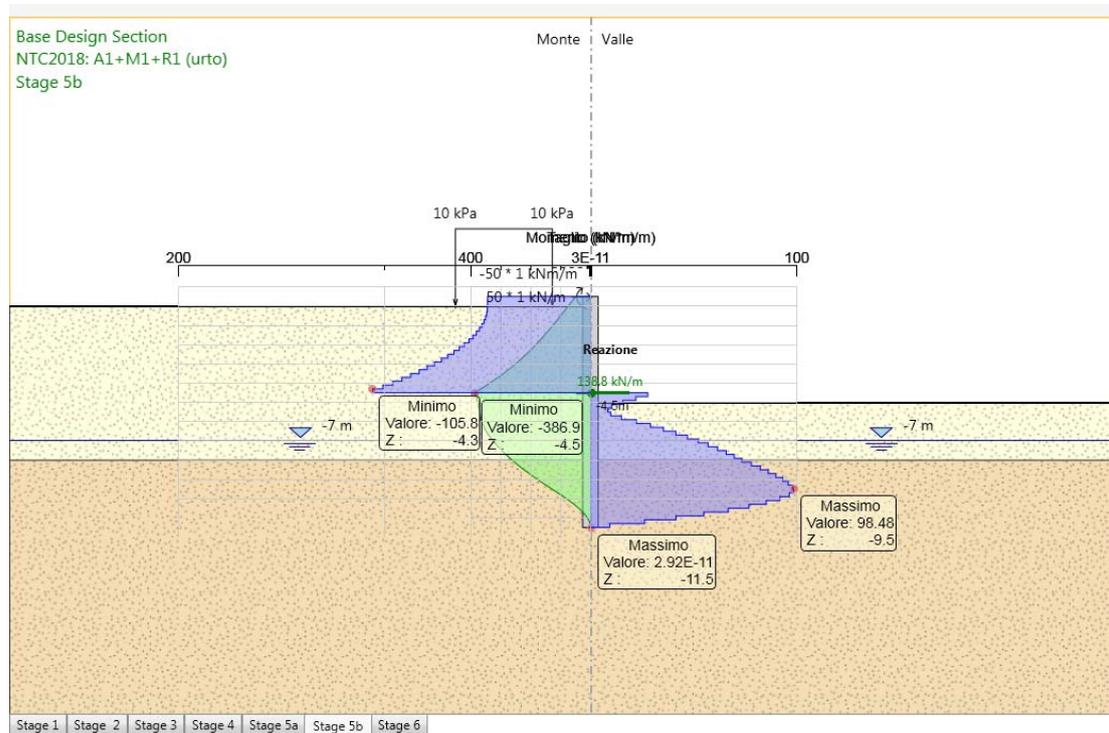


Figura 29 – Diagramma del momento flettente e del taglio sulla paratia in combinazione A1+M1+R1 (eccezionale).

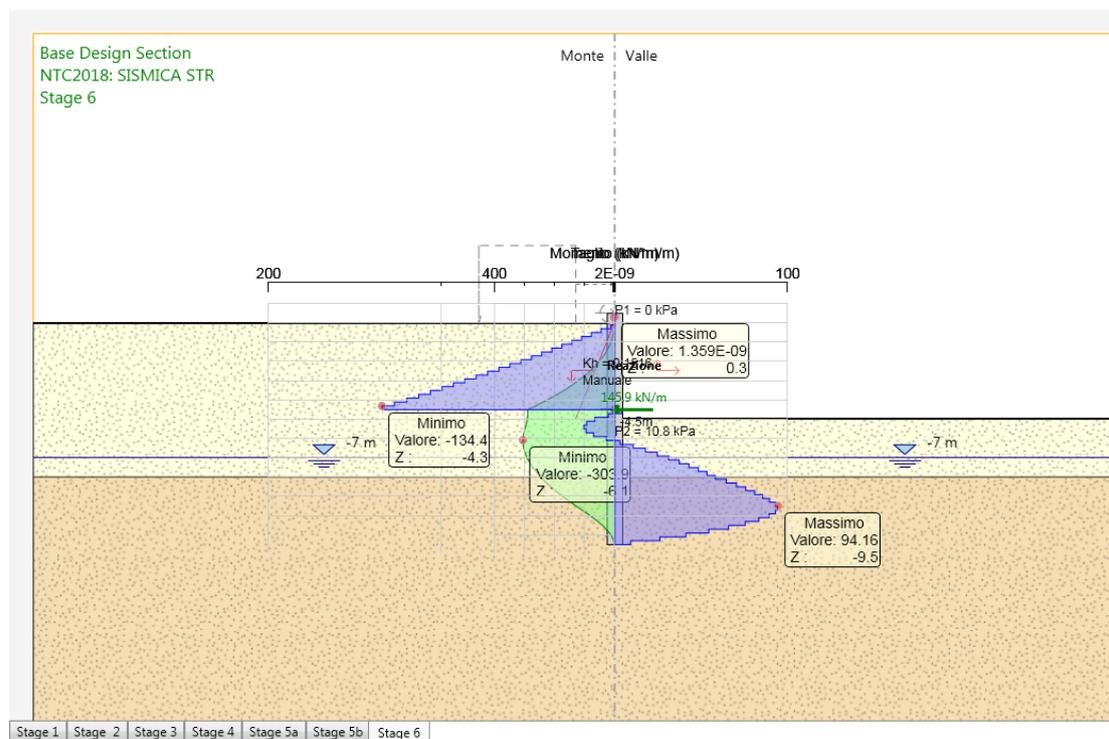


Figura 30 – Diagramma del momento flettente e del taglio sulla paratia in combinazione SISMICA STR.

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	53 di 79

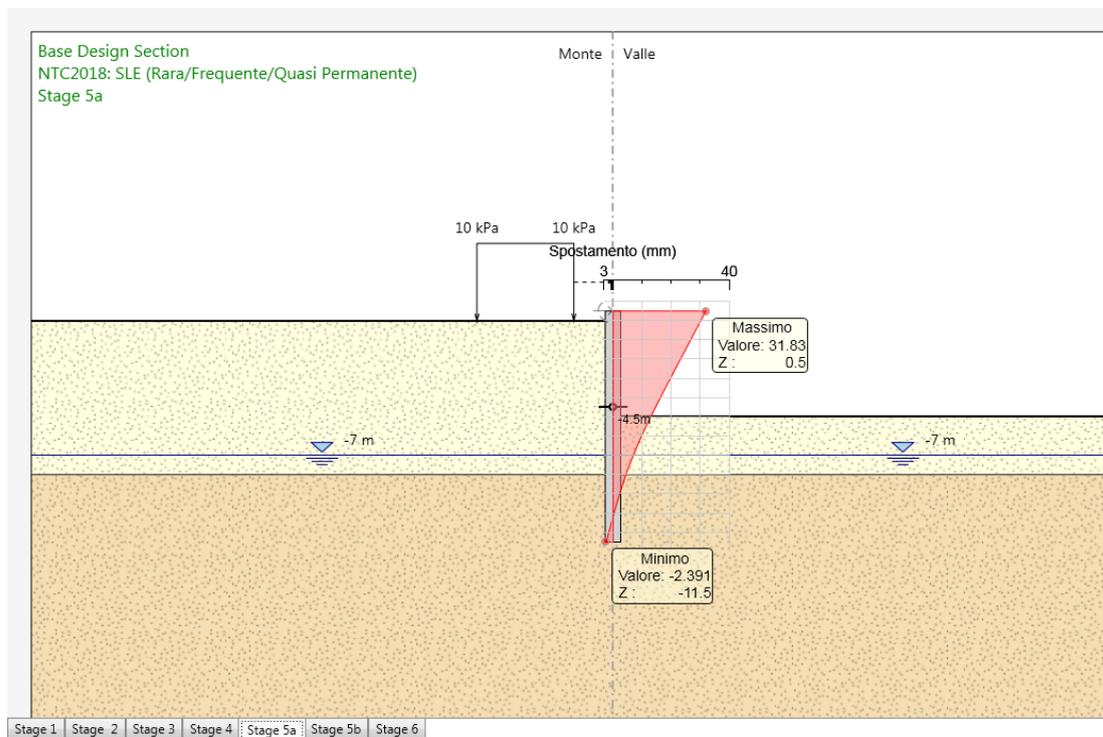
Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno


Figura 31 – Diagramma della deformata SLE.

11.4.3 SOLLECITAZIONI MASSIME DELLA SEZIONE IN C.A.

Nella tabella che segue si riportano le sollecitazioni massime, sia a metro lineare che sul singolo palo (ottenute moltiplicando quelle a metro lineare per l'interasse tra i pali), con cui si sono effettuate le verifiche. Lo sforzo assiale agente sul singolo palo alla profondità considerata è valutato sommando al peso proprio del palo il peso del cordolo.

Le sollecitazioni sono state valutate per la sezione di riferimento della struttura sia in condizioni sismiche che in condizioni statiche. Nella verifica a presso-flessione si è considerato il peso proprio del palo valutato alla corrispondente quota di verifica.

COMBINAZIONE	FASE	z	M (kNm/m)	T (kN/m)	M _{palo} (kNm)	N _{palo} (kN)	T _{palo} (kN)
A1 + M1 +R1	Step 6	4.30	386.90	-	386.90	79.04	-
A1 + M1 +R1	Step 6	4.30	185.00	105.80	185.00	79.04	105.80
SISMICA STR	Step 7	6.10	303.90	-	303.90	101.65	-
SISMICA STR	Step 7	4.30	261.30	134.40	261.30		134.40

Tabella 13 – Sollecitazioni di verifica della sezione in c.a.

11.4.4 VERIFICHE STRUTTURALI DELLA SEZIONE IN C.A.

I pali di lunghezza 11.0 m e 12.0 sono tutti armati con un'armatura corrente di 24 Φ 20, ed un'armatura trasversale costituita da una spirale Φ 12/20.

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	54 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: palo_sez1

(Percorso File: \\ocean\C39\LAVERO\MODELLI DI CALCOLO\FOSSO BULAGAIO\palo_sez1.sez)

Descrizione Sezione:

Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica
Posizione sezione nell'asta:	In zona critica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CONGLOMERATO - Classe: C25/30

Resis. compr. di calcolo fcd :	141.60 daN/cm ²
Resis. compr. ridotta fcd' :	70.80 daN/cm ²
Def.unit. max resistenza ec2 :	0.0020
Def.unit. ultima ecu :	0.0035
Diagramma tensione-deformaz. :	Parabola-Rettangolo
Modulo Elastico Normale Ec :	314750 daN/cm ²
Coeff. di Poisson :	0.20
Resis. media a trazione fctm :	26.00 daN/cm ²
Coeff. Omogen. S.L.E. :	15.0
Combinazioni Rare in Esercizio (Tens.Limite):	
Sc Limite :	150.00 daN/cm ²
Apert.Fess.Limite :	Non prevista

ACCIAIO - Tipo: B450C

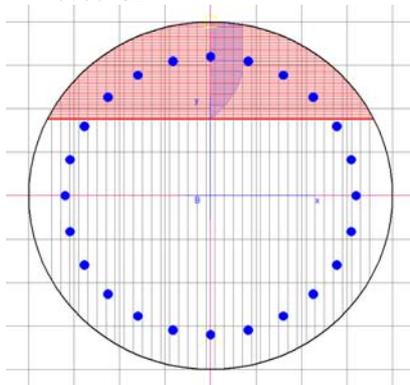
Resist. caratt. snervam. fyk :	4500.0 daN/cm ²
Resist. caratt. rottura ftk :	5400.0 daN/cm ²
Resist. snerv. di calcolo fyd :	3913.0 daN/cm ²
Resist. ultima di calcolo ftd :	4500.0 daN/cm ²
Deform. ultima di calcolo Epu :	0.068
Modulo Elastico Ef :	2000000 daN/cm ²
Diagramma tensione-deformaz. :	Bilineare finito
Coeff. Aderenza ist. $\beta_1 \cdot \beta_2$:	1.00 daN/cm ²
Coeff. Aderenza diff. $\beta_1 \cdot \beta_2$:	0.50 daN/cm ²
Comb.Rare Sf Limite :	3600.0 daN/cm ²

CARATTERISTICHE DOMINI CONGLOMERATO

DOMINIO N° 1

Forma del Dominio: Circolare
Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circonferenza: 40.00 cm
Ascissa X centro circ.: 0.00 cm
Ordinata Y centro circ.: 0.00 cm



DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N.Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	55 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

Xcentro	Ascissa del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre gen.
Ycentro	Ordinata del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre gen.
Raggio	Raggio in cm della circonferenza lungo cui sono disposte le barre gen.
N.Barre	Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonfer.
Diam.	Diametro in mm della singola barra generata

N.Gen.	Xcentro,cm	Ycentro,cm	Raggio,cm	N.Barre	Diam.Ø,mm
1	0.00	0.00	32.00	24	20

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy	Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia y
Vx	Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia x

N.Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	7904	38690	0	10	0
2	7904	18500	0	0	0
3	10165	30390	0	0	0
4	7904	26130	0	0	0
5	8380	17880	0	0	0
6	12904	2264	0	0	0
7	10391	9267	0	0	0
8	12904	0	0	0	0
9	13681	42100	0	0	0
10	16445	29120	0	0	0
11	12675	40810	0	0	0
12	16445	13280	0	0	0
13	8783	33150	0	0	0
14	12176	18460	0	0	0
15	7275	32150	0	0	0
16	10542	13430	0	0	0

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx	Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sez.
My	Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.

N.Comb.	N	Mx	My
1	11673	22130	0
2	8380	13750	0
3	13681	32140	0
4	9035	25330	0

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.0 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 6.4 cm
Copriferro netto minimo staffe: 5.8 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult	Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx ult	Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My ult	Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	56 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

N.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.
1	S	7904	38690	0	7902	83060	0	2.147
2	S	7904	18500	0	7902	83060	0	4.490
3	S	10165	30390	0	10150	83471	0	2.747
4	S	7904	26130	0	7902	83060	0	3.179
5	S	8380	17880	0	8379	83147	0	4.650
6	S	12904	2264	0	12928	83978	0	37.093
7	S	10391	9267	0	10402	83517	0	9.012
8	S	12904	0	0	12928	83978	0	999.000
9	S	13681	42100	0	13684	84115	0	1.998
10	S	16445	29120	0	16461	84620	0	2.906
11	S	12675	40810	0	12664	83930	0	2.057
12	S	16445	13280	0	16461	84620	0	6.372
13	S	8783	33150	0	8759	83217	0	2.510
14	S	12176	18460	0	12203	83846	0	4.542
15	S	7275	32150	0	7298	82949	0	2.580
16	S	10542	13430	0	10528	83540	0	6.220

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
ef min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xf min	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)
ef max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xf max	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yf max	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N.Comb.	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	ef min	Xf min	Yf min	ef max	Xf max	Yf max
1	0.00350	-0.00183	0.0	40.0	0.00226	0.0	32.0	-0.00769	0.0	-32.0
2	0.00350	-0.00183	0.0	40.0	0.00226	0.0	32.0	-0.00769	0.0	-32.0
3	0.00350	-0.00179	0.0	40.0	0.00226	0.0	32.0	-0.00762	0.0	-32.0
4	0.00350	-0.00183	0.0	40.0	0.00226	0.0	32.0	-0.00769	0.0	-32.0
5	0.00350	-0.00182	0.0	40.0	0.00226	0.0	32.0	-0.00768	0.0	-32.0
6	0.00350	-0.00175	0.0	40.0	0.00227	0.0	32.0	-0.00753	0.0	-32.0
7	0.00350	-0.00179	0.0	40.0	0.00227	0.0	32.0	-0.00761	0.0	-32.0
8	0.00350	-0.00175	0.0	40.0	0.00227	0.0	32.0	-0.00753	0.0	-32.0
9	0.00350	-0.00174	0.0	40.0	0.00228	0.0	32.0	-0.00750	0.0	-32.0
10	0.00350	-0.00170	0.0	40.0	0.00229	0.0	32.0	-0.00742	0.0	-32.0
11	0.00350	-0.00176	0.0	40.0	0.00227	0.0	32.0	-0.00754	0.0	-32.0
12	0.00350	-0.00170	0.0	40.0	0.00229	0.0	32.0	-0.00742	0.0	-32.0
13	0.00350	-0.00182	0.0	40.0	0.00226	0.0	32.0	-0.00766	0.0	-32.0
14	0.00350	-0.00176	0.0	40.0	0.00227	0.0	32.0	-0.00755	0.0	-32.0
15	0.00350	-0.00184	0.0	40.0	0.00225	0.0	32.0	-0.00771	0.0	-32.0
16	0.00350	-0.00179	0.0	40.0	0.00227	0.0	32.0	-0.00761	0.0	-32.0

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a	Coeff. a nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
b	Coeff. b nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
c	Coeff. c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N.Comb.	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000155434	-0.002717358		
2	0.000000000	0.000155434	-0.002717358		
3	0.000000000	0.000154413	-0.002676520		
4	0.000000000	0.000155434	-0.002717358		
5	0.000000000	0.000155218	-0.002708730		
6	0.000000000	0.000153176	-0.002627056		
7	0.000000000	0.000154298	-0.002671919		
8	0.000000000	0.000153176	-0.002627056		
9	0.000000000	0.000152846	-0.002613827		

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	57 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

10	0.000000000	0.000151623	-0.002564937
11	0.000000000	0.000153291	-0.002631657
12	0.000000000	0.000151623	-0.002564937
13	0.000000000	0.000155046	-0.002701828
14	0.000000000	0.000153493	-0.002639709
15	0.000000000	0.000155707	-0.002728286
16	0.000000000	0.000154240	-0.002669618

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione positiva di compressione nel conglomerato [daN/cm ²]
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,0)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,0)
Sf min	Minima tensione negativa di trazione nell'acciaio [daN/cm ²]
Xf min	Ascissa in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,0)
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,0)
Ac eff.	Area di conglomerato [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre
D fess.	Distanza calcolata tra le fessure espressa in mm
K3	Coeff. di normativa dipendente dalla forma del diagramma delle tensioni
Ap.fess.	Apertura calcolata delle fessure espressa in mm

N.Comb.	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xf min	Yf min	Ac eff.	D fess.	K3	Ap.Fess.
1	S	56.6	0.0	0.0	-1300	0.0	-32.0	1353	225	0.177	0.099
2	S	35.2	0.0	0.0	-792	0.0	-32.0	1327	223	0.177	0.060
3	S	82.2	0.0	0.0	-1937	0.0	-32.0	1353	225	0.178	0.195
4	S	64.7	0.0	0.0	-1552	0.0	-32.0	1353	225	0.179	0.155

verifica a taglio sezione circolare

r	400	mm
c	89	mm
rs	311	mm
α	0.52	rad
Atot	502655	mm ²
A	402989	mm ²
h	745.9	mm
d	598.0	mm
bw	673.9	mm
1+(200/d)^0,5	1.578	
k	1.578	
Asl	7540	mm ²
Asl/(bw·d)	0.019	
ρ1	0.019	
vmin	0.346	
vmin·bw·d	139558	N
Vrd	274637	N
Vrd	274.64	kN
Ved	202.00	KN
Vrd/Ved	1.36	-
Vrd	274637	N
Vrd	VERIFICATO	

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	58 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

11.4.5 VERIFICHE GEOTECNICHE

Viene analizzata la spinta passiva mobilitata per le combinazioni di carico più gravose:

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX) A2+M2+R1 (Stage 6)	0.13	D.A.	NTC2018:
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX) A2+M2+R1 (Stage 5a)	0.41	D.A.	NTC2018:
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX) SISMICA GEO (Stage 1)	0.09	D.A.	NTC2018:
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX) SISMICA GEO (Stage 6)	0.28	D.A.	NTC2018:

Dai tabulati sopra riportati emerge che il valore massimo di spinta mobilitata è pari al 28%, inferiore al limite del 100% consentito ($R1 = 1$).

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	59 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

11.5 MODELLO 5

Il modello 5 rappresenta la sezione del fosso con altezza di scavo massima pari a 4.0 m in corrispondenza della quale la paratia non ha vincoli in testa (cordolo o soletta).

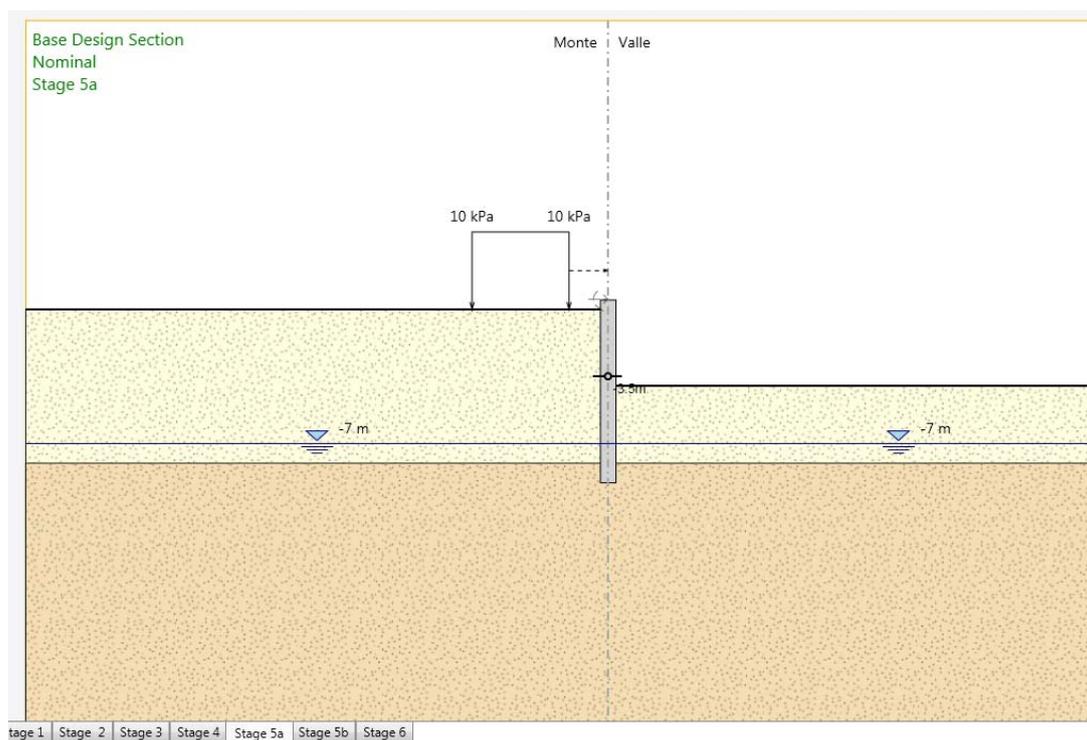


Figura 32 – Modello di calcolo 5.

Di seguito sono riportate le principali caratteristiche geometriche della sezione di calcolo, mentre i parametri geotecnici di calcolo sono riportati al capitolo 4.

tipologia struttura di sostegno	paratia di pali $\phi = 800$ mm – interasse 1.0 m
altezza totale paratia	$H_{tot} = 9.0$ m (cordolo 1.0 m + pali $L = 8$ m)
altezza libera paratia	$H_s = 4.0$ m (da estradosso cordolo)
puntoni	no
inclinazione del piano campagna a monte	piana
Spinta simica	Mononobe – Okabe
sovraccarichi variabili a monte (in fase di scavo)	$q = 10$ kPa in condizioni statiche $H = 50$ kN urto in condizione eccezionale $M = - 50$ kNm $q = 0$ kPa in condizioni sismiche
falda	- 7.0 m da p.c.

Tabella 14 – Caratteristiche geometriche della sezione di calcolo 5.

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	60 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

11.5.1 FASI DI CALCOLO

Si prescinde dal riportare le immagini del modello di calcolo di tutte le fasi che comunque sono di seguito elencate:

Step 1: stato attuale.

Step 2: Realizzazione pali con applicazione del sovraccarico variabile a monte di 10 kPa.

Step 3: Scavo fino a - 4.00 m da TC.

Step 4: Realizzazione soletta di fondo.

Step 5: Applicazione dell'azione dell'urto del veicolo sul new jersey in testa al cordolo.

Step 6: applicazione dell'azione sismica di progetto.

11.5.2 RISULTATI DELLE ANALISI

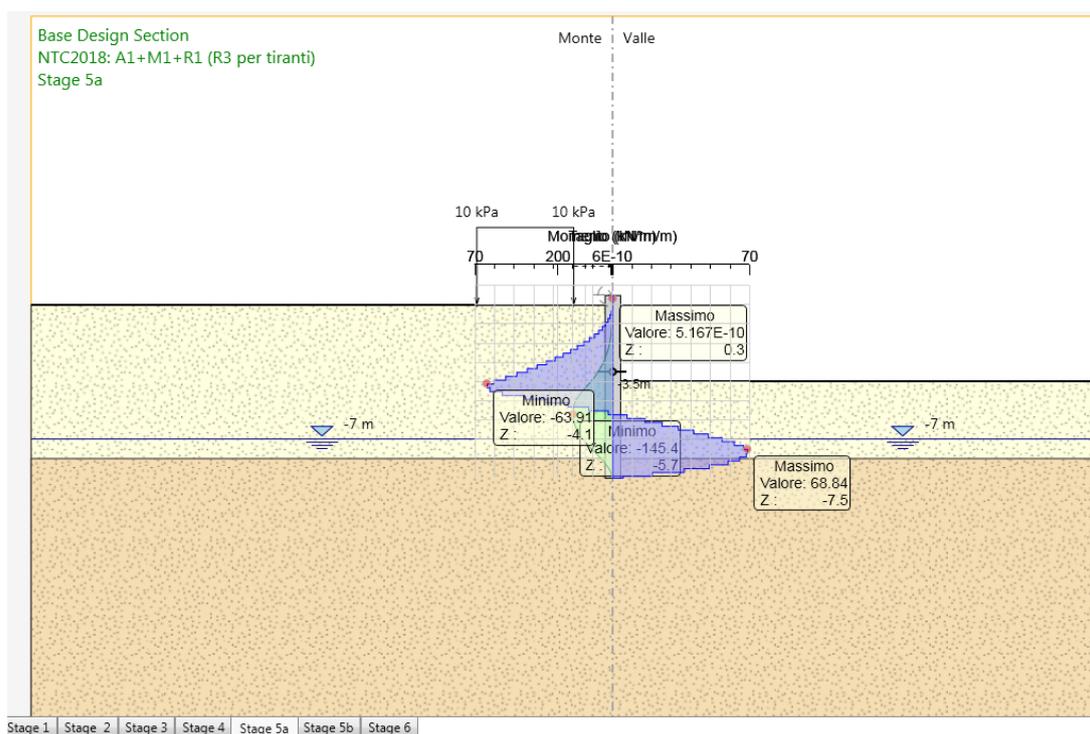


Figura 33 – Diagramma del momento flettente e del taglio sulla paratia in combinazione A1+M1+R1.

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	61 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

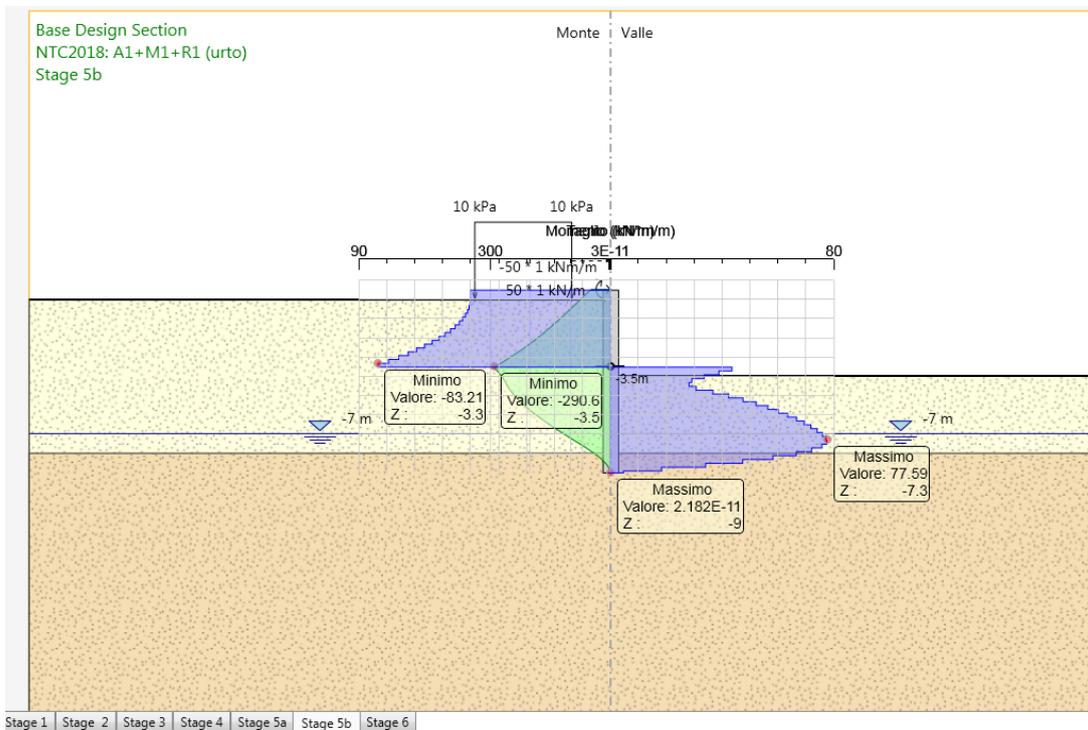


Figura 34 – Diagramma del momento flettente e del taglio sulla paratia in combinazione AI+M1+R1 (eccezionale).

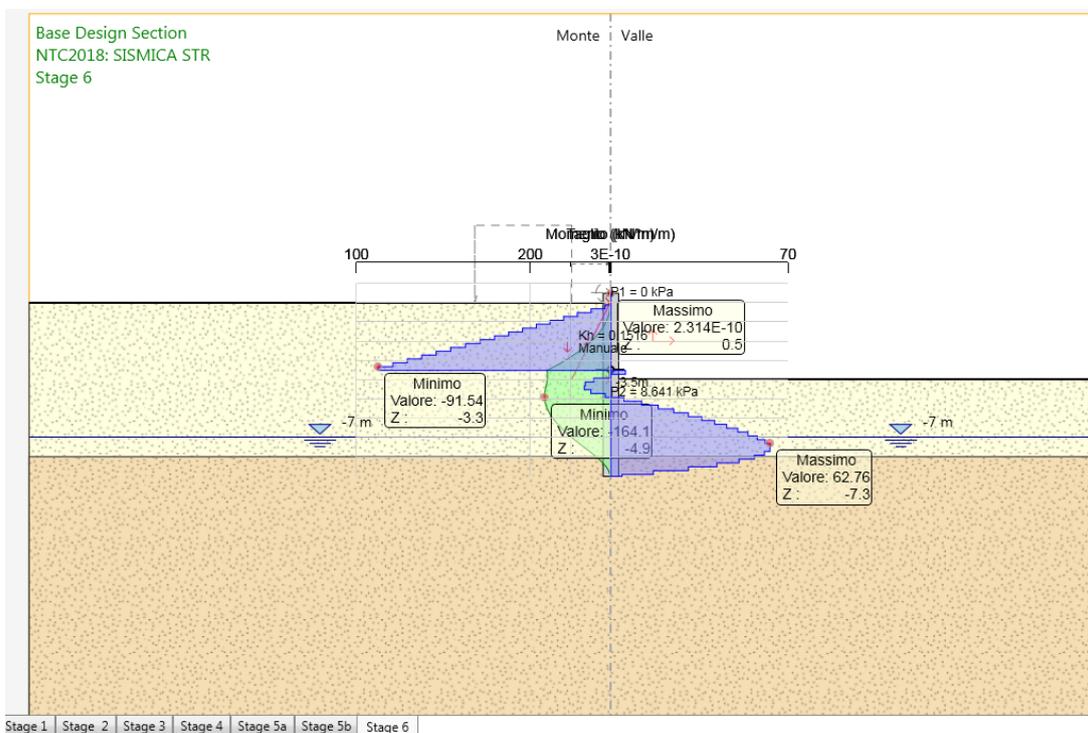


Figura 35 – Diagramma del momento flettente e del taglio sulla paratia in combinazione SISMICA STR.

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	62 di 79

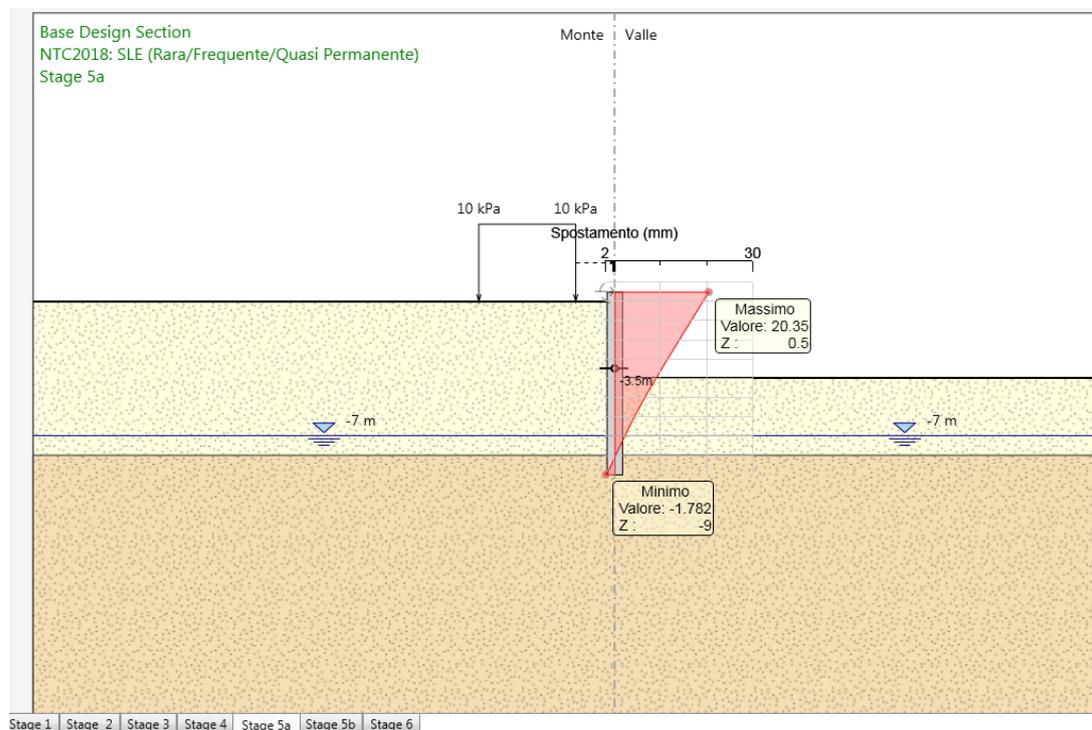
Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno


Figura 36 – Diagramma della deformata SLE.

11.5.3 SOLLECITAZIONI MASSIME DELLA SEZIONE IN C.A.

Nella tabella che segue si riportano le sollecitazioni massime, sia a metro lineare che sul singolo palo (ottenute moltiplicando quelle a metro lineare per l'interasse tra i pali), con cui si sono effettuate le verifiche. Lo sforzo assiale agente sul singolo palo alla profondità considerata è valutato sommando al peso proprio del palo il peso del cordolo.

Le sollecitazioni sono state valutate per la sezione di riferimento della struttura sia in condizioni sismiche che in condizioni statiche. Nella verifica a presso-flessione si è considerato il peso proprio del palo valutato alla corrispondente quota di verifica.

COMBINAZIONE	FASE	z	M (kNm/m)	T (kN/m)	M _{palo} (kNm)	N _{palo} (kN)	T _{palo} (kN)
A1 + M1 + R1	Step 6	3.50	290.60	-	290.60	68.98	-
A1 + M1 + R1	Step 6	3.30	274.00	83.21	274.00	66.47	83.21
SISMICA STR	Step 7	4.90	164.10	-	164.10	86.58	-
SISMICA STR	Step 7	3.30	139.40	91.54	139.40		91.54

Tabella 15 – Sollecitazioni di verifica della sezione in c.a.

11.5.4 VERIFICHE STRUTTURALI DELLA SEZIONE IN C.A.

I pali di lunghezza 8.0 m sono tutti armati con un'armatura corrente di 20 Φ 16, ed un'armatura trasversale costituita da una spirale Φ 12/20.

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	63 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: palo_sez2

(Percorso File: \\oceano\C39\LAVORO\MODELLI DI CALCOLO\FOSSO BULAGAIO\palo_sez2.sez)

Descrizione Sezione:
 Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi
 Tipologia sezione: Sezione generica
 Normativa di riferimento: N.T.C.
 Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante
 Condizioni Ambientali: Moderat. aggressive
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia
 Riferimento alla sismicità: Zona non sismica
 Posizione sezione nell'asta: In zona critica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CONGLOMERATO - Classe: C25/30
 Resis. compr. di calcolo fcd : 141.60 daN/cm²
 Resis. compr. ridotta fcd' : 70.80 daN/cm²
 Def.unit. max resistenza ec2 : 0.0020
 Def.unit. ultima ecu : 0.0035
 Diagramma tensione-deformaz. : Parabola-Rettangolo
 Modulo Elastico Normale Ec : 314750 daN/cm²
 Coeff. di Poisson : 0.20
 Resis. media a trazione fctm : 26.00 daN/cm²
 Coeff. Omogen. S.L.E. : 15.0
 Combinazioni Rare in Esercizio (Tens.Limite):
 Sc Limite : 150.00 daN/cm²
 Apert.Fess.Limite : Non prevista

ACCIAIO - Tipo: B450C
 Resist. caratt. snervam. fyk : 4500.0 daN/cm²
 Resist. caratt. rottura ftk : 5400.0 daN/cm²
 Resist. snerv. di calcolo fyd : 3913.0 daN/cm²
 Resist. ultima di calcolo ftd : 4500.0 daN/cm²
 Deform. ultima di calcolo Epu : 0.068
 Modulo Elastico Ef : 2000000 daN/cm²
 Diagramma tensione-deformaz. : Bilineare finito
 Coeff. Aderenza ist. β1*β2 : 1.00 daN/cm²
 Coeff. Aderenza diff. β1*β2 : 0.50 daN/cm²
 Comb.Rare Sf Limite : 3600.0 daN/cm²

CARATTERISTICHE DOMINI CONGLOMERATO

DOMINIO N° 1

Forma del Dominio: Circolare
 Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circonferenza: 40.00 cm
 Ascissa X centro circ.: 0.00 cm
 Ordinata Y centro circ.: 0.00 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N.Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
 Xcentro Ascissa del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre gen.
 Ycentro Ordinata del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre gen.
 Raggio Raggio in cm della circonferenza lungo cui sono disposte le barre gen.
 N.Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonfer.
 Diam. Diametro in mm della singola barra generata

N.Gen.	Xcentro,cm	Ycentro,cm	Raggio,cm	N.Barre	Diam.Ø,mm
1	0.00	0.00	32.00	20	16

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	64 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia y
Vx Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia x

N.Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	6898	29060	0	10	0
2	6647	27400	0	0	0
3	8658	16410	0	0	0
4	6647	13940	0	0	0

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sez.
My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.

N.Comb.	N	Mx	My
1	9663	11090	0

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.2 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 8.4 cm
Copriferro netto minimo staffe: 6.0 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)
Mx Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My)
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000

N.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.
1	S	6898	29060	0	6872	49219	0	1.694
2	S	6647	27400	0	6625	49159	0	1.794
3	S	8658	16410	0	8651	49648	0	3.025
4	S	6647	13940	0	6625	49159	0	3.526

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

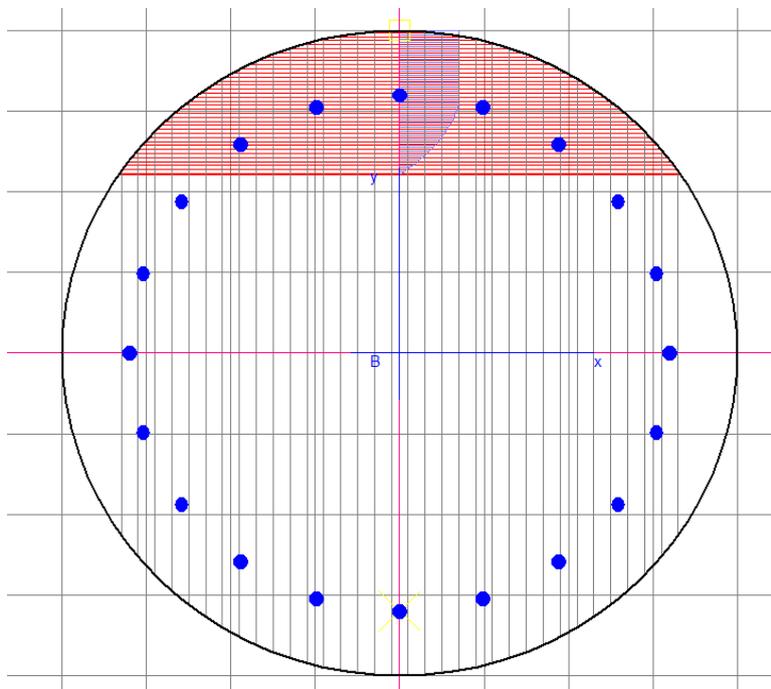
ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,0 sez.)
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,0 sez.)
ef min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xf min Ascissa in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,0 sez.)
Yf min Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,0 sez.)
ef max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xf max Ascissa in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,0 sez.)
Yf max Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,0 sez.)

N.Comb.	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	ef min	Xf min	Yf min	ef max	Xf max	Yf max
1	0.00350	-0.00320	0.0	40.0	0.00194	0.0	32.0	-0.01058	0.0	-32.0
2	0.00350	-0.00321	0.0	40.0	0.00193	0.0	32.0	-0.01060	0.0	-32.0
3	0.00350	-0.00315	0.0	40.0	0.00195	0.0	32.0	-0.01046	0.0	-32.0
4	0.00350	-0.00321	0.0	40.0	0.00193	0.0	32.0	-0.01060	0.0	-32.0

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	65 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno



POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a Coeff. a nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
b Coeff. b nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
c Coeff. c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N.Comb.	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000195538	-0.004321511		
2	0.000000000	0.000195768	-0.004330714		
3	0.000000000	0.000193870	-0.004254791		
4	0.000000000	0.000195768	-0.004330714		

verifica a taglio sezione circolare

r	400	mm		
c	89	mm		
rs	311	mm		
α	0.52	rad		
Atot	502655	mm ²		
A	402989	mm ²		
h	745.9	mm	Rck	30
d	598.0	mm	fck	24.9
bw	673.9	mm	γ_c	1.5
$1+(200/d)^{0,5}$	1.578			
k	1.578	As	20	ϕ 16.0
Asl	4021	mm ²		

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	66 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

Asl/(bw·d)	0.010			
ρ_1	0.010	Vrd	222.72	kN
vmin	0.346	Ved	83.21	KN
vmin·bw·d	139558 N	Vrd/Ved	2.68	-
Vrd	222720 N	VERIFICATO		

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata											
Sc max	Massima tensione positiva di compressione nel conglomerato [daN/cm ²]											
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,0)											
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,0)											
Sf min	Minima tensione negativa di trazione nell'acciaio [daN/cm ²]											
Xf min	Ascissa in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,0)											
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,0)											
Ac eff.	Area di conglomerato [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre											
D fess.	Distanza calcolata tra le fessure espressa in mm											
K3	Coeff. di normativa dipendente dalla forma del diagramma delle tensioni											
Ap.fess.	Apertura calcolata delle fessure espressa in mm											

N.Comb.	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xf min	Yf min	Ac eff.	D fess.	K3	Ap.Fess.
1	S	20.8	0.0	0.0	-204	0.0	-32.0	1378	0	0.178	0.000

11.5.5 VERIFICHE GEOTECNICHE

Viene analizzata la spinta passiva mobilitata per le combinazioni di carico più gravose:

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX) A2+M2+R1 (Stage 6)	0.14	D.A. NTC2018:
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX) A2+M2+R1 (Stage 5a)	0.4	D.A. NTC2018:
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX) SISMICA GEO (Stage 1)	0.09	D.A. NTC2018:
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX) SISMICA GEO (Stage 6)	0.26	D.A. NTC2018:

Dai tabulati sopra riportati emerge che il valore massimo di spinta mobilitata è pari al 26%, inferiore al limite del 100% consentito (R1 = 1).

OPERE MINORI

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	67 di 79

12 RIVESTIMENTO PARATIE

Il rivestimento interno delle paratie è costituito da pareti in calcestruzzo gettato in opera di spessore 25 cm. Le pareti di rivestimento sono soggette solo al carico derivante dal peso proprio e dalla spinta orizzontale prodotta dall'inerzia sismica. Tutte le spinte orizzontali permanenti e accidentali agenti a monte della paratia sono assorbite dalla paratia stessa.

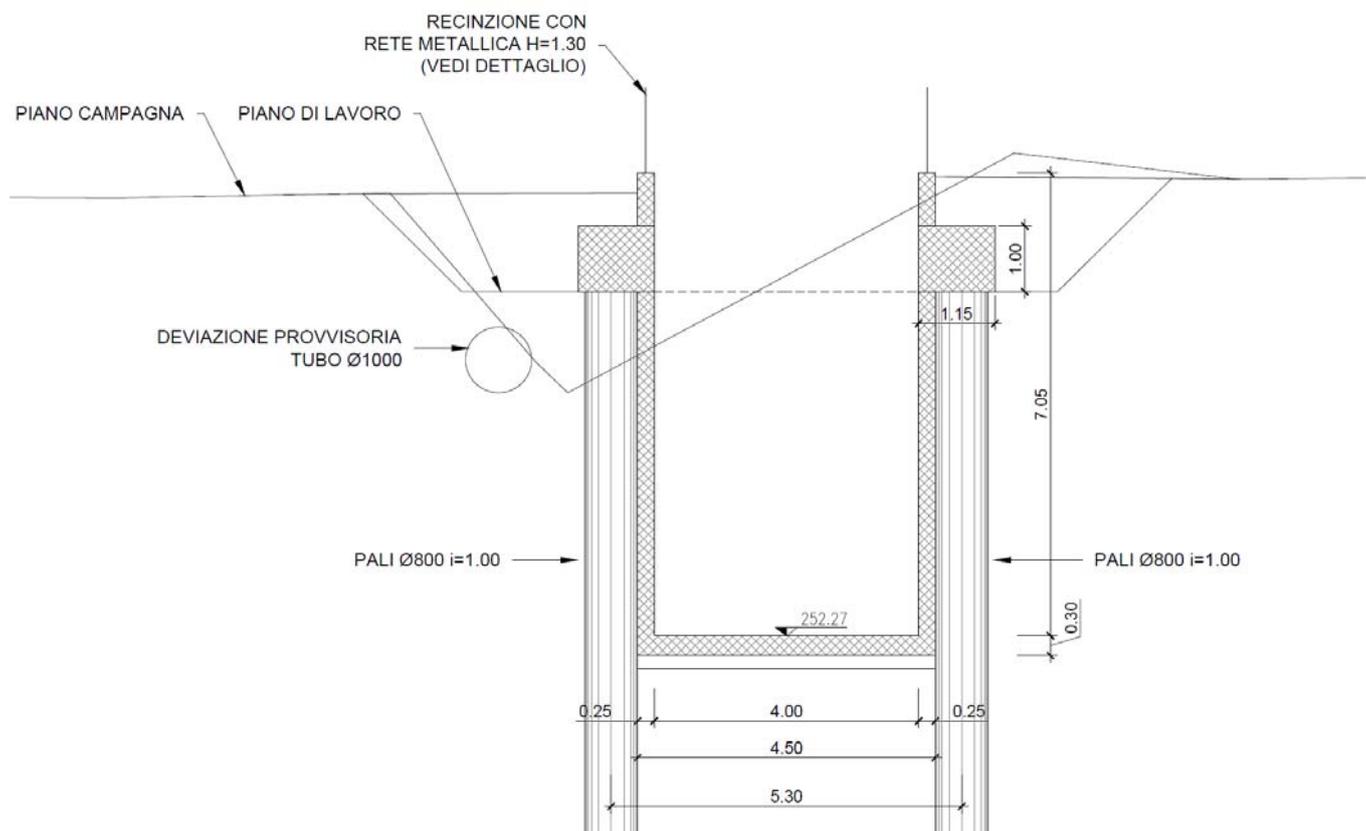


Figura 37 – Parete di rivestimento

12.1 PARETE

Il peso proprio delle pareti è il seguente:

$$P_p = 25 \cdot 0.25 = 6.25 \text{ kN/m}$$

L'inerzia sismica orizzontale è calcolata come il prodotto di k_h (vedi capitolo 6) per il peso proprio della parete ed è pari a:

$$K_h = a_{\max} \cdot \beta_h = 0.172 \cdot 1.2 \cdot 1 = 0.206 \text{ g}$$

$$F_{Hp, sx} = 0.206 \cdot 6.25 = 1.29 \text{ kN/m}$$

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	68 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

Le sollecitazioni agenti su una fetta di parete di lunghezza 1 m si calcolano ipotizzando un'asta incastrata alla base soggetta ad un carico uniformemente distribuito pari alla spinta sismica su una sezione di dimensioni 100x25cm.

La parete di rivestimento si viluppa dalla soletta di fondo all'intradosso del cordolo della tricea e l'altezza massima misurata è pari a 5.8 m(7.0- 1.0 -0.2 m).

$$M = pl^2/2 = (1.29*5.8^2)/2 = 21.7 \text{ kNm}$$

$$T = pl = 1.29*5.8 = 7.5$$

$$N = P_p l = 36.25 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

La parete è armata con un'armatura doppia simmetrica costituita da ferri $\Phi 12 /20$.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: parete25

(Percorso File: \\oceano\C39\LAVORO\MODELLI DI CALCOLO\FOSSO-ELLERA\parete25.sez)

Descrizione Sezione:
Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione: Sezione generica
Normativa di riferimento: N.T.C.
Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali: Poco aggressive
Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità: Zona non sismica
Posizione sezione nell'asta: In zona critica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CONGLOMERATO - Classe: C28/35
Resis. compr. di calcolo fcd : 158.60 daN/cm²
Resis. compr. ridotta fcd' : 79.30 daN/cm²
Def.unit. max resistenza ec2 : 0.0020
Def.unit. ultima ecu : 0.0035
Diagramma tensione-deformaz. : Parabola-Rettangolo
Modulo Elastico Normale Ec : 323080 daN/cm²
Coeff. di Poisson : 0.20
Resis. media a trazione fctm : 28.80 daN/cm²
Coeff. Omogen. S.L.E. : 15.0
Combinazioni Rare in Esercizio (Tens.Limite):
Sc Limite : 168.00 daN/cm²
Apert.Fess.Limite : Non prevista

ACCIAIO - Tipo: B450C
Resist. caratt. snervam. fyk : 4500.0 daN/cm²
Resist. caratt. rottura ftk : 5400.0 daN/cm²
Resist. snerv. di calcolo fyd : 3913.0 daN/cm²
Resist. ultima di calcolo ftd : 4500.0 daN/cm²
Deform. ultima di calcolo Epu : 0.068
Modulo Elastico Ef : 2000000 daN/cm²
Diagramma tensione-deformaz. : Bilineare finito
Coeff. Aderenza ist. $\beta 1 * \beta 2$: 1.00 daN/cm²
Coeff. Aderenza diff. $\beta 1 * \beta 2$: 0.50 daN/cm²
Comb.Rare Sf Limite : 3600.0 daN/cm²

CARATTERISTICHE DOMINI CONGLOMERATO

DOMINIO N° 1

Forma del Dominio: Poligonale
Classe Conglomerato: C28/35

N.vertice	Ascissa X, cm	Ordinata Y, cm
1	-50.00	0.00

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	69 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

2	-50.00	25.00
3	50.00	25.00
4	50.00	0.00

DATI BARRE ISOLATE

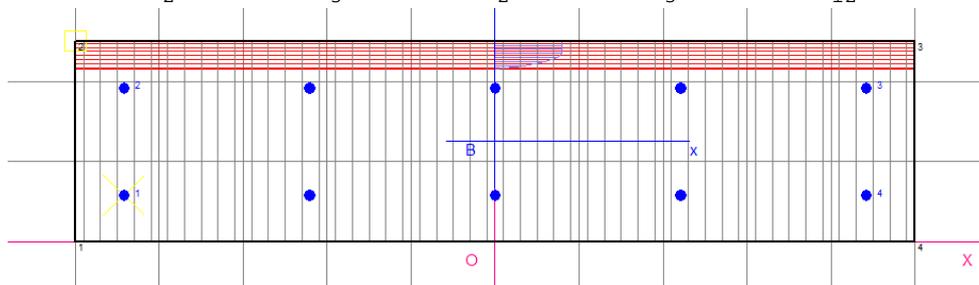
N.Barra Numero assegnato alle singole barre isolate e nei vertici dei domini
 Ascissa X Ascissa in cm del baricentro della barra nel sistema di rif. gen. X, Y, O
 Ordinata Y Ordinata in cm del baricentro della barra nel sistema di rif. gen. X, Y, O
 Diam. Diametro in mm della barra

N.Barra	Ascissa X, cm	Ordinata Y, cm	Diam.Ø,mm
1	-44.20	5.80	12
2	-44.20	19.20	12
3	44.20	19.20	12
4	44.20	5.80	12

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N.Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
 N.Barra In. Numero della barra iniziale cui si riferisce la gener.
 N.Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la gener.
 N.Barre Numero di barre generate equidist. inserite tra la barra iniz. e fin.
 Diam. Diametro in mm della singola barra generata

N.Gen.	N.Barra In.	N.Barra Fin.	N.Barre	Diam.Ø,mm
1	1	4	3	12
2	3	2	3	12



ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
 Vy Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia y
 Vx Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia x

N.Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0	2170	0	10	0

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sez.
 My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.

N.Comb.	N	Mx	My
1	0	2170	0

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.2 cm

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	70 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

Interferro netto minimo barre longitudinali: 12.2 cm
Copriferro netto minimo staffe: 4.0 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult	Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx ult	Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My ult	Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000

N.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.
1	S	0	2170	0	0	5007	0	2.307

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,0 sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,0 sez.)
ef min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xf min	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,0 sez.)
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,0 sez.)
ef max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xf max	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,0 sez.)
Yf max	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,0 sez.)

N.Comb.	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	ef min	Xf min	Yf min	ef max	Xf max	Yf max
1	0.00350	-0.00725	-50.0	25.0	-0.00232	44.2	19.2	-0.01577	-44.2	5.8

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a	Coeff. a nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,0 gen.
b	Coeff. b nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,0 gen.
c	Coeff. c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,0 gen.
x/d	Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N.Comb.	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.001003420	-0.021585505	0.182	0.700

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione positiva di compressione nel conglomerato [daN/cm ²]
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,0)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,0)
Sf min	Minima tensione negativa di trazione nell'acciaio [daN/cm ²]
Xf min	Ascissa in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,0)
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,0)
Ac eff.	Area di conglomerato [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre
D fess.	Distanza calcolata tra le fessure espressa in mm
K3	Coeff. di normativa dipendente dalla forma del diagramma delle tensioni
Ap.fess.	Apertura calcolata delle fessure espressa in mm

N.Comb.	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xf min	Yf min	Ac eff.	D fess.	K3	Ap.Fess.
1	S	51.2	-50.0	25.0	-2162	-44.2	5.8	743	210	0.125	0.154

Verifica a taglio

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	71 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

L'azione di taglio sollecitante è inferiore al valore di taglio resistente calcolato senza considerare il contributo di eventuali armature a taglio.

verifica a taglio

h	250 mm	Rck	35		
d	192 mm	fck	29.05		
bw	1000 mm	γc	1.5		
$1+(200/d)^{0,5}$	2.021				
k	2.000	As	5 Φ	12.0	
Asl	565 mm ²				
Asl/(bw·d)	0.0029				
ρ1	0.003	Vrd	102.4 kN		
vmin	0.534	Ved	7.50 KN		
vmin·bw·d	102444 N				

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	72 di 79

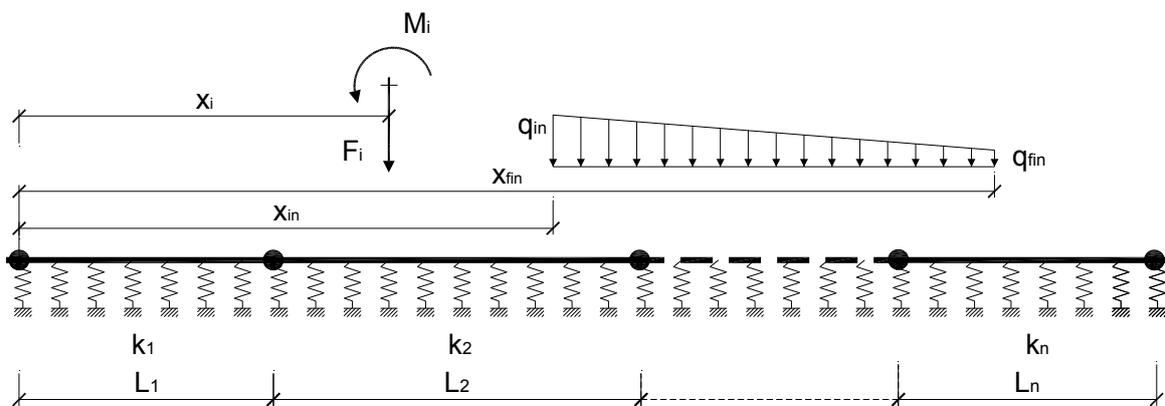
Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

12.2 SOLETTA DI FONDO

La soletta di fondo viene valutata come una trave su suolo elastico di dimensioni 100x30 cm. La luce è pari alla distanza tra le pareti e quindi pari a 4.25 m.

Il carico agente sulla soletta è pari al peso proprio più il carico dovuto all'acqua contenuta nel fosso.

$$P_{SLU} = 55.13 \text{ kN/m}$$



tratto	L (m)	E (kN/m ²)	sezione	B (m)	H (m)	h ala (m)	b anima (m)	I (m ⁴)	ks*Bm (kN/m ²)	reag. a traz.
1	4.25	3.0E+07	rettangolare	1.00	0.30	0.60	0.70		2000	no
2			rettangolare			0.60	0.70			no
3			rettangolare			0.60	0.70			no
4			T o L							si
5			T o L							no
6			T o L							si

L trave (m)
4.25

dim elementi (m)
0.2

max iterazioni
20

vincoli sinistra traslazione destra traslazione
 rotazione rotazione

forze e momenti concentrati			
	x (m)	F (kN)	M (kNm)
1			

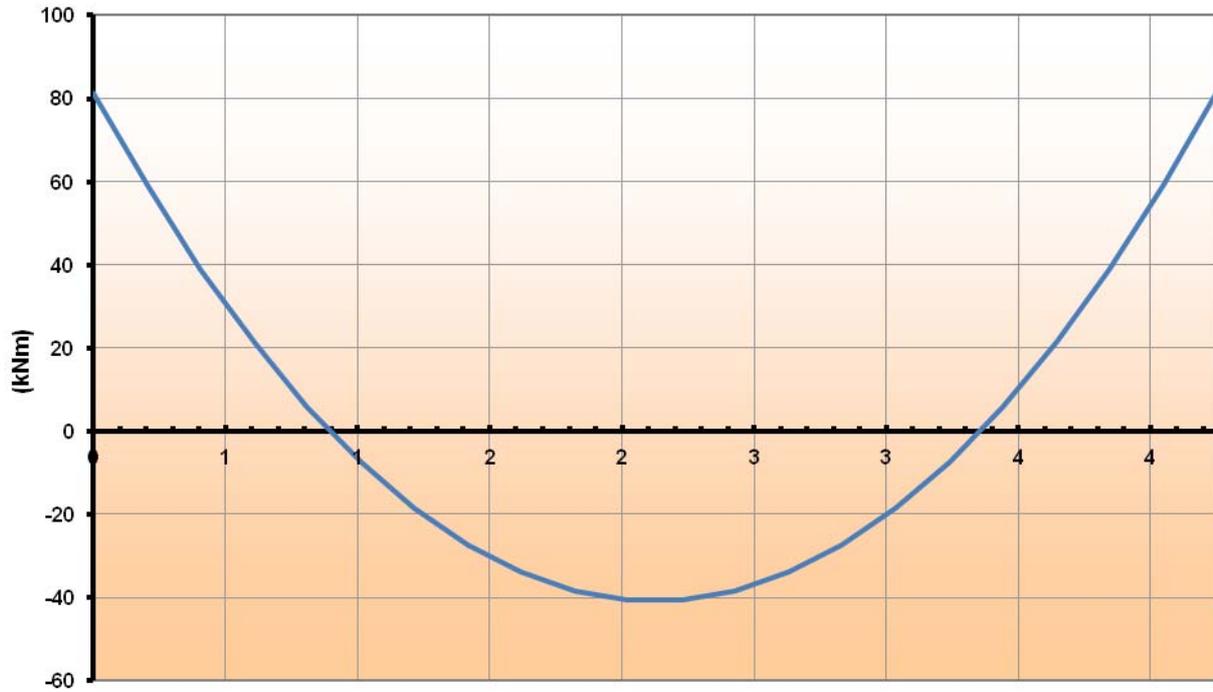
carichi distribuiti				
	xin (m)	qin (kN/m)	xfin (m)	qfin (kN/m)
1	0.00	55.13	4.25	55.13

OPERE MINORI

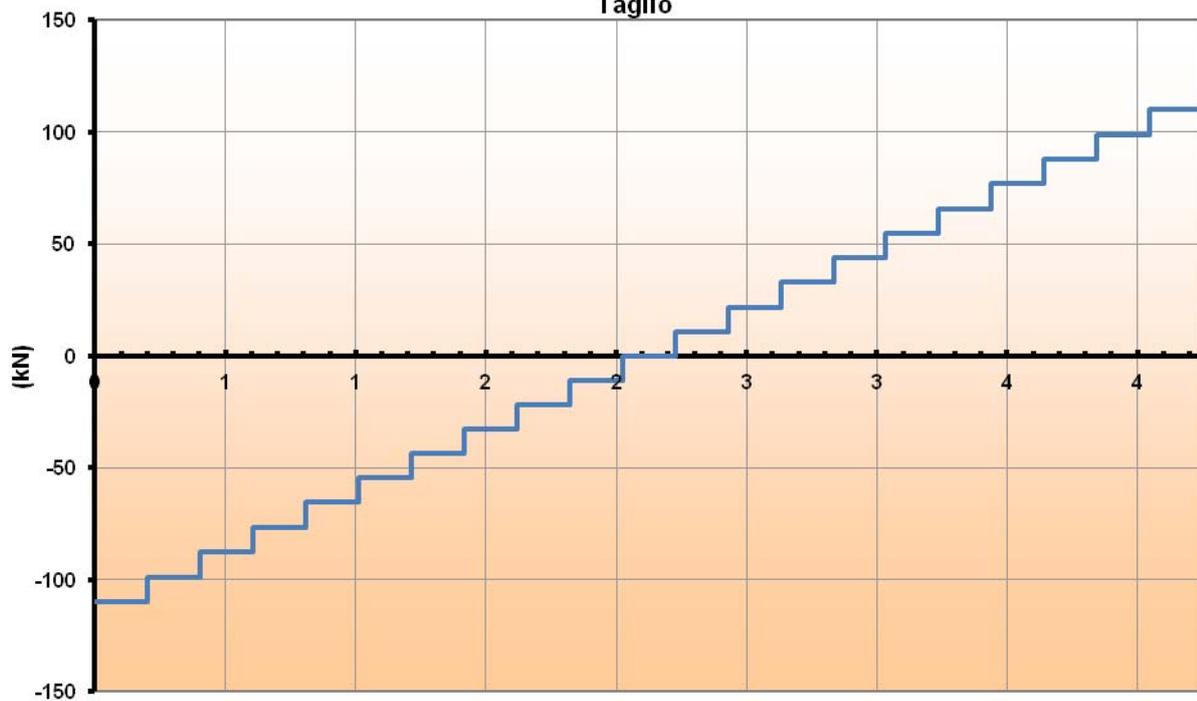
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	73 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

Momento



Taglio

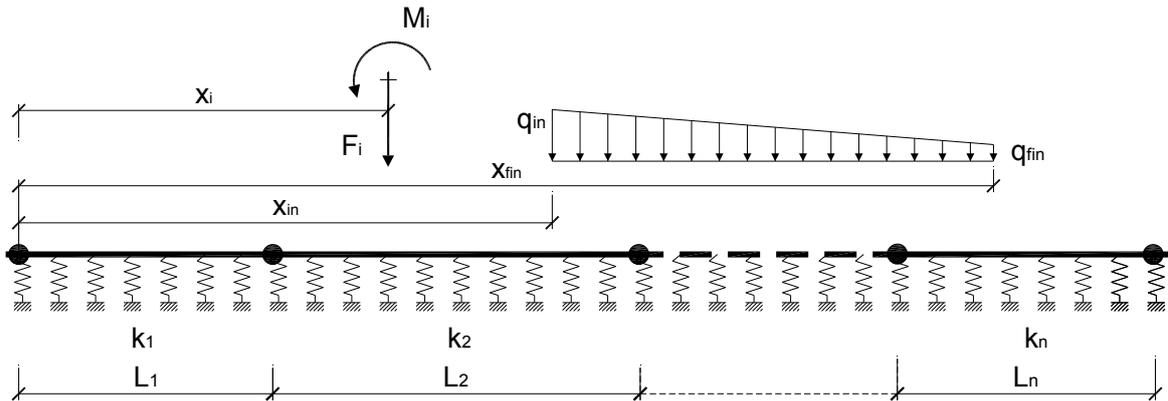


OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	74 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

$P_{SLE} = 37.5 \text{ kN/m}$



tratto	L (m)	E (kN/m ²)	sezione	B (m)	H (m)	h ala (m)	b anima (m)	I (m ⁴)	ks*Bm (kN/m ²)	reag. a traz.
1	4.25	3.0E+07	rettangolare	1.00	0.30	0.60	0.70		2000	no
2			rettangolare			0.60	0.70			no
3			rettangolare			0.60	0.70			no
4			T o L							si
5			T o L							no
6			T o L							si

L trave (m)
4.25

dim elementi (m)
0.2

max iterazioni
20

vincoli sinistra traslazione destra traslazione
 rotazione rotazione

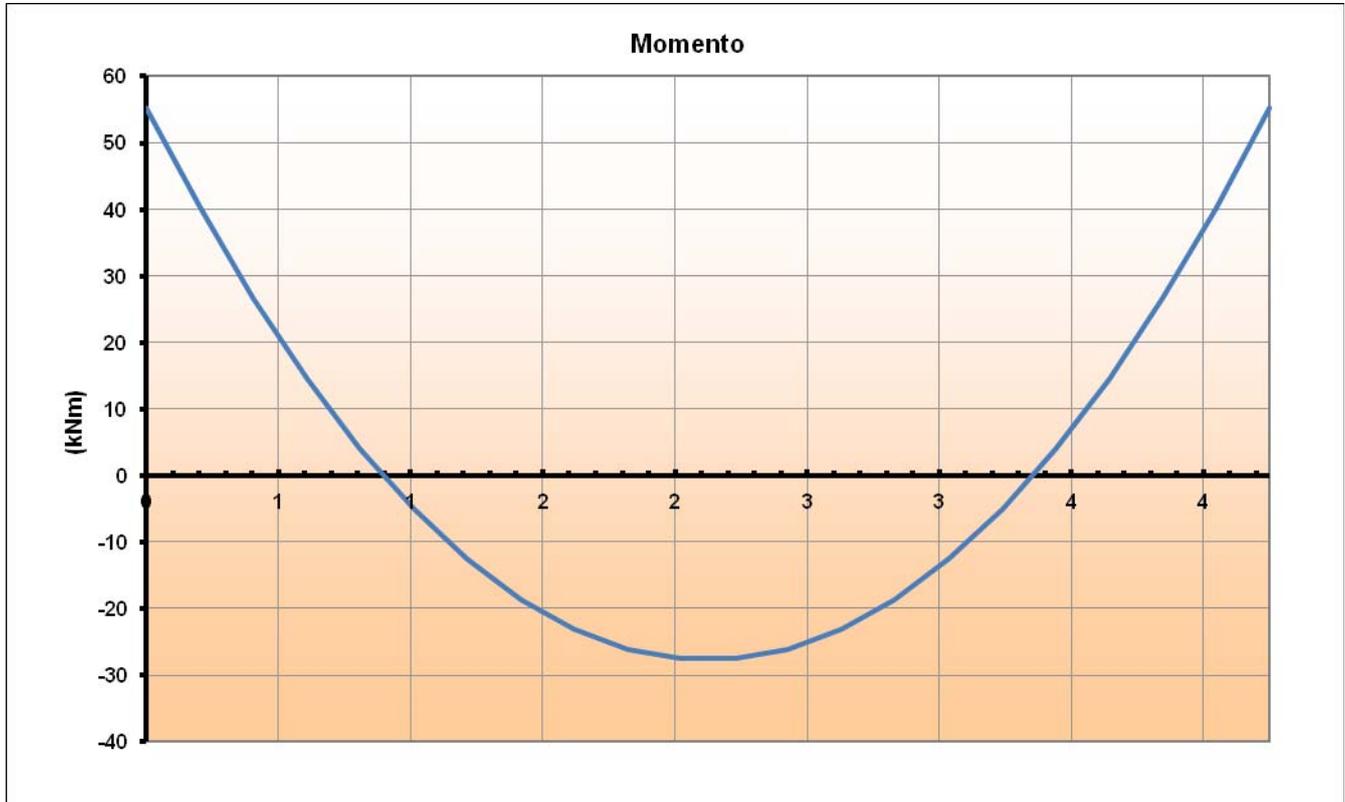
forze e momenti concentrati			
	x (m)	F (kN)	M (kNm)
<input type="checkbox"/> 1			
<input type="checkbox"/> 2			

carichi distribuiti				
	Xin (m)	qin (kN/m)	Xfin (m)	qfin (kN/m)
<input checked="" type="checkbox"/> 1	0.00	37.50	4.25	37.50
<input type="checkbox"/> 2				

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	75 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno



Verifica a flessione

La soletta è armata con un'armatura doppia simmetrica costituita da ferri $\Phi 16 / 20$.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: fondo30

(Percorso File: \\oceano\C39\LAVORO\MODELLI DI CALCOLO\FOSSO-ELLERA\fondo30.sez)

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Poco aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica
Posizione sezione nell'asta:	In zona critica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CONGLOMERATO -	Classe: C28/35
Resis. compr. di calcolo	fcd : 158.60 daN/cm ²
Resis. compr. ridotta	fcd' : 79.30 daN/cm ²
Def.unit. max resistenza	ec2 : 0.0020
Def.unit. ultima	ecu : 0.0035
Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
Modulo Elastico Normale	Ec : 323080 daN/cm ²
Coeff. di Poisson	: 0.20
Resis. media a trazione	fctm: 28.80 daN/cm ²
Coeff. Omogen. S.L.E.	: 15.0
Combinazioni Rare in Esercizio (Tens.Limite):	
Sc Limite	: 168.00 daN/cm ²

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	76 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

Apert.Fess.Limite : Non prevista

ACCIAIO	-	Tipo: B450C	
		Resist. caratt. snervam. fyk:	4500.0 daN/cm ²
		Resist. caratt. rottura ftk:	5400.0 daN/cm ²
		Resist. snerv. di calcolo fyd:	3913.0 daN/cm ²
		Resist. ultima di calcolo ftd:	4500.0 daN/cm ²
		Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068
		Modulo Elastico Ef :	2000000 daN/cm ²
		Diagramma tensione-deformaz. :	Bilineare finito
		Coeff. Aderenza ist. $\beta_1 \cdot \beta_2$:	1.00 daN/cm ²
		Coeff. Aderenza diff. $\beta_1 \cdot \beta_2$:	0.50 daN/cm ²
		Comb.Rare Sf Limite :	3600.0 daN/cm ²

CARATTERISTICHE DOMINI CONGLOMERATO

DOMINIO N° 1

Forma del Dominio: Poligonale
Classe Conglomerato: C28/35

N.vertice	Ascissa X, cm	Ordinata Y, cm
1	-50.00	0.00
2	-50.00	30.00
3	50.00	30.00
4	50.00	0.00

DATI BARRE ISOLATE

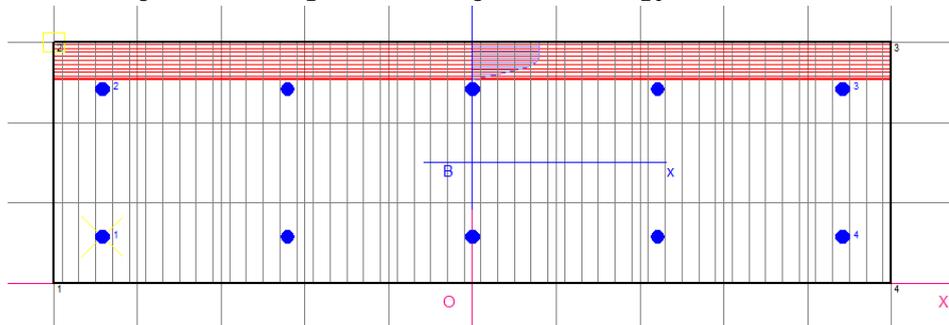
N.Barra Numero assegnato alle singole barre isolate e nei vertici dei domini
Ascissa X Ascissa in cm del baricentro della barra nel sistema di rif. gen. X, Y, O
Ordinata Y Ordinata in cm del baricentro della barra nel sistema di rif. gen. X, Y, O
Diam. Diametro in mm della barra

N.Barra	Ascissa X, cm	Ordinata Y, cm	Diam.Ø,mm
1	-44.20	5.80	16
2	-44.20	24.20	16
3	44.20	24.20	16
4	44.20	5.80	16

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N.Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N.Barra In. Numero della barra iniziale cui si riferisce la gener.
N.Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la gener.
N.Barre Numero di barre generate equidist. inserite tra la barra iniz. e fin.
Diam. Diametro in mm della singola barra generata

N.Gen.	N.Barra In.	N.Barra Fin.	N.Barre	Diam.Ø,mm
1	1	4	3	16
2	3	2	3	16



ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	77 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia y
Vx Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia x

N.Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0	8138	0	10	0

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sez.
My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.

N.Comb.	N	Mx	My
1	0	5536	0

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.0 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 16.8 cm
Copriferro netto minimo staffe: 3.8 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)
Mx Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My)
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000

N.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.
1	S	0	8138	0	0	9747	0	1.198

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,0 sez.)
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,0 sez.)
ef min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xf min Ascissa in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,0 sez.)
Yf min Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,0 sez.)
ef max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xf max Ascissa in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,0 sez.)
Yf max Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,0 sez.)

N.Comb.	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	ef min	Xf min	Yf min	ef max	Xf max	Yf max
1	0.00350	-0.00630	-50.0	30.0	-0.00092	44.2	24.2	-0.01494	-44.2	5.8

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a Coeff. a nell'eq. dell'asse neutro aX+bY+c=0 nel rif. X,Y,0 gen.
b Coeff. b nell'eq. dell'asse neutro aX+bY+c=0 nel rif. X,Y,0 gen.
c Coeff. c nell'eq. dell'asse neutro aX+bY+c=0 nel rif. X,Y,0 gen.
x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N.Comb.	a	b	c	x/d	C.Rid.
1					

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	78 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

1 0.000000000 0.000762164 -0.019364932 0.190 0.700

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 Sc max Massima tensione positiva di compressione nel conglomerato [daN/cm²]
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,0)
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,0)
 Sf min Minima tensione negativa di trazione nell'acciaio [daN/cm²]
 Xf min Ascissa in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,0)
 Yf min Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,0)
 Ac eff. Area di conglomerato [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
 D fess. Distanza calcolata tra le fessure espressa in mm
 K3 Coeff. di normativa dipendente dalla forma del diagramma delle tensioni
 Ap.fess. Apertura calcolata delle fessure espressa in mm

N.Comb.	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xf min	Yf min	Ac eff.	D fess.	K3	Ap.Fess.
1	S	68.5	-50.0	30.0	-2544	-44.2	5.8	1114	225	0.125	0.195

Verifica a taglio

L'azione di taglio sollecitante è inferiore al valore di taglio resistente calcolato senza considerare il contributo di eventuali armature a taglio.

verifica a taglio

h	300 mm	Rck	35
d	241 mm	fck	29.05
bw	1000 mm	γc	1.5
1+(200/d) ^{0,5}	1.911		
k	1.911	As	5 Φ 16.0
Asl	1005 mm ²		
Asl/(bw·d)	0.0042		
ρ1	0.004	Vrd	126.9 kN
vmin	0.498	Ved	111.00 KN
vmin·bw·d	120099 N		
Vrd	126939 N	VERIFICATO	

OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0B	02	D10	CL IN0200 002	A	79 di 79

Fosso Bulagaio - relazione di calcolo opere di sostegno

13 INCIDENZE

I pali di lunghezza 11.0 m e 12.0 m hanno incidenza pari a 130 kg/mc mentre quelli di lunghezza 6.0 e 9.0 m hanno incidenza 90 kg/mc