

Cantone / Comune	TI / Lugano, Grancia, Melide, Bissone, Maroggia, Melano, Mendrisio
Tratta / Km di manutenzione	80 / 8.200 – 23.300
RBBS	2'870+800 – 2'720+700
TdCost	160081
Lotto / Oggetto	TP03 – ÜMa MGG
Numero inventario	21.02.80.502.01/02
Categoria struttura	<input type="checkbox"/> K <input checked="" type="checkbox"/> T/G <input type="checkbox"/> T/U <input type="checkbox"/> BSA

Relazione tecnica

D-5860
020.715
010.004

Rev.	Allestito	Indice A	Indice B	Indice C	Indice D	No. interno ufficio (PV):	7260.4-R-004
Data	29.08.2018					Numero oggetto di inventario :	21.02.80.502.01/02
Visto	Des					Formato:	A4/A3
Controllo	Mo					Scala:	-
Conduzione di progetto Ufficio federale delle Strade USTRA Filiale Bellinzona Via C. Pellandini 2 6500 Bellinzona						Entrata:	
						Verificato / Ing. verificatore.:	
						Delibera:	

Specifiche tecniche:

INDICE

1.	INTRODUZIONE	1
1.1	Obbiettivi del progetto	1
1.2	Dati tecnici dell'oggetto	2
1.3	Documenti di base del progetto	3
1.4	Delimitazioni ed interfacce	4
1.5	Condizioni quadro	4
2.	STATO SECONDO IL "RAPPORTO DI VERIFICA"	5
3.	MISURE PREVISTE	7
3.1	Introduzione	7
3.2	Drenaggio	7
3.3	Contro-anello di sostegno	12
4.	VERIFICHE STATICHE	20
4.1	Introduzione	20
4.2	Modello di calcolo	20
4.3	Casi di carico	22
4.4	Combinazioni di carico per la verifica strutturale	25
4.5	Materiali	27
4.6	Verifica dello stato limite ultimo	28
4.7	Verifica stato limite d'esercizio (SLE)	29
5.	FASI DI LAVORO E SCADENZE	31
5.1	Programma globale	31
5.2	Avanzamento del treno di lavoro del genio civile	31
5.3	Durata complessiva dei lavori	32
5.4	Tempi di realizzazione dell'opera	33
6.	MONITORAGGIO	34
7.	PREVENTIVO DEI COSTI	35

ALLEGATI

- A Distribuzione delle classi di intervento tipo
- B Verifiche statiche

1. INTRODUZIONE

1.1 Obiettivi del progetto

A seguito del crollo avvenuto l'8 giugno 2017, al fine di migliorare le condizioni di sicurezza al traffico stradale, come pure per consentire l'acquisizione di informazioni utili alla definizione della strategia di messa in sicurezza definitiva, sono stati pianificati ed effettuati i seguenti principali interventi d'urgenza (SoMa):

- Fase 1
 - Fori di drenaggio sui paramenti;
 - Messa in sicurezza del concio 28 interessato dal crollo (canna NS);
 - Messa in sicurezza del concio 32 (canna NS) a causa del suo stato fessurativo ritenuto critico.
- Fase 2
 - Realizzazione di ulteriori perforazioni di drenaggio;
 - Posa di una canaletta per la captazione e lo smaltimento delle acque di drenaggio;
 - Rinforzo strutturale in corrispondenza della nicchia di appoggio della soletta intermedia;
 - Ripristino strutturale del concio 32 e rinforzo dei conci 31 e 33;
 - Installazione in calotta di reti metalliche di protezione.

Questi interventi hanno consentito di perseguire da una parte il rinforzo strutturale dell'anello interno esistente, dall'altro di ridurre localmente eventuali pressioni d'acqua all'esterno del rivestimento. Bisogna tuttavia considerare che a causa della presenza di idrogel molti fori di drenaggio risultano intasati e scarsamente efficaci. Per ulteriori informazioni riguardo a questi interventi urgenti si fa rimando al "Rapporto di verifica" [1].

Gli interventi d'urgenza hanno permesso di aumentare la sicurezza rispetto alla situazione vigente al momento del crollo. Tuttavia, non possono essere considerati risolutivi. Infatti, il problema fondamentale della coesistenza di un rivestimento fragile (a causa dell'assenza di armatura) e di potenziali pressioni d'acqua permane.

Il concetto di intervento (MK) oggetto di questa relazione tecnica si prefigge di risolvere questa situazione e di garantire adeguate condizioni di sicurezza al traffico per una durata di ca. 20 anni (cioè fino alla realizzazione del progetto di potenziamento della tratta autostradale Lugano-Mendrisio POLUME).

Il progetto di risanamento persegue i seguenti obiettivi:

- Drenare l'acqua di falda allo scopo di ridurre le pressioni d'acqua sul rivestimento;
- Ridurre le infiltrazioni d'acqua che possono interessare la carreggiata;
- Risanare / rinnovare il sistema di smaltimento delle acque;
- Applicare interventi di sostegno strutturale al fine di minimizzare il rischio di crollo dell'attuale rivestimento in calcestruzzo;

- Monitorare in remoto il drenaggio e il comportamento tenso-deformativo degli interventi di messa in sicurezza adottati;
- Realizzare i lavori di risanamento con il minimo impedimento per il traffico;
- Ottimizzare il progetto sotto l'aspetto della sostenibilità (ambiente, società e economia).

Nei Capitoli seguenti vengono presentate le misure previste per il raggiungimento dei suddetti obiettivi.

1.2 Dati tecnici dell'oggetto

Per i dati tecnici delle gallerie si rimanda al Capitolo 3 del "Rapporto di verifica" [1].

1.3 Documenti di base del progetto

1.3.1 Documenti specifici del progetto

- [1] 7260.4-R-002, Rapporto di verifica, No. documento USTRA 010.002
- [2] 7260.4-R-003, Convenzione di utilizzazione e basi di progetto, No documento USTRA 010.003
- [3] 7260.4-R-005, Preventivo costi, No. documento USTRA 010.005
- [4] 7260.4-R-006, Analisi dei rischi, No. documento USTRA 010.006
- [5] 7260.4-R-007, Rapporto geologico, No. documento USTRA 010.007
- [6] 7260.4-D-101 Planimetria generale e sezioni tipo intervento, No. USTRA 010.101
- [7] 7260.4-D-102, Schema planimetrico generale intervento, No. USTRA 010.102
- [8] 7260.4-D-103, Sezioni tipo - Verifiche sagome interne, No. USTRA 010.201
- [9] 7260.4-D-104, Sezioni - Controllo topografico dei profili interni - Canna Sud-Nord, No. USTRA 010.202
- [10] 7260.4-D-105, Sezioni - Controllo topografico dei profili interni - Canna Nord-Sud, No. USTRA 010.203
- [11] 7260.4-D-106, Sezioni - Contro-anello di sostegno, No. USTRA 010.204
- [12] 7260.4-D-107, Sezione tipo BSA, No. USTRA 010.401
- [13] 7260.4-D-108, Drenaggi - Piano sinottico smaltimento acque, No. USTRA 010.301
- [14] 7260.4-D-109, Drenaggi - Sistema di raccolta a giunti aperti, No. USTRA 010.302
- [15] 7260.4-D-110, Drenaggi - Sistema di connessione alla rete di smaltimento acque, No. USTRA 010.303
- [16] 7260.4-D-111, Planimetria fasi di lavoro principali e sequenza delle lavorazioni, No. USTRA 010.103
- [17] 7260.4-D-112, Planimetria concetto indagini e monitoraggio, No. USTRA 010.104

1.3.2 Norme e linee guida

- [18] SIA 260, 2013, Basi per la progettazione di strutture portanti
- [19] SIA 261, 2014, Einwirkungen auf Tragwerke
- [20] SIA 261/1, 2014, Einwirkungen auf Tragwerke – Ergänzende Festlegungen
- [21] SIA 262, 2013, Betonbau
- [22] SIA 262/1, 2013, Betonbau - Ergänzende Festlegungen
- [23] SIA 263, 2013, Stahlbau
- [24] SIA 267, 2013, Geotechnik
- [25] SIA 267/1 2013, Geotechnik – Ergänzende Festlegungen
- [26] SIA 197, 2004, Progettazione di gallerie, basi generali
- [27] SIA 197/2, 2004, Progettazione di gallerie, gallerie stradali
- [28] ASTRA, 24001 Manuale tecnico Gallerie e geotecnica (FHB T/G), 2018

1.4 Delimitazioni ed interfacce

Il perimetro di studio di questo concetto di intervento si estende dal portale Nord di Grancia fino al portale Sud di Melide compresi. Entrambe le canne rientrano nel presente progetto. Rimangono esclusi gli altri elementi che compongono la galleria nel suo complesso (cunicoli di collegamento tra le due canne, cunicolo tecnico, centrali di ventilazione, ecc.)

1.5 Condizioni quadro

I lavori di risanamento devono eseguirsi mantenendo la galleria in esercizio nelle ore diurne, prevedendo la chiusura al traffico della canna interessata dagli interventi di risanamento:

- Dalle ore 22:00 alle ore 5:00, di domenica;
- Dalle ore 21:00 alle ore 5:00, da lunedì a giovedì.

L'accesso per l'esecuzione dei lavori nella canna chiusa al traffico è previsto 30' dopo l'orario di chiusura e l'uscita dalla canna è prevista 30' prima dell'apertura al traffico.

Su richiesta del committente i lavori devono svolgersi solo su una canna per volta mantenendo l'altra in esercizio. Durante i lavori il traffico in entrambe le direzioni viene deviato nella canna che rimane in funzione (con una canna chiusa al traffico e una canna con traffico bidirezionale). Al termine di ogni notte di lavoro la canna chiusa al traffico viene liberata e la situazione normale ripristinata (traffico monodirezionale su entrambe le corsie per entrambe le canne).

2. STATO SECONDO IL “RAPPORTO DI VERIFICA”

Lo stato delle gallerie è descritto ed analizzato in maniera esaustiva nel “Rapporto di verifica” [1]. Di seguito se ne riportano le principali conclusioni.

Le valutazioni a seguito del crollo hanno permesso di mettere in luce una situazione anomala in relazione allo stato della galleria: nella tratta iniziale di circa 400 m a partire dal portale Nord, l'intercapedine tra l'anello interno e quello esterno è intasata con idrogel e non può più svolgere da elemento drenante conformemente al progetto originale. Questa situazione è presente sia nella canna Nord-Sud che nella canna Sud-Nord ed è riconducibile all'intervento di impermeabilizzazione effettuato tra il 2010 e il 2013 tramite iniezione di idrogel acrilici.

La situazione è alquanto critica poiché il rivestimento interno, costituito da un anello di calcestruzzo non armato teoricamente di 30 cm di spessore, non è idoneo a sopportare delle pressioni rilevanti d'acqua. La situazione richiederebbe un ripristino del sistema di drenaggio, ma l'intercapedine non è direttamente accessibile e gli interventi con fori di drenaggio/spurgo dalla galleria si sono rivelati inefficaci.

La situazione nella parte centrale della galleria e in direzione del portale Sud è meno chiara, poiché il rivestimento è stato gettato direttamente a contatto con la roccia o le misure di sostegno. Il progetto originale non prevedeva un sistema di drenaggio. Tuttavia, anche qui si constata la presenza di idrogel all'esterno del rivestimento e non si può escludere che tale idrogel, modificando la permeabilità vicino alla galleria, possa causare un aumento delle pressioni rispetto alla situazione antecedente gli interventi di impermeabilizzazione.

In una prima fase, giusto a seguito della ricostruzione della parte crollata, sono quindi stati implementati degli interventi urgenti, finalizzati a garantire la agibilità della galleria e ad acquisire le informazioni rilevanti per meglio definire la strategia di messa in sicurezza definitiva. Tali interventi urgenti, riassunti nel seguito, sono stati realizzati nell'ambito di sole chiusure notturne di una sola canna, nel periodo da settembre a dicembre 2017:

- Realizzazione di fori di drenaggio in corrispondenza delle pareti, nella tratta con anello singolo da 30 cm di spessore. Tali fori hanno lo scopo di limitare l'eventuale pressione d'acqua all'esterno delle pareti e di indagare il comportamento dell'ammasso in caso di drenaggio dell'acqua. Esse hanno un effetto assai limitato per la pressione in calotta.
- Realizzazione di fori di drenaggio/spurgo attraverso l'anello interno, nelle tratte con anello doppio. Questi fori si sono poi rivelati inefficaci per la presenza di idrogel.
- Posa di una canaletta al piede delle pareti per la raccolta dell'eventuale acqua d'infiltrazione in tutte le tratte dove sono stati realizzati i fori di drenaggio. Ad intervalli regolarmente tale canaletta è collegata alla condotta di drenaggio per lo smaltimento dell'acqua.
- Rinforzo strutturale in corrispondenza della nicchia nella tratta con doppio anello. La nicchia costituisce in effetti un punto di debolezza nel rivestimento.
- Ripristino strutturale del concio 32 della corsia Nord-Sud eccessivamente danneggiato.

- Installazione di reti protettive in calotta in corrispondenza dei giunti tra i diversi conci. Tali reti hanno l'obiettivo di impedire la caduta di parti di precedenti riparazioni o di schegge di calcestruzzo che potrebbero staccarsi dalla volta.
- Collocazione di un sistema riscaldante sotto l'asfalto del marciapiede al portale Nord della canna Nord-Sud per evitare la formazione di ghiaccio.

A parte l'ultimo intervento, tutti gli altri sono sostanzialmente correlati al crollo della parete ed allo stato della galleria a seguito delle attività di manutenzione effettuate negli anni 2010-15. Essi hanno permesso di indagare e migliorare diversi aspetti puntuali, ma la problematica principale della concomitanza di un rivestimento fragile con un sistema di drenaggio inefficace permane.

In accordo con le conclusioni del "Rapporto di verifica" [1], le ragioni principali che conducono a raccomandare ulteriori interventi possono essere riassunte come segue:

- lo spessore effettivo dell'anello interno raggiunge in alcune zone solo 20 cm. In altri casi sono stati individuati dei nidi di ghiaia di una certa importanza. In calotta sono stati individuati probabilmente dei vuoti. Questi punti costituiscono anche una debolezza, sui quali tuttavia non vi è stato alcun intervento di rinforzo.
- il rapporto geologico esclude la presenza di una falda sistematica sopra la quota della galleria, ma ambedue i piezometri collocati nel tratto centrale indicano una pressione di circa 40 m d'acqua. Inoltre, il valore misurato è superiore al carico che l'anello unico da 30 cm di spessore potrebbe teoricamente sopportare.
- sui potenziali valori di pressione d'acqua nel massiccio roccioso sussistono delle incertezze:
 - Le misure sono puntuali, ma la variabilità lungo la galleria potrebbe essere importante;
 - Il periodo di misure è caratterizzato da deboli precipitazioni e non permette di estrapolare un eventuale variazione in caso di forti piogge o di scioglimento della neve.

3. MISURE PREVISTE

3.1 Introduzione

Il concetto di intervento prevede essenzialmente:

- Un sistema di drenaggio che permetta di ridurre i carichi idrostatici sui rivestimenti (principale causa delle instabilità);
- Un sistema di sostegno strutturale nei riguardi dei carichi generati da un eventuale distacco di parte dell'anello esistente.

3.2 Drenaggio

Per il drenaggio delle acque di falda sono state studiate le seguenti varianti:

- Soluzione a giunti aperti;
- Soluzione con nicchie di drenaggio;
- Soluzione con cunicolo di drenaggio.

Le soluzioni sono descritte in dettaglio nei paragrafi successivi (§3.2.1, §3.2.2 e §3.2.3).

Il sistema proposto è quello a giunti aperti, le altre soluzioni di drenaggio sono state al momento scartate perché sostanzialmente prevedono tempi di realizzazione (compreso l'iter autorizzativo) piuttosto importanti rispetto alla vita utile dell'intervento di risanamento in oggetto (20 anni).

Tra le due soluzioni per il momento scartate (nicchie e cunicolo di drenaggio) che, a differenza della soluzione a giunti aperti, prevedono lavori di scavo e consolidamenti, risulta molto interessante la soluzione con cunicolo di drenaggio, soprattutto per la possibilità di utilizzare l'opera per il POLUME con la duplice funzione di drenaggio e campagna d'indagine geologica. Si raccomanda pertanto l'approfondimento della "Soluzione con cunicolo di drenaggio" nell'ambito del progetto POLUME, tenendo conto che la galleria di appoggio (terza canna) possa anche essere progettata con elementi drenanti.

3.2.1 Soluzione a giunti aperti

La variante proposta prevede la realizzazione di fori di drenaggio (Figura 1) collocati in giunti aperti e coperti mediante una lamiera metallica coibentata removibile. Il principale vantaggio di questa variante è senza dubbio la possibilità d'esecuzione in parallelo con le operazioni di rinforzo strutturale della galleria.

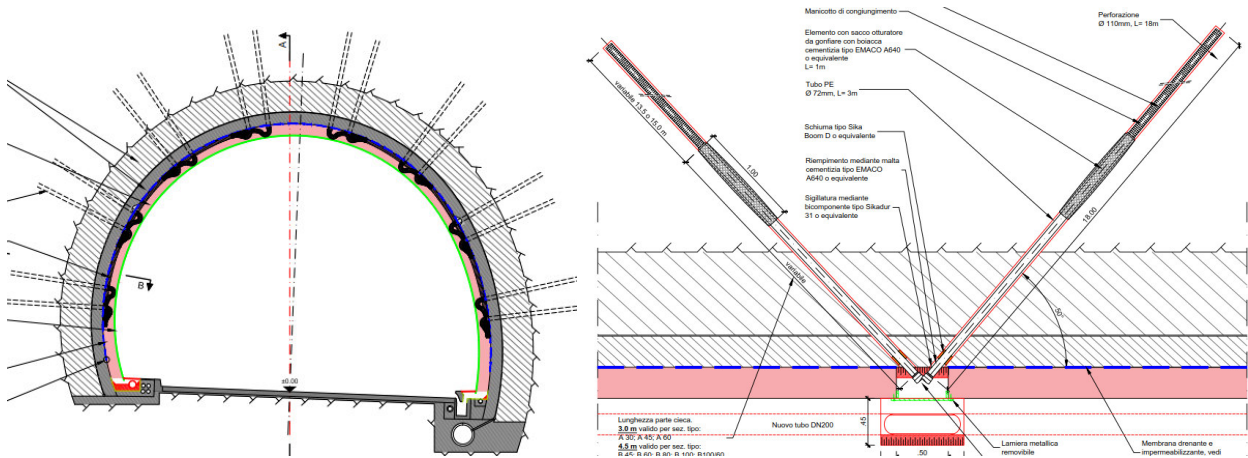


Figura 1 Soluzione a giunti aperti: Sezione (sinistra) e dettaglio fori di drenaggio (destra)

I dettagli tecnici di questa soluzione sono rappresentati nel piano [14] e di seguito se ne riassumono le principali caratteristiche tecniche.

Come già citato in precedenza, il drenaggio delle acque di montagna avviene mediante fori di drenaggio di una lunghezza pari a 18 m e di diametro pari a 110 mm eseguiti tra i giunti del contro-anello (situati ad una distanza di 12.5 m l'uno dall'altro). Sono previsti un totale di 16 (2 coppie nel paramento destro, 2 coppie nel paramento sinistro e 4 coppie in calotta) o 8 fori (2 coppie nel paramento destro e due coppie nel paramento sinistro) a dipendenza della classe di intervento (si veda il §3.3.3). I fori presentano un'inclinazione di circa 50° rispetto all'asse delle gallerie. Attraverso l'inclinazione delle perforazioni e la loro sovrapposizione si aumenta l'efficacia della soluzione (Figura 2).

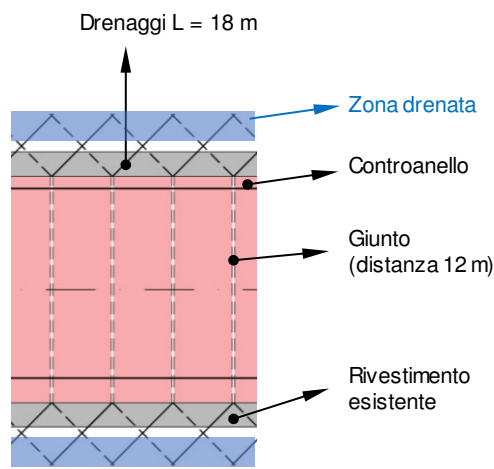


Figura 2 Schema planimetrico dell'intervento

A causa della presenza di idrogel nella zona di roccia situata a tergo del rivestimento, un possibile rischio è un'otturazione del foro. Per minimizzare il rischio si propone la seguente soluzione costruttiva. All'interno del foro di drenaggio viene installato un tubo dreno in PE: per i primi metri (4.5 m per le sezioni tipo con anello doppio da 80 cm e 60 cm e 3 m per le altre sezioni tipo) il tubo sarà cieco, per evitare contaminazioni da idrogel; per i restanti metri (13.5 m rispettivamente 15 m) il tubo è previsto finestrato per permettere il drenaggio dell'acqua. Viene inoltre effettuata un'otturazione con malta della parte di perforazione vicina al paramento / calotta con lo scopo di ridurre ulteriormente il rischio di contaminazione da idrogel.

L'acqua di montagna drenata scorre lungo tubi corrugati posti all'interno dei giunti aperti e viene trasferita mediante un collegamento sifonato al collettore di scarico situato ai piedi del paramento. La copertura del giunto avviene mediante una lamiera coibentata metallica removibile, tale da garantire un semplice accesso alle perforazioni in caso di malfunzionamento. In caso di necessità è quindi possibile effettuare i necessari lavori di ri-perforazione per liberare i fori eventualmente otturati. Nel caso il contro-anello non sia necessario (classe di intervento ③ - §3.3.3), i tubi corrugati vengono fissati direttamente all'anello esistente (a vista).

3.2.2 Soluzione con nicchie di drenaggio

In questa variante si prevede che le perforazioni di drenaggio vengano effettuate da nicchie appositamente scavate ai lati delle canne NS e SN (distanza fra le nicchie ca. 60 m, sfasate di 30 m tra una canna e l'altra). Le nicchie misurano circa 4.00 m in larghezza per circa 3.50 m di altezza (Figura 3).

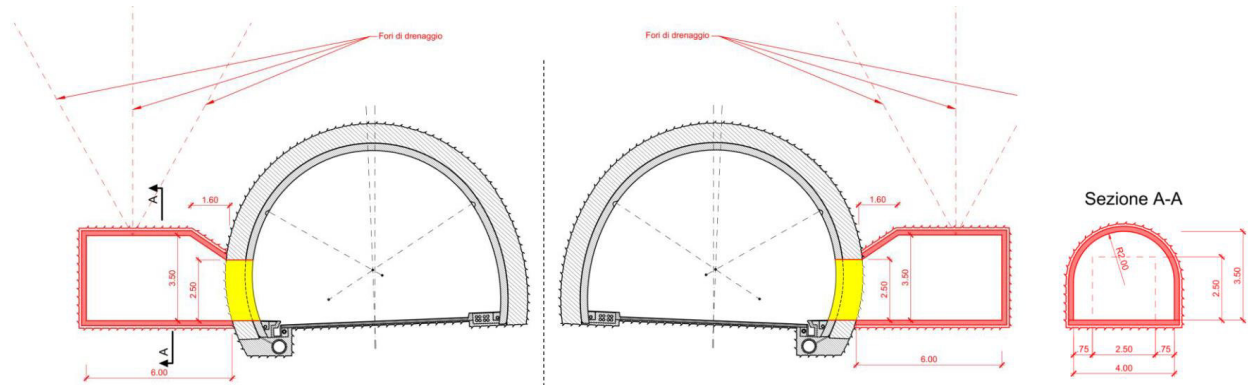


Figura 3 Soluzione con nicchie di drenaggio

Vantaggi:

- maggiore flessibilità nella geometria delle perforazioni;
- riduzione delle interferenze dei lavori di perforazione con il traffico in galleria;
- la posizione dei drenaggi più lontana dai paramenti delle gallerie minimizza il rischio di contaminazione da idrogel;
- in ottica futura sarebbe inoltre possibile sfruttare le nicchie per le indagini geologiche previste per il progetto POLUME.

Svantaggi:

- Costi e tempi di esecuzione di questa variante sono più elevati a causa dei lavori di realizzazione delle nicchie
- La logistica risulta più complessa (l'interruzione e la messa in sicurezza per l'apertura al traffico rappresenta un punto critico).

3.2.3 Soluzione con cunicolo di drenaggio

L'ultima variante sviluppata per la realizzazione dei fori di drenaggio prevede lo scavo di un cunicolo sopra le due canne (Figura 4).

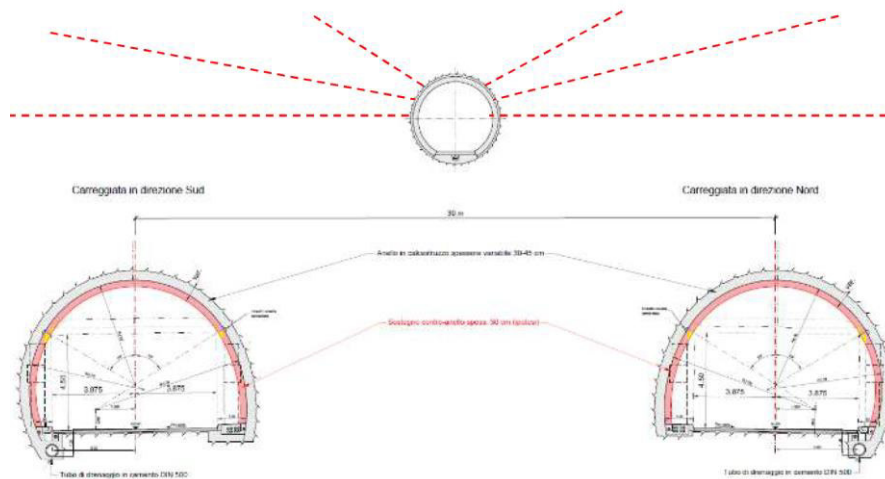


Figura 4 Soluzione con cunicolo di drenaggio

Vantaggi:

- flessibilità della geometria delle perforazioni;
- drenaggio più efficiente e ampio;
- nessuna interferenza con il traffico con possibile lavoro diurno (sia durante lo scavo del cunicolo sia durante le perforazioni);
- integrazione nel progetto POLUME (il cunicolo consentirebbe l'esplorazione geologica della zona del progetto e ne garantirebbe il drenaggio durante la realizzazione e la fase di utilizzo).

Svantaggi:

- tempi ed i costi di realizzazione che aumentano a causa dei lavori di scavo del cunicolo.
- logistica ai portali (creazione degli accessi, gestione del materiale di scavo).

3.3 Contro-anello di sostegno

3.3.1 Varianti

Per la soluzione di contro-anello di sostegno sono state studiate le seguenti varianti:

- Contro-anello “discontinuo”
 - Centine metalliche
 - Costole in calcestruzzo armato tra centine metalliche
- Contro-anello “continuo”.
 - Rivestimento in calcestruzzo armato gettato in opera con cassero a perdere (collaborante o non collaborante);
 - Rivestimento in calcestruzzo armato gettato in opera con cassero provvisorio.

Sulla base del confronto qualitativo delle due varianti riportato in Tabella 1 si propone la soluzione di “Contro-anello continuo”, soprattutto per i seguenti principali vantaggi:

- Sicurezza in caso di incidenti con impatto lungo i paramenti della galleria;
- Sostegno staticamente indipendente da quello attuale, la cui collaborazione rimane aleatoria;
- Riduzione delle acque in carreggiata (miglioramento delle condizioni di infiltrazioni attuali).

I dettagli tecnici relativi a questa soluzione si trovano nel paragrafo §3.3.2.

	Contro-anello continuo	Contro-anello discontinuo
<i>Sicurezza</i>	<ul style="list-style-type: none"> – In caso di incidente la superficie regolare del profilo consente di ridurre al minimo l'eventuale danno a persone. – In caso di impatto del veicolo contro i paramenti il danno sul contro-anello risulterebbe limitato – In caso di incendio in galleria l'armatura metallica (centine o barre) viene protetta dal copriferro. (solo caso di soluzioni con armature non a vista) – Possibilità di inserire una impermeabilizzazione tra l'anello nuovo e l'esistente, con la conseguente limitazione di acqua sulla piattaforma stradale 	<ul style="list-style-type: none"> – Nel caso di incidenti in galleria il profilo interno irregolare potrebbe amplificare i danni arrecati a persone (soprattutto motociclisti). Tuttavia un profilo redirettivo limita il danno. – In caso di impatto del veicolo contro i paramenti il danno sul contro-anello potrebbe compromettere la sua funzione statica. Tuttavia un profilo redirettivo limita il danno – In caso di incendio in galleria potrebbe decadere la capacità portante delle centine metalliche, le quali risulterebbero esposte in maniera diretta al fuoco. – Limitazione di acqua sulla piattaforma stradale possibile solo con una protezione supplementare a vista
	VALUTAZIONE: +++	VALUTAZIONE: --
<i>Resistenza strutturale</i>	<ul style="list-style-type: none"> – La continuità del sostegno fornisce una resistenza diffusa/uniforme, la quale consente la massima ottimizzazione (riduzione) dello spessore del contro-anello – Possibilità di rendere il nuovo sostegno staticamente indipendente dall'esistente 	<ul style="list-style-type: none"> – La discontinuità del sostegno fornisce una resistenza discontinua, la quale potrebbe limitare l'ottimizzazione dello spessore del contro-anello Tuttavia la criticità si attenua riducendo l'interasse tra i sostegni – Necessità della collaborazione tra anello esistente e nuovo anello
	VALUTAZIONE: +++	VALUTAZIONE: 0

<i>Durabilità</i>	<ul style="list-style-type: none"> – Compatibile con una vita utile di 20 anni – Occorre un approfondimento sulla base dei risultati delle prove di laboratorio sull'aggressività delle acque e dell'idrogel 	<ul style="list-style-type: none"> – Compatibile con una vita utile di 20 anni – Occorre un approfondimento sulla base dei risultati delle prove di laboratorio sull'aggressività delle acque e dell'idrogel
	VALUTAZIONE: 0	VALUTAZIONE: 0
<i>Finitura estetica</i>	<ul style="list-style-type: none"> – Profilo interno regolare. Confort di guida 	<ul style="list-style-type: none"> – Profilo interno irregolare. Percezione visiva del conducente alterata
	VALUTAZIONE: +++	VALUTAZIONE: ---
<i>Attività di cantiere e velocità di esecuzione</i>	<ul style="list-style-type: none"> – Compatibile con cantiere notturno – Attività in parallelo possibili – Nessuna criticità con l'utilizzo di casseri a perdere – Per soluzioni con cassero provvisorio: velocità di esecuzione condizionata dal tempo di scassero del rivestimento 	<ul style="list-style-type: none"> – Compatibile con cantiere notturno. Attività minime – Nessuna criticità con l'utilizzo di eventuali casseri a perdere (per le soluzioni a costole) – Necessità di costruire un profilo redirettivo
	VALUTAZIONE: +	VALUTAZIONE: +++

Tabella 1 Confronto delle varianti per le misure di sostegno

3.3.2 Soluzione con contro-anello di sostegno *continuo*

Nei paragrafi successiva viene discussa più nel dettaglio la soluzione proposta (contro-anello continuo). I relativi dettagli tecnici si possono trovare nel piano [11].

3.3.2.1 Pacchetto di impermeabilizzazione

Tra il contro-anello e l'intradosso della galleria esistente si procede all'installazione di pacchetto di impermeabilizzazione. Quest'ultimo è composto da una membrana drenante installata a contatto con il rivestimento esistente, da una membrana impermeabilizzante ed un geotessile (si veda la Figura 5).

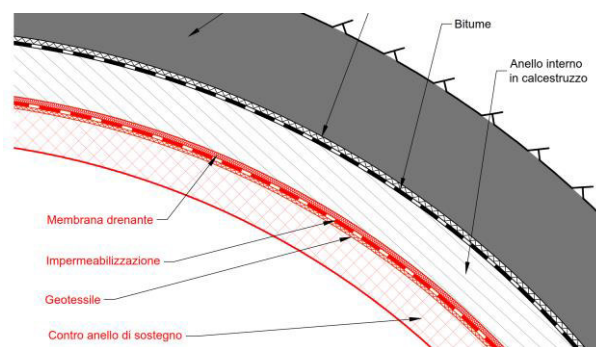
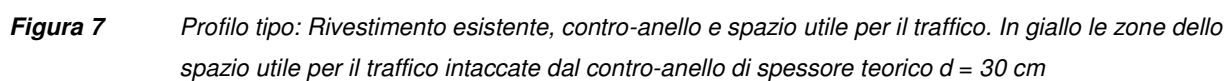


Figura 5 Pacchetto di impermeabilizzazione: dettaglio della struttura

Il limite inferiore dell'impermeabilizzazione viene incollata al rivestimento esistente ad un'altezza variabile sopra il livello della banchina (linea tratteggiata blu, Figura 6). Così facendo le acque di montagna drenate dal sistema di impermeabilizzazione possono confluire direttamente nei giunti e da lì venir indirizzate al collettore di scarico analogamente alle acque provenienti dai fori di drenaggio.



Il contro-anello viene realizzato in calcestruzzo armato (calcestruzzo C30/37, acciaio d'armatura B500B). Lo spessore teorico del contro-anello misura $d = 30$ cm. Considerando questo spessore, lo spazio libero di sicurezza al traffico, lo spazio per la segnaletica (fissa e variabile) così come lo spazio per la banchina previsti (secondo le norme SIA [26], [27] e alla direttiva USTRA [28]) vengono intaccati (vedi aree in giallo, Figura 7, per ulteriori dettagli si fa riferimento al piano [8]). Queste riduzioni non sono ottimali, ma non sono da considerarsi critiche. Infatti, già nella configurazione attuale, lo spazio libero per la segnaletica (fissa e variabile) e lo spazio per la banchina non soddisfa gli standard attuali. Aumentando lo spessore oltre 30 cm si andrebbe ad intaccare lo spazio utile per il traffico, e questo non è in alcun modo accettabile nell'ottica della sicurezza del traffico.



14/35

l'intero asse delle gallerie. Le misurazioni hanno riportato delle oscillazioni risultanti anche in sottoprofili, quasi sempre di oltre 5 cm fino ad un massimo di ca. 22 cm. A seguito di queste considerazioni si può concludere che:

- lo spessore teorico dell'anello è pari a $d = 30$ cm;
- sottoprofili inferiori a 8 cm sono accettati;
- in caso di sottoprofili superiori a 8 cm si deve procedere con lavori di riprofilatura prima dell'installazione del contro-anello;
- le verifiche statiche vengono condotte considerando uno spessore effettivo pari a $d^* = 20$ cm (30cm spessore teorico anello – 8cm sottoprofilo – 2cm isolamento = 20cm spessore minimo effettivo).

La realizzazione del contro-anello nelle sole ore notturne comporta difficoltà tecniche rilevanti. Il sistema di casseri necessario non può infatti in alcun modo andare ad occupare lo spazio libero destinato al traffico (riapertura al traffico durante il giorno). Per questo motivo un sistema di casseri tradizionale non è utilizzabile. Di seguito si propone una soluzione costruttiva con lastre prefabbricate **predalles curve** volta a risolvere questa problematica.

Questa soluzione prevede l'installazione di anelli autoportanti (cioè in grado di sostenere il proprio peso durante la fase di montaggio) composti da conci prefabbricati in calcestruzzo armato (Figura 8). In seguito, si procede con il getto di completamento a tergo dell'anello, da eseguirsi con calcestruzzo autocompattante (a fasi controllate). Un anello si compone da due moduli di larghezza pari a 2.40 m, prefabbricati in calcestruzzo C30/37 di spessore 10 cm ed armatura in acciaio B500B (rete elettrosaldata e centine reticolari).



Figura 8 Esempio di rivestimento eseguito utilizzando predalles curve

Per l'installazione è necessaria la realizzazione di una muretta a livelletta costante per l'appoggio delle lastre prefabbricate. Considerando i tempi a disposizione durante la chiusura notturna (ca. dalle 21.00 alle 5.00) si stima una resa pari a 12 m di rivestimento per ciascun turno lavorativo. In realtà nella stima dei tempi di esecuzione occorre considerare la velocità del "trenino di lavoro", pari a ca. 6 m/notte.

La soluzione di contro-anello gettato in opera con cassero metallico provvisorio è stata allo stato attuale scartata soprattutto perché:

- si tratterebbe di un cassero prototipo;
- durante i lavori, a causa degli ingombri del cassero, il traffico potrebbe transitare solo in un'unica corsia.

Tuttavia, il suo eventuale impiego può essere approfondito nella successiva fase di progetto.

3.3.3 Classi di intervento tipo e distribuzione lungo il tracciato

Le ispezioni in galleria e le indagini effettuate finora hanno permesso di rilevare lo stato di conservazione del rivestimento lungo le due canne. I seguenti aspetti in particolare sono stati monitorati:

- Stato fessurativo dei paramenti e della volta;
- Infiltrazioni d'acqua dai paramenti e dalla volta.

L'Allegato A riassume in forma schematica i principali risultati delle ispezioni. Ne risulta uno stato di conservazione molto variabile: a zone dove lo stato è considerabile come buono si alternano zone con molte venute d'acqua e che presentato uno stato fessurativo al limite della criticità. Per questo motivo una soluzione omogenea di intervento lungo tutto il tracciato delle gallerie è da considerarsi subottimale. Si procede quindi con la definizione di tre classi di intervento tipo da attuare a dipendenza dello stato di conservazione:

- Classe ①: si tratta del pacchetto di interventi più pesante. Prevede la costruzione del contro-anello di sostegno e la realizzazione di 16 fori di drenaggio (2 coppie nel paramento destro, 2 coppie nel paramento sinistro e 4 coppie in calotta) per ogni giunto del contro-anello. Questa classe di intervento viene impiegata in caso si osservi un'importante presenza di acqua (sia dal paramento destro che sinistro). In questo caso il rischio di un cedimento del rivestimento esistente a causa della pressione idraulica aumenta e occorre procedere con adeguate misure di drenaggio (su tutto il perimetro) e di sostegno.

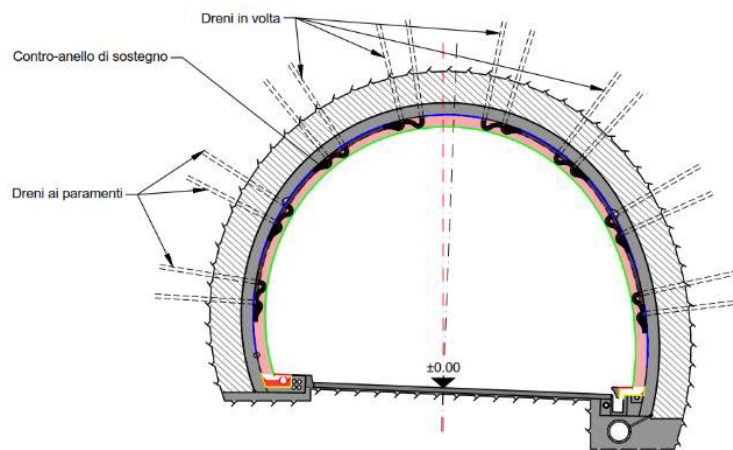


Figura 9 Intervento tipo 1

- Classe ②: analogamente alla classe 1 prevede la costruzione del contro-anello. I fori di drenaggio invece si riducono a 8 solo nella regione dei paramenti (4 a destra e 4 a sinistra). Nel caso in cui la presenza d'acqua sia minore (ad esempio osservata da un solo paramento) ma lo stato fessurativo

risulta critico, si può diminuire il numero dei drenaggi (perforazioni solo dai paramenti) mentre il contro-anello garantisce il supporto necessario.

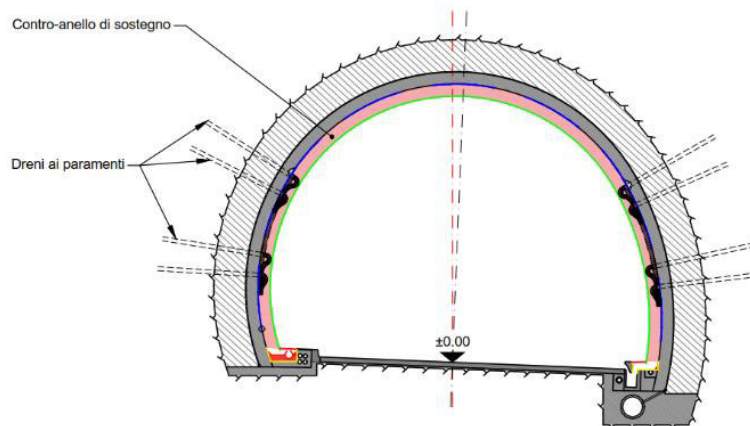


Figura 10 Intervento tipo 2

- Classe ③: si tratta del pacchetto di interventi più leggero. Si rinuncia alla costruzione del contro-anello e si realizzano 8 fori di drenaggio nella regione dei paramenti (analogamente alla classe 2). Al fine di impedire che eventuali infiltrazioni d'acqua dalla calotta raggiungano la superficie stradale si prevede (in assenza del contro-anello) l'installazione di una lamiera grecata in volta, avente la funzione di ridurre le infiltrazioni d'acqua in carreggiata. Questa soluzione è prevista nel caso in cui non si osservino criticità nel rivestimento esistente.

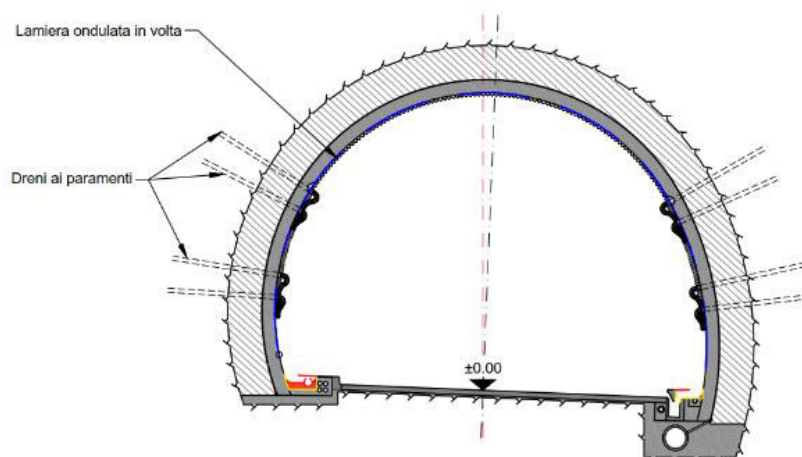


Figura 11 Intervento tipo 3

Seguendo questi criteri si ottiene la distribuzione delle classi di intervento minime riassunta nell'Allegato A. La seguente tabella riporta la lunghezza di galleria relativa a ciascuna classe di intervento tipo.

Classe di intervento tipo	Canna NS	Canna SN
Classe ①	150.0 m	62.5 m
Classe ②	1037.5 m	850.0 m
Classe ③	487.5 m	762.5

Tabella 2 *Lunghezza delle tratte in base alla classe di intervento per le canne NS e SN*

La distribuzione descritta in questo paragrafo è da considerarsi come l'intervento minimo, perché considera che le tratte di rivestimento apparentemente “sano” siano confermate da una campagna di indagine strutturale. Questa distribuzione dovrà essere difatti attualizzata sulla base di una campagna di indagine strutturale più approfondita che dovrà chiarire i seguenti aspetti: spessore e resistenza del rivestimento esistente, qualità del calcestruzzo e presenza di eventuali vuoti a tergo del rivestimento. Sulla base dei risultati dovrà quindi venir valutata la necessità di estendere la realizzazione del contro-anello (ovvero, nel peggiore dei casi, prevedere la classe di intervento ② lungo le tratte dove al momento si prevede la classe ③).

3.3.4 Piano di smaltimento acque

In questo paragrafo sono riassunte le principali caratteristiche del sistema di smaltimento delle acque di drenaggio. Ulteriori dettagli si possono trovare nei piani [13] e [15]. Lungo il tracciato delle gallerie si possono incontrare vari scenari per quanto riguarda la conduzione delle acque verso i portali:

- se presente, le acque di drenaggio vengono convogliate dal giunto nel collettore principale esistente mediante un collegamento sifonato, e da lì condotte verso i portali (Figura 12a);
- nel caso sia presente la canaletta a bocca di lupo l'acqua dai giunti viene riversata nella canaletta e da lì condotta ai portali attraverso il sistema esistente (Figura 12b);
- se invece non è presente né il collettore principale né la canaletta a bocca di lupo, si procede all'installazione di un nuovo collettore PE DN 200 (Figura 12c), il quale raccoglie l'acqua dal giunto e la conduce, attraverso pozzetti DN 500 collegati al collettore principale (Figura 12d), al sistema di smaltimento esistente.

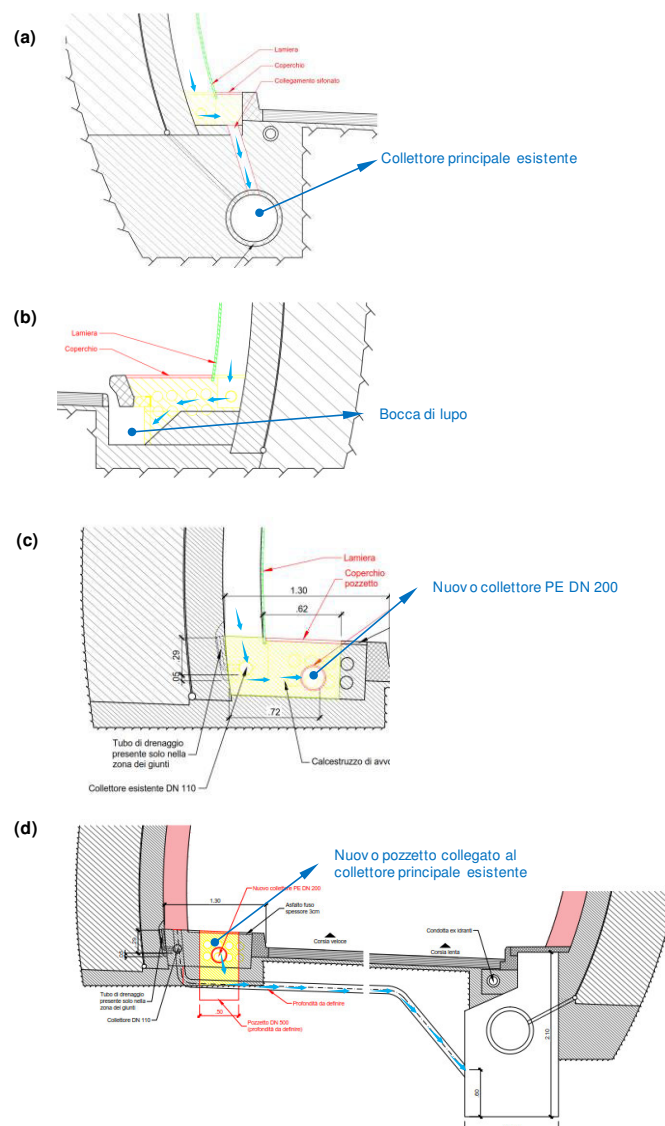


Figura 12 Schema del sistema di connessione alla rete di smaltimento delle acque

4. VERIFICHE STATICHE

4.1 Introduzione

L'analisi strutturale per il contro-anello è stata eseguita utilizzando il programma di calcolo STATIK, mentre le verifiche sezionali mediante il programma di calcolo FAGUS (entrambi della ditta CUBUS AG). Le verifiche statiche descritte nei seguenti paragrafi sono state effettuate, a vantaggio di sicurezza, considerando l'estradosso del contro-anello come linea d'asse dei modelli di verifica.

4.2 Modello di calcolo

Il modello di calcolo è rappresentato nella Figura 13. Il contro-anello è modellizzato mediante 95 elementi tipo *beam*, la cui lunghezza è pari a circa 0.20 m. La rigidezza flessionale, assiale ed al taglio degli elementi monodimensionali corrisponde a quella effettiva della sezione del contro-anello ($d = 0.2$ m). L'interazione tra struttura e terreno avviene tramite molle radiali e non-lineari, attive solo alla compressione.

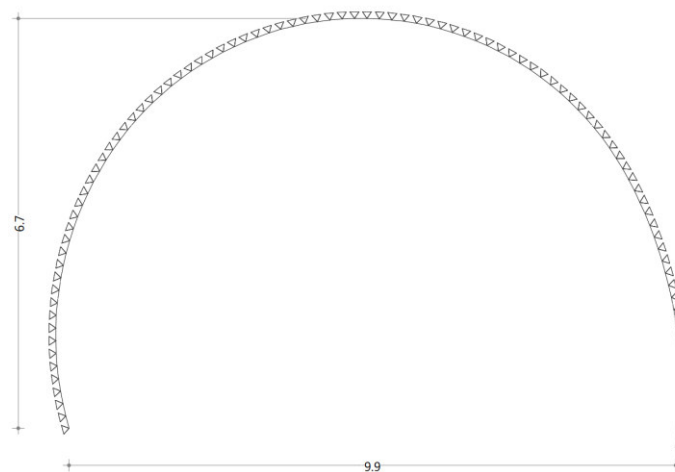


Figura 13 Modello di calcolo del contro-anello di sostegno

La rigidezza delle molle radiali caratterizzanti l'interazione fra struttura e terreno è determinata da:

$$k_{r,i} = \frac{E \cdot L_i \cdot B}{R_i}$$

con

$k_{r,i}$	rigidezza della molla radiale non lineare
E	modulo elastico dell'ammasso roccioso (0.5 GPa)
L_i	lunghezza del singolo elemento tipo beam (ca. 0.2 m)
B	Larghezza considerata del contro-anello (1 m)
R_i	Raggio della linea d'asse del modello (var.)

La seguente tabella riassume le rigidezze assunte in funzione dei differenti raggi di curvatura del contro-anello:

	Raggio R_i	Lunghezza L_i	Rigidezza $k_{r,i}$
<i>Paramento sinistro</i>	5.35 m	0.206 m	19236 kN/m
<i>Calotta</i>	4.90 m	0.202 m	20592 kN/m
<i>Paramento destro</i>	7.08 m	0.204 m	14411 kN/m

Tabella 3 *Rigidezze delle molle radiali non lineari*

Per stabilizzare il calcolo numerico è stata adottata una bassa rigidezza in direzione tangenziale ($k_{t,i} = 500$ kN/m) che non influisce sul risultato finale, ma aiuta ad evitare problemi di instabilità durante l'iterazione numerica. Gli spostamenti degli appoggi (piedritti) sono bloccati sia in direzione verticale che orizzontale.

4.3 Casi di carico

In questo paragrafo sono elencati e descritti i casi di carico determinanti considerati in questa fase per il dimensionamento del contro-anello di sostegno.

4.3.1 Peso proprio (C-1)

Il peso del calcestruzzo armato viene assunto pari a $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$.

4.3.2 Caduta di un blocco di roccia in posizione centrale senza pressione d'acqua residua (C-2-1)

Si considera la caduta di un blocco di roccia (di volume pari a circa $18 \text{ m}^3/\text{m}^l$, si veda Figura 14) sulla calotta del contro-anello, in posizione centrale. Assumendo un peso specifico della roccia pari a $\gamma = 27 \text{ kN/m}^3$ ed una larghezza di azione del carico pari a ca. $L = 7.5 \text{ m}$ (circa il 75 % della larghezza del contro-anello) si ottiene un carico pari a:

$$q_b = \gamma \cdot V / L = 27 \cdot 18 / 7.5 = 65 \text{ kPa}.$$

L'incremento di carico dovuta al peso della parte di rivestimento esistente instabile (volume ca. $10.5 \text{ m}^3/\text{m}^l$) equivale a:

$$q_{riv} = \gamma_c \cdot V / L = 25 \cdot 10.5 / 7.5 = 35 \text{ kPa}.$$

Il carico totale equivale quindi a ca. $q = 100 \text{ kPa}$.

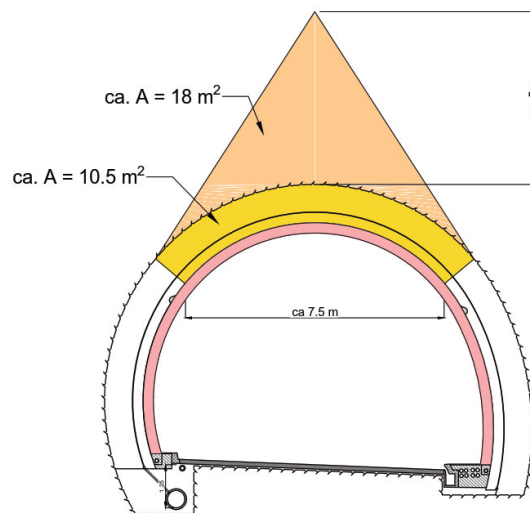


Figura 14 Schizzo delle dimensioni del blocco di roccia considerato per il caso di carico C-2-1

4.3.3 Caduta di un blocco di roccia in posizione centrale con pressione d'acqua residua (C-2-1*)

Nel caso sia presente una pressione d'acqua residua (si veda il paragrafo 4.3.8) valgono le stesse considerazioni fatte per il caso di carico C-2-1, ma si tiene conto del peso specifico immerso del blocco di roccia e del rivestimento esistente. Si ottiene quindi $q' = 62 \text{ kPa}$ ($q_b = \gamma' \cdot V / L = 17 \cdot 18 / 7.5 = 41 \text{ kPa}$ e $q_{riv} = \gamma'_c \cdot V / L = 15 \cdot 10.5 / 7.5 = 21 \text{ kPa}$).

4.3.4 Caduta di un blocco di roccia in posizione laterale senza pressione d'acqua residua (C-2-2)

Questo caso di carico considera il distaccamento di un blocco di roccia nella regione dei paramenti e dei piedritti. A causa della forma asimmetrica del profilo, si considerano due scenari di carico distinti (Figura 15):

- **C-2-2a** – Blocco in posizione laterale destra

$q_b = \gamma \cdot V / L = 27 \cdot 12 / 5 = 65 \text{ kPa}$
 $q_{riv} = \gamma_c \cdot V / L = 25 \cdot 7.5 / 5 = 37.5 \text{ kPa}$
 $q = 102 \text{ kPa}$
- **C-2-2b** – Blocco in posizione laterale sinistra

$q_b = \gamma \cdot V / L = 27 \cdot 11 / 5 = 60 \text{ kPa}$
 $q_{riv} = \gamma_c \cdot V / L = 25 \cdot 7 / 5 = 35 \text{ kPa}$
 $q = 95 \text{ kPa}$

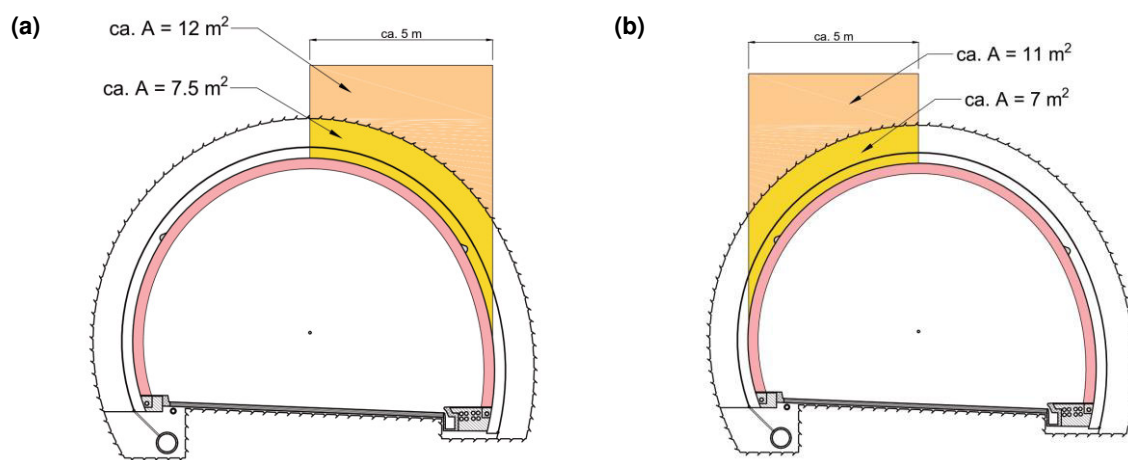


Figura 15 Schizzo delle dimensioni dei blocchi di roccia per il caso di carico C-2-2a (a) e C-2-2b (b)

4.3.5 Caduta di un blocco di roccia in posizione laterale con pressione d'acqua residua (C-2-2*)

Nel caso sia presente una pressione d'acqua residua (si veda il paragrafo 4.3.8) valgono le stesse considerazioni fatte per il caso di carico C-2-2, ma si tiene conto del peso specifico immerso del blocco di roccia e del rivestimento esistente:

- **C-2-2a*** – Blocco in posizione laterale destra

$q_b = \gamma' \cdot V / L = 17 \cdot 12 / 5 = 41 \text{ kPa}$
 $q_{riv} = \gamma'_c \cdot V / L = 15 \cdot 7.5 / 5 = 23 \text{ kPa}$
 $q' = 64 \text{ kPa}$
- **C-2-2b*** – Blocco in posizione laterale sinistra

$q_b = \gamma' \cdot V / L = 17 \cdot 11 / 5 = 38 \text{ kPa}$
 $q_{riv} = \gamma'_c \cdot V / L = 15 \cdot 7 / 5 = 21 \text{ kPa}$
 $q = 59 \text{ kPa}$

4.3.6 Spinta della roccia in zona di faglia senza pressione d'acqua residua (C-3)

Per determinare la spinta della roccia in una zona di faglia si assume che sulla calotta agisca il peso di un silo di altezza ca. 6 m (Figura 16). Assumendo il peso della roccia pari a $\gamma = 27 \text{ kN/m}^3$, si ottiene il seguente carico:

$$\sigma_v = 27 \cdot 6 = 162 \text{ kPa}$$

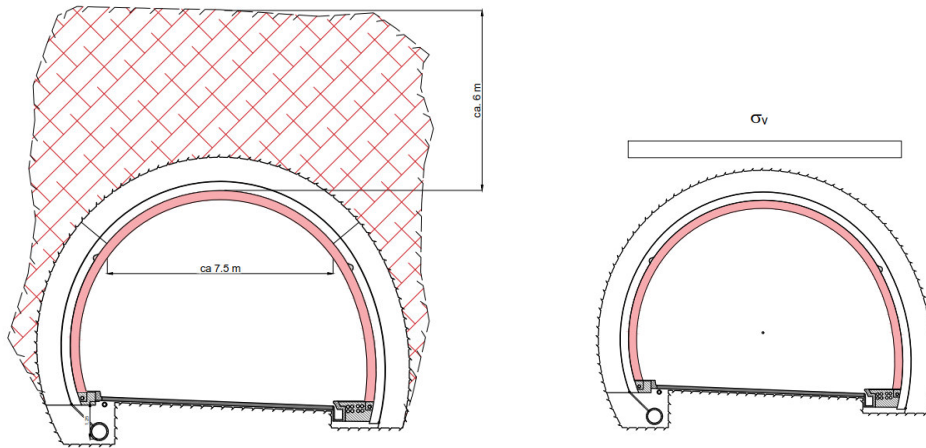


Figura 16 Caso di carico C-3 (zona di faglia)

4.3.7 Spinta del terreno in zona di faglia con pressione d'acqua residua (C-3*)

Nel caso sia presente una pressione d'acqua residua (si veda il paragrafo 4.3.8) valgono le stesse considerazioni fatte per il caso di carico C-3, ma si tiene conto del peso specifico immerso della roccia $\gamma' = 27 \text{ kN/m}^3$.

Ne risulta una spinta effettiva verticale pari a $\sigma'_v = 6 \cdot 17 = 102 \text{ kPa}$.

4.3.8 Pressione d'acqua residua (C-4)

Nel caso in cui l'efficacia del sistema di drenaggi sia insufficiente, in combinazione ai casi di carico illustrati in precedenza, si considera una pressione d'acqua residua insistente sul contro-anello pari a $q_w = 100 \text{ kPa}$ (10 m di colonna d'acqua sopra la calotta della galleria). Al fine di valutare la sensibilità del sistema alla variazione della pressione d'acqua residua, nei seguenti capitoli si presentano anche i risultati per una pressione di 200 kPa (20 m di colonna d'acqua, rappresentati in grigio).

4.4 Combinazioni di carico per la verifica strutturale

4.4.1 Stato limite ultimo (SLU)

Nella seguente tabella vengono riassunte le varie combinazioni di carico ed i relativi coefficienti (secondo SIA 260 [18]) per l'analisi dello stato limite ultimo (SLU):

	C-1	C-2-1 / C-2-1*	C-2-2a / C-2-2a*	C-2-2b / C-2-2b*	C-3 / C-3*	C-4	
SLU1	1.35	1.35					Senza pressione d'acqua residua
SLU2	1.35		1.35				
SLU3	1.35			1.35			
SLU4	1.35				1.35		
SLU5	1.35						
SLU1*	1.35	1.35				1.2	Con pressione d'acqua residua
SLU2*	1.35		1.35			1.2	
SLU3*	1.35			1.35		1.2	
SLU4*	1.35				1.35	1.2	
SLU5*	1.35					1.2	

Tabella 4 Combinazioni e coefficienti di carico (SLU)

4.4.2 Stato limite d'esercizio (SLE)

La seguente tabella riassume varie combinazioni di carico ed i relativi coefficienti (secondo SIA 260 [18]) per l'analisi dello stato limite d'esercizio (SLE):

	C-1	C-2-1 / C-2-1*	C-2-2a / C-2-2a*	C-2-2b / C-2-2b*	C-3 / C-3*	C-4	
SLU1	1	1					Senza pressione d'acqua residua
SLU2	1		1				
SLU3	1			1			
SLU4	1				1		
SLU5	1						
SLU1*	1	1				1	Con pressione d'acqua residua
SLU2*	1		1			1	
SLU3*	1			1		1	
SLU4*	1				1	1	
SLU5*	1					1	

Tabella 5 Combinazioni e coefficienti di carico (SLE)

4.5 Materiali

Per le verifiche presentate nei seguenti paragrafi si considerano i materiali con le proprietà riassunte di seguito.

Armatura $\varnothing 10 \text{ mm @ } 100 \text{ mm}$ ($a_s = 785 \text{ mm}^2$), B500B ($f_{y,k} = 500 \text{ N/mm}^2$)

Calcestruzzo C30/37 ($f_{c,k} = 30 \text{ MPa}$)

Per il calcolo degli sforzi all'interno del contro-anello (SLU) si considera una rigidezza flessionale pari a

$$EI_{SLU} = 0.5 \cdot EI_{eff}$$

al fine di considerare la diminuzione di rigidezza dovuta alla fessurazione del calcestruzzo. Per quanto riguarda l'analisi dello stato limite d'esercizio si utilizza un modulo elastico del calcestruzzo

$$E_{SLE} = 1/3 \cdot E_c$$

per considerare l'effetto della viscosità.

Nel caso in cui il controanello venga realizzato utilizzando la soluzione con *predalles curve*, l'armatura prevista è riassunta nella seguente tabella:

Intradosso	<ul style="list-style-type: none">– rete elettrosaldata K355, $\varnothing 8 \text{ mm @ } 150 \text{ mm}$ ($a_s = 335 \text{ mm}^2/\text{m}^l$, acciaio B500A)– 12 x $\varnothing 18$ ogni 2.4 m ($a_s = 1270 \text{ mm}^2/\text{m}^l$, acciaio B500B)
Estradosso	<ul style="list-style-type: none">– 12 x $\varnothing 18$ ogni 2.4 m ($a_s = 1270 \text{ mm}^2/\text{m}^l$, acciaio B500B)

Tabella 6 Armatura del controanello in caso di utilizzo della soluzione *predalles curve*

4.6 Verifica dello stato limite ultimo

4.6.1 Interazione momento / sforzo normale

Le combinazioni di valori M-N determinanti per ogni combinazione di carico sono rappresentate graficamente nella Figura 17. Tutti i punti ricadono all'interno della curva di interazione M-N. Se ne conclude che l'esito della verifica è **positivo** per tutte le combinazioni di carico considerate (sia per la soluzione standard come pure nel caso si utilizzi la soluzione con *lastre prefabbricate predalles curve*). Ulteriori dettagli riguardanti la verifica SLU si trovano nell'allegato B.

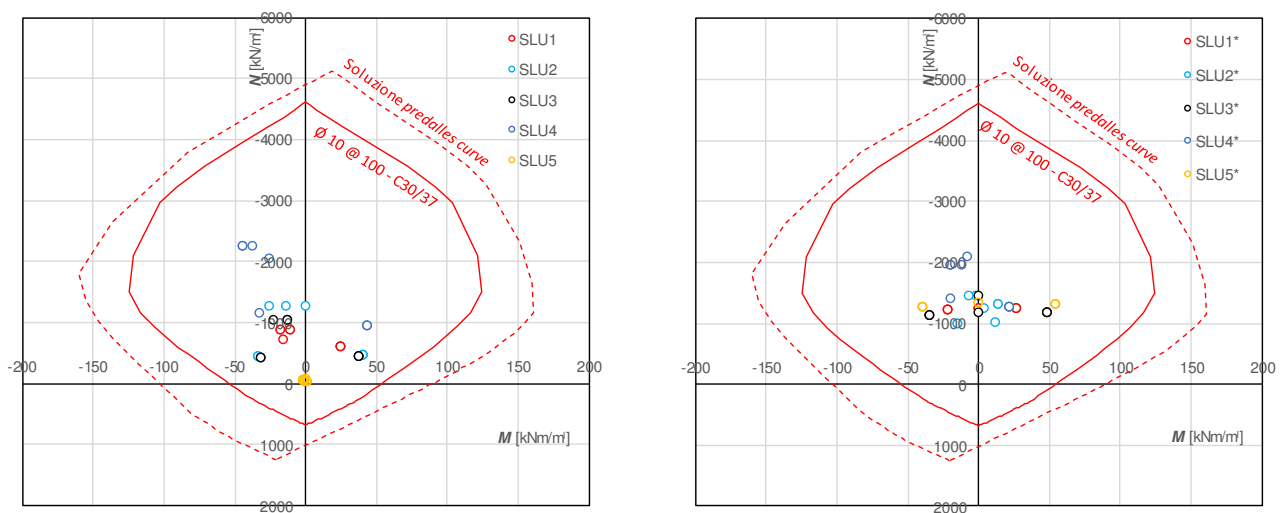


Figura 17 Sollecitazioni determinanti e diagramma di interazione M/N: senza pressioni d'acqua residue (sinistra) e con pressione d'acqua residua 100 kPa (destra)

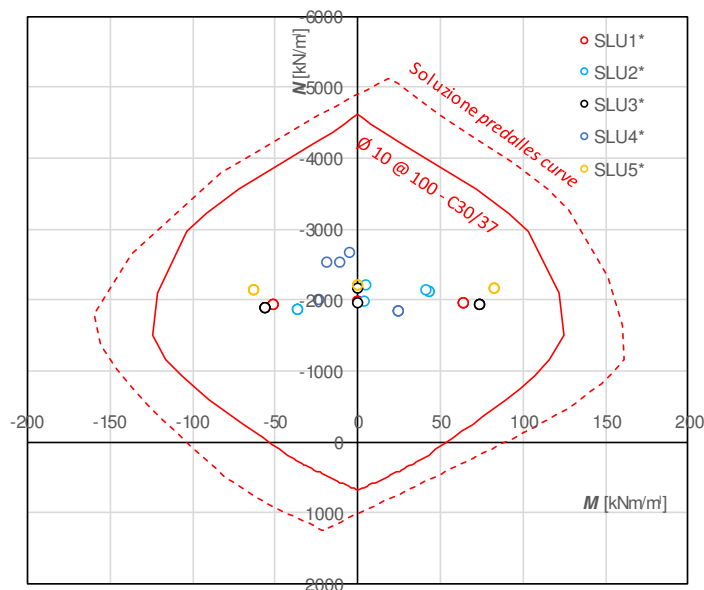


Figura 18 Sollecitazioni determinanti e diagramma di interazione M/N con pressione d'acqua residua 200 kPa

4.6.2 Verifica al taglio

La verifica al taglio avviene in accordo con il paragrafo 4.3.3.2 della norma SIA 262 [21]. La seguente tabella riassume l'esito delle verifiche per le diverse combinazioni di carico. La verifica è **soddisfatta** per tutti i casi di carico. Ulteriori informazioni sulle verifiche si trovano nell'Allegato B. Semplificando, si è considerato il caso generale dove l'armatura flettente sia in campo plastico (ottenendo $V_{Rd} = 83.0$ kN). Per la combinazione di carico SLU 4 si è analizzata la situazione più specifica (sezione compressa, armatura in campo elastico – $V_{Rd} = 144.3$ kN).

	N_{Ed}	M_{Ed}	V_{Ed}	V_{Rd}	Eff
	[kN]	[kNm]	[kN]	[kN]	[-]
SLU1	-888.9	-10.96	53.24	83.0	0.64
SLU2	-1264.29	0	67.058	83.0	0.81
SLU3	-1051.94	-13.26	64.424	83.0	0.78
SLU4	-2048.52	-25.93	125.98	144.3	0.87
SLU1* (10 m)	-1242.47	0	32.302	83.0	0.39
SLU2* (10 m)	-1239.48	4.14	28.626	83.0	0.34
SLU3* (10 m)	-1185.09	0	51.124	83.0	0.62
SLU4* (10 m)	-1956.69	-11.56	56.176	83.0	0.68
SLU1* (20 m)	-1983.22	0	65.402	83.0	0.79
SLU2* (20 m)	-1976.6	3.57	65.572	83.0	0.79
SLU3* (20 m)	-1961.89	0	73.026	83.0	0.88
SLU4* (20 m)	-2535.53	-10.86	52.736	83.0	0.64

Tabella 7 Risultati della verifica al taglio

4.7 Verifica stato limite d'esercizio (SLE)

4.7.1 Limitazione delle fessure

In accordo con la norma SIA 262 [21], al fine di limitare l'apertura delle fessure, le tensioni dell'armatura è da limitare. Per l'opera in questione vigono esigenze accresciute. Ne consegue che:

$$\sigma_s \leq \sigma_{s,adm} = \min \left[\sqrt{\frac{9 \cdot E_s \cdot f_{ctm} \cdot w_{nom}}{\phi_s}}; f_{sd} \right] = 435 \text{ N/mm}^2,$$

con $E_s = 205'000$ MPa, $f_{ctm} = 2.9$ MPa, $w_{nom} = 0.5$ mm e $\phi_s = 10$ mm e $f_{sd} = 435$ MPa.

Nella seguente tabella sono riportate le tensioni dell'armatura massima (calcolate con il programma FAGUS) per le combinazioni di carico determinanti.

Combinazione di carico	Tensioni armatura [N/m²]	$\sigma_s \leq \sigma_{adm}$
SLE2	83.9	✓
SLE3* (10 m)	5.2	✓
SLE3* (20 m)	0 (sezione compressa)	✓

Tabella 8 Tensioni dell'armatura

4.7.2 Deformazioni e rotazioni

La seguente tabella riporta le deformazioni e rotazioni massime per le varie combinazioni di carico.

Combinazione di carico	Defomazione max. [mm]	Posizione	Rotazione max. [mrad]	Posizione
SLE1	9.8	Calotta	3.4	calotta
SLE2	9.34	calotta	5	calotta
SLE3	8.74	calotta	4.7	calotta
SLE4	17.78	calotta	6.1	calotta
SLE5	0.54	calotta	0.2	calotta
SLE1* (10 m)	10.83	paramento dx.	8.1	piedritto dx.
SLE2* (10 m)	9.65	paramento dx.	4.3	piedritto dx.
SLE3*(10 m)	19.22	paramento dx.	13.1	piedritto dx.
SLE4* (10 m)	13.97	calotta	4.1	calotta
SLE5* (10 m)	18.64	paramento dx.	12.8	piedritto dx.
SLE1* (20 m)	27.34	paramento dx	18.3	piedritto dx.
SLE2* (20 m)	23.21	paramento dx	12.9	piedritto dx.
SLE3*(20 m)	30.98	paramento dx.	20.5	piedritto dx.
SLE4* (20 m)	17.07	calotta	5.1	calotta
SLE5* (20 m)	30.29	piedritto dx.	20.1	piedritto dx

5. FASI DI LAVORO E SCADENZE

5.1 Programma globale

In linea generale si prevede per ogni canna una struttura globale del lavoro. Questa struttura è dettata principalmente dalle condizioni poste dalle Condizioni Minime d'Esercizio (CME) per potere assicurare alla galleria un regime parallelo di costruzione (notte) e di traffico (giorno). Alcune installazioni BSA verranno degradate e ripristinate in sintonia con l'avanzamento della galleria, soddisfacendo in ogni momento le Condizioni Minime d'Esercizio (CME).

I lavori preparatori concernenti le infrastrutture BSA si suddividono in:

- Lavori preparatori nel cunicolo tecnico (diurni)
- Lavori di modifica ai sistemi informatici (diurni)
- Lavori preparatori concernenti le infrastrutture nel vano traffico (notturni)

Durante l'avanzamento del treno di lavoro, le infrastrutture BSA verranno adattate parallelamente:

- Prima dell'arrivo del treno di lavoro: smontaggio delle infrastrutture residue
- Durante il passaggio del treno di lavoro: ripristino provvisorio delle infrastrutture BSA necessarie per soddisfare le Condizioni Minime d'Esercizio
- Immediatamente al termine delle lavorazioni del genio civile: blocco per blocco vengono ripristinate le infrastrutture BSA definitive.

Terminati i lavori del genio civile di una singola canna, è di nuovo necessario un periodo di tempo esclusivamente dedicato al ripristino delle infrastrutture BSA compresi i test di funzionamento.

Dal punto di vista dei tempi di esecuzione i lavori concernenti delle infrastrutture BSA sono sul cammino critico all'inizio dei lavori (lavori preparatori) e al termine dei lavori (ripristino e rimessa in esercizio), mentre nella fase centrale dei lavori, il ritmo verrà dettato dai lavori di genio civile, essendo sul percorso critico.

Per quanto riguarda il rendimento medio, a questo stadio del progetto viene ipotizzato un avanzamento di 6 m/giorno. Questo corrisponde alla metà della lunghezza di un blocco. Considerata la complessità del progetto, gli spazi per ottimizzazioni sono ampiamente presenti.

La lunghezza dell'intervento principale è data dallo stadio attuale del progetto di massima: 1'200 m per la canna nord/sud e 1000 metro per la canna sud/nord. Se in sede di progettazione di dettaglio dovessero scaturire nuovi elementi di valutazione e la lunghezza aumentare, considerando un leggero aumento del rendimento medio, sarà possibile eseguire il lavoro nel medesimo tempo.

Inoltre, sarà possibile eseguire lavori di altre tipologie in altre parti della galleria, senza che questi influenzino l'avanzamento del treno di lavoro.

5.2 Avanzamento del treno di lavoro del genio civile

Le fasi di lavorazione specifiche che compongono il treno di lavoro in sintesi sono:

1. Preparazione del rivestimento
2. Nuove tubazioni di drenaggio
3. Fondazioni piedritto per il nuovo contro-anello
4. Membrana alveolare drenante e impermeabilizzazione
5. Montaggio lastre prefabbricate predalles
6. Getto contro-anello di sostegno
7. Fori di drenaggio e lavori di finitura

Le lavorazioni specifiche sono dettagliatamente rappresentate nel piano 7260.4-P-111 [16]. Per il computo della durata della lavorazione occorre prevedere 1 giorno per ogni fase di lavoro supplementare sia per la fase iniziale sia per quella finale, in totale dunque 2 x 7 giorni per ogni canna.

5.3 Durata complessiva dei lavori

La durata complessiva presumibile dei lavori, dettagliatamente esposta nella tabella seguente, si riassume come segue:

- Canna nord-sud 249 notti di lavoro
- Canna sud-nord 216 notti di lavoro

In questo programma sono indicate unicamente le notti di lavoro effettive in cantiere, con chiusure di una delle due canne. Non sono compresi i lavori diurni concernenti i lavori preparatori BSA esterni al vano del traffico che non influiscono sul traffico. Occorre considerare che per potere lavorare con efficienza nel limitato tempo notturno a disposizione è indispensabile un lungo tempo di preparazione. È necessario tenere conto di questo nella programmazione degli appalti, sia del genio civile, sia delle opere BSA.

Fase di lavoro	Lunghezza	Rendimento medio m/notte	Durata totale notti
Canna nord-sud			
Infrastrutture BSA e Installazioni genio civile			
Lavori preparatori anticipati BSA			15
Avanzamento genio civile con treno di lavoro			
Partenza treno di lavoro lavorazioni specifiche			7
Avanzamento genio civile con le fasi di lavorazioni specifiche	1200	6	200
Arrivo treno di lavoro lavorazioni specifiche			7
Ripristino infrastrutture BSA			
Ripristino condizioni d'esercizio normale delle infrastrutture BSA			20
Totale canna nord-sud			249
Canna sud-nord			
Infrastrutture BSA e Installazioni genio civile			
Lavori preparatori anticipati BSA			15
Avanzamento genio civile con treno di lavoro			
Partenza treno di lavoro lavorazioni specifiche			7
Avanzamento genio civile con le fasi di lavorazioni specifiche	1000	6	167
Arrivo treno di lavoro lavorazioni specifiche			7
Ripristino infrastrutture BSA			
Ripristino condizioni d'esercizio normale delle infrastrutture BSA			20
Totale canna sud-nord			216

Tabella 9 Descrizione durata lavori

5.4 Tempi di realizzazione dell'opera

I tempi globali per la realizzazione dell'intervento in oggetto possono essere riassunti come segue:

- Elaborazione MK semplificato → Entro 08/2018
- Elaborazione MP → Da 09/2018 a 12/2019
- Appalto → Da 01/2020 a 12/2020
- Esecuzione → Da 01/2021 a 12/2022

Il quadro delle tempistiche risulta essere in linea con il Masterplan attività di costruzione N2 Potenziamento Lugano sud – Mendrisio.

6. MONITORAGGIO

Attualmente la galleria viene monitorata mediante 12 piezometri, per osservare l'andamento delle pressioni dell'acqua, e un cavo a fibra ottica, per monitorare gli spostamenti all'intradosso. Quest'ultimo è applicato nella canna Nord-Sud in un campo di prova che si trova al portale di Grancia. Un'indagine visiva viene inoltre effettuata ogni due mesi per osservare il degrado e lo stato fessurativi del rivestimento.

Come si può vedere nel piano [17] lungo le tratte con intervento tipo 3 si prevede di indagare lo stato di salute del calcestruzzo operando 6 fori per concio (4 fori sui paramenti, 2 per lato e 2 fori in calotta) prima dell'esecuzione dell'intero intervento. Queste indagini hanno lo scopo di confermare o confutare il tipo di intervento scelto per questa tratta. Infatti, un intervento di tipo 2 verrebbe esteso a questa area nell'eventualità di un riscontro di un calcestruzzo particolarmente sfavorevole. Le pressioni dell'acqua verrebbero a loro volta monitorate lungo queste tratte mediante l'installazione di due nuovi piezometri per canna.

Al termine dei lavori di risanamento della galleria e per la restante fase di esercizio di quest'ultima si prevede il monitoraggio principalmente mediante piezometri e sensori a fibra ottica. I piezometri attualmente in funzione andranno riposizionati, visto che entrano in collisione con la creazione del contro-anello e un eventuale aumento del numero di sensori non è da escludere. La fibra ottica verrebbe applicata nell'area con intervento di tipo 3 longitudinalmente rispettivamente verrà considerata la possibilità di estenderne l'applicazione lungo l'intera galleria. Verrà valutata la possibilità di un'installazione longitudinale e trasversale rispetto all'asse della galleria, rispettivamente un'installazione all'interno del contro-anello montata in fase di getto. Anche altri tipi di sensori (misuratori di tensione all'interno del contro-anello rispettivamente estensimetri) verranno presi in considerazione per un monitoraggio approfondito durante la restante vita utile della galleria. Si prevede inoltre la possibilità di accedere ai risultati in remoto per avere disponibilità di dati in ogni momento e per limitare al minimo l'entrata in galleria, così come l'introduzione di dispositivi di allarme nel caso di superamento di determinate soglie (pressione dell'acqua massima, spostamenti allarmanti o tensioni eccessive nel contro-anello). Questo tipo di monitoraggio, la scelta dei sensori e il loro posizionamento, saranno temi che verranno approfonditi durante la prossima fase di progetto.

7. PREVENTIVO DEI COSTI

Il costo totale dell'intervento per lo scenario minimo (caso in cui le indagini specifiche forniscano un quadro di degrado in accordo con quello noto attualmente) è stato stimato come segue:

- Opere civili	ca. 32 MioCHF
- BSA	ca. 20 MioCHF
- Progettazione e direzione lavori	ca. 6 MioCHF
- Unità territoriali e costi generali	ca. 4 MioCHF

Per un totale di:

ca. 62 MioCHF (IVA esclusa)

In tale fase la precisione della stima è di circa +/- 20%.

Il costo totale dell'intervento per lo scenario massimo (caso in cui le indagini specifiche forniscano un quadro di degrado esteso a tutta la galleria), è stato stimato a circa 77 MioCHF IVA esclusa.

Per ulteriori dettagli, si consulti il preventivo dei costi [3].

ALLEGATO A

Distribuzione delle classi di intervento tipo

Canna N-S

N_blocco	TM [m]	Intervento tipo minimo	G	Q	STATO			ACQ	
					PV	PL	V	PV	PL
Portale	0.0								
1	11.6	2							
2	23.3	2							
3	33.6	2	B	X					
4	49.1	2	B	X	X	X			
5	55.0	2	B	X	X				
6	61.0	2	B	X					
7	66.9	2	B	X					
8	72.8	2	B	X					
9	78.6	2	B	X					
10	84.4	2	B	X			X		
11	90.0	2	B	X			X		
12	96.4	2	B	X			X		
13	102.5	2	B	X			X		
14	108.5	2	B	X					
15	114.6	2	B	X			X		
16	120.7	2	B	X			X		
17	126.9	2	B	X					
18	132.9	2	B	X					
19	139.2	2	B	X					
20	145.4	2	B	X					
21	151.2	2	B	X					
22	157.4	2	B	X					
23	160.5	2	B	X					
24	163.4	2	B	X					
25	169.4	2	B	X					
26	175.8	2	B	X			X		
27	181.9	2	B	X			X		
28	188.1	2	B	X			X		
29	194.1	2	B	X			X		
30	199.3	2	B	X			X		
31	206.5	2	B	X					
32	210.3	2	B	X	X		X		
33	214.1	2	B	X	X		X		
34	218.8	2	B	X					
35	224.9	2	B	X		X			
36	231.1	2	B	X					
37	237.3	2	B	X					
38	242.7	2	B	X					
39	248.7	2	B	X					
40	254.9	2	B	X					
41	261.0	2	B	X					
42	273.3	2	B	X			X		
43	279.4	2	B	X	X		X		
44	285.5	2	B	X			X		
45	291.8	2	B	X			X		
46	297.8	2	B	X					
47	304.1	2	B	X					
48	310.2	2	B	X					
49	316.3	2	B	X	X				
50	322.5	2	B	X					

Intervento	L[m]
1	150.0
2	1037.5
3	487.5

N_blocco	TM [m]	Intervento tipo minimo	G	Q	STATO			ACQ	
					PV	PL	V	PV	PL
51	328.6	2	B	X			X		
52	334.8	2	B	X					
53	340.9	2	B	X			X		
54	347.0	2	B	X			X		
55	353.2	2	B	X			X		
56	359.4	2	B	X	X	X	X		
57	365.5	2	B	X	X				
58	371.5	2	B	X			X		
59	377.8	2	B	X	X				
60	383.9	2	B	X		X		X	
61	390.0	2	B	X					
62	396.2	2	B	X			X		
63	402.3	2	B	X					
64	408.5	3	A45	X					
65	414.6	3	A45	X				X	
66	420.8	3	A45	X					
67	424.0	3	A45	X					
68	426.8	3	A45	X					
69	433.2	3	A45	X					
70	441.5	3	A45	X	X				
71	449.7	3	A45	X					
72	458.0	3	A45	X					
73	474.6	3	A45	X		X		X	
74	483.0	3	A45	X				X	
75	491.0	3	A45	X					
76	499.4	3	A45	X				X	
77	507.5	3	A45	X					
78	515.4	3	A45	X					
79	523.6	3	A45	X		X			
80	531.6	3	A45	X					
81	539.6	3	A45	X					
82	547.6	3	A45	X				X	
83	555.6	3	A45	X					
84	563.7	3	A45	X				X	
85	571.7	3	A45	X			X		
86	579.7	3	A45	X					
87	587.8	3	A45	X		X			
88	595.9	3	A45	X					
89	603.8	2	A30	X					
90	611.9	2	A30	X					
91	619.9	2	A30	X		X			
92	628.0	2	A30	X		X			
93	636.0	2	A30	X		X			
94	644.0	2	A30	X		X			
95	652.0	2	A30	X	X	X			
96	659.9	2	A30	X	X	X			
97	668.0	2	A30	X		X			
98	684.1	2	A30	X		X			
99	692.0	2	A30	X		X			
100	700.0	2	A30	X	X	X			

N_blocco	TM [m]	Intervento tipo minimo	G	Q	STATO			ACQ	
					PV	PL	V	PV	PL
101	708.1	2	A30	X					
102	716.2	2	A30	X	X				
103	724.2	2	A30	X					
104	732.2	2	A30	X		X		X	
105	740.3	2	A30	X		X			
106	748.2	2	A30	X	X	X			
107	756.2	2	A30	X	X			X	
108	764.4	2	A30	X		X		X	
109	772.4	2	A30	X				X	
110	780.4	2	A30	X		X		X	
111	788.4	2	A30	X	X			X	
112	796.4	2	A30	X	X				
113	804.4	2	A30						
114	812.4	2	A60		X			X	
115	820.5	2	A60						
116	828.6	2	A60		X	X			
117	836.6	2	A60		X				
118	844.6	2	A60		X	X		X	
119	852.6	2	A60		X				
120	860.7	2	A60						
121	876.7	2	A60						
122	884.6	2	A60		X				
123	892.8	2	A60		X	X	X	X	
124	900.8	2	A60		X		X		
125	908.8	2	A60						
126	916.9	2	A60		X	X			
127	925.0	2	A60		X	X			
128	933.0	2	A60						
129	941.0	2	A60					X	
130	949.1	2	A60		X				
131	957.0	2	A60			X		X	
132	965.0	2	A60			X		X	
133	973.0	2	A60			X			
134	981.0	2	A60						
135	989.1	2	A60						
136	997.1	2	A60			X		X	
137	1005.2	2	A60					X	
138	1013.3	2	A60					X	
139	1021.4	2	A60		X				
140	1029.4	2	A60						
141	1037.3	2	A60		X	X		X	X
142	1045.4	2	A60					X	
143	1053.3	2	A60			X		X	
144	1061.4	2	A60						
145	1069.4	2	A60					X	
146	1077.5	2	A60						
147	1085.8	2	A60						
148	1094.1	2	A60			X			
149	1102.2	2	A60			X			
150	1110.5	2	A60		X				

N_blocco	TM [m]	Intervento tipo minimo	G	Q	STATO			ACQ	
					PV	PL	V	PV	PL
151	1118.7	3	A60						
152	1127.0	3	A60						
153	1135.0	3	A60						
154	1143.2	3	A60						
155	1151.6	3	A60						
156	1159.7	3	A60						X
157	1167.9	3	A60						
158	1176.1	3	A60						
159	1184.4	3	A60						
160	1192.5	3	A60	X					
161	1200.8	3	A60	X					
162	1209.0	3	A60	X				X	
163	1217.1	3	A60	X					
164	1225.2	3	A60	X			X		X
165	1233.5	3	A60	X					
166	1241.7	3	A60	X					X
167	1249.8	3	A60	X					
168	1258.0	3	A60	X					
169	1274.3	3	A60	X					
170	1282.5	3	A60	X					
171	1290.8	3	A60	X			X		
172	1299.0	3	A60	X					
173	1307.1	3	A60	X					
174	1315.3	1	A60	X				X	X
175	1323.4	1	A60	X				X	X
176	1331.7	1	A60	X				X	X
177	1339.2	1	A60	X				X	X
178	1346.3	1	A60	X				X	X
179	1353.5	1	A60	X			X	X	X
180	1363.4	1	A60	X				X	X
181	1373.0	1	A60	X				X	X
182	1389.3	1	A60	X					X
183	1397.5	3	A60	X					
184	1405.6	3	A60	X					
185	1413.8	3	A60	X					
186	1421.9	3	A60	X					
187	1430.1	3	A60	X	X				
188	1438.4	3	A60	X					
189	1446.7	3	A60	X					
190	1454.7	3	A60	X					
191	1463.0	3	A60						
192	1471.1	3	A60						
193	1479.1	3	A60						
194	1487.4	3	A60		X				
195	1495.7	3	A60						
196	1503.8	3	A60						
197	1512.0	3	A60						
198	1520.1	3	A60						
199	1528.3	2	A60		X				
200	1536.6	2	A60			X			

N _{blocco}	TM [m]	Intervento tipo minimo	G	Q	STATO			ACQ	
					PV	PL	V	PV	PL
51	334.5	2	B	X	X				
52	346.7	2	B	X	X				
53	358.7	2	B	X					
54	370.8	2	B	X					
55	383.1	2	B	X					
56	389.1	2	B	X					
57	396.9	3	A45	X					
58	404.9	3	A45	X					
59	420.8	3	A45	X					
60	428.8	3	A45	X					
61	436.9	3	A45	X					
62	445.0	3	A45	X					
63	453.0	3	A45	X					
64	461.0	3	A45	X					
65	469.0	3	A45	X					
66	476.9	3	A45	X					
67	485.0	3	A45	X					
68	492.9	3	A45	X					
69	501.0	3	A45	X					
70	509.0	3	A45	X					
71	517.0	3	A45	X					
72	525.1	3	A45	X					
73	533.0	3	A45	X					
74	541.0	3	A45	X					
75	549.0	3	A45	X					
76	557.1	3	A45	X					
77	565.2	3	A45	X					
78	581.2	2	A30	X					
79	589.1	2	A30	X					
80	597.2	2	A30	X					
81	605.2	2	A30	X					
82	613.2	2	A30	X					
83	621.3	2	A30	X					
84	629.3	2	A30	X			X		
85	637.2	2	A30	X		X	X		
86	645.3	2	A30	X		X	X		
87	653.4	2	A30	X		X			
88	661.3	2	A30	X					
89	669.3	2	A30	X			X		
90	677.3	2	A30	X			X		X
91	685.4	2	A30	X			X		X
92	693.3	2	A30	X					X
93	701.4	2	A30	X					X
94	709.4	2	A60						
95	717.4	2	A60						
96	725.4	2	A60						X
97	733.4	2	A60						X
98	741.6	2	A60					X	X
99	749.5	2	A60						X
100	757.6	2	A60					X	X

N _{blocco}	TM [m]	Intervento tipo minimo	G	Q	STATO			ACQ	
					PV	PL	V	PV	PL
101	765.7	2	A60					X	X
102	773.6	2	A60						X
103	781.6	2	A60						
104	789.6	2	A60					X	
105	797.7	2	A60			X			
106	805.5	2	A60					X	
107	813.6	2	A60			X			
108	821.6	2	A60			X			X
109	829.6	2	A60			X			
110	837.7	2	A60			X		X	
111	845.7	2	A60			X			X
112	853.7	2	A60			X			X
113	861.7	2	A60			X			X
114	869.6	2	A60			X			
115	877.7	2	A60			X			
116	885.7	2	A60						
117	893.7	2	A60						
118	901.7	2	A60						
119	909.5	2	A60		X	X			
120	917.6	2	A60			X			
121	925.5	2	A60			X			
122	933.5	2	A60			X			
123	941.6	2	A60			X			
124	949.5	2	A60						
125	957.4	2	A60		X				
126	965.4	2	A60						X
127	973.4	2	A60		X				
128	981.4	2	A60						
129	989.5	2	A60						
130	997.5	2	A60						
131	1005.5	3	A60						X
132	1013.6	3	A60						
133	1021.5	3	A60						
134	1029.5	3	A60						
135	1037.7	3	A60						X
136	1045.7	3	A60						
137	1053.7	3	A60						
138	1062.0	3	A60						
139	1070.3	3	A60						
140	1078.5	3	A60						
141	1086.7	3	A60						X
142	1095.0	3	A60						
143	1103.3	3	A60					X	X
144	1111.5	3	A60		X				X
145	1119.8	3	A60					X	X
146	1128.3	3	A60					X	
147	1136.4	3	A60					X	
148	1144.5	3	A60					X	
149	1152.8	3	A60					X	X
150	1161.0	3	A60						

N _{blocco}	TM [m]	Intervento tipo minimo	G	Q	STATO			ACQ	
					PV	PL	V	PV	PL
151	1169.4	3	A60					X	
152	1177.7	3	A60						
153	1186.0	3	A60						X
154	1194.1	3	A60						X
155	1202.3	3	A60						
156	1210.6	3	A60						
157	1218.9	3	A60						
158	1227.2	3	A60						
159	1235.5	3	A60						
160	1243.7	3	A60	X					
161	1251.9	3	A60	X					X
162	1258.2	3	A60	X					
163	1266.4	3	A60	X					
164	1270.7	3	A60	X					X
165	1274.7	3	A60	X					
166	1283.0	3	A60	X					
167	1291.0	3	A60	X					
168	1299.8	3	A60	X					
169	1305.3	2	A60	X		X			
170	1313.5	2	A60	X				X	
171	1321.8	2	A60	X				X	
172	1329.9	1	A60	X				X	X
173	1335.4	1	A60	X				X	X
174	1340.2	1	A60	X				X	X
175	1350.0	1	A60	X				X	X
176	1362.3	3	A60	X					
177	1370.6	3	A60	X					
178	1378.8	3	A60	X					
179	1387.1	3	A60	X					
180	1395.3	3	A60	X					
181	1403.6	3	A60	X					
182	1411.9	3	A60	X					
183	1420.1	3	A60	X					
184	1428.3	3	A60	X					
185	1436.7	3	A60	X					
186	1444.8	3	A60	X					
187	1453.2	3	A60	X					
188	1461.4	3	A60	X					
189	1469.5	3	A60	X					
190	1477.8	3	A60	X					
191	1486.1	3	A60						
192	1494.4	3	A60						
193	1502.7	3	A60						
194	1510.9	3	A60						
195	1519.2	3	A60						
196	1527.4	3	A60						
197	1535.6	3	A60						
198	1543.9	3	A60						
199	1552.1	3	A60						
200	1560.3	3	A60						

N _{blocco}	TM [m]	Intervento tipo minimo	G	Q	STATO			ACQ	
					PV	PL	V	PV	PL
201	1568.6	3	A60						
202	1576.9	3	A60						
203	1585.0	3	A60						
204	1593.4	3	A60						
205	1601.6	3	A60						
206	1609.9	3	A60						
207	1618.1	3	A60						
208	1626.4	3	A60						
209	1634.6	3	A60						
210	1642.9	3	A60						
211	1651.2	3	A60						
212	1659.1	2	A60						
213	1668.0	2	A60						
214	1676.4	2	B						
215	1684.3	2	B						
216	1696.3	2	B						
217	1700.3	2	B						
218	1718.0	2	B						
Portale	1728.6								

LEGENDA

G	anello singolo (A) / doppio (B)
Q	capacità dell'anello (X=comparabile con i carichi presunti)
STATO	stato fessurativo critico
ACQ	infiltrazioni d'acqua da paramento/volta
PV	paramento corsia veloce
PL	paramento corsia lenta
V	volta

	Necessità di rinforzo strutturale per mezzo di contro-anello
	Necessità di rinforzo strutturale per mezzo di contro-anello da verificare
1	Contro-anello + Dreni ai paramenti (4+4) + Dreni in volta (8)
2	Contro-anello + Dreni ai paramenti (4+4)
3	Dreni ai paramenti (4+4) + Lamiera grecata in volta

ALLEGATO B

Verifiche statiche

INDICE

B.1 Modello di calcolo e sforzi

- B.1.1 Sforzi stato limite ultimo (SLU), pressione dell'acqua 100 kPa
- B.1.2 Sforzi stato limite ultimo (SLU), pressione dell'acqua 200 kPa
- B.1.3 Sforzi e deformazioni stato limite d'esercizio (SLE), pressione dell'acqua 100 kPa
- B.1.4 Sforzi e deformazioni stato limite d'esercizio (SLE), pressione dell'acqua 200 kPa

B.2 Risultati FAGUS

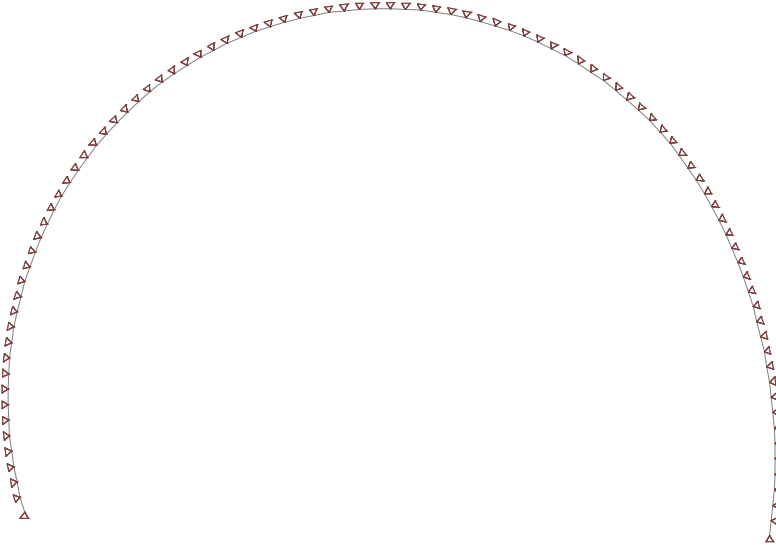
- B.2.1 Modello di calcolo e diagramma di interazione FAGUS (caso standard)
- B.2.2 Modello di calcolo e diagramma di interazione FAGUS (soluzione *predalles curve*)

B.3. Verifica al taglio

B.1 Modello di calcolo e sforzi

B.1.1 Sforzi stato limite ultimo (SLU), pressione dell'acqua 100 kPa

Mstb. 1 :100.0



Stückliste für Stäbe mit Grundbaustoff CC

QsName / (QsName2)	Fläche [m²]	Umfang [m]	Länge [m]	Anz.	Ltot [m]	Oberfläche [m²]	Masse [t]
DOE20_C3037 nach Längen:	0.2000	2.400	var 0.202 0.204 0.206	51 22 22	19.310	46.34	9.65
Total						46.34	9.65

Name	Variante	Baustoffe	Typ	Abmessungen [m]
D0E20_C3037		CC	S-R	B=1.000, H=0.200 y _l =-0.500, y _R =0.500, z _R =-0.100, z _T =0.100

Baustoffe : s. Tabelle 'Baustoffe'

Name	Variante	β [°]	EA _x GA _z [kN]	EJ _y [kNm ²]	e _z [m]	Masse QS Zusatzmasse [t/m]	Baustoffe
D0E20_C3037		0	6720000.00 2393323.76	22400.00	0	0.50	CC

β	:	Winkel zw. y-Achse des Stabes und erster Hauptachse des Querschnitts
e_z	:	Distanz Schwerpunkt-Achspunkt
Baustoffe	:	s. Tabelle 'Baustoffe'

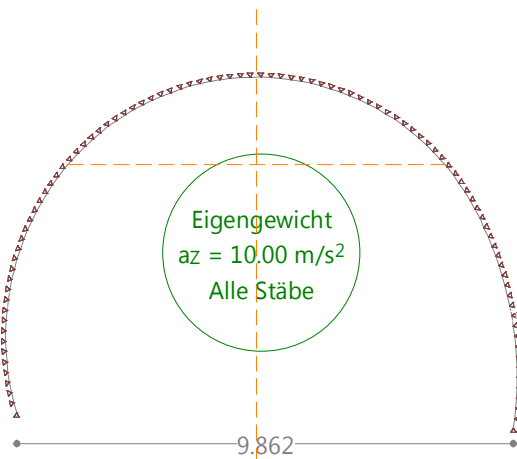
Querschnitt		Baustoffe E _{ref} G _{ref}	Ideelle Querschnittswerte					
Name	Variante		A _{x,id} = EA _x /E _{ref} [m ²]	J _{y,id} = EJ _y /E _{ref} [m ⁴]	J _{z,id} = EJ _z /E _{ref} [m ⁴]	J _{x,id} = GJ _x /G _{ref} [m ⁴]	A _{y,id} = GA _y /G _{ref} [m ²]	A _{z,id} = GA _z /G _{ref} [m ²]
D0E20 C3037		CC	0.2000	0.000667	0.016667	0.002331	0.1667	0.1667

Baustoffe : s. Tabelle 'Baustoffe'

Nr.:

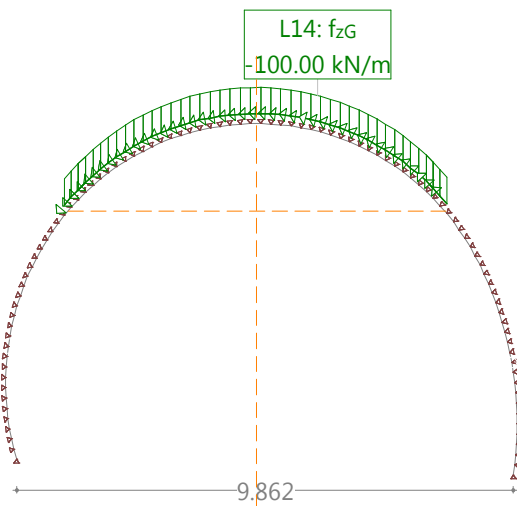
Belastung C-1: Eigengewicht

Mstb. 1 :150.0



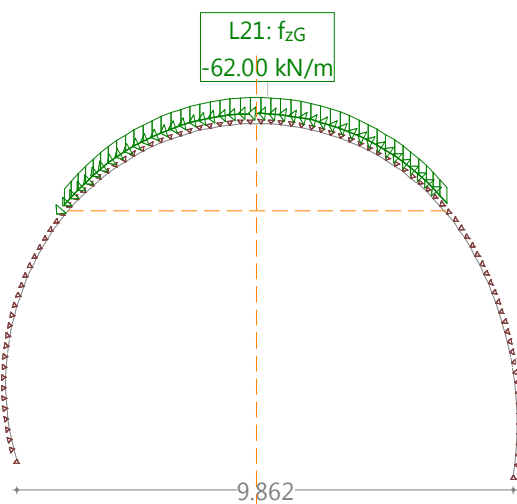
Belastung C-2-1: Blocco Centrale

Mstb. 1 :150.0



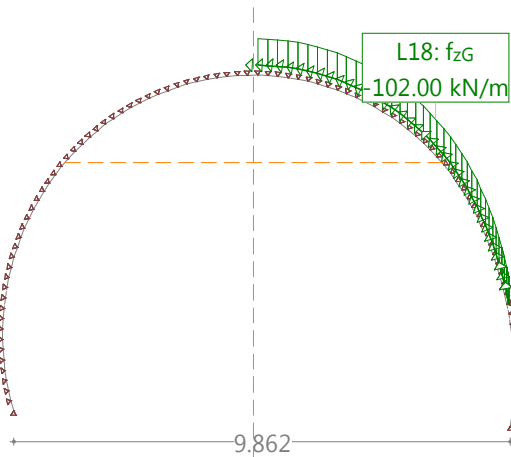
Belastung C-2-1-S: Blocco centrale immerso

Mstb. 1 :150.0



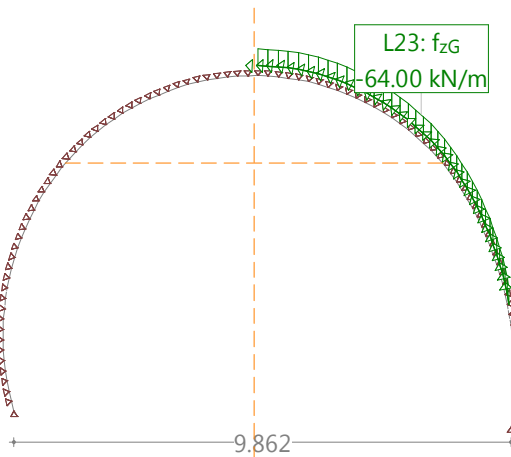
Belastung C-2-2a: Blocco DX

Mstb. 1 :150.0



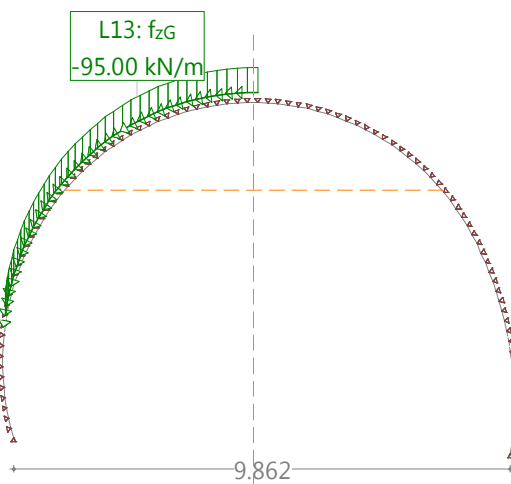
Belastung C-2-2a-s: Blocco laterale dx immerso

Mstb. 1 :150.0



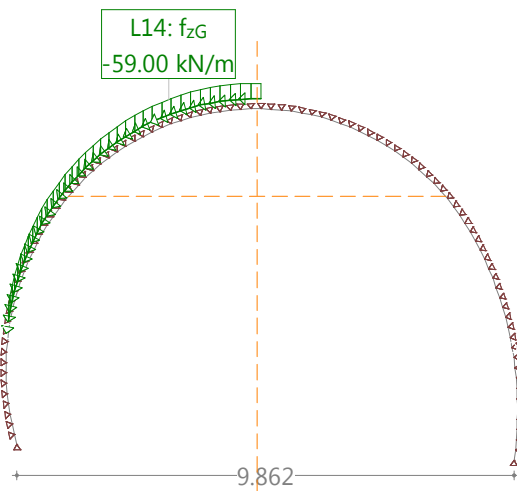
Belastung C-2-2b: Blocco SX

Mstb. 1 :150.0



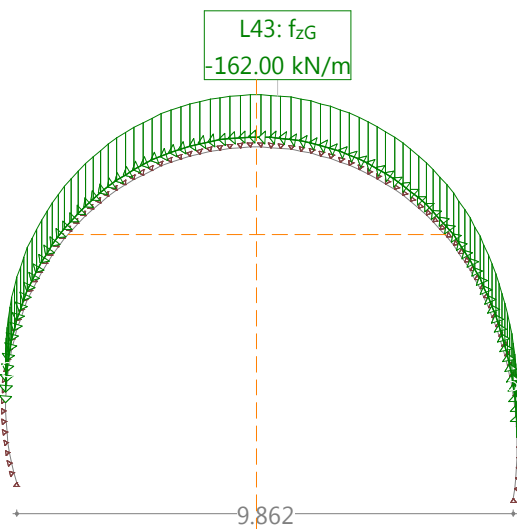
Belastung C-2-2b-s: Blocco laterale sx immerso

Mstb. 1 :150.0



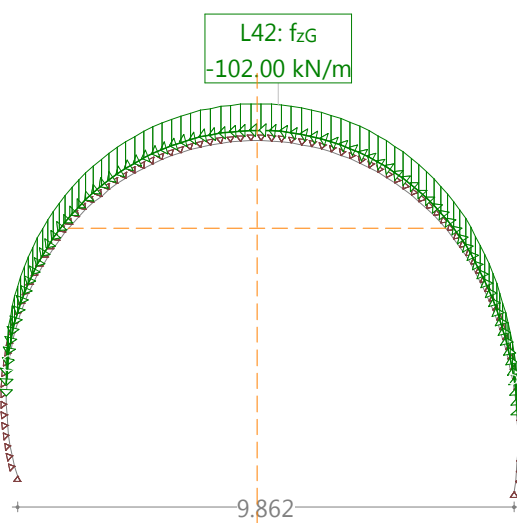
Belastung C-3: SILO

Mstb. 1 :150.0



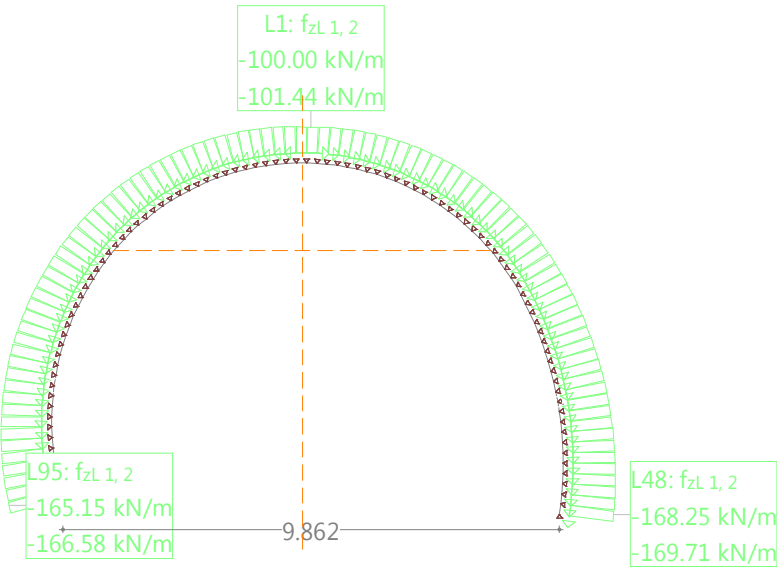
Belastung C-3-s: Silo immerso

Mstb. 1 :150.0



Belastung C-4: Pressione Residua

Mstb. 1 :150.0



Belastungskombination 'SLU1'

Kombinationsbelastung

Belastung	Faktor	Titel
C-1	1.350	Eigengewicht
C-2-1	1.350	Blocco Centrale

'SLU1-S'

Kombinationsbelastung

Belastung	Faktor	Titel
C-1	1.350	Eigengewicht
C-2-1-S	1.350	Blocco centrale immerso
C-4	1.200	Pressione Residua

'SLU2'

Kombinationsbelastung

Belastung	Faktor	Titel
C-1	1.350	Eigengewicht
C-2-2a	1.350	Blocco DX

'SLU2-s'

Kombinationsbelastung

Belastung	Faktor	Titel
C-1	1.350	Eigengewicht
C-2-2a-s	1.350	Blocco laterale dx immerso
C-4	1.200	Pressione Residua

'SLU3'

Kombinationsbelastung

Belastung	Faktor	Titel
C-1	1.350	Eigengewicht
C-2-2b	1.350	Blocco SX

'SLU3-s'

Kombinationsbelastung

Belastung	Faktor	Titel
C-1	1.350	Eigengewicht
C-2-2b-s	1.350	Blocco laterale sx immerso
C-4	1.200	Pressione Residua

'SLU4'

Kombinationsbelastung

Belastung	Faktor	Titel
C-1	1.350	Eigengewicht
C-3	1.350	Silo

'SLU4-s'

Kombinationsbelastung

Belastung	Faktor	Titel
C-1	1.350	Eigengewicht
C-3-s	1.350	Silo immerso
C-4	1.200	Pressione Residua

'SLU5'


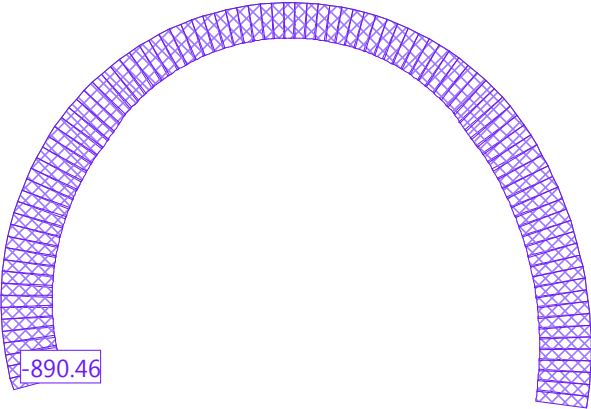
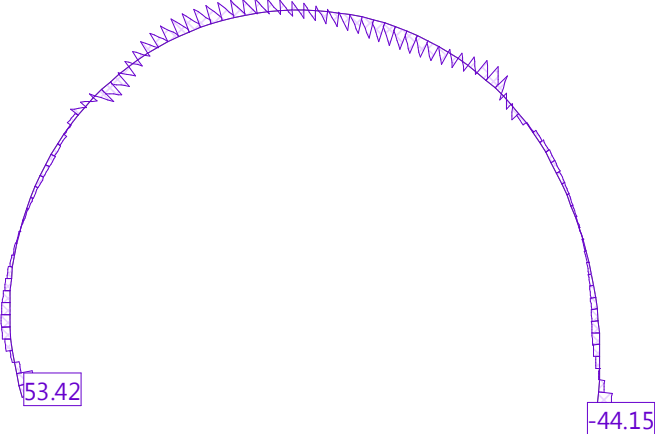
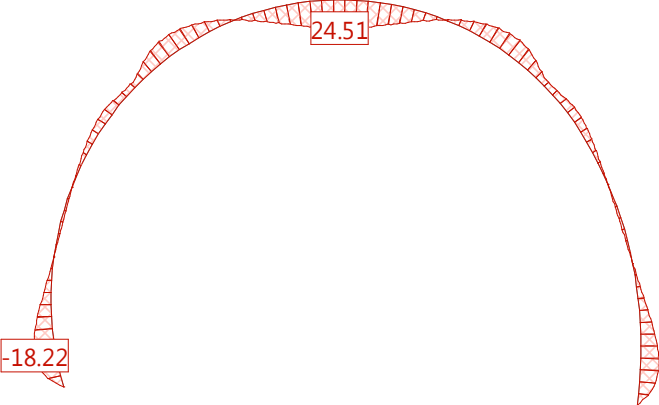
Kombinationsbelastung

Belastung	Faktor	Titel
C-1	1.350	Eigengewicht

'SLU5-s'

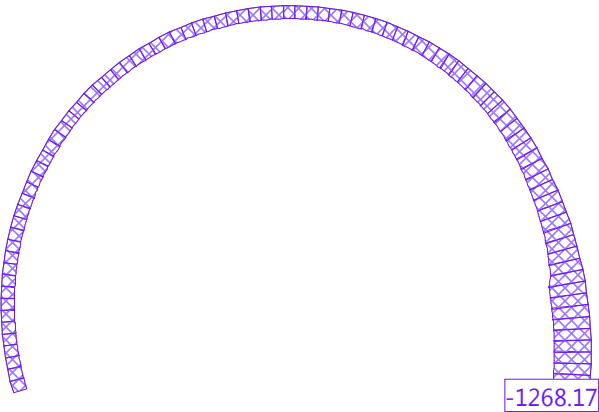
Kombinationsbelastung

Belastung	Faktor	Titel
C-1	1.350	Eigengewicht
C-4	1.350	Pressione Residua

	7260.4	Seite 8
	A_ModuloE5GPa	28.08.18, 22:47
	Lombardi AG, 6003 Luzern	PR STATIK-7 - Version 1.00
<div> <div> Schnittkraft N [kN] für: SLU1_N1 Mstb. 1 :130.0 </div>  </div> <div> <div> Schnittkraft Vz [kN] für: SLU1_N1 Mstb. 1 :130.0 </div>  </div> <div> <div> Schnittkraft My [kNm] für: SLU1_N1 Mstb. 1 :130.0 </div>  </div>		
		Nr.:

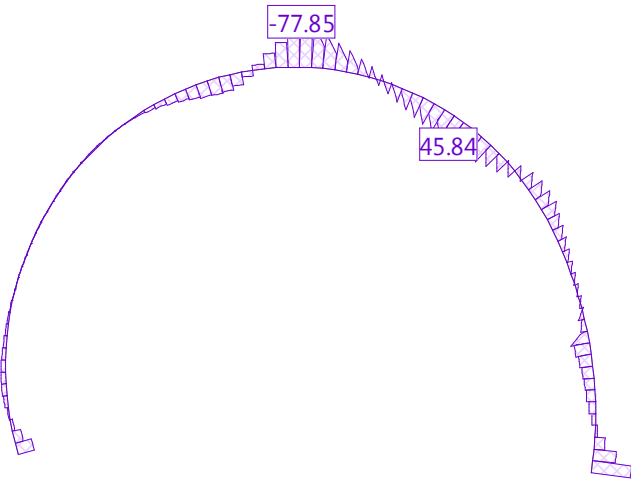
Schnittkraft N [kN] für: SLU2_N1

Mstb. 1 :130.0



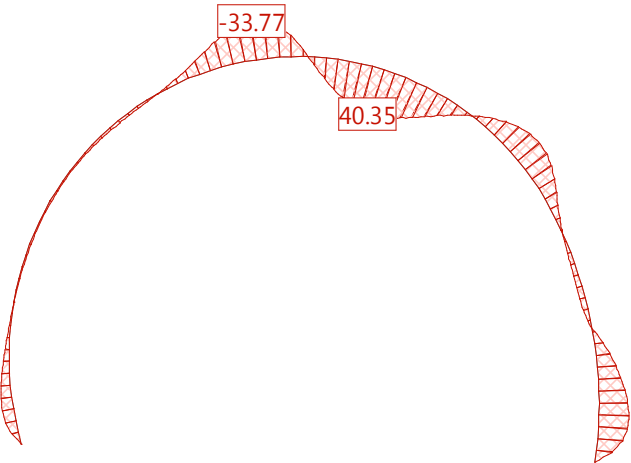
Schnittkraft Vz [kN] für: SLU2_N1

Mstb. 1 :130.0



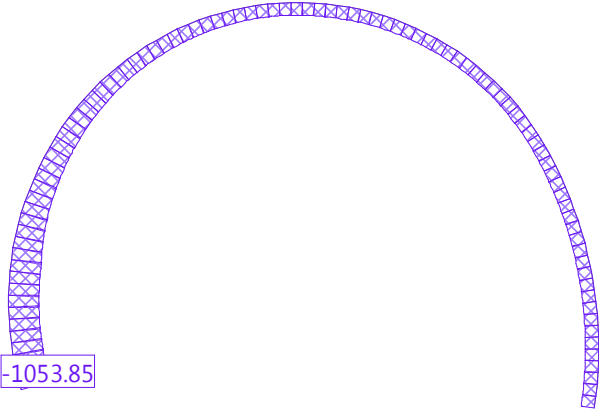
Schnittkraft My [kNm] für: SLU2_N1

Mstb. 1 :130.0



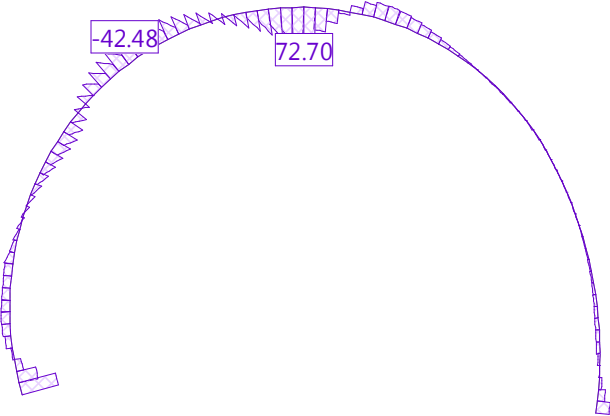
Schnittkraft N [kN] für: SLU3_N1

Mstb. 1 :130.0



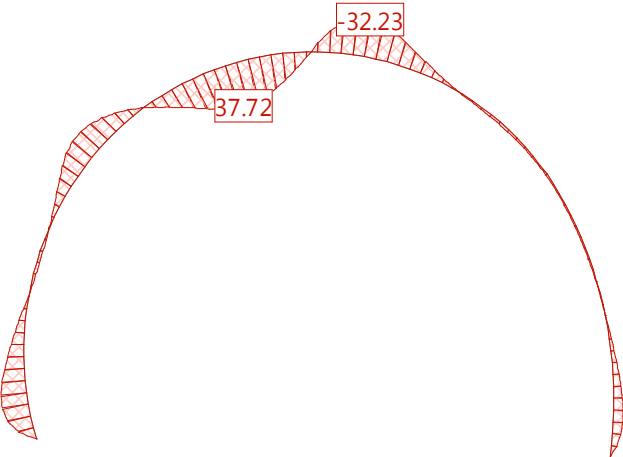
Schnittkraft Vz [kN] für: SLU3_N1


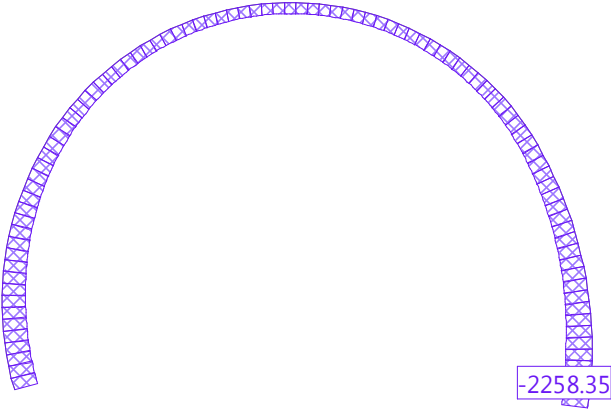
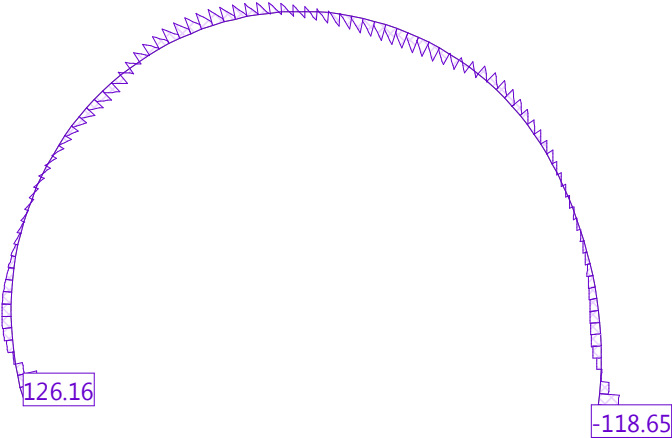
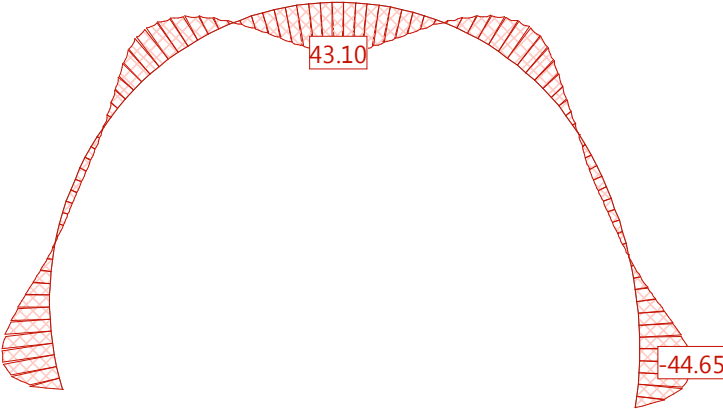
Mstb. 1 :130.0



Schnittkraft My [kNm] für: SLU3_N1

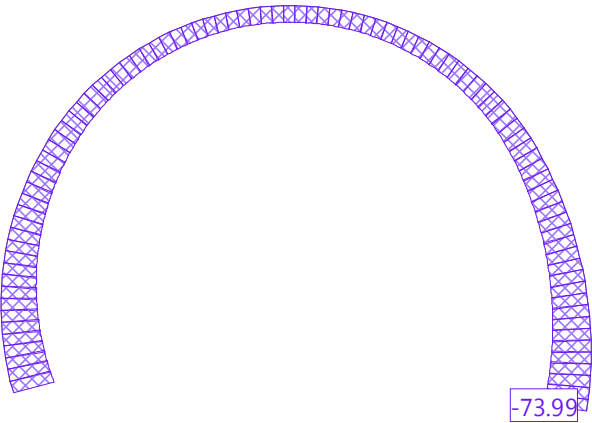
Mstb. 1 :130.0



	7260.4	Seite 11
	A_ModuloE5GPa	28.08.18, 22:47
	Lombardi AG, 6003 Luzern	PR STATIK-7 - Version 1.00
<div> <div> Schnittkraft N [kN] für: SLU4_N1 Mstb. 1 :130.0 </div>  </div> <div> <div> Schnittkraft Vz [kN] für: SLU4_N1 Mstb. 1 :130.0 </div>  </div> <div> <div> Schnittkraft My [kNm] für: SLU4_N1 Mstb. 1 :130.0 </div>  </div>		
		Nr.:

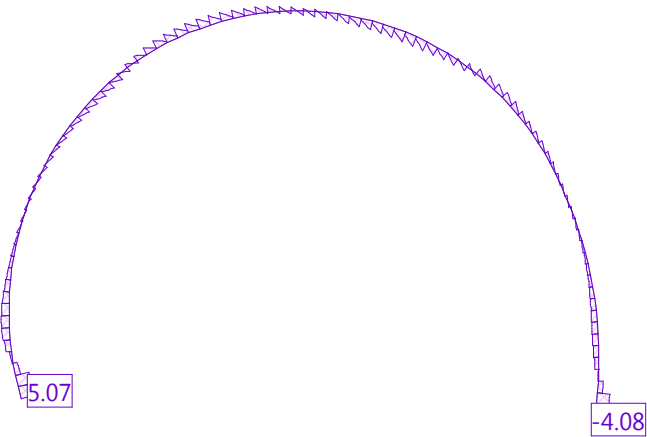
Schnittkraft N [kN] für: SLU5_N1

Mstb. 1 :130.0



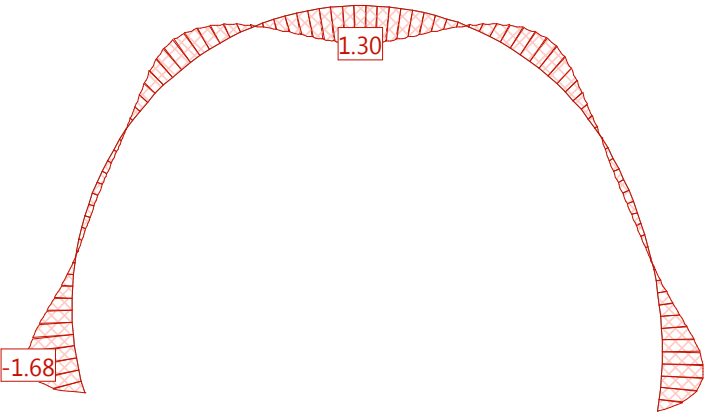
Schnittkraft Vz [kN] für: SLU5_N1


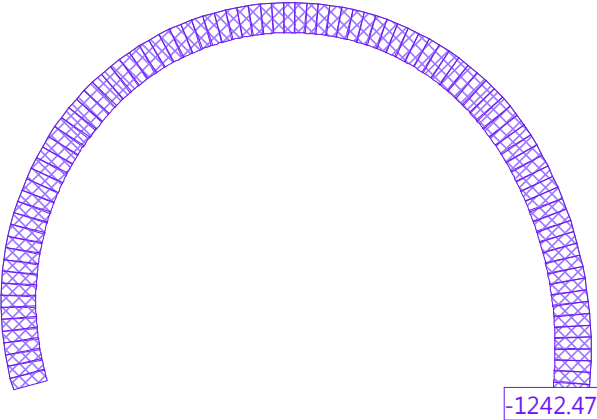
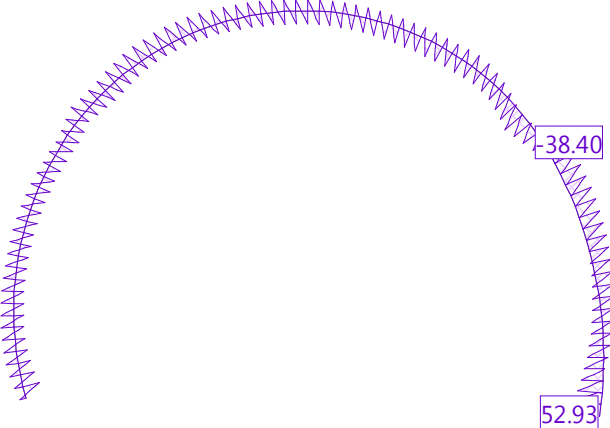
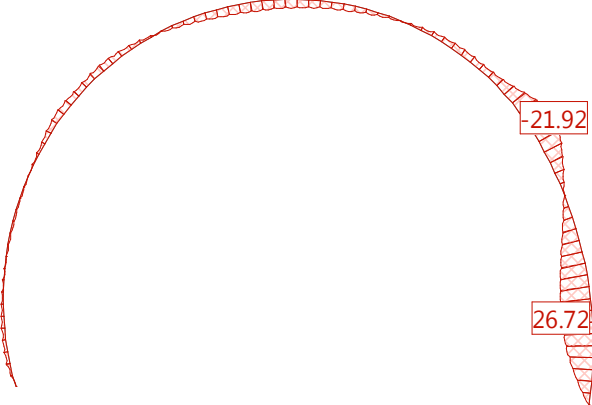
Mstb. 1 :130.0



Schnittkraft My [kNm] für: SLU5_N1

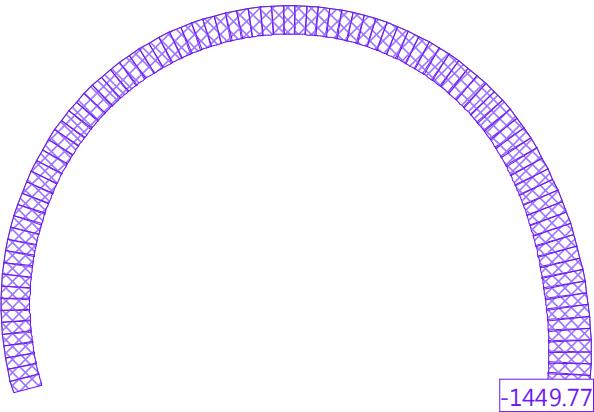
Mstb. 1 :130.0



<div>  Lombardi </div>	7260.4		Seite 13
	A_ModuloE5GPa		28.08.18, 22:47
	Lombardi AG, 6003 Luzern	PR	STATIK-7 - Version 1.00
<div> <div> Schnittkraft N [kN] für: SLU1-S_N1 </div> <div>  </div> </div> <div> Mstb. 1 :130.0 </div>			
<div> <div> Schnittkraft Vz [kN] für: SLU1-S_N1 </div> <div>  </div> </div> <div> Mstb. 1 :130.0 </div>			
<div> <div> Schnittkraft My [kNm] für: SLU1-S_N1 </div> <div>  </div> </div> <div> Mstb. 1 :130.0 </div>			
			Nr.:

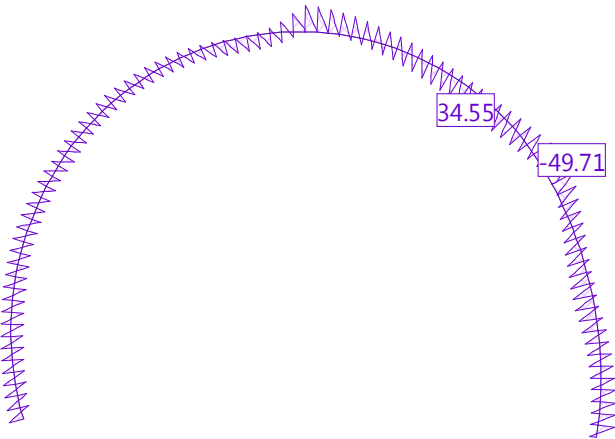
Schnittkraft N [kN] für: SLU2-s_N1

Mstb. 1 :130.0



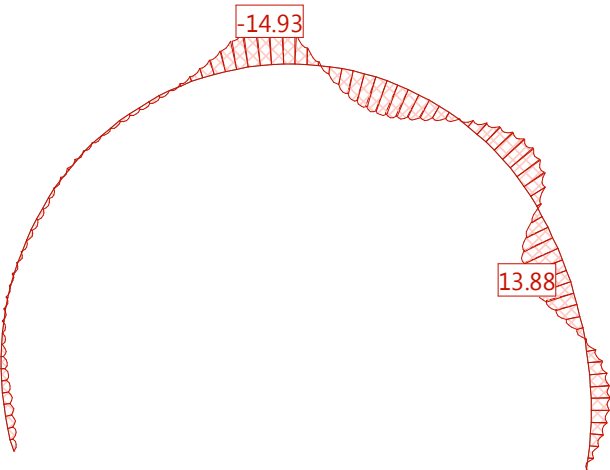
Schnittkraft Vz [kN] für: SLU2-s_N1


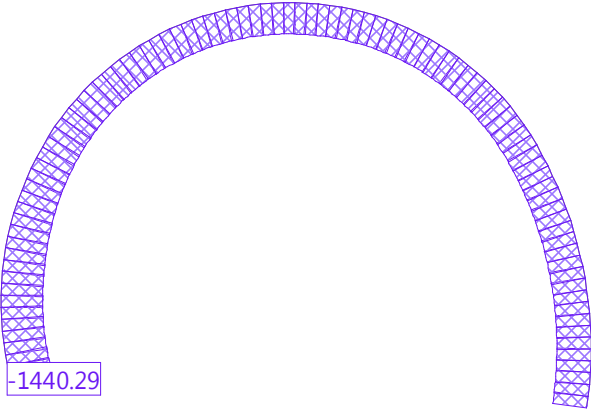
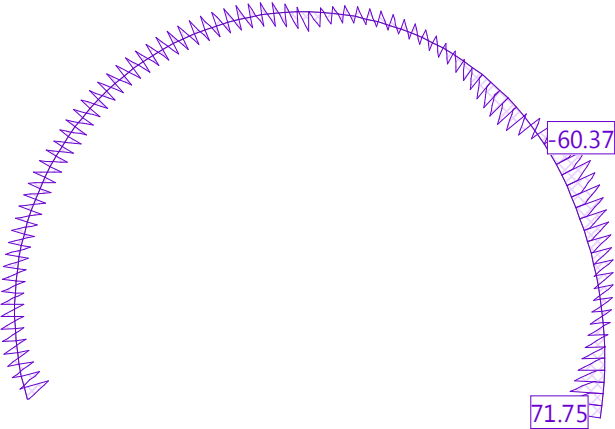
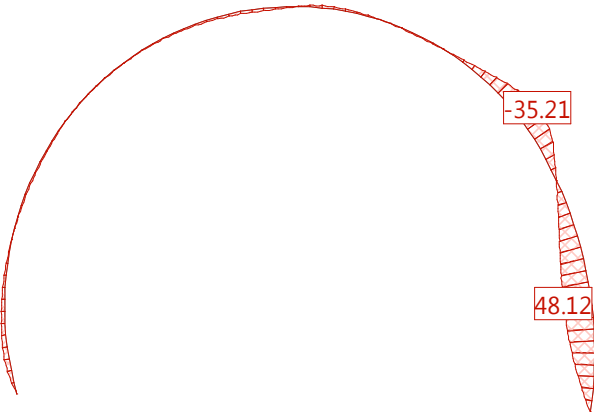
Mstb. 1 :130.0



Schnittkraft My [kNm] für: SLU2-s_N1

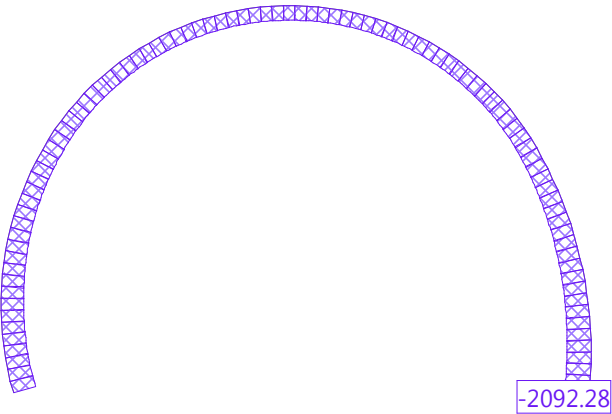
Mstb. 1 :130.0



<div>  </div>	7260.4		Seite 15
	A_ModuloE5GPa		28.08.18, 22:47
	Lombardi AG, 6003 Luzern	PR	STATIK-7 - Version 1.00
<div> <div> <div> Schnittkraft N [kN] für: SLU3-s_N1 </div> <div> Mstb. 1 :130.0 </div> </div> <div>  </div> </div>			
<div> <div> <div> Schnittkraft Vz [kN] für: SLU3-s_N1 </div> <div> Mstb. 1 :130.0 </div> </div> <div>  </div> </div>			
<div> <div> <div> Schnittkraft My [kNm] für: SLU3-s_N1 </div> <div> Mstb. 1 :130.0 </div> </div> <div>  </div> </div>			
			Nr.:

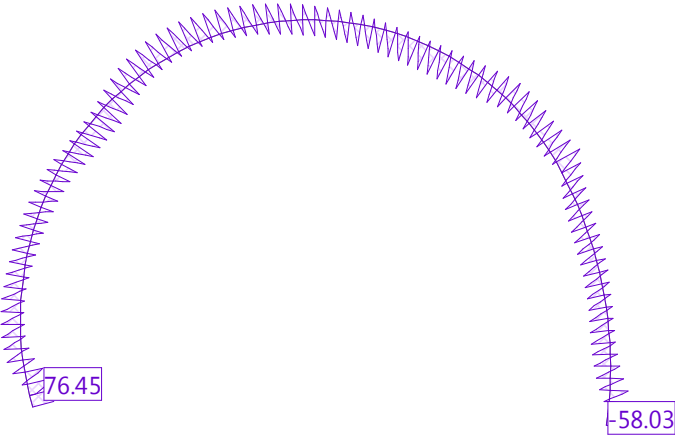
Schnittkraft N [kN] für: SLU4-s_N1

Mstb. 1 :130.0



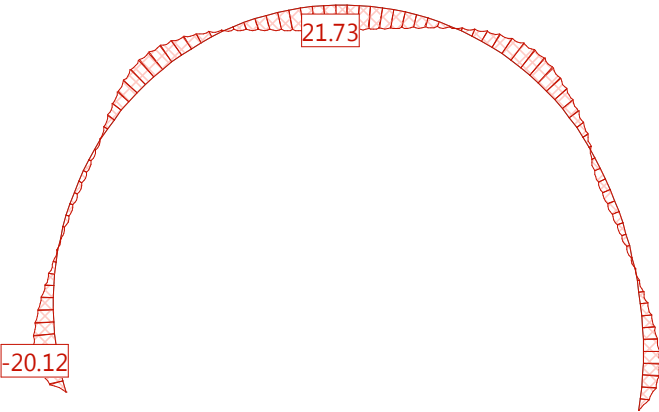
Schnittkraft Vz [kN] für: SLU4-s_N1

Mstb. 1 :130.0



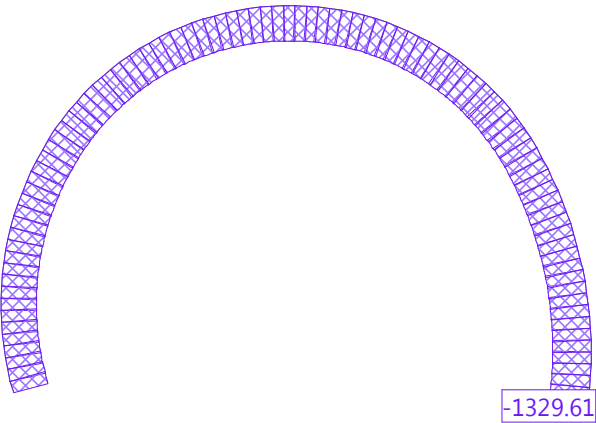
Schnittkraft My [kNm] für: SLU4-s_N1

Mstb. 1 :130.0



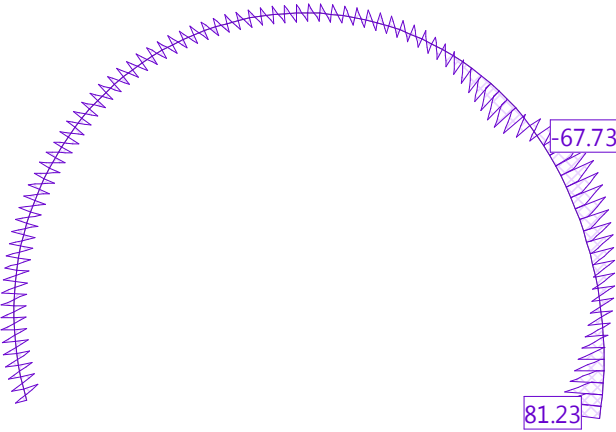
Schnittkraft N [kN] für: SLU5-s_N1

Mstb. 1 :130.0



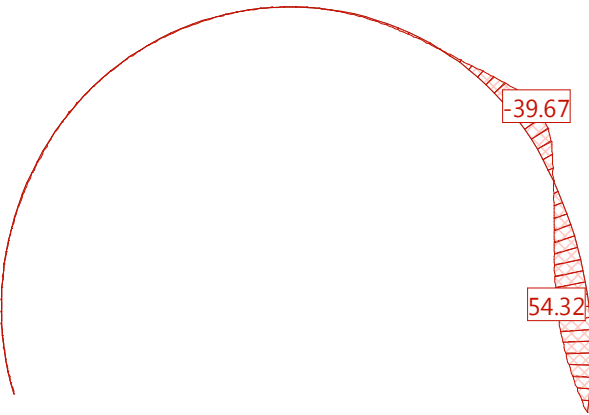
Schnittkraft Vz [kN] für: SLU5-s_N1

Mstb. 1 :130.0



Schnittkraft My [kNm] für: SLU5-s_N1

Mstb. 1 :130.0



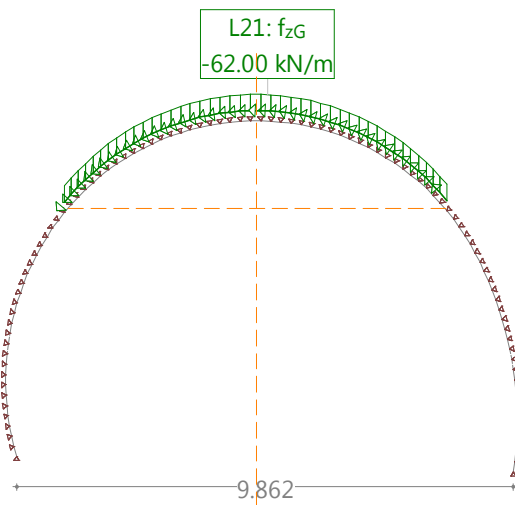
B.1.2 Sforzi stato limite ultimo (SLU), pressione dell'acqua 200 kPa

A diagram of a semi-circular arch. The arch is defined by a solid black line. Along the inner curve of the arch, there is a dashed line with small, downward-pointing triangles at regular intervals, representing a series of supports or a specific structural analysis.

Nr.:

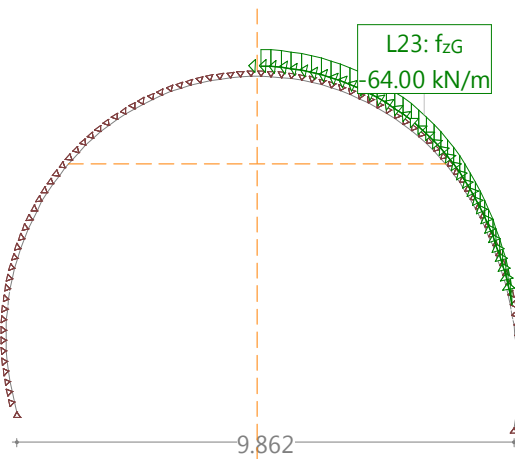
Belastung C-2-1-S: Blocco centrale immerso

Mstb. 1 :150.0



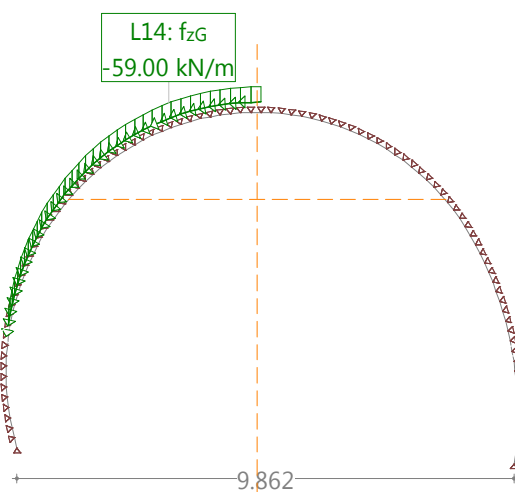
Belastung C-2-2a-s: Blocco laterale dx immerso

Mstb. 1 :150.0



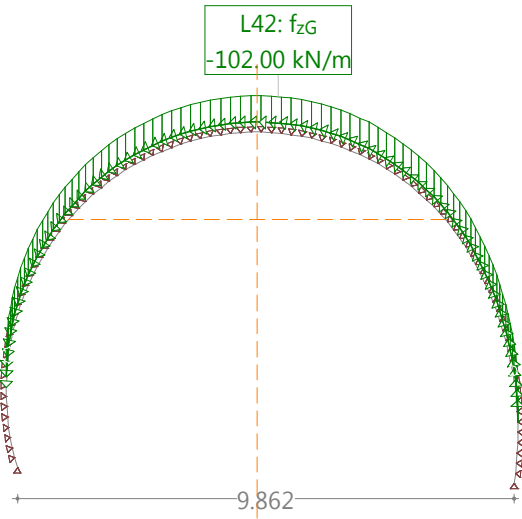
Belastung C-2-2b-s: Blocco laterale sx immerso

Mstb. 1 :150.0



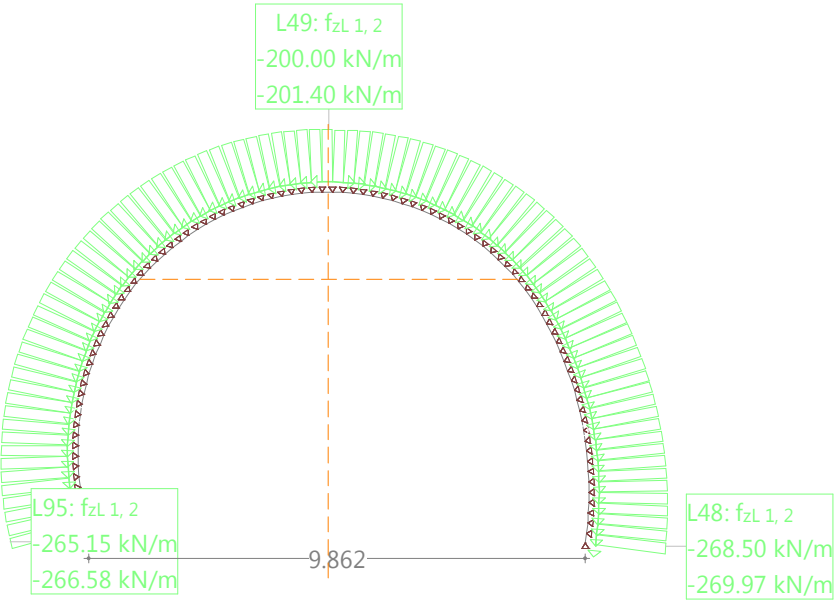
Belastung C-3-s: Silo immerso

Mstb. 1 :150.0



Belastung C-4: Pressione Residua

Mstb. 1 :150.0



Belastungskombination 'SLU1-S'

Kombinationsbelastung

Belastung	Faktor	Titel
C-1	1.350	Eigengewicht
C-2-1-s	1.350	Blocco centrale immerso
C-4	1.200	Pressione Residua

'SLU2-s'

Kombinationsbelastung

Belastung	Faktor	Titel
C-1	1.350	Eigengewicht
C-2-2a-s	1.350	Blocco laterale dx immerso
C-4	1.200	Pressione Residua

'SLU3-s'

Kombinationsbelastung

Belastung	Faktor	Titel
C-1	1.350	Eigengewicht
C-2-2b-s	1.350	Blocco laterale sx immerso
C-4	1.200	Pressione Residua

'SLU4-s'


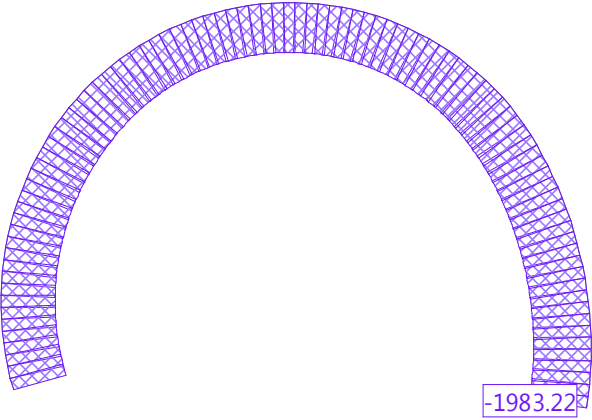
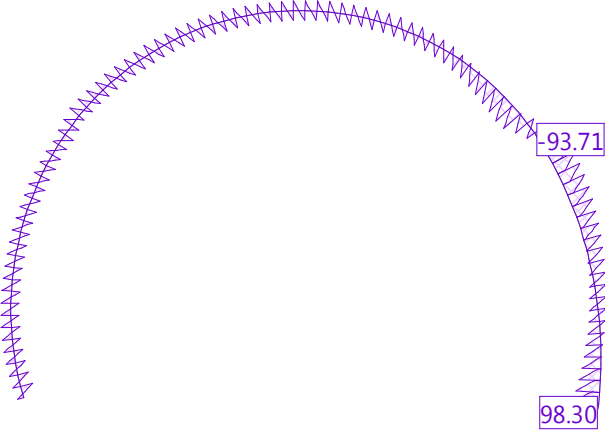
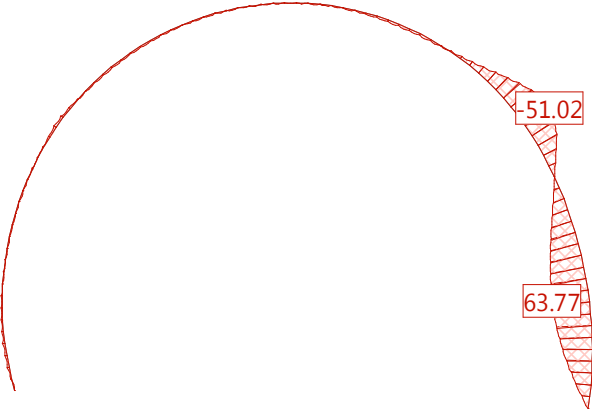
Kombinationsbelastung


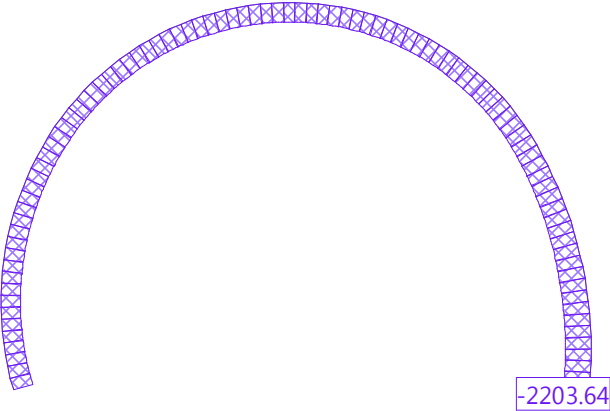
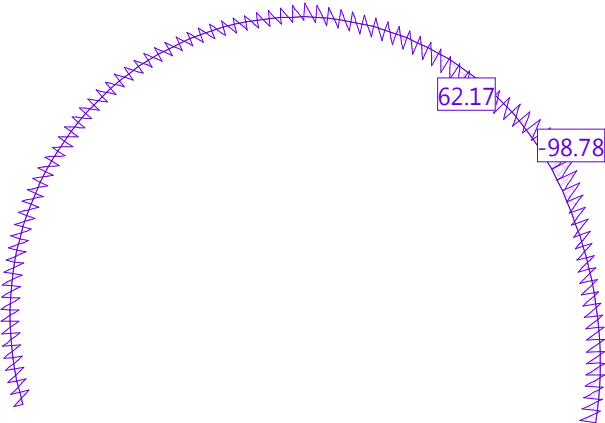
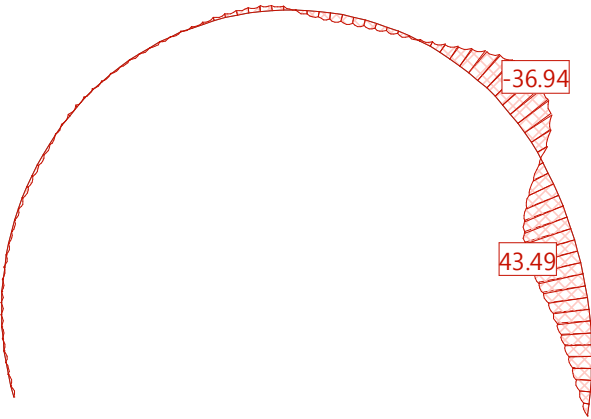
Belastung	Faktor	Titel
C-1	1.350	Eigengewicht
C-3-s	1.350	Silo immerso
C-4	1.200	Pressione Residua


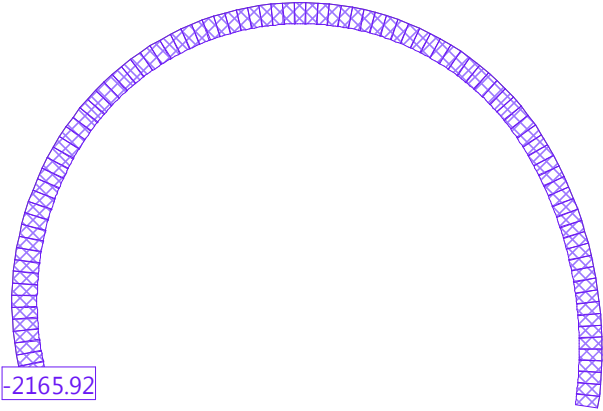
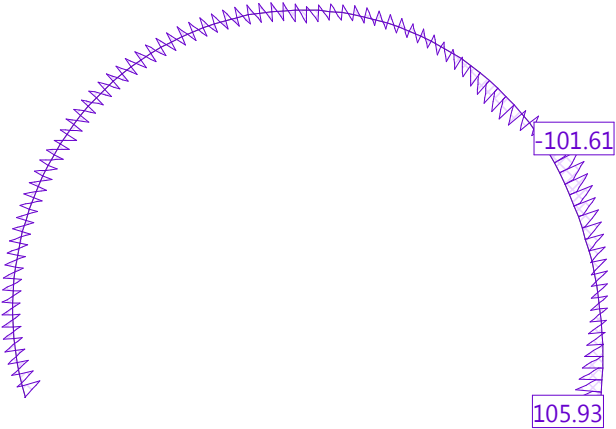
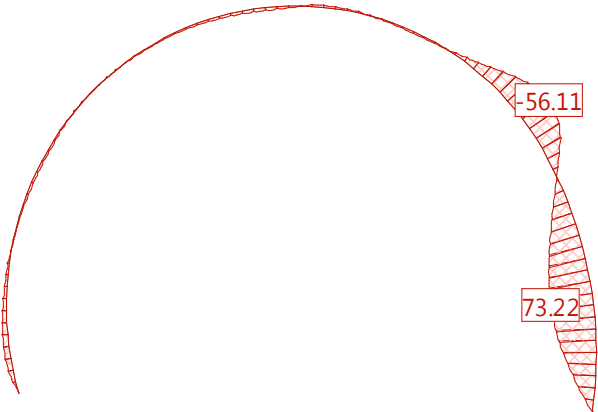
'SLU5-s'

Kombinationsbelastung

Belastung	Faktor	Titel
C-1	1.350	Eigengewicht
C-4	1.350	Pressione Residua

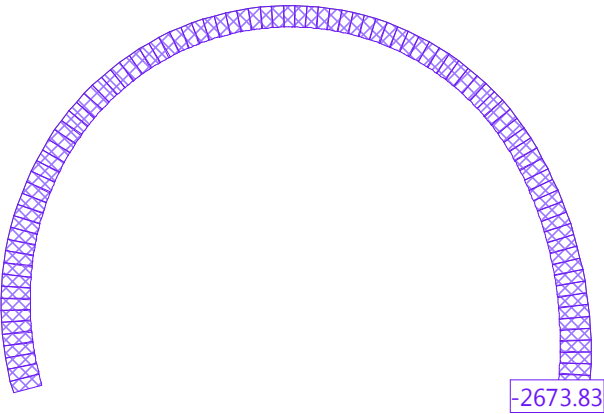
<div>  Lombardi </div>	7260.4		Seite 5
	A_ModuloE5GPa		28.08.18, 22:40
	Lombardi AG, 6003 Luzern	PR	STATIK-7 - Version 1.00
<div> <div> Schnittkraft N [kN] für: SLU1-S_N1 </div> <div>  </div> <div> Mstb. 1 :130.0 </div> </div>			
<div> <div> Schnittkraft Vz [kN] für: SLU1-S_N1 </div> <div>  </div> <div> Mstb. 1 :130.0 </div> </div>			
<div> <div> Schnittkraft My [kNm] für: SLU1-S_N1 </div> <div>  </div> <div> Mstb. 1 :130.0 </div> </div>			
			Nr.:

	7260.4	Seite 6
	A_ModuloE5GPa	28.08.18, 22:40
	Lombardi AG, 6003 Luzern	PR STATIK-7 - Version 1.00
<div> <div> Schnittkraft N [kN] für: SLU2-s_N1 Mstb. 1 :130.0 </div>  </div> <div> <div> Schnittkraft Vz [kN] für: SLU2-s_N1 Mstb. 1 :130.0 </div>  </div> <div> <div> Schnittkraft My [kNm] für: SLU2-s_N1 Mstb. 1 :130.0 </div>  </div>		
		Nr.:

<div>  Lombardi </div>	7260.4		Seite 7
	A_ModuloE5GPa		28.08.18, 22:40
	Lombardi AG, 6003 Luzern	PR	STATIK-7 - Version 1.00
<div> <div> Schnittkraft N [kN] für: SLU3-s_N1 </div> <div>  </div> </div> <div> Mstb. 1 :130.0 </div>			
<div> <div> Schnittkraft Vz [kN] für: SLU3-s_N1 </div> <div>  </div> </div> <div> Mstb. 1 :130.0 </div>			
<div> <div> Schnittkraft My [kNm] für: SLU3-s_N1 </div> <div>  </div> </div> <div> Mstb. 1 :130.0 </div>			
			Nr.:

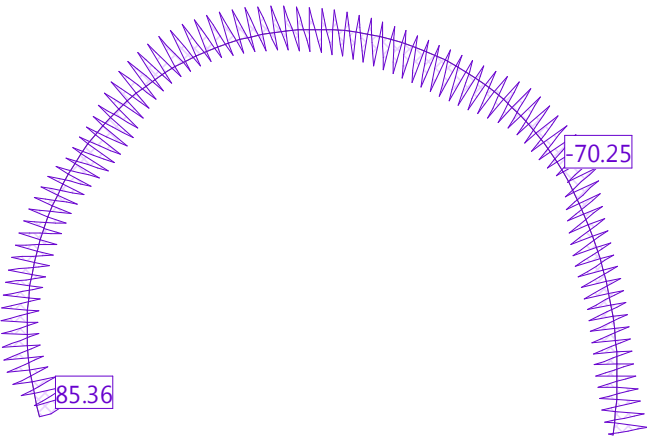
Schnittkraft N [kN] für: SLU4-s_N1

Mstb. 1 :130.0



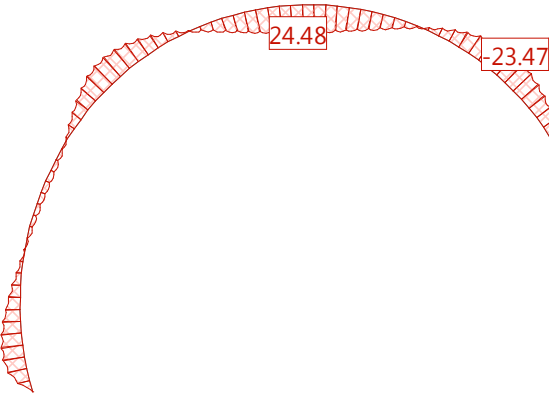
Schnittkraft Vz [kN] für: SLU4-s_N1


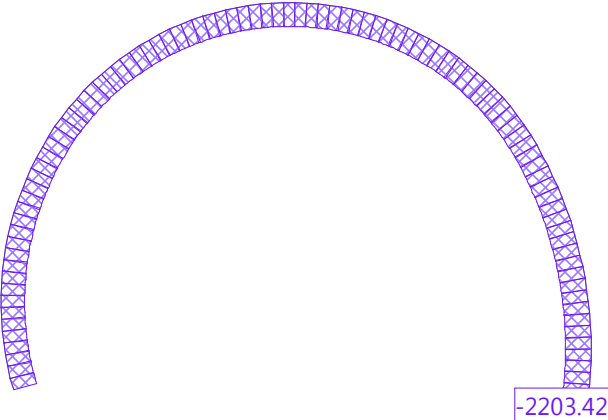
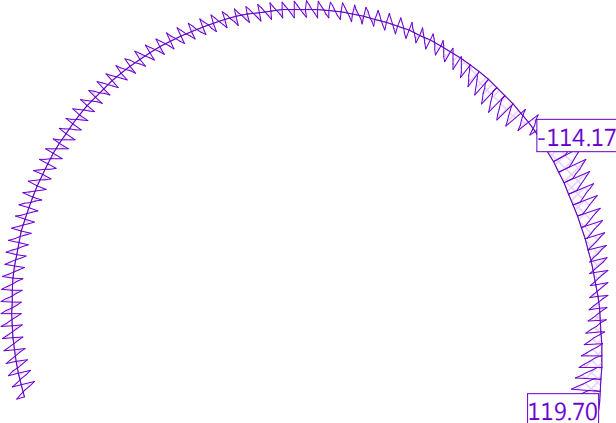
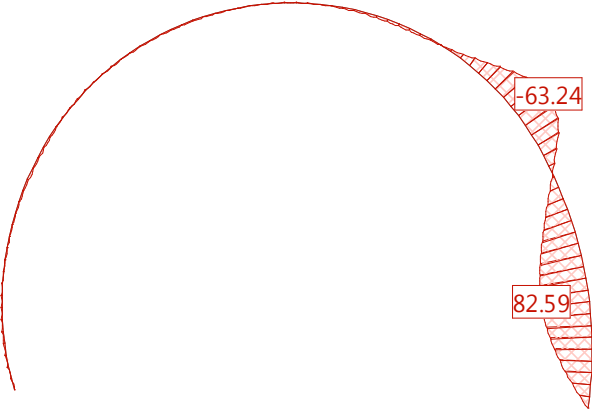
Mstb. 1 :130.0



Schnittkraft My [kNm] für: SLU4-s_N1

Mstb. 1 :130.0



	7260.4		Seite 9
	A_ModuloE5GPa		28.08.18, 22:40
	Lombardi AG, 6003 Luzern	PR	STATIK-7 - Version 1.00
<div> <div> Schnittkraft N [kN] für: SLU5-s_N1 </div> <div>  </div> <div> Mstb. 1 :130.0 </div> </div>			
<div> <div> Schnittkraft Vz [kN] für: SLU5-s_N1 </div> <div>  </div> <div> Mstb. 1 :130.0 </div> </div>			
<div> <div> Schnittkraft My [kNm] für: SLU5-s_N1 </div> <div>  </div> <div> Mstb. 1 :130.0 </div> </div>			
			Nr.:

B.1.3 Sforzi e deformazioni stato limite d'esercizio (SLE), pressione dell'acqua 100 kPa

Belastungskombination 'SLE1'

Kombinationsbelastung

Belastung	Faktor	Titel
C-1	1.000	Eigengewicht
C-2-1	1.000	Blocco Centrale

'SLE1-s'

Kombinationsbelastung

Belastung	Faktor	Titel
C-1	1.000	Eigengewicht
C-2-1-S	1.000	Blocco centrale immerso
C-4	1.000	Pressione Residua

'SLE2'

Kombinationsbelastung

Belastung	Faktor	Titel
C-1	1.000	Eigengewicht
C-2-2a	1.000	Blocco DX

'SLE2-s'

Kombinationsbelastung

Belastung	Faktor	Titel
C-1	1.000	Eigengewicht
C-2-2a-s	1.000	Blocco laterale dx immerso
C-4	1.000	Pressione Residua

'SLE3'

Kombinationsbelastung

Belastung	Faktor	Titel
C-1	1.000	Eigengewicht
C-2-2b	1.000	Blocco SX

'SLE3-s'

Kombinationsbelastung

Belastung	Faktor	Titel
C-1	1.000	Eigengewicht
C-2-2b-s	1.000	Blocco laterale sx immerso
C-4	1.000	Pressione Residua

'SLE4'

Kombinationsbelastung

Belastung	Faktor	Titel
C-1	1.000	Eigengewicht
C-3	1.000	SIL0

'SLE4-s'

Kombinationsbelastung

Belastung	Faktor	Titel
C-1	1.000	Eigengewicht
C-3-s	1.000	Silo immerso
C-4	1.000	Pressione Residua

'SLE5'

Kombinationsbelastung

Belastung	Faktor	Titel
C-1	1.000	Eigengewicht

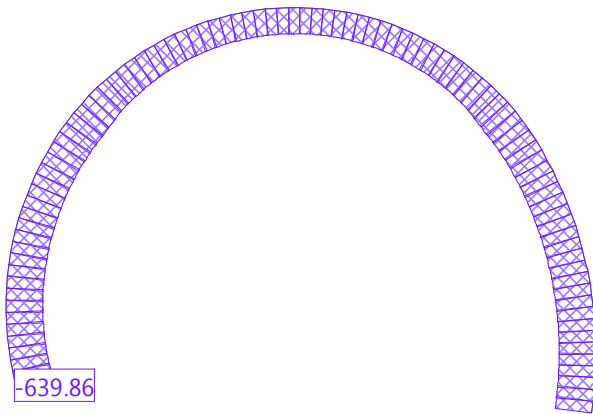
'SLE5-s'

Kombinationsbelastung

Belastung	Faktor	Titel
C-1	1.000	Eigengewicht
C-4	1.000	Pressione Residua

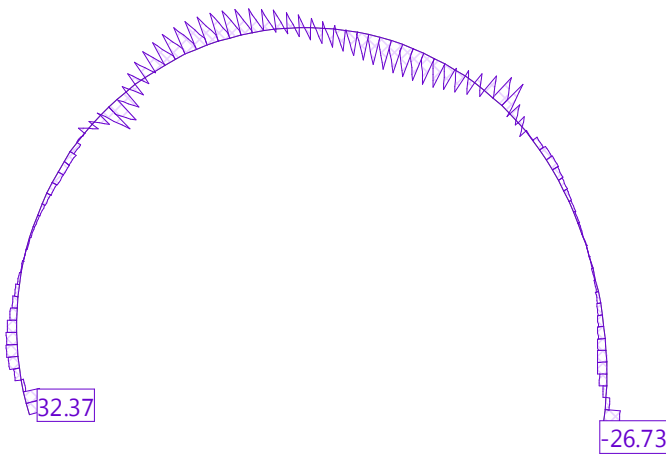
Schnittkraft N [kN] für: SLE1_N1

Mstb. 1 :130.0



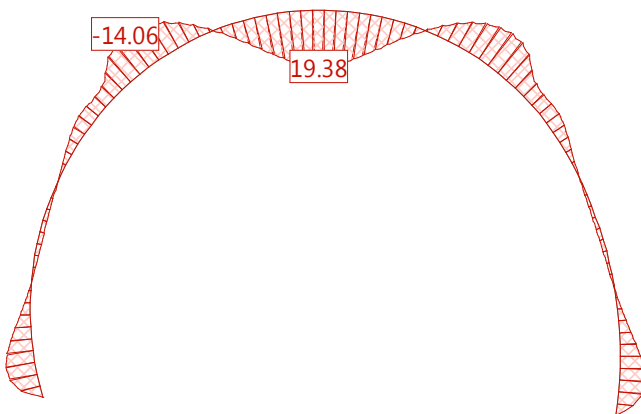
Schnittkraft Vz [kN] für: SLE1_N1

Mstb. 1 :130.0



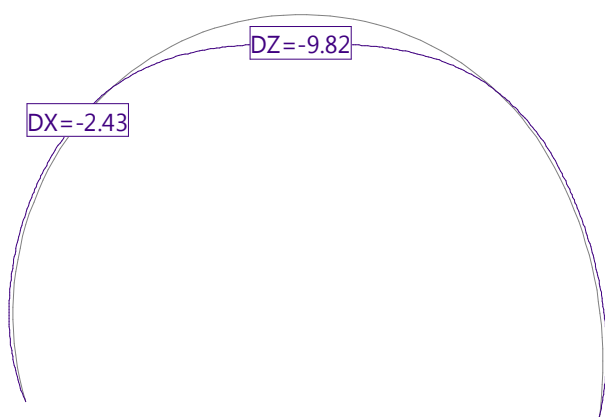
Schnittkraft My [kNm] für: SLE1_N1

Mstb. 1 :130.0



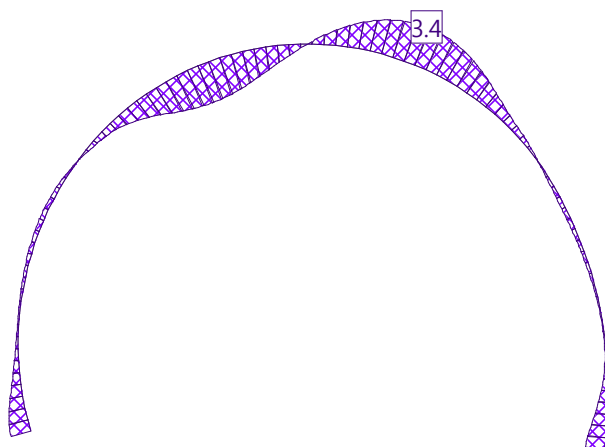
VERSCHIEBUNGEN D für: SLE1_N1 [mm], Überhöhung: 50.0

Mstb. 1 :130.0



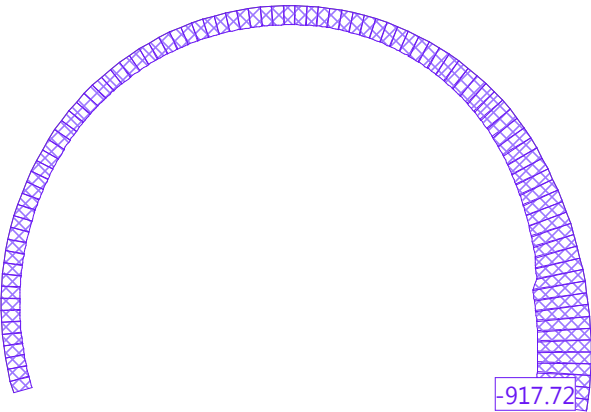
VERSCHIEBUNGEN R y-lokal für: SLE1_N1 [mrad], Überhöhung: 200.0

Mstb. 1 :130.0



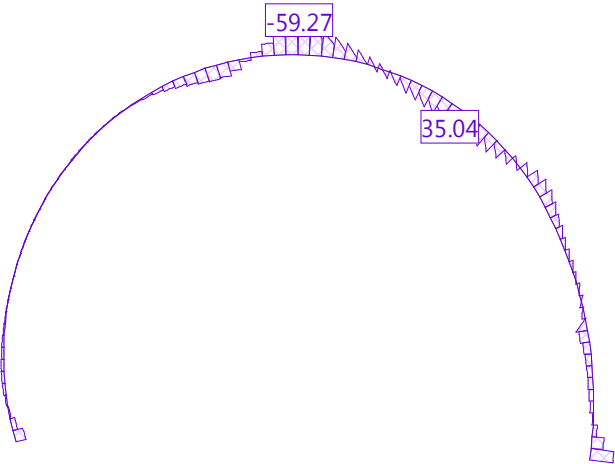
Schnittkraft N [kN] für: SLE2_N1

Mstb. 1 :130.0



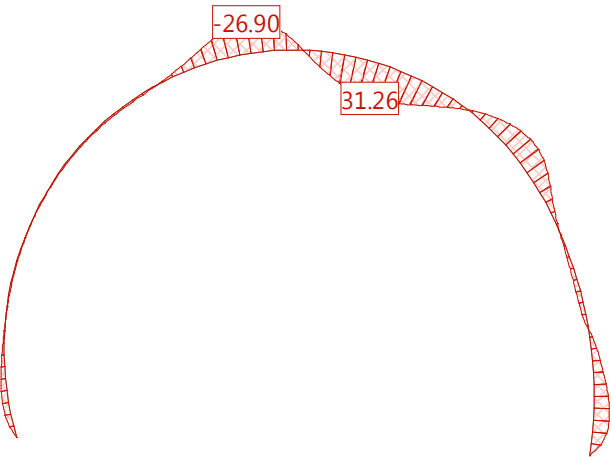
Schnittkraft Vz [kN] für: SLE2_N1


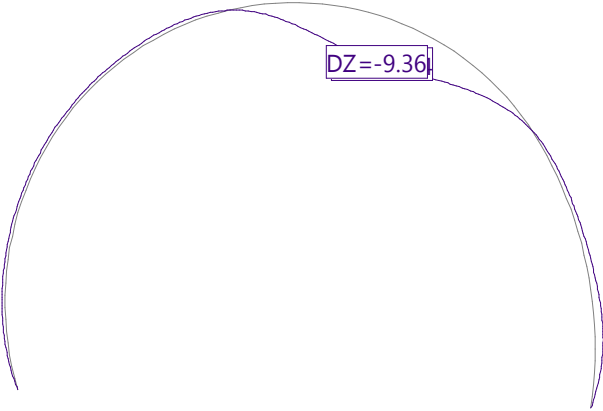
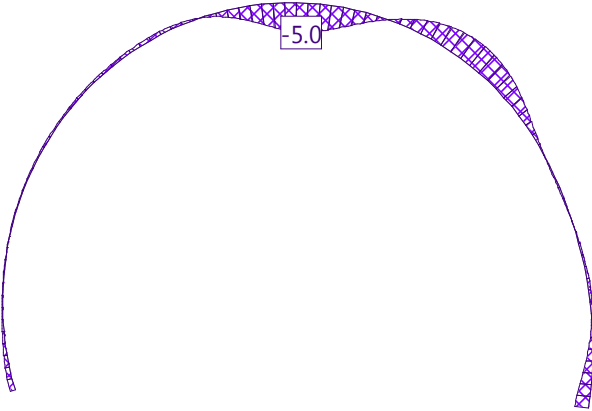
Mstb. 1 :130.0



Schnittkraft My [kNm] für: SLE2_N1

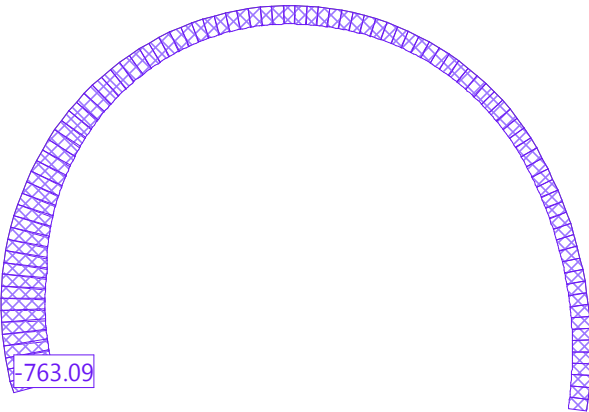
Mstb. 1 :130.0



	7260.4	Seite 6
	A_ModuloE5GPa	28.08.18, 22:51
	Lombardi AG, 6003 Luzern	PR STATIK-7 - Version 1.00
<div> <div> <p>VERSCHIEBUNGEN D für: SLE2_N1 [mm], Überhöhung: 78.0</p>  </div> <div> <p>VERSCHIEBUNGEN R y-lokal für: SLE2_N1 [mrad], Überhöhung: 100.0</p>  </div> </div>		
		Nr.:

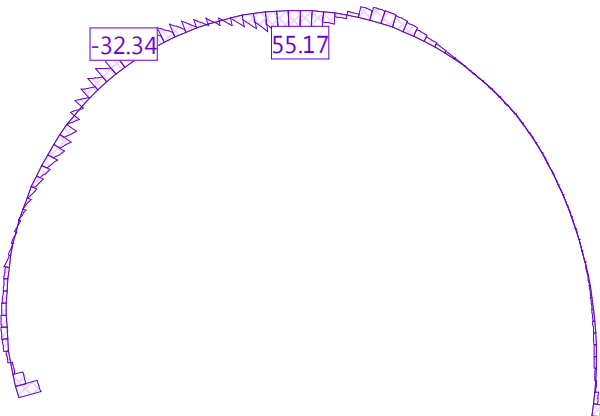
Schnittkraft N [kN] für: SLE3_N1

Mstb. 1 :130.0



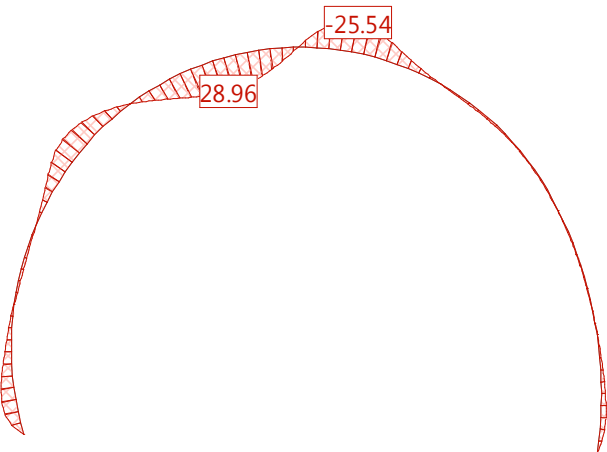
Schnittkraft Vz [kN] für: SLE3_N1

Mstb. 1 :130.0



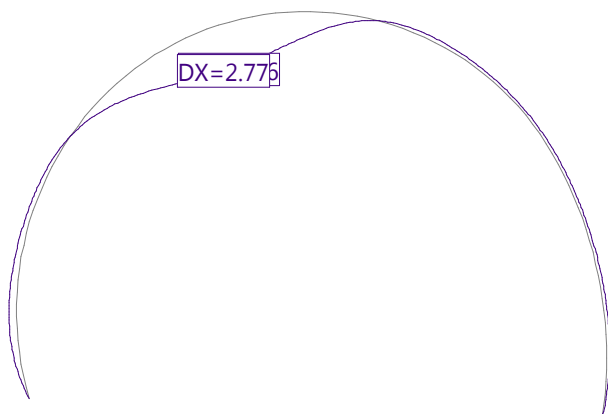
Schnittkraft My [kNm] für: SLE3_N1

Mstb. 1 :130.0



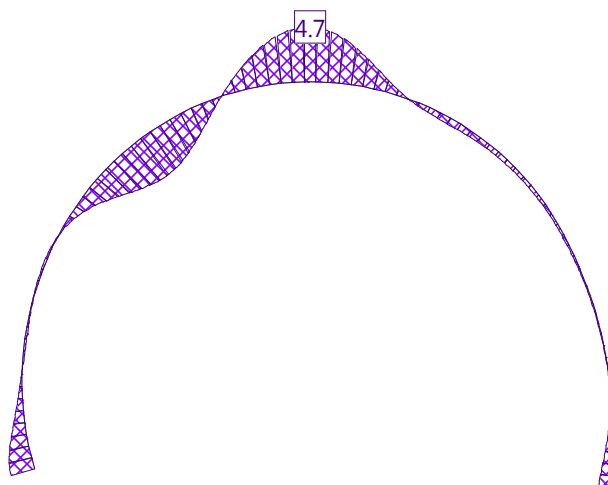
VERSCHIEBUNGEN D für: SLE3_N1 [mm], Überhöhung: 83.3

Mstb. 1 :130.0



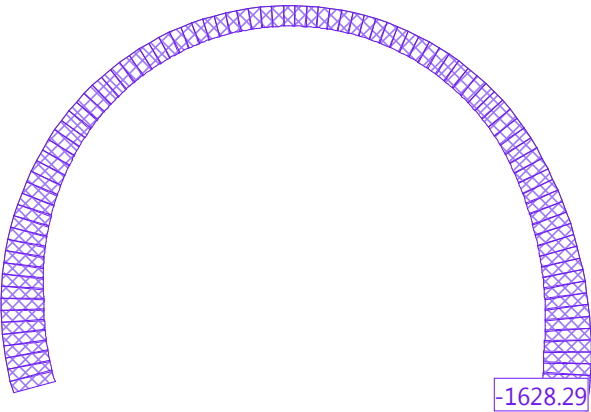
VERSCHIEBUNGEN R y-lokal für: SLE3_N1 [mrad], Überhöhung: 200.0

Mstb. 1 :130.0



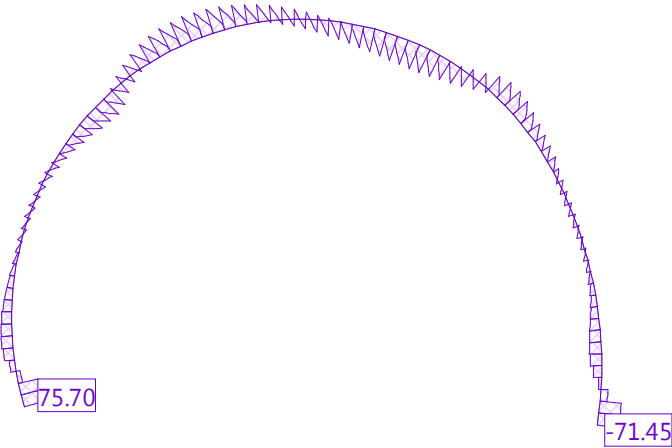
Schnittkraft N [kN] für: SLE4_N1

Mstb. 1 :130.0



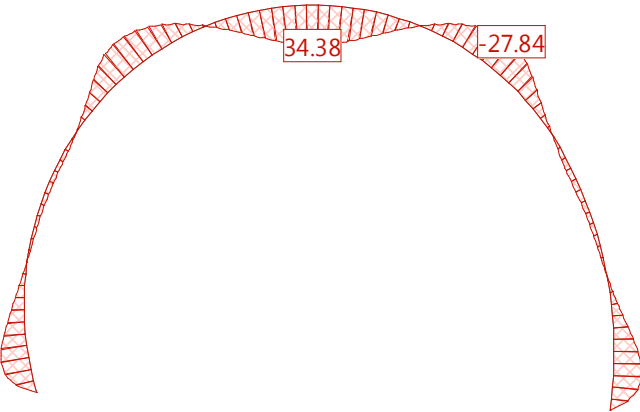
Schnittkraft Vz [kN] für: SLE4_N1

Mstb. 1 :130.0



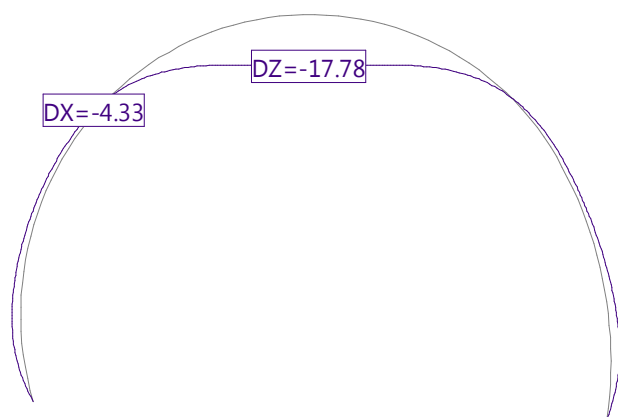
Schnittkraft My [kNm] für: SLE4_N1

Mstb. 1 :130.0



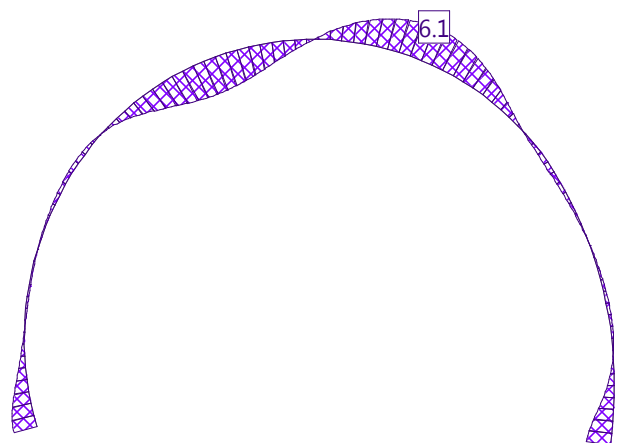
VERSCHIEBUNGEN D für: SLE4_N1 [mm], Überhöhung: 50.0


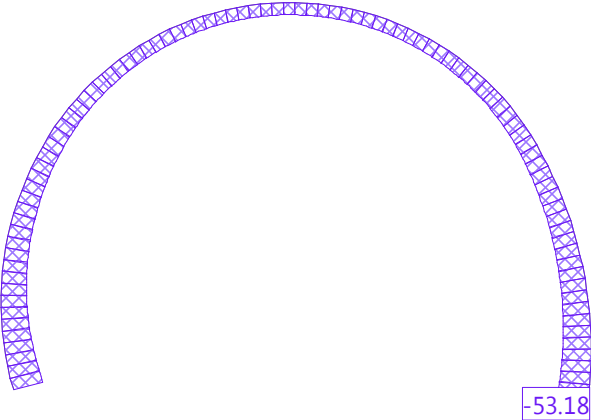
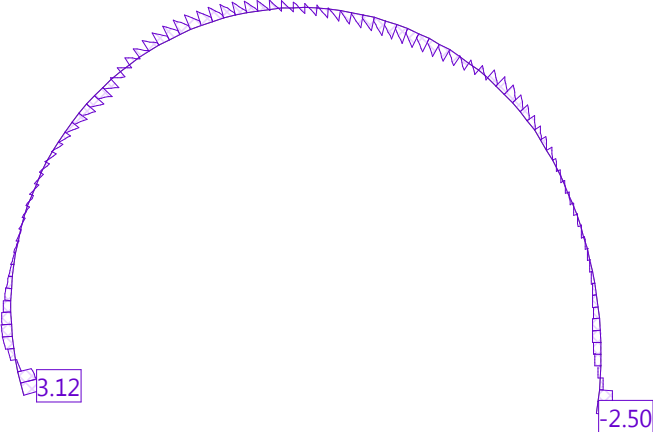
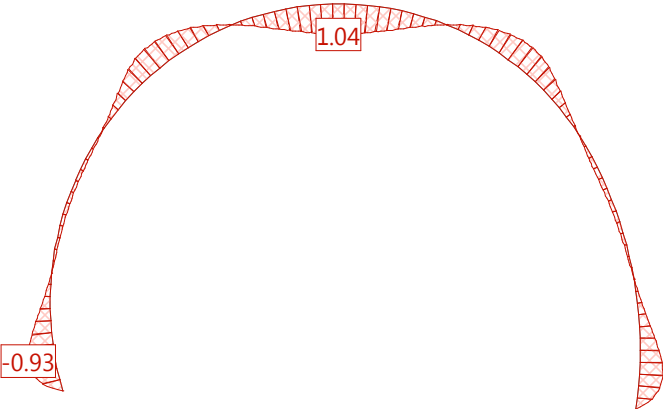
Mstb. 1 :130.0



VERSCHIEBUNGEN R y-lokal für: SLE4_N1 [mrad], Überhöhung: 100.0

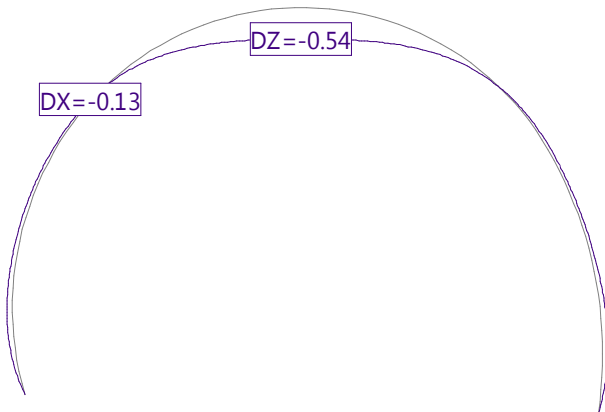
Mstb. 1 :130.0



	7260.4	Seite 11
	A_ModuloE5GPa	28.08.18, 22:51
	Lombardi AG, 6003 Luzern	PR STATIK-7 - Version 1.00
<div> <div> Schnittkraft N [kN] für: SLE5_N1 Mstb. 1 :130.0 </div>  </div> <div> <div> Schnittkraft Vz [kN] für: SLE5_N1 Mstb. 1 :130.0 </div>  </div> <div> <div> Schnittkraft My [kNm] für: SLE5_N1 Mstb. 1 :130.0 </div>  </div>		
		Nr.:

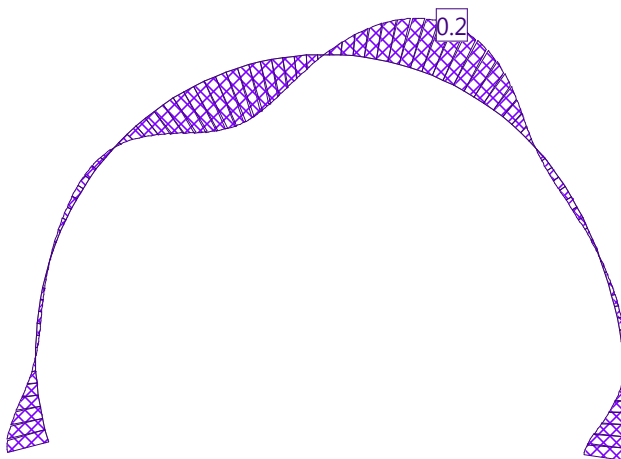
VERSCHIEBUNGEN D für: SLE5_N1 [mm], Überhöhung: 1000.0

Mstb. 1 :130.0



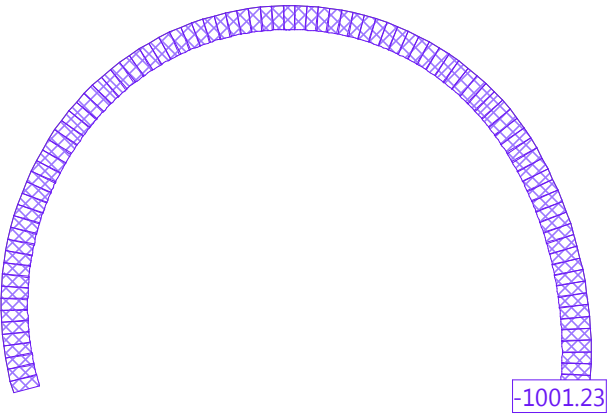
VERSCHIEBUNGEN R y-lokal für: SLE5_N1 [mrad], Überhöhung: 5000.0

Mstb. 1 :130.0



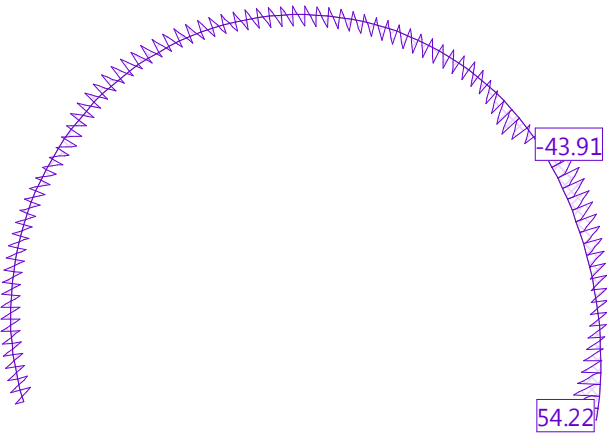
Schnittkraft N [kN] für: SLE1-s_N1

Mstb. 1 :130.0



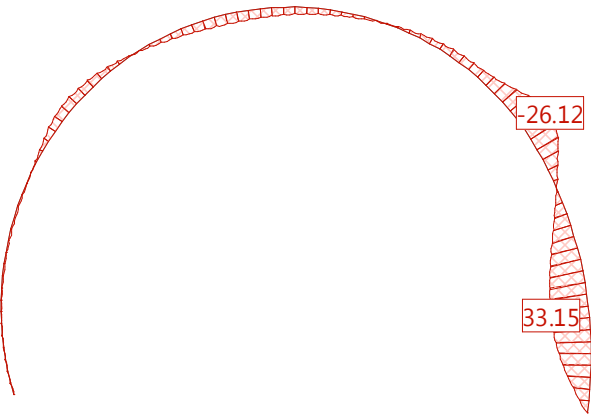
Schnittkraft Vz [kN] für: SLE1-s_N1


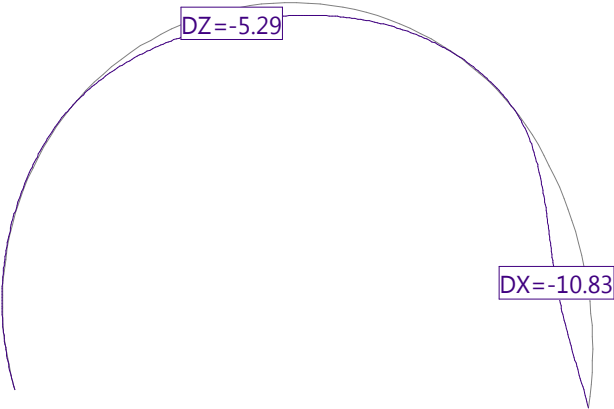
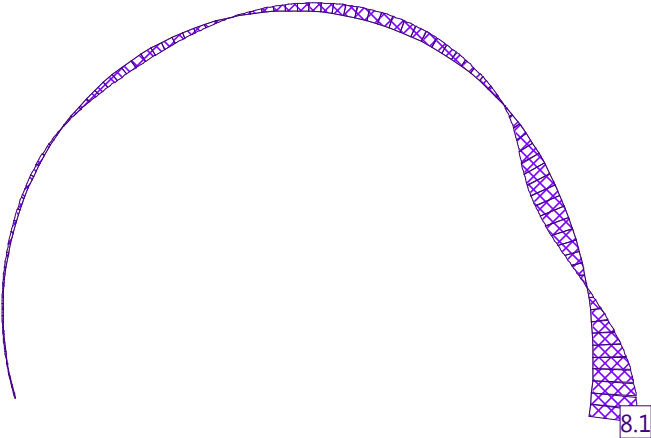
Mstb. 1 :130.0



Schnittkraft My [kNm] für: SLE1-s_N1

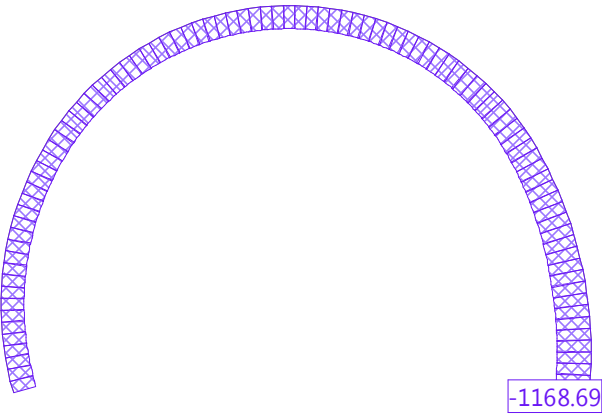
Mstb. 1 :130.0



	7260.4	Seite 14
	A_ModuloE5GPa	28.08.18, 22:51
	Lombardi AG, 6003 Luzern	PR STATIK-7 - Version 1.00
<p>VERSCHIEBUNGEN D für: SLE1-s_N1 [mm], Überhöhung: 48.2 Mstb. 1 :130.0</p>  <p>VERSCHIEBUNGEN R y-lokal für: SLE1-s_N1 [mrad], Überhöhung: 100.0 Mstb. 1 :130.0</p> 		
		Nr.:

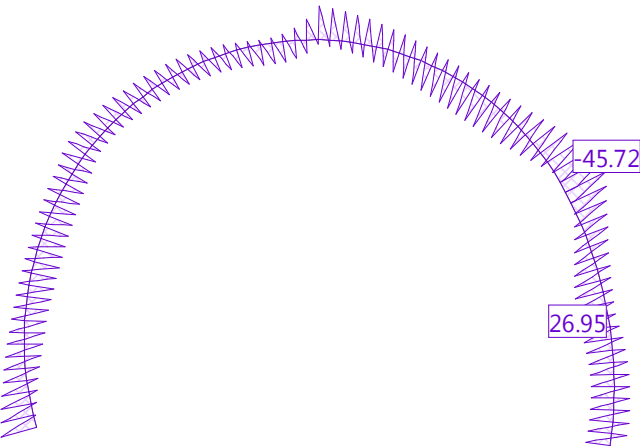
Schnittkraft N [kN] für: SLE2-s_N1

Mstb. 1 :130.0



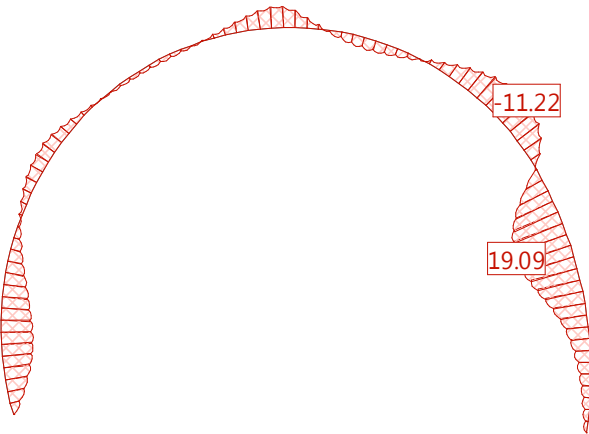
Schnittkraft Vz [kN] für: SLE2-s_N1

Mstb. 1 :130.0



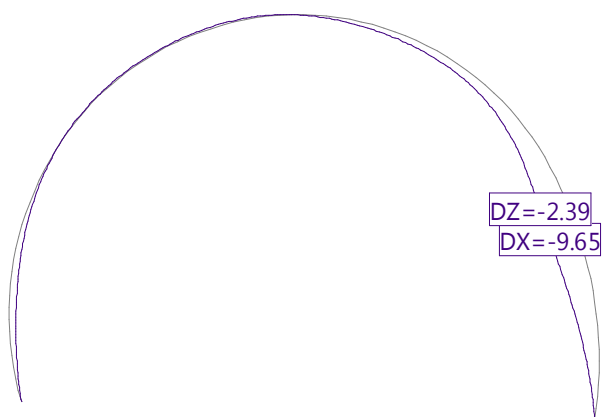
Schnittkraft My [kNm] für: SLE2-s_N1

Mstb. 1 :130.0



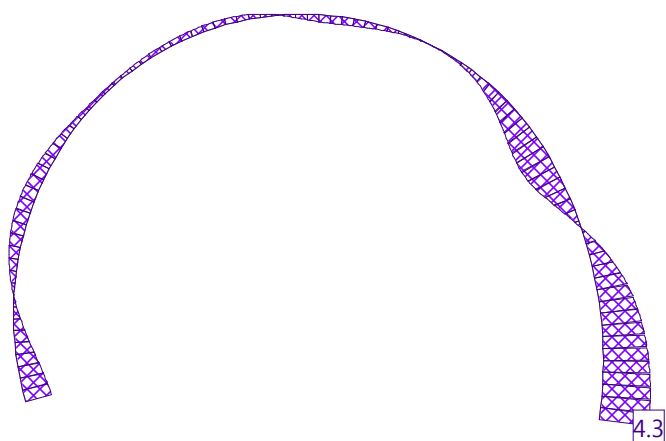
VERSCHIEBUNGEN D für: SLE2-s_N1 [mm], Überhöhung: 50.0

Mstb. 1 :130.0



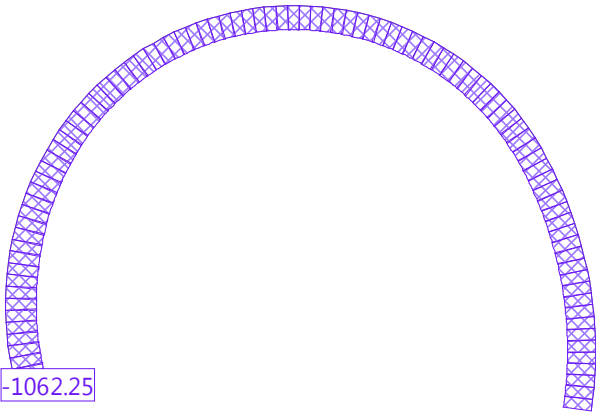
VERSCHIEBUNGEN R y-lokal für: SLE2-s_N1 [mrad], Überhöhung: 200.0

Mstb. 1 :130.0



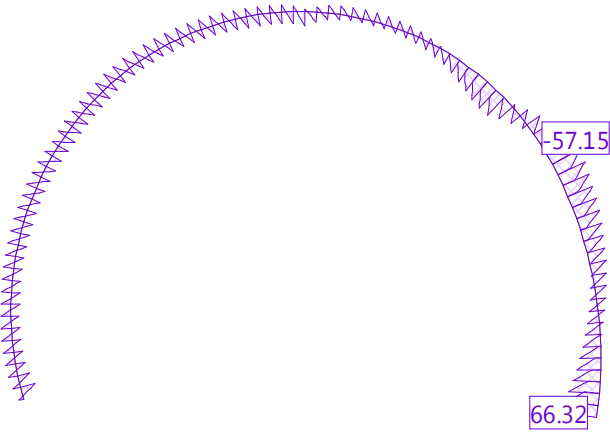
Schnittkraft N [kN] für: SLE3-s_N1

Mstb. 1 :130.0



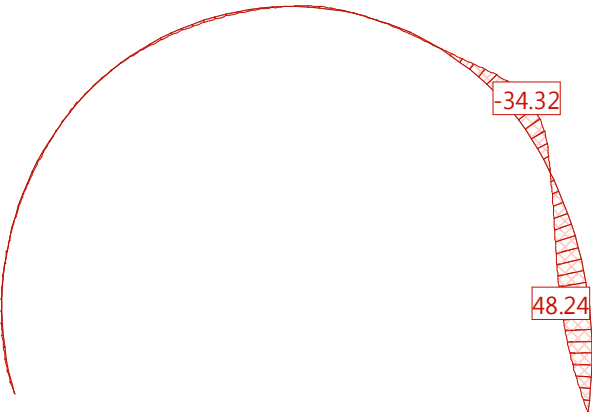
Schnittkraft Vz [kN] für: SLE3-s_N1


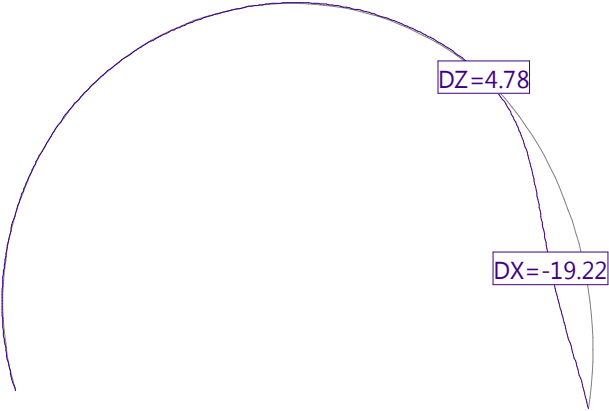
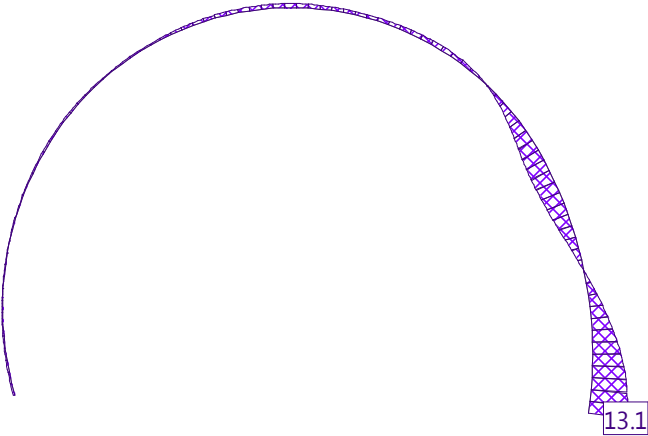
Mstb. 1 :130.0



Schnittkraft My [kNm] für: SLE3-s_N1

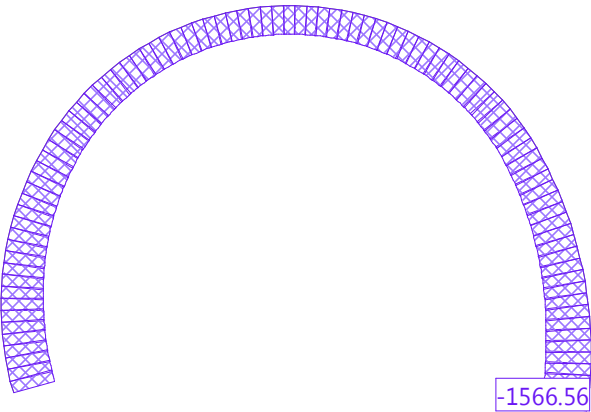
Mstb. 1 :130.0



	7260.4	Seite 18
	A_ModuloE5GPa	28.08.18, 22:51
	Lombardi AG, 6003 Luzern	PR STATIK-7 - Version 1.00
<div> <div> <p>VERSCHIEBUNGEN D für: SLE3-s_N1 [mm], Überhöhung: 30.0</p>  </div> <div> <p>VERSCHIEBUNGEN R y-lokal für: SLE3-s_N1 [mrad], Überhöhung: 50.0</p>  </div> </div>		
		Nr.:

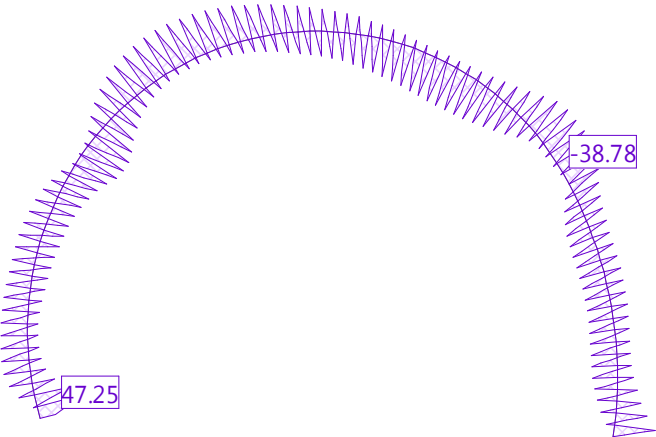
Schnittkraft N [kN] für: SLE4-s_N1

Mstb. 1 :130.0



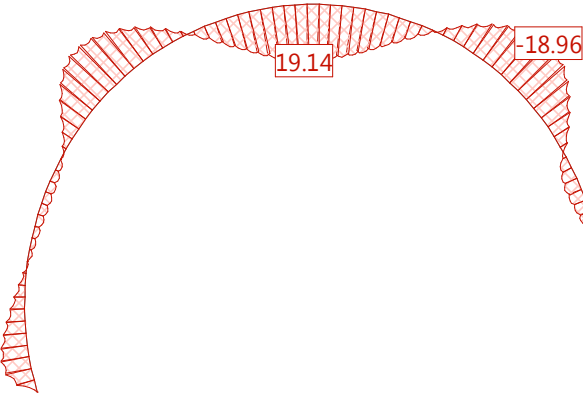
Schnittkraft Vz [kN] für: SLE4-s_N1

Mstb. 1 :130.0



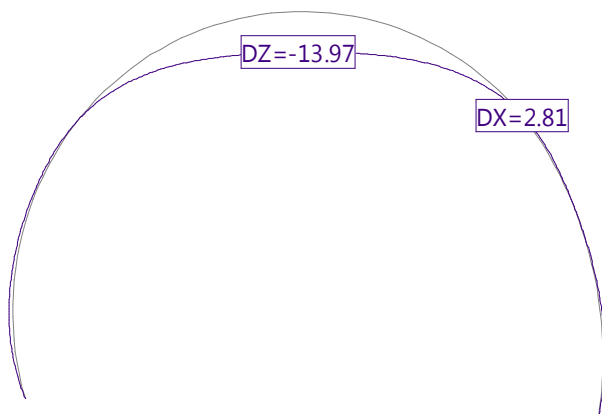
Schnittkraft My [kNm] für: SLE4-s_N1

Mstb. 1 :130.0



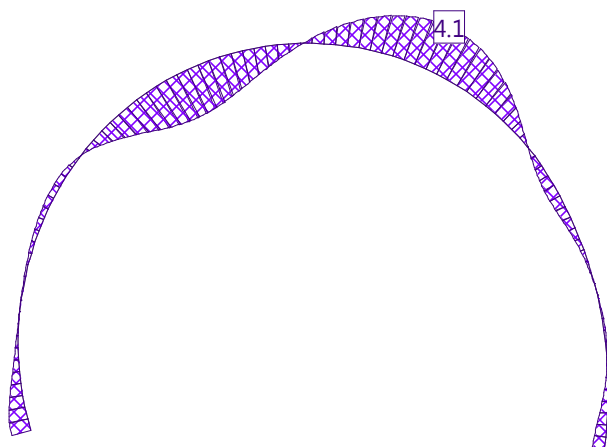
VERSCHIEBUNGEN D für: SLE4-s_N1 [mm], Überhöhung: 50.0


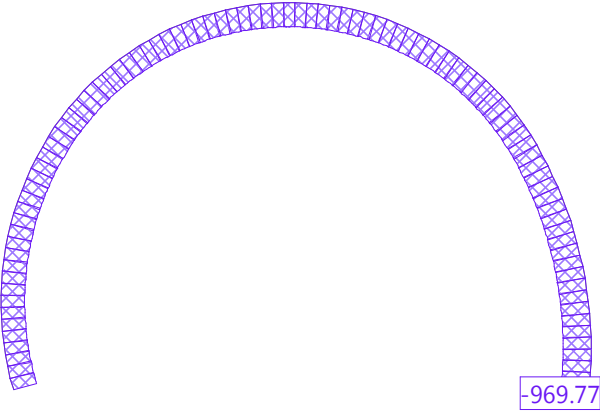
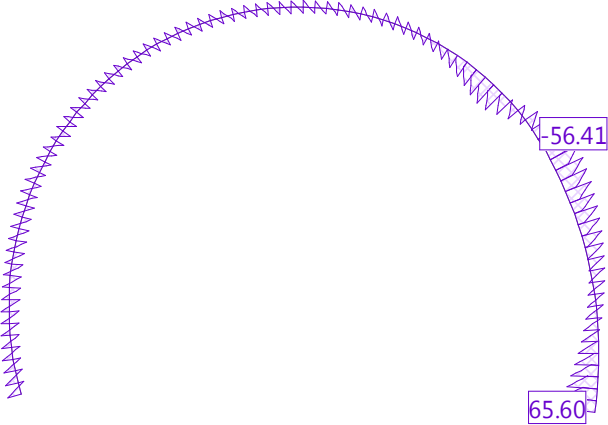
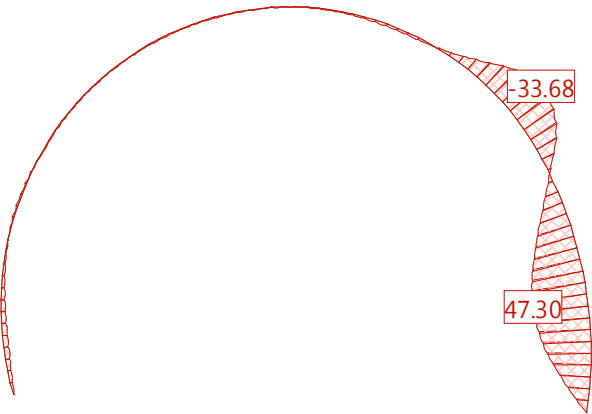
Mstb. 1 :130.0


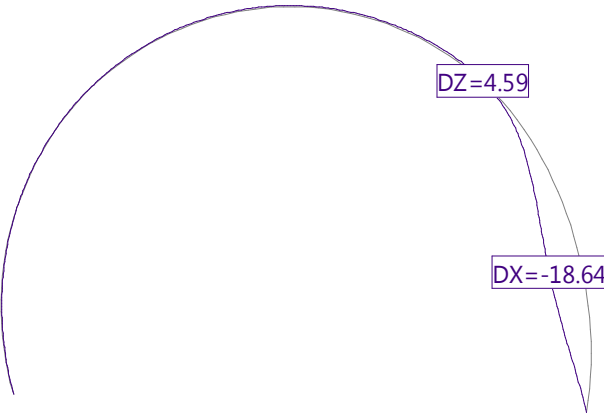
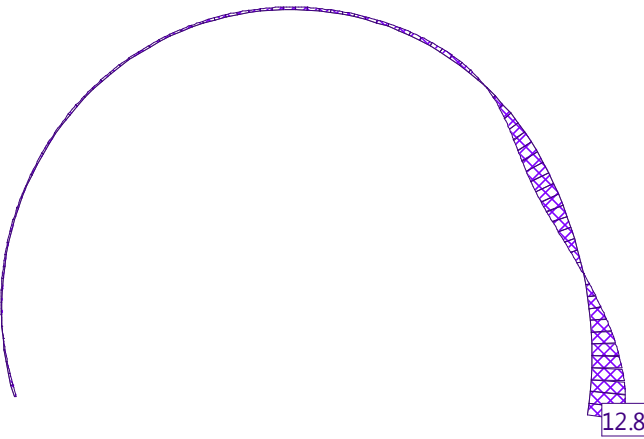


VERSCHIEBUNGEN R y-lokal für: SLE4-s_N1 [mrad], Überhöhung: 200.0

Mstb. 1 :130.0



<div>  Lombardi </div>	7260.4		Seite 21
	A_ModuloE5GPa		28.08.18, 22:51
	Lombardi AG, 6003 Luzern	PR	STATIK-7 - Version 1.00
<div> <div> Schnittkraft N [kN] für: SLE5-s_N1 </div> <div>  </div> </div> <div> <div> Schnittkraft Vz [kN] für: SLE5-s_N1 </div> <div>  </div> </div> <div> <div> Schnittkraft My [kNm] für: SLE5-s_N1 </div> <div>  </div> </div> <div> <div>Mstb. 1 :130.0</div> <div>Mstb. 1 :130.0</div> <div>Mstb. 1 :130.0</div> </div>			
			Nr.:

	7260.4	Seite 22
	A_ModuloE5GPa	28.08.18, 22:51
	Lombardi AG, 6003 Luzern	PR STATIK-7 - Version 1.00
<p>VERSCHIEBUNGEN D für: SLE5-s_N1 [mm], Überhöhung: 30.8 Mstb. 1 :130.0</p> 		
<p>VERSCHIEBUNGEN R y-lokal für: SLE5-s_N1 [mrad], Überhöhung: 50.0 Mstb. 1 :130.0</p> 		
		Nr.:

B.1.4 Sforzi e deformazioni stato limite d'esercizio (SLE), pressione dell'acqua 200 kPa

Belastungskombination 'SLE1-s'

Kombinationsbelastung

Belastung	Faktor	Titel
C-1	1.000	Eigengewicht
C-2-1-s	1.000	Blocco centrale immerso
C-4	1.000	Pressione Residua

'SLE2-s'

Kombinationsbelastung

Belastung	Faktor	Titel
C-1	1.000	Eigengewicht
C-2-2a-s	1.000	Blocco laterale dx immerso
C-4	1.000	Pressione Residua

'SLE3-s'

Kombinationsbelastung

Belastung	Faktor	Titel
C-1	1.000	Eigengewicht
C-2-2b-s	1.000	Blocco laterale sx immerso
C-4	1.000	Pressione Residua

'SLE4-s'

Kombinationsbelastung

Belastung	Faktor	Titel
C-1	1.000	Eigengewicht
C-3-s	1.000	Silo immerso
C-4	1.000	Pressione Residua

'SLE5-s'

Kombinationsbelastung

Belastung	Faktor	Titel
C-1	1.000	Eigengewicht
C-4	1.000	Pressione Residua

'SLU1-S'

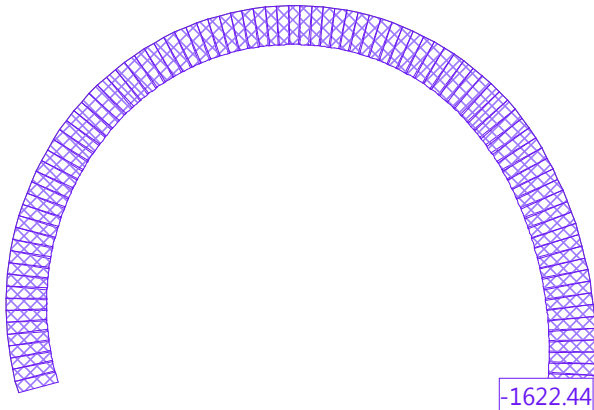
Kombinationsbelastung

Belastung	Faktor	Titel
C-1	1.350	Eigengewicht
C-2-1-s	1.350	Blocco centrale immerso
C-4	1.200	Pressione Residua

<div>Lombardi</div>	7260.4	Seite 2	
	A_ModuloE5GPa	28.08.18, 22:45	
	Lombardi AG, 6003 Luzern	PR	STATIK-7 - Version 1.00

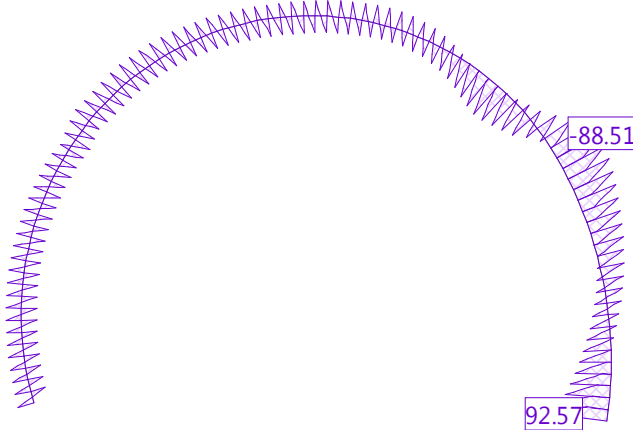
Schnittkraft N [kN] für: SLE1-s_N1

Mstb. 1 :130.0



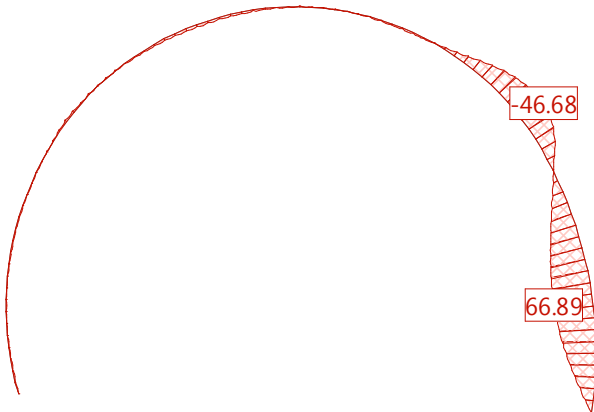
Schnittkraft Vz [kN] für: SLE1-s_N1

Mstb. 1 :130.0


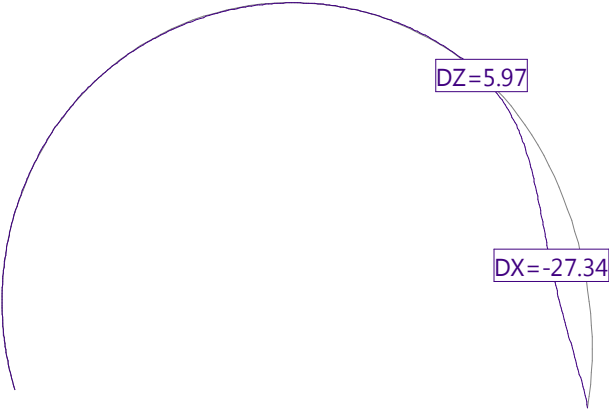
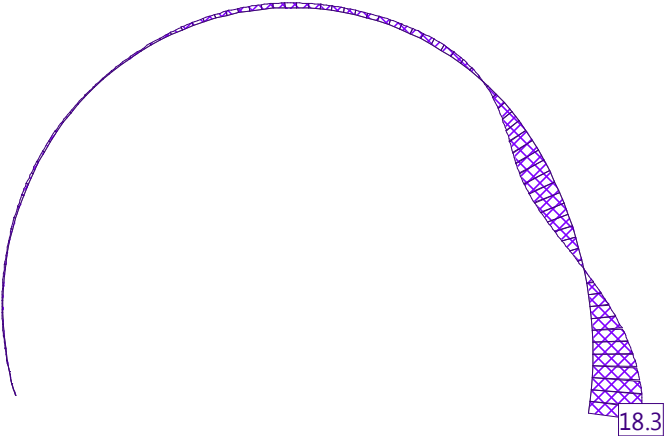


Schnittkraft My [kNm] für: SLE1-s_N1

Mstb. 1 :130.0

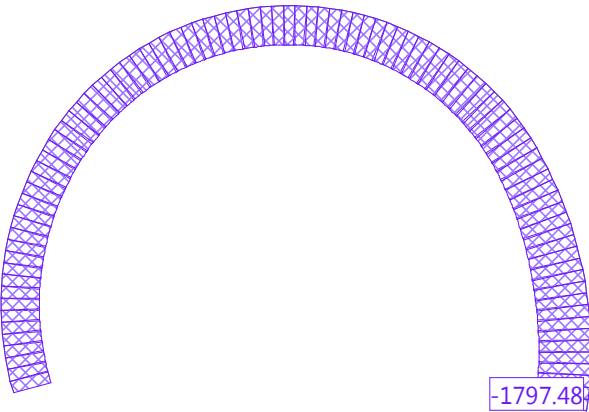


Nr.:

	7260.4	Seite 3
	A_ModuloE5GPa	28.08.18, 22:45
	Lombardi AG, 6003 Luzern	PR STATIK-7 - Version 1.00
<div> <div> <p>VERSCHIEBUNGEN D für: SLE1-s_N1 [mm], Überhöhung: 20.0</p> <p>Mstb. 1 :130.0</p>  </div> <div> <p>VERSCHIEBUNGEN R y-lokal für: SLE1-s_N1 [mrad], Überhöhung: 50.0</p> <p>Mstb. 1 :130.0</p>  </div> </div>		
		Nr.:

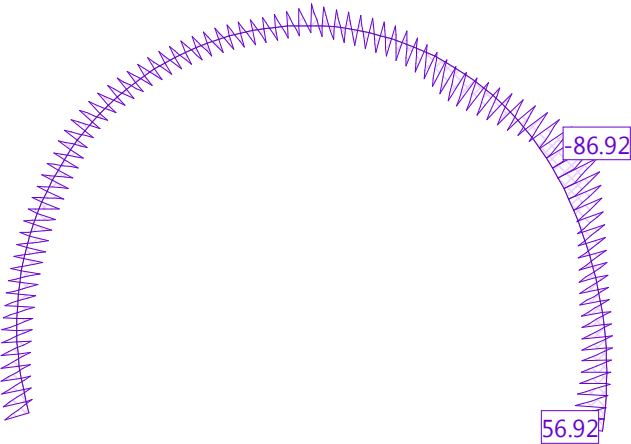
Schnittkraft N [kN] für: SLE2-s_N1

Mstb. 1 :130.0



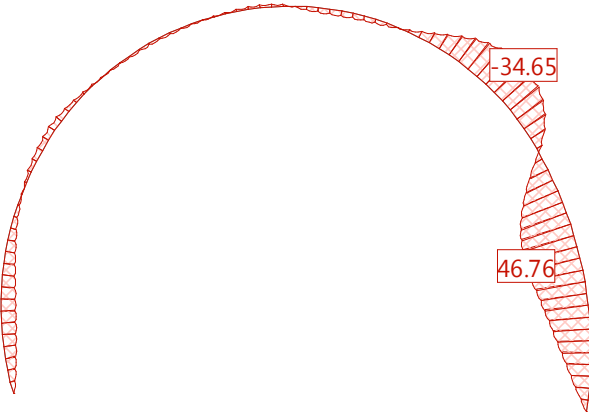
Schnittkraft Vz [kN] für: SLE2-s_N1


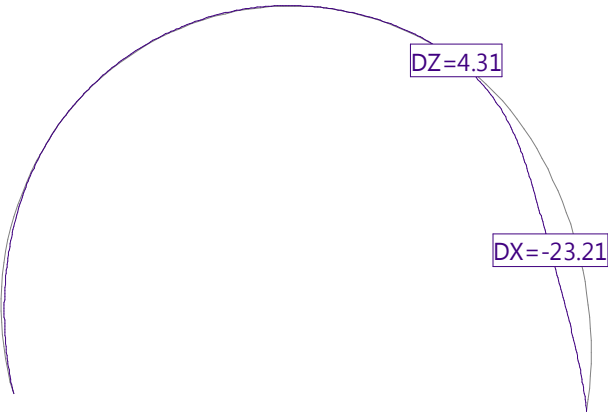
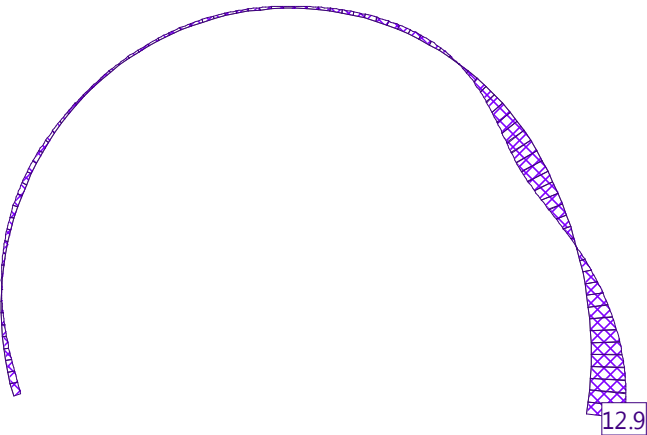
Mstb. 1 :130.0



Schnittkraft My [kNm] für: SLE2-s_N1

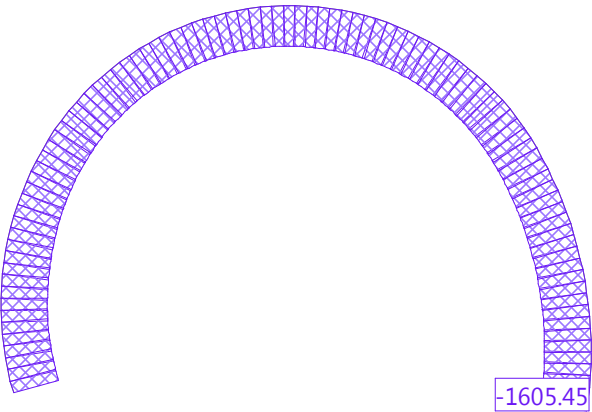
Mstb. 1 :130.0



	7260.4	Seite 5
	A_ModuloE5GPa	28.08.18, 22:45
	Lombardi AG, 6003 Luzern	PR STATIK-7 - Version 1.00
<div> <div> <p>VERSCHIEBUNGEN D für: SLE2-s_N1 [mm], Überhöhung: 20.0</p>  </div> <div> <p>VERSCHIEBUNGEN R y-lokal für: SLE2-s_N1 [mrad], Überhöhung: 50.0</p>  </div> </div>		
		Nr.:

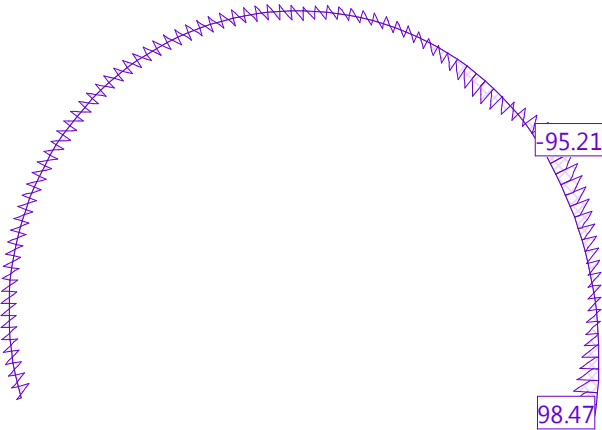
Schnittkraft N [kN] für: SLE3-s_N1

Mstb. 1 :130.0



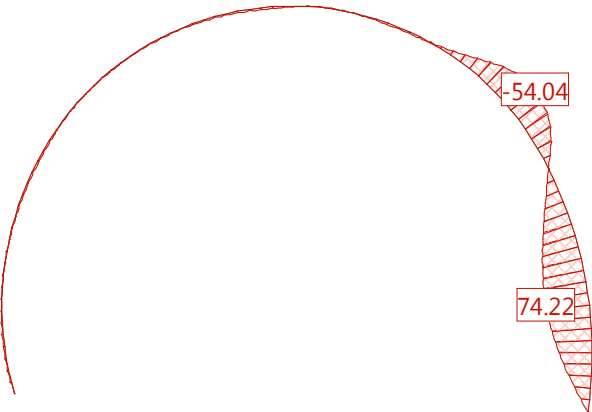
Schnittkraft Vz [kN] für: SLE3-s_N1


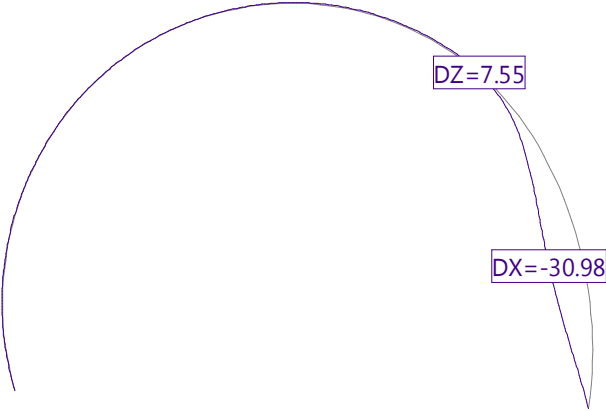
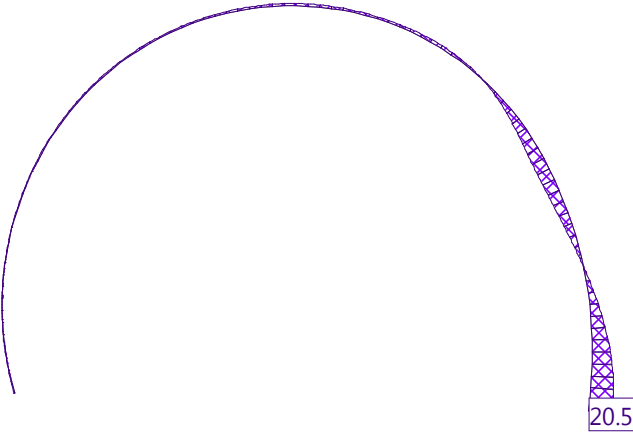
Mstb. 1 :130.0



Schnittkraft My [kNm] für: SLE3-s_N1

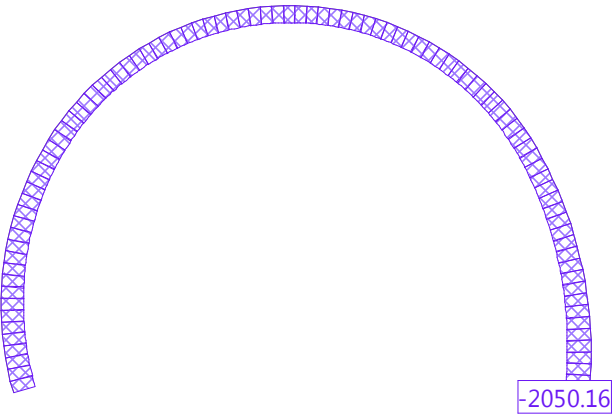
Mstb. 1 :130.0



	7260.4	Seite 7
	A_ModuloE5GPa	28.08.18, 22:45
	Lombardi AG, 6003 Luzern	PR
		STATIK-7 - Version 1.00
<div> <div> VERSCHIEBUNGEN D für: SLE3-s_N1 [mm], Überhöhung: 19.2 <div>Mstb. 1 :130.0</div>  </div> <div> VERSCHIEBUNGEN R y-lokal für: SLE3-s_N1 [mrad], Überhöhung: 20.0 <div>Mstb. 1 :130.0</div>  </div> </div>		
		Nr.:

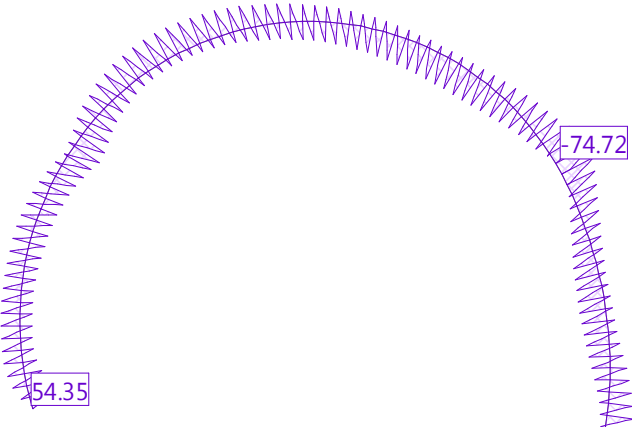
Schnittkraft N [kN] für: SLE4-s_N1

Mstb. 1 :130.0



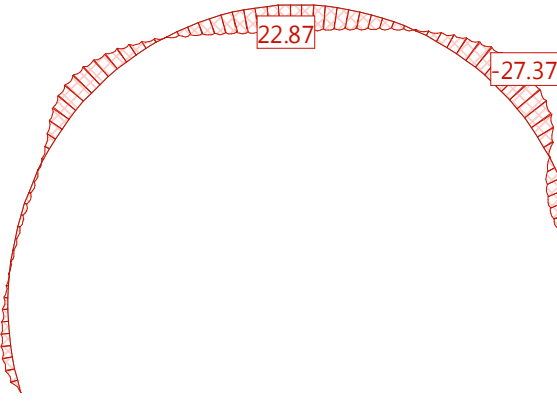
Schnittkraft Vz [kN] für: SLE4-s_N1


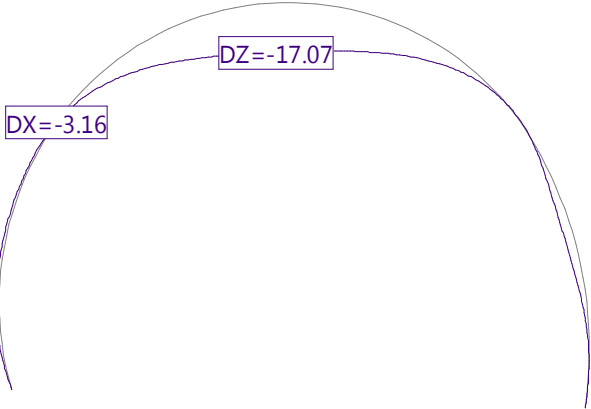
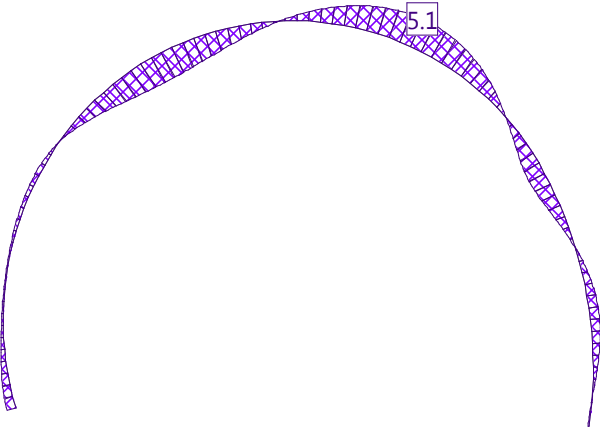
Mstb. 1 :130.0


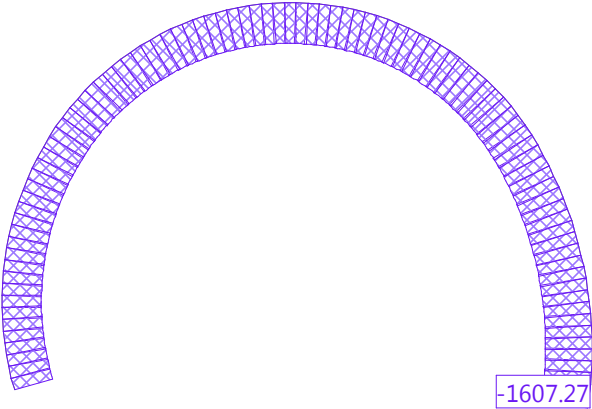
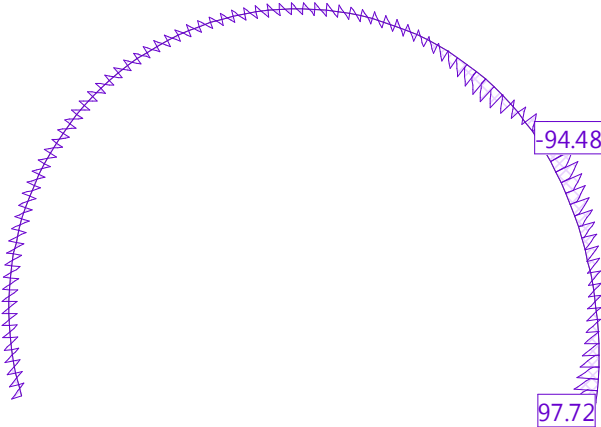
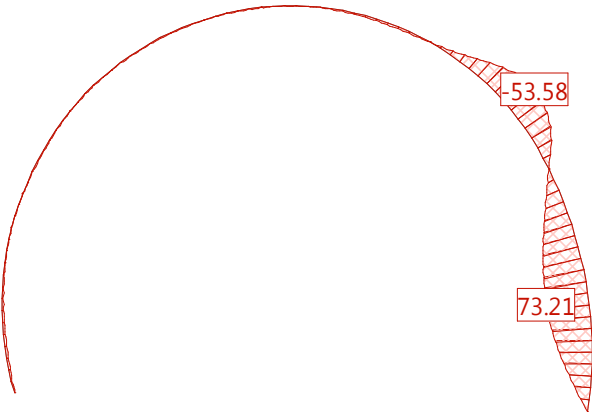



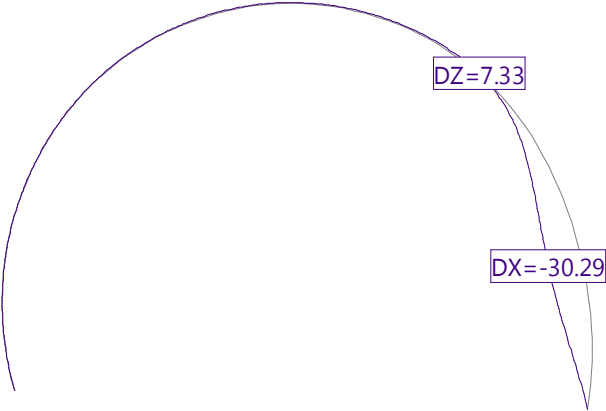
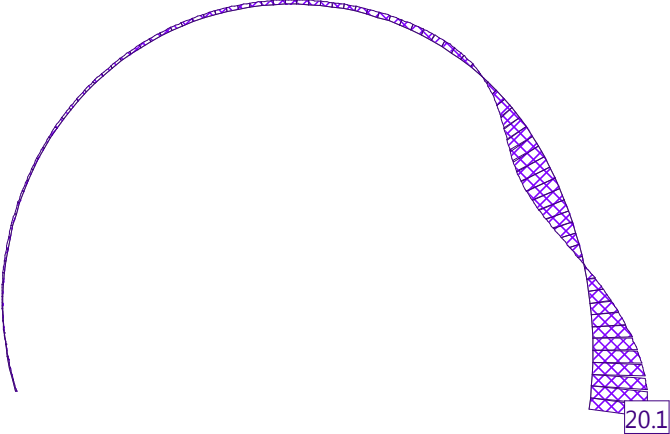
Schnittkraft My [kNm] für: SLE4-s_N1

Mstb. 1 :130.0



	7260.4	Seite 9
	A_ModuloE5GPa	28.08.18, 22:45
	Lombardi AG, 6003 Luzern	PR STATIK-7 - Version 1.00
<div> <div> <p>VERSCHIEBUNGEN D für: SLE4-s_N1 [mm], Überhöhung: 50.0</p>  </div> <div> <p>VERSCHIEBUNGEN R y-lokal für: SLE4-s_N1 [mrad], Überhöhung: 100.0</p>  </div> </div>		
		Nr.:

<div>  </div>	7260.4		Seite 10
	A_ModuloE5GPa		28.08.18, 22:45
	Lombardi AG, 6003 Luzern	PR	STATIK-7 - Version 1.00
<div> <div> Schnittkraft N [kN] für: SLE5-s_N1 </div> <div>  </div> </div>			Mstb. 1 :130.0
<div> <div> Schnittkraft Vz [kN] für: SLE5-s_N1 </div> <div>  </div> </div>			Mstb. 1 :130.0
<div> <div> Schnittkraft My [kNm] für: SLE5-s_N1 </div> <div>  </div> </div>			Mstb. 1 :130.0
			Nr.:

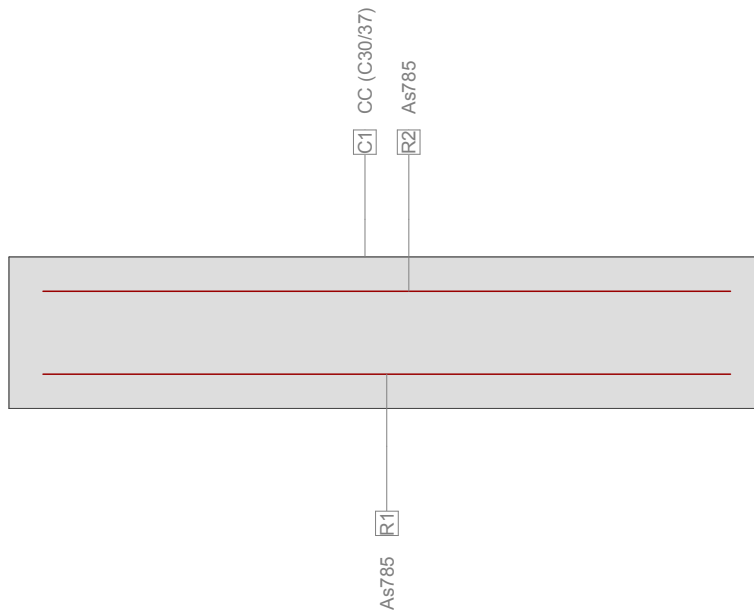
	7260.4	Seite 11
	A_ModuloE5GPa	28.08.18, 22:45
	Lombardi AG, 6003 Luzern	PR STATIK-7 - Version 1.00
<div> <div> <p>VERSCHIEBUNGEN D für: SLE5-s_N1 [mm], Überhöhung: 19.6</p>  </div> <div> <p>VERSCHIEBUNGEN R y-lokal für: SLE5-s_N1 [mrad], Überhöhung: 50.0</p>  </div> </div>		
		Nr.:

B.2 Risultati FAGUS

B.2.1 Modello di calcolo e diagramma di interazione FAGUS (caso standard)

Querschnitt D20 (C30/37;B500B): Umriss, Bewehrungen

Mstb. 1 :10.0



Querschnitt (Stütze): D20

Schlaffe Bewehrung G0 $\Sigma A_s = 1570 \text{ mm}^2$, $\rho = 0.785000 \%$

Name	Baustoff	Klasse	BC	Typ	y _{1q} [m]	z _{1q} [m]	y _{2q} [m]	z _{2q} [m]	n,Ø	vorh A _s [mm ²]
R2	R	B500B	1	L	0.045	0.155	0.955	0.155		785
R1				L	0.045	0.045	0.955	0.045		785

BC : Bew.Code: 0=Fläche bleibt konstant, 1=Fläche immer anpassen, 2=Fläche nur unter Zug anpassen
Typ : P = Punktförmige Bewehrung, L = Linienförmige Bewehrung, R = Ringbewehrung

Querschnitt (Stütze): D20

Umfahrene Teilquerschnitte

Name	Baustoff	Klasse	Typ	Nr.	y _q [m]	z _q [m]	Nr.	y _q [m]	z _q [m]
C1	CC	C30/37	Polygon	1	0	0	2	1.000	0
				3	1.000	0.200	4	0	0.200

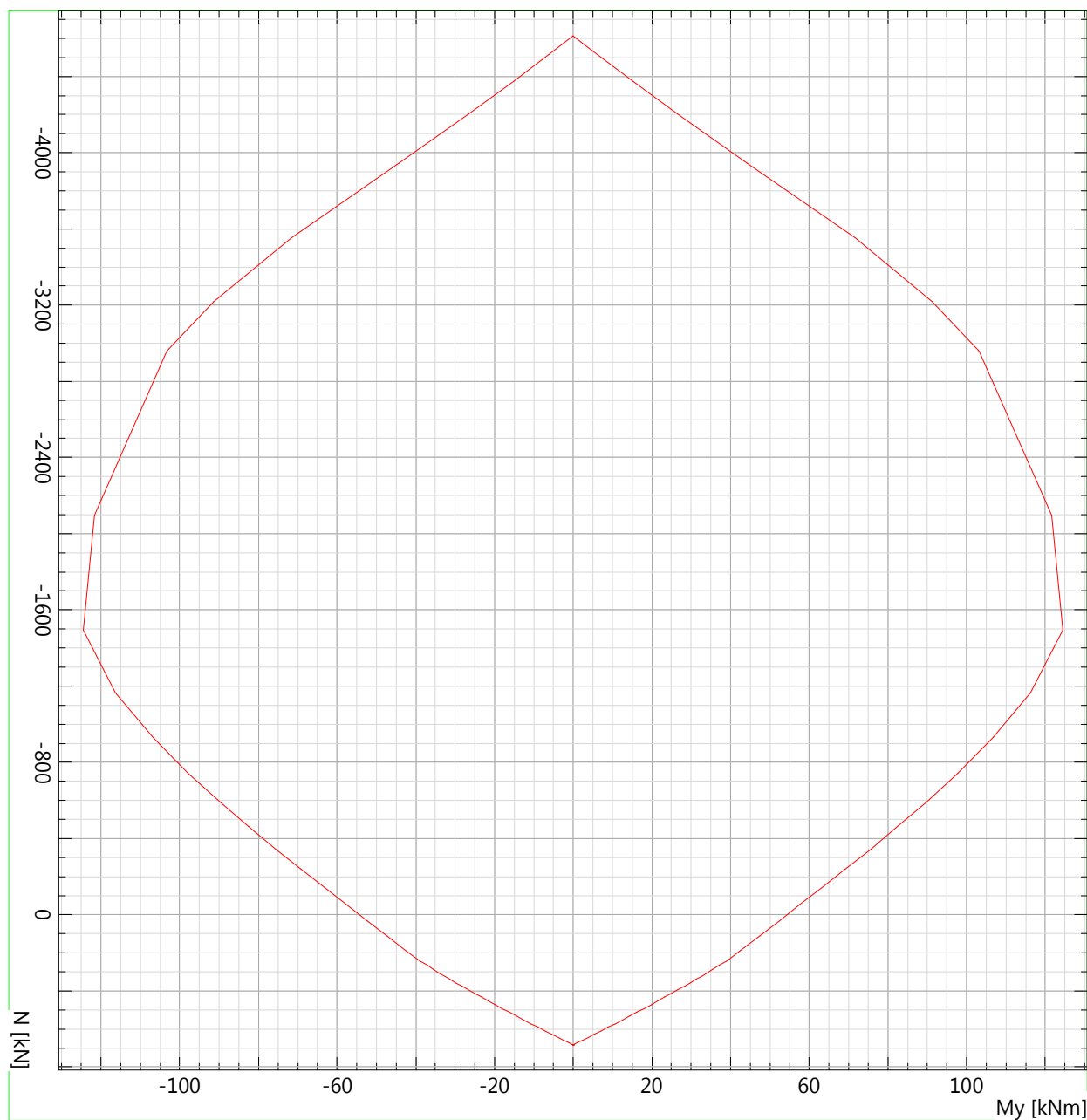
Statische Querschnittswerte: (ohne Bewehrungsanteile, Referenzbaustoff: CC)

Fläche [m ²]		Trägheitsmomente [m ⁴]		Schwerpunkt,Winkel [m]		Masse [kg/m]	
A _x	0.2000 (=A _x)	I _x	0.002331	y _s	0.500	M _{0s}	500.0
A _y		I _y	0.000667	z _s	0.100		
A _z	(=A _x)	I _z	0.016667	β	0 [°]		

Nr.:

M-N-Interaktionsdiagramm Querschnitt (Stütze): D20

!GZT / Bewehrungsgehalt: $\rho = 0.785000$ o/o



Traglastanalyse Querschnitt (Stütze): D20

Analyseparameter "!"GZT" Norm: SIA

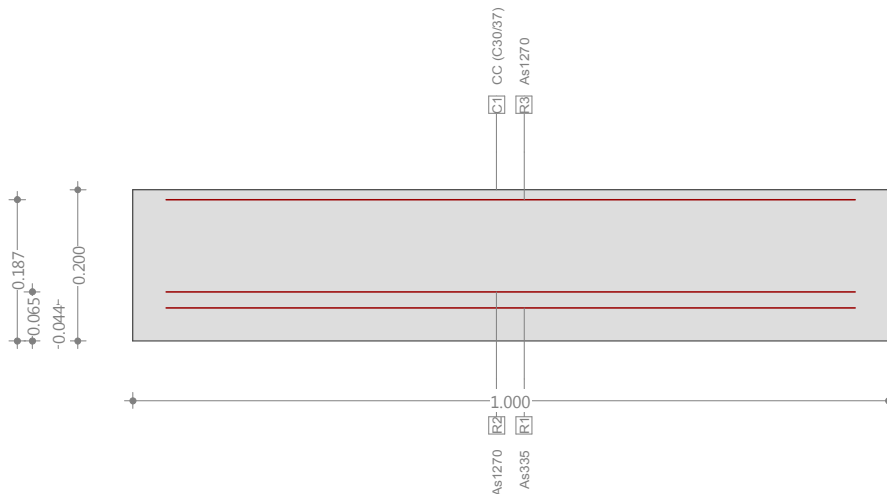
ID	σ - ϵ -Diagramme			Grenzdehnungen			σ_s [N/mm ²]	Widerstandsbeiwerte				Diverses		
	c	s		ϵ_{c1d} [‰]	ϵ_{c2d} [‰]	ϵ_{ud} [‰]		γ_c [-]	γ_s [-]			α [-]	ϕ [-]	
!GZT	4/0	1		-2.000	-3.000	20.000		1.50	1.15			45.00	0	

α : Neigung Betondruckdiagonale
 ϕ : Kriechzahl
 Sigma-Epsilon : SIA262 Fig 12 + Fig 16

B.2.2 Modello di calcolo e diagramma di interazione FAGUS (soluzione *predalles curve*)

Querschnitt D20 (C30/37;B500B;B500A): Umriss, Bewehrungen

Mstb. 1 :10.0



Querschnitt (Stütze): D20

Schlaffe Bewehrung G0 $\Sigma A_s = 2875 \text{ mm}^2$, $\rho = 1.437500 \%$

Name	Baustoff	Klasse	BC	Typ	y_{1q} [m]	z_{1q} [m]	y_{2q} [m]	z_{2q} [m]	n, \emptyset	vorh A_s [mm ²]
R3	R	B500B	1	L	0.044	0.187	0.956	0.187		1270
R2				L	0.044	0.065	0.956	0.065		1270
R1	R2	B500A		L	0.044	0.044	0.956	0.044		335

BC : Bew.Code: 0=Fläche bleibt konstant, 1=Fläche immer anpassen, 2=Fläche nur unter Zug anpassen
Typ : P = Punktförmige Bewehrung, L = Linienförmige Bewehrung, R = Ringbewehrung

Querschnitt (Stütze): D20

Umfahrene Teilquerschnitte

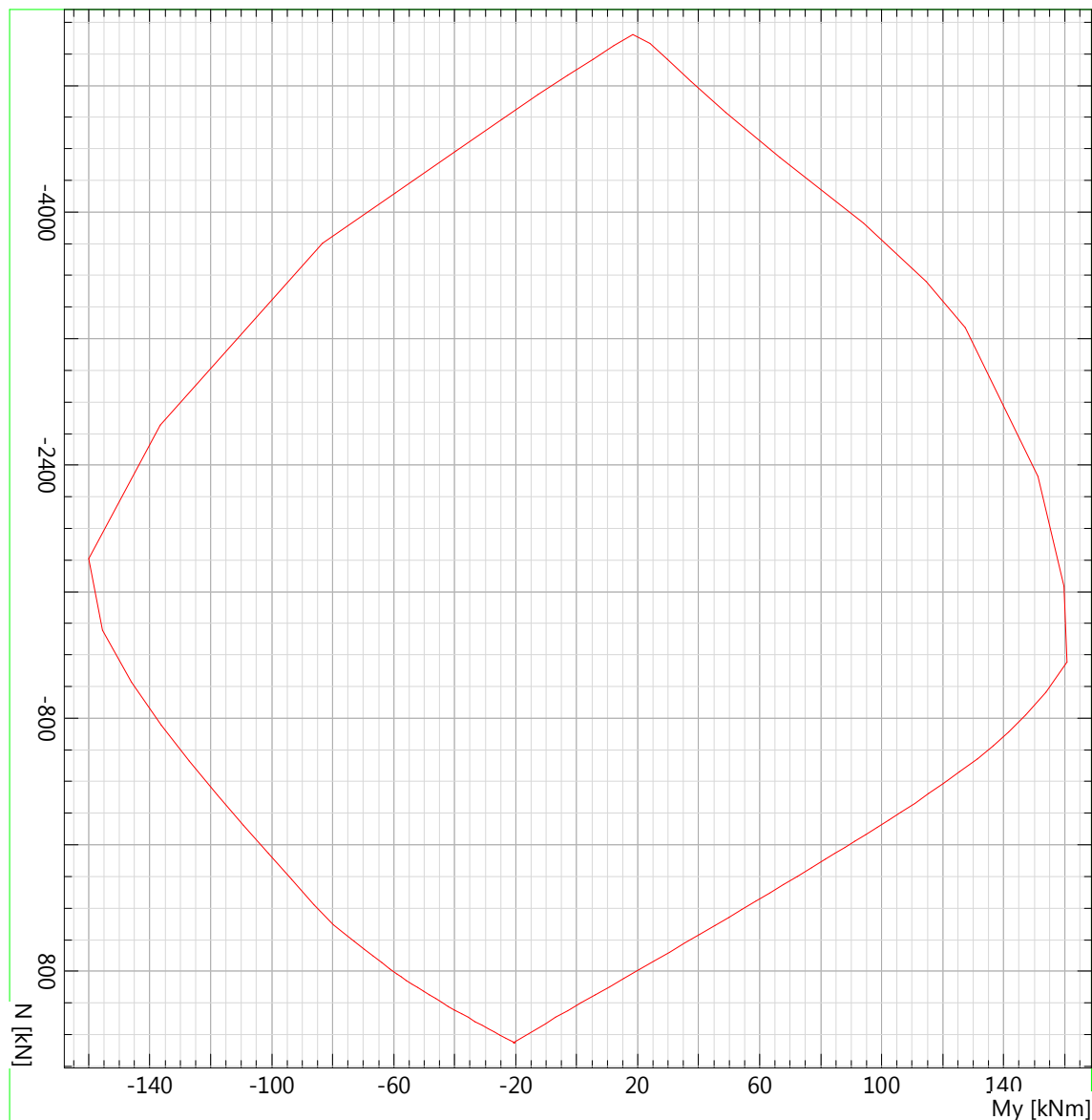
Name	Baustoff	Klasse	Typ	Nr.	y_q [m]	z_q [m]	Nr.	y_q [m]	z_q [m]
C1	CC	C30/37	Polygon	1 3	0 1.000	0 0.200	2 4	1.000 0	0 0.200

Statische Querschnittswerte: (ohne Bewehrungsanteile, Referenzbaustoff: CC)

Fläche [m ²]		Trägheitsmomente [m ⁴]		Schwerpunkt, Winkel [m]		Masse [kg/m]	
A_x	0.2000	I_x	0.002331	y_s	0.500	M_{QS}	500.0
A_y	(=A_x)	I_y	0.000667	z_s	0.100		
A_z	(=A_x)	I_z	0.016667	β	0 [°]		

M-N-Interaktionsdiagramm Querschnitt (Stütze): D20

!GZT / Bewehrungsgehalt: $\rho = 1.437500$ o/o



Traglastanalyse Querschnitt (Stütze): D20

Analyseparameter "IGZT" Norm: SIA

ID	σ - ϵ -Diagramme			Grenzdehnungen			σ_s [N/mm ²]	Widerstandsbeiwerte				Diverses		
	c	s		ϵ_{c1d} [‰]	ϵ_{c2d} [‰]	ϵ_{ud} [‰]		γ_c [-]	γ_s [-]			α [-]	ϕ [-]	
!GZT	4/0	1		-2.000	-3.000	20.000		1.50	1.15			45.00	0	


α : Neigung Betondruckdiagonale
 ϕ : Kriechzahl
Sigma-Epsilon : SIA262 Fig 12 + Fig 16

B.3. Verifica al taglio

Verifica al taglio

VERIFICATION OF THE SHEAR RESISTANCE ACCORDING TO SIA 262 (2013)

4.3.2.2 Element without shear reinforcement


f_{ck}	30 MPa	Concrete compressive strength
γ_c	1.5 -	Reduction factor for concrete strength
	no -	Accidental action (Quake, Impact...)?
	yes -	Permanent load > 90% of total loads?
	no -	Lightweight concrete?
η_t	0.85 -	Correction factor for long term behaviour
η_{fc}	1 -	Correction factor for high strength concrete
f_{cd}	17.0 MPa	Design value of concrete compressive strength
τ_{cd}	0.93 MPa	Design value of concrete shear strength
h	200 mm	Concrete cross section total height
d	155 mm	Concrete cross section static height
d'	45 mm	Concrete cover
b	1000 mm	Concrete cross section width
\varnothing_r	10 mm	Bending reinforcement bar diameter
n	10 -	Number of bars for bending reinforcement
A_s	785.4 mm ²	Bending reinforcement steel area
f_{sk}	500 MPa	Steel yielding strength
γ_s	1.15 -	Reduction factor for steel strength
f_{sd}	434.8 MPa	Design value of steel yielding strength
E_s	205000 MPa	Steel Young modulus
	no -	Bending reinforcement in elastic field?
D_{max}	16 mm	Maximum grain size of aggregate
$D_{max,eff}$	16 mm	Maximum grain size of aggregate (calculation value)
M_d	0 kNm	Design value of bending moment per unit length
N_d	0 kN	Design value of axial force per unit length (- = compression)
V_d	67 kN	Design value of shear force per unit length
M_{Dd}	0.0 kNm	Decompression bending moment
$M_d - M_{Dd}$	0.0 kNm	Value to be used in case of presence of a compressive axial force
M_{Rd}	49.5 kNm	Dimensioning value of the bending resistance per unit length
$M_{Rd} - M_{Dd}$	49.5 kNm	Value to be used in case of presence of a compressive axial force
ε_v	0.003 -	Amplification factor
k_g	1.50 -	Coefficient to consider the maximum aggregate diameter
k_d	0.57 -	Coefficient for the shear strength of concrete
V_{Rd}	83.0 kN	Shear resistance
$Eff(V)$	 0.81 -	V_d/V_{Rd}

Verification OK

Verifica al taglio

VERIFICATION OF THE SHEAR RESISTANCE ACCORDING TO SIA 262 (2013)

4.3.2.2 Element without shear reinforcement

f_{ck}	30 MPa	Concrete compressive strength
γ_c	1.5 -	Reduction factor for concrete strength
	no -	Accidental action (Quake, Impact...)?
	yes -	Permanent load > 90% of total loads?
	no -	Lightweight concrete?
η_t	0.85 -	Correction factor for long term behaviour
η_{fc}	1 -	Correction factor for high strength concrete
f_{cd}	17.0 MPa	Design value of concrete compressive strength
τ_{cd}	0.93 MPa	Design value of concrete shear strength
h	200 mm	Concrete cross section total height
d	155 mm	Concrete cross section static height
d'	45 mm	Concrete cover
b	1000 mm	Concrete cross section width
\varnothing_r	10 mm	Bending reinforcement bar diameter
n	10 -	Number of bars for bending reinforcement
A_s	785.4 mm ²	Bending reinforcement steel area
f_{sk}	500 MPa	Steel yielding strength
γ_s	1.15 -	Reduction factor for steel strength
f_{sd}	434.8 MPa	Design value of steel yielding strength
E_s	205000 MPa	Steel Young modulus
	yes -	Bending reinforcement in elastic field?
D_{max}	16 mm	Maximum grain size of aggregate
$D_{max,eff}$	16 mm	Maximum grain size of aggregate (calculation value)
M_d	-25 kNm	Design value of bending moment per unit length
N_d	-2048 kN	Design value of axial force per unit length (- = compression)
V_d	125 kN	Design value of shear force per unit length
M_{Dd}	99.0 kNm	Decompression bending moment
$M_d - M_{Dd}$	0.0 kNm	Value to be used in case of presence of a compressive axial force
M_{Rd}	197.9 kNm	Dimensioning value of the bending resistance per unit length
$M_{Rd} - M_{Dd}$	98.9 kNm	Value to be used in case of presence of a compressive axial force
ε_v	0.000 -	Amplification factor
k_g	1.50 -	Coefficient to consider the maximum aggregate diameter
k_d	1.00 -	Coefficient for the shear strength of concrete
V_{Rd}	144.3 kN	Shear resistance
$Eff(V)$	 0.87 -	V_d/V_{Rd}

Verification OK