

**ITINERARIO INTERNAZIONALE E78 S.G.C. GROSSETO – FANO
Tratto Selci Lama (E45) – S. Stefano di Gaifa
Adeguamento a 2 corsie della Galleria della Guinza (lotto 2)
e del tratto Guinza – Mercatello Ovest (lotto 3)
1° stralcio**

PROGETTO DEFINITIVO

COD. AN58

PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

PROGETTISTI:

*Ing. VINCENZO MARZI
Ordine Ingegneri di Bari n. 3594*

IL GEOLOGO

*Geol. FRANCESCO MATALONI
Ordine Geologici del Lazio n. 725*

IL RESPONSABILE DEL S.I.A.

*Arch. GIOVANNI MAGARO'
Ordine Architetti di Roma n. 16183*

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Geom. FABIO QUONDAM

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Dott. ing. ANTONIO SCALAMANDRÈ

PROTOCOLLO

DATA:

**GALLERIA GUINZA
Galleria S.Antonio - By Pass**

Relazione di calcolo

CODICE PROGETTO		NOME FILE			REVISIONE					
PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.		T00GN03OSTRE01B								
L	O	7	0	2	M	D	1	8	0	1
CODICE ELAB.		T00GN03OSTRE01			B	varie				
D										
C										
B	AGGIORNAMENTO		Luglio 2019							
A	EMISSIONE		Giugno 2018							
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO				

INDICE

1. INTRODUZIONE	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3. BIBLIOGRAFIA.....	5
4. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	6
4.1 INQUADRAMENTO DELL'INTERVENTO	6
4.2 FORMAZIONE MARNOSO-ARENACEA.....	6
4.3 TERRENI DI COPERTURA.....	7
5. CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI	9
5.1 CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI BYPASS PEDONALE GALLERIA S. ANTONIO	9
6. FASE DI DIAGNOSI	10
6.1 IMPORTANZA DEL FRONTE DI SCAVO	10
6.1.1 Categoria A: Galleria a fronte stabile	10
6.1.2 Categoria B: Galleria a fronte stabile a breve termine.....	10
6.1.3 Categoria C: Galleria a fronte instabile.....	11
6.2 ANALISI DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO	11
6.2.1 Metodo di Tamez.....	11
6.3 ANALISI DELLA STABILITÀ DEL FRONTE DI SCAVO.....	14
6.3.1 Verifica con il metodo di Tamez.....	14
7. TERAPIA.....	16
7.1 SEZIONI TIPO A2: BYPASS PEDONALE GALLERIA S. ANTONIO	16
8. ANALISI TENSO-DEFORMATIVA DELLE GALLERIE	17
8.1 CENNI SUL METODO DEGLI ELEMENTI FINITI.....	17
8.2 GEOMETRIE DEI MODELLI.....	20
8.3 STATO DI SFORZO INIZIALE	20
8.4 CARICHI IDRAULICI	21
8.5 TARATURA DEL MODELLO	21
8.6 PRERIVESTIMENTO E RIVESTIMENTO DEFINITIVO.....	23
8.6.1 Centine metalliche.....	23

8.6.2 Prerivestimenti – Caratteristiche dei materiali	24
8.6.3 Rivestimenti definitivi – Caratteristiche dei materiali	27
9. VERIFICHE STATICHE	29
9.1 CARATTERISTICHE DI VERIFICA DEI MATERIALI STRUTTURALI	29
9.2 CRITERI DI VERIFICA.....	29
9.2.1 Verifica delle sezioni in acciaio (relativamente alla resistenza della sola centina)	30
9.2.2 Verifica sezioni miste acciaio – calcestruzzo (relativamente alla resistenza del rivestimento provvisorio acciaio + spritz-beton).....	35
9.2.3 Verifica delle sezioni in calcestruzzo (relativamente alla resistenza del rivestimento definitivo).....	35
9.3 SEZIONE TIPO A2 BYPASS PEDONALE GALLERIA S.ANTONIO – COPERTURA 15 M.....	36
9.3.1 Modello di calcolo.....	36
9.3.2 Fasi di calcolo	37
9.3.3 Esame dei risultati	37
9.3.4 Verifiche statiche	38
10. CONCLUSIONI	45
11. ALLEGATI	46
11.1 PRERIVESTIMENTO (CENTINA + SPRITZ).....	46
11.2 RIVESTIMENTO DEFINITIVO	51

1. INTRODUZIONE

La presente relazione analizza l'esecuzione in sotterraneo del bypass di collegamento tra le due canne della galleria S. Antonio, secondo la seguente metodologia di lavoro:

- Fase conoscitiva: raccolta delle informazioni geologiche e geotecniche sull'area in esame, loro interpretazione e definizione dei parametri geotecnici di progetto;
- Fase di diagnosi: valutazione del comportamento allo scavo dei materiali attraversati in assenza di interventi. Si fa riferimento a 3 classi di comportamento del fronte a seconda dei fenomeni deformativi attesi: A (fronte stabile), B (fronte stabile a breve termine), C (fronte instabile);
- Fase di terapia: si individuano gli interventi idonei per realizzare l'opera in condizioni di sicurezza.

In questa logica si procederà alla definizione di un quadro geologico - geomeccanico (fase conoscitiva), all'individuazione del comportamento dell'ammasso allo scavo (fase di diagnosi) ed alla scelta delle modalità di avanzamento da applicare (fase di terapia).

Attraverso le analisi numeriche si procederà alla modellazione dello scavo delle gallerie in oggetto per verificare l'adeguatezza statica della soluzione progettuale indicata, sia relativamente allo stato tensionale e deformativo indotto nel terreno dallo scavo, sia relativamente alle sollecitazioni risultanti su prerivestimenti e rivestimenti definitivi.

La copertura è pari a circa 15m.

Per l'avanzamento dello scavo, in funzione della litologia, delle coperture e delle caratteristiche geomeccaniche dei materiali attraversati, si individua come sezione di scavo la Sezione Tipo A. Si prevede infatti lo scavo della galleria a piena sezione con tecnica tradizionale.

2.NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- DM 17.01.2018 – Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”
- CIRCOLARE 21.01.2019 n.7 - Istruzioni per l'applicazione dell'“Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”

3. BIBLIOGRAFIA

- Broms B.B., Bennemark H. (1967). Stability of clay at vertical openings. J. Soil Mechanics and Foundations, Div. Am. Soc. Civ. Eng., 93: 71-94.
- Lombardi G., Amberg W. A. (1974). Une méthode de calcul élasto-plastique de l'état de tension et de déformation autour d'une cavité souterraine. Congresso Internazionale ISRM, Denver, 1974.
- Lunardi P. (2000). The design and construction of tunnels using the approach based on the analysis of controlled deformation in rocks and soils. Tunnels & Tunnelling International, May 2000.
- Panet M., Guenot A. (1982). Analysis of convergence behind the face of a tunnel – Tunnelling '82, Brighton, 197-204.
- Peck R. B. (1969). Deep excavations and tunnelling in soft ground. Proc. 7th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Mexico city, 225-290.
- A.F.T.E.S. (1993). Tunnel et ouvrages souterrains – Supplement n°117 .

4. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

4.1 INQUADRAMENTO DELL'INTERVENTO

Allo stato attuale entrambe le canne della galleria S. Antonio sono state realizzate e la presente relazione si pone come obiettivo il dimensionamento e la verifica statica di una sezione tipo dei bypass pedonali di collegamento tra di esse.

Questo settore dell'Appennino è litologicamente costituito da una successione sedimentaria marina depositata su crosta di tipo continentale appartenente alla microplacca adriatica.

Il settore fu coinvolto nell'orogenesi alpina solo a partire dal Miocene medio con uno stile tettonico simile, anche se meno articolato, a quello della zona tosco-emiliana: in particolare l'area di studio è caratterizzata da pieghe e sovrascorrimenti debolmente arcuati verso l'avanfossa padano-adriatica e con vergenza a NordEst.

La dorsale montuosa attraversata, è interamente costituita dalla Formazione Marnoso-Arenacea, tipica torbidite di notevole spessore (da 1600 a 2000 m) caratterizzata dalla fitta e persistente alternanza di strati arenacei e marnosi; al suo interno, comunque, sono individuabili membri distinti a seconda della predominanza dell'una o altra litologia, anche se tali suddivisioni hanno un significato importante dal punto di vista stratigrafico, ma più limitato dal punto di vista applicativo. Inoltre, sono individuabili dei veri e propri livelli-guida che marcano la posizione stratigrafica ("strato Contessa", "marker Guinza", "strato Val di Pierle").

La formazione venne deposta con ripetuti episodi di correnti di torbida, durante il Miocene. Le successioni torbiditiche si accumularono in una serie di bacini generati dalla migrazione verso Est dell'avanfossa; tutti questi bacini mostrano un'evoluzione nel tempo da una fase iniziale di avanfossa ad una fase finale di bacini satellitari (struttura a piggy-back)

A causa delle modalità deposizionali, la formazione presenta uno spessore anormale, rispetto al tempo geologico relativamente breve, in cui essa venne deposta.

La Marnoso-Arenacea è interessata da vari fronti di sovrascorrimento, che suddividono la formazione in diversi elementi tettonici, scollati rispetto alla sottostante formazione dello Schlier.

4.2 FORMAZIONE MARNOSO-ARENACEA

In tutta l'area rilevata affiora diffusamente la sopra menzionata Formazione Marnoso-Arenacea: si tratta di una successione torbiditica data dall'alternanza di arenarie più o meno cementate e marne, solo raramente passanti ad argille, di età miocenica (dal Langhiano al Tortoniano).

Gli strati pelitici sono costituiti essenzialmente da marne, marne calcaree, marne argillose e marne siltose.

Il passaggio tra gli strati pelitici e quelli arenacei è sempre ben visibile poiché questi ultimi, specie sui versanti più acclivi e con giacitura a reggipoggio, sono in aggetto per una maggiore resistenza all'erosione. Gli strati pelitici sono interessati da una fitta rete di microfessure da ritiro che suddivide la roccia in frammenti prismatici o a scaglie nei litotipi a maggiore contenuto in argilla, o in frammenti con superfici concave e convesse nei termini marnoso-calcarei.

Come accennato, la Formazione ha un notevole spessore e presenta una certa uniformità di caratteristiche litologiche e stratigrafiche; tuttavia, all'interno della successione sono distinguibili:

- un membro inferiore FMA4a che coincide con la parte inferiore del "Membro di Galeata" con predominanza di torbiditi silico-clastiche con paleo-correnti verso SudEst. Gli strati arenitici hanno spessore variabile tra 20 e 200 cm, ed il rapporto Arenaria/Pelite (A/P) è a favore della parte pelitica, con rapporti da $\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{6}$. Questo membro affiora diffusamente a cavallo del confine Marche-Umbria, a partire dal contatto tettonico (sovrascorrimento) nei pressi del Monte La Casina, ed interessando in profondità gran parte del tratto umbro della galleria della Guinza (e dunque del costruendo cunicolo di emergenza).

- un membro intermedio FMA4b, costituito da torbiditi arenaceo-pelitiche con notevole abbondanza di strati calcarenitici, spessi fino a 3 m, con clasti calcarei organogeni e silicatici, che si alternano ad areniti sottilmente stratificate. Verso la porzione sommitale, si osserva una generale diminuzione della componente arenitica, a vantaggio di quella pelitica. Lo spessore è di circa 500 m. Affiora in due fasce ai lati della zona occupata dal membro FMA4a, più stretta quella dal lato marchigiano e molto più estesa quella sul lato umbro. Questi due membri sono separati da un livello-guida ("strato Contessa"), banco arenaceo plurimetrico (6-7 m di spessore) accoppiato ad un orizzonte marnoso massivo di analogo spessore; questo strato si segue con continuità per centinaia di chilometri sia sul lato umbro che in quello marchigiano.

- un membro superiore FMA5, con torbiditi pelitico-arenacee con rapporto A/P tra $\frac{1}{4}$ e $\frac{1}{6}$. Il massimo spessore affiorante è di circa 300 m. Esso occupa in affioramento la parte finale (lato-Marche) del tracciato della galleria Guinza, a partire dai rilievi a sud di Pian Marzolino.

4.3 TERRENI DI COPERTURA

Per "terreni di copertura" si intendono quei termini litologici sedimentari depositi in ambiente sub-aereo (continentale), e che, di conseguenza, non sono correlati stratigraficamente alla Formazione Marnoso-Arenacea, bensì sono ad essa sovrapposti con contatti eteropici. In realtà, in zona queste coperture sono sporadiche, molto discontinue, e non presentano spessori considerevoli, tranne in pochi casi; ciò fa sì che la loro importanza progettuale sia limitata al bypass pedonale della galleria S. Antonio, più superficiale, mentre è pressoché inesistente nel calcolo del bypass carrabile tra la galleria Guinza ed il cunicolo di emergenza.

I depositi di copertura possono essere distinti in:

- Alluvioni recenti ed attuali di fondovalle, prevalentemente di natura ghiaiosa e sabbiosa con intercalate lenti limoso argillose.

- Detriti di falda orlano il piede dei versanti vallivi dei due corsi d'acqua principali (Fosso della Guinza – Torrente S. Antonio e Fosso di Parnacciano) e nelle piccole valli tributarie. La natura è prevalentemente sabbioso limosa, talora più francamente argillosa, con frammenti lapidei arenacei.
- Depositi di conoide torrentizia sono frequenti allo sbocco delle valli laterali più ampie, in sinistra del Torrente S. Antonio. Sono generalmente formati da detriti eterogenei con granulometria variabile da ghiaiosa a sabbioso ghiaiosa.
- Detriti di frana sono distribuiti sui versanti dei piccoli bacini tributari. Sono costituiti da materiale prevalentemente argilloso limoso-sabbioso, che ingloba frammenti lapidei di varie dimensioni, di natura quasi sempre arenacea.

5. CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI

In assenza di indagini in sito ed in laboratorio utili a fornire una caratterizzazione efficace dei materiali interessati dalla realizzazione delle opere di bypass, si è fatto strettamente riferimento alle indicazioni inserite nei documenti di collaudo dell'opera.

5.1 CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI BYPASS PEDONALE GALLERIA S. ANTONIO

Il presente cunicolo è caratterizzato da una copertura pari ad un valore di circa 15 m. A tal proposito si è ritenuto opportuno considerare nei calcoli anche la presenza, nei primi 5 m in superficie, della coltre detritica, al di sotto della quale si presenta l'ammasso roccioso che sarà interessato dalle operazioni di scavo. Come già affermato in precedenza, in assenza di ulteriori indagini in sito e/o in laboratorio, si è fatto riferimento alla parametrizzazione indicata nei certificati di collaudo dell'opera, dalla quale è stato possibile ricavare valori corrispondenti a:

DETRITO:

$$\gamma = 18 \frac{kN}{m^3}$$

$$\varphi' = 30^\circ$$

$$c' = 0 \text{ kPa}$$

$$E = 30 \text{ MPa}$$

AMMASSO:

$$\gamma = 21 \frac{kN}{m^3}$$

$$\varphi' = 35^\circ$$

$$c' = 200 \text{ kPa}$$

$$E = 1 \text{ GPa}$$

6. FASE DI DIAGNOSI

6.1 IMPORTANZA DEL FRONTE DI SCAVO

In accordo con il metodo ADECO-RS, la valutazione dell'evoluzione dello stato tensionale nel terreno a seguito della realizzazione di una galleria viene condotta attraverso l'analisi dei fenomeni deformativi del mezzo attraversato, che forniscono informazioni sul comportamento della cavità nei riguardi della stabilità a breve e a lungo termine.

Il comportamento del cavo e del fronte è infatti funzione, oltre che delle caratteristiche geometriche della cavità stessa e dei carichi litostatici cui è soggetta, delle caratteristiche di resistenza e di deformabilità del nucleo d'avanzamento, inteso come il prisma di terreno individuato a monte del fronte dallo stesso profilo di scavo per una profondità di circa un diametro. Se il nucleo non è costituito da materiale sufficientemente rigido e resistente da mantenere in campo elastico il proprio comportamento tenso-deformativo, si sviluppano fenomeni deformativi e plasticizzazioni rilevanti in avanzamento sul fronte, cui conseguono il detensionamento e il decadimento delle caratteristiche geomeccaniche del terreno al contorno del cavo. Se, viceversa, il comportamento del nucleo d'avanzamento si mantiene in campo elastico, esso svolge un'azione di precontenimento del cavo, che si mantiene a sua volta in condizioni elastiche, conservando le caratteristiche di massima resistenza del materiale attraversato.

Il comportamento del fronte di scavo, al quale è legato quello della cavità, può essere sostanzialmente ricondotto a tre categorie di comportamento:

6.1.1 Categoria A: Galleria a fronte stabile

Se il fronte di scavo è stabile, lo stato tensionale al contorno della cavità in prossimità del fronte si mantiene in campo prevalentemente elastico, e i fenomeni deformativi osservabili sono di piccola entità e tendono ad esaurirsi rapidamente. In questo caso anche il comportamento del cavo sarà stabile, mantenendosi prevalentemente in campo elastico, e quindi non si rendono necessari interventi preventivi di consolidamento, se non localizzati e in misura molto ridotta. Il rivestimento definitivo costituirà allora il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

6.1.2 Categoria B: Galleria a fronte stabile a breve termine

Questa condizione si verifica quando lo stato tensionale indotto dall'apertura della cavità supera la resistenza meccanica del materiale al fronte, che non ha più un comportamento di tipo elastico, ma assume un comportamento di tipo elasto-plastico. I fenomeni deformativi connessi con la conseguente redistribuzione delle tensioni risultano più accentuati che nel

caso precedente, e producono nell'ammasso al fronte una decompressione che porta al superamento della resistenza caratteristica del materiale. Questa decompressione può essere opportunamente controllata e regimata con adeguati interventi di preconsolidamento del fronte e/o di consolidamento al contorno del cavo. In tal modo si fornisce l'opportuno contenimento all'ammasso, che manterrà un comportamento stabile. Nel caso non si prevedano opportuni interventi, lo stato tenso-deformativo potrà evolvere verso situazioni di instabilità del cavo in via di realizzazione. Ancora, il rivestimento definitivo costituirà il margine di sicurezza a lungo termine.

6.1.3 Categoria C: Galleria a fronte instabile

L'instabilità progressiva del fronte di scavo è attribuibile ad una accentuazione dei fenomeni deformativi in campo plastico, che risultano immediati e più rilevanti, manifestandosi prima ancora che avvenga lo scavo, oltre il fronte stesso. Tali deformazioni producono una decompressione più accentuata dell'ammasso al fronte, e portano ad un progressivo e rapido decadimento delle caratteristiche geomeccaniche del materiale. Questo tipo di decompressione più accentuata deve essere contenuto prima dell'arrivo del fronte di scavo, e richiede pertanto interventi di preconsolidamento sistematici in avanzamento, che consentano di creare artificialmente l'effetto arco capace di far evolvere la situazione verso configurazioni di equilibrio stabile.

6.2 ANALISI DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO

Nella fase di diagnosi, sulla base degli elementi raccolti nella fase conoscitiva, vengono sviluppate le previsioni sul comportamento deformativo del cavo in assenza di interventi, al fine di giungere all'individuazione di tratte a comportamento omogeneo, suddivise nelle tre categorie di comportamento precedentemente descritte.

Per la determinazione del comportamento dell'ammasso allo scavo è stato il Metodo delle Linee Caratteristiche nel caso di coperture elevate, mentre sono state condotte verifiche con il metodo di Tamez nel caso di coperture modeste.

6.2.1 Metodo di Tamez

Nel caso di gallerie superficiali la valutazione della stabilità del fronte deve tenere conto della natura tridimensionale del problema e dei possibili meccanismi di rottura del terreno a seguito di operazioni di scavo a breve distanza dal piano campagna.

In relazione alle coperture di progetto, viene individuato, anche in funzione delle caratteristiche geotecniche, il comportamento del fronte fra i tre precedentemente illustrati.

Il metodo dell'equilibrio limite proposto da Tamez tiene conto della riduzione dello stato di confinamento triassiale del nucleo di terreno oltre il fronte per mezzo di un meccanismo di

rottura del tipo effetto volta, con il quale il volume di terreno gravante sulla corona della galleria è definito da un paraboloide, approssimato mediante tre solidi prismatici.

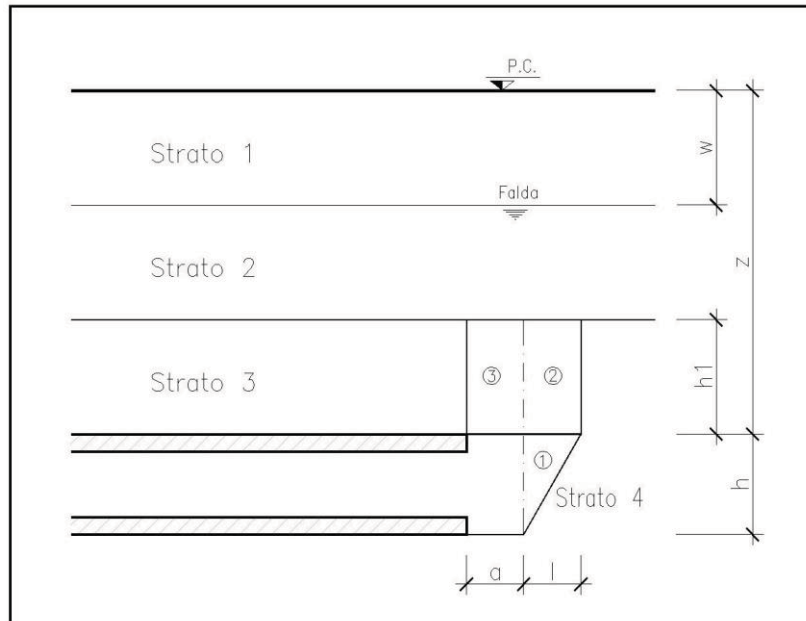


Figura 1 – Schematizzazione dei solidi prismatici

Il metodo determina le massime tensioni tangenziali che si possono sviluppare sulle facce di ogni prisma senza che avvengano scorrimenti (forze resistenti) e le forze di massa di ogni prisma (forze agenti). Il rapporto tra i momenti delle forze resistenti e delle forze agenti fornisce un coefficiente di sicurezza, denominato FSF (face security factor).

Tuttavia, è possibile che la stabilità del prisma 3, gravante sulla zona di galleria non ancora sostenuta, sia più critica rispetto all'equilibrio complessivo dei tre prismi che approssimano il paraboloide. Sarà pertanto necessario determinare entrambi i coefficienti di sicurezza e considerare il minore dei due.

Si ritiene accettabile un coefficiente di sicurezza $FSF \geq 2$.

Si ricorda la formulazione proposta da Tamez per i terreni coesivi e attritivi; i parametri che intervengono sono:

$$l = h \cdot \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right);$$

$$B = b + 2 \cdot h \cdot \operatorname{tg} \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right);$$

b = larghezza dello scavo;

h = altezza dello scavo;

σ_c = resistenza a compressione semplice;

c = coesione;

Z = spessore di terreno gravante sulla calotta della galleria.

a = passo di avanzamento;

$h_1 = Z$ per gallerie con $Z/D < 2.5$.

Per semplificare i calcoli di verifica il paraboloide viene assimilato a tre prismi aventi volume equivalente, la cui schematizzazione è stata precedentemente riportata, e con questo modello, definite le forze agenti e le forze resistenti, si determina la stabilità del fronte mediante l'espressione generale proposta da Tamez:

$$F_s = \frac{\left[\frac{2 \cdot (\tau_{m2} - \tau_{m3})}{\left(1 + \frac{a}{l}\right)^2} + 2 \cdot \tau_{m3} \right] \cdot \frac{h_1}{b} + \frac{2 \cdot \tau_{m3}}{\left(1 + \frac{a}{l}\right) \cdot \sqrt{K_A}} \cdot \frac{h_1}{h} + \frac{3.4 \cdot c}{\left(1 + \frac{a}{l}\right)^2 \cdot \sqrt{K_A}}}{\left[1 + \frac{2 \cdot h}{3 \cdot Z \cdot \left(1 + \frac{a}{l}\right)^2} \right] \cdot [\gamma \cdot Z - P_E]}$$

In alcuni casi risulta più gravosa la condizione di stabilità relativa al solo prisma 3, per cui è necessario calcolare anche il seguente coefficiente di sicurezza:

$$F_{s3} = \frac{2 \cdot \tau_{m3}}{\gamma \cdot Z - P_E} \left[\frac{h_1}{b} \right] \cdot \left[1 + \frac{b}{a} \right]$$

I parametri τ_{m2} e τ_{m3} rappresentano i valori medi delle tensioni di taglio agenti nel terreno lungo le facce dei prismi.

Bisogna distinguere a questo punto tra gallerie superficiali e gallerie profonde, come già illustrato precedentemente.

Per gallerie superficiali ($Z/D < 2.5$), condizione in cui si trova la galleria in esame, tali parametri sono assunti pari a:

$$\tau_{m2} = c + \frac{K_0}{2} \cdot \left[\frac{3.4 \cdot c}{\sqrt{K_A}} - \frac{(\gamma - \gamma_w)}{2} \cdot h \right];$$

$$\tau_{m3} = c$$

Nell'analisi con il metodo dell'equilibrio limite è possibile inoltre tener conto di eventuali interventi di preconsolidamento del fronte (realizzato ad esempio con elementi strutturali in VTR o con colonne di jet grouting) mediante l'applicazione di una pressione fittizia p_E applicata al fronte o variando le caratteristiche meccaniche del terreno consolidato.

6.3 ANALISI DELLA STABILITÀ DEL FRONTE DI SCAVO

Le analisi condotte, con riferimento ai risultati ottenuti dalle verifiche di stabilità condotte con il metodo di Tamez, hanno permesso di assegnare a ciascun contesto geomeccanico uno dei tre comportamenti del fronte allo scavo menzionati nei paragrafi precedenti; verranno nel seguito discusse le principali formazioni geomeccaniche analizzate.

6.3.1 Verifica con il metodo di Tamez

La verifica di stabilità del fronte è stata condotta con il metodo di Tamez per il bypass pedonale della galleria S. Antonio, caratterizzato da bassa copertura corrispondente a circa 15 m, ovvero circa 3 diametri. I parametri di resistenza sono stati abbattuti in accordo con le direttive delle NTC2008.

PARAMETRI	Detrito		Roccia	
	Caratteristici	Abbattuti	Caratteristici	Abbattuti
c' [Kpa]	0	0	200	160
Φ [°]	30	24,8	35	29,3

Tabella 1 Parametri utilizzati per le verifiche di stabilità col metodo di Tamez

Per la sezione oggetto di analisi, caratterizzata da una copertura pari a 15 m, è stata condotta la verifica con le caratteristiche della roccia alterata e del detrito ottenute dai rilievi eseguiti in fase di collaudo ed opportunamente abbattute, ottenendo un FSF = 4.32 e dunque un comportamento del fronte di natura stabile.

In questo materiale lo scavo viene effettuato con sezioni tronco-coniche che non prevedono interventi di consolidamento del fronte volti ad incrementare il valore di resistenza del nucleo. Il confinamento del cavo verrà garantito mediante la messa in opera di inflaggi metallici.



ITINERARIO INTERNAZIONALE E78 S.G.C. GROSSETO – FANO - Tratto Selci lama (E45)
– Santo Stefano di Gaifa - Adeguamento a 2 corsie della Galleria della Guinza (lotto
2) e del tratto Guinza – Mercatello Ovest (lotto 3) – 1° Stralcio

PROGETTO DEFINITIVO

Galleria S.Antonio - By pass - Relazione di calcolo

7.TERAPIA

Nel seguito si riporta una descrizione dettagliata delle sezioni di avanzamento previste per lo scavo della galleria naturale, i cui criteri di scelta e di applicazione sono stati individuati nel capitolo precedente.

7.1 SEZIONI TIPO A2: BYPASS PEDONALE GALLERIA S. ANTONIO

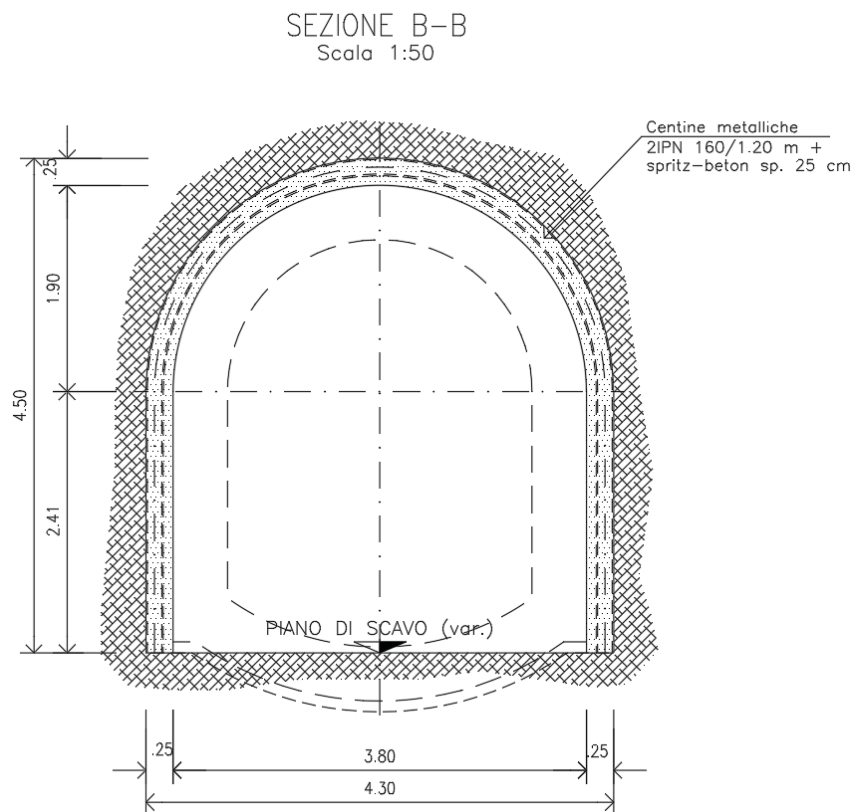


Figura 2 – Sezione tipo di avanzamento A1

La sezione tipo A2 è costituita da:

- eventuali 3+3 drenaggi in avanzamento, L=15m, sovrapp.=6m, rivestiti con calza TNT;
- impermeabilizzazione costituita da tessuto non tessuto e manto in PVC;
- priverstimento composto da uno strato di 25 cm di spritz-beton fibrorinforzato, con fibra di vetro 25 Kg/m³ e doppie centine IPN160 con passo 1.2m.
- arco rovescio (spessore 50 cm) e murette gettate ad una distanza massima dal fronte che dovrà essere regolata in funzione del comportamento deformativo del fronte di scavo;
- rivestimento definitivo di calotta dello spessore di 50 cm, gettato ad una distanza funzione del reale comportamento deformativo monitorato.

8. ANALISI TENSO-DEFORMATIVA DELLE GALLERIE

8.1 CENNI SUL METODO DEGLI ELEMENTI FINITI

Le analisi tenso-deformative presentate nel seguito, sono state condotte per mezzo del codice di calcolo FEM Plaxis 2D AE, sviluppato dalla Delft University of Technology & Plaxis bv, Olanda, tramite cui è possibile simulare il comportamento del terreno come un continuo consentendo, altresì, la valutazione delle sollecitazioni e delle deformazioni nelle opere strutturali. Il problema in stato di deformazione piana viene studiato costruendo un modello agli elementi finiti, specificando le proprietà dei materiali e le condizioni al contorno. Il modello in stato piano può essere adoperato nel caso in cui la geometria sia riconducibile a una sezione trasversale (nel piano x,y) che si ripete in modo più o meno uniforme nella direzione ad essa normale (direzione z) per una lunghezza significativa.

L'interazione tra terreno e struttura può essere simulata per mezzo di elementi interfaccia che consentono di modellare un comportamento intermedio tra un contatto perfettamente liscio ed un contatto perfettamente scabro. La scabrezza dell'interazione è modellata mediante un opportuno valore del fattore di riduzione della resistenza all'interfaccia (R_{inter}). Questo fattore mette in relazione la resistenza all'interfaccia (attrito e adesione con il muro) con quella del terreno (angolo di resistenza a taglio e coesione).

Il software permette di simulare il comportamento tenso-deformativo dei terreni per mezzo di vari legami costitutivi:

Modello Linear elastic (Elastico lineare): Questo modello rappresenta la legge di Hooke dell'elasticità isotropa lineare. Il modello richiede due parametri di rigidità elastici, che sono il modulo di Young E , ed il coefficiente di Poisson ν . Il modello elastico lineare è molto limitato nei riguardi della simulazione del comportamento del terreno; è utilizzato principalmente per simulare strutture rigide nel terreno.

Modello Mohr-Coulomb: Questo modello viene utilizzato come una prima approssimazione del comportamento del terreno in generale. Il modello richiede cinque parametri, che sono il modulo di Young E , il coefficiente di Poisson ν , la coesione c , l'angolo di attrito φ , e l'angolo di dilatanza ψ .

Modello Hardening Soil (Terreno incrudente): È un modello elastoplastico incrudente che riproduce in condizioni di primo carico triassiale un legame tensioni deformazioni di tipo iperbolico. L'incrudimento è funzione sia delle deformazioni distorsionali plastiche sia delle deformazioni volumetriche plastiche. Il modello è quindi in grado di simulare, tra l'altro, la riduzione irreversibile di volume di un terreno sottoposto a compressione lungo percorsi di carico proporzionali (e.g. carico isotropo, edometrico) a partire da una condizione di normalconsolidazione. Questo modello di 'secondo livello può essere utilizzato per simulare il comportamento sia di sabbie e di ghiaie sia di terreni più compressibili come argille e limi.

Modello Hardening Small Strain Stiffness Soil: Questo modello si basa sul modello Hardening Soil, ma introduce due parametri aggiuntivi che consentono di descrivere la

variazione della rigidezza con lo sforzo: è necessario dunque definire il modulo di taglio alle piccole deformazioni (G_0) e il livello di deformazioni a taglio $\gamma_{0.7}$ in cui il modulo di taglio G_s è ridotto del 70% di G_0 .

I parametri del modello in PLAXIS sono intesi a rappresentare la risposta del terreno in termini di tensioni efficaci, e cioè la relazione tra le tensioni e le deformazioni associate allo scheletro solido del terreno. Per consentire di tenere conto, nella risposta del terreno, dell'interazione acqua-scheletro solido, è possibile scegliere tra tre tipi di comportamento:

- Drained behaviour (Comportamento drenato): non vengono generate sovrappressioni neutre. Questo è il caso di terreni asciutti ed anche il caso in cui sia possibile un rapido drenaggio per l'elevata permeabilità dei terreni (sabbie) e/o per la bassa velocità di applicazione dei carichi. Questa scelta può anche essere utilizzata per simulare il comportamento del terreno a lungo termine senza la necessità di modellare l'esatta storia delle sollecitazioni in condizioni non drenate e della consolidazione.
- Undrained behaviour (Comportamento non drenato): viene utilizzato per simulare la generazione di sovrappressioni neutre in condizioni di flusso idraulico impedito. Tali condizioni possono verificarsi per la bassa permeabilità dei terreni (argille) e/o per l'elevata velocità di applicazione dei carichi. Oltre alla rigidezza ed alla resistenza dello scheletro solido del terreno, PLAXIS aggiunge un modulo di compressibilità volumetrica per l'acqua e distingue tra tensioni totali, tensioni efficaci e sovrappressioni neutre:

$$\text{Tensioni totali: } \Delta p = K_u \Delta \epsilon_v$$

$$\text{Tensioni efficaci: } \Delta p' = (1 - B) \Delta p = K' \Delta \epsilon_v$$

$$\text{Sovrappressioni neutre: } \Delta p_w = B \Delta p = K_w / n \Delta \epsilon_v$$

dove Δp è un incremento della tensione totale media, $\Delta p'$ è un incremento della tensione efficace media e Δp_w è un incremento della sovrappressione neutra. B è il parametro di Skempton, che mette in relazione l'incremento della tensione totale media con l'incremento delle sovrappressioni neutre. K_u è il modulo di rigidezza volumetrica non drenato, K' è il modulo di rigidezza volumetrica dello scheletro solido del terreno, K_w è il modulo di rigidezza volumetrica del fluido interstiziale, n è la porosità del terreno e $\Delta \epsilon_v$ è l'incremento della deformazione volumetrica.

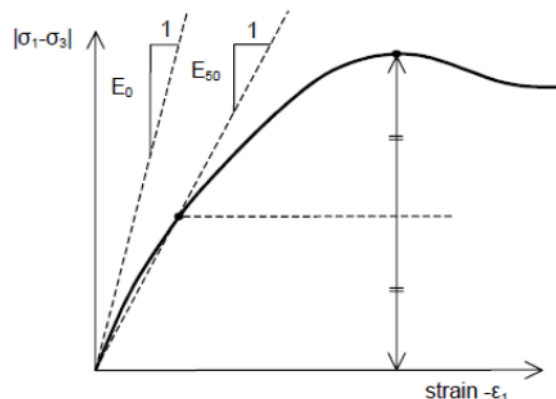
Per simulare il comportamento non drenato PLAXIS non usa un valore realistico per il modulo di rigidezza volumetrica dell'acqua, in quanto questo potrebbe condurre al cattivo condizionamento della matrice delle rigidezze ed a problemi numerici. Infatti, in caso di compressione isotropa, la rigidezza del mezzo monofase equivalente è, per default, assunta pari ad un modulo di rigidezza volumetrica non drenato:

L'acqua interstiziale è quindi considerata leggermente compressibile ed il coefficiente B appena inferiore a 1.0. Quindi, in condizioni di carico isotrope, una piccola percentuale del

carico sarà trasferito alle tensioni efficaci, almeno nel caso di piccoli valori del coefficiente di Poisson efficace.

- Non-porous behaviour (Comportamento non poroso): non sono considerate né pressioni neutre iniziali né sovrappressioni neutre. Applicazioni possibili di questo caso sono la modellazione del comportamento del calcestruzzo o di elementi strutturali in genere. Il comportamento non poroso viene spesso utilizzato in combinazione con il modello Linear elastic (Elastico-lineare). L'introduzione di un peso dell'unità di volume saturo e della permeabilità non è rilevante per materiali non porosi. Il tipo di materiale non poroso può essere applicato anche alle interfacce.

Il modulo di Young è utilizzato come modulo di rigidità fondamentale dei modelli Elastic e Mohr-Coulomb, ma è possibile anche adottare alcuni moduli di rigidità alternativi. Nella meccanica dei terreni, la pendenza iniziale della curva tensione-deformazione è indicata con E_0 (modulo tangente iniziale) ed il modulo secante al 50% della resistenza è denotato con E_{50} . Per argille fortemente sovraconsolidate e per alcune rocce con un ampio intervallo di carico elastico-lineare, è realistico utilizzare E_0 , invece per sabbie ed argille pressoché normalconsolidate, soggette a carico, è più appropriato utilizzare E_{50} .



Per i terreni, sia il modulo tangente iniziale che il modulo secante tendono ad aumentare con la tensione media efficace. Quindi, gli strati profondi di terreno tendono ad avere una rigidità maggiore degli strati superficiali. Inoltre, la rigidità osservata dipende dal percorso di sollecitazione seguito. La rigidità è molto più alta per la fase di scarico e di ricarico piuttosto che per la fase di primo carico. Inoltre la rigidità del terreno osservata in termini di modulo di Young è generalmente più bassa per compressione in condizioni drenate piuttosto che per taglio. Quindi, se si utilizza un modulo di rigidità costante per rappresentare il comportamento del terreno sarebbe opportuno scegliere un valore che sia coerente con il livello tensionale e con il percorso di sollecitazione atteso. La dipendenza del comportamento dei terreni dal livello tensionale è portata in conto dal software. Per il modello Mohr-Coulomb, è possibile prevedere una rigidità che aumenta con la profondità.

Le tensioni iniziali in un ammasso di terreno sono determinate dal peso del materiale e dalla storia della sua formazione. Questo stato tensionale è di solito caratterizzato da una tensione verticale efficace iniziale $\sigma'_{v,0}$. La tensione efficace orizzontale iniziale $\sigma'_{h,0}$ è legata alla tensione efficace verticale iniziale attraverso il coefficiente di spinta a riposo, K_0 ($\sigma'_{h,0} = K_0 \sigma'_{v,0}$). In PLAXIS le tensioni iniziali possono essere generate specificando K_0 oppure utilizzando la procedura Gravity loading (Generazione delle tensioni iniziali per incremento della gravità).

Per il tipo di calcolo da adottare in una fase viene fatta una distinzione fra tre tipi fondamentali:

- Plastic calculation (Calcolo plastico): utilizzato per eseguire un'analisi di deformazione elasto-plastica in cui non sia necessario prendere in considerazione la dissipazione delle sovrappressioni neutre nel tempo. La matrice di rigidezza in un calcolo plastico normale è riferita alla geometria indeformata originaria. Questo tipo di calcolo è appropriato nella maggior parte delle applicazioni pratiche di tipo geotecnico.
- Consolidation analysis (Analisi di consolidazione): Quando è necessario analizzare l'evoluzione o la dissipazione delle sovrappressioni neutre nel tempo in terreni saturi di tipo argilloso, si deve effettuare un'analisi di consolidazione. PLAXIS consente di effettuare analisi di consolidazione elasto-plastiche. In generale, un'analisi di consolidazione senza ulteriori sollecitazioni viene eseguita dopo un calcolo plastico non drenato.
- Phi-c reduction (Analisi di stabilità per riduzione dei parametri di resistenza): Un'analisi di stabilità in PLAXIS può essere eseguita riducendo i parametri di resistenza del terreno; tale processo è denominato Phi-c reduction.

8.2 GEOMETRIE DEI MODELLI

Le analisi numeriche sono state condotte considerando 5472 elementi triangolari, aventi dimensioni e grado di infittimento al contorno del cavo tali da garantire una soluzione numerica accurata e rappresentativa della situazione in sito. Le dimensioni della griglia e le distanze dalla galleria ai limiti esterni della griglia stessa, sono tali da evitare eventuali effetti di bordo sull'area di interesse del reticolo. Il contorno dei modelli è stato vincolato lateralmente ed inferiormente mediante opportuni vincoli.

8.3 STATO DI SFORZO INIZIALE

Nella prima fase dell'analisi numerica viene ricostruita in termini di sforzi e di deformazioni la situazione iniziale preesistente allo scavo della galleria. Il carico applicato in direzione verticale corrisponde al carico geostatico alle varie quote del modello.

Il carico applicato in direzione orizzontale è stato invece determinato in funzione del carico verticale, ipotizzando un coefficiente di spinta a riposo coerente con le coperture considerate:

nel caso del bypass pedonale della galleria S. Antonio, vista la bassa copertura, si è adottato un coefficiente di spinta pari a $K_0=0.6$.

8.4 CARICHI IDRAULICI

In via estremamente cautelativa è stata considerata la presenza di un battente idraulico sul rivestimento definitivo, i cui effetti sono stati valutati introducendo nella fase di lungo termine delle analisi svolte, un carico agente sugli elementi che modellano i rivestimenti definitivi. Nella seguente tabella viene riportata la quota di falda adottata nelle analisi numeriche.

SEZIONE TIPO	COPERTURA [m]	FALDA
A2	15	6 m sopra chiave calotta

Tabella 2 Quota falda

8.5 TARATURA DEL MODELLO

La simulazione dello scavo avviene mediante il progressivo annullamento delle forze interne al profilo di scavo, fino al loro completo rilassamento; gli step di rilassamento vengono operati in funzione della distanza dal fronte della sezione considerata nell'analisi, mediante l'impiego delle curve di Panet. La scelta della curva di Panet da utilizzare è stata condotta considerando il numero di stabilità N_s :

$$N_s = \frac{\sigma_0}{C_U} = \frac{2 \cdot \sigma_0}{\sigma_{cm}}$$

dove:

σ_0 = tensione geostatica

σ_{cm} = resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso roccioso

σ_c = resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta.

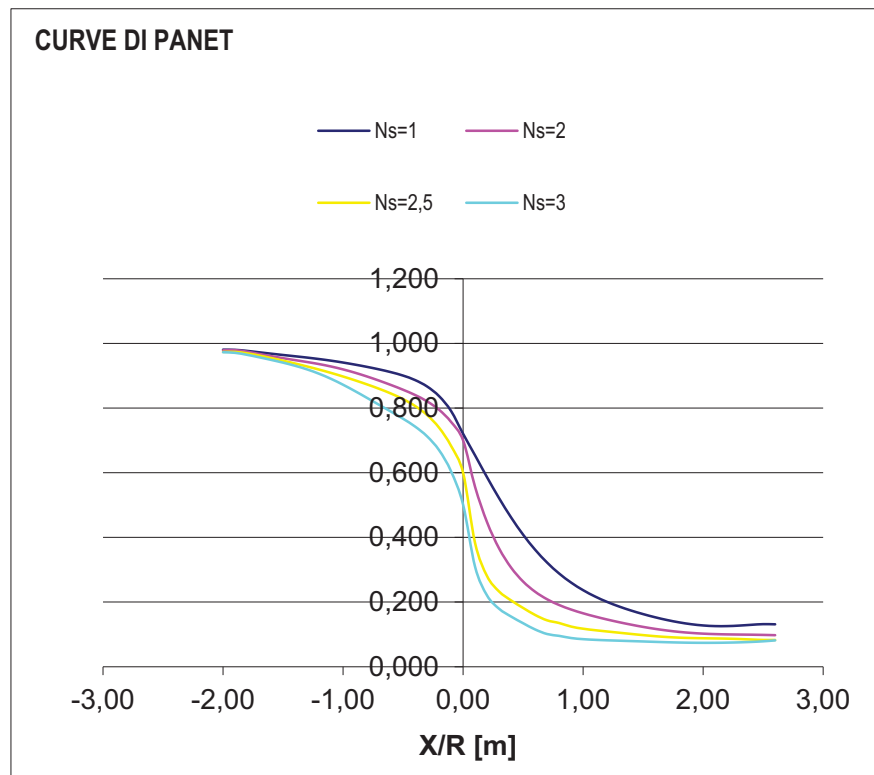


Figura 3 -Curve di Panet

L'adozione della sola curva di Panet non produce tuttavia i dovuti risultati tenso-deformativi, né per confronto con quanto ottenuto in base alla teoria delle Linee Caratteristiche, né per confronto con quanto effettivamente rilevato in analoghe gallerie in corso d'opera. Un ruolo fondamentale per una corretta definizione dei rilassamenti da adottare nelle analisi è il valore di rilassamento da impiegare in corrispondenza del fronte di scavo. Al fine di adattare il valore di rilassamento alle caratteristiche geomeccaniche del materiale, dello stato tensionale in sito e del criterio di rottura del materiale si è proceduto ad impiegare al fronte un valore di rilassamento tale da determinare una risposta deformativa, in termini di convergenza al fronte, paragonabile a quella ottenuta dalle analisi precedentemente condotte mediante il Metodo delle Linee Caratteristiche; è questo un procedimento di "taratura" della curva di Panet.

Una volta determinata la riduzione iniziale, in corrispondenza del fronte di scavo, le riduzioni alle Time successive verranno determinate proporzionalmente all'andamento della curva di Panet in funzione della distanza dal fronte, secondo la seguente formula:

$$R_{forze} = R_{forze, fronte} + \beta \cdot (R_{PANET} - R_{PANET, fronte})$$

in cui il termine $\beta = (100\% - \text{Rid. } \%) / (100\% - R_{\text{PANET, fronte}} \%)$ tiene conto delle percentuali di riduzione residue, dopo il rilassamento del fronte. Si è adottata la curva $N_s = 1$.

Nella seguente tabella vengono riportati i valori di rilascio al fronte di scavo adottati nelle analisi numeriche.

SEZIONE TIPO	RELAX FRONTE DI SCAVO
A2	28%

Tabella 3 Rilassamento al fronte ottenuto dalla taratura delle curve di Panet

8.6 PRERIVESTIMENTO E RIVESTIMENTO DEFINITIVO

La messa in opera delle centine e del prerivestimento è stata simulata introducendo nel modello degli elementi strutturali di tipo 'plate', collegati ai nodi del reticolo, sul contorno del cavo. Per entrambi i rivestimenti si è adottato un modello costitutivo elastico-lineare ed isotropo, assegnando al materiale le opportune proprietà di rigidità. Gli elementi rappresentativi dei rivestimenti sono attivati senza sforzi iniziali e sono soggetti al peso proprio ed alle sollecitazioni ed agli spostamenti trasmessi dal terreno circostante nei successivi step di calcolo.

8.6.1 Centine metalliche

Le centine utilizzate sono rispettivamente :

- doppia IPN 160 passo 1.2 m nel caso del bypass carrabile della galleria S. Antonio

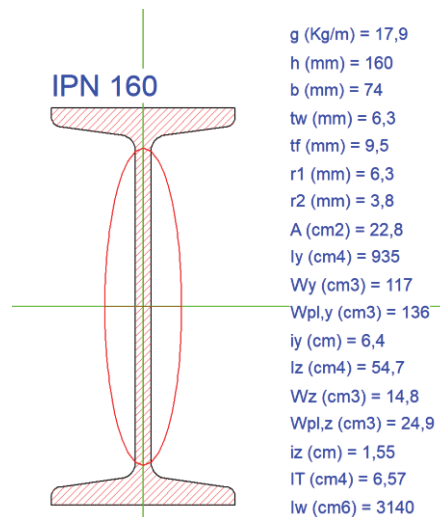


Figura 4 –Caratteristiche della IPN 160

8.6.2 Prerivestimenti – Caratteristiche dei materiali

Il prerivestimento, costituito da spritz-beton $R_{ck} \geq 25$ MPa, fibrorinforzato, è stato schematizzato come materiale a comportamento elastico-lineare, avente le seguenti caratteristiche meccaniche:

- Bypass pedonale galleria S. Antonio
- $E = 30.0$ GPa;
- $\nu = 0.20$;
- $\gamma = 25.0$ kN/m³.

Le caratteristiche geometriche sono state stabilite ipotizzando lo spritz-beton armato con centine in acciaio S275 secondo quanto riportato nella seguente tabella:

Sezione tipo	Spritz-Beton	Centine
A2	25 cm	2 IPN 160 / 1.20m

Tabella 4 Prerivestimento

Nella modellazione numerica il prerivestimento è stato schematizzato come un materiale a comportamento elastico-lineare, il cui modulo di deformabilità è stato determinato attraverso l'omogeneizzazione delle centine al calcestruzzo.

Nel dettaglio l'omogeneizzazione tra le centine e lo spritz – beton avviene assegnando agli elementi 'plate' un modulo elastico ed un momento d'inerzia equivalente derivato dalle seguenti formulazioni.

Il calcolo viene condotto valutando due coefficienti di compressibilità e flessibilità per lo spritz beton:

$$D_{sh} = \frac{E_{hst} A_{sh}}{1 - \nu_{sh}^2}$$

$$K_{sh} = \frac{E_{sh} I_{sh}}{1 - \nu_{sh}^2}$$

E per l'acciaio:

$$D_{st} = \frac{E_{st} A_{st}}{1 - \nu_{st}^2}$$

$$K_{st} = \frac{E_{st} I_{st}}{1 - \nu_{st}^2}$$

Da cui, ricavando i coefficienti equivalenti dati dalle seguenti formulazioni (n = numero centine):

$$D_{eq} = n(D_{st} + D_{sh})$$

$$K_{eq} = n(K_{st} + K_{sh})$$

è possibile determinare lo spessore ed il modulo elastico equivalenti da utilizzare nelle analisi.

$$t_{eq} = \sqrt{\frac{12 K_{eq}}{D_{eq}}}$$

$$E_{eq} = \frac{D_{eq}}{b t_{eq}}$$

Per simulare le fasi di maturazione dello spritz-beton si è utilizzata la seguente formulazione che mostra la variazione del modulo elastico in funzione del tempo trascorso dalla messa in opera.

$$E_{sb,t} = E_{28} \cdot (1 - e^{-0.42t})$$

Dove con E_{28} si indica il modulo elastico dello spritz-beton dopo 28 giorni di maturazione e con t il tempo trascorso in giorni. Di seguito si riporta la curva di maturazione ottenuta attraverso tale formulazione.

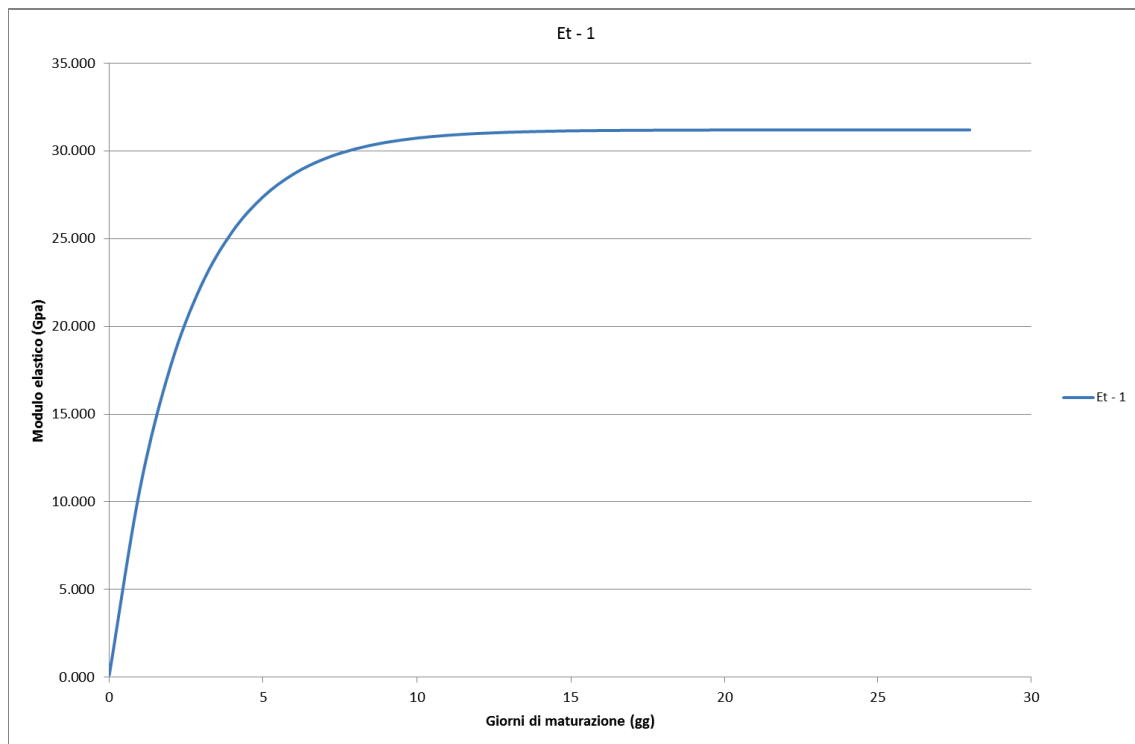


Figura 5 – Curva di maturazione

In particolare si sono utilizzati nei modelli di calcolo i moduli elastici e le grandezze omogeneizzate relative alla piena maturazione del calcestruzzo, ovvero a 28 giorni, nell'ipotesi che, data la modesta estensione dei bypass e le buone proprietà del materiale, venga eseguito un getto continuo del rivestimento definitivo.

step	Maturazione	E_{t-1}
	[gg]	[Gpa]
1	1	10,29
2	28	30,00

E_{om}	S_{om}
[Gpa]	[m]
12,93	0,25
32,37	0,25

EA	EI
[KN]	[KN*m ²]
3,17E+06	15836
8,04E+06	41256

Tabella 5 Omogeneizzazione spritz-beton – centine IPN 160

8.6.3 Rivestimenti definitivi – Caratteristiche dei materiali

Il rivestimento definitivo in calcestruzzo $R_{ck} \geq 40$ MPa con gli spessori indicati per ogni sezione, è stato schematizzato anch'esso come materiale a comportamento elastico-lineare, avente le seguenti caratteristiche meccaniche:

$$\begin{aligned}
 E &= 31.2 \text{ GPa;} \\
 \nu &= 0.20; \\
 \gamma &= 25.0 \text{ kN/m}^3
 \end{aligned}$$

Il rivestimento è stato quindi modellato in PLAXIS tramite elementi di mesh. L'utilizzo di tali elementi per la simulazione dei rivestimenti non restituisce direttamente le azioni interne M, N, T, le quali devono essere ricavate a partire dalle tensioni σ_{xx} , σ_{yy} e σ_{xy} secondo il metodo di trasformazione delle tensioni tramite cerchio di Mohr.

Risulta così possibile definire completamente lo stato tensionale in ogni nodo della griglia che simula i rivestimenti, per mezzo delle sue componenti normali e tangenziali, qualunque sia l'inclinazione della superficie che contiene il nodo stesso.

Per uno stato piano di tensione, si dimostra che la conoscenza delle tensioni agenti su due piani mutuamente perpendicolari è sufficiente per conoscere lo stato tensionale su qualunque superficie passante per il punto considerato.

Tramite le equazioni di trasformazione per uno stato piano di tensione è possibile ricavare le tensioni σ e τ necessarie per il calcolo delle azioni interne.

$$\begin{cases}
 \sigma = \left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \right) + \left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right) \cos 2\phi + \tau_{xy} \sin 2\phi \\
 \tau = - \left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right) \sin 2\phi + \tau_{xy} \cos 2\phi
 \end{cases}$$

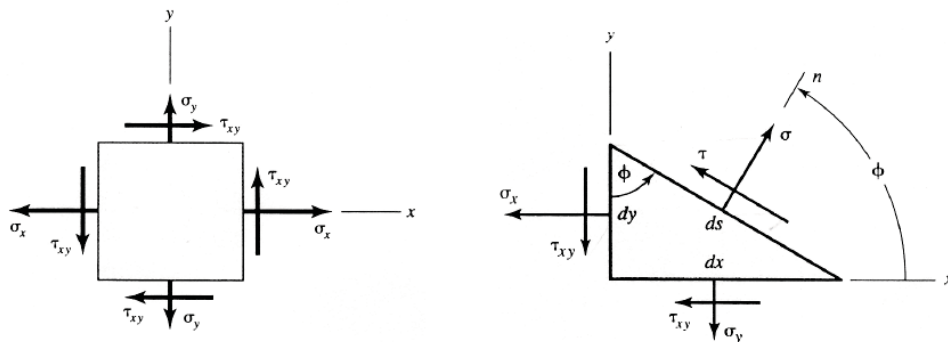


Figura 6 – Relazioni di trasformazione delle tensioni 2D per una generica giacitura

Ricavati i valori di σ_n e τ_n per ogni sezione, tramite l'integrazione delle stesse è possibile ottenere l'azione interna N ed l'azione di taglio T e di conseguenza il momento M. La modellazione dei rivestimenti così condotta permette di verificare le singole sezioni di calcolo secondo la reale geometria definite nelle relative tavole di carpenteria.

9. VERIFICHE STATICHE

9.1 CARATTERISTICHE DI VERIFICA DEI MATERIALI STRUTTURALI

È previsto l'impiego dei seguenti materiali strutturali:

- Classe di resistenza: C32/40
- Cemento tipo CEM II - 42.5 R
- Dimensione massima degli inerti $D_{max}=30\text{mm}$
- Rapporto acqua/cemento 0.50,0.60
- Classe di consistenza S4

Spritz-beton: Rck a 28 gg ≥ 25 MPa nel bypass pedonale della S. Antonio:

- Classe di resistenza (UNI 10834) CP30 (a 28 gg)
- Cemento tipo CEM II 42.5 R
- Rapporto acqua/cemento: 0.42,0.46
- Fibre di VTR: dosaggio 15-20 Kg/mc
- Accelerante di presa tipo alkalifree 35-40kg/mc
- Additivo superfluidificante 5-7 l/mc
- Fumo di silice 25kg/mc

Acciaio per centine S275

9.2 CRITERI DI VERIFICA

I rivestimenti delle gallerie sono stati verificati per le condizioni di carico riportate nel DM 2018 sia nei riguardi degli stati limite ultimi che nei riguardi degli stati limite di esercizio, mediante il metodo dei coefficienti parziali di sicurezza sulle azioni e sulle resistenze (DM2018 6.2.4).

Le combinazioni di calcolo adottate sono schematizzate nella seguente tabella:

PROGETTO DEFINITIVO

Galleria S.Antonio - By pass - Relazione di calcolo

SLU	CASO	AZIONI γ_F				PROPRIETA' TERRENO γ_M			RESISTENZE γ_R		
		PERMANENTI		VARIABILI		$\tan\phi'$	c'	c_u	q_B	δ	K_p
		SFAV.	FAV.	SFAV.	FAV.						
A1+M1	1	1.3	1	1.5	0	1	1	1	1	1	1
A2+M2	2	1	1	1.3	0	1.25	1.25	1.4	1	1	1

Tabella 6 Combinazioni di calcolo

Nella combinazione 1 (A1 + M1) si è preferito ricorrere all'incremento delle caratteristiche di sollecitazione ricavate dalla combinazione agli stati limite di esercizio (tutti i coefficienti pari ad 1) mediante il coefficiente moltiplicativo $\gamma_F = 1.3$, piuttosto che modellare una nuova condizione di carico nel modello di calcolo.

Sono di seguito riportati i risultati delle verifiche strutturali del rivestimento (provvisorio e definitivo), nelle sezioni maggiormente sollecitate ritenute significative; i rivestimenti sono stati verificati con le sollecitazioni risultanti dalla combinazione 1 (A1 + M1) essendo dimensionanti per gli elementi strutturali; vengono inoltre allegati i diagrammi delle sollecitazioni N ed M per ciascuna fase di calcolo significativa.

9.2.1 Verifica delle sezioni in acciaio (relativamente alla resistenza della sola centina)

Nel seguito vengono riportati i criteri di verifica delle centine nella fase in cui si ritiene vi sia il solo contributo di resistenza della centina.

Per ciascun profilo tradizionale ad I, oltre alle caratteristiche geometriche e statiche, vengono calcolati, con riferimento al DM2018 Capitolo 4.2, i seguenti valori:

- resistenze di progetto a compressione N_{by}, R_d e N_{bz}, R_d in base alla tensione di snervamento;
- resistenze di progetto a flessione M_{cy}, R_d e M_{cz}, R_d ;
- classi della sezione per compressione, per flessione e per presso-flessione;

Per i profili analizzati, è stata eseguita la verifica a presso-flessione.

Tale verifica comprende:

- verifica di resistenza della sezione
- verifica della membratura all'instabilità per flessione e compressione assiale

Le due verifiche sono espresse da formule di interazione che devono dare valori < 1 .

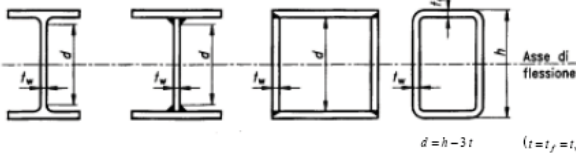
Si prendono in esame solo verifiche agli stati limite ultimi in quanto vengono considerate solo strutture di carattere provvisorio (centine che costituiscono il prriverstimento).

Classificazione delle sezioni trasversali DM2018 4.2.3.1:

Si definiscono le 4 seguenti classi di sezioni trasversali:

- Classe 1: sono quelle sezioni trasversali in grado di sviluppare una cerniera plastica avente la capacità rotazionale richiesta per l'analisi plastica.
- Classe 2: sono quelle sezioni trasversali in grado di sviluppare il proprio momento resistente plastico, ma che hanno una capacità rotazionale limitata.
- Classe 3: sono quelle sezioni trasversali nelle quali le tensioni calcolate nelle fibre esterne compresse della membratura di acciaio possono raggiungere la resistenza allo snervamento, ma l'instabilità locale può impedire lo sviluppo del momento resistente plastico.
- Classe 4: sono quelle sezioni trasversali per le quali è necessario mettere esplicitamente in conto gli effetti dell'instabilità locale nel determinare il loro momento resistente o la loro resistenza a compressione.

(a) Anima (elementi interni perpendicolari all'asse di flessione):



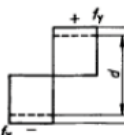
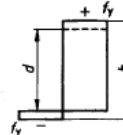
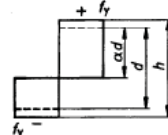
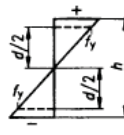
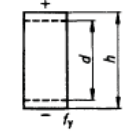
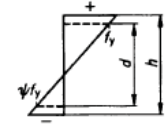
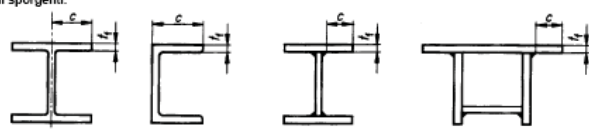
Classe	Anima soggetta a flessione	Anima soggetta a compressione	Anima soggetta a flessione e compressione	
				
1	$d/t_w \leq 72 \epsilon$	$d/t_w \leq 33 \epsilon$	Quando $\alpha > 0,5$: $d/t_w \leq 396 \epsilon / (13 \alpha - 1)$ Quando $\alpha < 0,5$: $d/t_w \leq 36 \epsilon / \alpha$	
2	$d/t_w \leq 83 \epsilon$	$d/t_w \leq 38 \epsilon$	Quando $\alpha > 0,5$: $d/t_w \leq 456 \epsilon / (13 \alpha - 1)$ Quando $\alpha < 0,5$: $d/t_w \leq 41,5 \epsilon / \alpha$	
3				
	$d/t_w \leq 124 \epsilon$	$d/t_w \leq 42 \epsilon$	Quando $\psi > -1$: $d/t_w \leq 42 \epsilon / (0,67 + 0,33 \psi)$ Quando $\psi \leq -1$: $d/t_w \leq 62 \epsilon (1 - \psi) \sqrt{(-\psi)}$	
$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$	f_y	235	275	355
	ϵ	1	0,92	0,81

Figura 7 – Classificazione delle sezioni trasversali

c) Ali sporgenti:



Classe	Tipo della sezione	Ala soggetta a compressione e flessione			
		Ala soggetta a compressione	Bordo compresso	Bordo teso	
Distribuzione delle tensioni nell'elemento (compressione positiva)					
1	Laminata	$c/t_f \leq 10\epsilon$	$c/t_f \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$	$c/t_f \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	
	Saldata	$c/t_f \leq 9\epsilon$	$c/t_f \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$	$c/t_f \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	
2	Laminata	$c/t_f \leq 11\epsilon$	$c/t_f \leq \frac{11\epsilon}{\alpha}$	$c/t_f \leq \frac{11\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	
	Saldata	$c/t_f \leq 10\epsilon$	$c/t_f \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$	$c/t_f \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	
Distribuzione delle tensioni nell'elemento (compressione positiva)					
3	Laminata	$c/t_f \leq 15\epsilon$	$c/t_f \leq 23\epsilon\sqrt{k_\sigma}$	Per k_σ vedere il prospetto 5.3.3.	
	Saldata	$c/t_f \leq 14\epsilon$	$c/t_f \leq 21\epsilon\sqrt{k_\sigma}$		
$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$		f_y	235	275	355
		ϵ	1	0,92	0,81

Figura 8 – Classificazione delle sezioni trasversali

a - verifica di resistenza della sezione

La verifica di resistenza per compressione e flessione deviata per le sezioni di classe 1 e 2 viene eseguita secondo DM2018 4.2.4.1.2 con la formula di interazione approssimata (DM2018 4.2.39):

$$\left[\frac{M_{y.Sd}}{M_{Ny.Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z.Sd}}{M_{Nz.Rd}} \right]^\beta \leq 1$$

nella quale $M_{Ny,Rd}$ e $M_{Nz,Rd}$ sono i momenti resistenti plastici di progetto ridotti per la presenza della forza assiale.

Per i profilati laminati di comune impiego ad I o H, con sezione di classe 1 o 2, si possono usare le seguenti approssimazioni (4.2.33 – 4.2.34 – 4.2.35 – 4.2.36 – 4.2.37)

$$M_{Ny.Rd} = M_{pl.y.Rd} \frac{(1-n)}{(1-0,5a)} \quad \text{con la limitazione} \quad M_{Ny.Rd} \leq M_{pl.y.Rd}$$

per $n \leq a$: $M_{Nz.Rd} = M_{pl.z.Rd}$

per $n > a$: $M_{Nz.Rd} = M_{pl.z.Rd} \left[1 - \left(\frac{n-a}{1-a} \right)^2 \right]$

dove:

$$n = \frac{N_{Sd}}{N_{pl.Rd}}$$

$$a = \frac{(A - 2bt_f)}{A} \quad \text{con la limitazione} \quad a \leq 0,5$$

Per i profilati ad I e H le costanti α e β valgono (4.2.38):

$$\alpha = 2 \quad \beta = 5n \geq 1$$

Sono state omesse le formulazioni per le verifiche dei profilati laminati di classe 3 e 4 in quanto le sezioni che verranno adottate ricadono nell'ambito dei profili di classe 1 oppure 2.

b - stabilità della membratura a flessione e compressione assiale

Il DM2018 4.2.4.1.3.3 in caso di elementi soggetti a compressione e flessione, rimanda a normative precedenti e di comprovata validità: in particolare la verifica viene eseguita secondo EC3 5.5.4. (1) con la formula di interazione [5.51] per le sezioni di classe 1 e 2:

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{min} A \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y M_{y.Sd}}{W_{pl.y} \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_z M_{z.Sd}}{W_{pl.z} \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1 \quad [5.51]$$

nella quale:

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{Sd}}{\chi_y A f_y} \quad \text{con la limitazione} \quad k_y \leq 1,5$$

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y (2\beta_{My} - 4) + \left[\frac{W_{pl.y} - W_{el.y}}{W_{el.y}} \right] \quad \text{con la limitazione} \quad \mu_y \leq 0,90$$

$$k_z = 1 - \frac{\mu_z N_{Sd}}{\chi_z A f_y} \quad \text{con la limitazione} \quad k_z \leq 1,5$$

$$\mu_z = \bar{\lambda}_z (2\beta_{Mz} - 4) + \left[\frac{W_{pl.z} - W_{el.z}}{W_{el.z}} \right] \quad \text{con la limitazione} \quad \mu_z \leq 0,90$$

χ_{min} = il valore minore fra χ_y e χ_z

dove:

χ_y e χ_z sono i coefficienti di riduzione indicati in 5.5.1 rispettivamente per gli assi y-y e z-z;

β_{My} e β_{Mz} sono coefficienti di momento equivalente uniforme per l'instabilità flessionale: vedere (7).

Data l'evidente incertezza nello stabilire il giusto grado di vincolo da assegnare alle centine in acciaio, si impone nelle verifiche $\chi_{\min} = 1$.

La verifica dipende dalla scelta dell'andamento del diagramma del momento flettente, dalla quale discende il valore del parametro β_M (vedi EC3 5.5.4. (7) fig. 5.5.3.).

Si può scegliere fra i tre gruppi di diagramma in figura:


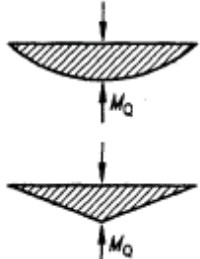
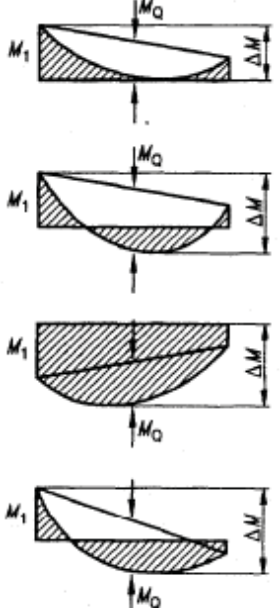
Diagramma del momento	Coefficiente di momento equivalente uniforme β_M
Momenti all'estremità  $-1 \leq \psi \leq 1$	$\beta_{M,\psi} = 1,8 - 0,7 \psi$
Momenti dovuti a carichi laterali nel piano 	$\beta_{M,Q} = 1,3$ $\beta_{M,Q} = 1,4$
Momenti dovuti a carichi laterali nel piano più momenti d'estremità 	$\beta_M = \beta_{M,\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,\psi})$ $M_Q = \max M $ dovuto al solo carico laterale $\Delta M = \begin{cases} \max M & \text{per diagramma del momento senza scambio di segno} \\ \max M + \min M & \text{per diagramma del momento con cambio di segno} \end{cases}$

Figura 9 – Parametro β

9.2.2 Verifica sezioni miste acciaio – calcestruzzo (relativamente alla resistenza del rivestimento provvisorio acciaio + spritz-beton)

Per la verifica allo stato limite ultimo delle sezioni miste acciaio calcestruzzo viene utilizzata la seguente combinazione di azioni:

$$E_d = \gamma_G G_k$$

in quanto le azioni prese in conto (peso proprio struttura, sovrastruttura, forze indotte dalla pressione del terreno o dell'acqua) risultano classificate come permanenti (G).

La verifica allo stato limite ultimo viene condotta attraverso la definizione delle seguenti azioni di progetto:

$$N_d = 1.3 * N$$

$$M_d = 1.3 * M$$

dove N ed M sono le sollecitazioni derivanti dalle analisi numeriche.

La resistenza di calcolo del calcestruzzo è definita attraverso la relazione:

$$f_{cd} = 0.83 * 0.85 * R_{ck} / \gamma_c$$

dove il coefficiente parziale di sicurezza del conglomerato cementizio (γ_c) è pari a 1.5.

Individuate quindi le sezioni tipo analizzate e le sollecitazioni agenti si è proceduto alla verifica a pressoflessione mediante i domini di resistenza.

Per ciascuna sezione tipo verrà riportato il diagramma di interazione M-N, il cui contorno individua i limiti della resistenza di calcolo R_d . La verifica risulta soddisfatta quando $R_d \leq E_d$, ovvero quando i punti rappresentativi delle coppie di sollecitazioni sul rivestimento risultano all'interno del diagramma.

Per i profili tradizionali a I il diagramma relativo al prerivestimento viene costruito considerando una sezione in calcestruzzo armato di spessore pari allo spessore di spritz beton e un'armatura pari all'area delle ali delle cinte (AFTES "Recommendations for the DESIGN OF SPRAYED CONCRETE FOR UNDERGROUND SUPPORT" – 09/11/2000).

9.2.3 Verifica delle sezioni in calcestruzzo (relativamente alla resistenza del rivestimento definitivo)

Tutte le sezioni di rivestimento definitivo sono non armate e pertanto, in assenza di armatura, la normativa NTC'18 prevede una verifica a pressoflessione ed a taglio secondo le seguenti limitazioni:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd} = f_{cd} b x$$

con $x = a - 2e$

dove

a, b sono le dimensioni dei lati della sezione rettangolare

e è l'eccentricità nella direzione del lato a

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = f_{cvd} b x / 1.5$$

con

$$f_{cvd} = \sqrt{(f_{ct1d} + \sigma_c f_{ct1d})} \quad \text{per } \sigma_c \leq \sigma_{clim}$$

$$f_{cvd} = \sqrt{(f_{ct1d} + \sigma_c f_{ct1d} - \delta^2 / 4)} \quad \text{per } \sigma_c > \sigma_{clim}$$

dove

$$\sigma_c = N_{Ed} / (b x)$$

$$\delta = \sigma_c - \sigma_{clim}$$

$$\sigma_{clim} = f_{cd} - 2 \sqrt{(f_{ct1d} + f_{cd} f_{ct1d})}$$

dove

$$f_{ct1d} = 0.85 f_{ctd}$$

È la resistenza a trazione di progetto per calcestruzzo non armato o debolmente armato.

9.3 SEZIONE TIPO A2 BYPASS PEDONALE GALLERIA S.ANTONIO – COPERTURA 15 m

9.3.1 Modello di calcolo

L'analisi è mirata a valutare lo stato tenso-deformativo dell'ammasso e del rivestimento nelle condizioni di copertura pari a circa 15,0 m e massima falda pari a circa 6 m sopra la chiave calotta. La mesh prevede un infittimento nell'intorno della galleria ed è stata vincolata tramite l'assegnazione automatica di PLAXIS che assegna vincoli allo scorrimento orizzontale lungo i lati verticali e vincoli allo spostamento in entrambe le direzioni x e y lungo la base del modello.

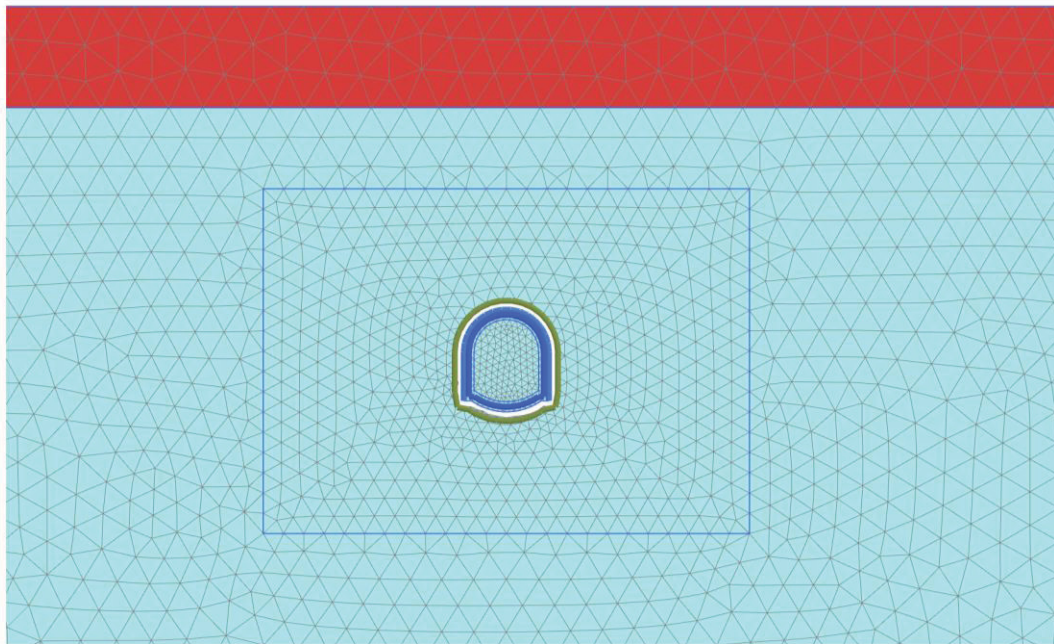


Figura 10 – Modello di calcolo e mesh

9.3.2 Fasi di calcolo

Il calcolo è stato condotto per fasi successive, secondo lo schema di seguito descritto:

TIME 0 - GEOSTATICO

In questa prima fase di calcolo vengono applicati il peso proprio del terreno e le caratteristiche di resistenza e deformabilità delle formazioni in sito, in modo tale da ricostruire la situazione tensionale preesistente alla costruzione della galleria.

TIME 1 – Fronte di scavo – Relax = 28%

In questa time di calcolo viene simulata l'apertura del fronte attraverso un'opportuna riduzione delle forze di scavo.

TIME 2 – Posa delle centine – Relax = 64%

Viene simulata l'installazione delle centine 2 IPN 160 passo 1.20 m. In questa fase di ipotizzano resistenti le sole centine.

TIME 3 – Maturazione dello spritz-beton 28gg – Relax = 95%

Viene simulato l'avanzamento e la maturazione dello spritz-beton a 28gg con resistenza $R_{ck} = 30$ MPa.

TIME 4 – Posa del rivestimento definitivo – Relax 100%

Viene simulata la posa del rivestimento definitivo lontano dal fronte di scavo. In questa fase si ipotizza resistente il solo rivestimento definitivo e totalmente avvenuto il decadimento dei prerinvestimenti.

TIME 5 – Lungo termine – Applicazione falda

Viene simulata la presenza di falda con battente idraulico posto a 6 m al di sopra della chiave calotta.

9.3.3 Esame dei risultati

I risultati più significativi ottenuti dalla presente analisi sono riassunti in allegato.

Gli output dell'elaborazione PLAXIS sono riportati anch'essi in allegato; le dimensioni geometriche e gli spostamenti sono espressi in metri, mentre le sollecitazioni in KN.

In termini deformativi la convergenza media tra calotta e arco rovescio risulta dell'ordine dei due millimetri, con uno spostamento atteso in superficie prossimo invece a mezzo millimetro.

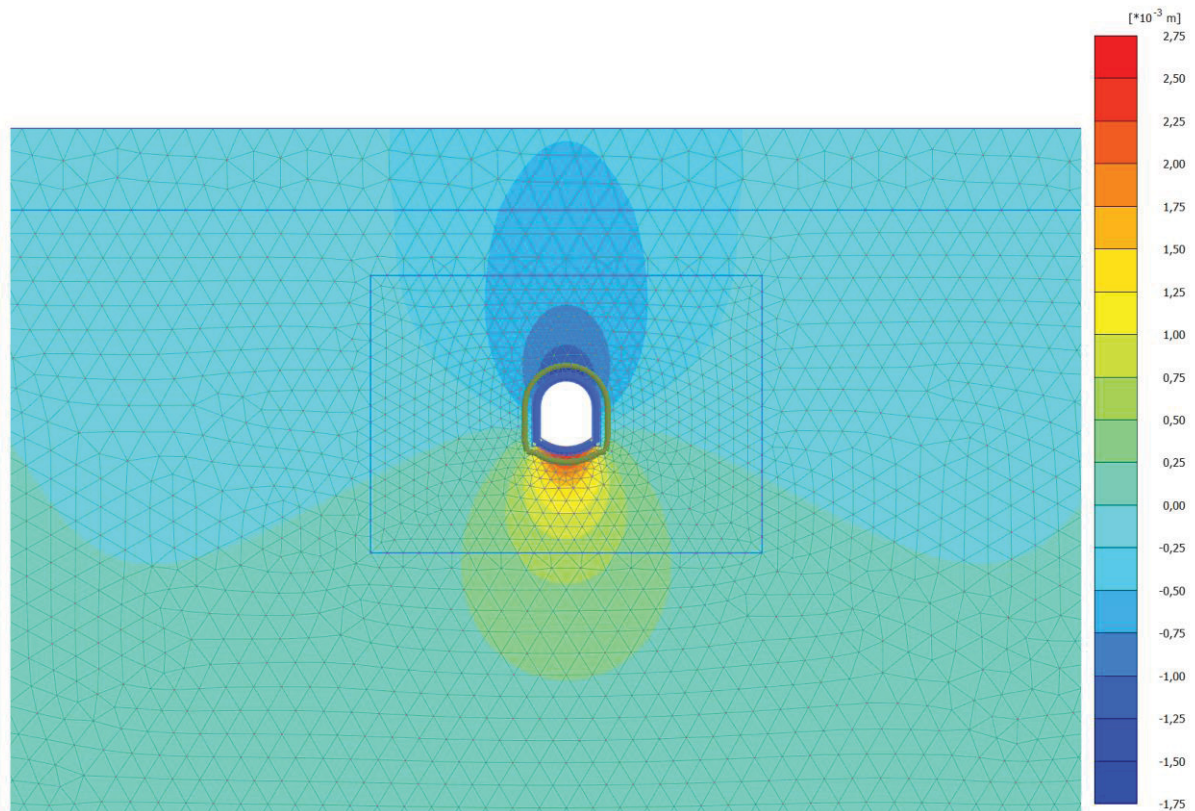


Figura 11 – Spostamenti in Y

9.3.4 Verifiche statiche

I risultati delle analisi numeriche in termini di sollecitazioni agenti sul rivestimento definitivo sono allegati alla presente relazione.

Di seguito sono riassunti i risultati delle verifiche tensionali condotte nei rivestimenti per la combinazione M, N.

Rimandando ai paragrafi precedenti per le caratteristiche dei materiali ed i relativi limiti tensionali, si riportano nel seguito le verifiche svolte allo stato limite ultimo ed allo stato limite di esercizio nelle time di calcolo ritenute più significative per il priverstimento ed il rivestimento definitivo. Nel dettaglio il priverstimento è stato verificato per la fase di maturazione a 28 giorni mentre il rivestimento definitivo nella sola time di lungo termine che risulta essere la più gravosa ai fini delle verifiche.

Si sono esclusi dalla verifica, i valori di sollecitazione nei punti angolosi in corrispondenza dei nodi arco rovescio-muretta dove, per effetto della modellazione numerica, si determinano eccessive concentrazioni di sforzo.

9.3.4.1 Prerivestimento

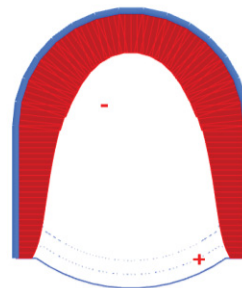
9.3.4.1.1 Time 2 – Resistenza affidata alle sole centine

In questa fase è stata effettuata la verifica delle centine 2 IPN 160 in acciaio subito dopo l'installazione del rivestimento provvisorio (spritz beton non ancora maturo e solo le centine considerate resistenti). Tali verifiche sono state eseguite secondo le disposizioni riportate precedentemente; sono stati presi in considerazione le sezioni più sollecitate in calotta e nei piedritti.

È stata calcolata l'area e il momento d'inerzia della sezione in acciaio; sono stati ricavati i valori di sforzo assiale e momento flettente in output dal software PLAXIS e successivamente moltiplicati per il coefficiente di amplificazione dell'effetto dell'azione.

Vengono prese in considerazione le coppie di valori di N e M ricavate dalla Combinazione 1 (A1 + M1) in quanto risultate più gravose.

I valori $y_e N$ e $y_e M$ vengono divisi al fine di ricavare le azioni agenti sul singolo profilo.

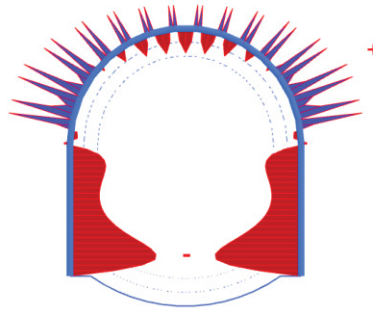


Axial forces N (scaled up 0,0100 times)

Maximum value = -29,23 kN/m (Element 54 at Node 19963)

Minimum value = -94,34 kN/m (Element 23 at Node 10456)

Figura 12 – Sforzo normale sulle centine



Bending moments M (scaled up 1,00 times)

Maximum value = 1,179 kN m/m (Element 20 at Node 18573)

Minimum value = -1,560 kN m/m (Element 43 at Node 14868)

Figura 13 – Momento flettente sulle centine

SEZIONE	N_{Ek} [kN]	M_{Ek} [kNm]	$N_{ed,centina}$ [kN]	$M_{ed,centina}$ [kNm]	$N_{pl,Rd}$ [kN]	$M_{pl,y,Rd}$ [kNm]	$M_{Ny,Rd}$ [kNm]	Resistenza sezione	k_y	Verifica stabilità
Piedritto DX	-81,650392	-1,5602518	-63,69	-1,22	570	34,0	46,8	0,000677	1,009	-0,148
Calotta	-94,343598	1,17934826	-73,59	0,92			47,5	0,000375	1,010	-0,102
Piedritto SX	-81,646287	-1,5595879	-63,68	-1,22			46,8	0,000677	1,009	-0,148

Tabella 7 Verifiche a pressoflessione per la centina – IPN 160

La verifica di resistenza nei confronti del taglio è stata svolta considerando la sola resistenza dell'anima:

A_v [mm]	V_{rd} [kN]	V_{sd} [kN]	F.S.
888,3	128	7,8	16,38

Tabella 8 Verifiche a taglio per la centina – IPN 160

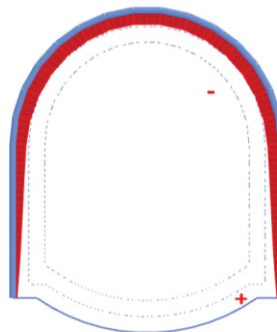
Successivamente è stato considerato il contributo dello spessore di spritz-beton.

E' stata calcolata l'area e il momento d'inerzia omogeneizzati della sezione mista acciaio-calcestruzzo; sono stati ricavati i valori di sforzo assiale e momento flettente in output dal software PLAXIS: in particolare è stata presa in considerazione la Combinazione 1 (A1 + M1) risultata la più gravosa in termini di sollecitazioni.

Si è accertato, in seguito, che i punti aventi le coordinate $\gamma_e N$, $\gamma_e M$ rappresentativi degli effetti delle azioni di calcolo (cioè delle azioni di servizio moltiplicate per i correlativi coefficienti parziali di sicurezza γ_e), appartengano al dominio resistente, delimitato dalla curva di interazione M-N costruita seguendo le istruzioni riportate.

Tale verifica viene condotta per le fase di piena maturazione del calcestruzzo e considerando le combinazioni MN agenti in tutti i plate del prerivestimento. Le azioni derivanti dalle analisi sono riportate in allegato. Si osserva infine che le verifiche agli stati limite di esercizio sono state omesse in quanto il prerivestimento è stato considerato come una struttura provvisoria.

9.3.4.1.2 Time 3 – Maturazione spritz-beton 28 gg – $R_{ck}=30$ MPa

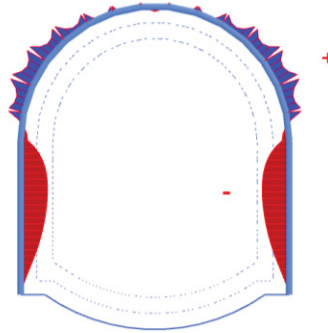


Axial forces N (scaled up $1,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = -65,55 kN/m (Element 54 at Node 19963)

Minimum value = -247,0 kN/m (Element 20 at Node 18572)

Figura 14 – Sforzo normale sul prerivestimento



Bending moments M (scaled up 0,0500 times)

Maximum value = 7,153 kN m/m (Element 20 at Node 18573)

Minimum value = -8,408 kN m/m (Element 50 at Node 19490)

Figura 15 – Momento flettente sul prerivestimento

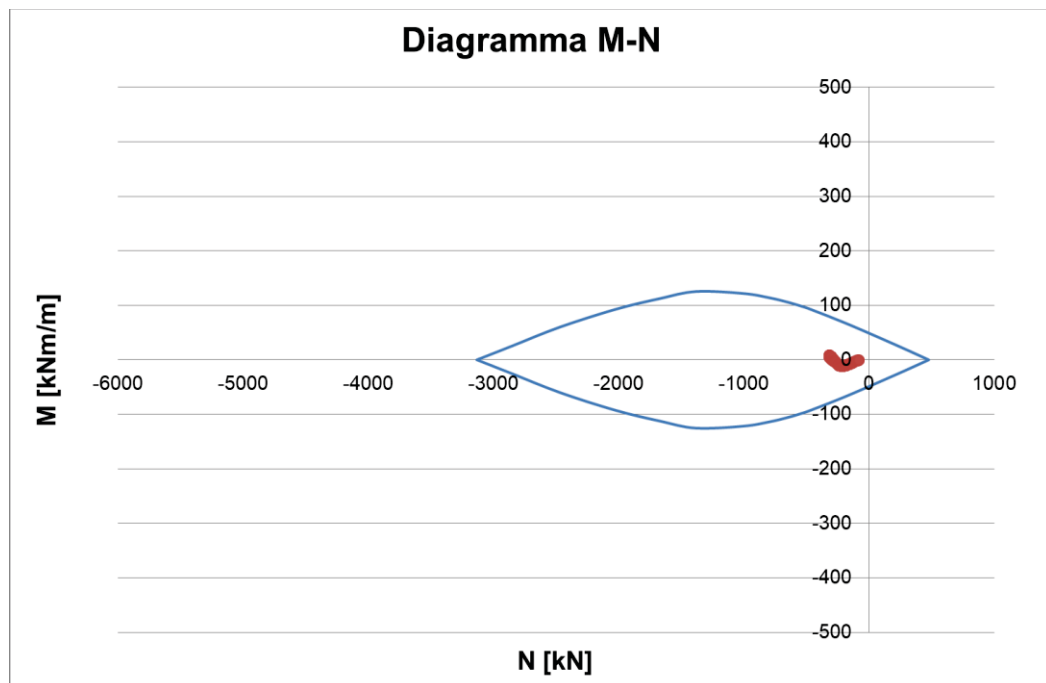


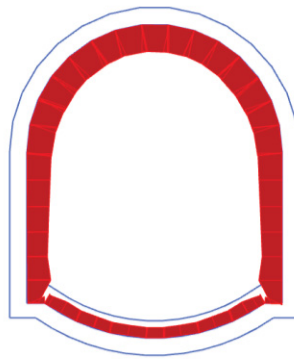
Figura 16 – Dominio M-N del prerivestimento

9.3.4.1.3 Time 5 – Rivestimento definitivo

Il rivestimento definitivo è stato verificato per la Time di calcolo di lungo termine, sia per quanto riguarda l'arco rovescio che per i piedritti e la calotta.

Nei calcoli sono state seguite le disposizioni riportate precedentemente; Le verifiche sono state condotte in ogni sezione del rivestimento riportando nel seguito le sole sezioni più sollecitate di calotta, piedritti e arco rovescio, con il tabulato completo presente in allegato.

Essendo previste ovunque sezioni non armate, vengono condotte le sole verifiche tensionali, verificando che le tensioni agenti nel rivestimento siano inferiori ai limiti descritti in precedenza.



Axial forces N (scaled up $1,00 \cdot 10^{-3}$ times)

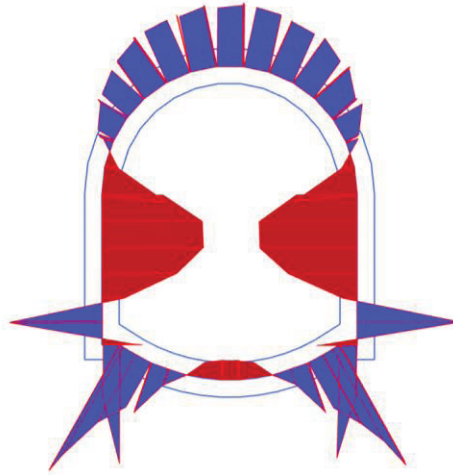
Maximum value = 19,05 kN/m

Minimum value = -418,4 kN/m

Figura 17 – Sforzo normale agente sul rivestimento definitivo a lungo termine

PROGETTO DEFINITIVO

Galleria S.Antonio - By pass - Relazione di calcolo



Bending moment M (scaled up 0,0500 times)

Maximum value = 41,70 kNm/m

Minimum value = -29,39 kNm/m

Figura 18 – Momento flettente agente sul rivestimento definitivo a lungo termine

VERIFICHE SEZIONE NON ARMATA												
ELEMENT	Height	Base	Ac	e	σcp	NEk	VEk	MEk	NRd	VRd	NRd/NEd	VRd,c/Ved
[m]	[m]	[m]	[m ²]	[m]	[MPa]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kN]	[kN]	[-]	[-]
CALOTTA	0,50	1,00	0,5	0,013	-1,14	-415	-73	-5	6710	460	12,45	4,85
PIEDRITTO SX	0,50	1,00	0,5	50,174	-1,15	-353	-87	18	5662	331	12,33	2,93
PIEDRITTO DX	0,50	1,00	0,5	48,949	-1,15	-355	-58	17	5696	398	12,34	5,26
ARCO ROVESCIO	0,50	1,00	0,5	141,92	-1,06	-176	-48	-25	3062	196	13,40	3,12

Tabella 9 Verifiche a pressoflessione e taglio nelle sezioni non armate

10.CONCLUSIONI

Oggetto della presente relazione tecnica e di calcolo sono state le verifiche statiche svolte per il dimensionamento e la verifica degli interventi previsti per la realizzazione del bypass carrabile della galleria S. Antonio, sia in termini di rivestimenti di prima fase che definitivi.

Le analisi numeriche hanno indagato le condizioni di stabilità del fronte. Sono state inoltre svolte, attraverso il codice di calcolo agli elementi finiti PLAXIS 2016, analisi di dettaglio in corrispondenza della sezione più rappresentativa in termini di copertura e caratterizzazione dell'ammasso roccioso. Per ogni caso le verifiche condotte hanno verificato l'adeguatezza statica delle soluzioni progettuali adottate.

11. ALLEGATI

11.1 PRERIVESTIMENTO (CENTINA + SPRITZ)

Structural element	Node	Local number	X [m]	Y [m]	N [kN/m]	Q [kN/m]	M [kN m/m]
Plate_9_1	15852	1	-2,20E-01	5,28E+02	-2,19E+02	-2,39E+01	1,23E+00
Element 1-1 (Plate)	15858	2	-1,10E-01	5,28E+02	-2,19E+02	-1,19E+01	-7,45E-01
(Centina + Spritz)	15857	3	-2,36E-15	5,28E+02	-2,19E+02	-2,15E-02	-1,41E+00
	15856	4	1,10E-01	5,28E+02	-2,19E+02	1,19E+01	-7,49E-01
	16852	5	2,20E-01	5,28E+02	-2,19E+02	2,40E+01	1,23E+00
Plate_8_1	14618	1	-6,49E-01	5,28E+02	-2,24E+02	-2,61E+01	2,08E+00
Element 2-2 (Plate)	14621	2	-5,42E-01	5,28E+02	-2,23E+02	-1,39E+01	-1,27E-01
(Centina + Spritz)	14620	3	-4,34E-01	5,28E+02	-2,22E+02	-1,89E+00	-1,00E+00
	14619	4	-3,27E-01	5,28E+02	-2,21E+02	1,01E+01	-5,44E-01
	15852	5	-2,20E-01	5,28E+02	-2,19E+02	2,21E+01	1,23E+00
Plate_10_1	16852	1	2,20E-01	5,28E+02	-2,19E+02	-2,21E+01	1,23E+00
Element 3-3 (Plate)	16855	2	3,27E-01	5,28E+02	-2,21E+02	-1,01E+01	-5,45E-01
(Centina + Spritz)	16854	3	4,34E-01	5,28E+02	-2,22E+02	1,90E+00	-9,99E-01
	16853	4	5,42E-01	5,28E+02	-2,23E+02	1,39E+01	-1,25E-01
	17568	5	6,49E-01	5,28E+02	-2,24E+02	2,61E+01	2,08E+00
Plate_7_1	13430	1	-1,05E+00	5,28E+02	-2,32E+02	-2,79E+01	3,60E+00
Element 4-4 (Plate)	13433	2	-9,50E-01	5,28E+02	-2,30E+02	-1,56E+01	1,20E+00
(Centina + Spritz)	13432	3	-8,49E-01	5,28E+02	-2,28E+02	-3,46E+00	1,45E-01
	13431	4	-7,49E-01	5,28E+02	-2,26E+02	8,73E+00	4,39E-01
	14618	5	-6,49E-01	5,28E+02	-2,24E+02	2,10E+01	2,08E+00
Plate_11_1	17568	1	6,49E-01	5,28E+02	-2,24E+02	-2,10E+01	2,08E+00
Element 5-5 (Plate)	17571	2	7,49E-01	5,28E+02	-2,26E+02	-8,71E+00	4,39E-01
(Centina + Spritz)	17570	3	8,49E-01	5,28E+02	-2,28E+02	3,49E+00	1,48E-01

PROGETTO DEFINITIVO

Galleria S.Antonio - By pass - Relazione di calcolo

	17569	4	9,50E-01	5,28E+02	-2,30E+02	1,56E+01	1,20E+00
	17591	5	1,05E+00	5,28E+02	-2,32E+02	2,78E+01	3,60E+00
Plate\ 6_1	13052	1	-1,41E+00	5,28E+02	-2,41E+02	-2,87E+01	5,42E+00
Element 9-9 (Plate)	13055	2	-1,32E+00	5,28E+02	-2,39E+02	-1,65E+01	2,93E+00
(Centina + Spritz)	13054	3	-1,23E+00	5,28E+02	-2,37E+02	-4,25E+00	1,78E+00
	13053	4	-1,14E+00	5,28E+02	-2,35E+02	8,18E+00	2,00E+00
	13430	5	-1,05E+00	5,28E+02	-2,33E+02	2,09E+01	3,60E+00
Plate\ 12_1	17591	1	1,05E+00	5,28E+02	-2,33E+02	-2,10E+01	3,60E+00
Element 10-10 (Plate)	17590	2	1,14E+00	5,28E+02	-2,35E+02	-8,15E+00	2,00E+00
(Centina + Spritz)	17589	3	1,23E+00	5,28E+02	-2,37E+02	4,32E+00	1,78E+00
	17588	4	1,32E+00	5,28E+02	-2,39E+02	1,65E+01	2,94E+00
	18307	5	1,41E+00	5,28E+02	-2,41E+02	2,85E+01	5,42E+00
Plate\ 5_1	11794	1	-1,70E+00	5,27E+02	-2,47E+02	-2,73E+01	6,91E+00
Element 15-15 (Plate)	11797	2	-1,63E+00	5,27E+02	-2,46E+02	-1,58E+01	4,53E+00
(Centina + Spritz)	11796	3	-1,55E+00	5,27E+02	-2,44E+02	-3,75E+00	3,45E+00
	11795	4	-1,48E+00	5,27E+02	-2,43E+02	8,80E+00	3,73E+00
	13052	5	-1,41E+00	5,28E+02	-2,42E+02	2,20E+01	5,42E+00
Plate\ 13_1	18307	1	1,41E+00	5,28E+02	-2,42E+02	-2,19E+01	5,42E+00
Element 16-16 (Plate)	18310	2	1,48E+00	5,27E+02	-2,43E+02	-8,80E+00	3,73E+00
(Centina + Spritz)	18309	3	1,55E+00	5,27E+02	-2,44E+02	3,74E+00	3,45E+00
	18308	4	1,63E+00	5,27E+02	-2,46E+02	1,58E+01	4,53E+00
	18572	5	1,70E+00	5,27E+02	-2,47E+02	2,74E+01	6,91E+00
Plate\ 4_1	10456	1	-1,92E+00	5,27E+02	-2,46E+02	-2,27E+01	7,15E+00
Element 19-19 (Plate)	10462	2	-1,86E+00	5,27E+02	-2,46E+02	-1,25E+01	5,20E+00
(Centina + Spritz)	10461	3	-1,81E+00	5,27E+02	-2,47E+02	-1,24E+00	4,43E+00
	10460	4	-1,75E+00	5,27E+02	-2,47E+02	1,11E+01	4,96E+00
	11794	5	-1,70E+00	5,27E+02	-2,47E+02	2,45E+01	6,91E+00
	18572	1	1,70E+00	5,27E+02	-2,47E+02	-2,45E+01	6,91E+00

PROGETTO DEFINITIVO

Galleria S.Antonio - By pass - Relazione di calcolo

Plate_14_1								
Element 20-20 (Plate)	18576	2	1,75E+00	5,27E+02	-2,47E+02	-1,11E+01	4,97E+00	
(Centina + Spritz)	18575	3	1,81E+00	5,27E+02	-2,47E+02	1,23E+00	4,43E+00	
	18574	4	1,86E+00	5,27E+02	-2,46E+02	1,25E+01	5,20E+00	
	18573	5	1,92E+00	5,27E+02	-2,46E+02	2,27E+01	7,15E+00	
Plate_3_1	10164	1	-2,05E+00	5,26E+02	-2,34E+02	-1,33E+01	4,77E+00	
Element 23-23 (Plate)	10160	2	-2,02E+00	5,26E+02	-2,37E+02	-5,36E+00	3,72E+00	
(Centina + Spritz)	10159	3	-1,99E+00	5,27E+02	-2,40E+02	4,26E+00	3,64E+00	
	10158	4	-1,95E+00	5,27E+02	-2,43E+02	1,56E+01	4,72E+00	
	10456	5	-1,92E+00	5,27E+02	-2,45E+02	2,88E+01	7,15E+00	
Plate_15_1	18573	1	1,92E+00	5,27E+02	-2,45E+02	-2,88E+01	7,15E+00	
Element 24-24 (Plate)	18561	2	1,95E+00	5,27E+02	-2,43E+02	-1,56E+01	4,72E+00	
(Centina + Spritz)	18560	3	1,99E+00	5,27E+02	-2,40E+02	-4,26E+00	3,64E+00	
	18559	4	2,02E+00	5,26E+02	-2,37E+02	5,35E+00	3,72E+00	
	18558	5	2,05E+00	5,26E+02	-2,34E+02	1,33E+01	4,77E+00	
Plate_2_1	10200	1	-2,10E+00	5,26E+02	-2,11E+02	1,99E+00	-2,21E+00	
Element 27-27 (Plate)	9995	2	-2,09E+00	5,26E+02	-2,16E+02	7,15E+00	-1,72E+00	
(Centina + Spritz)	9994	3	-2,08E+00	5,26E+02	-2,21E+02	1,44E+01	-5,64E-01	
	9993	4	-2,07E+00	5,26E+02	-2,27E+02	2,38E+01	1,52E+00	
	10164	5	-2,05E+00	5,26E+02	-2,32E+02	3,56E+01	4,77E+00	
Plate_16_1	18558	1	2,05E+00	5,26E+02	-2,32E+02	-3,56E+01	4,77E+00	
Element 28-28 (Plate)	18290	2	2,07E+00	5,26E+02	-2,27E+02	-2,38E+01	1,52E+00	
(Centina + Spritz)	18289	3	2,08E+00	5,26E+02	-2,21E+02	-1,44E+01	-5,65E-01	
	18288	4	2,09E+00	5,26E+02	-2,16E+02	-7,16E+00	-1,73E+00	
	18287	5	2,10E+00	5,26E+02	-2,11E+02	-1,99E+00	-2,21E+00	
Plate_1_1	14868	1	-2,10E+00	5,24E+02	-9,84E+01	-8,52E+00	-2,72E+00	
Element 33-44 (Plate)	14425	2	-2,10E+00	5,24E+02	-1,06E+02	-8,14E+00	-3,56E+00	

PROGETTO DEFINITIVO

Galleria S.Antonio - By pass - Relazione di calcolo

(Centina + Spritz)	14424	3	-2,10E+00	5,24E+02	-1,12E+02	-7,57E+00	-4,34E+00
	14423	4	-2,10E+00	5,24E+02	-1,19E+02	-6,87E+00	-5,07E+00
	14422	5	-2,10E+00	5,24E+02	-1,24E+02	-6,10E+00	-5,71E+00
Plate_1_1	14422	1	-2,10E+00	5,24E+02	-1,24E+02	-6,12E+00	-5,71E+00
Element 33-45 (Plate)	13045	2	-2,10E+00	5,24E+02	-1,30E+02	-5,41E+00	-6,29E+00
(Centina + Spritz)	13044	3	-2,10E+00	5,25E+02	-1,35E+02	-4,72E+00	-6,79E+00
	13043	4	-2,10E+00	5,25E+02	-1,40E+02	-4,05E+00	-7,23E+00
	13042	5	-2,10E+00	5,25E+02	-1,45E+02	-3,39E+00	-7,60E+00
Plate_1_1	13042	1	-2,10E+00	5,25E+02	-1,45E+02	-3,38E+00	-7,60E+00
Element 33-46 (Plate)	11827	2	-2,10E+00	5,25E+02	-1,50E+02	-2,73E+00	-7,91E+00
(Centina + Spritz)	11826	3	-2,10E+00	5,25E+02	-1,55E+02	-2,02E+00	-8,15E+00
	11825	4	-2,10E+00	5,25E+02	-1,60E+02	-1,25E+00	-8,31E+00
	11824	5	-2,10E+00	5,25E+02	-1,65E+02	-3,95E-01	-8,39E+00
Plate_1_1	14882	1	-2,10E+00	5,24E+02	-6,65E+01	-4,72E+00	-6,16E-03
Element 33-43 (Plate)	14871	2	-2,10E+00	5,24E+02	-7,45E+01	-5,78E+00	-5,45E-01
(Centina + Spritz)	14870	3	-2,10E+00	5,24E+02	-8,25E+01	-6,73E+00	-1,18E+00
	14869	4	-2,10E+00	5,24E+02	-9,05E+01	-7,64E+00	-1,91E+00
	14868	5	-2,10E+00	5,24E+02	-9,84E+01	-8,60E+00	-2,72E+00
Plate_1_1	11824	1	-2,10E+00	5,25E+02	-1,65E+02	-3,45E-01	-8,39E+00
Element 33-47 (Plate)	10482	2	-2,10E+00	5,25E+02	-1,70E+02	6,54E-01	-8,38E+00
(Centina + Spritz)	10481	3	-2,10E+00	5,25E+02	-1,75E+02	1,98E+00	-8,25E+00
	10480	4	-2,10E+00	5,25E+02	-1,81E+02	3,66E+00	-7,97E+00
	10476	5	-2,10E+00	5,26E+02	-1,86E+02	5,75E+00	-7,51E+00
Plate_1_1	10476	1	-2,10E+00	5,26E+02	-1,86E+02	5,90E+00	-7,51E+00
Element 33-48 (Plate)	10203	2	-2,10E+00	5,26E+02	-1,92E+02	8,59E+00	-6,79E+00
(Centina + Spritz)	10202	3	-2,10E+00	5,26E+02	-1,97E+02	1,24E+01	-5,75E+00
	10201	4	-2,10E+00	5,26E+02	-2,03E+02	1,74E+01	-4,26E+00

PROGETTO DEFINITIVO

Galleria S.Antonio - By pass - Relazione di calcolo

	10200	5	-2,10E+00	5,26E+02	-2,09E+02	2,38E+01	-2,21E+00
Plate_17_1	18287	1	2,10E+00	5,26E+02	-2,09E+02	-2,38E+01	-2,21E+00
Element 34-49 (Plate)	18270	2	2,10E+00	5,26E+02	-2,03E+02	-1,74E+01	-4,27E+00
(Centina + Spritz)	18269	3	2,10E+00	5,26E+02	-1,97E+02	-1,24E+01	-5,75E+00
	18268	4	2,10E+00	5,26E+02	-1,92E+02	-8,60E+00	-6,80E+00
	18866	5	2,10E+00	5,26E+02	-1,86E+02	-5,90E+00	-7,51E+00
Plate_17_1	18866	1	2,10E+00	5,26E+02	-1,86E+02	-5,77E+00	-7,51E+00
Element 34-50 (Plate)	18869	2	2,10E+00	5,25E+02	-1,81E+02	-3,68E+00	-7,98E+00
(Centina + Spritz)	18868	3	2,10E+00	5,25E+02	-1,75E+02	-1,99E+00	-8,26E+00
	18867	4	2,10E+00	5,25E+02	-1,70E+02	-6,72E-01	-8,39E+00
	19490	5	2,10E+00	5,25E+02	-1,65E+02	3,26E-01	-8,41E+00
Plate_17_1	19490	1	2,10E+00	5,25E+02	-1,65E+02	3,76E-01	-8,41E+00
Element 34-51 (Plate)	19493	2	2,10E+00	5,25E+02	-1,60E+02	1,23E+00	-8,33E+00
(Centina + Spritz)	19492	3	2,10E+00	5,25E+02	-1,55E+02	2,00E+00	-8,16E+00
	19491	4	2,10E+00	5,25E+02	-1,50E+02	2,70E+00	-7,93E+00
	19742	5	2,10E+00	5,25E+02	-1,45E+02	3,34E+00	-7,63E+00
Plate_17_1	19742	1	2,10E+00	5,25E+02	-1,45E+02	3,36E+00	-7,63E+00
Element 34-52 (Plate)	19745	2	2,10E+00	5,25E+02	-1,40E+02	4,01E+00	-7,26E+00
(Centina + Spritz)	19744	3	2,10E+00	5,25E+02	-1,35E+02	4,68E+00	-6,83E+00
	19743	4	2,10E+00	5,24E+02	-1,30E+02	5,36E+00	-6,32E+00
	19759	5	2,10E+00	5,24E+02	-1,24E+02	6,06E+00	-5,75E+00
Plate_17_1	19759	1	2,10E+00	5,24E+02	-1,24E+02	6,03E+00	-5,76E+00
Element 34-53 (Plate)	19758	2	2,10E+00	5,24E+02	-1,18E+02	6,81E+00	-5,12E+00
(Centina + Spritz)	19757	3	2,10E+00	5,24E+02	-1,12E+02	7,48E+00	-4,40E+00
	19756	4	2,10E+00	5,24E+02	-1,05E+02	8,00E+00	-3,63E+00
	19948	5	2,10E+00	5,24E+02	-9,78E+01	8,29E+00	-2,81E+00
Plate_17_1	19948	1	2,10E+00	5,24E+02	-9,78E+01	7,81E+00	-2,81E+00

PROGETTO DEFINITIVO

Galleria S.Antonio - By pass - Relazione di calcolo

Element 34-54 (Plate)	19951	2	2,10E+00	5,24E+02	-8,96E+01	8,05E+00	-2,00E+00
(Centina + Spritz)	19950	3	2,10E+00	5,24E+02	-8,15E+01	7,41E+00	-1,22E+00
	19949	4	2,10E+00	5,24E+02	-7,35E+01	6,03E+00	-5,26E-01
	19963	5	2,10E+00	5,24E+02	-6,55E+01	4,07E+00	-5,87E-03

11.2 RIVESTIMENTO DEFINITIVO

INPUT PLAXIS						Loads			Geometry		AXIAL FORCE AND BENDING MOMENT CHECK	
Element	Zone	Height	NEk	VEk	MEk	Ned	Ved	Med	e	b	NRd	NRd/NEd
-	-	[mm]	[KN]	[KN]	[KNm]	[KN]	[KN]	[KNm]	[mm]	[mm]	[KN]	[-]
CALOTTA	379	500,000	-362	26	17	-470	34	22	47,2721	1000	5744	12,2
CALOTTA	380	500,000	-380	72	4	-494	93	5	9,4227	1000	6816	13,8
CALOTTA	381	500,000	-380	72	4	-494	93	5	9,4227	1000	6816	13,8
CALOTTA	382	500,000	-383	75	4	-498	97	5	9,6257	1000	6811	13,7
CALOTTA	383	500,000	-386	-3	4	-502	-4	6	11,4126	1000	6760	13,5
CALOTTA	384	500,000	-401	52	-3	-522	68	-4	6,9822	1000	6886	13,2
CALOTTA	385	500,000	-401	52	-3	-522	68	-4	6,9822	1000	6886	13,2
CALOTTA	386	500,000	-407	54	-4	-530	70	-5	9,9648	1000	6801	12,8
CALOTTA	387	500,000	-407	54	-4	-530	70	-5	9,9648	1000	6801	12,8
CALOTTA	388	500,000	-410	57	-4	-532	74	-5	9,9180	1000	6802	12,8
CALOTTA	389	500,000	-410	57	-4	-532	74	-5	9,9180	1000	6802	12,8
CALOTTA	390	500,000	-404	62	-5	-526	81	-7	12,7314	1000	6723	12,8
CALOTTA	391	500,000	-415	-11	-5	-539	-14	-7	13,1738	1000	6710	12,4
CALOTTA	392	500,000	-407	49	-9	-530	63	-12	22,5344	1000	6445	12,2
CALOTTA	393	500,000	-412	-30	-9	-535	-39	-12	22,6734	1000	6441	12,0

PROGETTO DEFINITIVO

Galleria S.Antonio - By pass - Relazione di calcolo

CALOTTA	394	500,000	-412	-29	-10	-535	-38	-12	23,1699	1000	6427	12,0
CALOTTA	395	500,000	-412	-29	-10	-535	-38	-12	23,1699	1000	6427	12,0
CALOTTA	396	500,000	-411	44	-13	-535	57	-17	32,2249	1000	6170	11,5
CALOTTA	397	500,000	-411	44	-13	-535	57	-17	32,2249	1000	6170	11,5
CALOTTA	398	500,000	-412	44	-13	-536	58	-17	32,3743	1000	6166	11,5
CALOTTA	399	500,000	-412	44	-13	-536	58	-17	32,3743	1000	6166	11,5
CALOTTA	400	500,000	-411	46	-13	-534	60	-17	31,9300	1000	6179	11,6
CALOTTA	401	500,000	-405	-33	-13	-527	-43	-17	31,6764	1000	6186	11,7
CALOTTA	402	500,000	-406	38	-16	-528	50	-21	39,8917	1000	5953	11,3
CALOTTA	403	500,000	-406	38	-16	-528	50	-21	39,8917	1000	5953	11,3
CALOTTA	404	500,000	-407	39	-16	-529	50	-21	39,9908	1000	5950	11,3
CALOTTA	405	500,000	-407	39	-16	-529	50	-21	39,9908	1000	5950	11,3
CALOTTA	406	500,000	-406	39	-16	-528	51	-21	39,8982	1000	5953	11,3
CALOTTA	407	500,000	-406	39	-16	-528	51	-21	39,8982	1000	5953	11,3
CALOTTA	408	500,000	-405	40	-16	-526	52	-21	39,3245	1000	5969	11,3
CALOTTA	409	500,000	-398	-37	-16	-517	-48	-20	39,5121	1000	5964	11,5
CALOTTA	410	500,000	-394	36	-17	-512	47	-22	42,2700	1000	5886	11,5
CALOTTA	411	500,000	-394	36	-17	-512	47	-22	42,2700	1000	5886	11,5
CALOTTA	412	500,000	-393	37	-17	-511	48	-22	42,1875	1000	5888	11,5
CALOTTA	413	500,000	-390	-39	-17	-507	-51	-22	42,4111	1000	5882	11,6
CALOTTA	414	500,000	-392	36	-18	-510	47	-23	45,6887	1000	5789	11,4
CALOTTA	415	500,000	-392	36	-18	-510	47	-23	45,6887	1000	5789	11,4
CALOTTA	416	500,000	-393	37	-18	-511	48	-23	45,8117	1000	5785	11,3
CALOTTA	417	500,000	-393	37	-18	-511	48	-23	45,8117	1000	5785	11,3
CALOTTA	418	500,000	-391	39	-18	-509	50	-23	45,2167	1000	5802	11,4
CALOTTA	419	500,000	-384	-35	-17	-500	-46	-22	44,5288	1000	5822	11,7
CALOTTA	444	500,000	-394	37	-18	-512	48	-24	46,6059	1000	5763	11,3

PROGETTO DEFINITIVO

Galleria S.Antonio - By pass - Relazione di calcolo

CALOTTA	445	500,000	-394	37	-18	-512	48	-24	46,6059	1000	5763	11,3
CALOTTA	446	500,000	-394	38	-18	-512	50	-24	46,6268	1000	5762	11,2
CALOTTA	447	500,000	-394	38	-18	-512	50	-24	46,6268	1000	5762	11,2
CALOTTA	448	500,000	-394	39	-18	-512	50	-24	46,5195	1000	5765	11,3
CALOTTA	449	500,000	-394	39	-18	-512	50	-24	46,5195	1000	5765	11,3
CALOTTA	450	500,000	-392	40	-18	-509	51	-23	45,9502	1000	5781	11,4
CALOTTA	451	500,000	-386	-39	-17	-502	-51	-23	44,9979	1000	5808	11,6
CALOTTA	452	500,000	-398	34	-17	-517	45	-22	41,6367	1000	5904	11,4
CALOTTA	453	500,000	-398	34	-17	-517	45	-22	41,6367	1000	5904	11,4
CALOTTA	454	500,000	-398	40	-17	-517	52	-23	43,6732	1000	5846	11,3
CALOTTA	455	500,000	-394	-32	-16	-512	-41	-21	41,2433	1000	5915	11,6
CALOTTA	456	500,000	-395	35	-15	-514	46	-20	38,3182	1000	5998	11,7
CALOTTA	457	500,000	-404	-41	-16	-525	-54	-20	38,5663	1000	5991	11,4
CALOTTA	458	500,000	-406	-39	-16	-528	-50	-21	39,3690	1000	5968	11,3
CALOTTA	459	500,000	-406	-39	-16	-528	-50	-21	39,3690	1000	5968	11,3
CALOTTA	460	500,000	-407	-38	-16	-529	-49	-21	39,4991	1000	5964	11,3
CALOTTA	461	500,000	-407	-38	-16	-529	-49	-21	39,4991	1000	5964	11,3
CALOTTA	462	500,000	-413	36	-14	-537	47	-18	33,4843	1000	6135	11,4
CALOTTA	463	500,000	-413	36	-14	-537	47	-18	33,4843	1000	6135	11,4
CALOTTA	464	500,000	-414	37	-14	-538	48	-18	33,5267	1000	6133	11,4
CALOTTA	465	500,000	-414	37	-14	-538	48	-18	33,5267	1000	6133	11,4
CALOTTA	466	500,000	-414	38	-14	-538	49	-18	33,2897	1000	6140	11,4
CALOTTA	467	500,000	-414	38	-14	-538	49	-18	33,2897	1000	6140	11,4
CALOTTA	468	500,000	-411	38	-13	-535	50	-17	32,2175	1000	6171	11,5
CALOTTA	469	500,000	-406	-41	-13	-528	-53	-17	31,5034	1000	6191	11,7
CALOTTA	470	500,000	-411	27	-10	-534	35	-12	23,2774	1000	6424	12,0
CALOTTA	471	500,000	-410	-55	-10	-533	-72	-12	23,3245	1000	6422	12,1

PROGETTO DEFINITIVO

Galleria S.Antonio - By pass - Relazione di calcolo

CALOTTA	472	500,000	-410	-55	-10	-533	-71	-12	23,3785	1000	6421	12,0
CALOTTA	473	500,000	-410	-55	-10	-533	-71	-12	23,3785	1000	6421	12,0
CALOTTA	474	500,000	-410	-55	-10	-533	-71	-12	23,3462	1000	6422	12,0
CALOTTA	475	500,000	-410	-55	-10	-533	-71	-12	23,3462	1000	6422	12,0
CALOTTA	476	500,000	-412	14	-4	-535	19	-5	9,8163	1000	6805	12,7
CALOTTA	477	500,000	-412	14	-4	-535	19	-5	9,8163	1000	6805	12,7
CALOTTA	478	500,000	-413	15	-4	-537	19	-5	9,6433	1000	6810	12,7
CALOTTA	479	500,000	-413	15	-4	-537	19	-5	9,6433	1000	6810	12,7
CALOTTA	480	500,000	-411	17	-4	-534	22	-5	8,5645	1000	6841	12,8
CALOTTA	481	500,000	-401	-59	-4	-521	-77	-5	9,0871	1000	6826	13,1
CALOTTA	482	500,000	-388	-2	4	-505	-2	6	11,2041	1000	6766	13,4
CALOTTA	483	500,000	-388	-2	4	-505	-2	6	11,2041	1000	6766	13,4
CALOTTA	484	500,000	-390	-2	5	-507	-2	6	12,4222	1000	6731	13,3
CALOTTA	485	500,000	-377	-73	4	-490	-95	5	10,7157	1000	6780	13,8
CALOTTA	486	500,000	-358	-24	18	-465	-31	23	49,5631	1000	5679	12,2
PIEDRITTO SX	487	500,000	-353	55	18	-459	72	23	50,1744	1000	5662	12,3
PIEDRITTO SX	488	500,000	-336	24	28	-437	31	37	84,6111	1000	4686	10,7
PIEDRITTO SX	489	500,000	-336	24	28	-437	31	37	84,6111	1000	4686	10,7
PIEDRITTO SX	490	500,000	-319	4	28	-414	5	37	88,4095	1000	4578	11,1
PIEDRITTO SX	491	500,000	-319	4	28	-414	5	37	88,4095	1000	4578	11,1
PIEDRITTO SX	492	500,000	-304	-14	20	-396	-18	26	65,3874	1000	5231	13,2
PIEDRITTO SX	493	500,000	-304	-14	20	-396	-18	26	65,3874	1000	5231	13,2
PIEDRITTO SX	494	500,000	-290	-32	4	-377	-42	5	14,0008	1000	6687	17,7
PIEDRITTO SX	495	500,000	-290	-32	4	-377	-42	5	14,0008	1000	6687	17,7
PIEDRITTO SX	496	500,000	-339	-84	-30	-441	-109	-39	89,0694	1000	4560	10,3
PIEDRITTO SX	497	500,000	-339	-84	-30	-441	-109	-39	89,0694	1000	4560	10,3

PROGETTO DEFINITIVO

Galleria S.Antonio - By pass - Relazione di calcolo

PIEDRITTO SX	498	500,000	-304	-87	-26	-396	-113	-34	84,8828	1000	4678	11,8
PIEDRITTO DX	499	500,000	-355	-58	17	-461	-76	23	48,9492	1000	5696	12,3
PIEDRITTO DX	500	500,000	-353	-57	17	-459	-74	23	49,0119	1000	5695	12,4
PIEDRITTO DX	501	500,000	-353	-57	17	-459	-74	23	49,0119	1000	5695	12,4
PIEDRITTO DX	502	500,000	-353	-56	17	-459	-73	23	49,0372	1000	5694	12,4
PIEDRITTO DX	503	500,000	-353	-56	17	-459	-73	23	49,0372	1000	5694	12,4
PIEDRITTO DX	504	500,000	-353	-57	17	-459	-74	23	49,0755	1000	5693	12,4
PIEDRITTO DX	505	500,000	-353	-57	17	-459	-74	23	49,0755	1000	5693	12,4
PIEDRITTO DX	506	500,000	-336	-24	29	-436	-31	37	84,9376	1000	4677	10,7
PIEDRITTO DX	507	500,000	-336	-24	29	-436	-31	37	84,9376	1000	4677	10,7
PIEDRITTO DX	508	500,000	-336	-24	29	-436	-31	37	84,9505	1000	4676	10,7
PIEDRITTO DX	509	500,000	-336	-24	29	-436	-31	37	84,9505	1000	4676	10,7
PIEDRITTO DX	510	500,000	-319	-4	28	-414	-5	37	88,6340	1000	4572	11,0
PIEDRITTO DX	511	500,000	-319	-4	28	-414	-5	37	88,6340	1000	4572	11,0
PIEDRITTO DX	512	500,000	-319	-4	28	-414	-5	37	88,6279	1000	4572	11,0
PIEDRITTO DX	513	500,000	-319	-4	28	-414	-5	37	88,6279	1000	4572	11,0
PIEDRITTO DX	514	500,000	-304	14	20	-396	18	26	65,6761	1000	5223	13,2
PIEDRITTO DX	515	500,000	-304	14	20	-396	18	26	65,6761	1000	5223	13,2
PIEDRITTO DX	516	500,000	-304	14	20	-396	18	26	65,6594	1000	5223	13,2
PIEDRITTO DX	517	500,000	-304	14	20	-396	18	26	65,6594	1000	5223	13,2
PIEDRITTO DX	518	500,000	-290	32	4	-377	42	5	14,0976	1000	6684	17,7
PIEDRITTO DX	519	500,000	-290	32	4	-377	42	5	14,0976	1000	6684	17,7
PIEDRITTO DX	520	500,000	-290	32	4	-377	42	5	14,0822	1000	6684	17,7
PIEDRITTO DX	521	500,000	-290	32	4	-377	42	5	14,0822	1000	6684	17,7

PROGETTO DEFINITIVO

Galleria S.Antonio - By pass - Relazione di calcolo

PIEDRITTO DX	522	500,000	-337	84	-30	-439	110	-39	88,9528	1000	4563	10,4
PIEDRITTO DX	523	500,000	-337	84	-30	-439	110	-39	88,9528	1000	4563	10,4
PIEDRITTO DX	524	500,000	-337	84	-30	-439	110	-39	88,9539	1000	4563	10,4
PIEDRITTO DX	525	500,000	-337	84	-30	-439	110	-39	88,9539	1000	4563	10,4
PIEDRITTO DX	526	500,000	-299	79	-25	-389	103	-33	84,1717	1000	4698	12,1
ARCO ROVESCIO	527	500,000	-170	49	-26	-222	64	-33	150,2267	1000	2827	12,8
ARCO ROVESCIO	528	500,000	-174	46	-25	-226	60	-33	143,7446	1000	3011	13,3
ARCO ROVESCIO	529	500,000	-174	46	-25	-226	60	-33	143,7446	1000	3011	13,3
ARCO ROVESCIO	530	500,000	-168	25	-15	-218	33	-19	87,3511	1000	4608	21,1
ARCO ROVESCIO	531	500,000	-166	39	-15	-216	51	-20	90,4980	1000	4519	20,9
ARCO ROVESCIO	532	500,000	-168	38	-15	-218	49	-19	89,0809	1000	4559	20,9
ARCO ROVESCIO	533	500,000	-168	38	-15	-218	49	-19	89,0809	1000	4559	20,9
ARCO ROVESCIO	534	500,000	-168	38	-15	-218	49	-19	88,9684	1000	4563	20,9
ARCO ROVESCIO	535	500,000	-168	38	-15	-218	49	-19	88,9684	1000	4563	20,9
ARCO ROVESCIO	536	500,000	-168	38	-15	-218	50	-19	88,9465	1000	4563	20,9
ARCO ROVESCIO	537	500,000	-168	38	-15	-218	50	-19	88,9465	1000	4563	20,9
ARCO ROVESCIO	538	500,000	-162	20	-6	-210	26	-8	40,1092	1000	5947	28,3
ARCO ROVESCIO	539	500,000	-160	32	-7	-208	42	-9	42,0919	1000	5891	28,3
ARCO ROVESCIO	540	500,000	-161	31	-7	-210	40	-9	40,6902	1000	5930	28,3
ARCO ROVESCIO	541	500,000	-161	31	-7	-210	40	-9	40,6902	1000	5930	28,3
ARCO ROVESCIO	542	500,000	-161	31	-7	-209	40	-9	40,6190	1000	5932	28,3
ARCO ROVESCIO	543	500,000	-161	31	-7	-209	40	-9	40,6190	1000	5932	28,3
ARCO ROVESCIO	544	500,000	-157	11	0	-204	14	-1	2,5549	1000	7011	34,4
ARCO ROVESCIO	545	500,000	-156	24	-1	-203	31	-1	3,2207	1000	6992	34,5

PROGETTO DEFINITIVO

Galleria S.Antonio - By pass - Relazione di calcolo

ARCO ROVESCIO	546	500,000	-156	23	0	-203	30	-1	3,0236	1000	6998	34,5
ARCO ROVESCIO	547	500,000	-156	23	0	-203	30	-1	3,0236	1000	6998	34,5
ARCO ROVESCIO	548	500,000	-156	23	0	-203	30	-1	3,0101	1000	6998	34,5
ARCO ROVESCIO	549	500,000	-156	23	0	-203	30	-1	3,0101	1000	6998	34,5
ARCO ROVESCIO	550	500,000	-153	5	3	-199	6	4	22,4796	1000	6446	32,5
ARCO ROVESCIO	551	500,000	-152	17	3	-198	22	4	22,7339	1000	6439	32,5
ARCO ROVESCIO	552	500,000	-152	16	3	-197	21	5	22,8190	1000	6437	32,6
ARCO ROVESCIO	553	500,000	-152	16	3	-197	21	5	22,8190	1000	6437	32,6
ARCO ROVESCIO	554	500,000	-152	-2	5	-198	-3	7	35,8313	1000	6068	30,7
ARCO ROVESCIO	555	500,000	-152	10	6	-198	13	7	37,0052	1000	6035	30,5
ARCO ROVESCIO	556	500,000	-151	9	6	-197	12	7	36,8421	1000	6039	30,7
ARCO ROVESCIO	557	500,000	-151	9	6	-197	12	7	36,8421	1000	6039	30,7
ARCO ROVESCIO	558	500,000	-151	9	6	-197	12	7	36,8457	1000	6039	30,7
ARCO ROVESCIO	559	500,000	-151	9	6	-197	12	7	36,8457	1000	6039	30,7
ARCO ROVESCIO	560	500,000	-152	9	6	-197	12	7	36,7795	1000	6041	30,7
ARCO ROVESCIO	561	500,000	-152	9	6	-197	12	7	36,7795	1000	6041	30,7
ARCO ROVESCIO	562	500,000	-150	-10	5	-195	-12	7	36,0467	1000	6062	31,0
ARCO ROVESCIO	563	500,000	-151	3	5	-196	4	7	35,9957	1000	6063	31,0
ARCO ROVESCIO	564	500,000	-150	3	5	-196	4	7	35,9889	1000	6064	31,0
ARCO ROVESCIO	565	500,000	-150	3	5	-196	4	7	35,9889	1000	6064	31,0
ARCO ROVESCIO	566	500,000	-151	3	5	-196	4	7	35,9809	1000	6064	31,0
ARCO ROVESCIO	567	500,000	-151	3	5	-196	4	7	35,9809	1000	6064	31,0
ARCO ROVESCIO	568	500,000	-152	-16	4	-198	-20	5	23,9907	1000	6404	32,3
ARCO ROVESCIO	569	500,000	-152	-16	4	-198	-20	5	23,9907	1000	6404	32,3

PROGETTO DEFINITIVO

Galleria S.Antonio - By pass - Relazione di calcolo

ARCO ROVESCIO	570	500,000	-153	-17	3	-199	-22	4	22,2021	1000	6454	32,5
ARCO ROVESCIO	571	500,000	-153	-5	3	-199	-6	5	22,6833	1000	6441	32,4
ARCO ROVESCIO	572	500,000	-156	-23	0	-203	-30	-1	2,8654	1000	7002	34,5
ARCO ROVESCIO	573	500,000	-156	-23	0	-203	-30	-1	2,8654	1000	7002	34,5
ARCO ROVESCIO	574	500,000	-156	-23	0	-203	-30	-1	2,9157	1000	7001	34,6
ARCO ROVESCIO	575	500,000	-156	-23	0	-203	-30	-1	2,9157	1000	7001	34,6
ARCO ROVESCIO	576	500,000	-156	-23	0	-203	-30	-1	2,9955	1000	6998	34,5
ARCO ROVESCIO	577	500,000	-156	-23	0	-203	-30	-1	2,9955	1000	6998	34,5
ARCO ROVESCIO	578	500,000	-156	-25	-1	-203	-32	-1	3,7552	1000	6977	34,4
ARCO ROVESCIO	579	500,000	-157	-13	-1	-204	-17	-1	3,4045	1000	6987	34,3
ARCO ROVESCIO	580	500,000	-157	-12	-1	-204	-16	-1	4,0966	1000	6967	34,1
ARCO ROVESCIO	581	500,000	-157	-12	-1	-204	-16	-1	4,0607	1000	6968	34,1
ARCO ROVESCIO	582	500,000	-160	-30	-6	-208	-39	-8	40,2285	1000	5944	28,6
ARCO ROVESCIO	583	500,000	-160	-30	-6	-208	-39	-8	40,2285	1000	5944	28,6
ARCO ROVESCIO	584	500,000	-160	-32	-7	-207	-42	-9	42,1199	1000	5890	28,4
ARCO ROVESCIO	585	500,000	-161	-20	-6	-209	-26	-8	40,0026	1000	5950	28,5
ARCO ROVESCIO	586	500,000	-167	-38	-15	-217	-50	-19	86,8311	1000	4623	21,3
ARCO ROVESCIO	587	500,000	-168	-23	-14	-219	-30	-19	84,7204	1000	4683	21,4
ARCO ROVESCIO	588	500,000	-169	-24	-15	-220	-31	-19	86,2489	1000	4640	21,1
ARCO ROVESCIO	589	500,000	-169	-24	-15	-220	-31	-19	86,2489	1000	4640	21,1
ARCO ROVESCIO	590	500,000	-170	-23	-15	-220	-30	-19	86,0397	1000	4646	21,1
ARCO ROVESCIO	591	500,000	-170	-23	-15	-220	-30	-19	86,0397	1000	4646	21,1
ARCO ROVESCIO	592	500,000	-174	-47	-25	-227	-62	-32	142,0293	1000	3059	13,5
ARCO ROVESCIO	593	500,000	-174	-47	-25	-227	-62	-32	142,0293	1000	3059	13,5

PROGETTO DEFINITIVO

Galleria S.Antonio - By pass - Relazione di calcolo

ARCO ROVESCIO	594	500,000	-176	-46	-25	-229	-60	-32	141,9212	1000	3062	13,4
ARCO ROVESCIO	595	500,000	-176	-46	-25	-229	-60	-32	141,9212	1000	3062	13,4
ARCO ROVESCIO	596	500,000	-173	-48	-26	-225	-63	-34	150,6970	1000	2814	12,5
ARCO ROVESCIO	597	500,000	-175	-33	-26	-228	-43	-34	149,8109	1000	2839	12,5
ARCO ROVESCIO	598	500,000	-175	-34	-26	-227	-44	-34	151,4506	1000	2792	12,3

SHEAR CHECK FOR MEMBERS NOT REQUIRING DESIGN SHEAR REINFORCEMENT								
Element	b	Height	δ	fcvd 1	fcvd 2	ocp	VRd	VRd,c/Ved
-	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[KN]	[-]
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	402,3	11,7
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,3	1,4	#NUM!	-1,0	462,7	5,0
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,3	1,4	#NUM!	-1,0	462,7	5,0
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,3	1,4	#NUM!	-1,0	463,1	4,8
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,3	1,5	#NUM!	-1,1	461,7	114,3
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	472,6	7,0
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	472,6	7,0
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	470,1	6,7
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	470,1	6,7
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	470,8	6,3
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	470,8	6,3
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	465,2	5,8
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	467,6	32,6
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	451,9	7,1
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	453,0	11,7
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	452,2	11,9

PROGETTO DEFINITIVO

Galleria S.Antonio - By pass - Relazione di calcolo

CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	452,2	11,9
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	438,9	7,7
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	438,9	7,7
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	438,9	7,6
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	438,9	7,6
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	439,1	7,4
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	437,8	10,1
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,0	1,5	#NUM!	-1,3	426,0	8,6
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,0	1,5	#NUM!	-1,3	426,0	8,6
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,0	1,5	#NUM!	-1,3	426,1	8,4
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,0	1,5	#NUM!	-1,3	426,1	8,4
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,0	1,5	#NUM!	-1,3	426,1	8,4
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,0	1,5	#NUM!	-1,3	426,1	8,4
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	426,5	8,1
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	424,2	8,9
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	419,0	8,9
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	419,0	8,9
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	419,0	8,8
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	417,7	8,2
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	413,6	8,8
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	413,6	8,8
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,3	413,7	8,6
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,3	413,7	8,6
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	414,0	8,2
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	413,0	9,1
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,0	1,5	#NUM!	-1,3	412,6	8,5
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,0	1,5	#NUM!	-1,3	412,6	8,5

PROGETTO DEFINITIVO

Galleria S.Antonio - By pass - Relazione di calcolo

CALOTTA	1000,0	500,000	-5,0	1,5	#NUM!	-1,3	412,8	8,3
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,0	1,5	#NUM!	-1,3	412,8	8,3
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,0	1,5	#NUM!	-1,3	412,8	8,2
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,0	1,5	#NUM!	-1,3	412,8	8,2
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	413,0	8,0
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	412,7	8,1
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	421,2	9,4
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	421,2	9,4
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,3	418,2	8,1
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	420,5	10,2
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	425,2	9,3
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	427,3	8,0
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,3	427,0	8,5
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,3	427,0	8,5
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,0	1,5	#NUM!	-1,3	427,0	8,7
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,0	1,5	#NUM!	-1,3	427,0	8,7
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	437,5	9,3
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	437,5	9,3
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	437,8	9,1
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	437,8	9,1
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	437,9	9,0
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	437,9	9,0
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	438,9	8,8
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	438,3	8,2
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	451,8	12,7
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	451,4	6,3
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	451,4	6,3

PROGETTO DEFINITIVO

Galleria S.Antonio - By pass - Relazione di calcolo

CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	451,4	6,3
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	451,4	6,3
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	451,4	6,3
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	471,7	25,2
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	471,7	25,2
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	472,2	24,2
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	472,2	24,2
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	473,2	21,2
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	469,4	6,1
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	462,6	207,8
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	462,6	207,8
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	461,4	212,9
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,3	1,4	#NUM!	-1,0	459,7	4,8
CALOTTA	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	397,8	12,9
PIEDRITTO SX	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	395,6	5,5
PIEDRITTO SX	1000,0	500,000	-5,0	1,5	#NUM!	-1,3	340,1	11,0
PIEDRITTO SX	1000,0	500,000	-5,0	1,5	#NUM!	-1,3	340,1	11,0
PIEDRITTO SX	1000,0	500,000	-5,0	1,5	#NUM!	-1,3	329,5	63,3
PIEDRITTO SX	1000,0	500,000	-5,0	1,5	#NUM!	-1,3	329,5	63,3
PIEDRITTO SX	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	358,8	19,4
PIEDRITTO SX	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	358,8	19,4
PIEDRITTO SX	1000,0	500,000	-5,5	1,4	#NUM!	-0,8	427,7	10,2
PIEDRITTO SX	1000,0	500,000	-5,5	1,4	#NUM!	-0,8	427,7	10,2
PIEDRITTO SX	1000,0	500,000	-4,9	1,6	#NUM!	-1,4	334,4	3,1
PIEDRITTO SX	1000,0	500,000	-4,9	1,6	#NUM!	-1,4	334,4	3,1
PIEDRITTO SX	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	330,6	2,9
PIEDRITTO	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	397,9	5,3

PROGETTO DEFINITIVO

Galleria S.Antonio - By pass - Relazione di calcolo

DX								
PIEDRITTO DX	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	397,3	5,4
PIEDRITTO DX	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	397,3	5,4
PIEDRITTO DX	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	397,2	5,4
PIEDRITTO DX	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	397,2	5,4
PIEDRITTO DX	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	397,2	5,4
PIEDRITTO DX	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	397,2	5,4
PIEDRITTO DX	1000,0	500,000	-5,0	1,5	#NUM!	-1,3	339,6	11,0
PIEDRITTO DX	1000,0	500,000	-5,0	1,5	#NUM!	-1,3	339,6	11,0
PIEDRITTO DX	1000,0	500,000	-5,0	1,5	#NUM!	-1,3	339,5	11,0
PIEDRITTO DX	1000,0	500,000	-5,0	1,5	#NUM!	-1,3	339,5	11,0
PIEDRITTO DX	1000,0	500,000	-5,0	1,5	#NUM!	-1,3	329,2	61,4
PIEDRITTO DX	1000,0	500,000	-5,0	1,5	#NUM!	-1,3	329,2	61,4
PIEDRITTO DX	1000,0	500,000	-5,0	1,5	#NUM!	-1,3	329,2	62,5
PIEDRITTO DX	1000,0	500,000	-5,0	1,5	#NUM!	-1,3	329,2	62,5
PIEDRITTO DX	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	358,5	19,9
PIEDRITTO DX	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	358,5	19,9
PIEDRITTO DX	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	358,5	19,9
PIEDRITTO DX	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	358,5	19,9
PIEDRITTO DX	1000,0	500,000	-5,5	1,4	#NUM!	-0,8	427,5	10,2
PIEDRITTO DX	1000,0	500,000	-5,5	1,4	#NUM!	-0,8	427,5	10,2
PIEDRITTO DX	1000,0	500,000	-5,5	1,4	#NUM!	-0,8	427,6	10,2
PIEDRITTO DX	1000,0	500,000	-5,5	1,4	#NUM!	-0,8	427,6	10,2
PIEDRITTO DX	1000,0	500,000	-4,9	1,6	#NUM!	-1,4	334,1	3,1
PIEDRITTO DX	1000,0	500,000	-4,9	1,6	#NUM!	-1,4	334,1	3,1
PIEDRITTO DX	1000,0	500,000	-4,9	1,6	#NUM!	-1,4	334,1	3,1

PROGETTO DEFINITIVO

Galleria S.Antonio - By pass - Relazione di calcolo

PIEDRITTO DX	1000,0	500,000	-4,9	1,6	#NUM!	-1,4	334,1	3,1
PIEDRITTO DX	1000,0	500,000	-5,1	1,5	#NUM!	-1,2	330,0	3,2
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	195,7	3,1
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	206,2	3,5
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	206,2	3,5
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,6	1,3	#NUM!	-0,7	284,2	8,6
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,6	1,3	#NUM!	-0,7	279,3	5,5
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,6	1,3	#NUM!	-0,7	281,7	5,7
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,6	1,3	#NUM!	-0,7	281,7	5,7
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,6	1,3	#NUM!	-0,7	281,9	5,7
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,6	1,3	#NUM!	-0,7	281,9	5,7
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,6	1,3	#NUM!	-0,7	281,9	5,7
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,6	1,3	#NUM!	-0,7	281,9	5,7
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,6	1,3	#NUM!	-0,7	281,9	5,7
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,8	1,2	#NUM!	-0,5	347,8	13,6
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,8	1,2	#NUM!	-0,5	344,5	8,2
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,8	1,2	#NUM!	-0,5	346,8	8,7
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,8	1,2	#NUM!	-0,5	346,8	8,7
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,8	1,2	#NUM!	-0,5	346,9	8,6
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,8	1,2	#NUM!	-0,5	346,9	8,6
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,9	1,2	#NUM!	-0,4	397,9	28,4
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,9	1,2	#NUM!	-0,4	396,6	12,8
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,9	1,2	#NUM!	-0,4	397,0	13,1
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,9	1,2	#NUM!	-0,4	397,0	13,1
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,9	1,2	#NUM!	-0,4	397,0	13,0
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,9	1,2	#NUM!	-0,4	397,0	13,0
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,9	1,2	#NUM!	-0,4	369,0	57,7

PROGETTO DEFINITIVO

Galleria S.Antonio - By pass - Relazione di calcolo

ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,9	1,2	#NUM!	-0,4	368,4	17,0
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,9	1,2	#NUM!	-0,4	368,2	17,8
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,9	1,2	#NUM!	-0,4	368,2	17,8
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,8	1,2	#NUM!	-0,5	350,2	134,1
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,8	1,2	#NUM!	-0,5	348,7	27,4
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,8	1,2	#NUM!	-0,5	348,7	29,4
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,8	1,2	#NUM!	-0,5	348,7	29,4
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,8	1,2	#NUM!	-0,5	348,7	29,7
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,8	1,2	#NUM!	-0,5	348,7	29,7
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,8	1,2	#NUM!	-0,5	348,8	29,6
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,8	1,2	#NUM!	-0,5	348,8	29,6
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,8	1,2	#NUM!	-0,5	349,3	28,2
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,8	1,2	#NUM!	-0,5	349,5	84,4
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,8	1,2	#NUM!	-0,5	349,5	84,9
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,8	1,2	#NUM!	-0,5	349,5	84,9
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,8	1,2	#NUM!	-0,5	349,5	85,2
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,8	1,2	#NUM!	-0,5	349,5	85,2
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,9	1,2	#NUM!	-0,4	366,8	18,2
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,9	1,2	#NUM!	-0,4	366,8	18,2
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,9	1,2	#NUM!	-0,4	369,4	16,7
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,9	1,2	#NUM!	-0,4	368,7	58,3
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,9	1,2	#NUM!	-0,4	397,1	13,3
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,9	1,2	#NUM!	-0,4	397,1	13,3
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,9	1,2	#NUM!	-0,4	397,0	13,5
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,9	1,2	#NUM!	-0,4	397,0	13,5
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,9	1,2	#NUM!	-0,4	396,9	13,3

PROGETTO DEFINITIVO

Galleria S.Antonio - By pass - Relazione di calcolo

ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,9	1,2	#NUM!	-0,4	396,9	13,3
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,9	1,2	#NUM!	-0,4	395,9	12,4
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,9	1,2	#NUM!	-0,4	396,7	23,5
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,9	1,2	#NUM!	-0,4	395,9	24,8
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,9	1,2	#NUM!	-0,4	395,9	24,9
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,8	1,2	#NUM!	-0,5	347,1	8,9
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,8	1,2	#NUM!	-0,5	347,1	8,9
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,8	1,2	#NUM!	-0,5	344,3	8,2
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,8	1,2	#NUM!	-0,5	347,6	13,2
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,6	1,3	#NUM!	-0,7	284,7	5,7
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,6	1,3	#NUM!	-0,7	288,0	9,5
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,6	1,3	#NUM!	-0,7	286,2	9,3
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,6	1,3	#NUM!	-0,7	286,2	9,3
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,6	1,3	#NUM!	-0,7	286,6	9,5
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,6	1,3	#NUM!	-0,7	286,6	9,5
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,3	1,5	#NUM!	-1,0	208,8	3,4
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,3	1,5	#NUM!	-1,0	208,8	3,4
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	209,4	3,5
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	209,4	3,5
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	195,9	3,1
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,1	197,7	4,6
ARCO ROVESCIO	1000,0	500,000	-5,2	1,5	#NUM!	-1,2	195,2	4,4