

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

By-pass carrabile prog. 2777,59

Relazione di calcolo

CODICE PROGETTO		NOME FILE			REVISIONE	
PROGETTO LIV. PROG. N. PROG. L0702M D 1801		T00GN01OSTRE01A				
		CODICE ELAB.	T00GN01OSTRE01	A	--	
D						
C						
B						
A	EMISSIONE		Giugno 2018			
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	

INDICE

1. INTRODUZIONE.....	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	6
3. BIBLIOGRAFIA.....	7
4. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO.....	8
4.1 INQUADRAMENTO DELL'INTERVENTO.....	8
4.2 FORMAZIONE MARNOSO-ARENACEA.....	11
4.3 TERRENI DI COPERTURA.....	12
5. CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI.....	13
5.1 CRITERIO DI CARATTERIZZAZIONE.....	13
5.1.1 Caratterizzazione ammasso Bypass carrabile Guinza-cunicolo di emergenza.....	15
6. FASE DI DIAGNOSI.....	19
6.1 IMPORTANZA DEL FRONTE DI SCAVO.....	19
6.1.1 Categoria A: Galleria a fronte stabile.....	19
6.1.2 Categoria B: Galleria a fronte stabile a breve termine.....	19
6.1.3 Categoria C: Galleria a fronte instabile.....	20
6.2 ANALISI DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO.....	20
6.2.1 Metodo delle Linee Caratteristiche.....	20
6.3 ANALISI DELLA STABILITÀ DEL FRONTE DI SCAVO.....	24
6.3.1 Verifica con le curve caratteristiche.....	24
7. TERAPIA.....	26
7.1 SEZIONE TIPO A1: BYPASS CARRABILE GALLERIA GUINZA.....	26
8. ANALISI TENSO-DEFORMATIVA DELLE GALLERIE.....	27
8.1 CENNI SUL METODO DEGLI ELEMENTI FINITI.....	27
8.2 GEOMETRIE DEI MODELLI.....	30
8.3 STATO DI SFORZO INIZIALE.....	30
8.4 CARICHI IDRAULICI.....	31
8.5 TARATURA DEL MODELLO.....	31
8.6 PRERIVESTIMENTO E RIVESTIMENTO DEFINITIVO.....	33

8.6.1 Centine metalliche.....	33
8.6.2 Prerivestimenti – Caratteristiche dei materiali	34
8.6.3 Rivestimenti definitivi – Caratteristiche dei materiali	37
9. VERIFICHE STATICHE	39
9.1 CARATTERISTICHE DI VERIFICA DEI MATERIALI STRUTTURALI	39
9.2 CRITERI DI VERIFICA	39
9.2.1 Verifica delle sezioni in acciaio (relativamente alla resistenza della sola centina)	40
9.2.2 Verifica sezioni miste acciaio – calcestruzzo (relativamente alla resistenza del rivestimento provvisorio acciaio + spritz-beton).....	45
9.2.3 Verifica delle sezioni in calcestruzzo armato (relativamente alla resistenza del rivestimento definitivo).....	45
9.3 SEZIONE TIPO A1 BYPASS CARRABILE GALLERIA GUINZA – COPERTURA 230 M.....	46
9.3.1 Modello di calcolo.....	46
9.3.2 Fasi di calcolo.....	47
9.3.3 Esame dei risultati	47
9.3.4 Verifiche statiche	48
10. CONCLUSIONI	55
11. ALLEGATI	56
11.1 PRERIVESTIMENTO (CENTINA + SPRITZ).....	56
11.2 RIVESTIMENTO DEFINITIVO	61

1. INTRODUZIONE

L'itinerario Internazionale E78 – S.G.C. E78 Grosseto - Fano costituisce un'infrastruttura strategica di interesse nazionale ed internazionale, poiché appartiene alla rete transeuropea stradale denominata TEN-T, e nasce con l'obiettivo di collegare il versante tirrenico a quello adriatico della Penisola. La lunghezza complessiva dell'itinerario è di circa 270 km, che attraversano la Toscana, l'Umbria e le Marche, intersecando la E45 in provincia di Pesaro-Urbino.

Ad oggi, alcuni tratti della E78 sono stati realizzati e messi in esercizio, altri tratti sono in fase di esecuzione dei lavori, ed altri sono in fase di progettazione (Fattibilità/definitiva/esecutiva).

Il tracciato in oggetto ricade nelle regioni Umbria e Marche, con origine in località San Giustino, Comune di Parnacciano (PG) e termine a ridosso dell'abitato del Comune di Mercatello sul Metauro (PU).

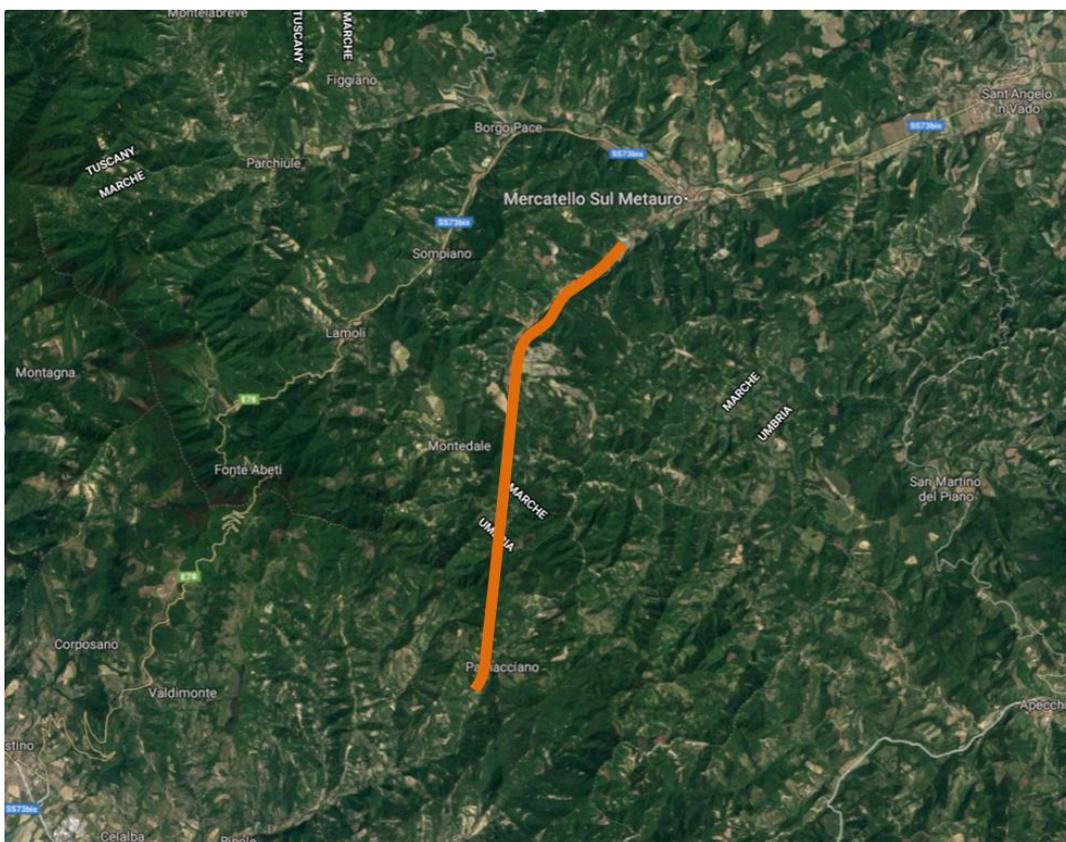


Figura 1 - itinerario in progetto

Il 2° lotto interessa tutto il tratto della Galleria Guinza, parzialmente realizzato e di estensione pari a circa 6 km, che andrà connesso alla viabilità esistente SP200, per garantire la continuità dell'itinerario di progetto da e per Selci Lama (E45).

La connessione alla viabilità SP200 verrà realizzata mediante l'inserimento di una rotatoria.



Figura 2 - Svincolo lato Umbria

Il progetto di cui alla presente, pertanto, è finalizzato alla messa in esercizio della tratta già realizzata, collegandola alla viabilità esistente, e intervenendo mediante la messa in sicurezza delle opere già realizzate.

La tratta già realizzata comprende:

- canna di valle della galleria della Guinza;
- ponte in c.a.p.
- canna di valle della galleria Valpiana;
- carreggiata di valle del viadotto Valpiana;
- doppia canna della galleria S. Veronica;
- doppia carreggiata del viadotto Sorgente;
- doppia canna della galleria S. Antonio;
- doppia carreggiata del viadotto La Pieruccia;
- tratti all'aperto del lotto 3, in parte pavimentati;
- paratie ed opere idrauliche.

Per avviare le fasi progettuali, si è reso necessario eseguire una serie di sopralluoghi atti a verificare lo stato di consistenza delle opere già realizzate, nonché il rilievo plano-altimetrico del tracciato esistente, per poter studiare idonei raccordi e gli interventi da eseguire sulle opere.

La presente relazione analizza l'esecuzione in sotterraneo dei due bypass di collegamento, rispettivamente tra la galleria esistente della Guinza ed il cunicolo di emergenza che verrà

realizzato nella successiva fase realizzativa, e 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 pririvestimenti e rivestimenti definitivi.

Le coperture variano da un minimo di circa 15m per il bypass della galleria S. Antonio, ad un massimo di circa 230 m per quello della galleria Guinza.

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

- Decreto Ministeriale LL.PP. 9/1/1996 - Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- Decreto Ministeriale LL.PP. 16/1/1996 - Criteri generali per la verifica della sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi.
- Circolare 15/10/1996 Ministero LL.PP. - Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche di cui al decreto ministeriale 9/1/1996.
- Circolare 4/7/1996 Ministero LL.PP. - Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche di cui al decreto ministeriale 16/1/1996.
- Decreto Ministeriale LL.PP. 11/3/1988 - Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione
- Circolare LL.PP. 24/9/1988 n.30483 - L.2.2.1974, n.64 - art.1 - Istruzioni per l'applicazione del D.M. 11/3/1988.
- Decreto Ministeriale 16 Gennaio 1996: "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche".

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

La galleria si inserisce in un contesto morfologico ed orografico caratterizzato da tratti di valico con versanti acclivi, presenza di boschi ed incisioni profonde, per cui il superamento del passo della Guinza era possibile solo mediante la realizzazione della omonima galleria.



Foto 1 - Imbocco della Guinza lato Parnacciano

La pavimentazione in galleria è parzialmente realizzata, manca difatti la stesura degli strati finali di binder e usura, l'inclinazione della sezione è del 2,5 % mono falda, e ai margini della sede stradale sono collocate due canalette in calcestruzzo per la raccolta degli sversamenti accidentali. Le piazzole di sosta sono poste a distanza di circa 1 km, sia in destra che in sinistra.

La galleria, inoltre, non è fornita di alcuna dotazione impiantistica.



Foto 2 - Interno della Galleria della Guinza

La galleria della Guinza termina sul versante marchigiano, in corrispondenza del fosso Guinza, il cui superamento è stato realizzato mediante un ponte in c.a.p. a campata unica.



Foto 3 - Ponte Guinza all'uscita della galleria sul versante marchigiano

Il territorio marchigiano è caratterizzato da acclività tipicamente collinari, ed il tracciato termina in aree pianeggianti, scarsamente antropizzate, destinate alle colture arboree specializzate e all'agricoltura.

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 abnorme, 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.

La Galleria Guinza (lotto 2) è stata realizzata intorno agli anni 2000, ed è stato parzialmente realizzato anche il collegamento che va dall'imbocco della Galleria stessa sul lato delle Marche, fino al termine dell'intervento in località Mercatello sul Metauro (lotto 3).

Il progetto iniziale prevedeva la realizzazione di una strada di tipo III secondo la CNR-80, a carreggiate separate con due corsie per senso di marcia. La mancanza dei fondi necessari nel corso degli anni, ha fatto sì che i lavori fossero interrotti, pertanto la carreggiata di valle (in direzione Grosseto) risulta completata, mentre la carreggiata di monte (direzione Fano) è parzialmente realizzata.

La canna di valle della Galleria Guinza è realizzata al netto degli strati di usura e binder della pavimentazione, mentre i viadotti in acciaio, i tratti all'aperto e tutte le opere costituenti la carreggiata di valle del 3° lotto sono ultimati.

Per quanto riguarda la carreggiata di monte, va detto che la seconda canna della galleria Guinza non è mai stata realizzata, così come la seconda canna della galleria Valpiana, il viadotto Valpiana ed alcuni tratti all'aperto, mentre gli altri viadotti e le canne delle rimanenti gallerie sono stati ultimati.

L'intera tratta, inoltre, non risulta collegata alla viabilità esistente, pertanto sono stati progettati due innesti mediante rotatoria alla rete locale.

Ciò che caratterizza in maniera saliente il progetto descritto nella presente relazione, è che parte di questo tracciato è già realizzato, pur non essendo mai stato messo in esercizio (aperto al traffico).

La prima fase, interamente finanziata secondo quanto sopra indicato, riguarderà l'apertura al traffico della Galleria Guinza e del successivo tratto; verranno quindi realizzate le seguenti opere/lavorazioni: tutta la dotazione impiantistica delle gallerie inclusi gli edifici impianti, gli strati finali della pavimentazione ove non presente, predisposizione di un by-pass nella galleria Guinza e uno nella galleria S. Antonio, apposizione delle barriere di sicurezza sui viadotti, realizzazione degli elementi di drenaggio e difesa idraulica della piattaforma stradale, segnaletica ed innesti provvisori alla viabilità esistente.

Inoltre, verrà predisposta la messa in sicurezza la paratia esistente all'imbocco lato Umbria, verrà realizzata la galleria artificiale di imbocco lato Umbria e lato Marche (previa demolizione della dima esistente), verrà realizzata una nuova paratia (in sostituzione di quella esistente, la quale non garantisce le adeguate condizioni di sicurezza) all'uscita lato Marche oltre il ponte Guinza, al fine di creare gli spazi opportuni dove allocare gli edifici impianti.

La seconda fase, interamente da finanziare, riguarderà la realizzazione del cunicolo di emergenza in adiacenza alla galleria Guinza, il completamento di tutti i by-pass pedonali e carrabili della medesima galleria, la realizzazione delle connessioni definitive alla viabilità esistente, i tombamenti finali delle paratie agli imbocchi e l'esecuzione di tutte le indagini ambientali necessarie all'acquisizione dei pareri/autorizzazioni di competenza.

4.2 FORMAZIONE MARNOSO-ARENACEA

In tutta l'area rilevata affiora diffusamente la sopra menzionata Formazione Marnoso-Arenacea: si tratta di una successione torbidityca 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 alla parametrizzazione eseguita in fase di progetto esecutivo.

5.1 CRITERIO DI CARATTERIZZAZIONE

Le proprietà meccaniche dell'ammasso roccioso vengono determinate in funzione delle caratteristiche del materiale roccioso intatto e delle discontinuità presenti.

Apposite classifiche vengono indicate in letteratura allo scopo di formulare un giudizio sulla "qualità" dell'ammasso sulla base di alcuni parametri indice.

I due sistemi di classificazione più tipicamente utilizzati sono stati storicamente formulati per avere una stima speditiva della tipologia di sostegno da adottare nello scavo delle gallerie naturali e, solo in un secondo momento, sono stati sfruttati per ricavare i parametri di resistenza e deformabilità dell'ammasso (Hoek e Brown, 1980). Si fa riferimento nello specifico al "Rock Mass Rating" (indice RMR) di Bieniawski (1984, 1989) ed al "Rock tunnelling quality index" (indice Q) di Barton (1974).

In seguito, nel 1995 Hoek ed al., hanno introdotto l'indice GSI (Geological Strength Index) basato sulle caratteristiche geolitologiche e strutturali della formazione e delle condizioni delle superfici di discontinuità dell'ammasso. La stima dell'indice GSI viene effettuata secondo lo schema riportato in figura o attraverso la definizione degli indici che lo definiscono:

Geological strength index for jointed rocks (Hoek and Marinos, 2000)	SURFACE CONDITIONS				
	VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
STRUCTURE	DECREASING SURFACE QUALITY →				
 INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90	80	70	N/A	N/A
 BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70	60	50	40
 VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	70	60	50	40	30
 BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	60	50	40	30	20
 DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	50	40	30	20	10
 LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A	N/A	N/A	10

Figura 3 - Indice GSI (Hoek e Marinos, 2000)

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GENERALE DESCRITTIVA

- A1 valore numerico derivato dalla resistenza della roccia intatta
- A2 valore numerico derivato dall'indice RQD
- A3 valore numerico derivato dalla spaziatura delle discontinuità
- A4 valore numerico derivato dalle condizioni delle discontinuità
- A5 valore numerico derivato dalle condizioni idrauliche
- A6 indice di correzione per la giacitura delle discontinuità.

I coefficienti numerici che vengono assegnati ai vari parametri dall'ultima versione del sistema (1989) sono indicati nelle tabelle seguenti:

A1 – RESISTENZA DELLA ROCCIA INTATTA

I_r (MPa)	> 10	4 – 10	2 – 4	1 – 2	Non applicabile – usare σ_c		
σ_c (MPa)	> 250	100 – 250	50 – 100	25 – 50	5 – 25	1 – 5	< 1
COEFFICIENTE	15	12	7	4	2	1	0

A2 – INDICE RQD

RQD (%)	90 – 100	75 – 90	50 – 75	25 – 50	< 25
COEFFICIENTE	20	17	13	8	3

A3 – SPAZIATURA DELLE DISCONTINUITÀ "s"

s (cm)	> 200	60 - 200	20 - 60	6 - 20	< 6
COEFFICIENTE	20	15	10	8	5

A4 – CONDIZIONI DELLE DISCONTINUITÀ

CONDIZIONE	Molto scabre Non continue Chiusure Pareti non alterate	Leggermente scabre Continue Apertura < 1 mm Pareti leggermente alterate	Leggermente scabre Continue Apertura < 1 mm Pareti alterate	Piane o lisce Continue Apertura 1 – 5 mm Riempimento < 5 mm	Continue Apertura > 5 mm Riempimento > 5 mm
COEFFICIENTE	30	25	20	10	0

A5 – CONDIZIONI IDRAULICHE

CONDIZIONE	ASCIUTTA	UMIDA	BAGNATA	DEBOLI VENUTE	FORTI VENUTE
coefficiente	15	10	7	4	0

A seconda della tipologia di applicazione viene poi applicato un coefficiente di correzione A6 per l'orientamento delle discontinuità.

A6 – ORIENTAMENTO DELLE DISCONTINUITÀ

APPLICAZIONE	MOLTO FAVOREVOLE	FAVOREVOLE	MEDIOCRE	SFAVOREVOLE	MOLTO SFAVOREVOLE
Gallerie	0	-2	-5	-10	-12
Fondazioni	0	-2	-7	-15	-25
Versanti	Non applicabile – utilizzare la classificazione SMR				

Tale coefficiente riflette l'influenza della giacitura delle famiglie sulla stabilità del fronte di scavo a seconda dei mutui rapporti di giacitura ed il valore da utilizzare va riferito alla famiglia più sfavorevole come correttamente fa il sistema SMR.

Figura 4 – Indici per la valutazione del GSI

La resistenza dell'ammasso viene espressa, come già accennato, in termini di sollecitazioni principali efficaci σ'_1 e σ'_3 mediante il criterio non lineare di Hoek e Brown (1980):

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_c \cdot \left(m_b \cdot \frac{\sigma'_3}{\sigma_c} + s \right)^a$$

dove

σ_c indica la resistenza a compressione uniassiale del materiale roccioso;

m_b , s ed a sono costanti che caratterizzano l'ammasso roccioso

La resistenza a compressione uniassiale σ_c può essere determinata da prove di laboratorio su campioni di roccia intatta oppure, in assenza di prove dirette, da indicazioni reperibili in letteratura (Hoek, 1983; Doruk, 1991; Hoek et al., 1992).

Per quanto riguarda le costanti m_b , s ed a , Hoek, Carranza-Torres e Corkum (2002) hanno proposto le seguenti relazioni con l'indice GSI:

$$m_b = m_i \cdot \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right);$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right);$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-\frac{GSI}{15}} - e^{-\frac{20}{3}} \right)$$

in cui m_i è una costante che caratterizza il materiale roccioso, determinata mediante prove triassiali di laboratorio o stimata dai dati di letteratura, e D è un fattore variabile tra 0 e 1 che dipende dal grado di disturbo dovuto alle operazioni di scavo e al detensionamento dell'ammasso (0 per un ammasso indisturbato, 1 per un ammasso molto disturbato).

La stima del modulo elastico dell'ammasso è stata effettuata utilizzando la relazione proposta da Serafim e Pereira (1983), successivamente modificata da Hoek (2002):

$$E(GPa) = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_c}{100}\right)^{0.5} \cdot 10 \cdot \exp\left(\frac{GSI - 10}{40}\right)$$

5.1.1 Caratterizzazione ammasso Bypass carrabile Guinza-cunicolo di emergenza

L'ammasso interessato dalla realizzazione dell'opera appartiene alla famiglia del 'Membro di Galeata-Torbiditi silico-clastiche'. Come già annunciato, in assenza di indagini in sito e/o in laboratorio a disposizione del progettista, si è fatto riferimento alla relazione Geomeccanica (Rel. n. R1407.P1.03) ed a quella di Calcolo (Rel. n. R1407.P2.02b) eseguite entrambe in fase di progettazione esecutiva. In particolare nella relazione di Calcolo veniva indicato che per la classe di copertura 3, corrispondente ad un range di profondità tra i 150 ed i 250 m, i bypass erano caratterizzati da gruppi geomeccanici e condizioni tensionali naturali prossime a quelli di G3 e G4, riportati nelle figure seguenti. Si evidenzia come il presente bypass sia situato ad una copertura prossima ai 230 m.

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GENERALE DESCRITTIVA

TABELLA 3

AMMINISTRAZIONE PROVINCIALE DI PESARO E URBINO
 Galleria GUINZA della S.G.C. Grosseto -Fano - Progettazione esecutiva

CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELLA MASSA ROCCIOSA

		Gruppo geomeccanico G3		
		intervallo di valori		
REFERENZE	PARAMETRI	minimo	medio rappr.	massimo
	Litologie prev.	50% Arenaria-50%Marna		
Caratteristiche della roccia intatta				
	γ [kN/m ³]	25	26	27
	C_0 [MPa]	20	40	60
	E_t [GPa]	14	17	21
	ν_u [-]	0.20	0.25	0.30
	m_i [-]	10	12	16
	s_i [-]		1	
Caratteristiche della massa rocciosa				
indici di qualità				
Deere (1964)	RQD	60	70	80
Hoek et Al. (1995)	GSI	45	55	64
Palmstrom (1996)	RMi	5	8	15
resistenza al taglio				
Hoek et Al. (1995)	m_b [-]	1.403	2.406	4.423
	s [-]	0.002	0.007	0.018
	m_d [-]	0.197	0.482	1.223
	s_d [-]	0.0001	0.000F	0.0025
Ribacchi (1994)	m_d [-]	-	-	-
	s_d [-]	-	-	-
Palmstrom (1996)	m_b [-]	4.118	4.284	6.589
	s [-]	0.063	0.040	0.063
deformabilità				
Bieniawski (1978a)	E_d [GPa]	-	10.0	28.0
Bieniawski (1978b)	E_d [GPa]	2.5	3.6	9.9
Serafim e Pereira (1983)	E_d [GPa]	7.5	13.3	22.4
Palmstrom (1996)	E_d [GPa]	10.2	12.2	15.5

Figura 5 – Caratteristiche del gruppo geomeccanico G3 assegnate in fase di PE

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GENERALE DESCRITTIVA

TABELLA 4

AMMINISTRAZIONE PROVINCIALE DI PESARO E URBINO
 Galleria GUINZA della S.G.C. Grosseto -Fano - Progettazione esecutiva

CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELLA MASSA ROCCIOSA

		Gruppo geomeccanico G4		
		intervallo di valori		
REFERENZE	PARAMETRI	minimo	medio rappr.	massimo
	Litologie prev.	15% Arenaria-85%Marna		
Caratteristiche della roccia intatta				
	γ [kN/m ³]	24	26	27
	C_0 [MPa]	20	30	35
	E_t [GPa]	7	9	11
	ν_u [-]	0.20	0.25	0.30
	m_b [-]	8	10	12
	s_r [-]		1	
Caratteristiche della massa rocciosa				
indici di qualità				
Deere (1964)	RQD	25	35	50
Hoek et Al. (1995)	GSI	25	36	44
Palmstrom (1996)	RMI	0.7	1.5	3
resistenza al taglio				
Hoek et Al. (1995)	m_b [-]	0.549	1.017	1.624
	s [-]	0.0002	0.0008	0.0020
	m_d [-]	0.038	0.103	0.220
	s_d [-]	3.73E-06	2.33E-05	8.84E-05
Ribacchi (1994)	m_d [-]	0.385	0.712	1.137
	s_d [-]	9.61E-06	3.26E-05	7.94E-05
Palmstrom (1996)	m_b [-]	0.936	1.470	2.491
	s [-]	0.001	0.003	0.007
deformabilità				
Bieniawski (1978a)	E_d [GPa]	-	-	-
Bieniawski (1978b)	E_d [GPa]	1.1	1.4	1.7
Serafim e Pereira (1983)	E_d [GPa]	2.4	4.5	7.1
Palmstrom (1996)	E_d [GPa]	4.9	6.5	8.5

Figura 6 – Caratteristiche del gruppo geomeccanico G4 assegnate in fase di PE

Vista la prevalenza della componente marnosa all'interno dell'ammasso oggetto di studio e la minore qualità dei parametri geomeccanici, si è deciso di eseguire i calcoli assumendo il gruppo G4 come caratteristico dell'area

A questo punto, una volta stabilito il gruppo geomeccanico di appartenenza del materiale, dai parametri medi rappresentativi sono stati opportunamente dedotti i valori dell'angolo d'attrito e della coesione efficace, assumendo un disturbo del materiale pari a $D=0.5$.

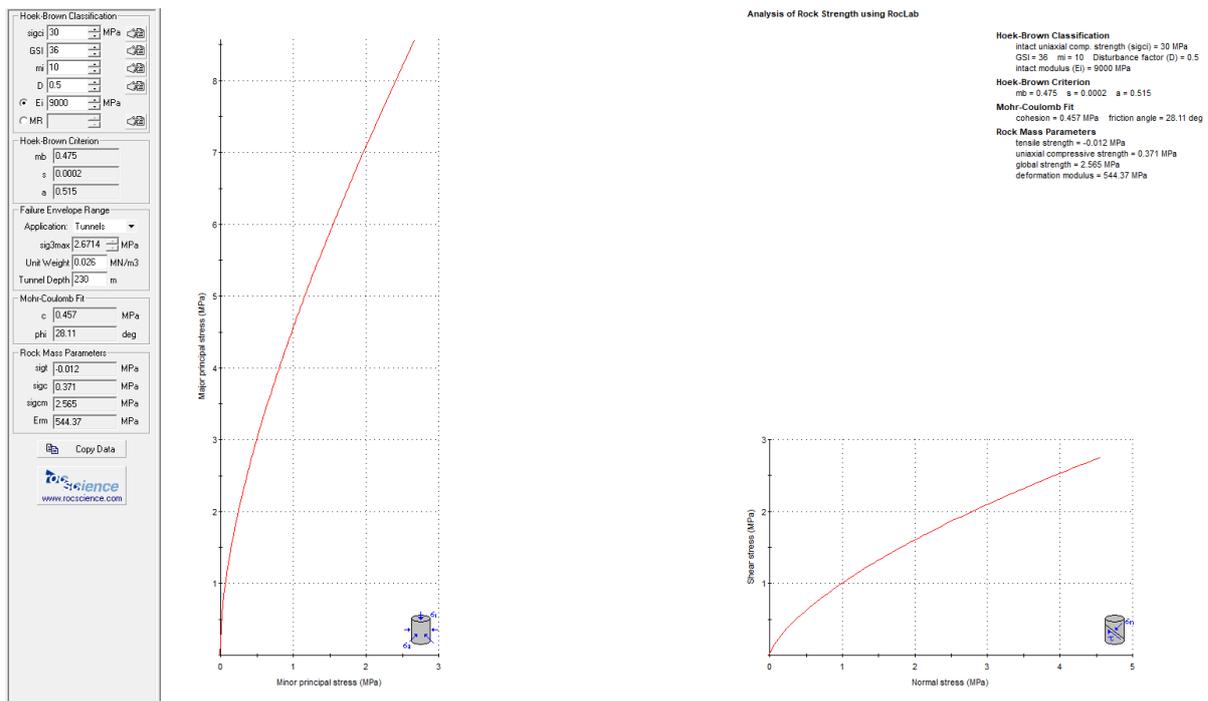


Figura 7 – Parametri di Mohr-Coulomb dell'ammasso dedotti a partire dal criterio di Hoek e Brown

Da Figura 7 è possibile osservare i valori dei parametri caratteristici del materiale, rispettivamente:

$$\varphi' = 28^\circ$$

$$c' = 457 \text{ kPa}$$

La stima del modulo elastico dell'ammasso è stata effettuata utilizzando la relazione proposta da Serafim e Pereira (1983), successivamente modificata da Hoek (2002):

$$E(\text{GPa}) = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_c}{100}\right)^{0.5} \cdot 10 \cdot \exp\left(\frac{GSI - 10}{40}\right)$$

ottenendo un valore, corrispondente a quello medio rappresentativo assunto in fase di PE, pari a $E_d = 4.5 \text{ GPa}$.

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 delle Linee Caratteristiche

Le "linee caratteristiche" di una cavità legano le pressioni di contenimento, esercitate in senso radiale sul contorno della galleria dalle opere di stabilizzazione, agli spostamenti radiali sul contorno stesso (convergenze). Per ogni galleria si determinano due linee caratteristiche principali:

- La linea caratteristica del fronte, valida in prossimità del fronte di scavo, che tiene conto dell'effetto tridimensionale delle tensioni vicino ad esso, e consente di risalire all'entità della convergenza subita dalla galleria in corrispondenza del fronte di scavo;

- La linea caratteristica del cavo, misura la convergenza in una sezione sufficientemente lontana dal fronte per la quale lo stato tensionale possa considerarsi piano.

Il Metodo delle Linee Caratteristiche è valido nei casi in cui si ritenga lecito ipotizzare che l'andamento delle sollecitazioni indotte dallo scavo, sotto l'azione delle spinte di montagna, sia di tipo idrostatico; ciò si verifica generalmente per coperture $H > 3-5 D$ (D =diametro di scavo della galleria); valori di copertura inferiori conducono a un risultato poco rappresentativo dell'effettivo comportamento dell'ammasso roccioso.

Le Linee Caratteristiche presentate in questo progetto sono quelle proposte da Amberg-Lombardi (1974).

Mediante la sovrapposizione degli effetti delle linee "caratteristiche" della galleria, dei sostegni provvisori e definitivi e del fronte, è possibile ridurre il problema tridimensionale in prossimità del fronte di scavo ad un problema bidimensionale; l'intersezione delle varie curve permette di determinare graficamente il comportamento della galleria allo scavo.

Come accennato poco sopra, le curve caratteristiche da considerare per risolvere completamente il problema sono tre e sono rispettivamente:

La resistenza del nucleo di terreno situato davanti al fronte ($R_{1/2nucleo}$), viene definita a partire dal valore di coesione (c) dell'ammasso e dal suo angolo di attrito (φ) secondo le seguenti relazioni:

$$R_{1/2nucleo} = c \cdot k_p^{0.5} \quad \text{con}$$

$$k_p = \tan^2(45^\circ + \varphi/2)$$

L'intersezione tra la linea caratteristica del fronte e la resistenza caratteristica di $\frac{1}{2}$ nucleo individua la condizione di equilibrio del fronte e permette di valutare la convergenza radiale nella sezione in corrispondenza del fronte di scavo (u_f).

Per l'eventuale dimensionamento degli interventi di preconsolidamento del fronte d'avanzamento con elementi strutturali in vetroresina (VTR) o in micro jet-grouting si può considerare nel calcolo un incremento della resistenza di $\frac{1}{2}$ nucleo così definita:

$$R_{1/2nucleo} = (c + \Delta c) \cdot k_p^{0.5}$$

dove Δc è l'incremento di coesione del nucleo d'avanzamento dovuta alla presenza delle barre in VTR:

$$\Delta c = \left(\frac{1 + \sin \varphi}{2 \cos \varphi} \right) \cdot D \cdot \pi \cdot \tau \cdot n \cdot l$$

in cui:

D = diametro del bulbo di fondazione

φ = angolo d'attrito

n = numero di barre al mq

τ = resistenza limite fra bulbo di fondazione e terreno

l = lunghezza minima di sovrapposizione delle barre in VTR

La presenza del consolidamento eseguito in avanzamento al contorno del profilo di scavo, determina un'ulteriore riduzione della convergenza al fronte. In tal caso, il punto di origine della L.C. del consolidamento sarà funzione del valore di preconvergenza che si ha in corrispondenza della lunghezza di sovrapposizione in avanzamento del consolidamento.

Utilizzando la curva di Panet è possibile calcolare il valore di deformazione radiale in avanzamento in corrispondenza del consolidamento mediante la seguente formula:

$$u_1 = u_0 \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda_0}$$

dove:

u_1 = deformazione radiale in corrispondenza della lunghezza di sovrapposizione del consolidamento in avanzamento

u_0 = deformazione radiale al fronte

λ_1 = fattore di Panet per una distanza dal fronte pari alla lunghezza di sovrapposizione in avanzamento del consolidamento

λ_0 = fattore di Panet relativo al fronte.

La pendenza della L.C. del consolidamento è data dalla rigidezza dello stesso; essa si valuta come segue:

$$K_{cons} = (E_{cons} \cdot c_{form} \cdot sp) / (ra + 0.5 \cdot sp)$$

dove:

K_{cons} = rigidezza anello del consolidamento

E_{cons} = modulo elastico del consolidamento

c_{form} = coefficiente di forma

s_p = spessore consolidamento

r_a = raggio medio della coronella del consolidamento al contorno del profilo di scavo e del consolidamento del fronte.

La L.C. del consolidamento è definita dalla seguente relazione:

$$p_{cons} = u_{cons} \cdot K_{cons}$$

L'intersezione tra la L.C. del consolidamento e la L.C. del fronte fornisce il valore della deformazione radiale al fronte in presenza di consolidamento al contorno del profilo di scavo.

La curva caratteristica del prerivestimento è definita dalla seguente relazione:

$$p_{preriv} = u_{preriv} \cdot K_{preriv}$$

La rigidezza del prerivestimento costituito da spritz-beton e centine è espressa da:

$$K_{preriv} = (E_{spritz} \cdot (s_{sb} + s_{eq}) \cdot c_{anello}) / (r_m)^2$$

dove:

E_{spritz} = modulo elastico dello spritz-beton

s_{sb} = spessore dello spritz-beton

s_{eq} = spessore di spritz-beton equivalente dovuto alle centine

c_{anello} = coefficiente di anello

con:

$$s_{eq} = (n - 1) \cdot (A_{cent} \cdot n_{cent}) / i$$

dove :

n = coefficiente di omogeneizzazione

A_{cent} = area di una centina

n_{cent} = numero di centine

i = passo delle centine

La L.C. del prerivestimento ha come origine il valore di convergenza al fronte calcolato in presenza di eventuali preconsolidamenti del nucleo d'avanzamento e consolidamenti al contorno del profilo di scavo. L'intersezione della L.C. del cavo con quella del prerivestimento fornirà il valore di convergenza del cavo, in presenza di prerivestimento, e il valore di pressione agente sullo stesso.

In generale, dove le linee caratteristiche non intersecano per un valore finito l'asse delle deformazioni radiali, la galleria risulta instabile senza adeguati interventi di contenimento. Si possono verificare altresì casi in cui il metodo porta a prevedere deformazioni radiali finite tali da non essere ritenute compatibili con la stabilità e la funzionalità dell'opera, oppure

un'estensione della fascia d'ammasso a comportamento plastico non accettabile. Dall'esame dell'andamento della curva caratteristica è possibile quindi definire il comportamento del fronte di scavo come "stabile", "stabile a breve termine", o "instabile".

Sono state tracciate le linee caratteristiche relative alle situazioni a diverso comportamento geomeccanico, con riferimento alle formazioni geotecniche presenti in sito con coperture tali per cui il metodo è applicabile, calcolate in corrispondenza dei valori di copertura massimi e medi.

Sulla base delle elaborazioni effettuate, è possibile esprimere delle considerazioni sul comportamento dell'ammasso allo scavo, con particolare riguardo alla prevedibile entità dei fenomeni deformativi del fronte e del cavo e all'estensione dell'eventuale fascia di materiale al contorno della cavità in cui il livello tensionale supera il limite elastico.

6.3 ANALISI DELLA STABILITÀ DEL FRONTE DI SCAVO

Le analisi condotte, con riferimento ai risultati ottenuti dalle Linee 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 le curve caratteristiche

Per quanto concerne il bypass carrabile tra la galleria Guinza ed il cunicolo di emergenza, viste le elevate coperture in gioco, si è deciso di analizzare la stabilità del fronte di scavo mediante lo strumento delle curve caratteristiche. Tracciandone l'andamento è stato dunque possibile svolgere un controllo delle convergenze, in particolare nella sezione oggetto di studio, caratterizzata da una copertura di 230 m e adottando i parametri meccanici della roccia alterata ricavati in fase di caratterizzazione dell'ammasso.

PARAMETRI	γ [KN/m ³]	c [kPa]	Φ [°]	ν	E [MPa]
Roccia	26	457	28	0,25	4500

Tabella 1 Parametri utilizzati per le verifiche di convergenza con le curve caratteristiche

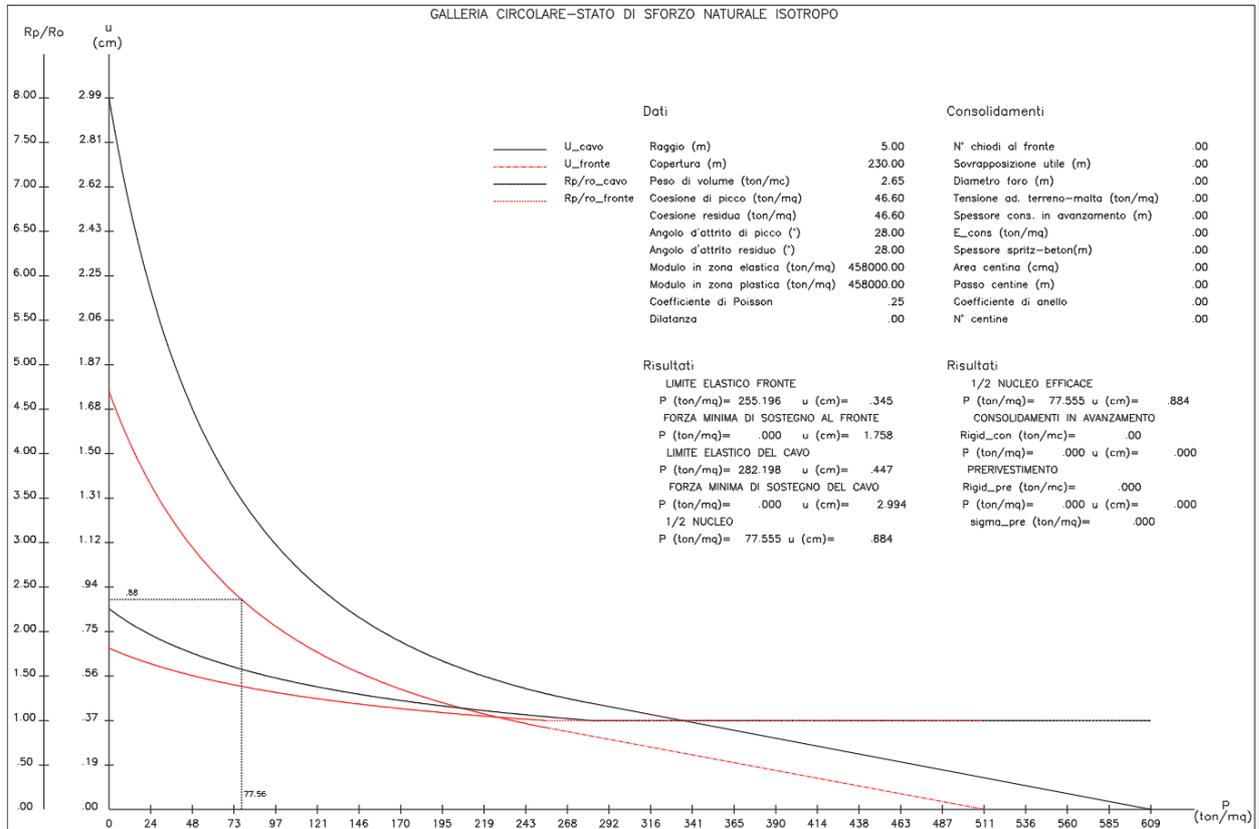


Figura 8 – Andamento delle curve caratteristiche per la copertura di 230 m

La convergenza al fronte risulta di circa 0.9 cm, con un rapporto tra questa ed il raggio equivalente della galleria pari allo 0.18%, corrispondente ad una risposta stabile anche in questo caso come nell'altro bypass.

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 SEZIONE TIPO A1: BYPASS CARRABILE GALLERIA GUINZA

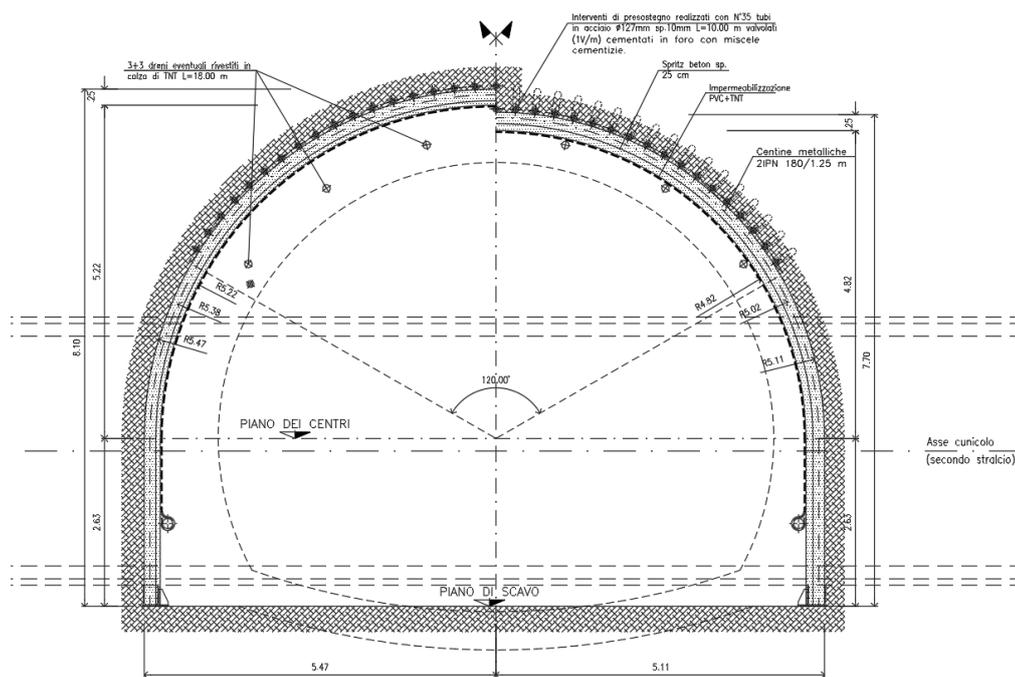


Figura 9 – Sezione tipo di avanzamento A1

La sezione tipo A1 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;
- intervento di presostegno del cavo mediante infilaggi metallici costituiti da 35 tubi Φ 127 spessore 10mm, L=10m, sovrapposizione minima 3.5m, valvolati (1V/m) cementati in foro con miscele cementizie;
- prerivestimento composto da uno strato di 25 cm di spritz-beton fibrorinforzato, con fibra di vetro 35 Kg/m³ e doppie centine IPN180 con passo 1.25m.
- arco rovescio (spessore 60 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 50-90 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:

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

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

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

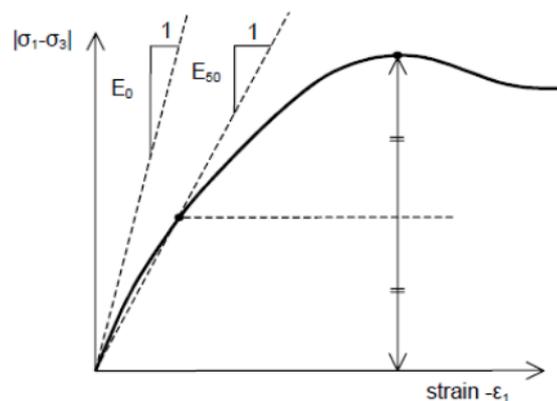
dove Δp è un incremento della tensione totale media, $\Delta p'$ è un incremento della tensione efficace media e Δp_w è un incremento della sovrappressione neutra. B è il parametro di Skempton, che mette in relazione l'incremento della tensione totale media con l'incremento delle sovrappressioni neutre. 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 7434 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 dei bypass carrabili della galleria Guinza ad elevate coperture si è considerato un coefficiente unitario $K_0=1$.

8.4 CARICHI IDRAULICI

La valutazione degli effetti del carico idrostatico sui rivestimenti delle gallerie è stata introdotta nella fase di lungo termine delle analisi svolte, considerando un carico agente sui rivestimenti definitivi. Nella seguente tabella viene riportata la quota di falda adottata nelle analisi numeriche.

SEZIONE TIPO	COPERTURA [m]	FALDA
A1	230	10 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.

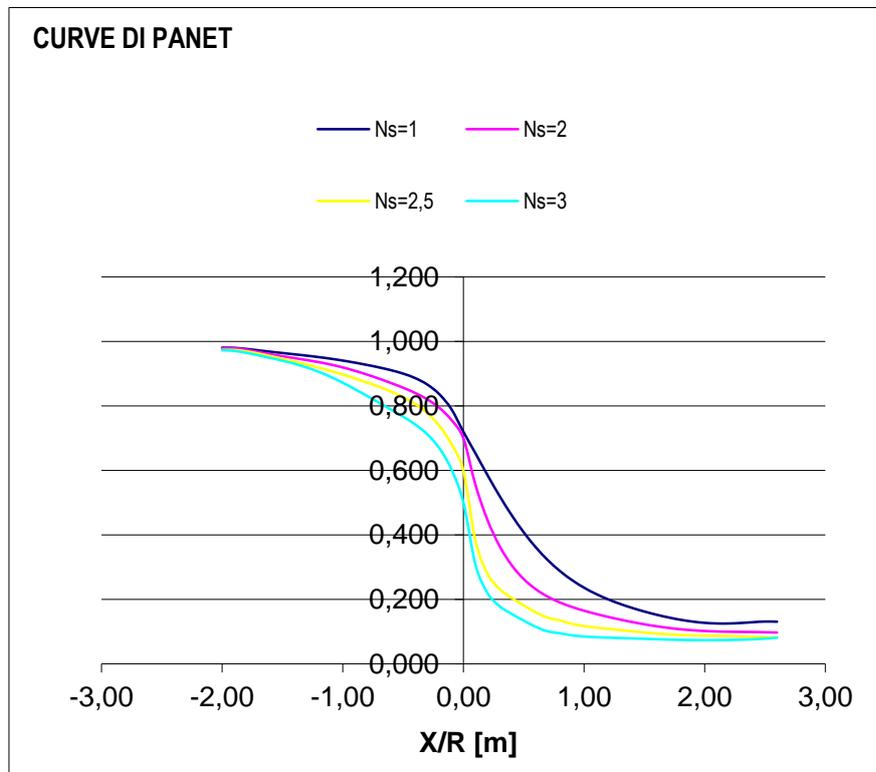


Figura 10 -Curve di Panet

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. Per le sezioni ad alto ricoprimento, lo spostamento al fronte da linea caratteristica risulta pressoché nullo. Nelle analisi si è quindi adottato per ciascuna sezione di calcolo un rilassamento delle forze di scavo al fronte pari a quello derivante dalla curva di Panet per $N_s = 1$.

SEZIONE TIPO	RELAX FRONTE DI SCAVO
A1	85%

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 180 passo 1.25 m nel caso del bypass carrabile della galleria Guinza

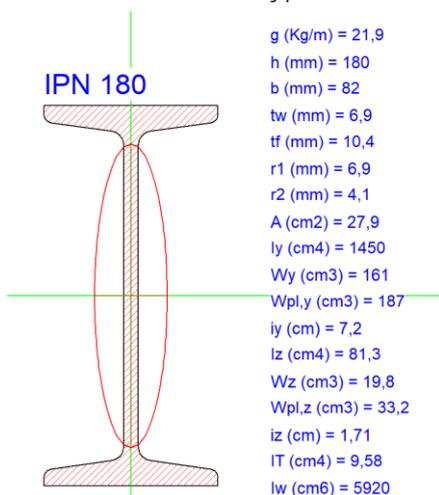


Figura 11 –Caratteristiche della IPN 180

8.6.2 Prerivestimenti – Caratteristiche dei materiali

Il prerivestimento, costituito da spritz-beton $R_{ck} \geq 30$ MPa, fibrorinforzato, è stato schematizzato come materiale a comportamento elastico-lineare, avente le seguenti caratteristiche meccaniche:

- Bypass carrabile galleria Guinza

$$E = 31.2 \text{ GPa};$$

$$\nu = 0.20;$$

$$\gamma = 25.0 \text{ kN/m}^3.$$

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
A1	25 cm	2 IPN 180 / 1.25m

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.

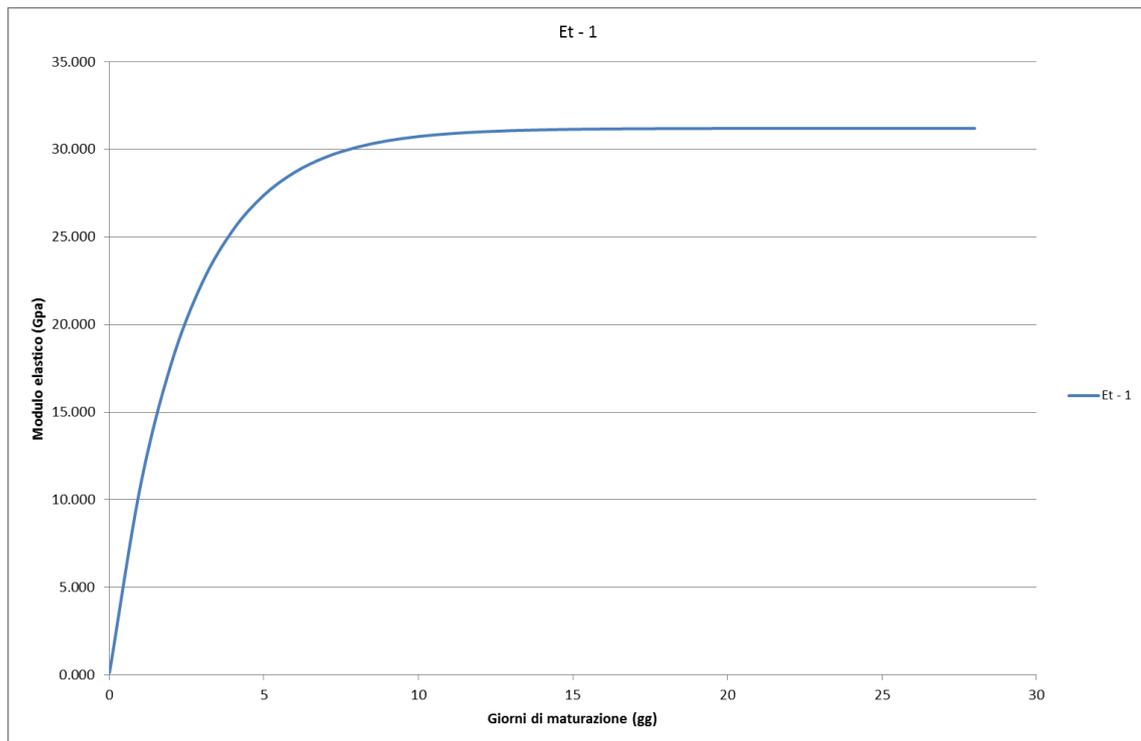


Figura 12 – Curva di maturazione

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 (15 m di lunghezza) e le buone proprietà del materiale, venga eseguito un getto continuo del rivestimento definitivo.

step	Maturazione [gg]	E_{t-1} [Gpa]
1	1	10,803
2	28	31,500

E_{om} [Gpa]	S_{om} [m]
14,29	0,24
34,61	0,25

EA [KN]	EI [KN*m ²]
3,57E+06	18595
8,65E+06	45064

Tabella 5 Omogeneizzazione spritz-beton – centine IPN 180

8.6.3 Rivestimenti definitivi – Caratteristiche dei materiali

Il rivestimento definitivo in calcestruzzo $R_{ck} \geq 30$ MPa per entrambi i bypass, 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.

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

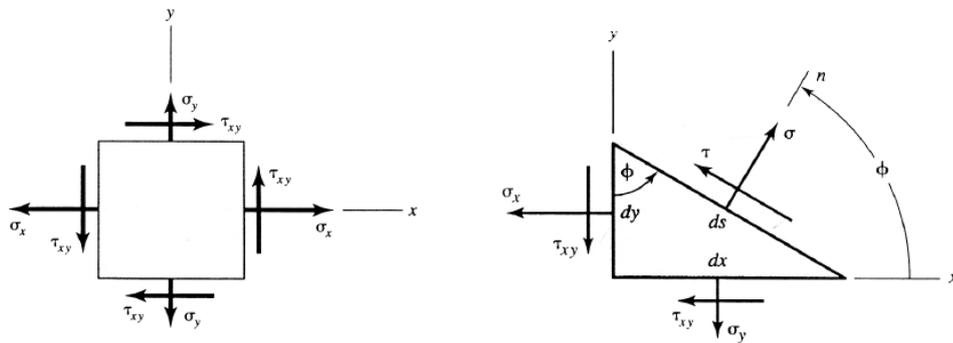


Figura 13 – Relazioni di trasformazione delle tensioni 2D per una generica giacitura

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: C25/30
- 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 S3,S4

Spritz-beton: Rck a 28 gg ≥ 30 MPa nel bypass carrabile della Guinza:

- 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:

- Presostegni in galleria: tubi in acciaio $\phi 127$ mm sp. 10 mm, L=10 m valvolati (1V/m) cementati in foro con miscele cementizie

Acciaio per centine Fe 430

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:

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 .

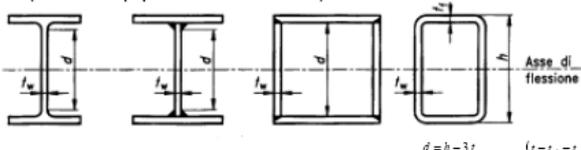
Si prendono in esame solo verifiche agli stati limite ultimi in quanto vengono considerate solo strutture di carattere provvisorio (centine che costituiscono il prerivestimento).

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):



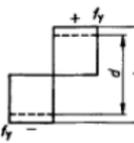
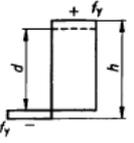
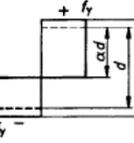
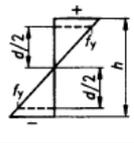
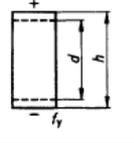
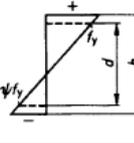
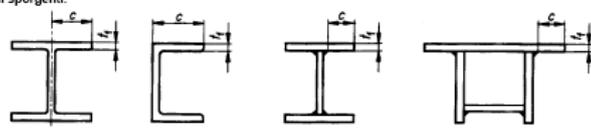
Classe	Anima soggetta a flessione	Anima soggetta a compressione	Anima soggetta a flessione e compressione
			
Distribuzione tensioni negli elementi (compressione positiva)			
1	$d/t_w \leq 72 \text{ e}$	$d/t_w \leq 33 \text{ e}$	Quando $\alpha > 0,5$: $d/t_w \leq 396 \text{ e} / (13 \alpha - 1)$ Quando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

Figura 14 – Classificazione delle sezioni trasversali

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GENERALE DESCRITTIVA

c) Ali sporgenti:



Classe	Tipo della sezione	Ala soggetta a compressione		Ala soggetta a compressione e flessione	
		Bordo compresso	Bordo teso	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 15 – 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 $n > a$: $M_{Nz.Rd} = M_{pl.Rd} \left[1 - \left(\frac{n-a}{1-a} \right)^2 \right]$

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).

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GENERALE DESCRITTIVA

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:

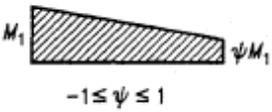
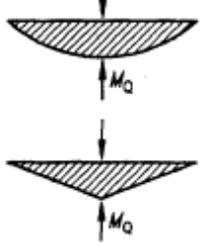
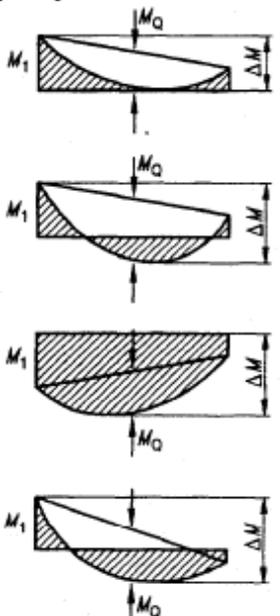
Diagramma del momento	Coefficiente di momento equivalente uniforme β_M
Momenti all'estremità 	$\beta_{M,\psi} = 1,8 - 0,7 \psi$
Momenti dovuti a carichi laterali nel piano 	$\beta_{M,Q} = 1,3$ $\beta_{M,Q} = 1,4$
Momenti dovuti a carichi laterali nel piano più momenti d'estremità 	$\beta_M = \beta_{M,\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,\psi})$ $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 16 – 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 prerinvolto 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 centine (AFTES "Recommendations for the DESIGN OF SPRAYED CONCRETE FOR UNDERGROUND SUPPORT" – 09/11/2000).

9.2.3 Verifica delle sezioni in calcestruzzo armato (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:

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

$$\text{con } x = a - 2e$$

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 A1 BYPASS CARRABILE GALLERIA GUINZA – COPERTURA 230 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 massima copertura, pari a circa 230,0 m, e massima falda pari a circa 10 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.

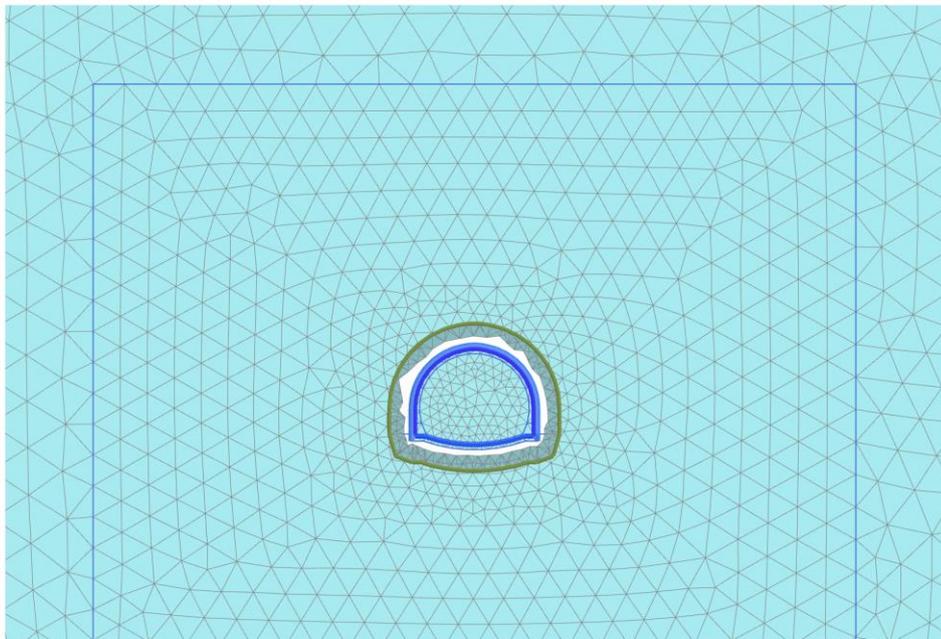


Figura 17 – Modello di calcolo e mesh

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 = 85%

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 = 89%

Viene simulata l'installazione delle centine 2 IPN 180 passo 1.25 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 priverestimenti.

TIME 5 – Lungo termine – Applicazione falda

Viene simulata la presenza di falda con battente idraulico posto a 10 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 del centimetro, tenuto conto del valore di preconvergenza al fronte.

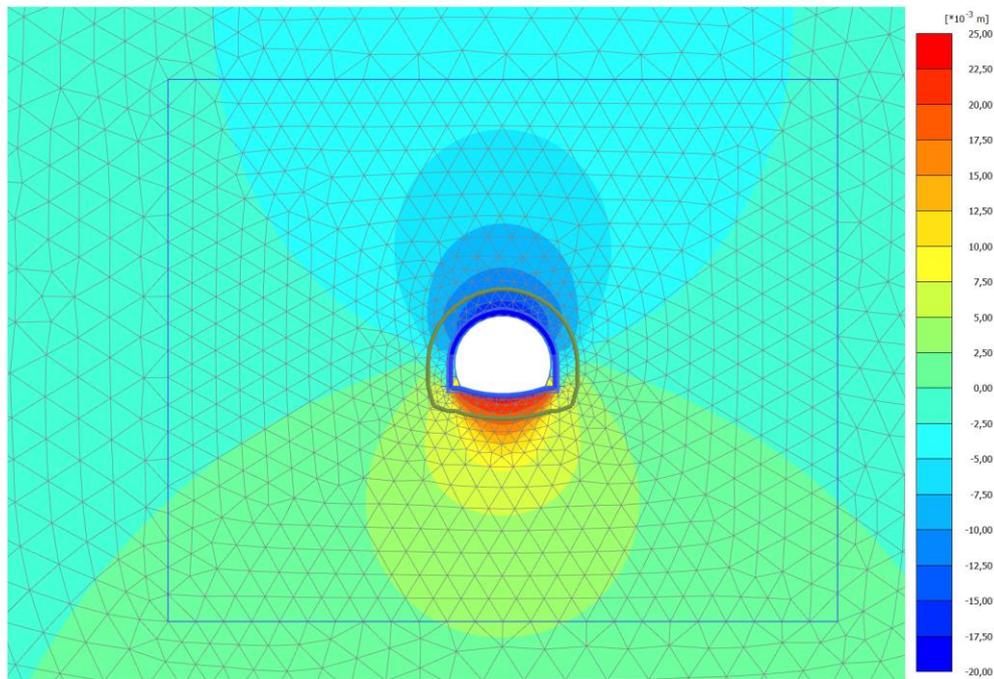


Figura 18 – Spostamenti in Y

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 prerinvestimento ed il rivestimento definitivo. Nel dettaglio il prerinvestimento 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

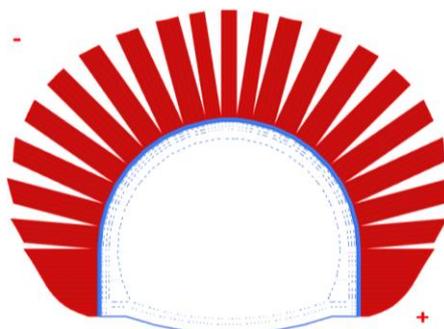
9.3.4.1.1 Time 2 – Resistenza affidata alle sole centine

In questa fase è stata effettuata la verifica delle centine 2 IPN 180 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.

É 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.

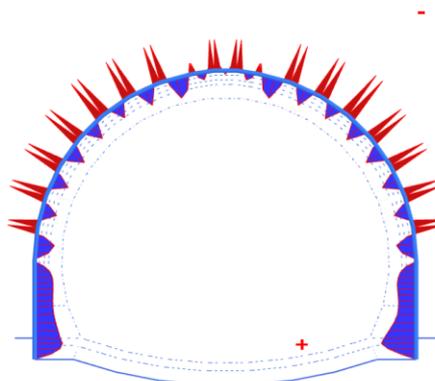


Axial forces N (scaled up 0,0100 times)

Maximum value = -39,97 kN/m (Element 87 at Node 28774)

Minimum value = -451,0 kN/m (Element 29 at Node 18165)

Figura 19 – Sforzo normale sulle centine



Bending moments M (scaled up 0,200 times)

Maximum value = 4,593 kN m/m (Element 87 at Node 28763)

Minimum value = -6,460 kN m/m (Element 22 at Node 28333)

Figura 20 – Momento flettente sulle cinte

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	-401,14891	-4,9489652	-325,93	-4,02	698	46,8	85,1	0,002230	1,040	-0,557
Calotta	-447,11264	-6,460389	-363,28	-5,25			88,2	0,003538	1,045	-0,638
Piedritto SX	-401,14891	-4,9489652	-325,93	-4,02			85,1	0,002230	1,040	-0,557

Tabella 7 Verifiche a pressoflessione per la centina – IPN 180

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.
1098,48	159	36,5	4,35

Tabella 8 Verifiche a taglio per la centina – IPN 180

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

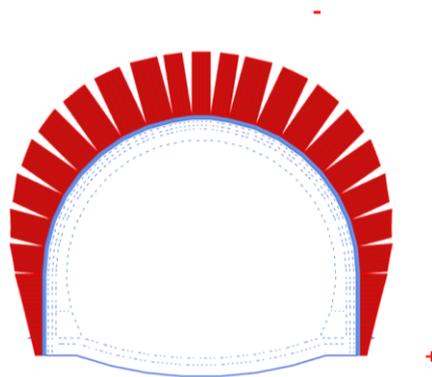
E' stata calcolata l'area e il momento d'inerzia omogeneizzati della sezione mista acciaio-calcestruzzo; sono stati ricavati i valori di sforzo assiale e momento flettente in output dal

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

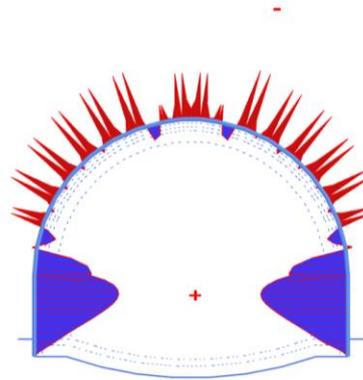


Axial forces N (scaled up $1,00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = -286,9 kN/m (Element 87 at Node 28774)

Minimum value = -2150 kN/m (Element 14 at Node 26207)

Figura 21 – Sforzo normale sul prerivestimento



Bending moments M (scaled up 0,0500 times)
 Maximum value = 55,99 kN m/m (Element 63 at Node 28650)
 Minimum value = -38,99 kN m/m (Element 7 at Node 26204)

Figura 22 – Momento flettente sul privervestimento

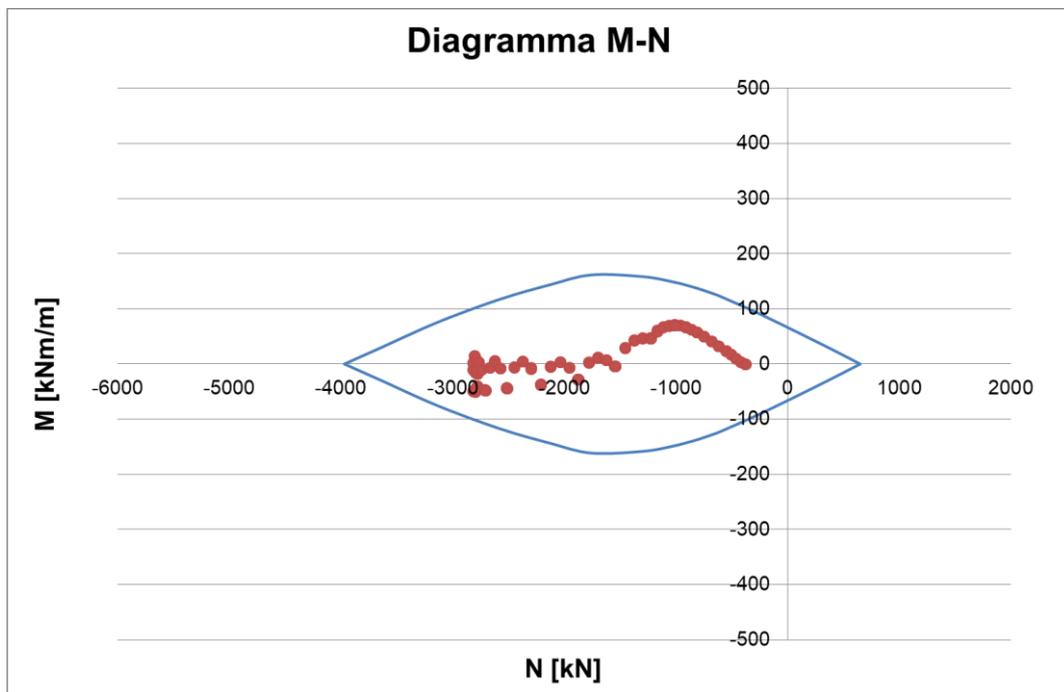


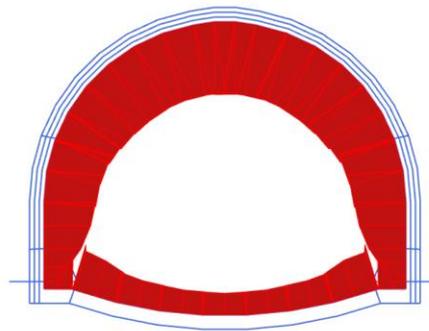
Figura 23 – Dominio M-N del privervestimento

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 $0,500 \cdot 10^{-3}$ times)

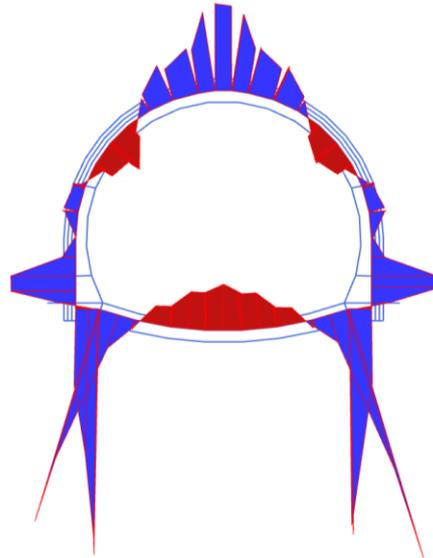
Maximum value = -484,9 kN/m

Minimum value = -3769 kN/m

Figura 24 – Sforzo normale agente sul rivestimento definitivo a lungo termine

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GENERALE DESCRITTIVA



Bending moment M (scaled up 0,0200 times)

Maximum value = 411,0 kNm/m

Minimum value = -72,73 kNm/m

Figura 25 – Momento flettente agente sul rivestimento definitivo a lungo termine

VERIFICHE SEZIONE NON ARMATA												
ELEMENT	Height	Base	Ac	e	σ_{cp}	NEk	VEk	MEk	NRd	VRd	NRd/NEd	VRd,c/Ved
[m]	[m]	[m]	[m ²]	[m]	[MPa]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kN]	[kN]	[-]	[-]
CALOTTA	0,70	1,00	0,7	0,021	-7,35	-3715	-387	-79	9314	1284	1,93	2,55
PIEDRITTO SX	0,70	1,00	0,7	8,997	-5,36	-2810	-437	-25	9662	911	2,64	1,60
PIEDRITTO DX	0,70	1,00	0,7	9,227	-5,37	-2815	-349	-26	9655	1158	2,64	2,55
ARCO ROVESCIO	0,60	1,00	0,6	40,65	-4,70	-1876	-288	-76	7348	832	3,01	2,22

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 Guinza, 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.

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GENERALE DESCRITTIVA

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\ 11_1	23784	1	2,93E-01	5,83E+02	-2,11E+03	1,59E+02	-2,99E+01
Element 1-1 (Plate)	22065	2	1,47E-01	5,83E+02	-2,11E+03	7,86E+01	-1,26E+01
(Centina + Spritz)	22066	3	-1,35E-05	5,83E+02	-2,11E+03	1,03E-03	-6,79E+00
	22067	4	-1,47E-01	5,83E+02	-2,11E+03	-	-1,25E+01
	22064	5	-2,93E-01	5,83E+02	-2,11E+03	-	-2,98E+01
						1,58E+02	
Plate\ 12_1	24595	1	8,72E-01	5,83E+02	-2,12E+03	9,39E+01	-1,15E+01
Element 2-2 (Plate)	23785	2	7,27E-01	5,83E+02	-2,12E+03	3,44E+01	-2,13E+00
(Centina + Spritz)	23786	3	5,83E-01	5,83E+02	-2,12E+03	-	-1,61E+00
	23787	4	4,38E-01	5,83E+02	-2,11E+03	-	-1,06E+01
	23784	5	2,93E-01	5,83E+02	-2,11E+03	-	-2,99E+01
						1,69E+02	
Plate\ 10_1	22064	1	-2,93E-01	5,83E+02	-2,11E+03	1,70E+02	-2,98E+01
Element 3-3 (Plate)	20165	2	-4,38E-01	5,83E+02	-2,11E+03	9,60E+01	-1,05E+01
(Centina + Spritz)	20166	3	-5,83E-01	5,83E+02	-2,12E+03	2,86E+01	-1,36E+00
	20167	4	-7,27E-01	5,83E+02	-2,12E+03	-	-1,83E+00
	20164	5	-8,72E-01	5,83E+02	-2,12E+03	-	-1,12E+01
						3,41E+01	
						9,40E+01	
Plate\ 13_1	26204	1	1,72E+00	5,83E+02	-2,15E+03	2,00E+02	-3,90E+01
Element 7-7 (Plate)	24596	2	1,51E+00	5,83E+02	-2,14E+03	1,10E+02	-5,27E+00
(Centina + Spritz)	24597	3	1,29E+00	5,83E+02	-2,14E+03	2,83E+01	9,86E+00
	24598	4	1,08E+00	5,83E+02	-2,13E+03	-	7,47E+00
	24595	5	8,72E-01	5,83E+02	-2,12E+03	-	-1,15E+01
						4,89E+01	
						1,25E+02	
Plate\ 9_1	20164	1	-8,72E-01	5,83E+02	-2,12E+03	1,25E+02	-1,12E+01
Element 8-8 (Plate)	19473	2	-	5,83E+02	-2,13E+03	4,78E+01	7,57E+00
(Centina + Spritz)	19474	3	-	5,83E+02	-2,13E+03	-	9,87E+00
	19475	4	-	5,83E+02	-2,14E+03	-	-4,96E+00
	19472	5	-	5,83E+02	-2,15E+03	-	-3,78E+01
						2,80E+01	
						1,07E+02	
						1,95E+02	
Plate\ 14_1	26684	1	2,51E+00	5,82E+02	-2,13E+03	1,83E+02	-3,59E+01
Element 14-14 (Plate)	26205	2	2,31E+00	5,83E+02	-2,14E+03	8,78E+01	-6,34E+00
(Centina + Spritz)	26206	3	2,11E+00	5,83E+02	-2,15E+03	-	2,76E+00
						4,61E+00	

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GENERALE DESCRITTIVA

	26207	4	1,92E+00	5,83E+02	-2,15E+03	-	9,54E+01	-8,23E+00
	26204	5	1,72E+00	5,83E+02	-2,15E+03	-	1,86E+02	-3,90E+01
Plate_8_1	19472	1	-	5,83E+02	-2,15E+03	-	1,85E+02	-3,78E+01
Element 15-15 (Plate)	19463	2	-	5,83E+02	-2,15E+03	-	8,96E+01	-8,02E+00
(Centina + Spritz)	19464	3	-	5,83E+02	-2,15E+03	-	4,58E-01	1,90E+00
	19465	4	-	5,83E+02	-2,14E+03	-	8,80E+01	-7,77E+00
	19462	5	-	5,82E+02	-2,14E+03	-	1,81E+02	-3,71E+01
Plate_15_1	28333	1	3,23E+00	5,82E+02	-2,06E+03	-	1,80E+02	-3,61E+01
Element 22-22 (Plate)	26685	2	3,05E+00	5,82E+02	-2,09E+03	-	9,34E+01	-6,19E+00
(Centina + Spritz)	26686	3	2,87E+00	5,82E+02	-2,11E+03	-	3,39E+00	4,50E+00
	26687	4	2,69E+00	5,82E+02	-2,12E+03	-	9,13E+01	-5,05E+00
	26684	5	2,51E+00	5,82E+02	-2,14E+03	-	1,92E+02	-3,59E+01
Plate_7_1	19462	1	-	5,82E+02	-2,14E+03	-	1,98E+02	-3,71E+01
Element 23-23 (Plate)	19167	2	-	5,82E+02	-2,12E+03	-	9,03E+01	-5,83E+00
(Centina + Spritz)	19168	3	-	5,82E+02	-2,11E+03	-	3,76E+00	3,56E+00
	19169	4	-	5,82E+02	-2,09E+03	-	8,93E+01	-6,86E+00
	19166	5	-	5,82E+02	-2,07E+03	-	1,72E+02	-3,54E+01
Plate_16_1	28351	1	3,85E+00	5,81E+02	-1,92E+03	-	1,51E+02	-3,34E+01
Element 28-28 (Plate)	28334	2	3,69E+00	5,82E+02	-1,97E+03	-	8,51E+01	-7,48E+00
(Centina + Spritz)	28335	3	3,54E+00	5,82E+02	-2,00E+03	-	8,04E+00	3,10E+00
	28336	4	3,38E+00	5,82E+02	-2,03E+03	-	8,58E+01	-5,18E+00
	28333	5	3,23E+00	5,82E+02	-2,06E+03	-	2,02E+02	-3,61E+01
Plate_6_1	19166	1	-	5,82E+02	-2,07E+03	-	1,90E+02	-3,54E+01
Element 29-29 (Plate)	18164	2	-	5,82E+02	-2,04E+03	-	8,82E+01	-5,08E+00
(Centina + Spritz)	18165	3	-	5,82E+02	-2,00E+03	-	4,89E+00	3,84E+00
	18166	4	-	5,82E+02	-1,97E+03	-	8,82E+01	-6,51E+00
	18170	5	-	5,81E+02	-1,93E+03	-	1,61E+02	-3,40E+01
Plate_17_1	28347	1	4,35E+00	5,81E+02	-1,70E+03	-	1,28E+02	-3,07E+01

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GENERALE DESCRITTIVA

Element 34-34 (Plate)	28348	2	4,22E+00	5,81E+02	-1,76E+03	7,88E+01	-7,63E+00
(Centina + Spritz)	28349	3	4,10E+00	5,81E+02	-1,82E+03	1,01E+01	2,48E+00
	28350	4	3,97E+00	5,81E+02	-1,87E+03	-	-4,67E+00
	28351	5	3,85E+00	5,81E+02	-1,92E+03	-	-3,34E+01
Plate_5_1	18170	1	-	5,81E+02	-1,92E+03	1,90E+02	-3,40E+01
Element 35-35 (Plate)	18171	2	-	5,81E+02	-1,87E+03	8,35E+01	-4,26E+00
(Centina + Spritz)	18172	3	-	5,81E+02	-1,82E+03	-	3,55E+00
	18173	4	-	5,81E+02	-1,76E+03	-	-6,83E+00
	18724	5	-	5,81E+02	-1,70E+03	-	-3,14E+01
Plate_18_1	28417	1	4,72E+00	5,80E+02	-1,44E+03	9,62E+01	-2,20E+01
Element 40-40 (Plate)	27898	2	4,63E+00	5,80E+02	-1,50E+03	6,19E+01	-4,28E+00
(Centina + Spritz)	27899	3	4,53E+00	5,80E+02	-1,56E+03	5,77E+00	3,58E+00
	27900	4	4,44E+00	5,80E+02	-1,63E+03	-	-3,47E+00
	28347	5	4,35E+00	5,81E+02	-1,70E+03	-	-3,07E+01
Plate_4_1	18724	1	-	5,81E+02	-1,71E+03	1,80E+02	-3,14E+01
Element 41-41 (Plate)	18725	2	-	5,80E+02	-1,63E+03	7,56E+01	-3,86E+00
(Centina + Spritz)	18726	3	-	5,80E+02	-1,57E+03	-	3,34E+00
	18727	4	-	5,80E+02	-1,50E+03	-	-4,49E+00
	19208	5	-	5,80E+02	-1,45E+03	-	-2,19E+01
Plate_19_1	28432	1	4,95E+00	5,79E+02	-1,19E+03	5,29E+01	-4,26E+00
Element 50-50 (Plate)	28418	2	4,89E+00	5,79E+02	-1,24E+03	3,60E+01	5,84E+00
(Centina + Spritz)	28419	3	4,83E+00	5,79E+02	-1,30E+03	-	9,92E+00
	28420	4	4,78E+00	5,80E+02	-1,37E+03	-	2,54E+00
	28417	5	4,72E+00	5,80E+02	-1,44E+03	-	-2,20E+01
Plate_3_1	19208	1	-	5,80E+02	-1,45E+03	1,76E+02	-2,19E+01
Element 51-51 (Plate)	19209	2	-	5,80E+02	-1,37E+03	6,67E+01	3,74E+00
(Centina + Spritz)	19210	3	-	5,79E+02	-1,31E+03	-8,85E-01	1,04E+01
	19211	4	-	5,79E+02	-1,25E+03	-	5,81E+00

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GENERALE DESCRITTIVA

	19442	5	- 4,95E+00	5,79E+02	-1,20E+03	- 4,25E+01	-2,99E+00
Plate_20_1	28431	1	5,02E+00	5,78E+02	-9,40E+02	1,01E+01	3,63E+01
Element 56-56 (Plate)	28433	2	5,00E+00	5,78E+02	-9,95E+02	- 1,34E+00	3,76E+01
(Centina + Spritz)	28434	3	4,98E+00	5,79E+02	-1,05E+03	- 3,19E+01	3,44E+01
	28435	4	4,96E+00	5,79E+02	-1,12E+03	- 8,42E+01	2,20E+01
	28432	5	4,95E+00	5,79E+02	-1,18E+03	- 1,60E+02	-4,26E+00
Plate_2_1	19442	1	- 4,95E+00	5,79E+02	-1,19E+03	1,59E+02	-2,99E+00
Element 57-57 (Plate)	19443	2	- 4,96E+00	5,79E+02	-1,12E+03	7,79E+01	2,22E+01
(Centina + Spritz)	19444	3	- 4,98E+00	5,79E+02	-1,06E+03	2,82E+01	3,35E+01
	19445	4	- 5,00E+00	5,78E+02	-9,99E+02	2,78E+00	3,63E+01
	19990	5	- 5,02E+00	5,78E+02	-9,45E+02	- 5,52E+00	3,59E+01
Plate_74_1	28760	1	5,02E+00	5,76E+02	-4,20E+02	2,76E+01	1,92E+01
Element 72-78 (Plate)	28713	2	5,02E+00	5,76E+02	-4,70E+02	3,10E+01	2,54E+01
(Centina + Spritz)	28714	3	5,02E+00	5,76E+02	-5,21E+02	3,26E+01	3,21E+01
	28715	4	5,02E+00	5,77E+02	-5,71E+02	3,17E+01	3,88E+01
	28712	5	5,02E+00	5,77E+02	-6,23E+02	2,77E+01	4,51E+01
Plate_73_1	28712	1	5,02E+00	5,77E+02	-6,23E+02	2,90E+01	4,51E+01
Element 62-62 (Plate)	28651	2	5,02E+00	5,77E+02	-6,60E+02	2,54E+01	4,93E+01
(Centina + Spritz)	28652	3	5,02E+00	5,77E+02	-6,99E+02	1,95E+01	5,28E+01
	28653	4	5,02E+00	5,77E+02	-7,37E+02	1,09E+01	5,52E+01
	28650	5	5,02E+00	5,78E+02	-7,76E+02	-5,44E- 01	5,60E+01
Plate_73_1	28650	1	5,02E+00	5,78E+02	-7,77E+02	-9,14E- 01	5,60E+01
Element 62-63 (Plate)	28398	2	5,02E+00	5,78E+02	-8,16E+02	- 1,43E+01	5,48E+01
(Centina + Spritz)	28399	3	5,02E+00	5,78E+02	-8,56E+02	- 2,93E+01	5,15E+01
	28400	4	5,02E+00	5,78E+02	-8,97E+02	- 4,84E+01	4,56E+01
	28431	5	5,02E+00	5,78E+02	-9,38E+02	- 7,40E+01	3,63E+01
Plate_74_2	28774	1	5,02E+00	5,75E+02	-2,87E+02	1,26E+01	3,85E-03
Element 81-87 (Plate)	28761	2	5,02E+00	5,76E+02	-3,17E+02	3,05E+01	3,06E+00
(Centina + Spritz)	28762	3	5,02E+00	5,76E+02	-3,49E+02	4,20E+01	8,39E+00
	28763	4	5,02E+00	5,76E+02	-3,84E+02	4,14E+01	1,44E+01
	28760	5	5,02E+00	5,76E+02	-4,21E+02	2,32E+01	1,92E+01

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GENERALE DESCRITTIVA

Plate_1_1	22048	1	- 5,02E+00	5,78E+02	-7,80E+02	- 1,58E+00	5,41E+01
Element 63-65 (Plate)	22052	2	- 5,02E+00	5,77E+02	-7,41E+02	- 1,26E+01	5,30E+01
(Centina + Spritz)	22053	3	- 5,02E+00	5,77E+02	-7,02E+02	- 2,10E+01	5,04E+01
	22054	4	- 5,02E+00	5,77E+02	-6,64E+02	- 2,67E+01	4,67E+01
	24080	5	- 5,02E+00	5,77E+02	-6,27E+02	- 2,97E+01	4,24E+01
Plate_1_1	19990	1	- 5,02E+00	5,78E+02	-9,42E+02	7,69E+01	3,59E+01
Element 63-64 (Plate)	19991	2	- 5,02E+00	5,78E+02	-9,00E+02	4,68E+01	4,52E+01
(Centina + Spritz)	19992	3	- 5,02E+00	5,78E+02	-8,59E+02	2,57E+01	5,07E+01
	19993	4	- 5,02E+00	5,78E+02	-8,19E+02	1,08E+01	5,34E+01
	22048	5	- 5,02E+00	5,78E+02	-7,80E+02	- 1,09E+00	5,41E+01
Plate_21_1	24080	1	- 5,02E+00	5,77E+02	-6,27E+02	- 2,89E+01	4,24E+01
Element 73-79 (Plate)	24081	2	- 5,02E+00	5,77E+02	-5,76E+02	- 3,21E+01	3,60E+01
(Centina + Spritz)	24082	3	- 5,02E+00	5,76E+02	-5,25E+02	- 3,33E+01	2,91E+01
	24083	4	- 5,02E+00	5,76E+02	-4,75E+02	- 3,15E+01	2,23E+01
	24641	5	- 5,02E+00	5,76E+02	-4,26E+02	- 2,61E+01	1,62E+01
Plate_21_2	24641	1	- 5,02E+00	5,76E+02	-4,25E+02	- 2,65E+01	1,62E+01
Element 83-89 (Plate)	24642	2	- 5,02E+00	5,76E+02	-3,90E+02	- 3,19E+01	1,20E+01
(Centina + Spritz)	24643	3	- 5,02E+00	5,76E+02	-3,56E+02	- 3,25E+01	7,35E+00
	24644	4	- 5,02E+00	5,76E+02	-3,23E+02	- 2,72E+01	3,06E+00
	24665	5	- 5,02E+00	5,75E+02	-2,91E+02	- 1,46E+01	4,48E-03

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GENERALE DESCRITTIVA

11.2 RIVESTIMENTO DEFINITIVO

INPUT PLAXIS						Loads			Geometry		AXIAL FORCE AND BENDING MOMENT CHECK	
Element	Zone	Height	NEk	VEk	MEk	Ned	Ved	Med	e	β	NRd	NRd/NEd
-	-	[mm]	[KN]	[KN]	[KNm]	[KN]	[KN]	[KNm]	[mm]	[mm]	[KN]	[-]
CALOTTA	379	700,000	-2852	-134	-19	-3708	-174	-25	6,6489	1000	9728	2,6
CALOTTA	380	700,000	-2954	267	-16	-3841	347	-21	5,3884	1000	9764	2,5
CALOTTA	381	700,000	-2954	267	-16	-3841	347	-21	5,3884	1000	9764	2,5
CALOTTA	382	700,000	-2961	287	-19	-3850	373	-24	6,3007	1000	9738	2,5
CALOTTA	383	700,000	-2961	287	-19	-3850	373	-24	6,3007	1000	9738	2,5
CALOTTA	384	700,000	-2962	312	-19	-3851	405	-25	6,3693	1000	9736	2,5
CALOTTA	385	700,000	-2962	312	-19	-3851	405	-25	6,3693	1000	9736	2,5
CALOTTA	386	700,000	-2959	313	-18	-3847	407	-24	6,2317	1000	9740	2,5
CALOTTA	387	700,000	-3030	-156	-10	-3939	-203	-14	3,4313	1000	9819	2,5
CALOTTA	388	700,000	-3268	310	18	-4249	403	24	5,5589	1000	9759	2,3
CALOTTA	389	700,000	-3268	310	18	-4249	403	24	5,5589	1000	9759	2,3
CALOTTA	390	700,000	-3275	318	16	-4258	414	21	4,9920	1000	9775	2,3
CALOTTA	391	700,000	-3275	318	16	-4258	414	21	4,9920	1000	9775	2,3
CALOTTA	392	700,000	-3288	334	13	-4274	434	17	3,9731	1000	9804	2,3
CALOTTA	393	700,000	-3322	-198	28	-4319	-257	36	8,3672	1000	9680	2,2
CALOTTA	394	700,000	-3473	343	44	-4515	446	57	12,6544	1000	9558	2,1
CALOTTA	395	700,000	-3490	-208	45	-4537	-271	58	12,8272	1000	9553	2,1
CALOTTA	396	700,000	-3489	-201	47	-4535	-261	62	13,6109	1000	9531	2,1
CALOTTA	397	700,000	-3489	-201	47	-4535	-261	62	13,6109	1000	9531	2,1
CALOTTA	398	700,000	-3488	-197	49	-4534	-257	64	14,0325	1000	9519	2,1
CALOTTA	399	700,000	-3488	-197	49	-4534	-257	64	14,0325	1000	9519	2,1
CALOTTA	400	700,000	-3580	358	24	-4654	466	31	6,7329	1000	9726	2,1

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GENERALE DESCRITTIVA

CALOTTA	401	700,000	-3587	-224	15	-4663	-291	19	4,0947	1000	9801	2,1
CALOTTA	402	700,000	-3584	-210	19	-4660	-273	24	5,1725	1000	9770	2,1
CALOTTA	403	700,000	-3584	-210	19	-4660	-273	24	5,1726	1000	9770	2,1
CALOTTA	404	700,000	-3582	-203	21	-4657	-264	27	5,7474	1000	9754	2,1
CALOTTA	405	700,000	-3582	-203	21	-4657	-264	27	5,7474	1000	9754	2,1
CALOTTA	406	700,000	-3634	363	-23	-4725	472	-30	6,4320	1000	9734	2,1
CALOTTA	407	700,000	-3634	363	-23	-4725	472	-30	6,4320	1000	9734	2,1
CALOTTA	408	700,000	-3634	363	-23	-4725	472	-30	6,4343	1000	9734	2,1
CALOTTA	409	700,000	-3634	363	-23	-4725	472	-30	6,4343	1000	9734	2,1
CALOTTA	410	700,000	-3634	363	-23	-4725	472	-30	6,4435	1000	9734	2,1
CALOTTA	411	700,000	-3634	363	-23	-4725	472	-30	6,4435	1000	9734	2,1
CALOTTA	412	700,000	-3634	364	-24	-4725	473	-31	6,5248	1000	9732	2,1
CALOTTA	413	700,000	-3618	-251	-29	-4704	-327	-37	7,9124	1000	9692	2,1
CALOTTA	414	700,000	-3618	-251	-29	-4704	-326	-37	7,9039	1000	9693	2,1
CALOTTA	415	700,000	-3618	-251	-29	-4704	-326	-37	7,9039	1000	9693	2,1
CALOTTA	416	700,000	-3647	326	-56	-4741	424	-73	15,4640	1000	9479	2,0
CALOTTA	417	700,000	-3650	-268	-49	-4745	-348	-64	13,5549	1000	9533	2,0
CALOTTA	418	700,000	-3652	-258	-47	-4748	-335	-61	12,7743	1000	9555	2,0
CALOTTA	419	700,000	-3652	-258	-47	-4748	-335	-61	12,7743	1000	9555	2,0
CALOTTA	444	700,000	-3652	-254	-45	-4748	-330	-59	12,3550	1000	9567	2,0
CALOTTA	445	700,000	-3652	-254	-45	-4748	-330	-59	12,3550	1000	9567	2,0
CALOTTA	446	700,000	-3688	315	-74	-4795	409	-96	19,9515	1000	9351	2,0
CALOTTA	447	700,000	-3684	-63	-70	-4789	-82	-91	19,0224	1000	9378	2,0
CALOTTA	448	700,000	-3685	-61	-70	-4790	-80	-91	19,0187	1000	9378	2,0
CALOTTA	449	700,000	-3685	-61	-70	-4790	-80	-91	19,0187	1000	9378	2,0
CALOTTA	450	700,000	-3685	-61	-70	-4790	-79	-91	19,0187	1000	9378	2,0
CALOTTA	451	700,000	-3685	-61	-70	-4790	-79	-91	19,0187	1000	9378	2,0

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GENERALE DESCRITTIVA

CALOTTA	452	700,000	-3708	330	-89	-4820	429	-116	24,0036	1000	9237	1,9
CALOTTA	453	700,000	-3703	-196	-92	-4814	-255	-120	24,8437	1000	9213	1,9
CALOTTA	454	700,000	-3704	-179	-78	-4815	-233	-101	21,0596	1000	9320	1,9
CALOTTA	455	700,000	-3704	-179	-78	-4815	-233	-101	21,0596	1000	9320	1,9
CALOTTA	456	700,000	-3715	193	-79	-4830	251	-103	21,2628	1000	9314	1,9
CALOTTA	457	700,000	-3696	-356	-85	-4805	-462	-111	22,9968	1000	9265	1,9
CALOTTA	458	700,000	-3683	-350	-85	-4788	-455	-111	23,0773	1000	9263	1,9
CALOTTA	459	700,000	-3683	-350	-85	-4788	-455	-111	23,0773	1000	9263	1,9
CALOTTA	460	700,000	-3683	-346	-86	-4788	-450	-112	23,3488	1000	9255	1,9
CALOTTA	461	700,000	-3683	-346	-86	-4788	-450	-112	23,3488	1000	9255	1,9
CALOTTA	462	700,000	-3687	70	-71	-4793	91	-93	19,3012	1000	9370	2,0
CALOTTA	463	700,000	-3690	-310	-75	-4797	-402	-98	20,3936	1000	9339	1,9
CALOTTA	464	700,000	-3690	-305	-74	-4797	-397	-96	20,0086	1000	9350	1,9
CALOTTA	465	700,000	-3690	-305	-74	-4797	-397	-96	20,0086	1000	9350	1,9
CALOTTA	466	700,000	-3689	-304	-73	-4796	-395	-95	19,8752	1000	9354	2,0
CALOTTA	467	700,000	-3689	-304	-73	-4796	-395	-95	19,8752	1000	9354	2,0
CALOTTA	468	700,000	-3668	271	-50	-4768	353	-65	13,6510	1000	9530	2,0
CALOTTA	469	700,000	-3668	271	-50	-4768	353	-65	13,6510	1000	9530	2,0
CALOTTA	470	700,000	-3668	272	-50	-4768	353	-65	13,7048	1000	9528	2,0
CALOTTA	471	700,000	-3668	272	-50	-4768	353	-65	13,7048	1000	9528	2,0
CALOTTA	472	700,000	-3668	273	-51	-4768	354	-66	13,8069	1000	9525	2,0
CALOTTA	473	700,000	-3654	-355	-59	-4751	-461	-77	16,2512	1000	9456	2,0
CALOTTA	474	700,000	-3593	239	-24	-4671	311	-31	6,7020	1000	9727	2,1
CALOTTA	475	700,000	-3593	239	-24	-4671	311	-31	6,7020	1000	9727	2,1
CALOTTA	476	700,000	-3579	249	-24	-4652	323	-31	6,6545	1000	9728	2,1
CALOTTA	477	700,000	-3613	-337	-19	-4696	-438	-24	5,1893	1000	9770	2,1
CALOTTA	478	700,000	-3606	219	20	-4688	284	26	5,4512	1000	9762	2,1

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GENERALE DESCRITTIVA

CALOTTA	479	700,000	-3579	-387	25	-4652	-503	32	6,8704	1000	9722	2,1
CALOTTA	480	700,000	-3577	-383	26	-4650	-497	34	7,3971	1000	9707	2,1
CALOTTA	481	700,000	-3577	-383	26	-4650	-497	34	7,3971	1000	9707	2,1
CALOTTA	482	700,000	-3576	-380	28	-4649	-494	36	7,6933	1000	9699	2,1
CALOTTA	483	700,000	-3576	-380	28	-4649	-494	36	7,6933	1000	9699	2,1
CALOTTA	484	700,000	-3451	179	51	-4486	233	67	14,9092	1000	9494	2,1
CALOTTA	485	700,000	-3451	179	51	-4486	233	67	14,9092	1000	9494	2,1
CALOTTA	486	700,000	-3451	190	47	-4486	247	62	13,7629	1000	9527	2,1
CALOTTA	487	700,000	-3451	190	47	-4486	247	62	13,7629	1000	9527	2,1
CALOTTA	488	700,000	-3460	214	41	-4498	278	54	11,9131	1000	9579	2,1
CALOTTA	489	700,000	-3451	-329	44	-4486	-428	57	12,7525	1000	9555	2,1
CALOTTA	490	700,000	-3312	192	29	-4306	250	38	8,8871	1000	9665	2,2
CALOTTA	491	700,000	-3312	192	29	-4306	250	38	8,8871	1000	9665	2,2
CALOTTA	492	700,000	-3310	195	28	-4304	253	37	8,5769	1000	9674	2,2
CALOTTA	493	700,000	-3310	195	28	-4304	253	37	8,5769	1000	9674	2,2
CALOTTA	494	700,000	-3309	199	27	-4302	259	34	8,0160	1000	9690	2,3
CALOTTA	495	700,000	-3287	-327	15	-4273	-425	20	4,7011	1000	9783	2,3
CALOTTA	496	700,000	-3022	143	-11	-3929	186	-15	3,7660	1000	9810	2,5
CALOTTA	497	700,000	-2956	-310	-20	-3843	-403	-26	6,6829	1000	9727	2,5
CALOTTA	498	700,000	-2957	-310	-20	-3844	-402	-26	6,7153	1000	9726	2,5
CALOTTA	499	700,000	-2957	-310	-20	-3844	-402	-26	6,7153	1000	9726	2,5
CALOTTA	500	700,000	-2957	-282	-20	-3844	-366	-26	6,7056	1000	9727	2,5
CALOTTA	501	700,000	-2957	-282	-20	-3844	-366	-26	6,7056	1000	9727	2,5
CALOTTA	502	700,000	-2951	-264	-17	-3836	-343	-23	5,8747	1000	9750	2,5
CALOTTA	503	700,000	-2951	-264	-17	-3836	-343	-23	5,8747	1000	9750	2,5
CALOTTA	504	700,000	-2849	116	-15	-3703	151	-19	5,2223	1000	9769	2,6
PIEDRITTO SX	505	700,000	-2810	337	-25	-3654	438	-33	8,9968	1000	9662	2,6

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GENERALE DESCRITTIVA

PIEDRITTO SX	506	700,000	-2674	-106	-2	-3476	-138	-3	0,7439	1000	9896	2,8
PIEDRITTO SX	507	700,000	-2659	110	-2	-3456	143	-3	0,8998	1000	9891	2,9
PIEDRITTO SX	508	700,000	-2659	108	-2	-3456	141	-3	0,9003	1000	9891	2,9
PIEDRITTO SX	509	700,000	-2659	108	-2	-3456	141	-3	0,9003	1000	9891	2,9
PIEDRITTO SX	510	700,000	-2658	108	-2	-3456	140	-3	0,9022	1000	9891	2,9
PIEDRITTO SX	511	700,000	-2658	108	-2	-3456	140	-3	0,9022	1000	9891	2,9
PIEDRITTO SX	512	700,000	-2415	-221	-21	-3139	-288	-28	8,8726	1000	9665	3,1
PIEDRITTO SX	513	700,000	-2415	-221	-21	-3139	-288	-28	8,8726	1000	9665	3,1
PIEDRITTO SX	514	700,000	-2415	-221	-21	-3139	-288	-28	8,8717	1000	9665	3,1
PIEDRITTO SX	515	700,000	-2415	-221	-21	-3139	-288	-28	8,8717	1000	9665	3,1
PIEDRITTO SX	516	700,000	-1922	-437	-104	-2499	-569	-135	54,1086	1000	8384	3,4
PIEDRITTO SX	517	700,000	-1922	-437	-104	-2499	-569	-135	54,1087	1000	8384	3,4
PIEDRITTO SX	518	700,000	-1551	-409	-112	-2016	-531	-145	72,1058	1000	7874	3,9
PIEDRITTO DX	519	700,000	-2815	-349	-26	-3660	-453	-34	9,2269	1000	9655	2,6
PIEDRITTO DX	520	700,000	-2807	-333	-20	-3649	-433	-26	7,1072	1000	9715	2,7
PIEDRITTO DX	521	700,000	-2807	-333	-20	-3649	-433	-26	7,1072	1000	9715	2,7
PIEDRITTO DX	522	700,000	-2659	120	-2	-3457	156	-2	0,6375	1000	9899	2,9
PIEDRITTO DX	523	700,000	-2659	120	-2	-3457	156	-2	0,6375	1000	9899	2,9
PIEDRITTO DX	524	700,000	-2660	121	-2	-3457	157	-3	0,7742	1000	9895	2,9
PIEDRITTO DX	525	700,000	-2660	121	-2	-3457	157	-3	0,7742	1000	9895	2,9
PIEDRITTO DX	526	700,000	-2659	126	-3	-3457	163	-4	1,2566	1000	9881	2,9
PIEDRITTO DX	527	700,000	-2647	-101	-3	-3441	-131	-4	1,2556	1000	9881	2,9
PIEDRITTO DX	528	700,000	-2410	219	-21	-3133	285	-27	8,6437	1000	9672	3,1
PIEDRITTO DX	529	700,000	-2410	219	-21	-3133	285	-27	8,6437	1000	9672	3,1

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GENERALE DESCRITTIVA

PIEDRITTO DX	530	700,000	-1921	439	-106	-2498	570	-138	55,2378	1000	8352	3,3
PIEDRITTO DX	531	700,000	-1921	439	-106	-2498	570	-138	55,2378	1000	8352	3,3
PIEDRITTO DX	532	700,000	-1796	446	-115	-2335	579	-149	63,7947	1000	8109	3,5
ARCO ROVESCIO	533	600,000	-1876	310	-76	-2439	403	-99	40,6480	1000	7348	3,0
ARCO ROVESCIO	534	600,000	-1842	304	-71	-2394	395	-92	38,5895	1000	7407	3,1
ARCO ROVESCIO	535	600,000	-1842	304	-71	-2394	395	-92	38,5895	1000	7407	3,1
ARCO ROVESCIO	536	600,000	-1842	293	-71	-2395	381	-92	38,5252	1000	7408	3,1
ARCO ROVESCIO	537	600,000	-1842	293	-71	-2395	381	-92	38,5252	1000	7408	3,1
ARCO ROVESCIO	538	600,000	-1562	71	-14	-2031	92	-18	8,8484	1000	8249	4,1
ARCO ROVESCIO	539	600,000	-1562	71	-14	-2031	92	-18	8,8484	1000	8249	4,1
ARCO ROVESCIO	540	600,000	-1561	70	-14	-2030	91	-18	8,7535	1000	8252	4,1
ARCO ROVESCIO	541	600,000	-1561	70	-14	-2030	91	-18	8,7535	1000	8252	4,1
ARCO ROVESCIO	542	600,000	-1558	67	-13	-2025	87	-17	8,3876	1000	8262	4,1
ARCO ROVESCIO	543	600,000	-1545	210	-13	-2009	273	-17	8,6613	1000	8255	4,1
ARCO ROVESCIO	544	600,000	-1363	68	27	-1772	89	35	19,7468	1000	7941	4,5
ARCO ROVESCIO	545	600,000	-1363	68	27	-1772	89	35	19,7468	1000	7941	4,5
ARCO ROVESCIO	546	600,000	-1363	68	27	-1772	88	35	19,7770	1000	7940	4,5
ARCO ROVESCIO	547	600,000	-1363	68	27	-1772	88	35	19,7770	1000	7940	4,5
ARCO ROVESCIO	548	600,000	-1323	-8	33	-1720	-10	43	24,8314	1000	7796	4,5
ARCO ROVESCIO	549	600,000	-1323	-8	33	-1720	-10	43	24,8314	1000	7796	4,5
ARCO ROVESCIO	550	600,000	-1323	-8	33	-1720	-10	43	24,8385	1000	7796	4,5
ARCO ROVESCIO	551	600,000	-1323	-8	33	-1720	-10	43	24,8385	1000	7796	4,5
ARCO ROVESCIO	552	600,000	-1326	-7	34	-1724	-9	44	25,3033	1000	7783	4,5
ARCO ROVESCIO	553	600,000	-1320	120	33	-1716	157	43	25,2614	1000	7784	4,5

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GENERALE DESCRITTIVA

ARCO ROVESCIO	554	600,000	-1191	41	58	-1548	54	75	48,6736	1000	7121	4,6
ARCO ROVESCIO	555	600,000	-1191	41	58	-1548	54	75	48,6736	1000	7121	4,6
ARCO ROVESCIO	556	600,000	-1190	41	58	-1547	53	75	48,7053	1000	7120	4,6
ARCO ROVESCIO	557	600,000	-1190	41	58	-1547	53	75	48,7053	1000	7120	4,6
ARCO ROVESCIO	558	600,000	-1194	-32	59	-1552	-42	76	49,0723	1000	7110	4,6
ARCO ROVESCIO	559	600,000	-1194	-32	59	-1552	-42	76	49,0723	1000	7110	4,6
ARCO ROVESCIO	560	600,000	-1194	-32	59	-1552	-42	76	49,0552	1000	7110	4,6
ARCO ROVESCIO	561	600,000	-1194	-32	59	-1552	-42	76	49,0552	1000	7110	4,6
ARCO ROVESCIO	562	600,000	-1196	-31	59	-1555	-41	76	49,1534	1000	7107	4,6
ARCO ROVESCIO	563	600,000	-1197	83	59	-1556	108	77	49,6709	1000	7093	4,6
ARCO ROVESCIO	564	600,000	-1125	-1	73	-1463	-2	95	64,7593	1000	6665	4,6
ARCO ROVESCIO	565	600,000	-1125	-1	73	-1463	-2	95	64,7593	1000	6665	4,6
ARCO ROVESCIO	566	600,000	-1125	-1	73	-1463	-2	95	64,7608	1000	6665	4,6
ARCO ROVESCIO	567	600,000	-1125	-1	73	-1463	-2	95	64,7589	1000	6665	4,6
ARCO ROVESCIO	568	600,000	-1125	-1	73	-1463	-2	95	64,7593	1000	6665	4,6
ARCO ROVESCIO	569	600,000	-1125	-1	73	-1463	-2	95	64,7593	1000	6665	4,6
ARCO ROVESCIO	570	600,000	-1208	-85	59	-1570	-111	77	48,8582	1000	7116	4,5
ARCO ROVESCIO	571	600,000	-1208	-85	59	-1570	-111	77	48,8582	1000	7116	4,5
ARCO ROVESCIO	572	600,000	-1208	-85	59	-1571	-111	77	48,8509	1000	7116	4,5
ARCO ROVESCIO	573	600,000	-1208	-85	59	-1571	-111	77	48,8509	1000	7116	4,5
ARCO ROVESCIO	574	600,000	-1210	-86	59	-1574	-112	77	48,8510	1000	7116	4,5
ARCO ROVESCIO	575	600,000	-1207	31	58	-1569	41	76	48,4091	1000	7128	4,5
ARCO ROVESCIO	576	600,000	-1206	30	59	-1568	39	76	48,4952	1000	7126	4,5
ARCO ROVESCIO	577	600,000	-1206	30	59	-1568	39	76	48,4952	1000	7126	4,5

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GENERALE DESCRITTIVA

ARCO ROVESCIO	578	600,000	-1198	-43	56	-1558	-56	73	47,0266	1000	7168	4,6
ARCO ROVESCIO	579	600,000	-1199	-42	56	-1558	-55	73	47,0388	1000	7167	4,6
ARCO ROVESCIO	580	600,000	-1319	-118	32	-1714	-154	42	24,2160	1000	7814	4,6
ARCO ROVESCIO	581	600,000	-1319	-118	32	-1714	-154	42	24,2160	1000	7814	4,6
ARCO ROVESCIO	582	600,000	-1325	-119	32	-1723	-154	41	24,0650	1000	7818	4,5
ARCO ROVESCIO	583	600,000	-1326	9	32	-1724	12	41	23,7623	1000	7827	4,5
ARCO ROVESCIO	584	600,000	-1328	10	31	-1727	13	41	23,4744	1000	7835	4,5
ARCO ROVESCIO	585	600,000	-1328	10	31	-1727	13	41	23,4744	1000	7835	4,5
ARCO ROVESCIO	586	600,000	-1328	10	31	-1727	13	41	23,4669	1000	7835	4,5
ARCO ROVESCIO	587	600,000	-1328	10	31	-1727	13	41	23,4669	1000	7835	4,5
ARCO ROVESCIO	588	600,000	-1367	-65	27	-1778	-85	35	19,7151	1000	7941	4,5
ARCO ROVESCIO	589	600,000	-1367	-65	27	-1778	-85	35	19,7151	1000	7941	4,5
ARCO ROVESCIO	590	600,000	-1368	-66	27	-1779	-86	35	19,6120	1000	7944	4,5
ARCO ROVESCIO	591	600,000	-1368	-66	27	-1779	-86	35	19,6120	1000	7944	4,5
ARCO ROVESCIO	592	600,000	-1555	-210	-13	-2022	-272	-17	8,6243	1000	8256	4,1
ARCO ROVESCIO	593	600,000	-1555	-210	-13	-2022	-272	-17	8,6243	1000	8256	4,1
ARCO ROVESCIO	594	600,000	-1557	-214	-14	-2024	-278	-18	8,8789	1000	8248	4,1
ARCO ROVESCIO	595	600,000	-1557	-214	-14	-2024	-278	-18	8,8789	1000	8248	4,1
ARCO ROVESCIO	596	600,000	-1561	-216	-15	-2029	-280	-20	9,8539	1000	8221	4,1
ARCO ROVESCIO	597	600,000	-1576	-70	-15	-2049	-90	-19	9,4341	1000	8233	4,0
ARCO ROVESCIO	598	600,000	-1831	-288	-69	-2381	-375	-89	37,4585	1000	7439	3,1

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GENERALE DESCRITTIVA

SHEAR CHECK FOR MEMBERS NOT REQUIRING DESIGN SHEAR REINFORCEMENT								
Element	b	Height	δ	fcvd 1	fcvd 2	σ_{cp}	VRd	VRd,c/Ved
-	[mm]	[mm]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[KN]	[-]
CALOTTA	1000,0	700,000	-0,9	2,6	2,5	-5,4	1169,7	6,7
CALOTTA	1000,0	700,000	-0,7	2,6	2,6	-5,6	1189,8	3,4
CALOTTA	1000,0	700,000	-0,7	2,6	2,6	-5,6	1189,8	3,4
CALOTTA	1000,0	700,000	-0,7	2,6	2,6	-5,6	1189,1	3,2
CALOTTA	1000,0	700,000	-0,7	2,6	2,6	-5,6	1189,1	3,2
CALOTTA	1000,0	700,000	-0,7	2,6	2,6	-5,6	1189,2	2,9
CALOTTA	1000,0	700,000	-0,7	2,6	2,6	-5,6	1189,2	2,9
CALOTTA	1000,0	700,000	-0,7	2,6	2,6	-5,6	1188,9	2,9
CALOTTA	1000,0	700,000	-0,6	2,6	2,6	-5,7	1206,5	6,0
CALOTTA	1000,0	700,000	-0,1	2,7	2,7	-6,2	1241,7	3,1
CALOTTA	1000,0	700,000	-0,1	2,7	2,7	-6,2	1241,7	3,1
CALOTTA	1000,0	700,000	-0,1	2,7	2,7	-6,2	1244,0	3,0
CALOTTA	1000,0	700,000	-0,1	2,7	2,7	-6,2	1244,0	3,0
CALOTTA	1000,0	700,000	-0,1	2,7	2,7	-6,2	1248,2	2,9
CALOTTA	1000,0	700,000	0,0	2,7	2,7	-6,3	1244,6	4,8
CALOTTA	1000,0	700,000	0,4	2,8	2,8	-6,7	1256,7	2,8
CALOTTA	1000,0	700,000	0,4	2,8	2,8	-6,7	1258,5	4,6
CALOTTA	1000,0	700,000	0,4	2,8	2,8	-6,7	1256,4	4,8
CALOTTA	1000,0	700,000	0,4	2,8	2,8	-6,7	1256,4	4,8
CALOTTA	1000,0	700,000	0,4	2,8	2,8	-6,7	1255,2	4,9
CALOTTA	1000,0	700,000	0,4	2,8	2,8	-6,7	1255,2	4,9
CALOTTA	1000,0	700,000	0,5	2,8	2,8	-6,8	1284,5	2,8
CALOTTA	1000,0	700,000	0,4	2,8	2,8	-6,7	1291,8	4,4

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GENERALE DESCRITTIVA

CALOTTA	1000,0	700,000	0,5	2,8	2,8	-6,8	1288,9	4,7
CALOTTA	1000,0	700,000	0,5	2,8	2,8	-6,8	1288,9	4,7
CALOTTA	1000,0	700,000	0,5	2,8	2,8	-6,8	1287,2	4,9
CALOTTA	1000,0	700,000	0,5	2,8	2,8	-6,8	1287,2	4,9
CALOTTA	1000,0	700,000	0,6	2,8	2,8	-6,9	1291,6	2,7
CALOTTA	1000,0	700,000	0,6	2,8	2,8	-6,9	1291,6	2,7
CALOTTA	1000,0	700,000	0,6	2,8	2,8	-6,9	1291,6	2,7
CALOTTA	1000,0	700,000	0,6	2,8	2,8	-6,9	1291,6	2,7
CALOTTA	1000,0	700,000	0,6	2,8	2,8	-6,9	1291,6	2,7
CALOTTA	1000,0	700,000	0,6	2,8	2,8	-6,9	1291,6	2,7
CALOTTA	1000,0	700,000	0,6	2,8	2,8	-6,9	1291,4	2,7
CALOTTA	1000,0	700,000	0,6	2,8	2,8	-6,9	1286,0	3,9
CALOTTA	1000,0	700,000	0,6	2,8	2,8	-6,9	1286,0	3,9
CALOTTA	1000,0	700,000	0,6	2,8	2,8	-6,9	1286,0	3,9
CALOTTA	1000,0	700,000	0,8	2,9	2,8	-7,1	1268,9	3,0
CALOTTA	1000,0	700,000	0,7	2,9	2,8	-7,1	1274,4	3,7
CALOTTA	1000,0	700,000	0,7	2,9	2,8	-7,0	1276,7	3,8
CALOTTA	1000,0	700,000	0,7	2,9	2,8	-7,0	1276,7	3,8
CALOTTA	1000,0	700,000	0,7	2,9	2,8	-7,0	1277,9	3,9
CALOTTA	1000,0	700,000	0,7	2,9	2,8	-7,0	1277,9	3,9
CALOTTA	1000,0	700,000	1,0	2,9	2,9	-7,3	1259,9	3,1
CALOTTA	1000,0	700,000	0,9	2,9	2,9	-7,2	1262,2	15,3
CALOTTA	1000,0	700,000	0,9	2,9	2,9	-7,2	1262,2	15,8
CALOTTA	1000,0	700,000	0,9	2,9	2,9	-7,2	1262,2	15,8
CALOTTA	1000,0	700,000	0,9	2,9	2,9	-7,2	1262,3	15,9
CALOTTA	1000,0	700,000	0,9	2,9	2,9	-7,2	1262,3	15,9
CALOTTA	1000,0	700,000	1,1	2,9	2,9	-7,4	1249,3	2,9

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GENERALE DESCRITTIVA

CALOTTA	1000,0	700,000	1,1	2,9	2,9	-7,4	1246,5	4,9
CALOTTA	1000,0	700,000	1,0	2,9	2,9	-7,3	1257,8	5,4
CALOTTA	1000,0	700,000	1,0	2,9	2,9	-7,3	1257,8	5,4
CALOTTA	1000,0	700,000	1,0	2,9	2,9	-7,3	1258,1	5,0
CALOTTA	1000,0	700,000	1,0	2,9	2,9	-7,3	1251,5	2,7
CALOTTA	1000,0	700,000	1,0	2,9	2,9	-7,3	1250,3	2,7
CALOTTA	1000,0	700,000	1,0	2,9	2,9	-7,3	1250,3	2,7
CALOTTA	1000,0	700,000	1,0	2,9	2,9	-7,3	1249,5	2,8
CALOTTA	1000,0	700,000	1,0	2,9	2,9	-7,3	1249,5	2,8
CALOTTA	1000,0	700,000	0,9	2,9	2,9	-7,2	1261,6	13,9
CALOTTA	1000,0	700,000	1,0	2,9	2,9	-7,3	1258,7	3,1
CALOTTA	1000,0	700,000	1,0	2,9	2,9	-7,3	1259,8	3,2
CALOTTA	1000,0	700,000	1,0	2,9	2,9	-7,3	1259,8	3,2
CALOTTA	1000,0	700,000	1,0	2,9	2,9	-7,3	1260,2	3,2
CALOTTA	1000,0	700,000	1,0	2,9	2,9	-7,3	1260,2	3,2
CALOTTA	1000,0	700,000	0,8	2,9	2,8	-7,1	1275,9	3,6
CALOTTA	1000,0	700,000	0,8	2,9	2,8	-7,1	1275,9	3,6
CALOTTA	1000,0	700,000	0,8	2,9	2,8	-7,1	1275,7	3,6
CALOTTA	1000,0	700,000	0,8	2,9	2,8	-7,1	1275,7	3,6
CALOTTA	1000,0	700,000	0,8	2,9	2,8	-7,1	1275,4	3,6
CALOTTA	1000,0	700,000	0,8	2,9	2,8	-7,1	1267,4	2,7
CALOTTA	1000,0	700,000	0,5	2,8	2,8	-6,8	1286,1	4,1
CALOTTA	1000,0	700,000	0,5	2,8	2,8	-6,8	1286,1	4,1
CALOTTA	1000,0	700,000	0,5	2,8	2,8	-6,8	1284,5	4,0
CALOTTA	1000,0	700,000	0,5	2,8	2,8	-6,8	1292,2	2,9
CALOTTA	1000,0	700,000	0,5	2,8	2,8	-6,8	1290,8	4,5
CALOTTA	1000,0	700,000	0,5	2,8	2,8	-6,8	1284,0	2,6

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GENERALE DESCRITTIVA

CALOTTA	1000,0	700,000	0,5	2,8	2,8	-6,8	1282,5	2,6
CALOTTA	1000,0	700,000	0,5	2,8	2,8	-6,8	1282,5	2,6
CALOTTA	1000,0	700,000	0,5	2,8	2,8	-6,8	1281,6	2,6
CALOTTA	1000,0	700,000	0,5	2,8	2,8	-6,8	1281,6	2,6
CALOTTA	1000,0	700,000	0,4	2,8	2,8	-6,7	1248,5	5,4
CALOTTA	1000,0	700,000	0,4	2,8	2,8	-6,7	1248,5	5,4
CALOTTA	1000,0	700,000	0,4	2,8	2,8	-6,7	1251,2	5,1
CALOTTA	1000,0	700,000	0,4	2,8	2,8	-6,7	1251,2	5,1
CALOTTA	1000,0	700,000	0,3	2,8	2,8	-6,7	1256,8	4,5
CALOTTA	1000,0	700,000	0,3	2,8	2,8	-6,7	1253,6	2,9
CALOTTA	1000,0	700,000	0,0	2,7	2,7	-6,3	1241,9	5,0
CALOTTA	1000,0	700,000	0,0	2,7	2,7	-6,3	1241,9	5,0
CALOTTA	1000,0	700,000	0,0	2,7	2,7	-6,3	1242,3	4,9
CALOTTA	1000,0	700,000	0,0	2,7	2,7	-6,3	1242,3	4,9
CALOTTA	1000,0	700,000	0,0	2,7	2,7	-6,3	1243,3	4,8
CALOTTA	1000,0	700,000	-0,1	2,7	2,7	-6,2	1246,5	2,9
CALOTTA	1000,0	700,000	-0,6	2,6	2,6	-5,7	1204,6	6,5
CALOTTA	1000,0	700,000	-0,7	2,6	2,6	-5,6	1187,5	2,9
CALOTTA	1000,0	700,000	-0,7	2,6	2,6	-5,6	1187,6	3,0
CALOTTA	1000,0	700,000	-0,7	2,6	2,6	-5,6	1187,6	3,0
CALOTTA	1000,0	700,000	-0,7	2,6	2,6	-5,6	1187,6	3,2
CALOTTA	1000,0	700,000	-0,7	2,6	2,6	-5,6	1187,6	3,2
CALOTTA	1000,0	700,000	-0,7	2,6	2,6	-5,6	1188,2	3,5
CALOTTA	1000,0	700,000	-0,7	2,6	2,6	-5,6	1188,2	3,5
CALOTTA	1000,0	700,000	-0,9	2,5	2,5	-5,4	1172,0	7,8
PIEDRITTO SX	1000,0	700,000	-0,9	2,5	2,5	-5,4	1157,9	2,6
PIEDRITTO SX	1000,0	700,000	-1,3	2,5	2,4	-5,0	1149,9	8,3

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GENERALE DESCRITTIVA

PIEDRITTO SX	1000,0	700,000	-1,4	2,5	2,4	-5,0	1146,9	8,0
PIEDRITTO SX	1000,0	700,000	-1,4	2,5	2,4	-4,9	1146,9	8,1
PIEDRITTO SX	1000,0	700,000	-1,4	2,5	2,4	-4,9	1146,9	8,1
PIEDRITTO SX	1000,0	700,000	-1,4	2,5	2,4	-4,9	1146,9	8,2
PIEDRITTO SX	1000,0	700,000	-1,4	2,5	2,4	-4,9	1146,9	8,2
PIEDRITTO SX	1000,0	700,000	-1,7	2,4	2,2	-4,6	1087,5	3,8
PIEDRITTO SX	1000,0	700,000	-1,7	2,4	2,2	-4,6	1087,5	3,8
PIEDRITTO SX	1000,0	700,000	-1,7	2,4	2,2	-4,6	1087,5	3,8
PIEDRITTO SX	1000,0	700,000	-1,7	2,4	2,2	-4,6	1087,5	3,8
PIEDRITTO SX	1000,0	700,000	-2,1	2,3	2,1	-4,2	910,9	1,6
PIEDRITTO SX	1000,0	700,000	-2,1	2,3	2,1	-4,2	910,9	1,6
PIEDRITTO SX	1000,0	700,000	-2,7	2,2	1,7	-3,6	805,4	1,5
PIEDRITTO DX	1000,0	700,000	-0,9	2,5	2,5	-5,4	1158,3	2,6
PIEDRITTO DX	1000,0	700,000	-1,0	2,5	2,5	-5,3	1161,0	2,7
PIEDRITTO DX	1000,0	700,000	-1,0	2,5	2,5	-5,3	1161,0	2,7
PIEDRITTO DX	1000,0	700,000	-1,4	2,5	2,4	-4,9	1147,6	7,4
PIEDRITTO DX	1000,0	700,000	-1,4	2,5	2,4	-4,9	1147,6	7,4
PIEDRITTO DX	1000,0	700,000	-1,4	2,5	2,4	-5,0	1147,4	7,3
PIEDRITTO DX	1000,0	700,000	-1,4	2,5	2,4	-5,0	1147,4	7,3
PIEDRITTO DX	1000,0	700,000	-1,3	2,5	2,4	-5,0	1146,4	7,0
PIEDRITTO DX	1000,0	700,000	-1,4	2,5	2,4	-4,9	1144,2	8,7
PIEDRITTO DX	1000,0	700,000	-1,7	2,4	2,2	-4,6	1087,0	3,8
PIEDRITTO DX	1000,0	700,000	-1,7	2,4	2,2	-4,6	1087,0	3,8
PIEDRITTO DX	1000,0	700,000	-2,1	2,3	2,1	-4,2	908,7	1,6
PIEDRITTO DX	1000,0	700,000	-2,1	2,3	2,1	-4,2	908,7	1,6
PIEDRITTO DX	1000,0	700,000	-2,2	2,3	2,0	-4,1	869,0	1,5

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GENERALE DESCRITTIVA

ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-1,6	2,4	2,3	-4,7	834,2	2,1
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-1,7	2,4	2,2	-4,6	831,8	2,1
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-1,7	2,4	2,2	-4,6	831,8	2,1
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-1,7	2,4	2,2	-4,6	832,0	2,2
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-1,7	2,4	2,2	-4,6	832,0	2,2
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-2,8	2,1	1,6	-3,5	831,1	9,1
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-2,8	2,1	1,6	-3,5	831,1	9,1
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-2,8	2,1	1,6	-3,5	831,1	9,1
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-2,8	2,1	1,6	-3,5	831,1	9,1
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-2,8	2,1	1,6	-3,5	831,0	9,5
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-2,9	2,1	1,6	-3,4	827,9	3,0
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,1	2,1	1,3	-3,2	770,5	8,7
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,1	2,1	1,3	-3,2	770,5	8,7
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,1	2,1	1,3	-3,2	770,4	8,7
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,1	2,1	1,3	-3,2	770,4	8,7
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,1	1,3	-3,1	753,2	73,3
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,1	1,3	-3,1	753,2	73,3
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,1	1,3	-3,1	753,2	73,3
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,1	1,3	-3,1	753,2	73,3
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,1	1,3	-3,1	753,0	86,5
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,1	1,3	-3,1	751,8	4,8
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,0	1,3	-3,1	684,1	12,8
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,0	1,3	-3,1	684,1	12,8
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,0	1,3	-3,1	684,0	12,8
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,0	1,3	-3,1	684,0	12,8
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,0	1,3	-3,1	684,1	16,3

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GENERALE DESCRITTIVA

ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,0	1,3	-3,1	684,1	16,3
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,0	1,3	-3,1	684,1	16,2
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,0	1,3	-3,1	684,1	16,2
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,0	1,3	-3,1	684,5	16,9
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,0	1,3	-3,1	683,8	6,4
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,0	1,3	-3,1	642,7	407,8
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,0	1,3	-3,1	642,7	407,8
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,0	1,3	-3,1	642,7	395,9
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,0	1,3	-3,1	642,7	395,8
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,0	1,3	-3,1	642,7	384,7
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,0	1,3	-3,1	642,7	384,7
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,1	1,3	-3,1	687,6	6,2
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,1	1,3	-3,1	687,6	6,2
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,1	1,3	-3,1	687,6	6,2
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,1	1,3	-3,1	687,6	6,2
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,1	1,3	-3,1	688,1	6,1
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,1	1,3	-3,1	688,2	16,8
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,1	1,3	-3,1	687,9	17,7
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,1	1,3	-3,1	687,9	17,7
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,0	1,3	-3,1	688,6	12,3
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,0	1,3	-3,1	688,6	12,6
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,0	1,3	-3,1	753,3	4,9
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,0	1,3	-3,1	753,3	4,9
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,1	1,3	-3,1	755,1	4,9
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,1	1,3	-3,1	755,8	62,3
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,1	1,3	-3,1	756,7	57,5

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GENERALE DESCRITTIVA

ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,1	1,3	-3,1	756,7	57,5
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,1	1,3	-3,1	756,7	57,6
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,2	2,1	1,3	-3,1	756,7	57,6
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,1	2,1	1,3	-3,2	771,5	9,1
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,1	2,1	1,3	-3,2	771,5	9,1
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,1	2,1	1,3	-3,2	771,9	9,0
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-3,1	2,1	1,3	-3,2	771,9	9,0
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-2,8	2,1	1,6	-3,5	830,1	3,0
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-2,8	2,1	1,6	-3,5	830,1	3,0
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-2,8	2,1	1,6	-3,5	829,9	3,0
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-2,8	2,1	1,6	-3,5	829,9	3,0
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-2,8	2,1	1,6	-3,5	829,1	3,0
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-2,8	2,1	1,6	-3,5	832,9	9,2
ARCO ROVESCIO	1000,0	600,000	-1,8	2,4	2,2	-4,5	832,0	2,2