



ANAS S.p.A.

DIREZIONE REGIONALE PER LA SICILIA

PA 12/09

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO - NORD EUROPA

ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA - A19

S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE"

AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001

Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19

VARIANTE TECNICA N°4

ai sensi dell'art. 176, comma 5, secondo periodo lettera "a" e lettera "b", del D.Lgs. N. 163/2006 e Art. 11 del CSA-NG

CONTRAENTE GENERALE



DIRETTORE DEI LAVORI
Ing. CARLO DAMIANI

OPERE D'ARTE MAGGIORI GALLERIE NATURALI GALLERIA NATURALE CALTANISSETTA

Relazione Tecnica Descrittiva

Empedocle 2 s.c.p.a.

Codice Unico Progetto (CUP) : F91B09000070001

3569-01

Codice Elaborato:

PA12_09 - V 1 2 5 GN 2 0 4 GN 0 2 Z R H 0 0 1 C

Scala:

F																	
E																	
D																	
C	Aprile 2021	AGGIORNAMENTO CARTIGLIO										A. ANTONELLI	A. FINAMORE				
B	Marzo 2019	Emissione a seguito nota DL nr.003/CD/19 del 05.02.2019										A. ANTONELLI	P. PAGLINI				
A	Aprile 2018	EMISSIONE										A. ANTONELLI	P. PAGLINI				
REV.	DATA	DESCRIZIONE										REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	AUTORIZZATO		

Il Progettista:



Il Consulente Specialista:

Il Geologo:



Il Coordinatore per la sicurezza:



Il Direttore dei Lavori:



Responsabile del procedimento: Ing. LUIGI MUPO

INDICE

1.PREMESSA.....	2
2.INQUADRAMENTO GEOLOGICO, IDROGEOLOGICO E GEOTECNICO.....	3
2.1 Indagini geognostiche e geotecniche.....	3
2.1.1 Premessa	3
2.1.2 Fase I	4
2.1.3 Fase II.....	5
2.1.4 Fase III a – Fase III b	6
2.2 Caratterizzazione geotecnica.....	8
2.2.1 Geologia	8
2.2.2 Idrogeologia.....	9
2.2.3 Geotecnica	11
2.2.4 Profilo Geologico-Tecnico.....	12
3.DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	16
3.1 Tracciato Piano-Altmetrico	16
3.1.1 Galleria	17
3.1.2 Opere impiantistiche	18
3.1.3 ByPass	19
3.2 Imbocchi.....	30
4.RIVESTIMENTO DELLA GALLERIA IN CONCI PREFABBRICATI.....	34
4.1 Descrizione dell'Anello.....	34
4.2 Principi di Dimensionamento	37
4.3 Copriferro delle armature e tolleranze di costruzione dei conci.....	44

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001B	Titolo: Galleria Caltanissetta Relazione Tecnica Descrittiva	Data: Maggio 2019
Nome filev_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. bb		Pagina 1 di 45

1. PREMESSA

Il presente documento costituisce la relazione descrittiva della galleria naturale Caltanissetta, opera inserita all'interno di un importante e strategico corridoio europeo ed in particolare nella parte corrispondente all'itinerario Agrigento-Caltanissetta-A19 dal km 44+000 allo svincolo con la A19, e fa riferimento ai lavori di ammodernamento e adeguamento alla Cat. B del D.M. 5.11.2001 della S.S 640 "di Porto Empedocle".

Attualmente sono stati scavati i due fornici della galleria e sono di imminente costruzione i bypass pedonali e carrabili di collegamento delle due canne. In merito ai bypass nel progetto esecutivo ne sono previsti 13, 9 carrabili (con distanza massima tra loro di 300 m) e 4 carrabili (con inter distanza di 900 m).

Dopo l'entrata della SS640 (avvenuta nel Dicembre 2014) nella rete stradale TERN ai fini della sicurezza in galleria si è dovuto far riferimento al D.Lgs n° 264 del 5/10/2006: "Attuazione della direttiva 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea".

Pertanto in conformità alla sopra richiamata normativa tecnica si propone una nuova disposizione dei bypass : 7 pedonali (con distanza massima tra loro di 500 m) e 2 carrabili-pedonali (con distanza massima tra loro di 1500 m).

La galleria Caltanissetta è una galleria stradale a doppio fornice, di lunghezza pari a circa 4000 m, e traffico monodirezionale con n.2 corsie per senso di marcia e ai sensi della Circolare n.5244 del 26/07/2011 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti la galleria Caltanissetta non è a caratteristiche speciali.

Il progetto esecutivo della Galleria Caltanissetta presenta una galleria a doppia canna ed i due cavi hanno interasse compreso tra circa 35 e 80m e si sviluppano per una lunghezza di circa 4Km. L'altezza della copertura per la quasi totalità del tracciato è compresa tra circa 80 e 110m, tranne che nelle zone di imbocco dove sarà limitata ad alcune decine di metri. La sezione stradale prevista in progetto esecutivo (PE) prevede una piattaforma di larghezza totale di 11.25m organizzata con 2 corsie (marcia lenta e sorpasso) di larghezza 3.75m, affiancate da una banchina in sinistra da 0.50m e da una banchina in destra da 3.25m (corsia di emergenza), continua per tutta la lunghezza della galleria.

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 2 di 45

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, IDROGEOLOGICO E GEOTECNICO

2.1 Indagini geognostiche e geotecniche

2.1.1 Premessa

Allo scopo di definire il problema geotecnico relativo alla realizzazione della galleria sono state seguite diverse campagne di indagine sia nel corso della progettazione definitiva che esecutiva.

Le indagini eseguite in fase di progettazione definitiva sono state suddivise in due fasi; lo scopo di queste campagne è quello stato di ricostruire il modello geologico-tecnico generale del territorio, verificare le criticità progettuali, l'impatto dell'infrastruttura con l'assetto stratigrafico e geomorfologico ed individuare eventuali soluzioni alternative di tracciato e/o scelte progettuali.

In fase di progettazione esecutiva sono state realizzate tre fasi nel corso della campagna di indagine. La prima fase di tale campagna ha avuto come scopo l'approfondimento della conoscenza geologica e geotecnica, e la definizione di un modello concettuale geologico di riferimento ai fini progettuali. Il completamento del piano di indagine di seconda fase è stato finalizzato ad un approfondimento del quadro di conoscenze già acquisite nella prima fase ed alla necessità di dover verificare il modello geologico e geotecnico di riferimento dei terreni direttamente interessati dalle opere d'arte in progetto.

L'analisi condotta sui risultati delle indagini integrative svolte in Fase 1 e Fase 2 del PE, hanno indotto ad effettuare ulteriori approfondimenti, tramite una terza fase, soprattutto in merito alla definizione dei seguenti aspetti, relativi alla opera d'arte progettuale individuata con la Galleria Naturale Caltanissetta:

- parametrizzazione geomeccanica collegata all'assetto tettonico-strutturale, ricostruita grazie alle indagini effettuate e approfondimento sulle zone interessate dalla fasce tettonizzate;
- assetto idrogeologico e idraulica di falda in corrispondenza delle quote interessate dallo scavo della galleria, con parametrizzazione della permeabilità degli acquiferi e studio della potenziale falda acquifera con elevato battente sulla galleria (fino ad oltre 100 m);

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 3 di 45

- individuazione lungo il tracciato della galleria di eventuali orizzonti lapidei riconducibili a quelli direttamente individuati in corrispondenza del sondaggio SI27 di Fase 2;
- presenza di gas interstiziali nei terreni interessati dagli scavi.

Il programma delle indagini è stato basato sugli assetti e sulle problematiche geologiche riscontrate in fase di esecuzione delle precedenti indagini e di elaborazione dei dati acquisiti. Inoltre esso è stato necessario alla definizione finale del modello geologico e geomeccanico di riferimento per la progettazione esecutiva dell'opera in questione. Nel seguito si riportano le indagini eseguite in fase di progettazione esecutiva.

2.1.2 Fase I

La campagna integrativa di indagini, denominata Fase I, è stata condotta tra luglio e settembre 2010. Sono state condotte le seguenti indagini geognostiche e prove in sito:

- n°22 perforazioni a carotaggio continuo condotti con profondità comprese tra 20 e 150m da p.c.;
- n°69 prove CPT fino a 10m o a rifiuto per viadotti e rilevati;
- n°1 campione indisturbato ogni 6 di sondaggio, per sondaggi >150m 1/25m fino a 100m e 1/10m da 100m a 50m;
- n°2 inclinometri in sondaggio da 30m e 40m in zone di versante particolarmente critiche;
- n°4 piezometri costituiti da 2 celle di Casagrande;
- n°9 prove tipo down-hole;
- n°22 traverse di sismica a rifrazione da 80m;
- n°19 sondaggi elettromagnetici del tipo TDEM 100m di lato;
- n°15 saggi con escavatore fino a 0.5m per in corrispondenza delle nuove viabilità.

Sui campioni prelevati sono state condotte le seguenti prove di laboratorio:

- classificazione della terra mediante analisi granulometrica e classificazione secondo le CNR-UNI 10006;
- determinazione dei limiti di Atterberg: consistenza liquido, plastico ed indice plastico;
- peso specifico dei grani, peso specifico secco del contenuto d'acqua;

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 4 di 45

- prove di taglio diretto;
- prove triassiali;
- prove edometriche e determinazione del coefficiente Cv;
- contenuto di sostanze organiche;
- determinazione del valore di Blu di metilene VB;
- contenuto di solfati, solfuri e nitrati.

2.1.3 Fase II

La campagna integrativa di indagini, denominata Fase II, è stata condotta tra ottobre e inizio dicembre 2010. Sono state condotte le seguenti indagini geognostiche e prove in sito:

- n°17 sondaggi geognostici a carotaggio continuo con profondità da 20 e 150m;
- n°15 pozzetti esplorativo realizzati con escavatore fino a profondità di 1.5m;
- n°9 fori condizionati con piezometro a tupo aperto;
- n°3 con inclinometro (1 anche con down-hole);
- n°3 con tubazione per prova down-hole;
- n°8 traverse sismiche di superficie a riflessione di lunghezza tra 46m a 132m;
- n°4 prove tipo down-hole;
- n°21 prove sismiche tipo RE.MI;
- n°22 prove sismiche passive per risposta sismica in sito mediante acquisizione del rumore sismico (noise);
- n°1 stesa elettrica 2D a risoluzione tomografica.

Sui campioni prelevati dai pozzetti sono state condotte le seguenti prove di laboratorio:

- curva granulometrica cumulativa;
- indici di consistenza e plasticità;
- classificazione UNI 10006;
- contenuto in sostanza organica;
- solfati totali;
- solfuri;
- azoto nitrico;
- caratteristiche di costipamento (Proctor Standard);

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 5 di 45

- indice CBR;
- indice CBR immediato;

Sui campioni prelevati durante i sondaggi, sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio:

- classificazione della terra mediante analisi granulometrica e classificazione secondo le CNR-UNI 10006;
- determinazione dei limiti di Atterberg: consistenza liquido, plastico ed indice plastico;
- peso specifico dei grani, peso specifico secco del contenuto d'acqua;
- prove di taglio diretto;
- prove triassiali;
- prove edometriche e determinazione del coefficiente Cv;
- campionamento delle acque.

2.1.4 Fase III a – Fase III b

La campagna integrativa di indagini, denominata Fase III, è stata condotta tra febbraio e aprile 2011. Durante tale campagna, sono state eseguite le seguenti indagini geognostiche e prove in sito:

- n°8 sondaggi da 105 a 140m da p.c.;
- prelievo di n°19 campioni indisturbati;
- n°8 celle Casagrande;
- n°2 piezometri a tubo aperto;
- n°4 prove sismiche di superficie con tecnica a riflessione;
- n°3 pozzi per prove di emungimento;
- n°4 prove di permeabilità in foro;
- n°3 prove idrauliche di lunga durata;
- prova di portata a gradini;
- n°8 slug test.

Sui campioni prelevati durante i sondaggi, sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio:

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 6 di 45

- classificazione della terra mediante analisi granulometrica e classificazione secondo la CNR-UNI 10006;
- limiti di Atterberg;
- peso specifico dei grani, peso specifico secco del contenuto in acqua;
- prove di taglio diretto;
- prove triassiali;
- prove edometriche per la determinazione del coefficiente Cv;
- pressione di rigonfiamento ISP;
- deformazione di rigonfiamento ISS;
- prove finalizzate alla determinazione della capacità di adesione delle argille sulla macchina;
- determinazioni mineralogiche per il riscontro di presenza di minerali argillosi con caratteristiche rigonfianti;
- prove chimiche finalizzate al riutilizzo con stabilizzazione a calce.

Su un campione di acqua prelevato durante l'esecuzione delle prove di emungimento sono state effettuate analisi chimico-fisiche allo scopo di definire i seguenti parametri:

- temperatura;
- pH;
- conducibilità elettrica specifica a 20°C;
- residuo fisso a 180°C;
- durezza F ;
- CO₂ libera;
- SiO₂;
- H₂S;
- cationi SO₄²⁻, NO₃⁻, HCO₃⁻, F⁻, CL⁻.

Inoltre nelle zone di imbocco sono stati eseguiti i seguenti sondaggi:

- n°2 dal lato Agrigento;
- n°4 dal lato A19.

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 7 di 45

2.2 Caratterizzazione geotecnica

2.2.1 Geologia

Il modello geologico generale prevede in affioramento, per gran parte della proiezione del tracciato in superficie, la formazione delle sabbie e argille sabbiose della Marnoso Arenacea che hanno ricoperto, tagliandoli al tetto, i sedimenti marnosi e argillo-marnosi del Pliocene Inferiore (marne argillose della Formazione dei Trubi); al di sotto di questi ultimi si colloca il substrato argilloso marnoso costituito dalle argille tortoniane della Formazione Terravecchia (TRV). La galleria si imposta quasi interamente in quest'ultima formazione, con eccezione della tratta di imbocco lato Agrigento (dove vengono intercettati i Trubi e le argille marnose di Geracello) e della tratta compresa tra le progressive 15+800 e 16+000, dove le indagini effettuate hanno messo in evidenza di un orizzonte calcareo evaporitico appartenente alla formazione dei Calcari di base, dislocato a vari livelli da strutture tettoniche distensive e compressive.

Le indagini svolte hanno comunque evidenziato la presenza di deformazioni e variazioni latero-verticali imputabili ad una situazione di stress compressivo associato alle fasi avanzate della tettonica plicativa, con formazione di discontinuità e fratture negli strati piegati durante le fasi preplioceniche e infraplioceniche lungo l'intero tracciato della galleria Caltanissetta. Le strutture di tipo diretto sono associate ad una fase di rilassamento della compressione, che ha portato a fenomeni deformativi con dissesti gravitativi profondi, pre e post pliocenici, che non risulterebbero più attivi.

Le fasce tettonizzate in formazioni più o meno plastiche e poco competenti sono caratterizzate da vere e proprie fasce di stress preferenziale con scorrimenti non individuabili in un unico piano, ma diffusi lungo diversi piani tra loro sub-paralleli, a differenza delle discontinuità, osservabili come fratture, formate all'interno di formazioni competenti.

La definizione di tale assetto tettonico strutturale risulta essere complessa a causa della situazione stratigrafica non giustificata da semplici eteropie e/o contatti tettonici causati da sovrascorrimenti, faglie inverse e faglie dirette.

In corrispondenza dell'imbocco Sud della galleria Caltanissetta e lungo tutto il tracciato, le indagini effettuate hanno evidenziato un assetto geomorfologico stabile e conservativo. Per il settore Nord il contesto geomorfologico risulta essere differente per la presenza di

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 8 di 45

affioramenti di argille brecciate costituenti un rilievo debolmente pendente nel tratto iniziale, aspro e in assetto calanchivo oltre la galleria, in prossimità del viadotto che supera l'asta fluviale.

2.2.2 Idrogeologia

Per quanto riguarda il quadro idrogeologico generale, l'area interessata dall'opera risulta essere caratterizzata dalla prevalenza di sedimenti argillosi e argilloso-marnosi con permeabilità molto basse. Localmente, nella zona Sud del tracciato, sono presenti rilievi di natura calcarea e gessosa a permeabilità elevata, mentre nella zona mediana sono presenti coperture plio-pleistoceniche a prevalenza sabbioso-calcarenitica, mediamente permeabili e sede di circolazione idrica. Nella porzione finale dell'asse stradale, si rinvencono le coperture continentali di tipo alluvionale con permeabilità variabile in funzione della granulometria. Nella zona di interesse possono essere distinti degli acquiferi superficiali e degli acquiferi profondi in pressione.

In particolare l'acquifero superficiale può essere individuato nelle zone di imbocco lato AG dove risulta essere limitato alle sabbie e sabbie argillose della Marnoso-Arenacea che affiorano in superficie. Un altro livello acquifero superficiale è stato individuato al termine della formazione sabbiosa prima dell'affioramento argilloso che funge da substrato impermeabile e limite laterale imposto della falda idrica sotterranea. I deflussi risultano essere diretti in direzione Nord.

L'acquifero profondo è rappresentato dai livelli più limosi e permeabili presenti nella formazione argillosa. Questa condizione porta allo sviluppo di falde in pressione che potrebbero essere idraulicamente collegate tra loro. Dall'analisi dei livelli delle misure piezometriche effettuate è possibile assimilare il livello della falda all'andamento morfologico del rilievo entro cui insisterà la galleria.

Dove l'acquifero è rappresentato dai calcari contenenti falda in pressione, le zone di alimentazione potrebbero essere individuabili negli affioramenti superficiali di tale formazione. Considerato che il tetto della galleria in tale zona risulta essere posto a circa 90m di profondità, è possibile affermare che su tale settore insiste una falda in pressione con spessore potenziale di circa 60÷70m.

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 9 di 45

Dal punto di vista idrogeologico, il tracciato della galleria può essere suddiviso in quattro zone, in riferimento al carico idraulico gravante sulla galleria:

- Zona 1 dalla progressiva 13+500 alla progressiva 13+680 con carico idraulico di 30÷50m;
- Zona 2 dalla progressiva 16+680 alla progressiva 14+000 con carico idraulico di 50÷80m;
- Zona 3 dalla progressiva 14+000 alla progressiva 15+600 con carico idraulico di 80÷115m;
- Zona 4 dalla progressiva 15+600 alla progressiva 16+020 con carico idraulico di 60÷80m.

Allo scopo di definire un modello idrogeologico del settore interessato dalla realizzazione della galleria, sono stati definiti sette complessi idrogeologici in funzione delle composizione litologica e della variabilità del range di permeabilità:

- complesso argilloso: comprende le formazioni argillose, prevalentemente tettonizzate, che costituiscono la parte basale della successione litostratigrafica con assenza di circolazione idrica ad eccezioni delle coltri superficiali alterate ed allentate (FYN4, AV, TRVb, TRBa);
- complesso argilloso-marnoso: composto da formazioni di natura prevalentemente argillo-marnosa con livelli sabbiosi e/o gessosi alterati con assenza di circolazione idrica degna di nota, ad eccezione delle coltri superficiali alterate ed allentate e delle zone tettonizzate (TRV, ENNa, GER, GTL3);
- complesso calcareo-marnoso: costituito da formazioni prevalentemente calcareo-marnose con permeabilità bassa o nulla per porosità e di grado medio per fratturazione con circolazione idrica importante condizionata dal grado di fratturazione e porosità delle marne calcaree (TRB, TPL);
- complesso Alluvionale detritico: costituito dai depositi continentali con permeabilità medio-alta e condizionata localmente dalla presenza della frazione limo-argillosa (A, TF, DT);
- complesso conglomeritico: comprende isolati volumi conglomeritici, calciruditici e calcareniti caratterizzati da circolazione idrica ben sviluppata e permeabilità elevate (TRVa);

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 10 di 45

- complesso sabbioso: costituito dalle Sabbie di Lannari (SLN) e Calcareniti di Enna (ENNB), sede di un modesto acquifero e con permeabilità elevata sia per porosità che per fratturazione;
- complesso calcareo-gessoso: costituito dai calcari di base e dai gessi selenitici con circolazione idrica importante, quota piezometrica relativamente profonda e permeabilità estremamente variabile in relazione allo stato fisico tensionale della roccia (GTL1, GTL2).

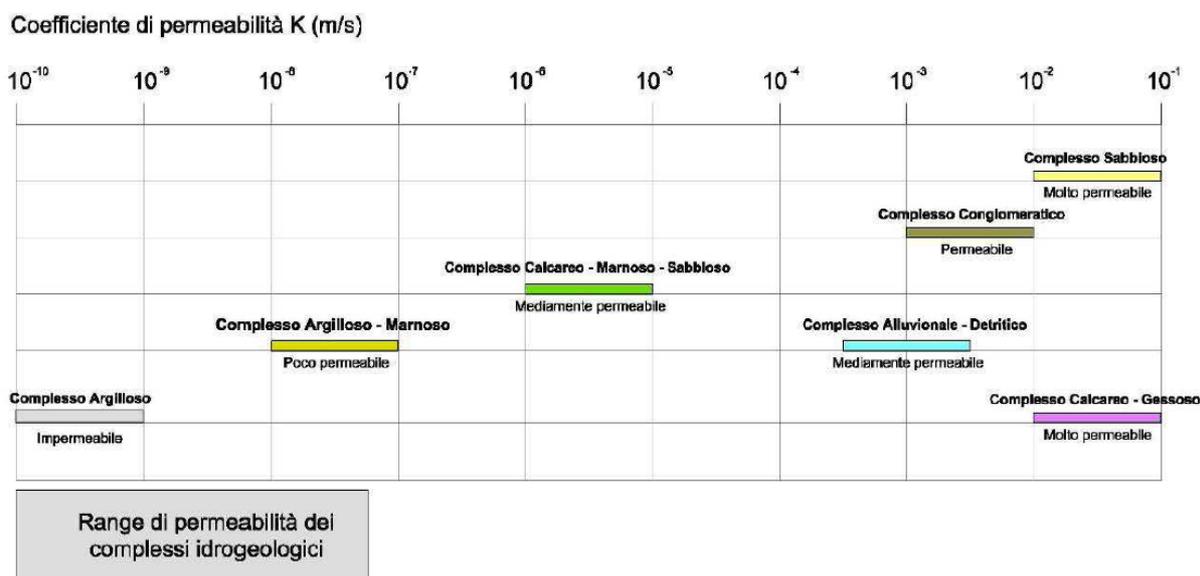


Figura 2.1: Coefficienti di permeabilità

2.2.3 Geotecnica

La galleria in esame si sviluppa in prevalenza in terreni con comportamento coesivo in condizioni sature. Dal punto di vista geotecnico le due formazioni che caratterizzano la quasi totalità del tracciato (Argille brecciate e, in subordine, Calcari marnosi o Trubi) presentano caratteristiche geotecniche confrontabili in termini di resistenza meccanica e di deformabilità, lo stesso dicasi per le proprietà idrogeologiche.

La maggiore differenziazione di proprietà geotecniche si riscontra in corrispondenza delle zone di disturbo tettonico nelle quali, indipendentemente dalla litologia originaria, si manifesta un brusco decadimento delle caratteristiche meccaniche.

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 11 di 45

Nell'ambito dei terreni argillosi, le indagini eseguite hanno evidenziato la presenza di livelli potenzialmente rigonfianti in funzione della presenza di minerali argillosi del gruppo delle Smectiti.

I terreni argillosi presentano tenori di solfati corrispondenti ad una classe di aggressività moderata, mentre il tenore di cloruri risulta elevato.

Nelle argille brecciate tortoniane, durante le indagini, è stata riscontrata la presenza di idrocarburi leggeri e idrogeno solforato.

Nel seguito si riportano i parametri geotecnici adottati nelle analisi:

Tabella 2.1: Parametri geotecnici

Unità geotecnica	c' [kPa]	ϕ' [°]	C_u [kPa]	γ [kN/m ³]	E' [MPa]	ν [-]
Sabbie di Lanari (SLN)	5÷10	18÷23	-	19÷20	80÷130	0.3
Argille marnose di Geracello (GER)	20÷40	22÷26	50÷80	19÷20	80÷130	0.3
Trubi pliocenici (TRB) indisturbati ed ad alta copertura	20÷40	22÷26	200÷400	19÷20	130÷350	0.3
Argille brecciate plioceniche (TRVb) indisturbate	15÷30	22÷26	200÷400	19÷20	80÷350	0.3
Fasce cataclamate e zone di sovrascorrimento a bassa copertura	10÷15	18÷23	50÷80	19÷20	80÷130	0.3
Membro calcareo di base (GTL1)	15÷30	18÷23	-	19÷20	50÷100	0.3

2.2.4 Profilo Geologico-Tecnico

In dettaglio, con riferimento ai profili presenti nelle successive figure, per la galleria naturale Caltanissetta, il profilo geologico prevede l'attraversamento delle seguenti formazioni:

- Dall' imbocco lato Agrigento fino alla progressiva 12+960 sono presenti sabbie con spessori di circa 10÷15m (Sabbie di Lannari, SLN), ricoprenti un substrato argilloso marnoso costituito dalle Argille marnose di Geracello (GER);
- dalla progressiva 12+960 alla progressiva 13+100: Trubi (TRB);
- dalla progressiva 13+100 alla progressiva 13+380: argille marnose di Geracello (GER) (da evidenziare una serie di fasce tettonizzate per circa il 60% della distanza tra la progressiva 13+380 alla 13+840 per un totale di circa 300m);

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 12 di 45

- dalla progressiva 13+380 alla progressiva 13+580: Trubi (TRB);
- dalla progressiva 13+580 alla progressiva 15+240: Breccie Argillose (TRVb);
- dalla progressiva 15+240 alla progressiva 15+460: Trubi (TRB);
- dalla progressiva 15+460 alla progressiva 15+640: Breccie Argillose (TRVb);
- dalla progressiva 15+640 alla progressiva 15+800: zona di sovrascorrimento tra Breccie Argillose (TRVb) e Trubi (TRB) e presenza di una fascia tettonizzata;
- dalla progressiva 15+800 alla progressiva 15+960: Membro Calcarea di Base (GTL1);

dalla progressiva 15+960 fino alla fine del tracciato: Breccie Argillose (TRVb).

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 13 di 45

VARIANTE TECNICA N.4

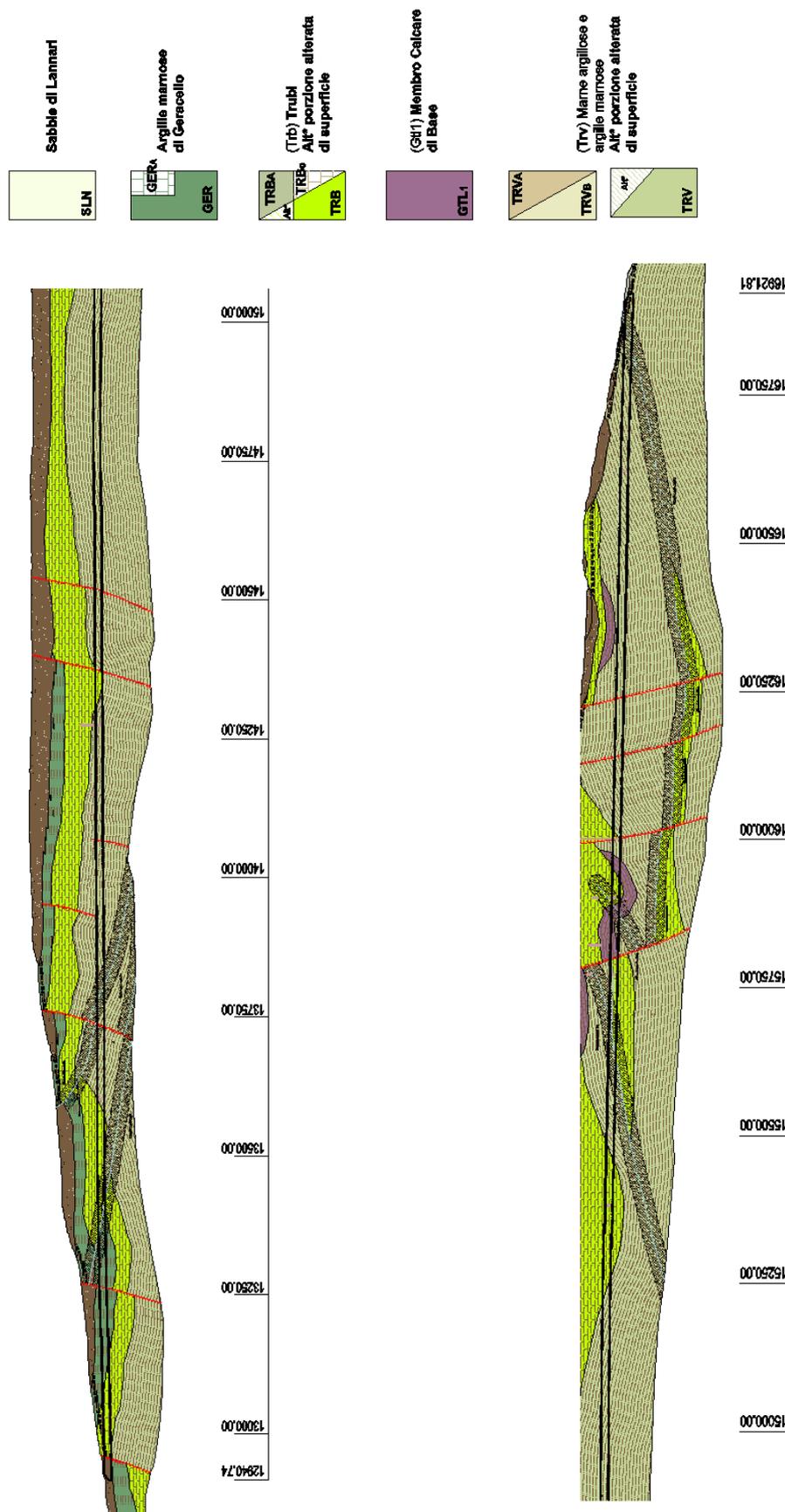


Figura 2.2: Profilo geotecnico della galleria Caltanissetta – Canna Nord

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 14 di 45

VARIANTE TECNICA N.4

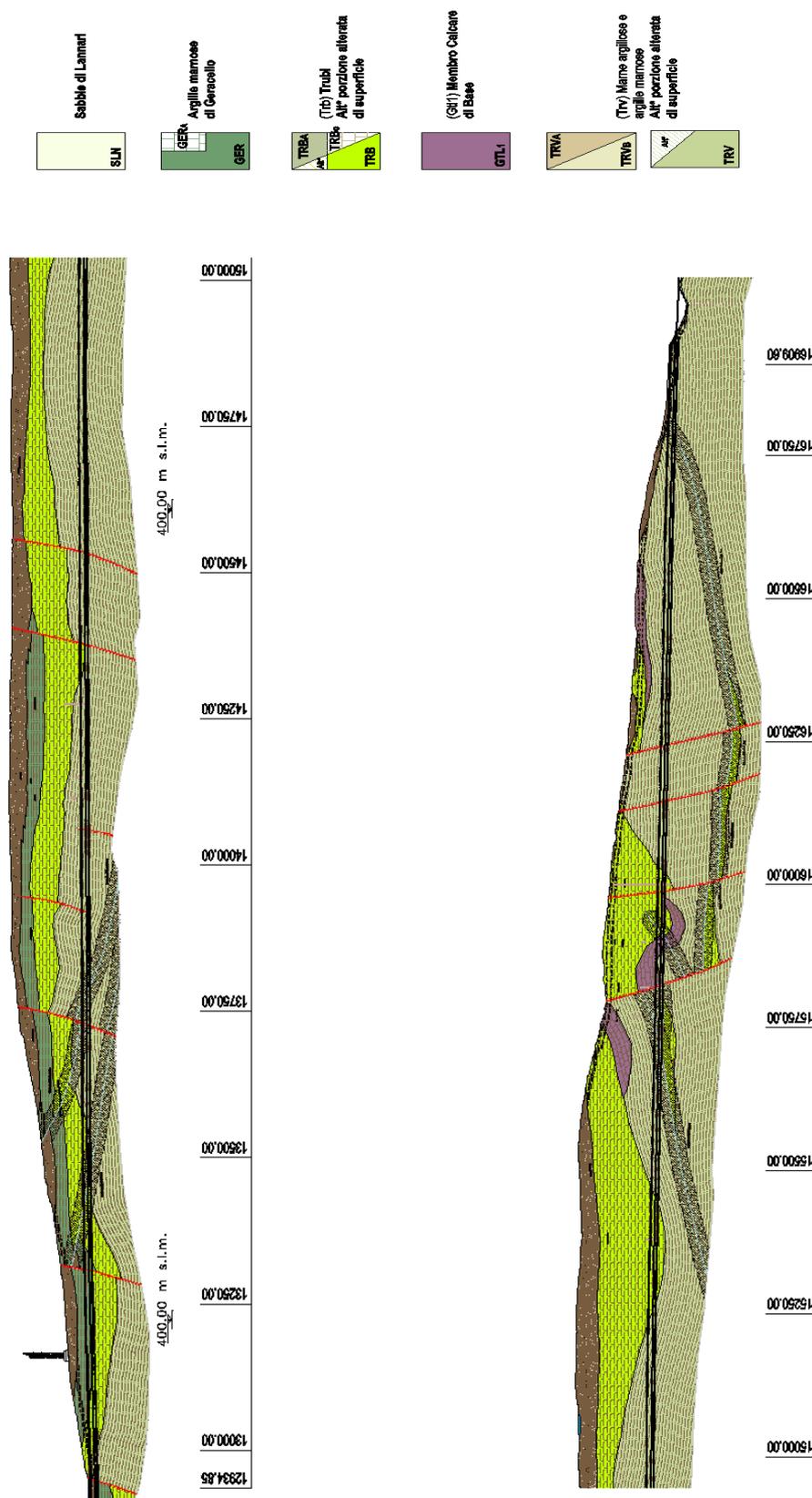


Figura 2.3: Profilo geotecnico della galleria Caltanissetta – Canna Sud

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 15 di 45

3. DESCRIZIONE DELL'OPERA

3.1 Tracciato Plano-Altimetrico

La galleria Caltanissetta è costituita da due fornici i cui assi distano tra loro da un minimo di 35m, (in prossimità degli imbocchi) fino ad un massimo di 85m.

Dal punto di vista altimetrico, la canna destra, partendo dall'imbocco lato Agrigento, inizia a salire con pendenza pari a 2.64% per 257.65m. Un raccordo verticale convesso di raggio 20000m e sviluppo 415.83m immette su una livelletta in leggera salita con pendenza 0.56% per 1081.88m, successivamente, tramite un altro raccordo verticale convesso di raggio 25000m e sviluppo 680.65m si immette su una livelletta in discesa con pendenza pari a 2.16% e sviluppo pari a 1226.46m dopo la quale, tramite un raccordo verticale convesso di raggio 25000m e sviluppo di 344.14m arriva all'imbocco lato A19.

Sinteticamente la canna destra presenta le seguenti caratteristiche altimetriche:

- quota imbocco lato Agrigento 530.91m s.l.m.;
- quota imbocco galleria naturale lato Agrigento 531.99m s.l.m.;
- quota imbocco lato A19 508.65m s.l.m.;
- quota imbocco galleria naturale lato A19 510.04m s.l.m.;
- quota massima lungo il tracciato 550.81m s.l.m. alla prog. 14+801.83m.

Altimetricamente, la canna sinistra, partendo dall'imbocco lato Agrigento, inizia a salire con pendenza pari a 2.63% per 257.97m. Un raccordo verticale convesso di raggio 20000m e sviluppo 413.60m immette su una livelletta in leggera salita con pendenza 0.56% per 1111.19m, successivamente, tramite un altro raccordo verticale convesso di raggio 25000m e sviluppo 680.04m si immette su una livelletta in discesa con pendenza pari a 2.15% e sviluppo pari a 1200.51m dopo la quale, tramite un raccordo verticale convesso di raggio 25000m e sviluppo di 394.41m arriva all'imbocco lato A19.

Sinteticamente la canna sinistra presenta le seguenti caratteristiche altimetriche:

- quota imbocco lato Agrigento 530.88m s.l.m.;
- quota imbocco galleria naturale lato Agrigento 532.22m s.l.m.;
- quota imbocco lato A19 507.50m s.l.m.;
- quota imbocco galleria naturale lato A19 511.70m s.l.m.;
- quota massima lungo il tracciato 550.81m s.l.m. alla prog. 14+836.83m.

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 16 di 45

Dal punto di vista planimetrico, la canna destra, partendo dall'imbocco lato Agrigento, dopo un primo tratto in rettilineo di sviluppo pari a 738.32m (di cui 680.15m in galleria) il tracciato devia verso sinistra percorrendo una curva di raggio planimetrico da 1460.00m e sviluppo pari a 360.42m anticipata e seguita da due curve a raggio variabile (clotoidi) con parametro $A=500$ e sviluppo pari a 171.23m. Successivamente il tracciato torna ad essere rettilineo per 1964.34m fino a deviare a destra mediante una curva di raggio planimetrico pari a 1920.00m e sviluppo pari a 677.05 (di cui 431.52m in galleria) anticipata e seguita da due curve a raggio variabile (clotoidi) con parametro $A=640$ e sviluppo pari a 213.33m. Planimetricamente, la canna sinistra, partendo dall'imbocco lato Agrigento, dopo un primo tratto in rettilineo di sviluppo pari a 269.80m (di cui 229.16m in galleria) il tracciato devia verso sinistra percorrendo una curva di raggio planimetrico da 1890.00m e sviluppo pari a 673.45m anticipata e seguita da due curve a raggio variabile (clotoidi) con parametro $A=630$ e sviluppo pari a 210.00m. Successivamente il tracciato torna ad essere rettilineo per 2008.77m fino a deviare a destra mediante una curva di raggio planimetrico pari a 1885.00m e sviluppo pari a 663.59m (di cui 407.45m in galleria) anticipata e seguita da due curve a raggio variabile (clotoidi) con parametro $A=630$ e sviluppo pari a 210.56m.

3.1.1 Galleria

Il rivestimento definitivo della galleria naturale è costituito da un anello formato da 8 conci prefabbricati in c.a. di spessore pari a 0.6m e lunghezza nominale pari a 2.0m, oltre al "concio di chiave".

La copertura massima in calotta galleria è di circa 130m (in prossimità della progressiva 15+450.00m) mentre le coperture minori si riscontrano in corrispondenza dei due imbocchi (2-3m circa).

La canna SX si sviluppa dalla progressiva 12+924.58m alla progressiva 16+909.60m per un totale di 3985.02m. Il tratto in naturale si estende dalla progressiva 12+959.33 alla progressiva 16+836.86m, per un totale di 3877.53m. La galleria artificiale di imbocco lato Agrigento risulta essere lunga 34.75m mentre all'imbocco lato A19, ha una lunghezza di 72.74m.

La canna DX si sviluppa dalla progressiva 12+929.58m alla progressiva 16+921.81m per un totale di 3992.23m. Il tratto in naturale si estende dalla progressiva 12+964.33 alla

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 17 di 45

progressiva 16+881.83m per un totale di 3917.50m. La galleria artificiale di imbocco lato Agrigento risulta essere lunga 34.75m mentre per l'imbocco lato A19, in galleria artificiale, la lunghezza è di 39.98m.

L'intera tratta in naturale è stata realizzata mediante scavo meccanizzato con l'utilizzo di EPB.

In funzione delle proprietà geotecniche e condizioni idrogeologiche lungo il tracciato è stata applicata una contropressione per contenere il fronte e lo sviluppo dei cedimenti in superficie. I valori di contropressione da applicare sono stati calcolati a partire da formulazioni note nel campo di scavo meccanizzato con macchine di tipo EPB e riportate nei profili geomeccanici di previsione. Nella tratta nei Calcari (circa 200m), le scadenti proprietà geotecniche hanno richiesto oltre ad una pressione al fronte pari alla massima che può essere esercitata dalla macchina, l'abbassamento della falda tramite pozzi di emungimento in superficie.

3.1.2 Opere impiantistiche

Nella galleria sono previsti i seguenti impianti a corredo del tunnel:

- Impianto di illuminazione normale, di sicurezza e di evacuazione;
- Impianto di ventilazione della galleria;
- Impianto di pressurizzazione by pass;
- impianto di segnaletica luminosa;
- impianti per chiudere la galleria (pannelli a messaggio variabile e semafori);
- impianto fonico e di richiesta di soccorso (SOS);
- sistema di videosorveglianza;
- sistema di conteggio traffico;
- sistema di prevenzione incendi;
- impianto per ritrasmissione radio ad uso dei servizi di pronto intervento;
- sistema di telecontrollo;
- impianti elettrici di alimentazione da rete per il funzionamento normale, mediante gruppi elettrogeni per il funzionamento in emergenza e gruppi statici di continuità per l'alimentazione di sicurezza;
- sistema di rivelazione e impianti generali di servizio nel locale tecnico

analogamente a quelli previsti in PE e che, con rif. all'elaborato: "Relazione Tecnica – Impianti", vengono riproposti interamente senza modifiche rispetto al livello di PE.

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 18 di 45

3.1.3 ByPass

Lungo il tracciato della galleria Caltanissetta sono previsti n. 2 by-pass carrabili alle progressive:

14.415,33	Pk CARR. SX
15.675,49	Pk CARR. SX

e n. 7 by-pass pedonali alle progressive:

13.417,33	Pk CARR. SX
13.915,63	Pk CARR. SX
14.913,33	Pk CARR. SX
15.190,49	Pk CARR. SX
15.975,49	Pk CARR. SX
16.275,49	Pk CARR. SX
16.675,49	Pk CARR. SX

I by-pass verranno realizzati con metodo di scavo tradizionale previo consolidamento del fronte e del contorno di scavo.

Le fasi propedeutiche alla scavo dei by-pass pedonali e carrabili prevedono la realizzazione di un solettone armato di classe C28/35, sagomato inferiormente per consentire il passaggio degli impianti e la posa in opera di centinature temporanea di sostegno costituita da n. 6 centine 2HEM500 accoppiate e connesse alla traversa principale di forma scatolare.

Tali armature di cerchiaggio verranno rese solidali ai conci della GN Caltanissetta attraverso l'utilizzo di martinetti idraulici posti ai piedi delle centine e con l'ausilio di tassellatura M30 di collegamento struttura-conci.

Le fasi esecutive principali, per entrambe le tipologie di by-pass, sono le seguenti:

- Getto del solettone in cls armato;
- Consolidamenti del fronte di scavo dei By-Pass mediante tubi in vtr cementati;
- Montaggio delle cerchiature di presidio;
- Ancoraggio dei conci adiacenti alla zona di innesto;

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 19 di 45

- Apertura del vano mediante taglio radiale dei conci;
- Scavo della sezione di portale e della sezione corrente di By-pass L=6 m;
- Getto del portale;
- Scavo di avanzamento sezione corrente;
- Getto di arco rovescio e murette;
- Posa dell'impermeabilizzazione;
- Getto del rivestimento definitivo.

In particolare per la sezione del by-pass carrabile i sostegni di prima fase (v. Figura 3.1-a) sono costituiti dai seguenti elementi:

- consolidamento al fronte ed al contorno mediante n°71±10% elementi strutturali in vetroresina di lunghezza variabile cementati in foro con miscele cementizie;
- centine metalliche e calcestruzzo proiettato rinforzato con fibre in polipropilene ed armato con rete elettrosaldata.

Il rivestimento definitivo dei by-pass carrabili (v. Figura 3.1-b) è costituito da cemento armato con spessore di:

- 105 cm in calotta;
- 140 cm in arco rovescio.

Il rivestimento definitivo prevede un impermeabilizzazione full-round al contorno di esso.

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 20 di 45

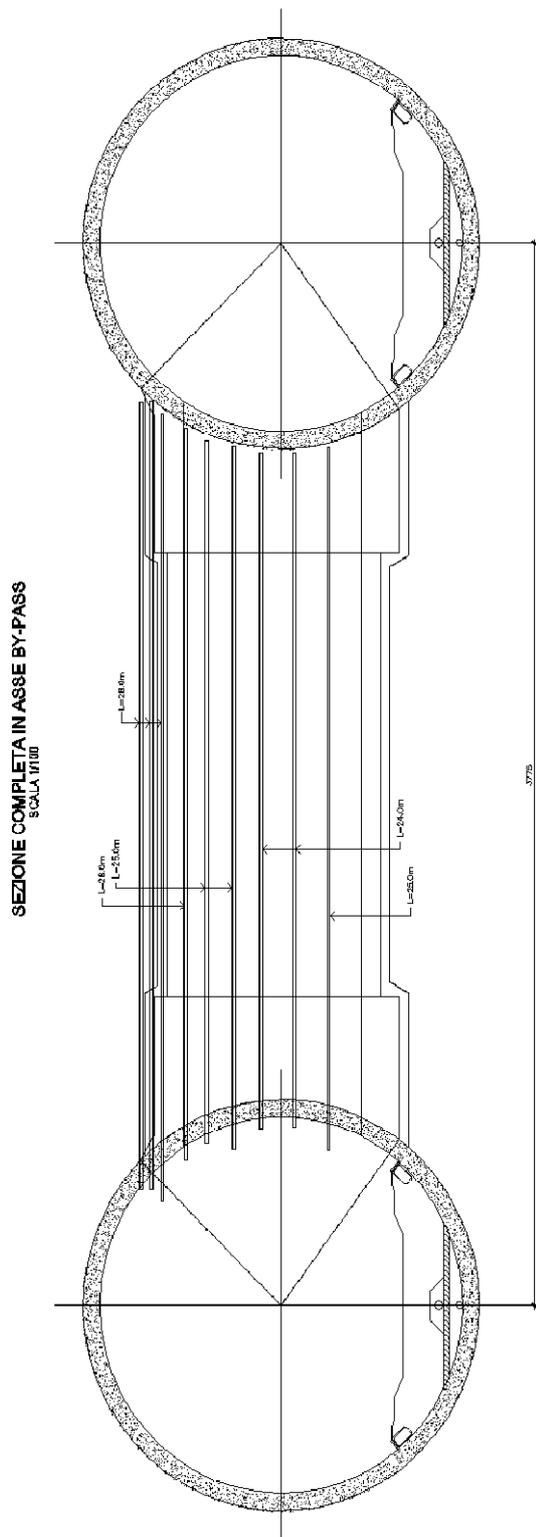


Figura 3.1: By-pass carrabile: sostegno di prima fase sezione completa in asse

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 21 di 45

BY-PASS CARRABILE CONSOLIDAMENTO DALLA GALLERIA PRINCIPALE

SCALA 1/50

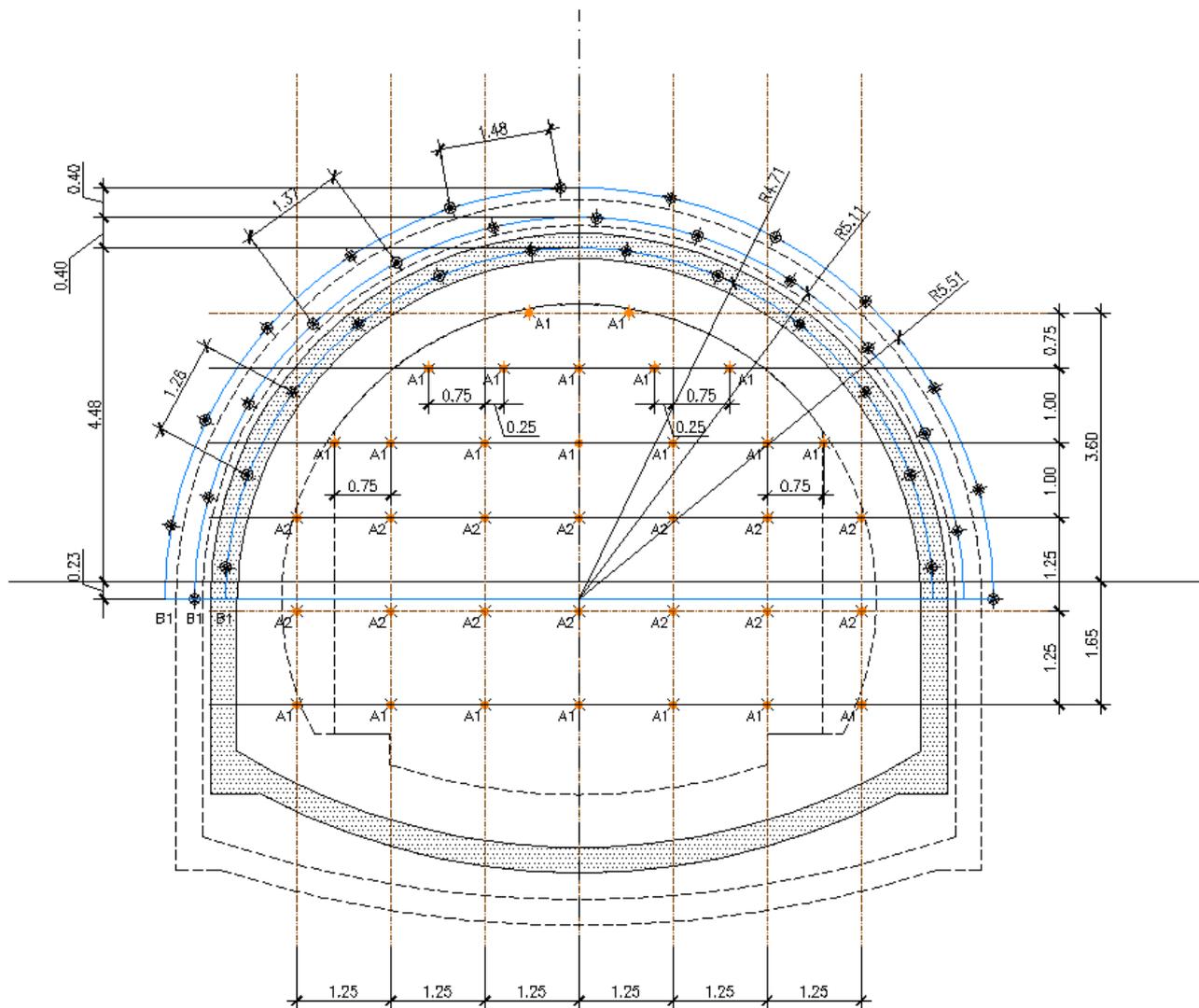


Figura 3.2-a: By-pass carrabile: sostegno di prima fase

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 22 di 45

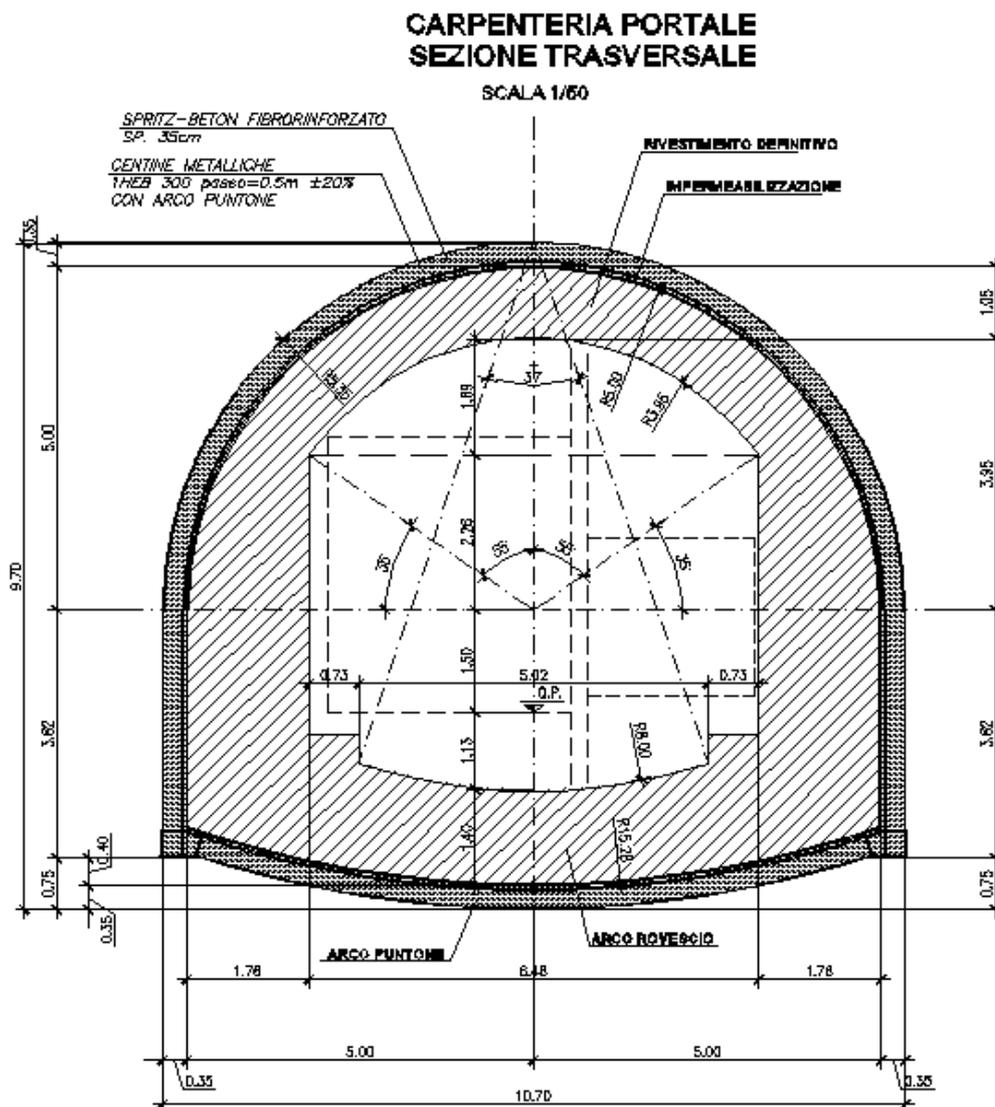


Figura 3.1 b: By-pass carrabile: rivestimento definitivo

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 23 di 45

I By-pass pedonali sono caratterizzati da due sezioni tipologiche, la prima di collegamento tra la galleria principale di linea e lo stesso by-pass pedonale definita "portale", e la seconda denominata sezione corrente.

Nel primo caso si tratta di una sezione di allargò, ossia una sezione simile a quella della sezione corrente con dimensione di scavo maggiore. Le dimensioni di scavo di questa sezione sono definite a partire dalla posizione della struttura metallica esterna e dalle dimensioni e posizioni specifiche dei conci esistenti della canna SX della galleria Caltanissetta.

Per le sezioni di attacco dei by-pass pedonali i sostegni di prima fase (v. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**3-a) sono costituiti dai seguenti elementi:

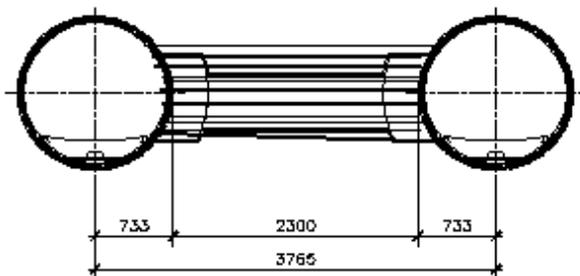
- consolidamento al fronte e contorno mediante n°55 ($\pm 10\%$) elementi strutturali in vetroresina di lunghezza variabile cementati in foro con miscele cementizie;
- centine metalliche e calcestruzzo proiettato rinforzato con fibre in polipropilene ed armato con rete elettrosaldata.

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 24 di 45

BY-PASS L=23.0m circa

1:200

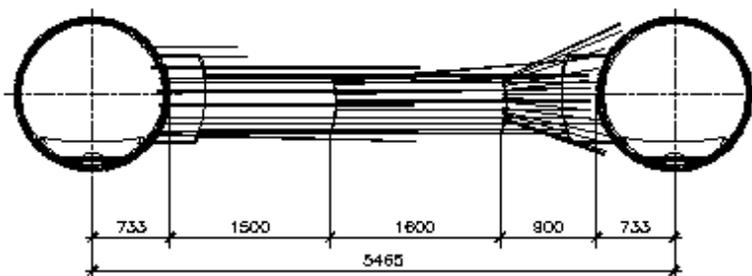
CONSOLIDAMENTI



BY-PASS L=40.0m circa

1:200

CONSOLIDAMENTI



BY-PASS L=70.0m circa

1:200

CONSOLIDAMENTI

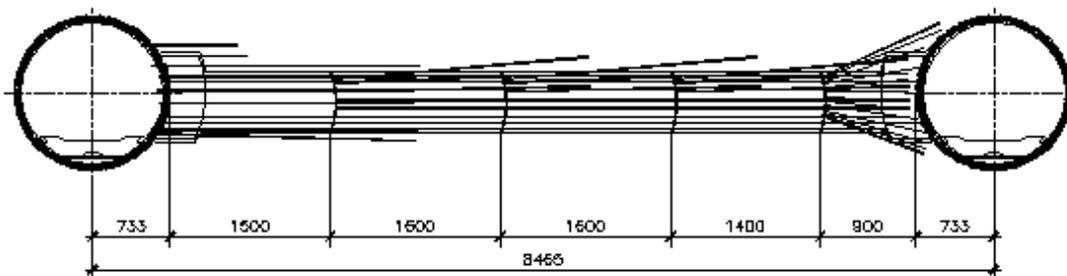


Figura 3.3 b: By-pass pedonale: consolidamento sezioni tipo

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 26 di 45

Per la sezione corrente dei By-pass pedonali a seconda della distanza tra i due fornicelli della GN Caltanissetta, e quindi del numero di campi di consolidamenti da effettuare, sono previste tre tipologie diverse di consolidamento.

Si avranno consolidamenti specifici per lunghezze rispettivamente di 23 m, 40 m e 70 m (v. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**3-b).

Tali sezioni sono costituite dai seguenti elementi:

- consolidamento al fronte mediante n°17($\pm 10\%$) elementi strutturali in vetroresina, sovrapposizione minima pari a 8.0m cementati in foro con miscele cementizie;
- consolidamento al contorno mediante n°22($\pm 10\%$) elementi strutturali in vetroresina, sovrapposizione minima pari a 8.0m cementati in foro con miscele cementizie;
- sostegno di prima fase costituito da centine metalliche con arco puntone;

Il rivestimento definitivo dei by-pass carrabili (v. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) è costituito da cemento armato con spessore di:

- 235 cm in calotta;
- 160 cm in arco rovescio.

Il rivestimento definitivo prevede un impermeabilizzazione full-round al contorno di esso.

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 27 di 45

BY-PASS PEDONALE – PORTALE
 CARPENTERIA DEFINITIVA

SCALA 1/50

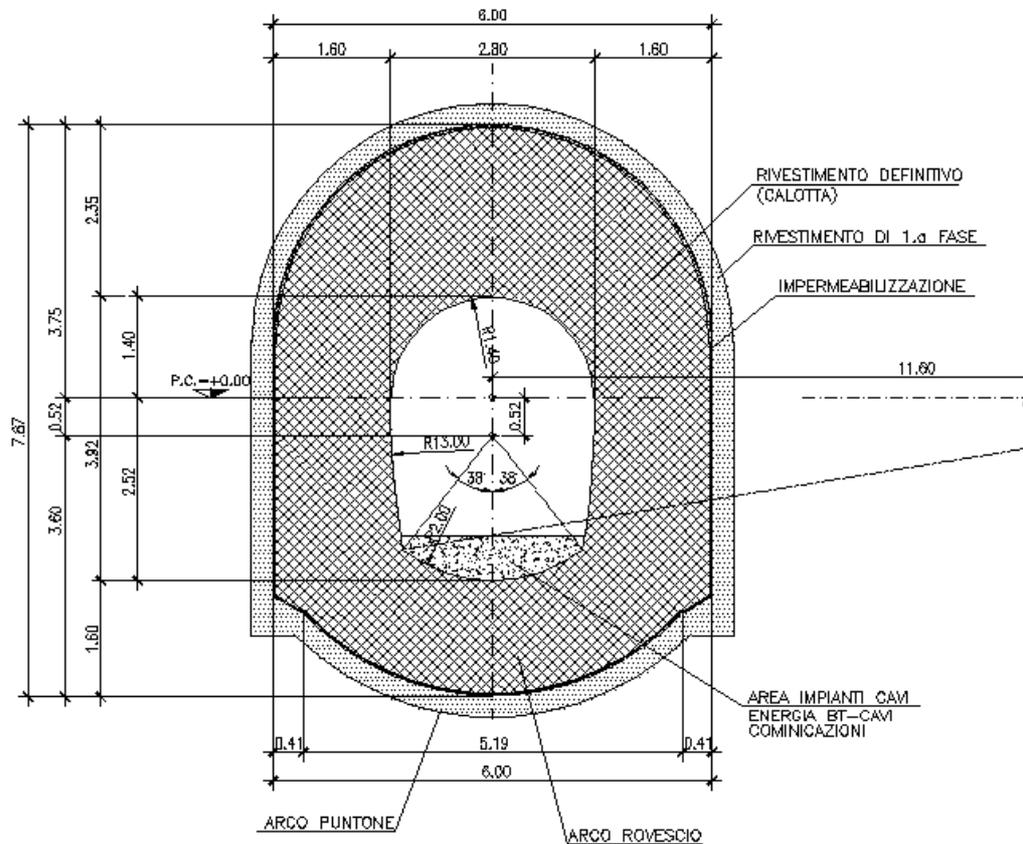


Figura 3.4: By-pass pedonale: rivestimento definitivo sezioni tipo

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 28 di 45

3.2 Imbocchi

In entrambi gli imbocchi della galleria Caltanissetta (lato Agrigento e lato A19), è prevista la costruzione di un tratto di galleria artificiale. All'imbocco lato Agrigento il tratto in artificiale ha un lunghezza pari a 34.75m, per entrambe le canne, mentre lato A19 la lunghezza è di 39.98m per la canna destra e 72.74m per quella sinistra.

Gli scavi di sbancamento sono sostenuti da paratie di pali multi tirantate.

Le gallerie artificiali possono entrambe essere suddivise in due differenti tratte, a seconda delle modalità costruttive e delle sezioni tipologiche utilizzate.

La prima tratta (di lunghezza pari a 18.8m per entrambe le canne, lato AG e pari a 56.09m per la canna sinistra e 23.33m per quella destra, all'imbocco lato A19) è costituita da un tratto in artificiale su conci. Costruita la culla per l'alloggiamento della TBM, vengono messi in opera i conci prefabbricati e successivamente gettato il rivestimento in calcestruzzo, avente uno spessore di 1.0m, nella zona della calotta (sezione tipologica I).

La seconda tratta, dove si sviluppa il portale d'imbocco a becco di flauto della galleria, è costituita da un tratto di artificiale su cassero. La sezione tipo non presenta più i conci prefabbricati ed è costituita da un rivestimento di calcestruzzo gettato in opera di spessore pari a 1.60m (sezione tipologica II).

Terminate le fasi di costruzione gli scavi sono ritombati utilizzando il terreno estratto precedentemente; lato AG la copertura media è di circa 3.0m, mentre all'imbocco A19 essa risulta di 2.3m circa.

Nelle successive figure vengono riportate le planimetrie con le sistemazioni definitive degli imbocchi AG e A19 e le sezioni tipologiche delle gallerie artificiali.

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 29 di 45

VARIANTE TECNICA N.4

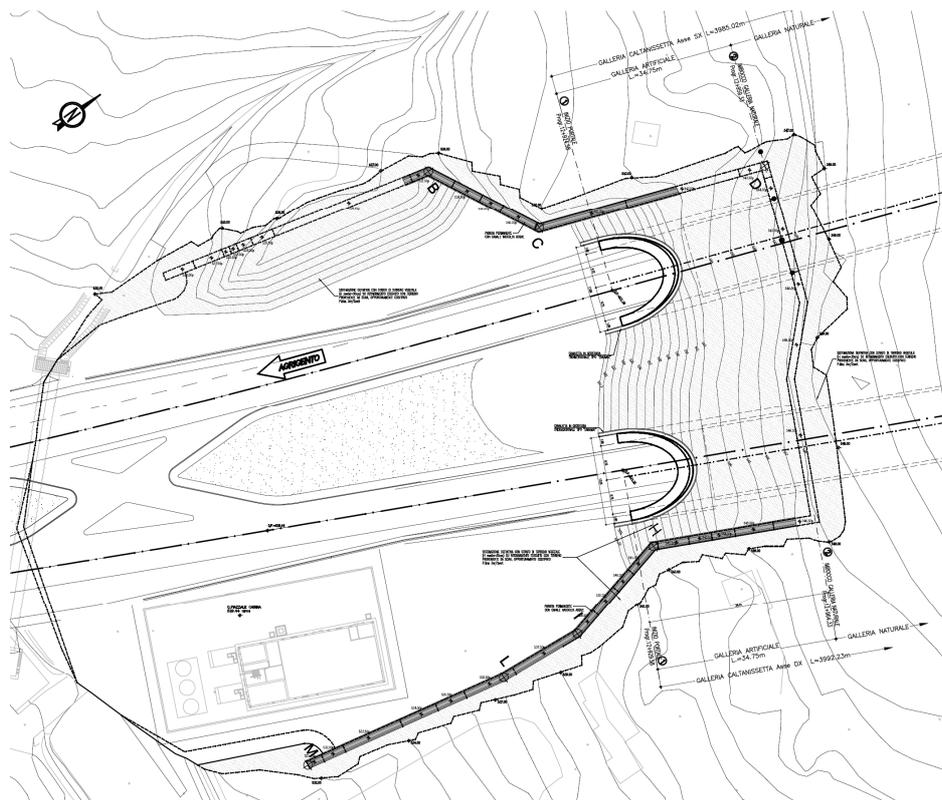


Figura 3.2: Galleria Caltanissetta – planimetria dell'imbocco lato Agrigento – sistemazione finale

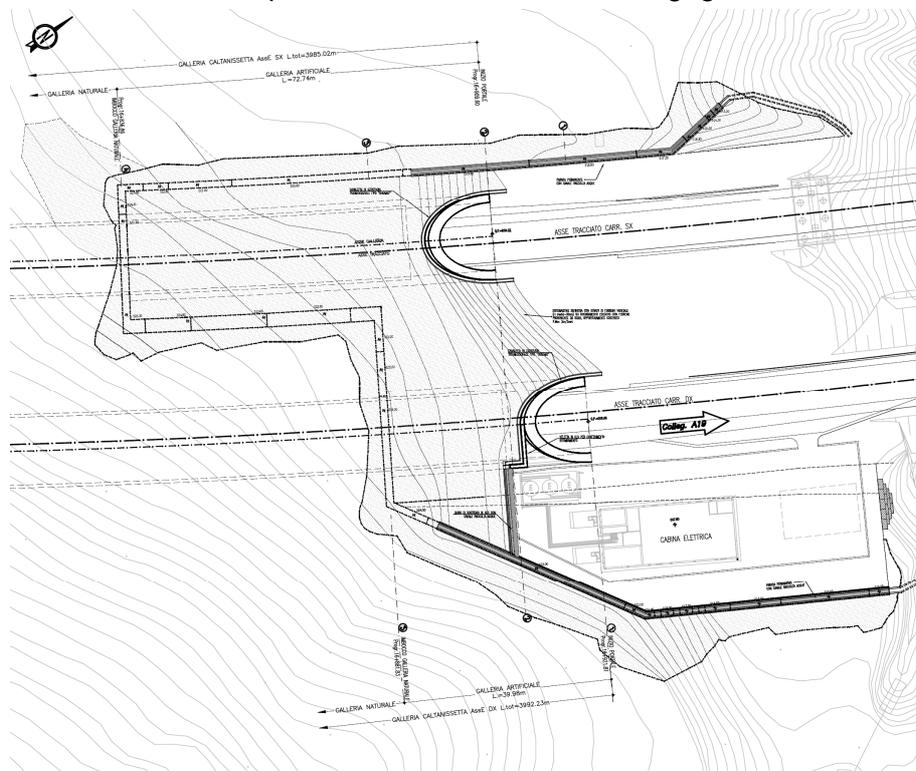


Figura 3.3: Galleria Caltanissetta – planimetria dell'imbocco lato A19 – sistemazione finale

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 30 di 45

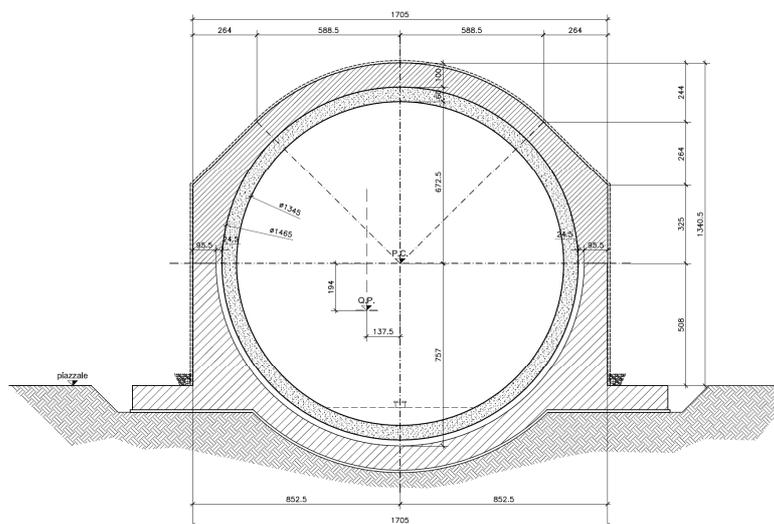


Figura 3.4: Galleria artificiale – artificiale su conci (sezione tipo I)

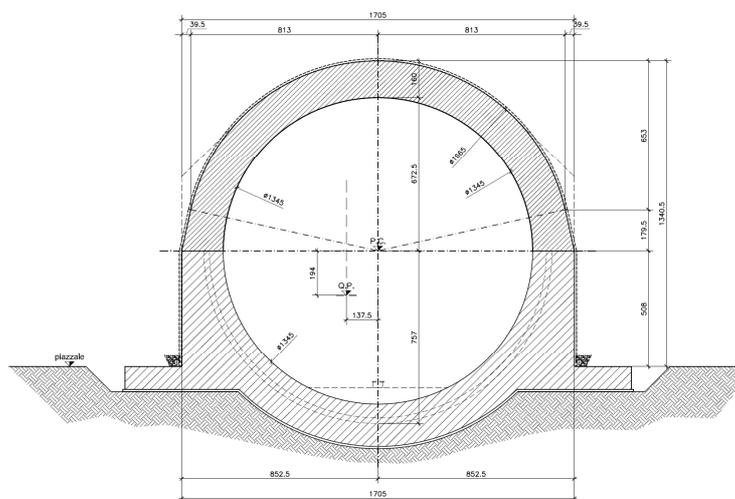


Figura 3.5: Galleria artificiale – becco di flauto – artificiale su cassero (sezione tipo II)

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 31 di 45

4. RIVESTIMENTO DELLA GALLERIA IN CONCI PREFABBRICATI

4.1 Descrizione dell'Anello

Il rivestimento della galleria è costituito da un anello di spessore di 60cm, composto da 8+1 conci prefabbricati in calcestruzzo armato compreso il concio di chiave.

Le caratteristiche geometriche del rivestimento sono:

- diametro esterno, D_{ex} : 14.65 m
- diametro interno, D_{in} : 13.45 m
- spessore conci, h: 60 cm
- lunghezza conci, b: 200 cm
- numero di conci: 8+1
- Classe calcestruzzo: C55/67
- Classe di esposizione: XD3

Le caratteristiche indicative della TBM considerate per il dimensionamento dei conci sono:

- diametro di scavo 15.08m
- diametro dello scudo 15.03m
- spinta sui i conci in condizioni geomeccanicamente sfavorevoli (spinta massima): 269331kN
- spinta sui i conci in condizioni normali (spinta nominale): 235665kN
- numero di martinetti: 17 gruppi da 3;
- area del contatto scarpa della spinta - concio: 1665 x 445 mm²

La tenuta idraulica delle gallerie è garantita dalla presenza di guarnizioni di tipo Fip T184 o equivalente.

I conci sono di tipo universale in modo da consentire, mediante la rotazione dell'anello, di ottenere curvature variabili del tracciato, sia planimetriche che altimetriche, oltre a correggere deviazioni dal tracciato durante lo scavo. Rispetto ad un anello con lati paralleli, i conci universali sono associati alle minori concentrazioni di tensioni, nel caso di spinte non uniformi provocate dai martinetti, come nel caso di curve e/o correzioni. Inoltre il risultato finale è associato con minor offset tra concio e concio e anello e anello, quindi presenta maggior garanzia in termini di impermeabilità del rivestimento definitivo.

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 32 di 45

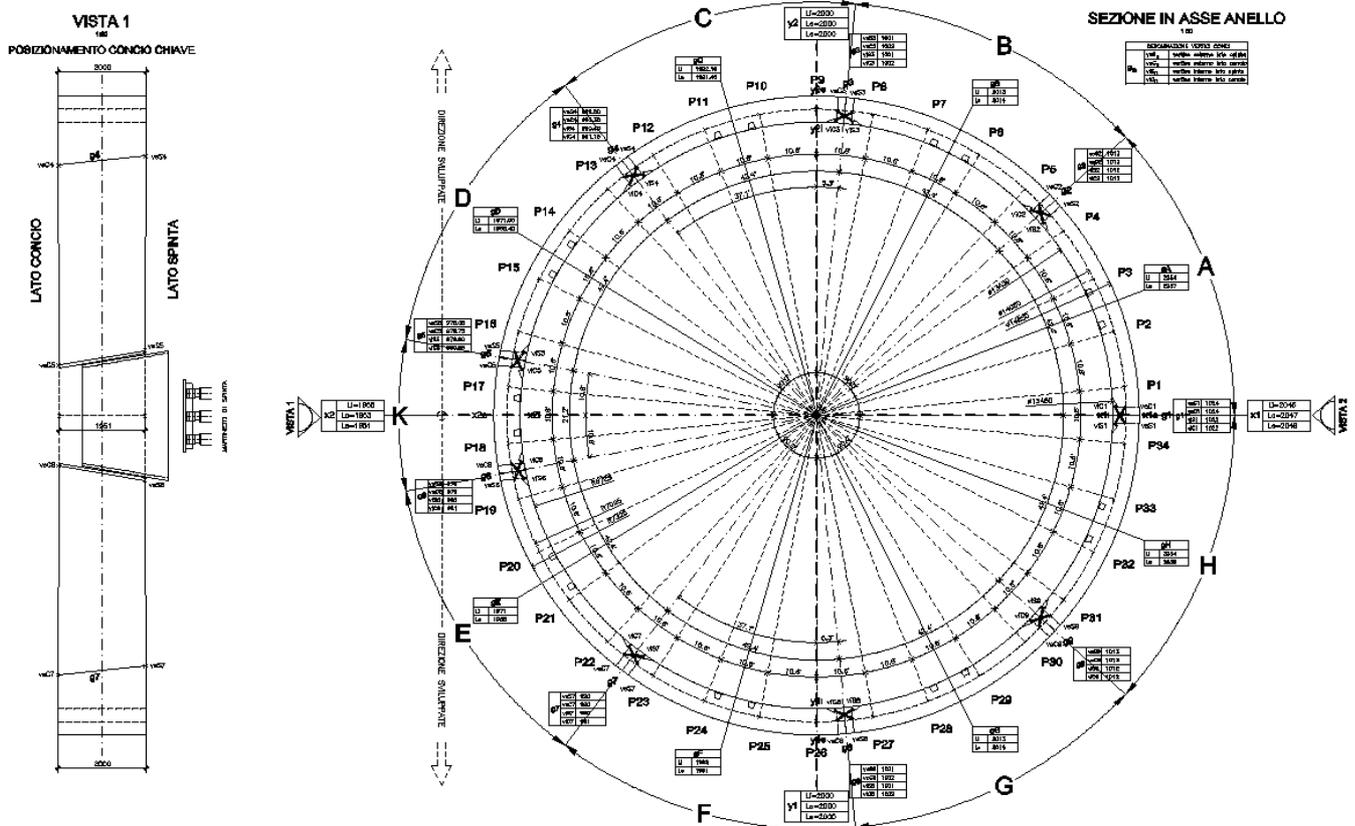
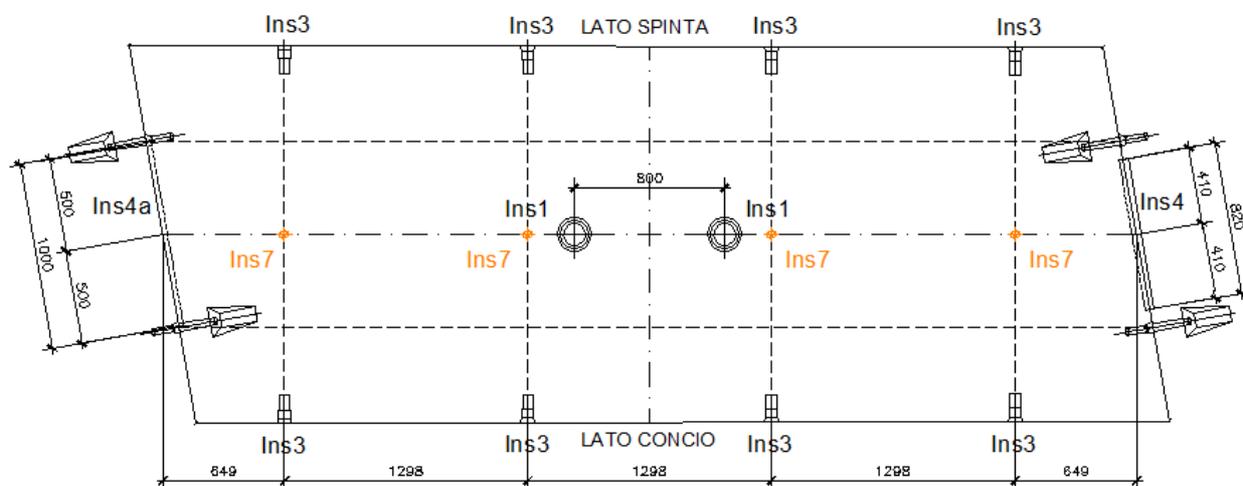


Figura 4.1: Schema dell'anello di conci

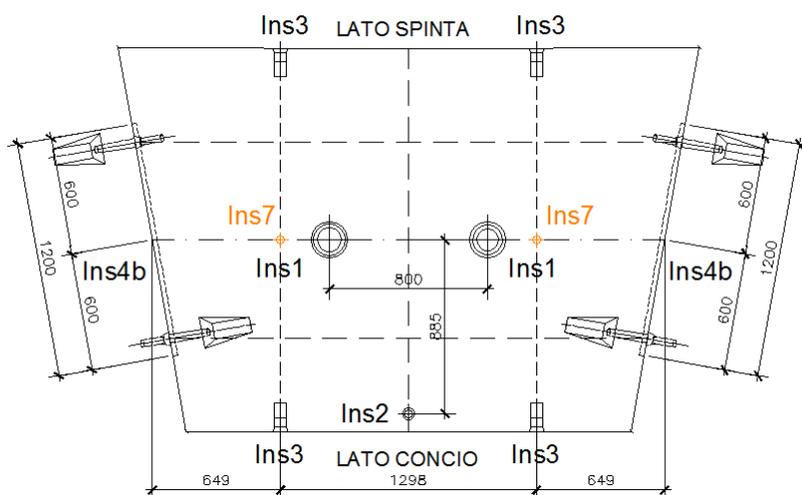
Su ciascun concio sono prevedisti (v. Figura seguente):

- 4 alloggiamenti per il collegamento tra i conci dello stesso anello che è ottenuto mediante bulloni in acciaio (su ogni giunto longitudinale è presente una tasca per la testa del bullone ed una bussola per il serraggio del bullone del concio adiacente). La centratura dei giunti longitudinali è garantita inoltre tramite una barra guida in PVC (Ins 4) il cui alloggiamento nel concio è realizzato in fase di prefabbricazione;
- 8 tasche (Ins3 – 4 tasche lungo ciascun giunto circonferenziale) per il collegamento tra anelli successivi che è ottenuto mediante connettori in nylon, fibra di vetro e una barra di acciaio di rinforzo;
- 2 alloggiamento per la movimentazione (Ins 1);
- 1 alloggiamento per il centraggio del concio chiave "K" (Ins 2);
- 4 predisposizioni per foratura anello per retro-iniezione negli 8 elementi (Ins7);
- 2 predisposizioni per foratura anello per retro-iniezione nel concio K (Ins7).

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 33 di 45



(a)



(b)

Figura 4.2: Inserti presenti nei conchi tipo (a) e conchio chiave (b)

Nella figura seguente si riportano gli schemi dei giunti longitudinali, di quelli circolari nonché delle tasche per l'alloggiamento di bulloni e connettori.

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 34 di 45

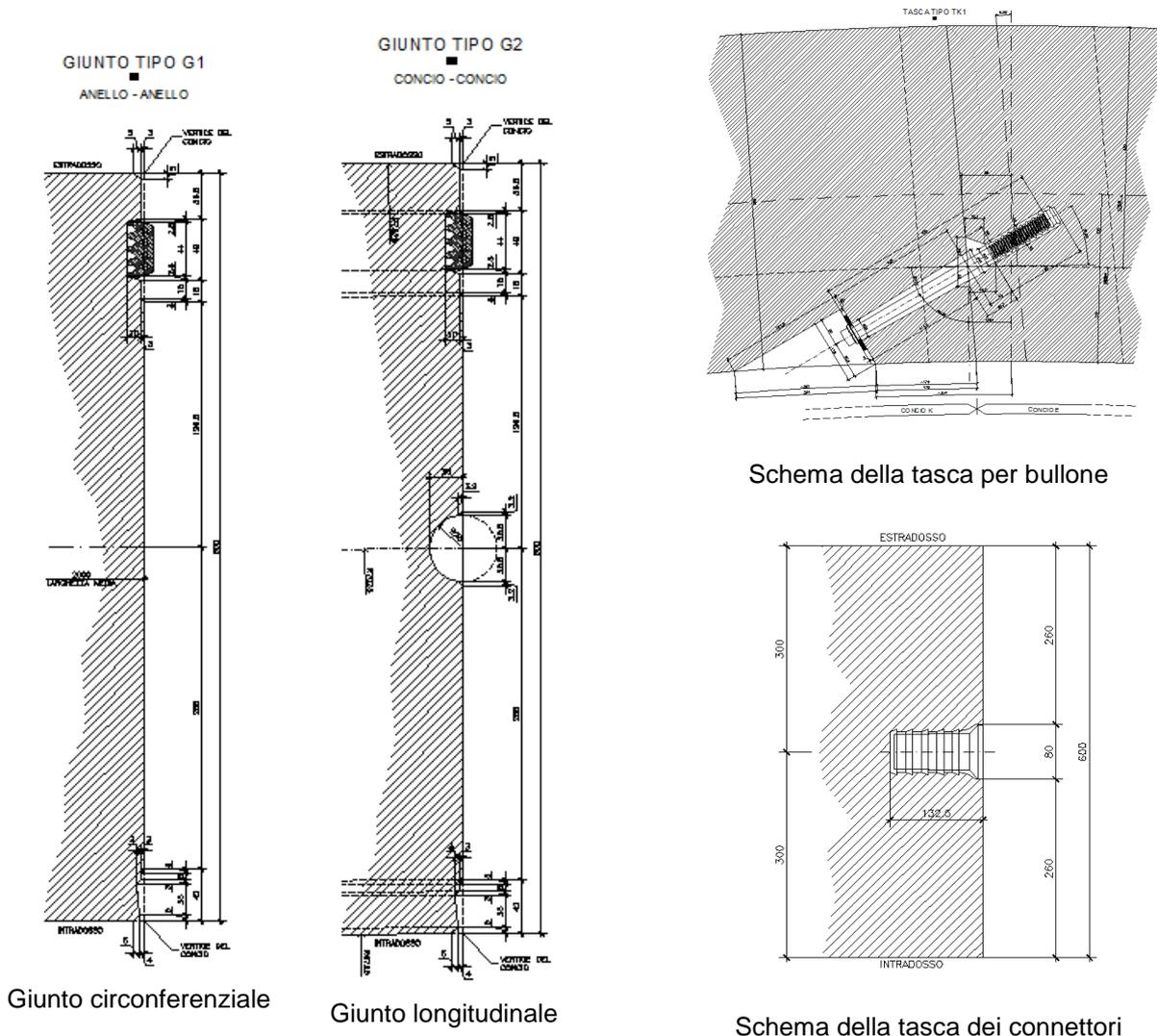


Figura 4.3: Schema dei giunti e degli alloggiamenti per la centratura

4.2 Principi di Dimensionamento

Il dimensionamento dell'anello di rivestimento della galleria è stato basato su una serie di analisi numeriche che tengono conto il processo di fabbricazione e trasporto dei conci, la loro installazione e le condizioni geotecniche ed idrogeologiche alle quali i conci saranno soggetti durante la vita dell'opera.

In particolare sono state considerate le seguenti fasi:

- prefabbricazione: sollevamento dal cassero, movimentazione e stoccaggio;
- stoccaggio in sito (cls maturo);
- sollevamento dall'erettore e posizionamento;

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 35 di 45

- intasamento a tergo dell'anello;
- avanzamento fresa (spinta dai martinetti sull'anello);
- applicazione carichi geotecnici/idrostatici per una serie di sezioni lungo il tracciato.

Le ultime due fasi sono le più importanti nel definire la classe di resistenza del calcestruzzo e il quantitativo dell'armatura. Di seguito è riportata una breve sintesi delle analisi svolte per queste due fasi.

Fase di avanzamento

Il calcolo dello stato tensionale all'interno dei conci, generato dalle spinte di avanzamento, è stato effettuato mediante un modello di calcolo tridimensionale agli elementi finiti realizzato con l'ausilio del codice di calcolo Straus7.

Il modello numerico impiegato per le presenti analisi (v. Figura 4.4) è costituito da elementi tridimensionali esaedrici tipo "brick". Gli elementi tridimensionali che compongono la struttura sono caratterizzati da una legge di comportamento elastica lineare definita mediante il modulo elastico del calcestruzzo costituente i conci (C45/55).

Le condizioni al contorno considerate nel modello di calcolo sono le seguenti:

- interfaccia anello-ammasso roccioso/riempimento;
- interfaccia anello-anello (giunti circolari);
- interfaccia concio-concilio (giunti longitudinali).

Sono state considerate due condizioni di spinta caratteristica, che comportano rispettivamente un carico totale su ciascun anello di:

- Spinta 1: 176749kN (75% della spinta nominale)
- Spinta 2: 269331kN (spinta massima)

Le spinte sono applicate mediante 17 gruppi di 3 martinetti ciascuna delle quali agisce su un'area di impronta pari a 1664mm x 445mm.

Lo scopo di queste analisi è quello di valutare lo stato tensionale nei conci di rivestimento, in modo tale da definire la classe di resistenza per il calcestruzzo e un opportuno quantitativo di armatura, volto ad assorbire gli sforzi di trazione generati dalle spinte. Questi ultimi si sviluppano principalmente tra le piastre di carico, al di sotto delle stesse, ad una certa distanza dal bordo caricato, e lungo i giunti longitudinali.

Inoltre, allo scopo di valutare la stabilità dei conci in assenza di spinta dei martinetti, ad esempio a causa di un malfunzionamento, è stato realizzato un apposito modello numerico

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 36 di 45

tramite il codice ad elementi finiti Straus7. In questa eventualità i conci rimarrebbero collegati, da un lato, all'anello precedente mediante connettori e, dagli altri due lati, mediante la bullonatura tra concio e concio.

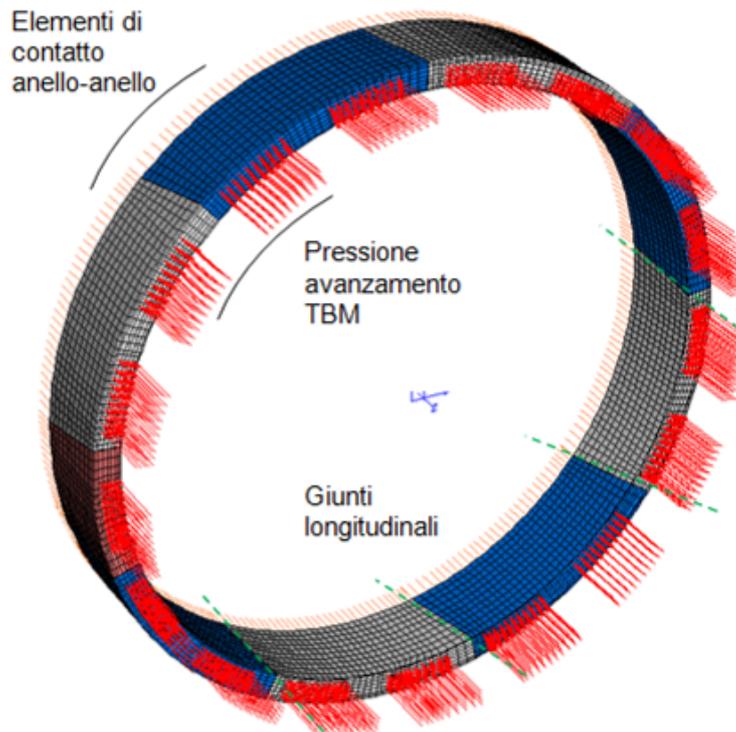


Figura 4.4: Modello di calcolo agli elementi finiti per la simulazione della spinta

Condizioni di esercizio

Il metodo di calcolo impiegato per la verifica dell'anello di conci in condizioni di esercizio è il metodo degli elementi finiti implementato tramite il codice commerciale Phase2, ver.8.011, prodotto dalla Rocscience di Toronto (Canada).

Sono state effettuate analisi bi-dimensionali e assialsimmetriche in campo elasto-plastico, per la valutazione dello stato di sforzo e di spostamento al contorno di opere in sotterraneo e per analizzare la risposta tenso-deformativa dell'anello di rivestimento a supporto dei carichi geotecnici.

Le analisi sono state condotte con modo pseudo-tridimensionale, in cui viene simulato l'avanzamento del fronte scaricando parzialmente le forze sul contorno del cavo. Per la valutazione preliminare delle deformazioni radiali del cavo, in corrispondenza dello scudo, si è fatto ricorso al metodo delle curve convergenza-confinamento ricavate per le

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 37 di 45

condizioni geotecniche e di copertura più sfavorevoli mediante simulazioni numeriche FEM di tipo assialsimmetrico e in condizioni piane.

Dall'analisi del tracciato della galleria e in funzione delle unità attraversate sono state scelte delle sezioni rappresentative regolate dai seguenti criteri:

- massima copertura per ogni unità geotecnica;
- attraversamento di faglie o zone di contatto tra unità;
- distanza tra le due canne.

Le sezioni di analisi selezionate in base a tali criteri sono state riportate nella seguente tabella. Inoltre, sono state eseguite ulteriore analisi per verificare l'armatura dei conci per le tratte per differenti condizioni di copertura e distanza tra le canne.

Tabella 4.1: Sezioni di calcolo analizzate

ID	PK	UG	Copertura H	Distanza tra gli assi delle canne
1	15+261 (asse DX) m	TRB	126.35 m	35.75m (minima)
2	14+372 (asse DX) m	Fascia tettonizzata	115.48 m	35.75m (minima)
3	15+550 (asse SX) m	TRVb	112.00 m	50.7

Con lo scopo di definire preventivamente il comportamento tenso-deformativo dell'ammasso è stata eseguita una analisi parametrica per varie combinazioni di condizioni geomeccaniche, copertura e distanza tra le canne variando la pressione interna e misurando la deformazione, generando in questo modo una curva carico-deformazione simile alle curve caratteristiche.

Le fasi esecutive e l'effetto del passaggio del fronte di scavo attraverso la generica sezione di calcolo, sono simulati attraverso l'applicazione e successiva riduzione di una pressione fittizia pari, nella prima fase, allo stato di sforzo geostatico.

Per definire il valore della pressione fittizia al contorno dello scavo nelle varie fasi di avanzamento è stata eseguita un'analisi assialsimmetrica ad elementi finiti per ciascun gruppo geotecnico. Tale analisi ha permesso di mettere in relazione le deformazioni al contorno dello scavo con la distanza delle suddette deformazioni dal fronte di avanzamento.

Servendosi, invece, di un modello bidimensionale e ipotizzando un graduale decadimento della pressione all'interno del cavo o del modulo elastico del materiale consolidato, è

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 38 di 45

possibile associare le deformazioni di una generica sezione, ricavate dalla precedente analisi, con le variazioni di pressione fittizia al fronte o di modulo elastico.

I risultati di queste analisi sono curve di avanzamento che correlano la deformazione subita dal materiale con l'avanzamento delle operazioni di costruzione. Queste analisi hanno permesso, per le verifiche delle sezioni tipo, di definire i valori della pressione interna per ogni fase esecutiva.

Nella tabella seguente si riportano le fasi considerate nei modelli bidimensionali.

Tabella 4.2: Fasi di calcolo considerate nei modelli bidimensionali

Fase	Descrizione	Elementi attivi Rivestimento definitivo/ Riempimento a tergo conci		pi [%po]	
		Canna DX	Canna SX	Canna DX	Canna SX
1	Geostatico	-	-	100	100
2-9	Decadimento della pressione interna alla sezione di scavo - Canna DX	-	-	100-30	100
10	Installazione dei conci prefabbricati e riempimento a tergo mediante pea-gravel - Canna DX	✓	-	20	100
11-12	Decadimento della pressione interna alla sezione di scavo - Canna DX	✓	-	10-0	100
13-20	Decadimento della pressione interna alla sezione di scavo - Canna SX	✓	-	0	100-30
21	Installazione dei conci prefabbricati e riempimento a tergo mediante pea-gravel - Canna SX	✓	✓	0	20
22-23	Decadimento della pressione interna alla sezione di scavo - Canna SX	✓	✓	0	10-0
24	Situazione a lungo termine	✓	✓	0	0
25	Applicazione del carico idraulico (H:50m)	✓	✓	0	0
26	Situazione a lungo termine + Applicazione del carico idraulico	✓	✓	0	0

Nella figura seguente si riporta a titolo di esempio il modello per la analisi 2.

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 39 di 45

Oltre alle verifiche geotecniche e statiche sono state effettuate verifiche per:

- i connettori anello – anello (verifiche a taglio e a sfilamento);
- i bulloni metallici;
- guarnizione di tenuta.

Inoltre, a livello strutturale, l'armatura nei conci è stata verificata in condizioni di incendio (curva di incendio adottata per le presenti analisi è la RWS UNI11076).

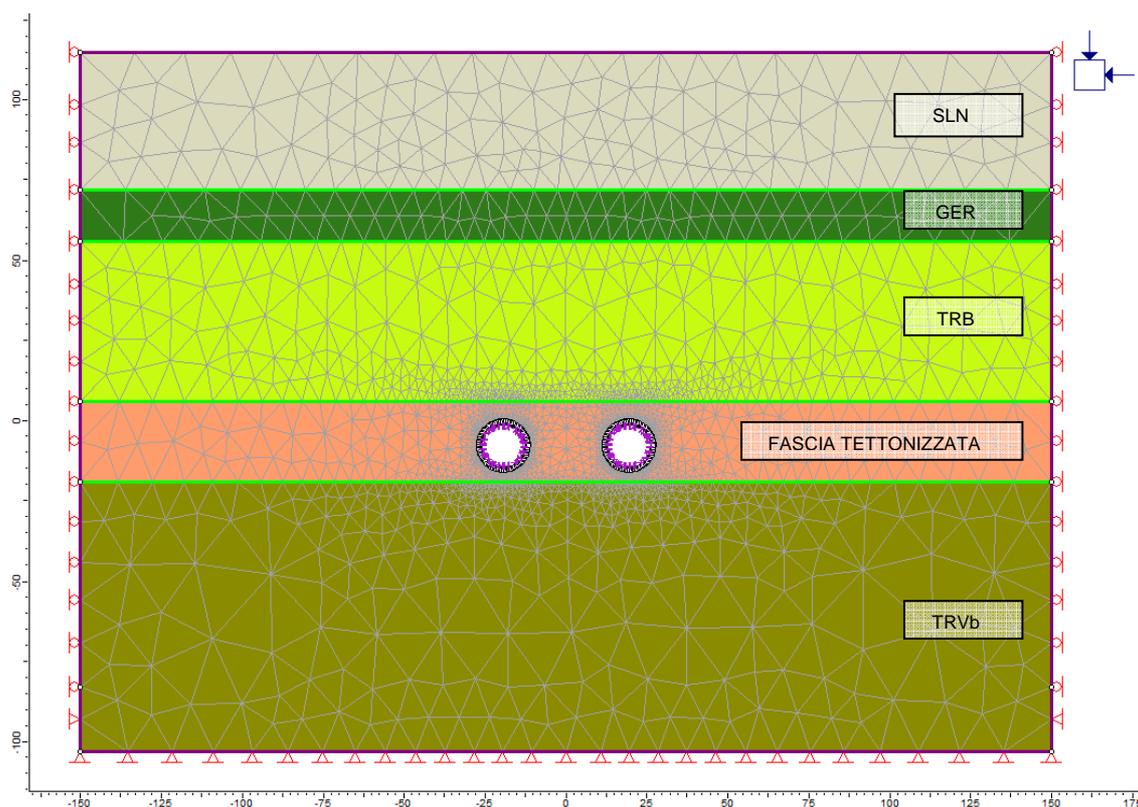


Figura 4.5: Sezione di analisi 2

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 40 di 45

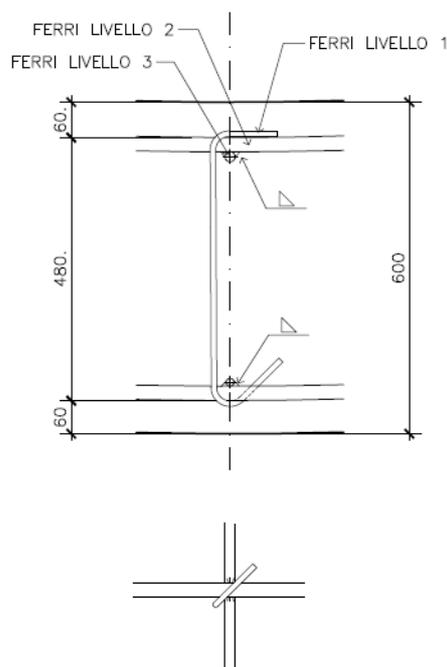
4.3 Copriferro delle armature e tolleranze di costruzione dei conci

In riferimento alla classe di esposizione del calcestruzzo dei conci della galleria, individuato in XD3, in quanto, analogamente a ciò che è stato determinato nel Progetto esecutivo, il cavo si trova in una classe di aggressività ambientale alta per l'attacco, in particolare, della componente dei cloruri. Al fine di rispettare le prescrizioni contenute nella tabella C4.1.IV della circolare del C.S.LL.PP. del 02.02.2009, si deve garantire un copri ferro minimo pari a 40 mm. Analogamente, sempre ai sensi della citata Circolare, il copri ferro minimo su indicato va incrementato della seguente quantità:

5 mm - tolleranza di posa per le strutture prefabbricate in c.a. sottoposte a controllo che preveda anche la verifica dei copri ferri

Da quanto sopra, si riscontra che il copri ferro minimo per garantire la durabilità dell'opera è 45 mm.

Al fine di ottenere quanto sopra la gabbia sarà saldata sulle armature correnti così come rappresentato di seguito:



Ad ogni modo è bene osservare che, lungo tutto il perimetro esterno dell'anello, viene realizzato un' iniezione di malta "back filling" dello spessore medio di 21.5 cm, che tra l'altro ha un effetto protettivo ed isolante; al contrario della superficie esterna dell'anello sottoposta all'azione dei cloruri, all'interno del cavo le aggressioni di carattere ambientale

Cod. elab.: 125GN204GN02ZRH001A	Titolo: Galleria Caltanissetta	Data: Dicembre 2018
Nome file v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	Pagina 41 di 45

sono eventualmente di tipo carbonatico il che richiederebbe una classe di esposizione XC4 e in relazione alla citata circolare, un copri ferro minimo di 3 cm. Per cui, anche la variazione di copri ferro indotta dalla curvatura delle armature di flessione, fa sì che esso rimanga sempre all'interno dei minimi di normativa.

<i>Cod. elab.:</i> 125GN204GN02ZRH001A	<i>Titolo:</i> Galleria Caltanissetta	<i>Data:</i> Dicembre 2018
<i>Nome file</i> v_3569-01 relazione tecnica descrittiva rev. b	Relazione Tecnica Descrittiva	<i>Pagina</i> 42 di 45