

## 5 DESCRIZIONE DEL PROGETTO

### 5.1 Tracciato Plano-Altimetrico

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

Sinteticamente la canna destra presenta le seguenti caratteristiche altimetriche:

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

Sinteticamente la canna sinistra presenta le seguenti caratteristiche altimetriche:

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

Dal punto di vista planimetrico, la canna destra, partendo dall'imbocco lato Agrigento, dopo un primo tratto in rettilineo di sviluppo pari a 738.32 m (di cui 680.15 m in galleria) il tracciato devia verso sinistra percorrendo una curva di raggio planimetrico da 1460.00 m e sviluppo pari a 360.42 m anticipata e seguita da due curve a raggio variabile (clotoidi)

con parametro  $A=500$  e sviluppo pari a 171.23 m. Successivamente il tracciato torna ad essere rettilineo per 1964.34 m fino a deviare a destra mediante una curva di raggio planimetrico pari a 1920.00 m e sviluppo pari a 677.05 (di cui 431.52 m in galleria) anticipata e seguita da due curve a raggio variabile (clotoidi) con parametro  $A=640$  e sviluppo pari a 213.33 m.

Planimetricamente, la canna sinistra, partendo dall'imbocco lato Agrigento, dopo un primo tratto in rettilineo di sviluppo pari a 269.80 m (di cui 229.16 m in galleria) il tracciato devia verso sinistra percorrendo una curva di raggio planimetrico da 1890.00 m e sviluppo pari a 673.45 m anticipata e seguita da due curve a raggio variabile (clotoidi) con parametro  $A=630$  e sviluppo pari a 210.00 m.

Successivamente il tracciato torna ad essere rettilineo per 2008.77 m fino a deviare a destra mediante una curva di raggio planimetrico pari a 1885.00 m e sviluppo pari a 663.59 m (di cui 407.45 m in galleria) anticipata e seguita da due curve a raggio variabile (clotoidi) con parametro  $A=630$  e sviluppo pari a 210.56 m.

### *5.1.1 Galleria*

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

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

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

In funzione delle proprietà geotecniche e condizioni idrogeologiche lungo il tracciato sarà 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 200 m), le scadenti proprietà geotecniche richiedono 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.

Inoltre, in questa tratta è prevista l'esecuzione di consolidamenti in avanzamento per limitare eventuali sovraprofilo che possono essere generati a causa della natura non coesiva dei calcari.

## **5.2 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 una lunghezza pari a 34.75 m, per entrambe le canne, mentre lato A19 la lunghezza è di 39.98 m per la canna destra e 72.74 m 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 è costituita da un tratto in artificiale su conci. Costruita la culla per l'alloggiamento della TBM, vengono messi in opera i

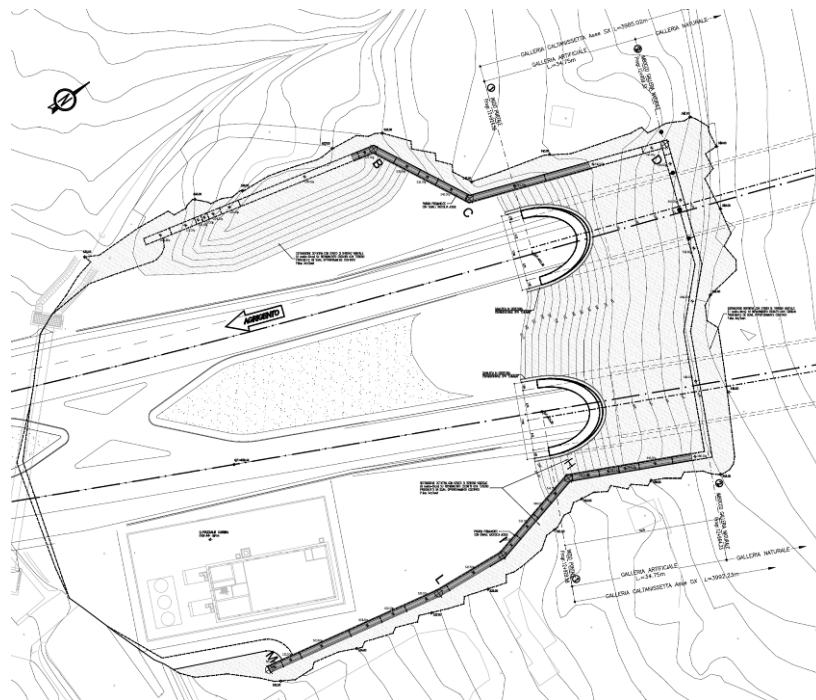
conci prefabbricati e successivamente gettato il rivestimento in calcestruzzo, avente uno spessore di 1.0 m, nella zona della calotta (sezione tipologica I).

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.

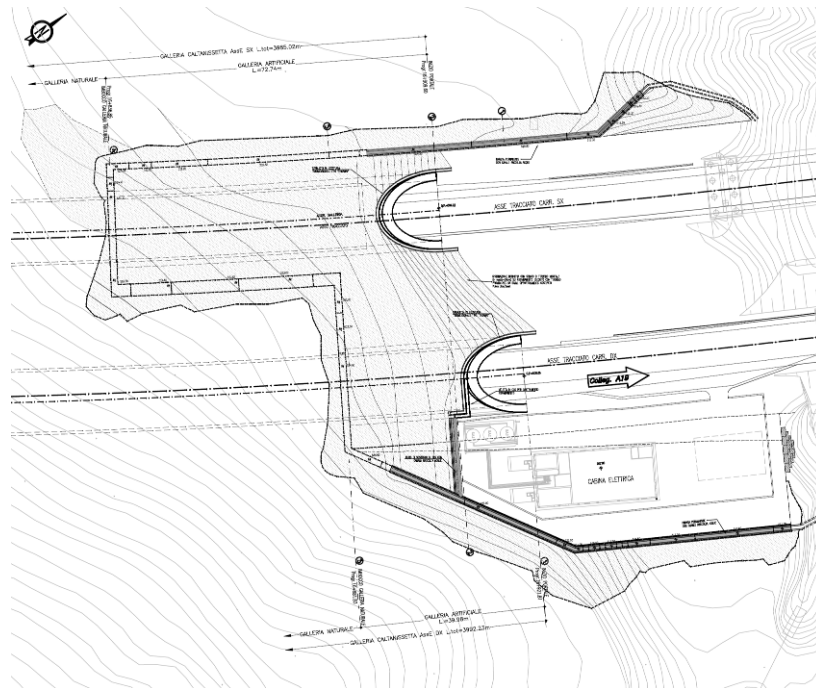
La sezione tipo non presenta più i conci prefabbricati ed è costituita da un rivestimento di calcestruzzo gettato in opera di spessore pari a 1.60 m (sezione tipologica II).

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

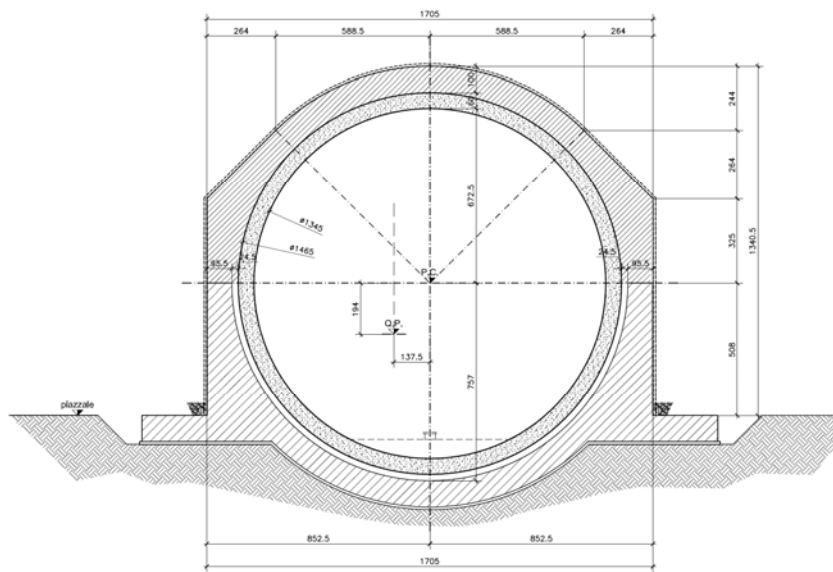
Nelle successive figure vengono riportate le planimetrie con le sistemazioni definitive degli imbocchi AG e A19 e le sezioni tipologiche delle gallerie artificiali.



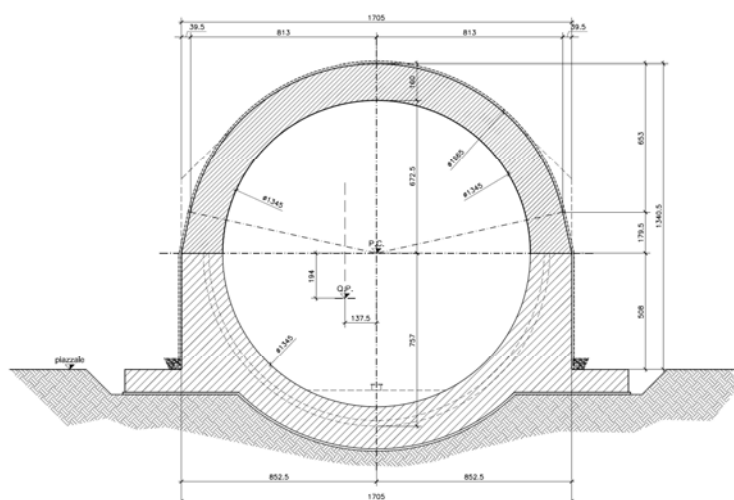
*Galleria Caltanissetta – planimetria dell'imbocco lato Agrigento – sistemazione finale*



*Galleria Caltanissetta – planimetria dell’imbocco lato A19 – sistemazione finale*



*Galleria artificiale – artificiale su conchi (sezione tipo I)*



*Galleria artificiale – becco di flauto – artificiale su cassero (sezione tipo II)*

### *5.2.1 Opere di sostegno degli scavi*

Le opere di sostegno degli scavi, previste agli imbocchi della galleria Caltanissetta, sono costituite da paratie di pali multi tirantate.

Le paratie sono in gran parte di tipo provvisorio, soltanto nelle tratte ove non è previsto il ritombamento risultano di tipo permanente.

Dal lato Agrigento i pali Ø 1200 mm sono disposti ad interasse di 1.5m e risultano armati mediante barre in acciaio (ad eccezione della tratta in corrispondenza dell'impronta della galleria ove i pali sono armati con barre in VTR); in testa essi sono collegati da un cordolo in calcestruzzo armato di sezione 150x100 cm.

L'ancoraggio della paratia è garantito attraverso la realizzazione di un massimo di n. 7 ordini di tiranti (da 4 a 6 trefoli), realizzati man mano con l'avanzamento degli scavi di ribasso.

Dal lato A19 le paratie laterali comprese tra i tratti AB e EH sono costituite da pali Ø 1000 mm disposti ad interasse 1.25 m (tranne nel tratto GH dove l'interasse è di 1.5 m), armati mediante tondini metallici.

L'ancoraggio della paratia è garantito dall'installazione da un massimo di n. 6 ordini di tiranti (da 4 a 6 trefoli) realizzati man mano con l'avanzamento degli scavi di ribasso.

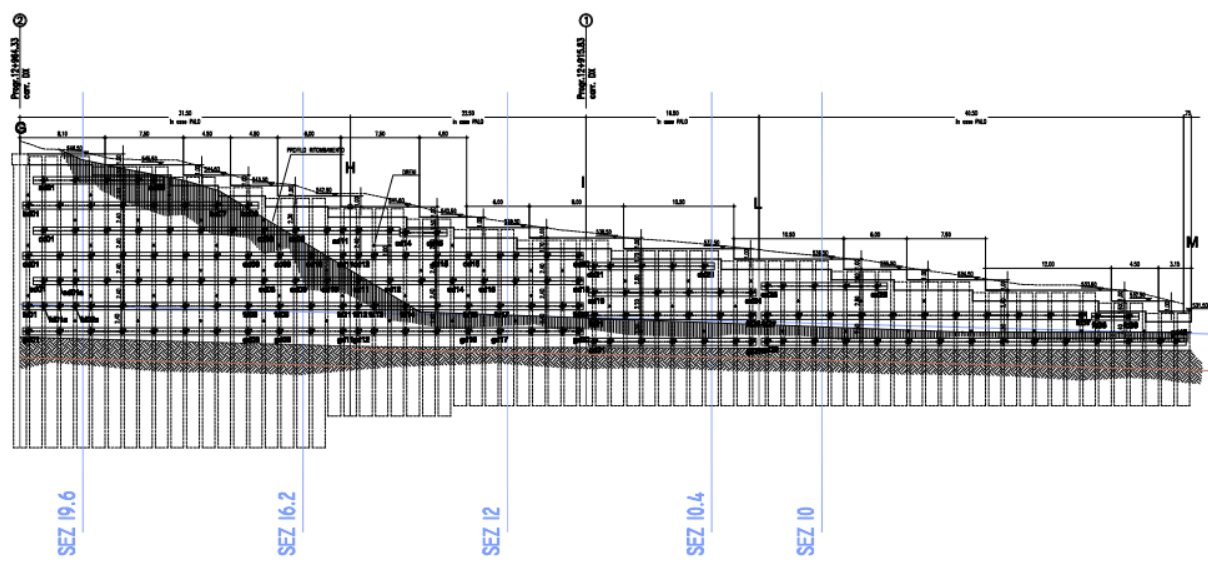
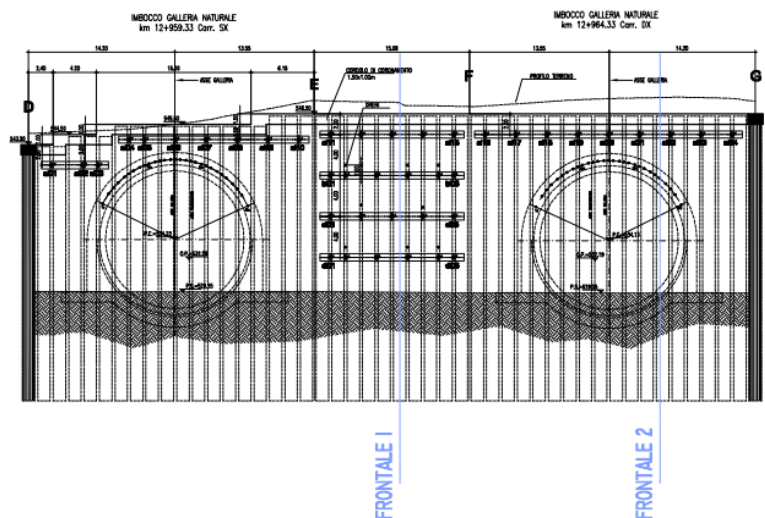
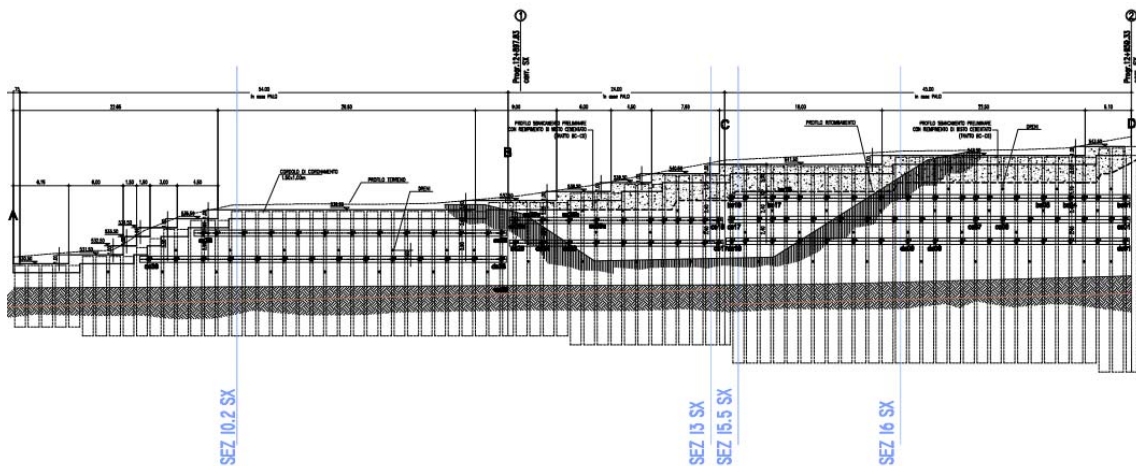
Le paratie frontali alla galleria naturale, ove è prevista l'uscita della TBM, i pali Ø 1200 mm disposti ad interasse 1.5 m, ancorati mediante un'unica fila di tiranti in alto, in modo da non andare ad interferire con l'area di influenza della fresa; qui i tiranti (da 4 trefoli) hanno interasse pari a 3.0 m.

A tergo di queste paratie è previsto un consolidamento del terreno mediante tubi in VTR atto a garantire la stabilità del fronte di scavo della galleria naturale.

Nella zona compresa tra i due fronti, nella tratta di paratia che costeggia parallelamente la canna dx della galleria naturale, data l'impossibilità di disporre una tirantatura sistematica a causa dell'interferenza con la costruzione della galleria (canna dx), è stata adottata una paratia costituita da pali Ø 1200 mm doppi, disposti su due file ad interasse variabile (1.5 m per la prima e 4.5 m per la seconda).

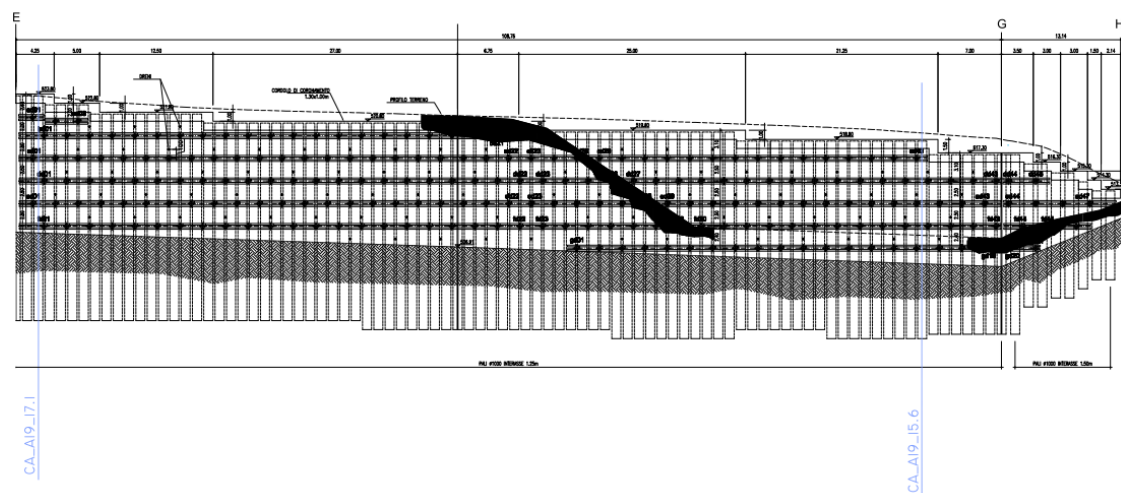
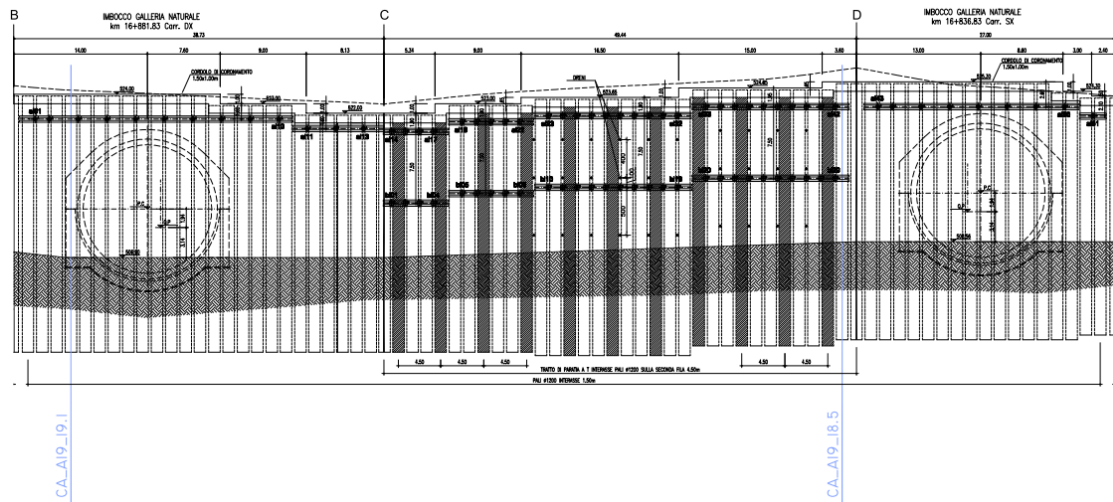
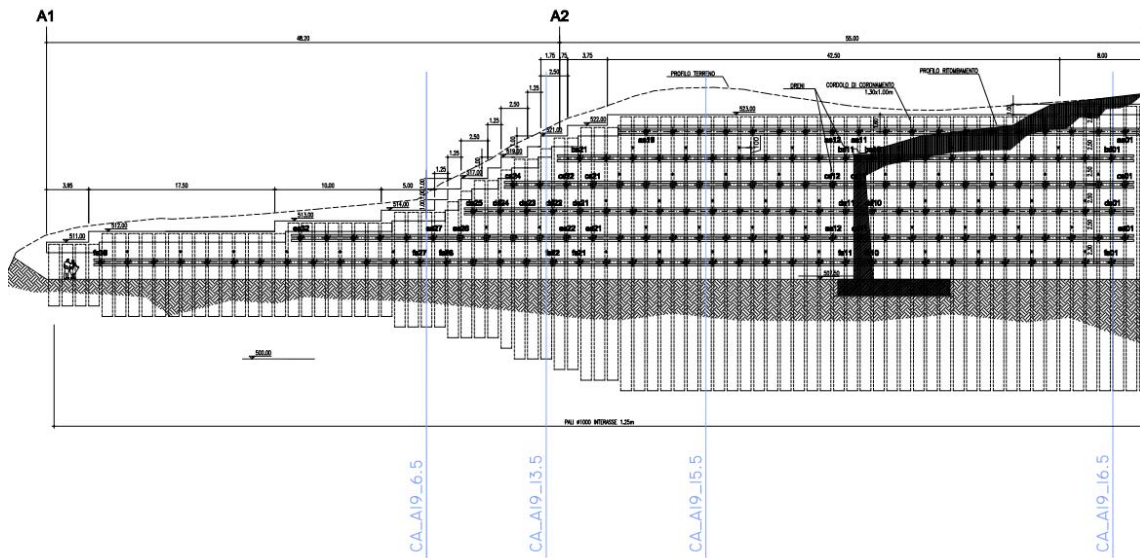
La paratia è ancorata mediante due file di tiranti (da 5 trefoli) posti ad interasse 1.5 m, la cui posizione e inclinazione è stata scelta in modo che non vi siano interferenze con lo scavo della canna dx.

I pali sono collegati in testa da un cordolo in calcestruzzo armato di sezione variabile a seconda del diametro del palo interessato.



*Sviluppata della paratia – Imbocco lato Agrigento*





*Sviluppata della paratia – Imbocco lato A19*

### 5.3 Scavo

La proposta avanzata con la variante tecnica migliorativa, prende in considerazione uno scavo di diametro 15,08 m al posto dello scavo da 13,40 m del progetto esecutivo.

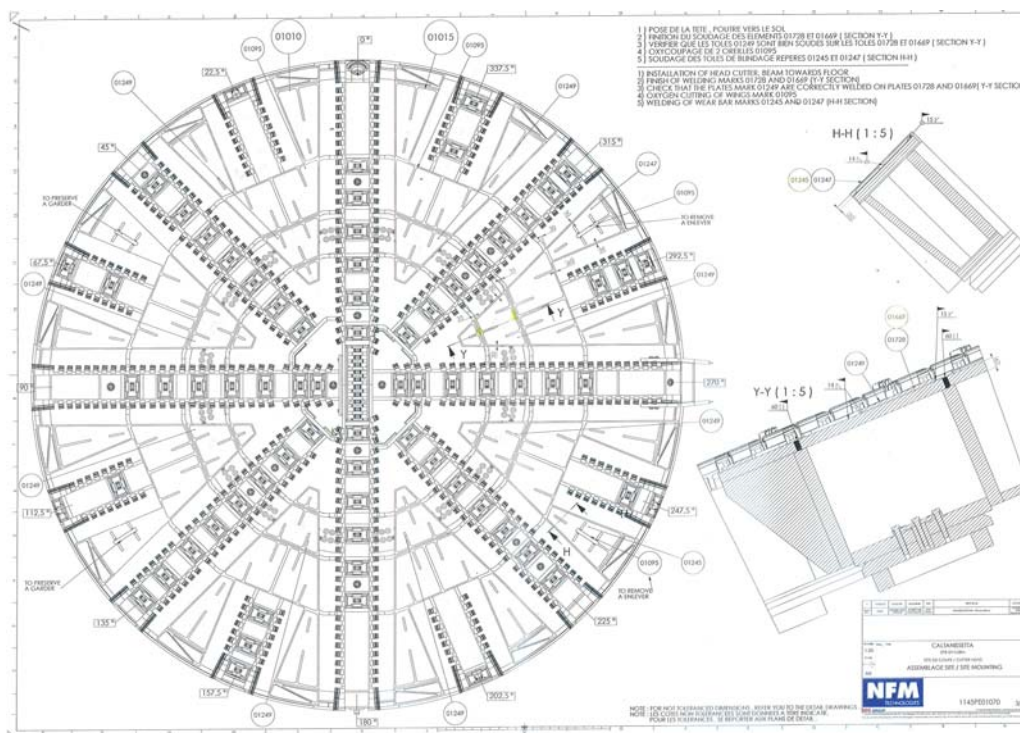
Di conseguenza si è reso necessario prendere in considerazione una nuova macchina EPB che garantisca l'adeguata superficie di scavo di circa 177 m<sup>2</sup>. Entrambe le TBM considerate, nel P.E. e nella variante tecnica migliorativa, sono H.P. EPBM (High Performance Earth Pressure Balance Machine) progettate per avere una resa ed una efficienza ottimali ad alte pressioni ed in contesti geologici complessi

| Tipo di TBM:                     | EPB   |
|----------------------------------|---|
| Diametro di scavo:               |   |
|                                  | Fresa a disco Ø: 15,080 m                     |
|                                  | Fresa a disco rippers / scrappers: Ø 15,065 m |
| Scudo:                           |   |
|                                  | Lunghezza (con testa di taglio): 12.7 m       |
|                                  | Offset della testa: 7,5 mm                    |
| Lunghezza totale con back-up:    | circa 115 m                                   |
| Motore elettrico:                | 7656 kW (22x348 kW)                           |
| Massima velocità di avanzamento: | 65 mm / min                                   |
| Principale Potenza:              | 3 x 3750 kVA                                  |
| Ausiliario trasformatore potenza | 2 x 1750 kVA                                  |

#### *Caratteristiche principali TBM*

| Tipo di segmento                                | Universale                                  |
|---|---|
| Numero di elementi componenti l'anello:         | 6 + 2 Controchiavi + 1 chiave tipo ½ concio |
| Numero di posizioni assumibili dalla chiave:    | 17  |
| Diametro esterno dell'anello:                   | 14.65 m                                     |
| Spessore dell'anello:                           | 600 mm                                      |
| Lunghezza dell'anello:                          | 2 m   |
| Lunghezza del connettore:                       | 500 mm                                      |
| Peso massimo del segmento costituente l'anello: | 165 kN.                                     |
| Sollevamento concio:                            | a vuoto                                     |

#### *Caratteristiche principali anello*



Testa di scavo della TBM EPB da 15.08 m

La EPB da 15.08 m è una macchina molto più performante e potente in virtù del nuovo diametro incrementato dello scavo che comporta carichi e sollecitazioni maggiori.

Tutti i sistemi sono stati attentamente ridimensionati e riprogettati. Tra i dati più interessanti è da fare rilevare che la macchina con diametro da 15.08 m, ha una spinta totale di ben ~100.000 kN superiore a quella da 13.40 m (173800 kN contro 269000 kN) ovvero 1506 kN/m<sup>2</sup> contro i 1232 kN/m<sup>2</sup>.

Anche la coppia massima in testa della EPB da 15.08 m è di molto superiore: 73300 kNm contro i 55990 kNm.

Inoltre, a seguito degli studi sul condizionamento dei terreni e per il maggior volume scavato per ogni spinta della TBM da 15.08 m (~354 m<sup>3</sup>/spinta contro i ~197 m<sup>3</sup>/spinta), si è ottimizzata la progettazione di

quest'ultima per quanto concerne i circuiti per l'iniezione di acqua, schiume e polimeri.

La nuova EPB può infatti contare su ben 42 punti di iniezione, distribuiti in testa, nella camera di miscelazione, nello scudo e nella coclea, contro i 34 della EPB da 13.40 m.

Sempre a causa dell'incremento di volume scavato, la capacità della coclea è stata più che raddoppiata passando da 800 m<sup>3</sup>/h a 1683 m<sup>3</sup>/h e la coppia della coclea è stata incrementata (da 300 kNm a 710 kNm).

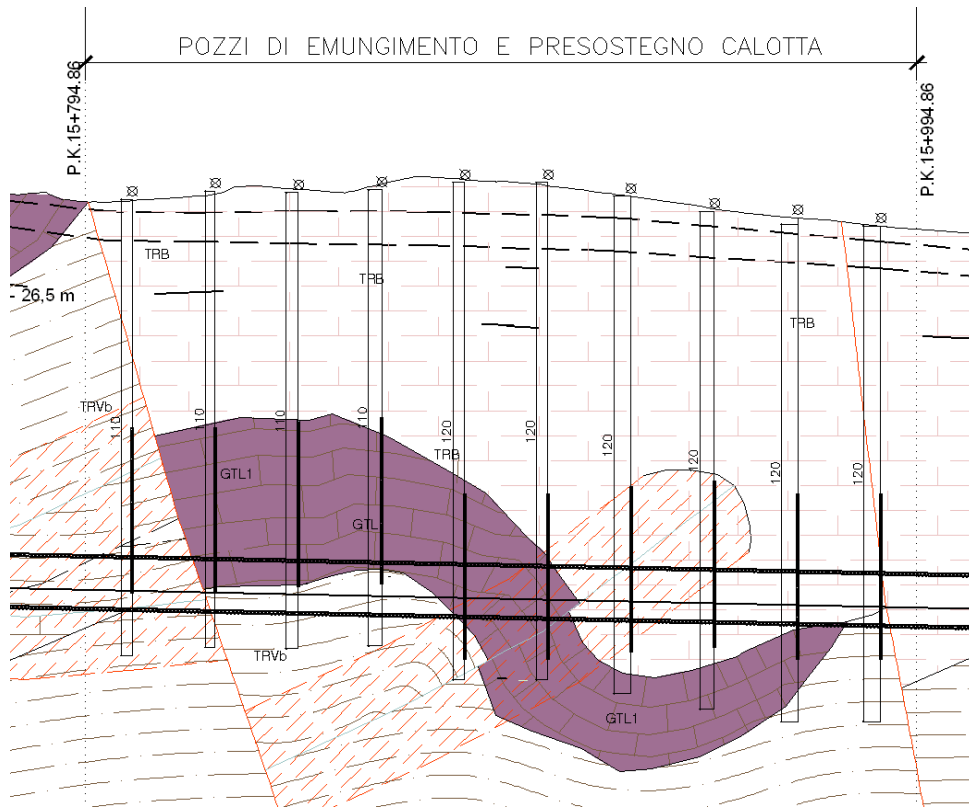
#### **5.4 Dimensionamento pozzi zona Calcari**

Ai fini del dimensionamento del sistema di abbassamento della falda in corrispondenza della tratta di attraversamento dei calcari evaporitici GTL1 è stata condotta una valutazione analitica sulla base delle formulazioni suggerite dalle raccomandazioni CIRIA riportate da Puller (1996) per acquiferi confinati.

Il valore di trasmissività dell'acquifero utilizzato nel calcolo è quello medio ricavato dalle prove di emungimento nel pozzo PZ2 delle indagini eseguite per il Progetto Esecutivo ( $T=1*10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s).

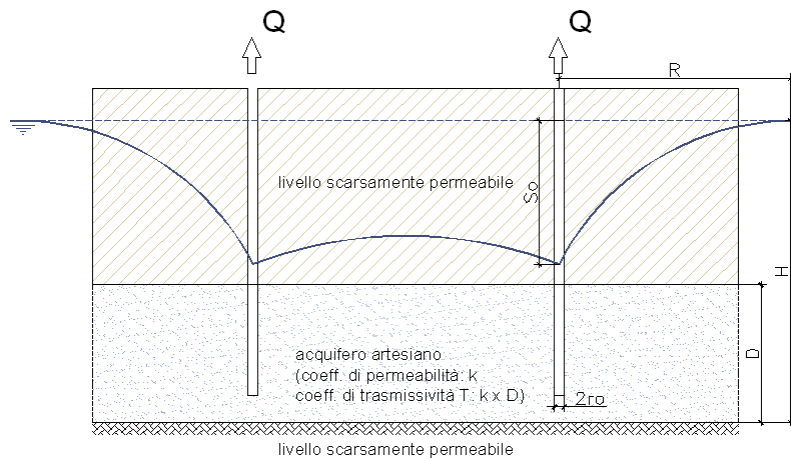
La lunghezza del pozzo è stata definita in funzione delle condizioni stratigrafiche ed in particolare della presenza di un corpo di calcari acquiferi GTL1 confinati tra terreni di natura argilloso-marnosa a minore permeabilità.

Come si evince dalla figura seguente i pozzi hanno lunghezza media di 120 m, in modo che la parte filtrante sia ubicata lungo la tratta calcarea e/o la fascia disturbata.



*Pozzi lungo tratta dove è previsto l'emungimento dalla superficie*

Le equazioni usate per il calcolo della portata corrispondono a quelle di una falda artesianica schematicamente rappresentata nella figura seguente.



*Schema di pozzi di emungimento in falda artesianica*

Il calcolo della portata è fornito dalla seguente equazione:

$$Q = 2 \pi T S_0 / \ln (R/r_0)$$

Dove:

T è la trasmissività ( $m^2/s$ )

$S_0$  è l'abbassamento della piezometrica in coincidenza al pozzo (m)

R è il raggio di influenza (m), assunto pari a 100 m

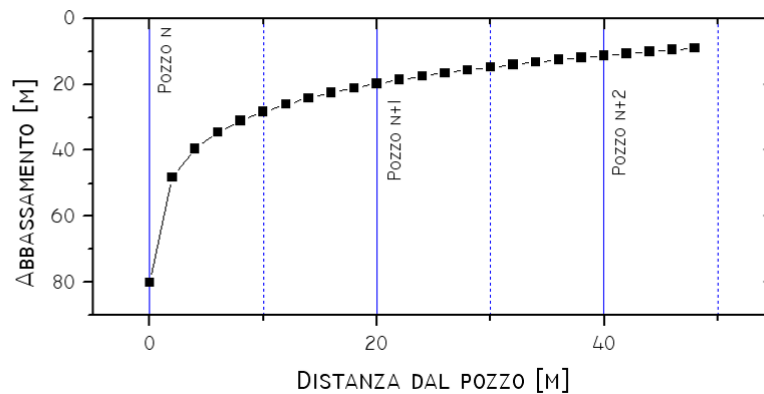
$r_0$  è il raggio del pozzo (0.15 m)

Sulla base di questo dato ed assumendo un raggio di influenza di 100 m, ciascun pozzo di diametro 300mm con una portata di emungimento di circa 8 l/s, determina un abbassamento lungo la colonna di 80 m ( $S_0$ ).

L'abbassamento  $s$ , ad una distanza  $r$  dall'asse del pozzo è determinato dalla seguente equazione:

$$s = Q / 2\pi T \ln(R_0/r)$$

e nel caso specifico l'andamento è riportato nel grafico seguente.



*Abbassamento della falda in funzione della distanza*

Per il principio di sovrapposizione degli effetti tra pozzi attigui disposti ad un interasse di 20 m, si sviluppa un abbassamento tra due pozzi

adiacenti di 60 m, assumendo un funzionamento simultaneo di almeno 5 pozzi consecutivi.