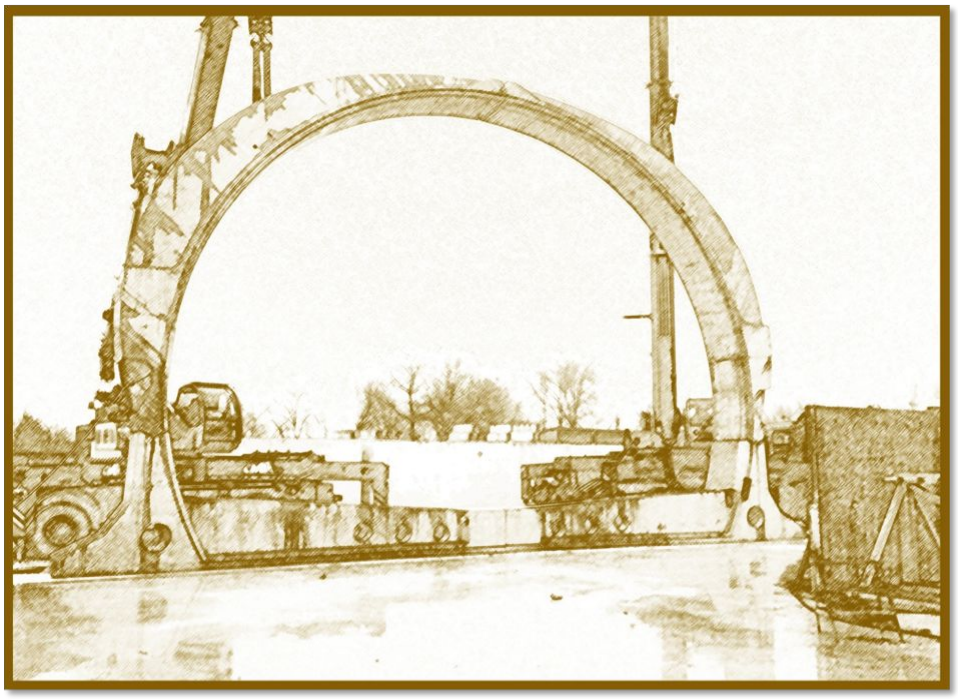
STUDIO ASSOCIATO DI INGEGNERIA CAPALDINI
Via Raffaello 5, Fraz. Bastardo, 06030 Giano dell'Umbria - PG - tel 0742 99391/969420 – fax 0742 99056 p.iva 02994630545
web: www.studiocapaldini.it - e-mail: info@studiocapaldini.it

RIVESTIMENTO PREFABBRICATO DI GALLERIE ARTIFICIALI E NATURALI



ING. GIAMPAOLO CAPALDINI

INDICE **Pag.**

Generalità 2

Gallerie artificiali 2

Gallerie naturali 9
Modalità di trasporto e varo dei conci in galleria naturale 9
Trasporto al fronte di scavo dei tre elementi preassemblati 9
Trasporto al fronte dei tre elementi in modo disgiunto 17
Stabilizzazione definitiva del concio in opera 19
Caso di fronte instabile 27

Considerazioni sulla possibilità di eseguire tratti in curva 29

Considerazioni sui vantaggi della soluzione prefabbricata rispetto alla tradizionale 31

Generalità

Trattasi dell'ideazione di un rivestimento prefabbricato utilizzabile sia nel caso di galleria artificiale che naturale; esso risulta costituito da elementi modulari a tre componenti: arco rovescio con murette più due semicalotte; il tutto a formare un anello stabile (arco a tre cerniere) e capace, sin da subito, di esplicare le massime prestazioni, dato che non necessita di getti integrativi in opera.

GALLERIE ARTIFICIALI

L'impiego più immediato di questa tecnologia, in quanto di più facile esecuzione, risulta essere senza dubbio nella esecuzione di gallerie artificiali.

Basta a ciò considerare che in un solo turno di 8-10 ore si può produrre agevolmente 10 – 12 mt di galleria già pronta da subito per il suo rinterro.

In questo caso infatti, una volta preparato il terreno di fondazione mediante costipazione, si passa direttamente alla posa per semplice appoggio e successiva intasatura di boiacca dell'arco rovescio e successivo appoggio delle due semicalotte come illustrato nelle figure sotto riportate (fig. 1art e fig. 2art).

Figura 1art – Varo dell'elemento di base e successivamente delle due semicalotte

Figura 2art – appena varate le semicalotte si può passare subito al rinterro

Figura 3art – Concio con arco rettilineo

Per la quasi totalità dei casi, inoltre, sarà inoltre possibile sostituire l'arco rovescio con travi rovesce ad asse rettilineo (fig. 3art); ciò faciliterà molto la posa del medesimo elemento.

Lo stesso sarà comunque munito di asolature per la predisposizioni delle necessarie opere di drenaggio.

In molti casi dette condotte potranno anche essere allocate inferiormente alla trave nella porzione centrale della medesima.

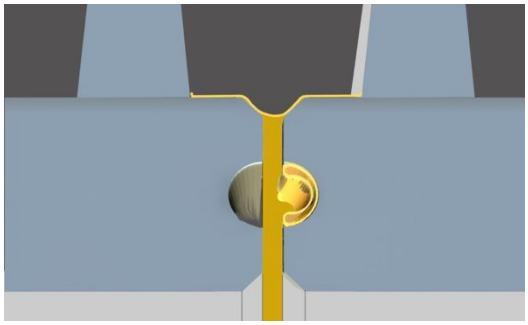
Nel caso di trave rovescia ad asse rettilineo, potrebbe risultare conveniente eseguire, all'estradosso della massicciata, un massetto di pulizia e regolarizzazione del piano, onde accelerare ulteriormente la posa del concio di base e ridurre al minimo (o addirittura eliminare) l'iniezione di intasamento tra il massetto e la struttura prefabbricata.

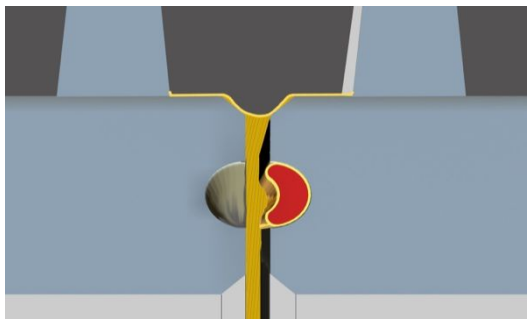
Una volta eseguita l'impermeabilizzazione e se del caso un superiore manto drenante in tessuto non tessuto, si può passare fin da subito alla fase di ricopertura con i materiali precedentemente scavati.

E' possibile eseguire l'impermeabilizzazione dei soli giunti dei conci in quanto questi sono realizzati con calcestruzzo impermeabilizzato in pasta che oltre a conferire una ancor maggiore durabilità al manufatto, garantisce l'assoluta impermeabilità del concio all'acqua (come avviene per i conci da TBM).

L'unione tra gli anelli viene realizzata espandendo una calza (tipo bullflex), all'interno delle cave predisposte sul perimetro dei conci, mediante iniezioni di apposite boiacche cementizie.

Da ultimo si esegue la stuccatura dei giunti mediante applicazione di un cordoncino siliconico; si esegue inoltre, se del caso, un collegamento estradossale tra i conci al fine di conseguire la necessaria loro stabilità in senso longitudinale anche in fase di montaggio e quindi prima del loro definitivo rinterro (fig. 4art).





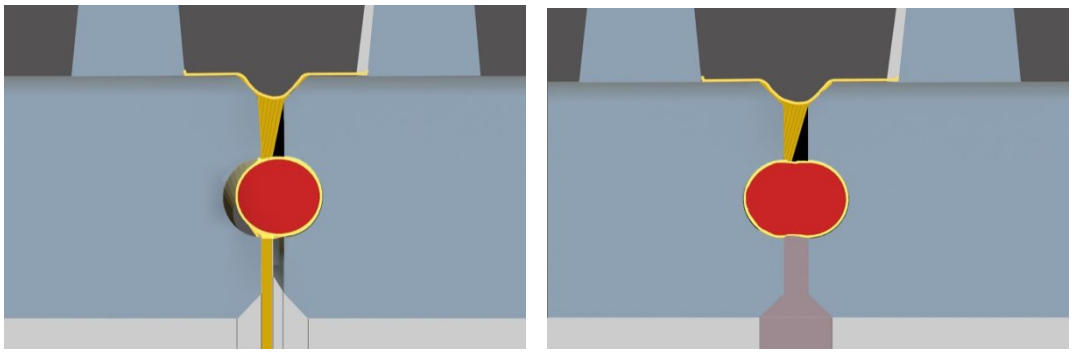


Figura 4art - collegamento e sigillatura del giunto tra due conci

Con questo sistema, si posso raggiungere agevolmente in sicurezza, anche i 10 mt ed oltre di copertura.

Ciò genera evidenti vantaggi dal punto di vista dell'impatto ambientale perché si possono eseguire livellette più impegnative o ricostruire più credibilmente superfici in forte pendenza trasversale.

I vantaggi risultano evidenti sia nei confronti di sezioni policentriche di estremità di gallerie naturali (dove l'altezza della ricopertura ha ancora dimensioni notevoli in prossimità dell'imbocco) e sia nei confronti delle sezioni classiche a portale.

In caso di gallerie artificiali molto lunghe inoltre, si ha il vantaggio di poter eseguire lo scavo preliminare e il successivo rinterro per tratti relativamente corti, senza dove provvedere all'accumulo temporaneo di notevoli quantità di materiale. Da ultimo occorre evidenziare che il sistema di prefabbricazione in argomento, prevede anche la possibilità di eseguire agevolmente terminali "a becco di flauto".

In alternativa alla metodologia di varo prima illustrato che prevede l'impiego di gru semoventi poste all'esterno della galleria artificiale in esecuzione, può essere adottata una diversa metodologia consistente nel varo dei conci dall'interno della porzione di galleria già realizzata (fig. 9art) lasciando libero tutto lo spazio esterno a disposizione per le movimentazione di scavo e ritombamento della galleria, e quindi creando la possibilità di riallocamento della maggior quantità di terreno senza la necessità di operare lo stoccaggio temporaneo.

L'erezione delle semicalotte, una volta poggiate sopra l'arco rovescio, viene eseguito per il tramite di une erettore come illustrato nelle figure 6art e 7art. La movimentazione degli elementi che costituiscono il concio, in questo caso, dovrà essere eseguita mediante l'utilizzo di carrelli di adeguata portata del tipo di quello sottoriprodotto già utilizzato comunemente per la movimentazione dei containers. (fig. 8art)

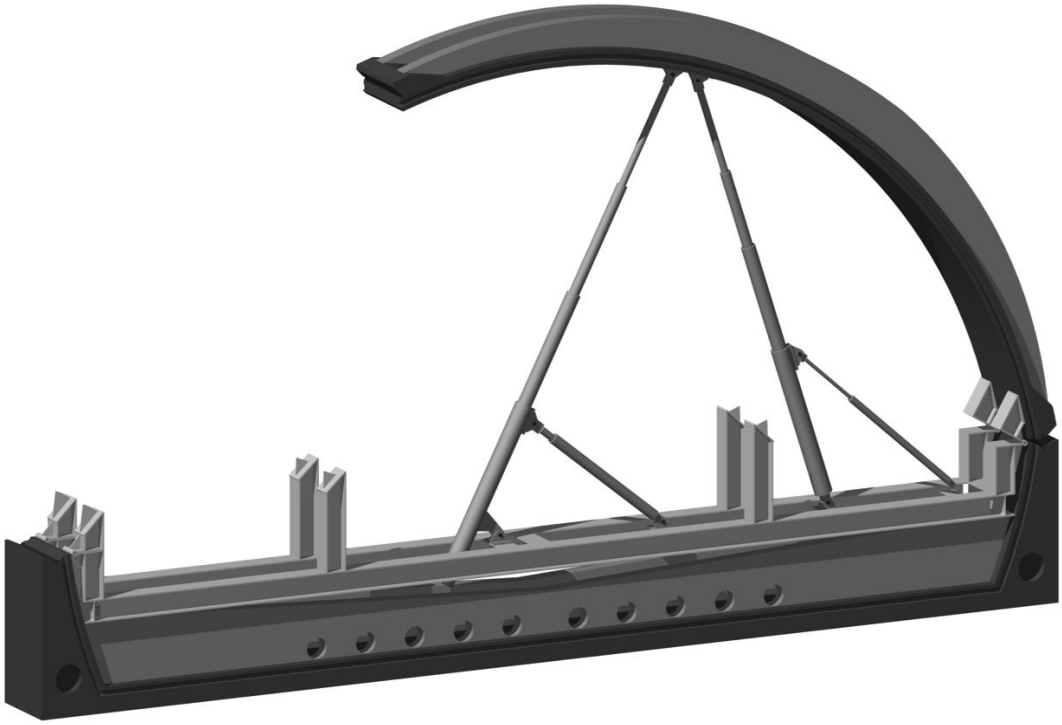


Figura 6art - fase 1 erezione della prima semicalotta

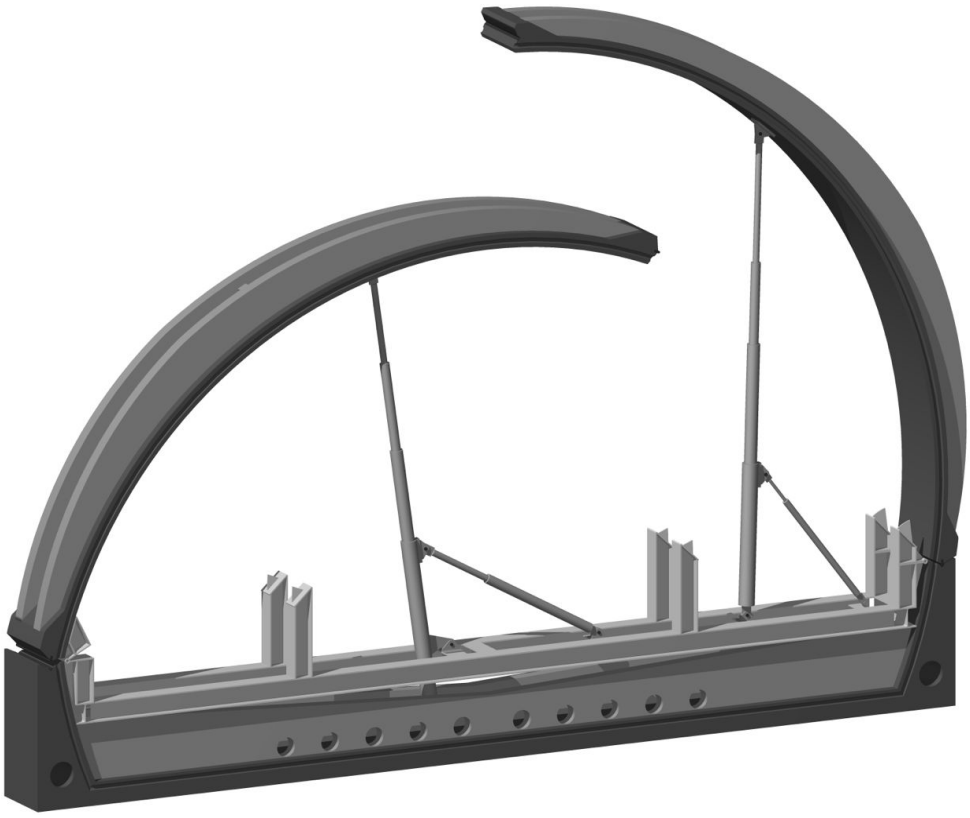


Figura 7art - fase *2 erezione della seconda semicalotta*

Figura 8art - Carrello tipo per la movimentazione delle porzioni di concio in galleria

Prototipo di concio realizzato dalla Musilli S.p.A

Si riportano qui di seguito le fasi più significative della posa dei conci eseguita dall'interno della porzione di galleria già realizzata.

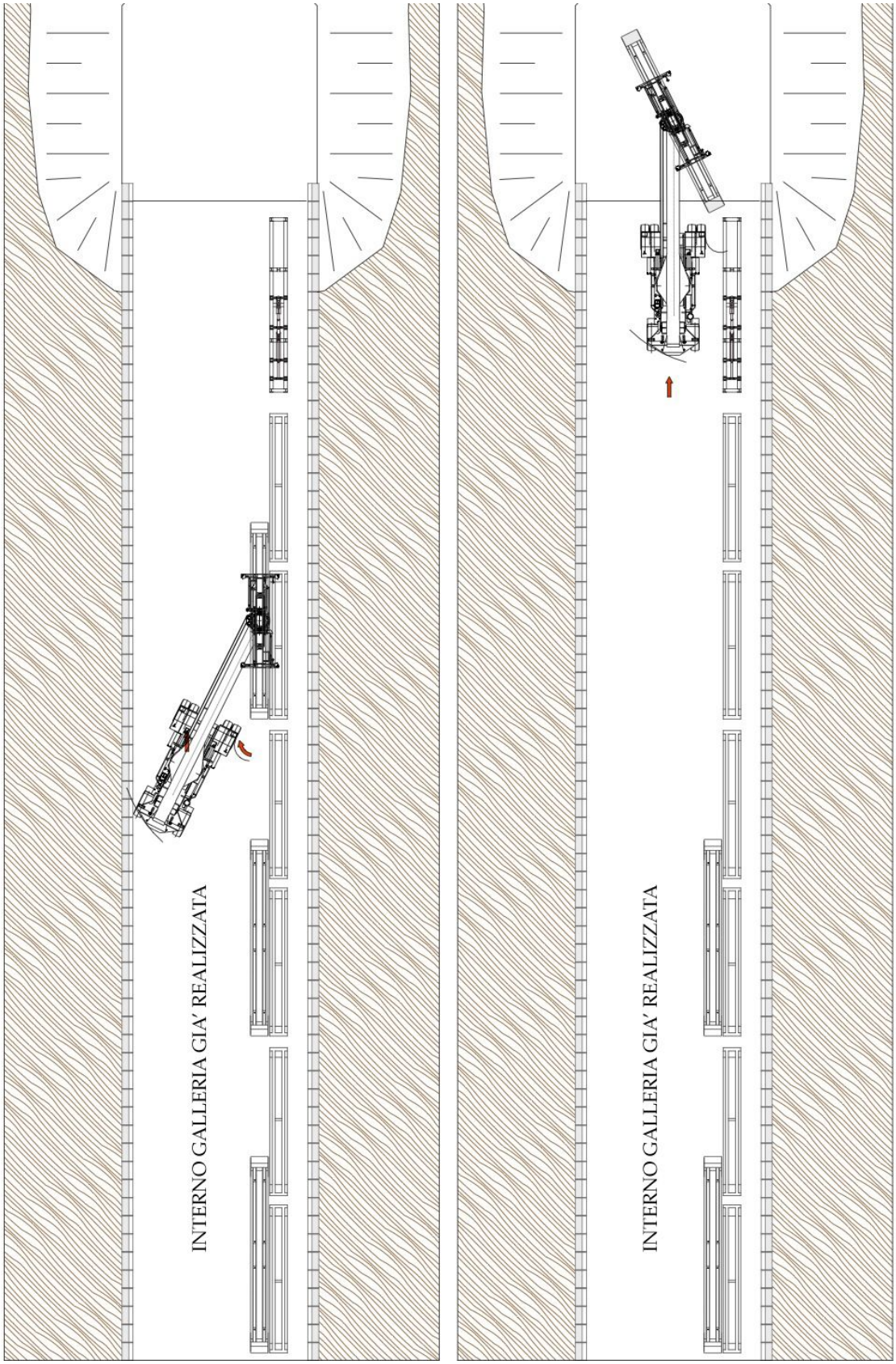


Figura 9art

GALLERIE NATURALI

Concio per galleria naturale

Modalità di trasporto e varo dei conci in galleria naturale

A) Ipotesi di trasporto al fronte dei componenti il concio già preassemblati

Nei casi di fronte stabile almeno nel breve periodo, in considerazione che la durata della posa in opera di un concio, già preassemblato al di fuori della galleria, risulta essere pressoché uguale a quello necessario per l'esecuzione di un equivalente tratto (mt 1,2) di rivestimento provvisorio in centine e spritz, sarà possibile omettere detta operazione e ottenere nello stesso tempo il rivestimento definitivo che, dopo opportune iniezioni di intasamento a tergo del medesimo per solidarizzarlo alla parete di scavo, costituirà un tratto di galleria completamente ultimato, già pronto per assolvere al suo compito statico e con il suo arco rovescio immediatamente pronto per essere attraversato anche da mezzi molto pesanti.

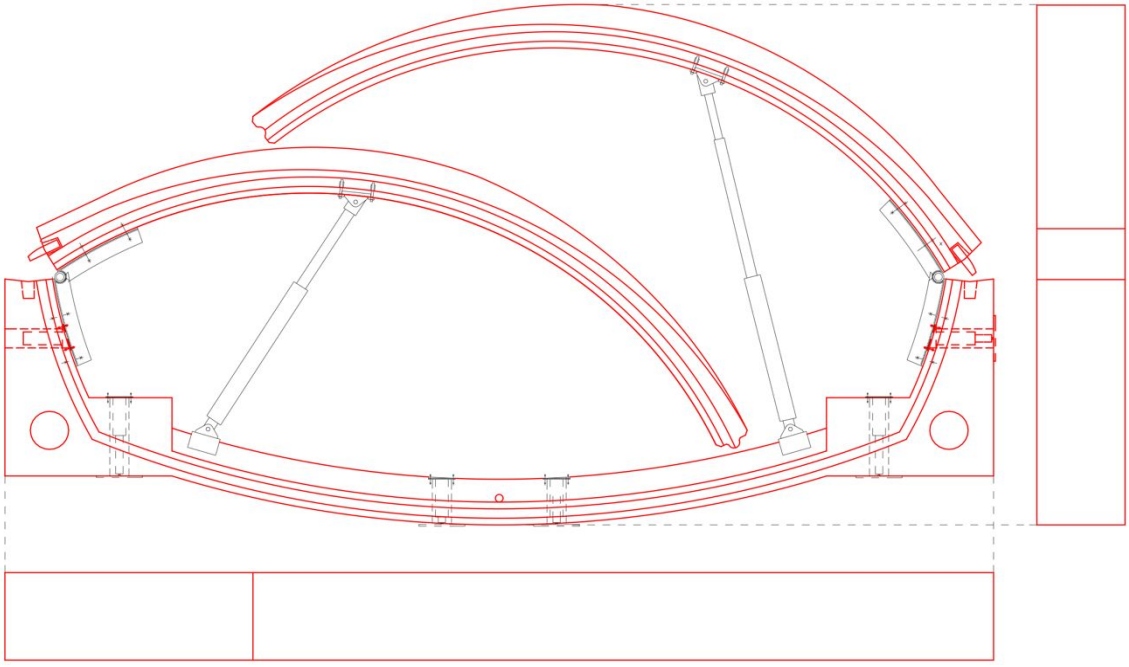
A1) Trasporto al fronte di scavo (vedasi le figure 4, 5 e 5a)

Previo assemblaggio fuori della galleria dei tre pezzi costituenti un intero concio (un arco rovescio con murette e due semicalotte) mediante l'ausilio di inserti metallici e martinetti idraulici recuperabili alla fine del varo, il concio viene montato su un apposito carro che, viaggiando al centro della galleria, potrà raggiungere per tempo il fronte di scavo.

Per assicurare la necessaria stabilità del concio durante il tragitto, è opportuno prevedere una guida sommatale, capace di contrastare eventuali sbandamenti laterali del medesimo concio.

Per sezioni ordinarie di gallerie (aventi quindi un raggio interno non inferiore a 6 mt.) ai lati del concio durante la fase di trasporto risultano disponibili due carreggiate per i mezzi d'opera in transito da e per il fronte, della larghezza di oltre 3 mt cadauna (vedasi fig. 4a, 4b, 4c); per sezioni di galleria inferiori invece, risulta più opportuno eseguire il trasporto in posizione laterale lasciando libera quindi una unica grande corsia di transito (vedasi fig. 5 e 5 a).

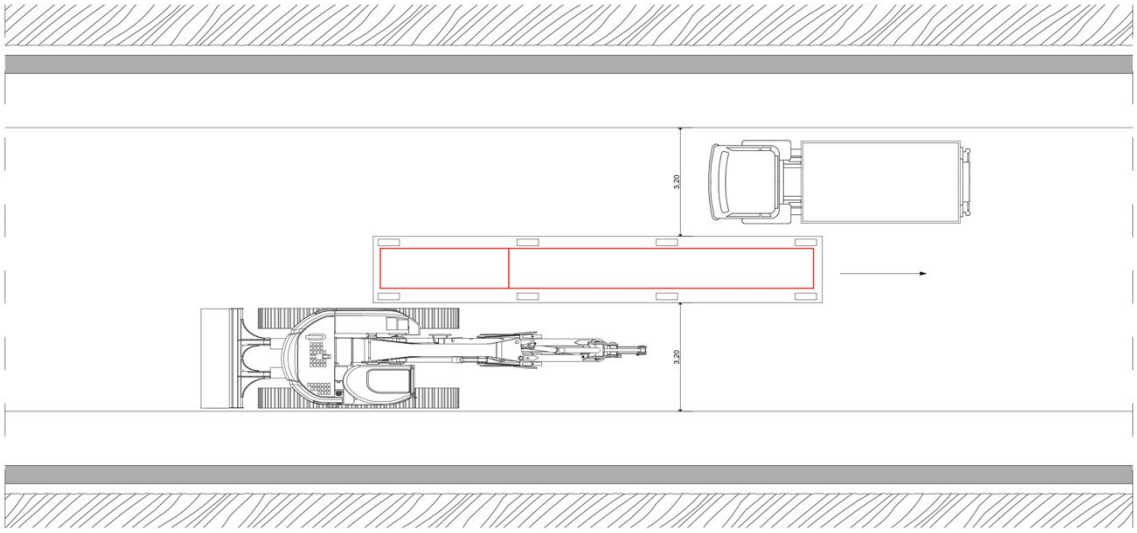
In alternativa si può eliminare la guida sommitale e realizzare un carro più largo conseguendo così più stabilità.



Trasporto al fronte del concio in posizione centrale – conformazione del concio richiuso

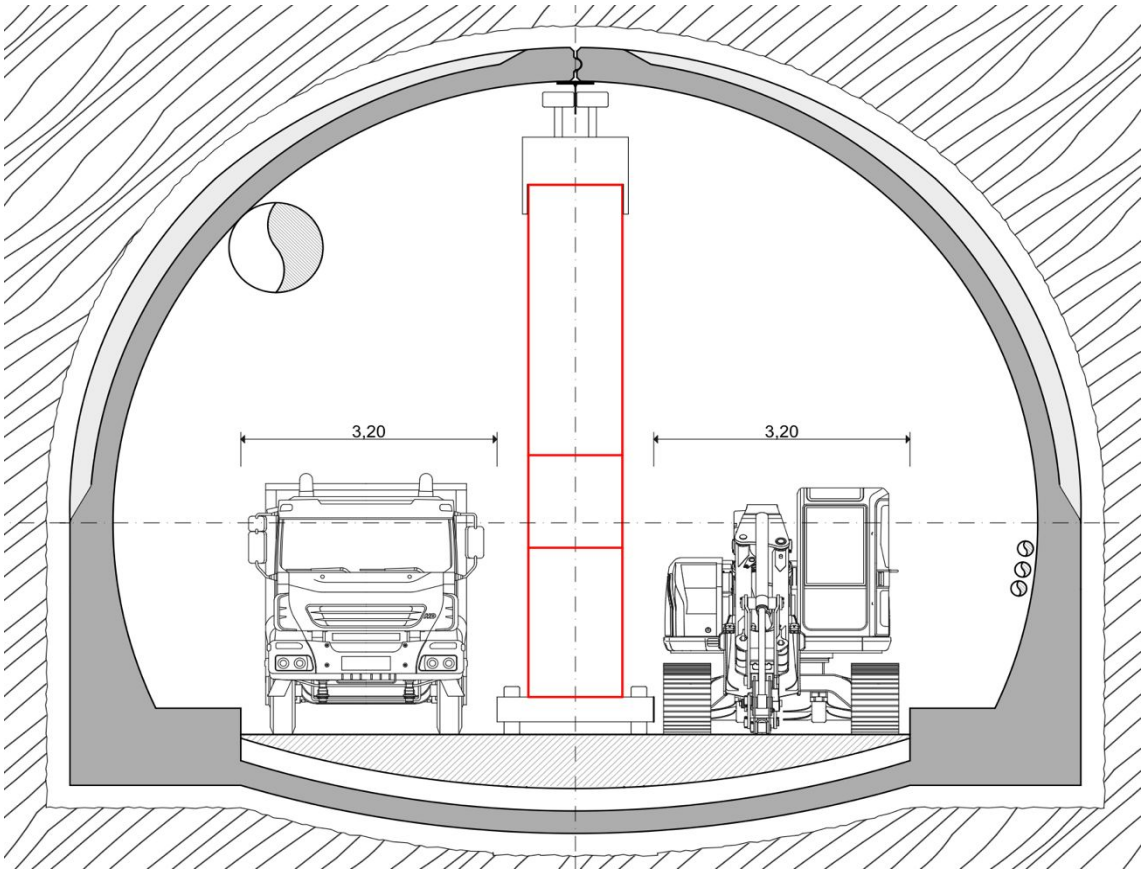
- grandi gallerie -

Figura 4a



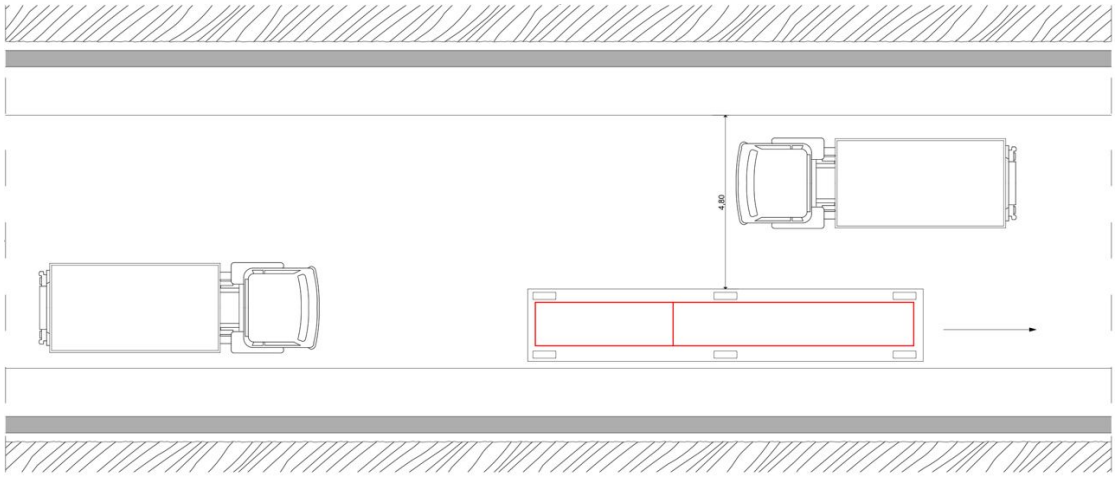
Trasporto al fronte del concio in posizione centrale – pianta - grandi gallerie

Figura 4b



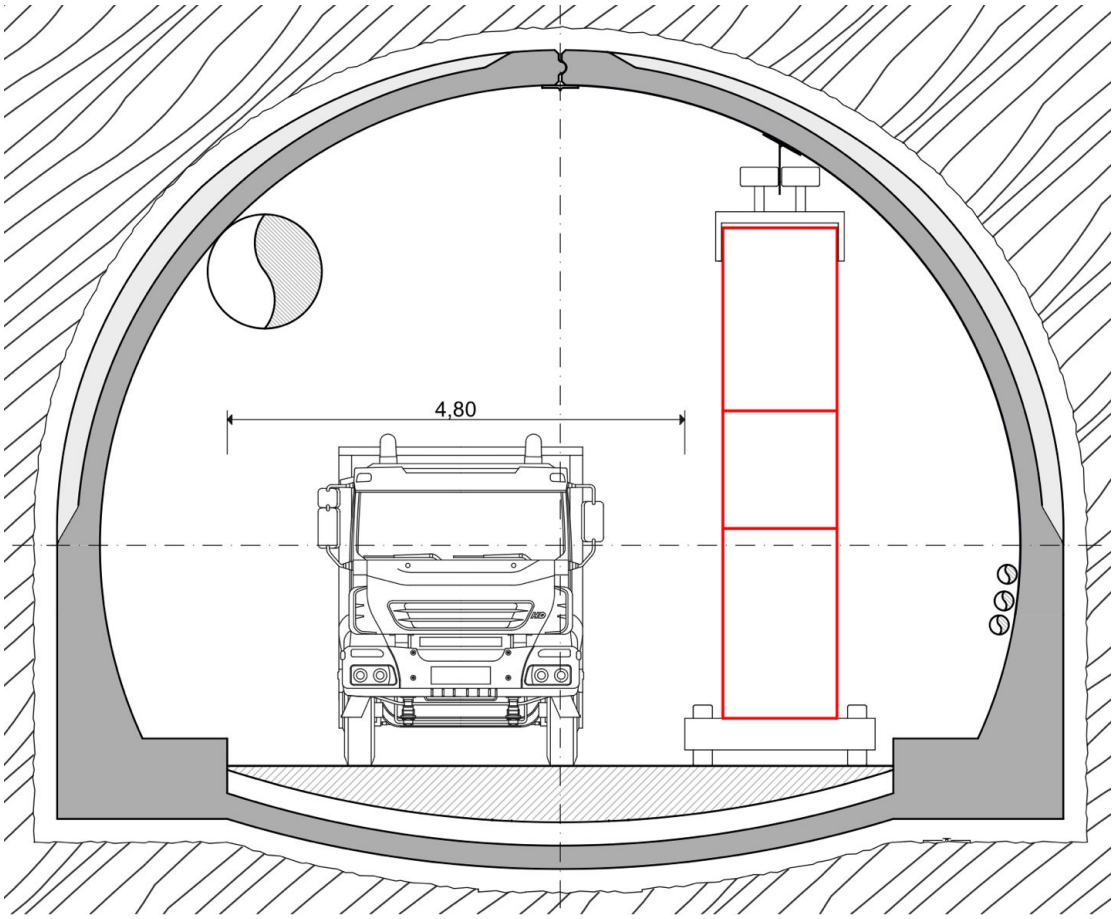
Trasporto al fronte del concio in posizione centrale - sezione - grandi gallerie

Figura 4c



Trasporto al fronte del concio in posizione laterale - pianta - piccole gallerie

Figura 5



Trasporto al fronte del concio in posizione laterale - sezione orizz. - piccole gallerie

Figura 5a

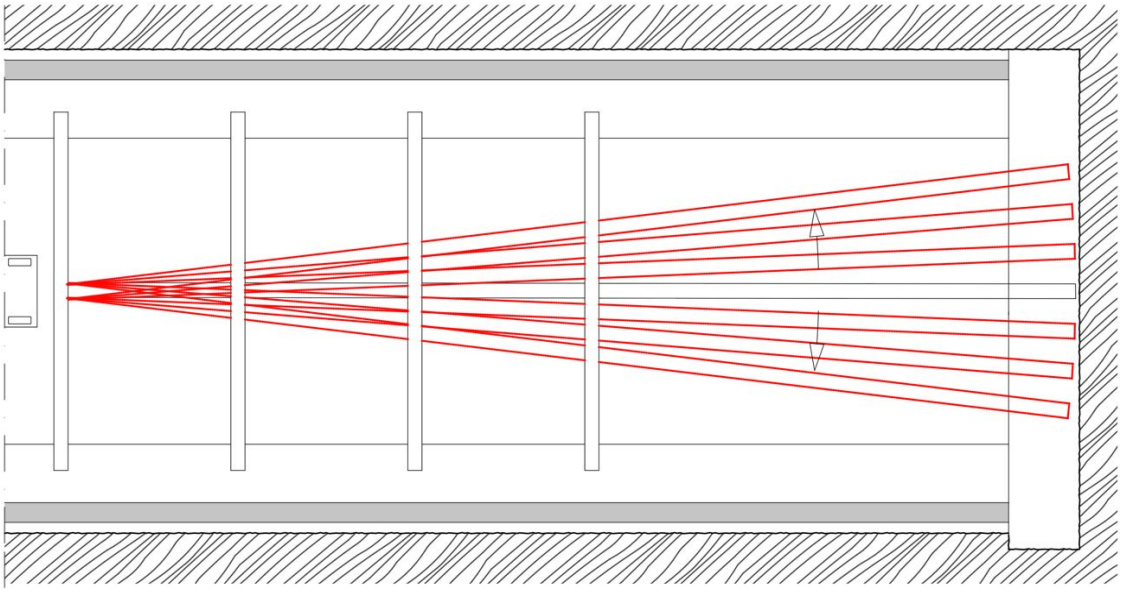
Dette corsie inoltre, sono capaci di ospitare in prossimità del fronte i mezzi di scavo inoperanti durante la fase di varo come escavatori, pale caricatrici, autocarri o altro.

A2) Varo del concio (vedasi le figure 6, 7, 7a,7b e 7c)

In prossimità del fronte di scavo, stazionerà costantemente una gru a cavalletto opportunamente conformata per ricopiare la sezione della galleria e lasciare quindi la massima possibilità di manovra al di sotto di essa.

Detta gru sarà del tipo semovente con binari montati sui ripiani laterali e sarà munita di un argano monotrave capace di imbracare uno dei conci che, già trasportati al fronte, stazionano in prossimità di essa.

La stessa gru sarà inoltre conformata per la movimentazione e la posa definitiva del concio in opera, utilizzando anche la possibilità della rotazione della trave sostenente l'argano vedi figura 6.



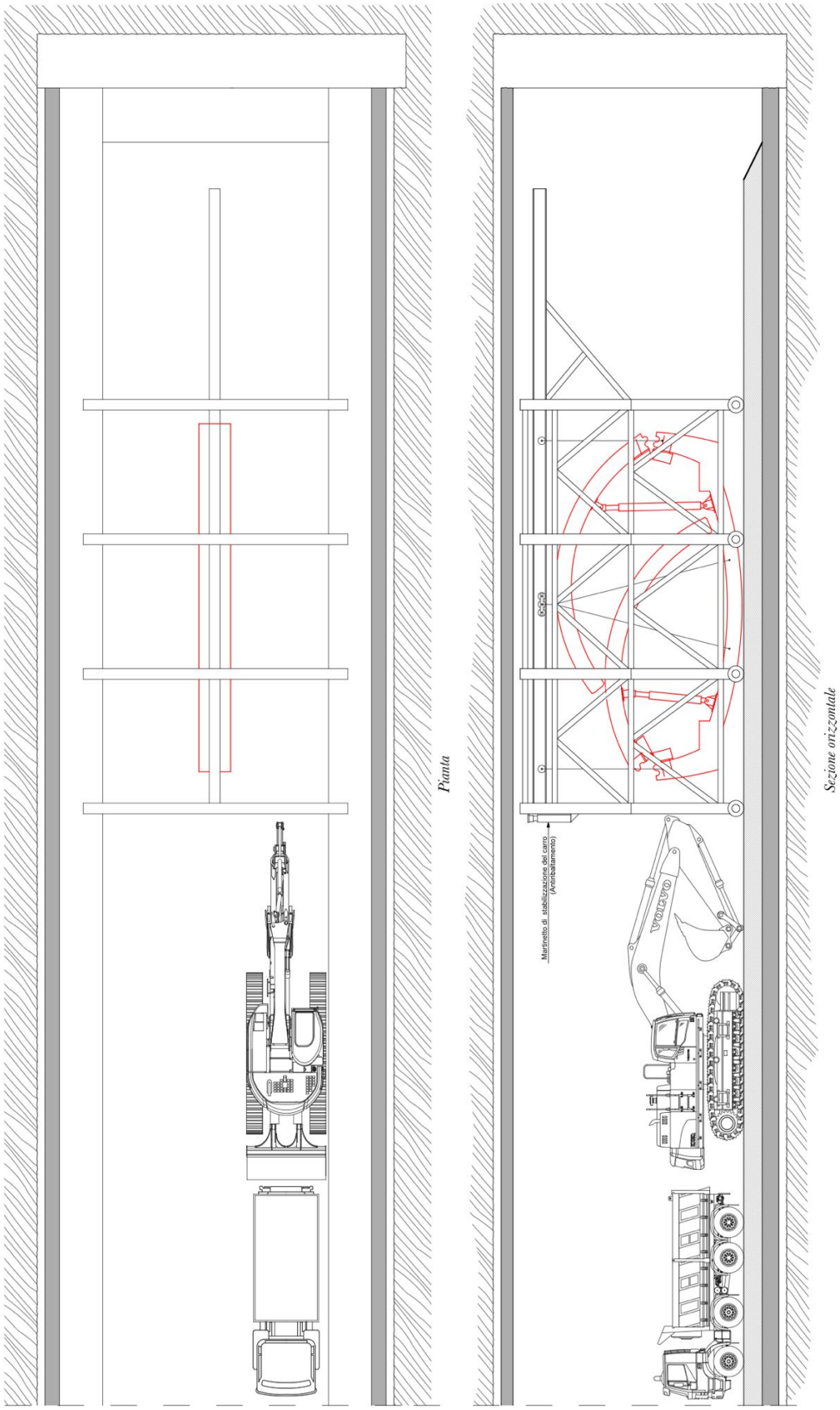
Vista in pianta della gru a cavalletto con argano monotrave rotante

Figura 6

Ad operazione completata, la medesima si allontanerà dal fronte quanto basta (20 - 30 mt) per lasciare campo libero ai mezzi di scavo e caricamento dello smarino.

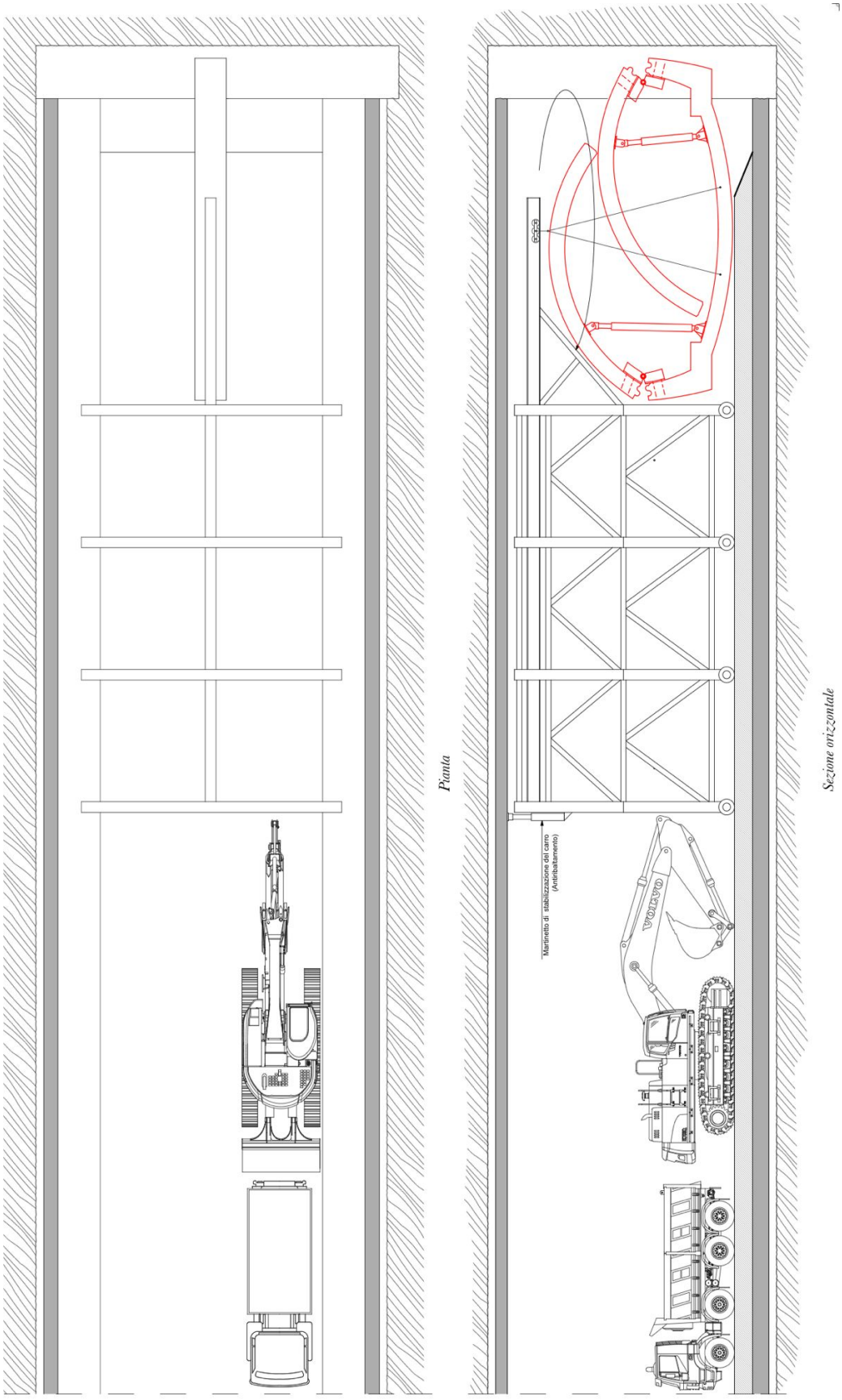
E' opportuno inoltre sottolineare come, la modalità di varo dei conci in maniera completamente meccanizzata, non necessita di presenza di maestranze a breve distanza dal fronte con evidenti vantaggi dal punto di vista della sicurezza.

Tutti gli operatori infatti, potranno operare dall'interno del concio precedentemente varato e quindi in totale protezione contro i rilasci accidentali.



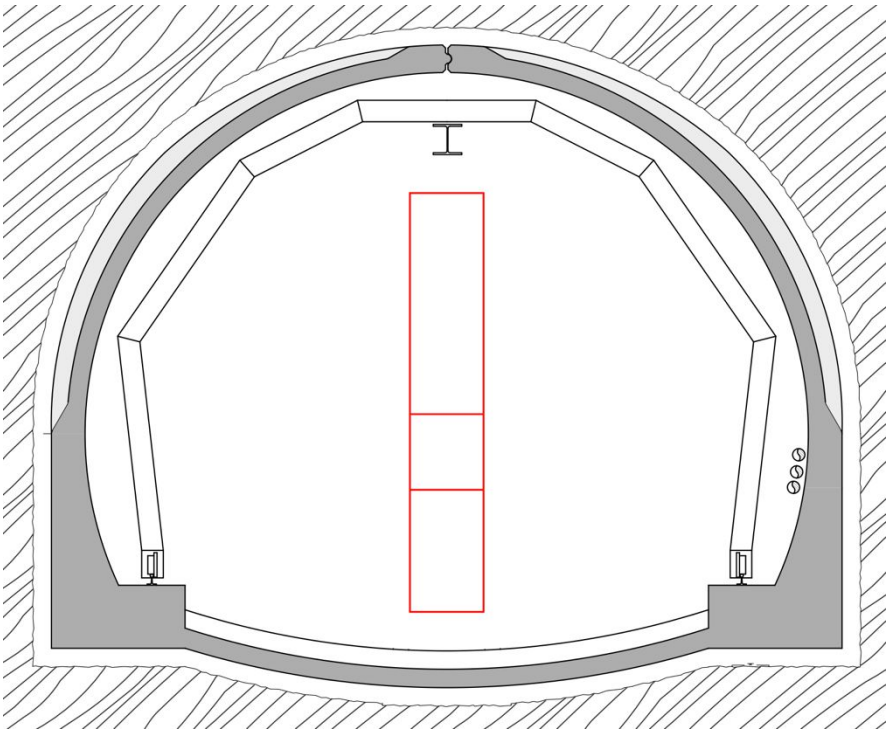
Imbracatura del concio sulla gru pur con mezzi d'opera stazionanti in prossimità.

Figura 7



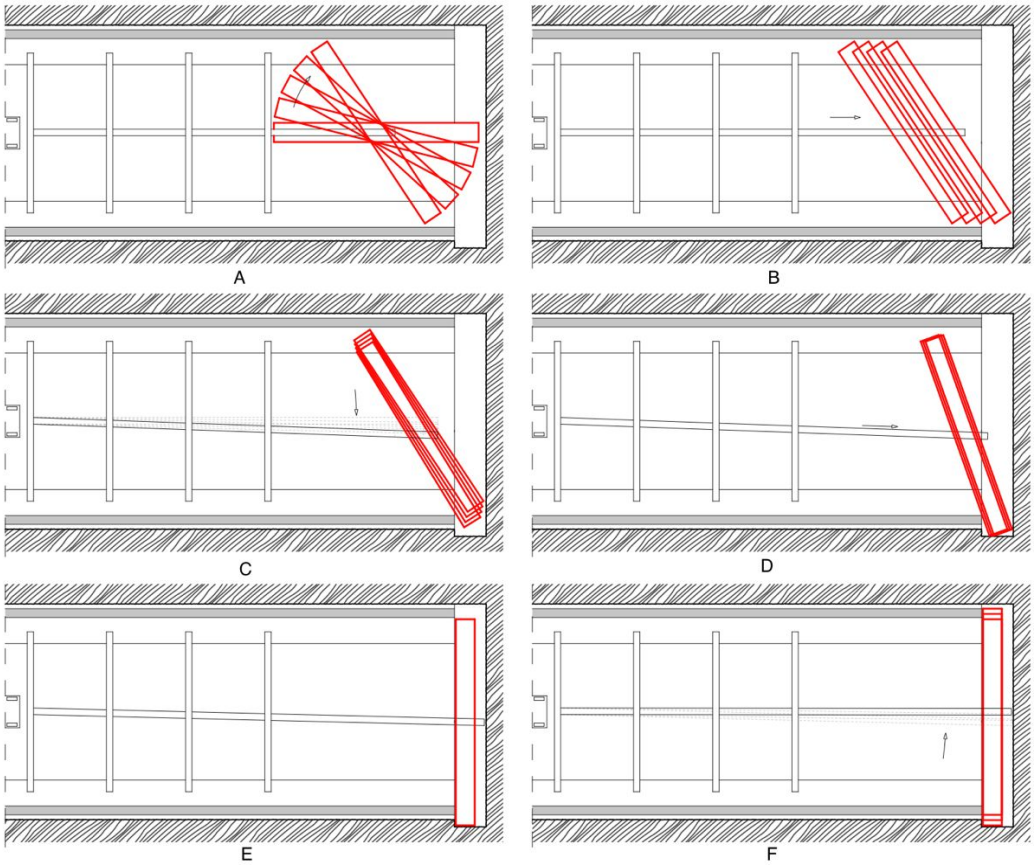
Varo del concio mediante roto-traslazione combinata eseguita all'estremità della gru.

Figura 7a



Varo del concio mediante roto-traslazione - sezione trasversale.

Figura 7b



Varo del concio mediante roto-traslazione - pianta.

Figura 7c

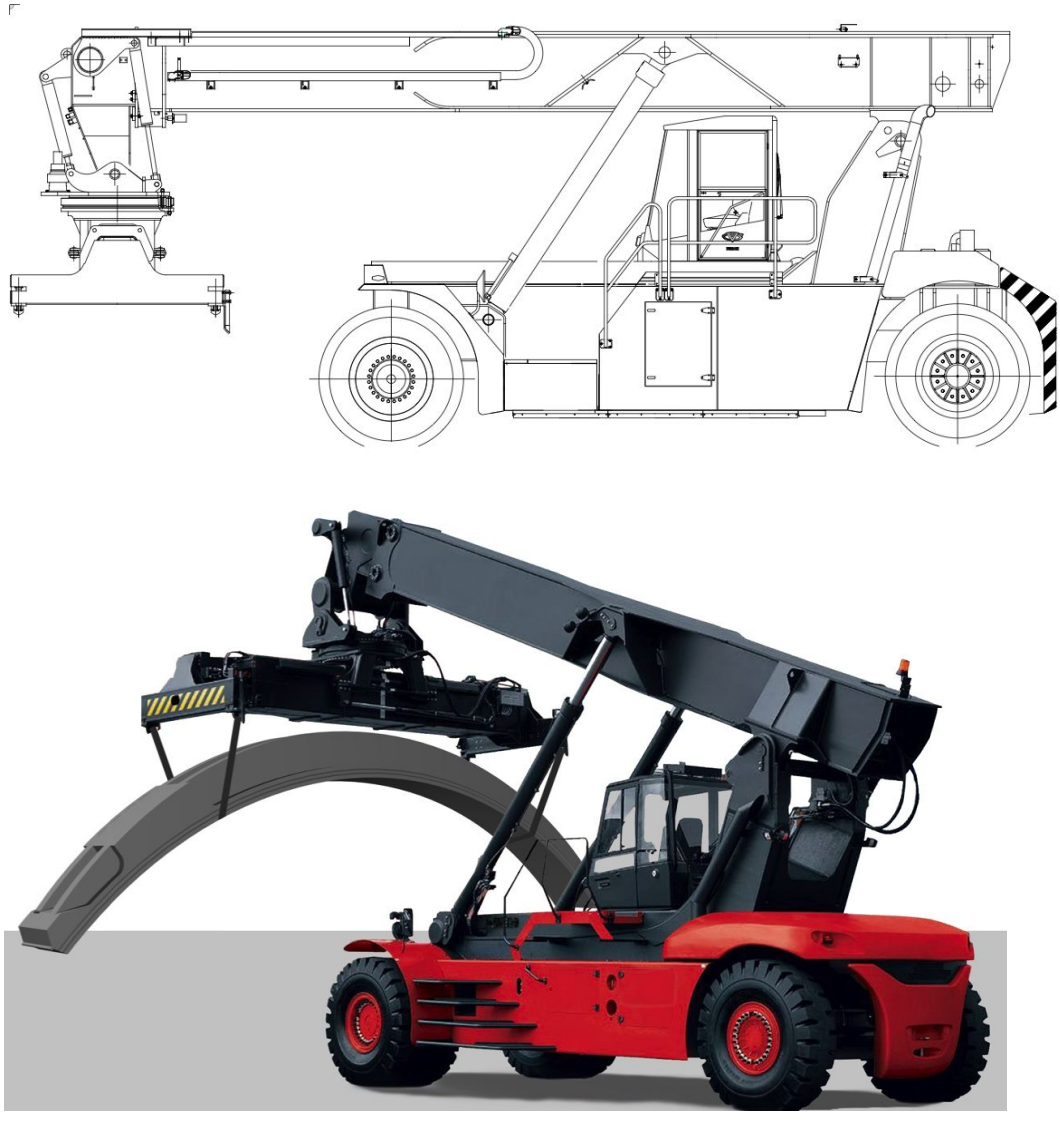
B) Ipotesi di trasporto al fronte di elementi componenti il concio in modo disgiunto

Quale soluzione alternativa, parimenti valida per gallerie corte, a quella sopra illustrata, si può ipotizzare il trasporto al fronte e il varo mediante carrello elevatore da 30 t e quindi capace di trasportare al fronte l'intero concio in due viaggi (arco rovescio e le due semicalotte) oppure di varare detti pezzi disgiunti trasportati al fronte direttamente da un mezzo di trasporto simile a quello con cui sono giunti in cantiere.

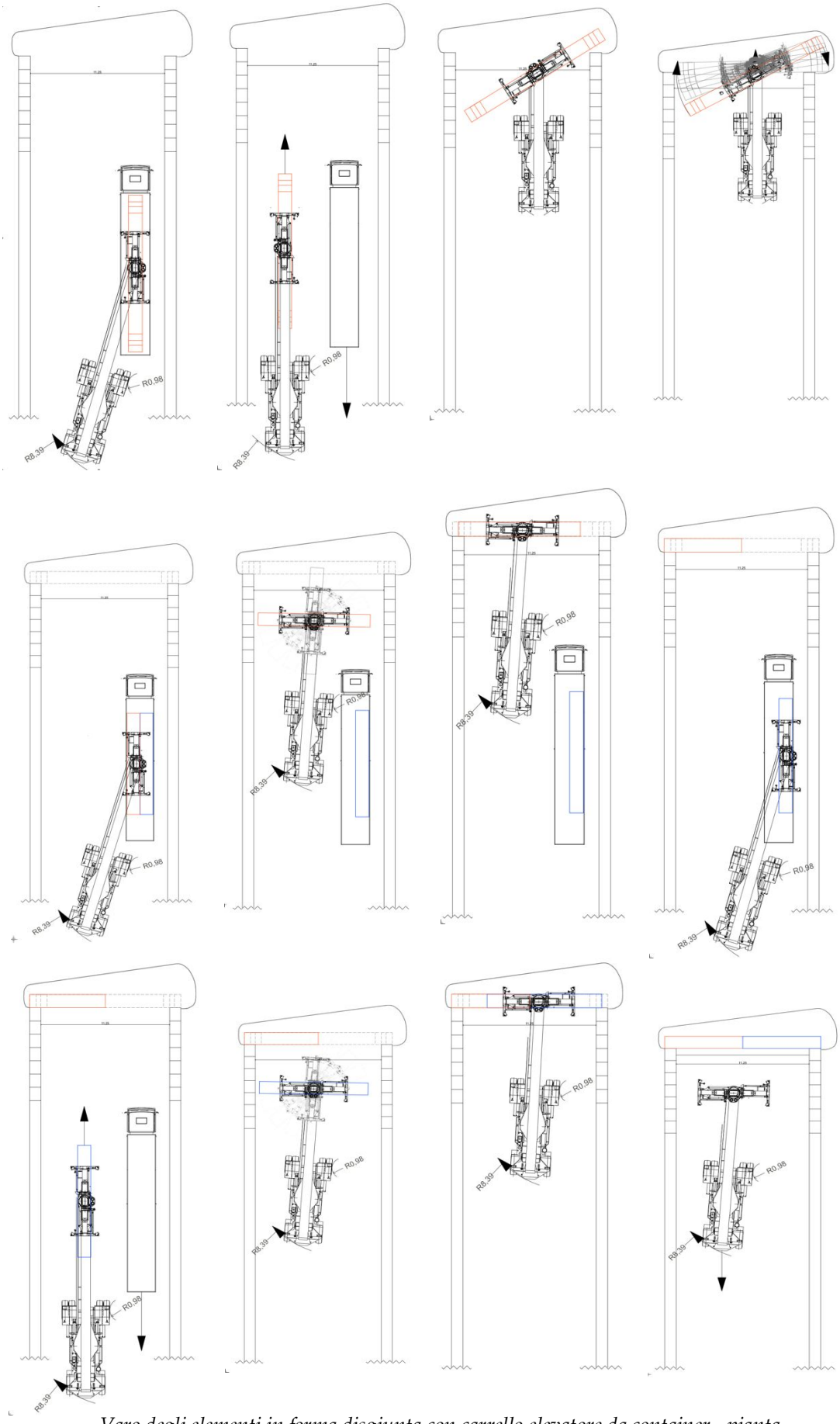
La posa in opera in questo caso deve essere eseguita mediante l'ausilio di un "erettore" costituto da un telaio metallico munito di appositi martinetti capaci di erigere le due semicalotte.

Detto telaio verrà posato dallo stesso carrello elevatore sul nuovo concio di base posato in opera, prelevandolo da quello precedentemente montato

Si riportano qui di seguito, le fasi di trasporto e assemblaggio al fronte dei tre componenti il concio.



Tipologia di carrello elevatore utilizzabile



Varo degli elementi in forma disgiunta con carrello elevatore da container - pianta

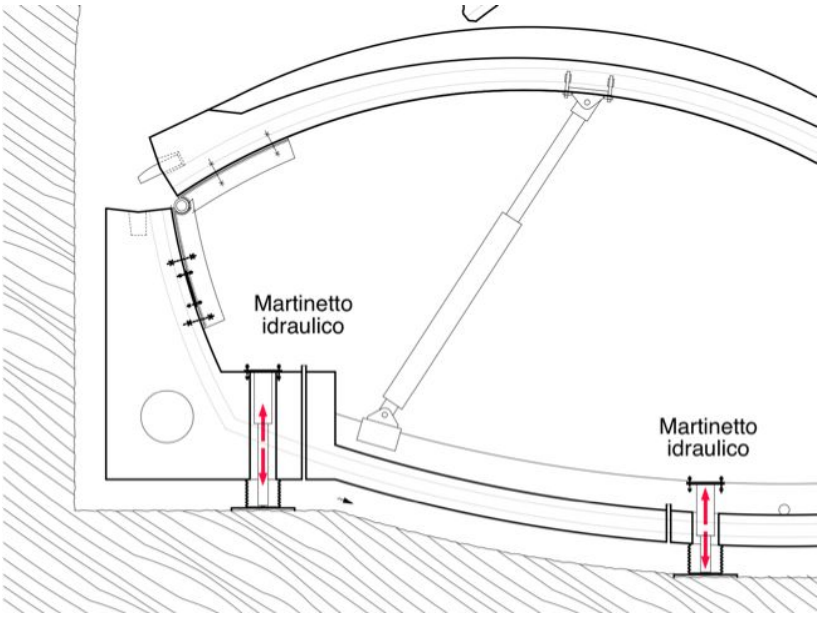
fase 1

fase 2

Posa delle semicalotte con l'ausilio dell'erettore

C) Stabilizzazione definitiva del concio in opera

Una volta posizionato e allineato il concio rispetto ai precedenti utilizzando i martinetti idraulici di cui temporaneamente è fornito, (fig. 7d) si passa alla fase di stabilizzazione definitiva del medesimo, mediante le seguenti operazioni:



Allineamento del concio mediante martinetti idraulici temporanei

Figura 7d

- Allineamento del concio mediante martinetti idraulici ed iniezione di boiacca a rapido indurimento nell'intradosso dell'arco rovescio (fig. 7e);

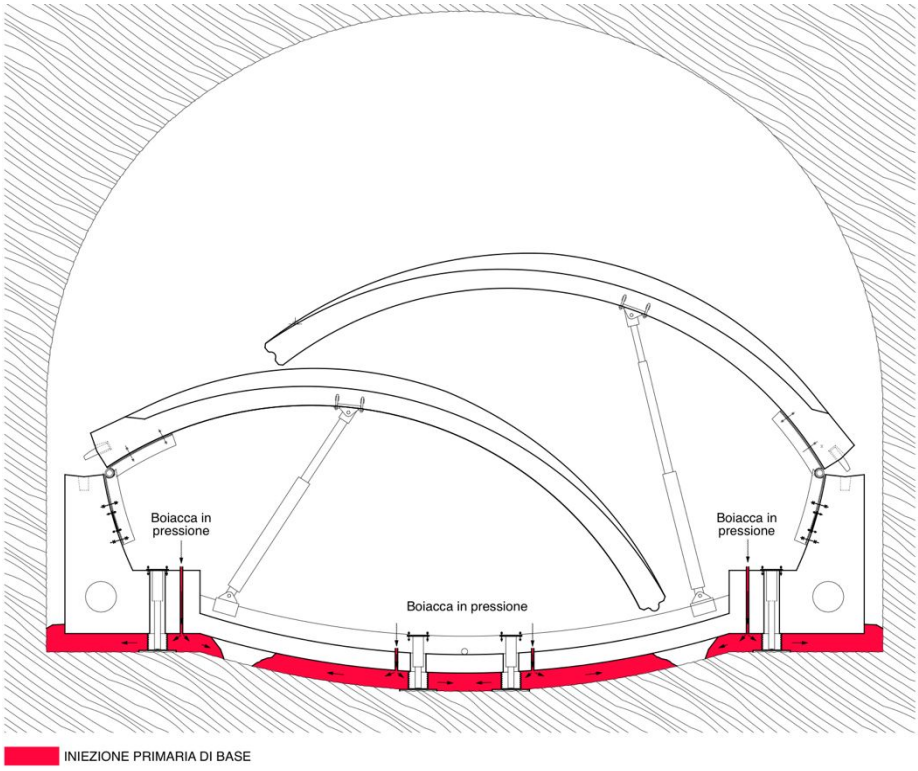


Figura 7e

• Apertura dell'anello costituente il concio mediante utilizzo di martinetti recuperabili (fig. 7f);

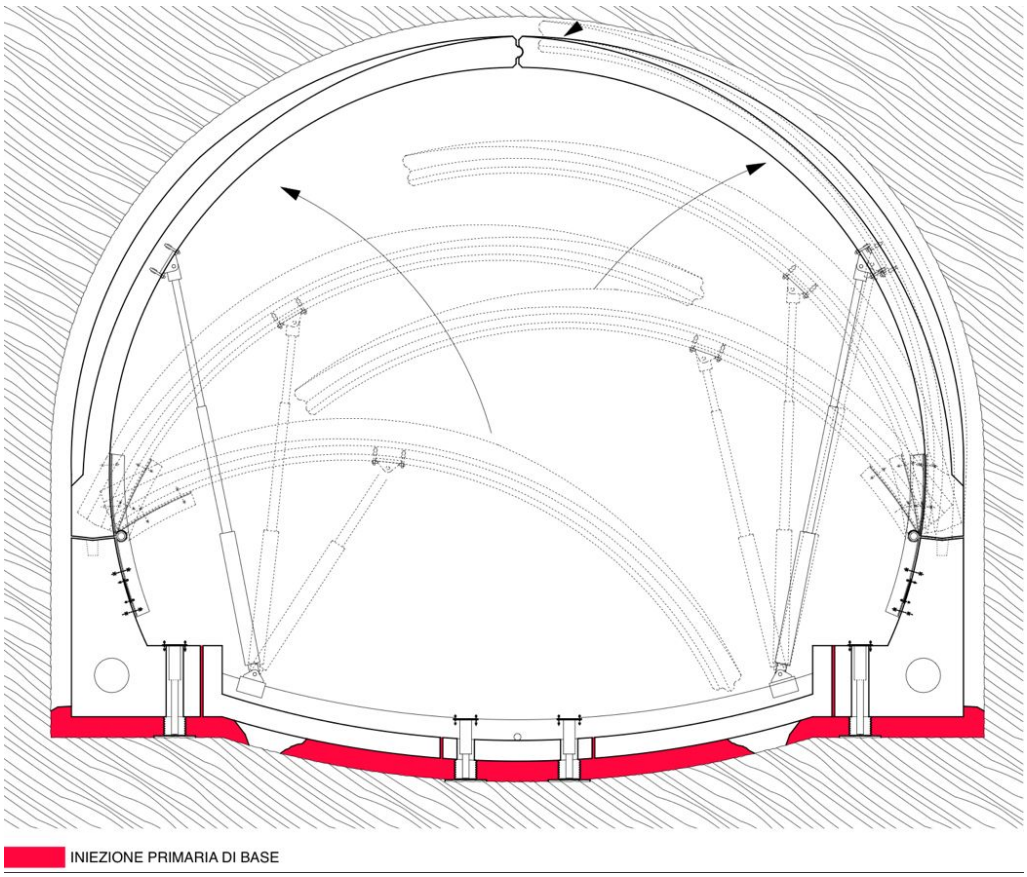
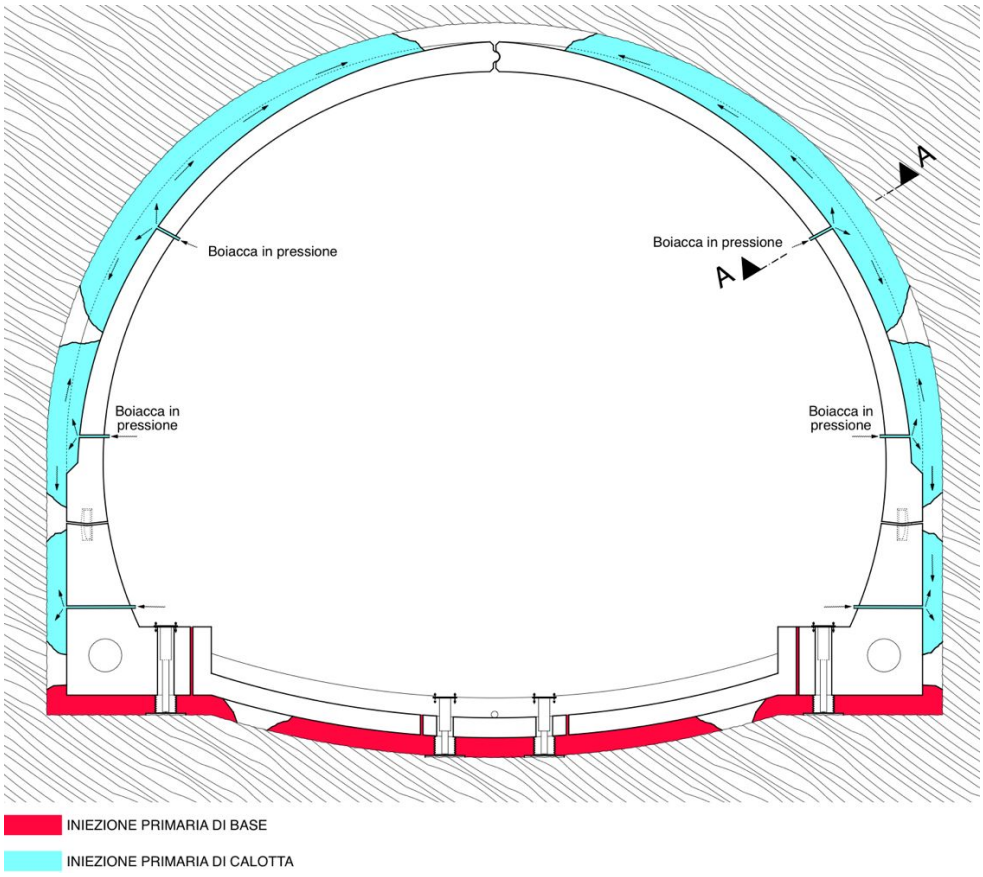
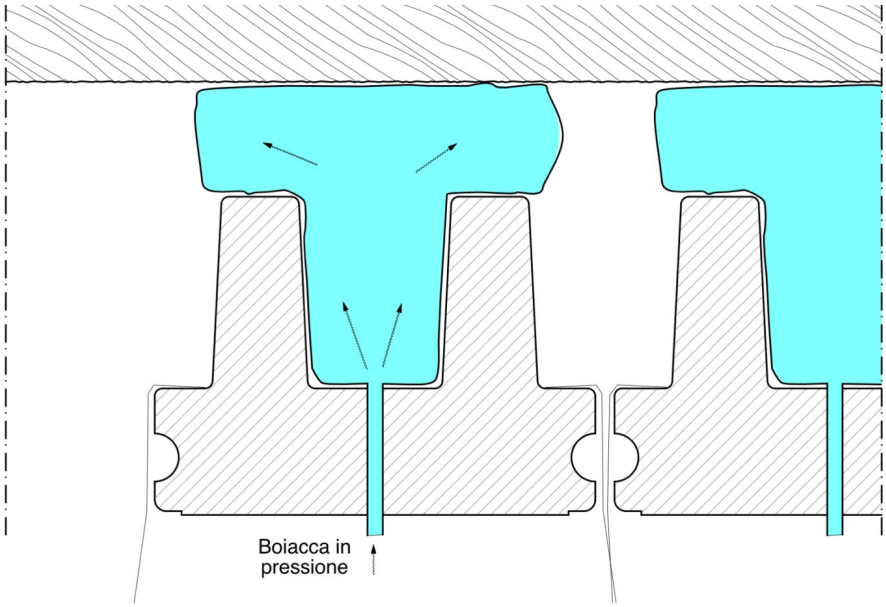


Figura 7f

• Iniezione della medesima boiacca a tergo delle murette e delle due semicalotte entro apposite sacche in telo di pvc fino a saturare lo spazio libero tra l'intradosso del concio e la parete di scavo (fig. 7g);





Sezione A-A

Figura 7g

- Giunzione dei lembi del manto in pvc di cui sono munite le estremità del concio ed espansione mediante iniezione nelle manichette espandibili (tipo bullflex) (fig. 7h);

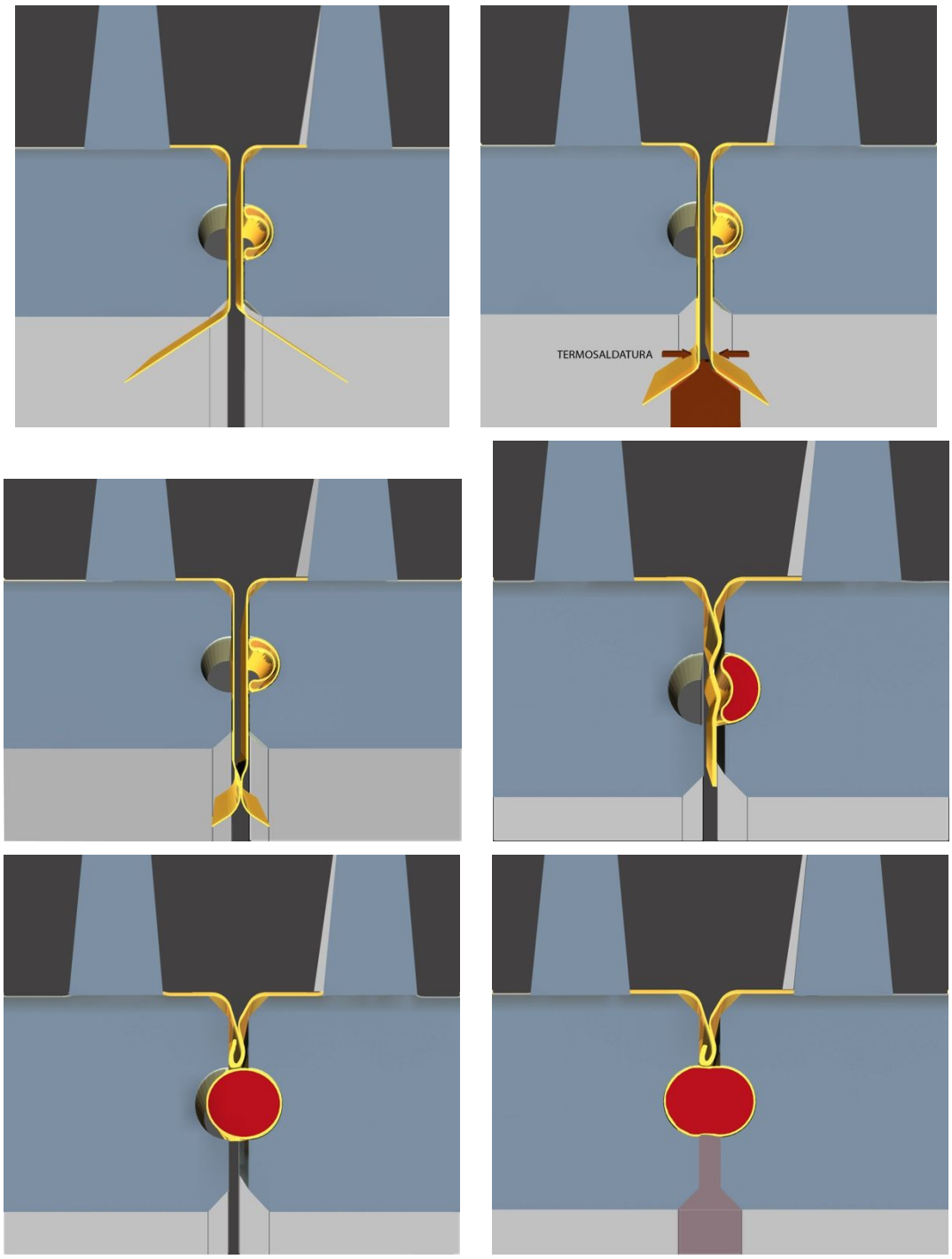


Figura 7h

- Iniezione secondaria degli spazi interclusi tra i due conci e il manto in PVC della zona in giunzione.

Con dette iniezioni anche il tratto in PVC, costituito dalla saldatura dei lembi dei due conci, va a costituire una ulteriore sacca di espansione fino ad aderire alla parete di scavo. (fig. 7i)

Il telo in PVC reca al suo esterno un tessuto (geotessile) drenante che consentirà il regolare reflusso delle acque verso l'arco rovescio.

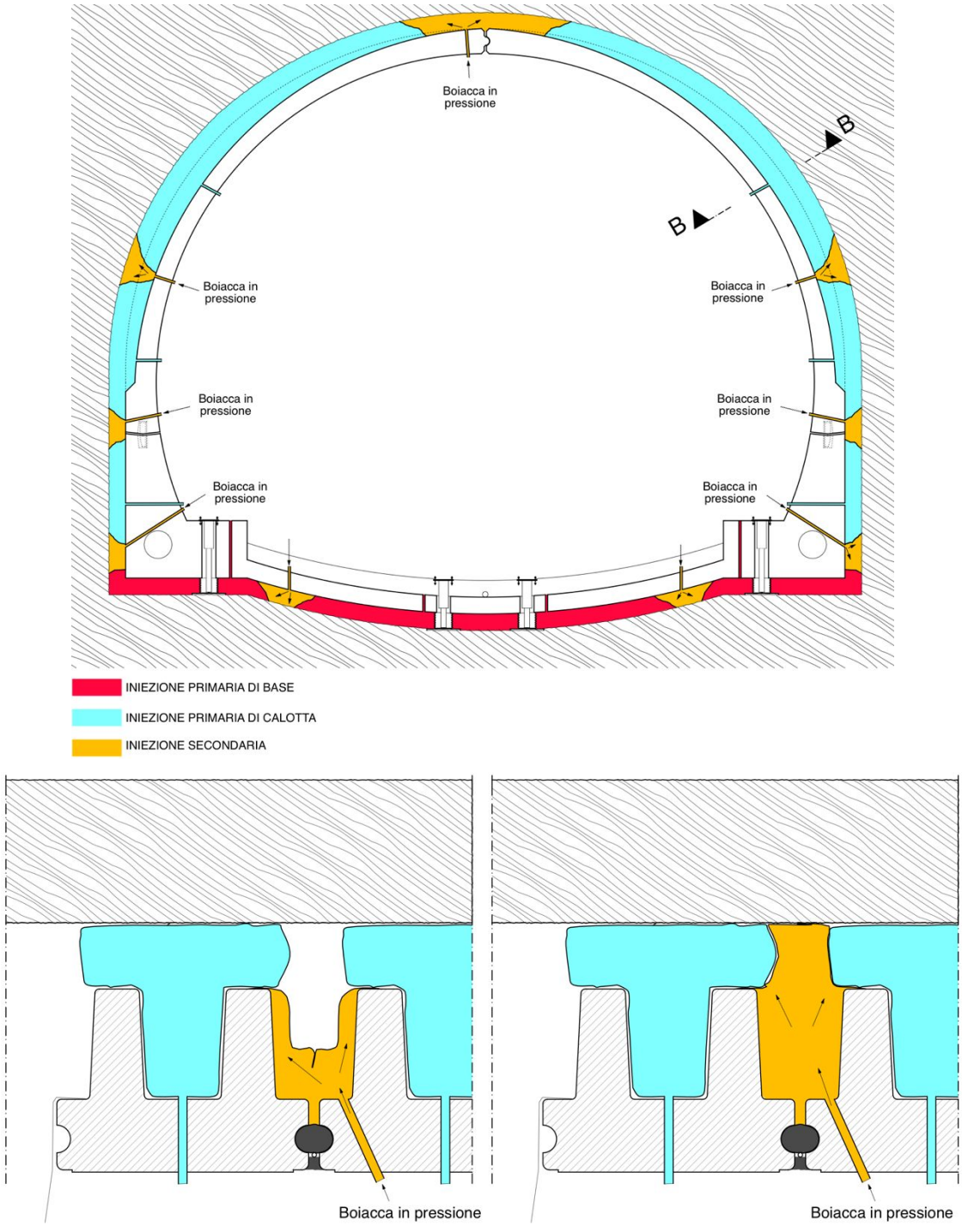
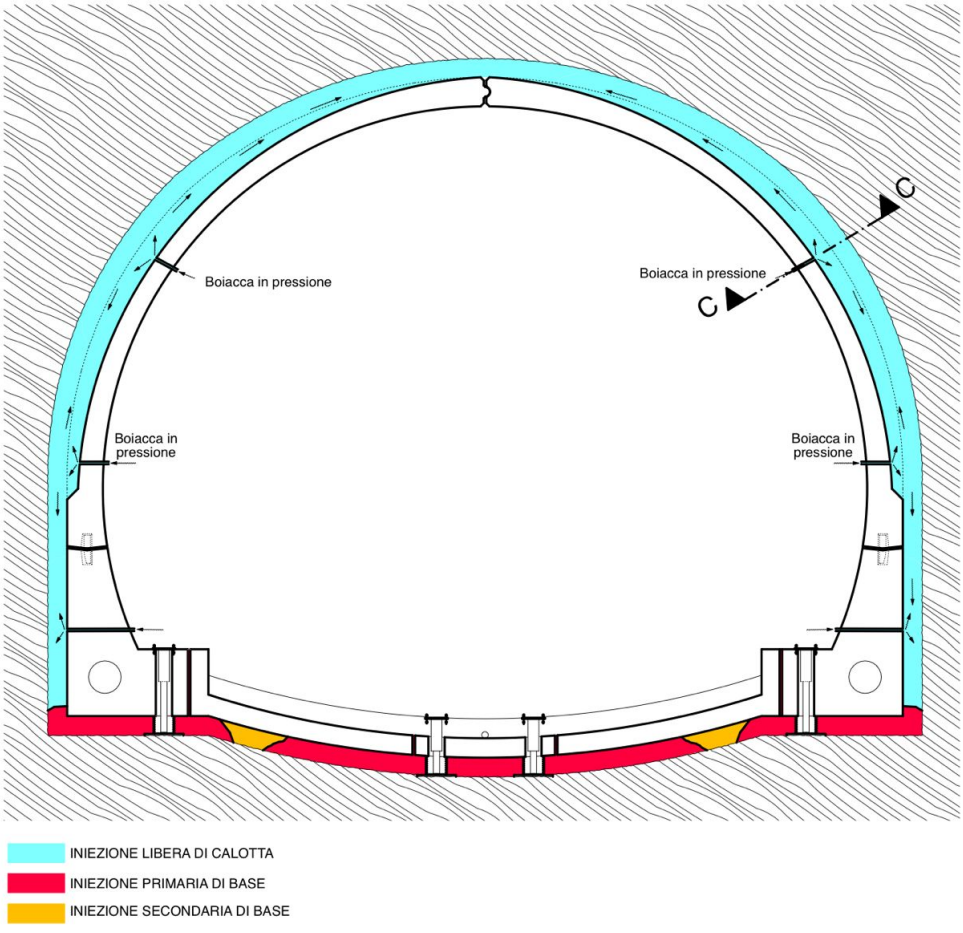


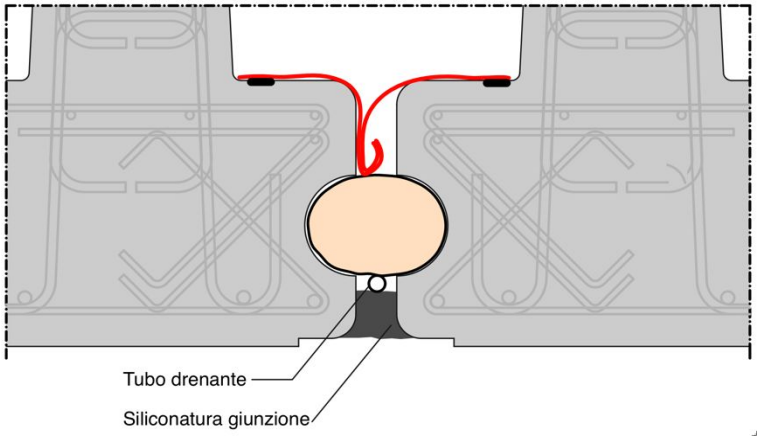
Figura 7i

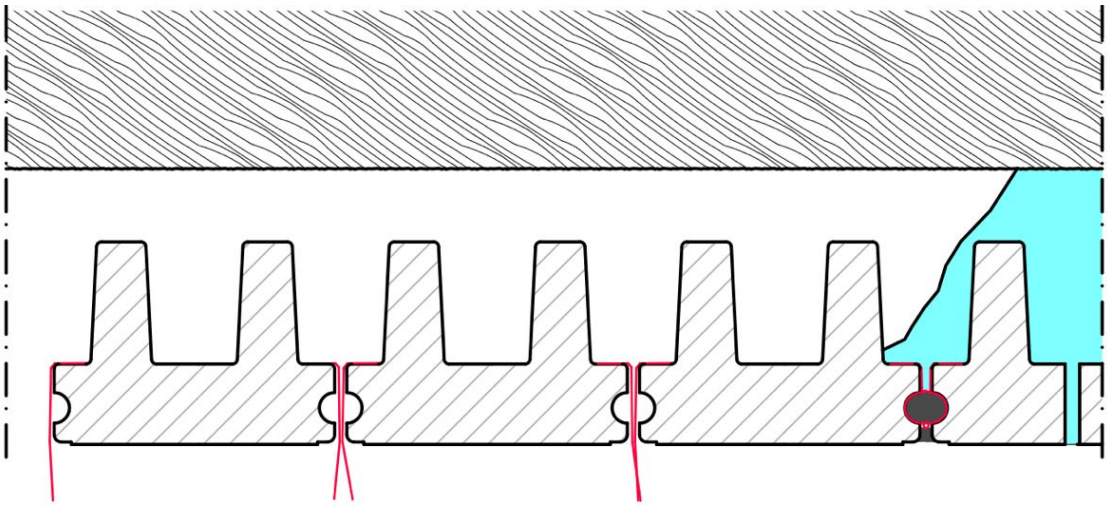
A questo punto, dopo il rapido indurimento delle iniezioni di cui sopra, il concio risulta completamente solidarizzato al cavo e al suo concio limitrofo precedentemente iniettato.

In alternativa alla procedura ora descritta, si può optare per la seguente variante:

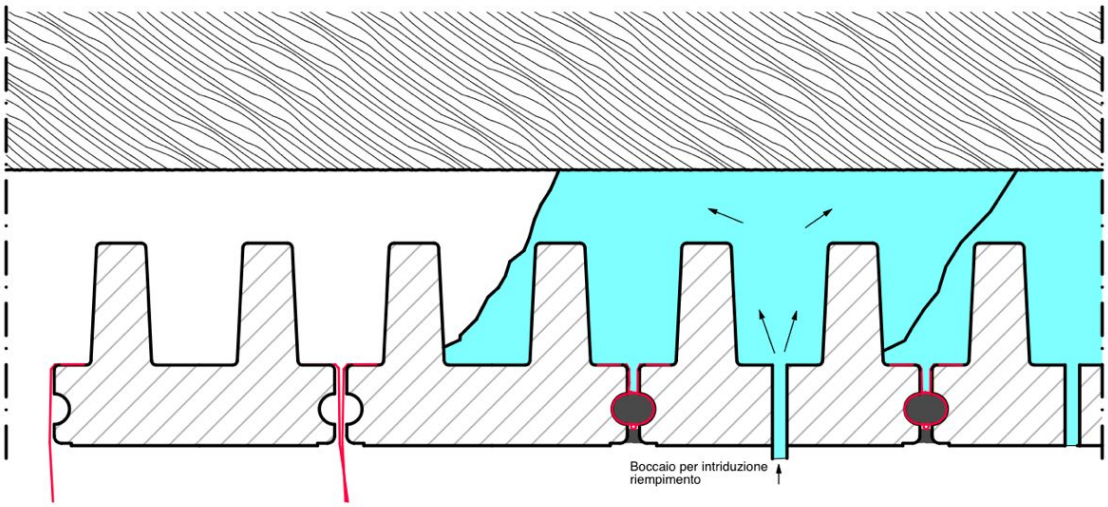
- prima di passare alla saturazione dello spazio a tergo dei conci, si esegue la giunzione del concio appena eretto con il precedente utilizzando la stessa metodologia prima descritta, ma con la variante che i due lembi in pvc fuoriuscenti dal giunto, sono saldati alla estremità dei medesimi conci come illustrato nella Sezione C-C Fase 1 fig. 7l anziché ricoprirli interamente;
- a distanza di tre o quattro conci dal fronte poi, si passa alla iniezione libera di boiacca o schiuma a tergo dei conci, senza l'utilizzo di sacche in pvc in quanto i conci stessi potrebbero essere costituiti, utilizzando appositi additivi, da calcestruzzo impermeabile all'acqua (tra l'altro anche molto più durevole) ciò consente un intasamento più omogeneo ed efficace, pur garantendo la necessaria permeabilità affinché le acque di falda eventualmente ivi presenti, possano confluire agevolmente allo scarico (Sezione C-C Fase 2 fig. 7l).







Sezione C-C Fase 1



Sezione C-C Fase 2

Figura 7l

Caso di fronte instabile (vedasi la figura 8)

Nei casi di fronte instabile anche nel breve periodo, magari anche in presenza di forti venute d'acqua capaci di compromettere la funzionalità delle macchine operatrici, potrebbe rendersi necessario o comunque conveniente, solo per detti tratti, una prima applicazione di rivestimento provvisorio di centine e spritz con sistemi di posa tradizionali.

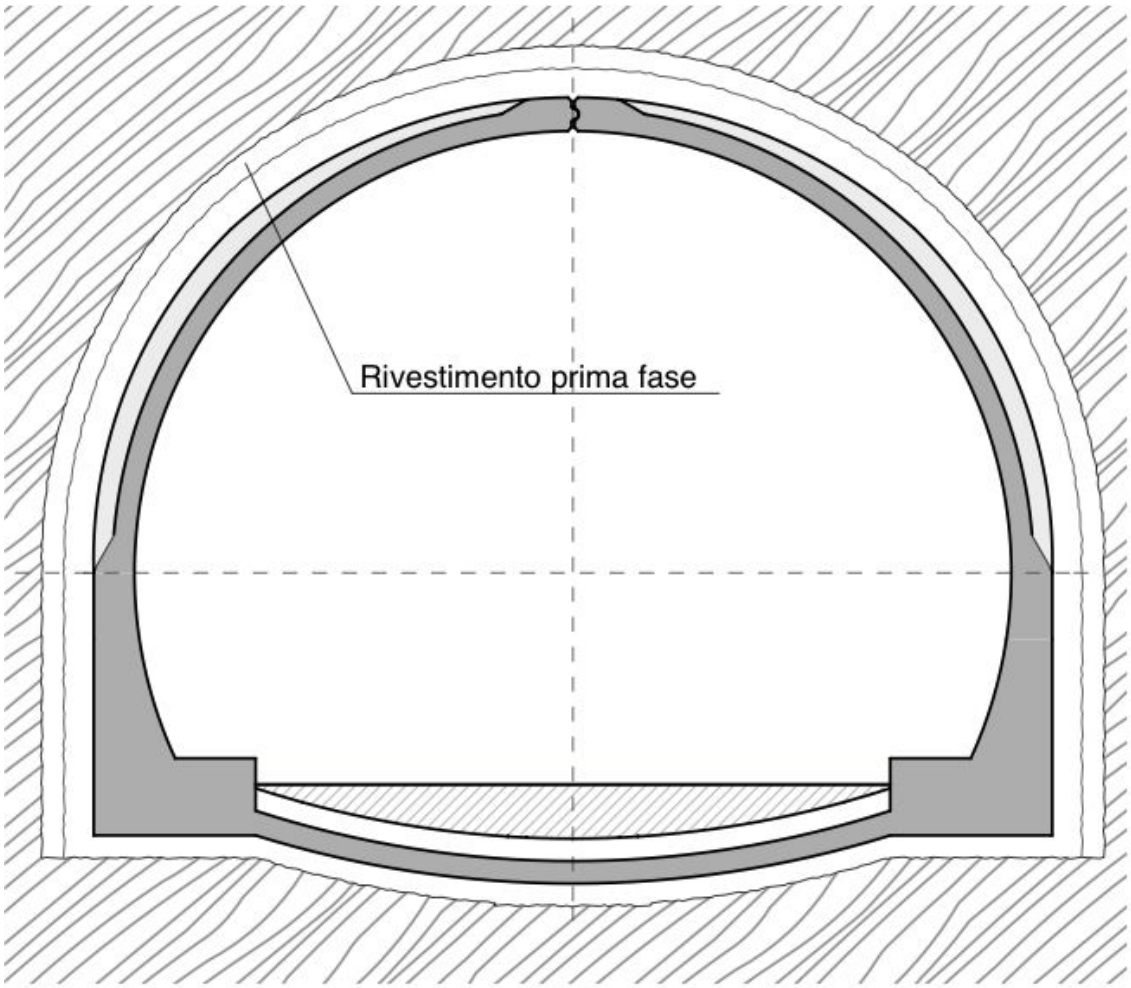


Figura 8

Sempre nel caso di fronte instabile potrà rendersi necessario l'utilizzo di interventi di stabilizzazione del fronte, ma ciò non potrà ostacolare in alcun modo la posa dei conci medesimi.

Anzi a tal riguardo occorre evidenziare come la presenza nella immediata vicinanza del fronte di scavo del rivestimento definitivo con tutta la sua rigidezza

strutturale, potrà contribuire efficacemente a contrastare l'instabilizzazione del fronte conseguente ad effetti estrusivi e/o di detensionamento del materiale.

Parimenti, ci si potrà giovare di detto effetto per il contrasto definitivo dei fenomeni di convergenza conseguenti alla presenza di materiali rigonfianti o al contrasto di fenomeni di subsidenza in superficie.

In presenza di materiali fortemente spingenti o comunque rigonfianti infatti, la conformazione del fronte di scavo e in special modo la brevità del tratto non protetto dal rivestimento definitivo (unica soluzione di contrasto efficace) è in grado di ridurre drasticamente se non ad annullare detto serio inconveniente.

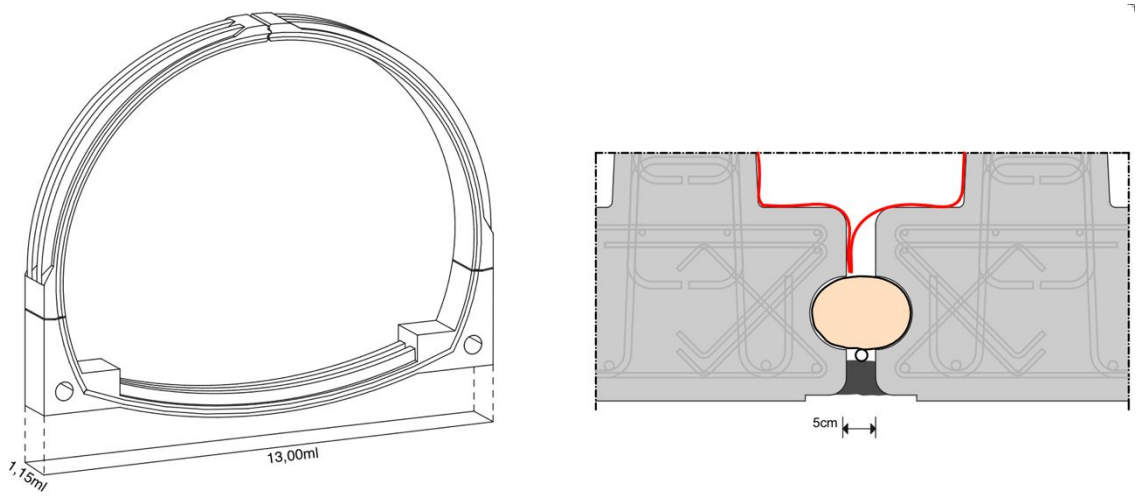
Anche nel caso in cui si fosse scelto a scopo cautelativo di realizzare un pre-rivestimento in centine e spritz, (che in genere da solo non è mai in grado di contrastare efficacemente il fenomeno) si può limitare di molto la lunghezza del tratto senza rivestimento definitivo, procedendo gradualmente al montaggio di singoli conci in avvicinamento al fronte e quindi riducendo il tratto recante solo il rivestimento di prima fase.

Da ultimo occorre evidenziare come anche nei casi in cui si dovesse verificare un minimo di convergenza, essa può essere facilmente assorbita dallo spazio lasciato in fase di scavo tra l'estradosso del concio in c.a. e intradosso dello scavo effettuato; vuoto predisposto per la successiva espansione delle sacche contenenti boiacca a rapido indurimento che hanno lo scopo di solidarizzare la parete di scavo con la superficie esterna del rivestimento stesso.

Considerazioni sulla possibilità di eseguire tratti in curva

Per gallerie oggi ordinariamente in esecuzione (sia per traffico su gomma che su ferro), la proiezione in pianta di un concio prefabbricato di rivestimento è costituita da un rettangolo di circa mt 13 di larghezza, per una profondità definita dal concio stesso di 1,15 mt.

La giunzione tra un concio e il successivo, come rappresentata nella figura 9, occupa una larghezza nei tratti rettilinei pari a cm 5; in detto spessore si eseguirà la giunzione dei teli in pvc, l'espansione delle manichette mediante iniezione di boiacca (bullflex) e la sigillatura del giunto medesimo mediante silicone; se lo si riterrà opportuno, si potrà predisporre prima della sigillatura, un piccolo tubo drenante di sicurezza contro eventuali minime infiltrazioni.

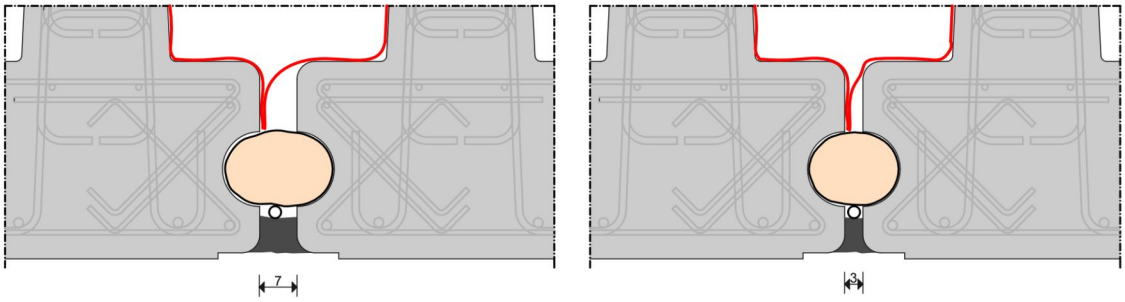


Proiezione orizzontale del concio *Giunto in rettilineo*

Figura 9

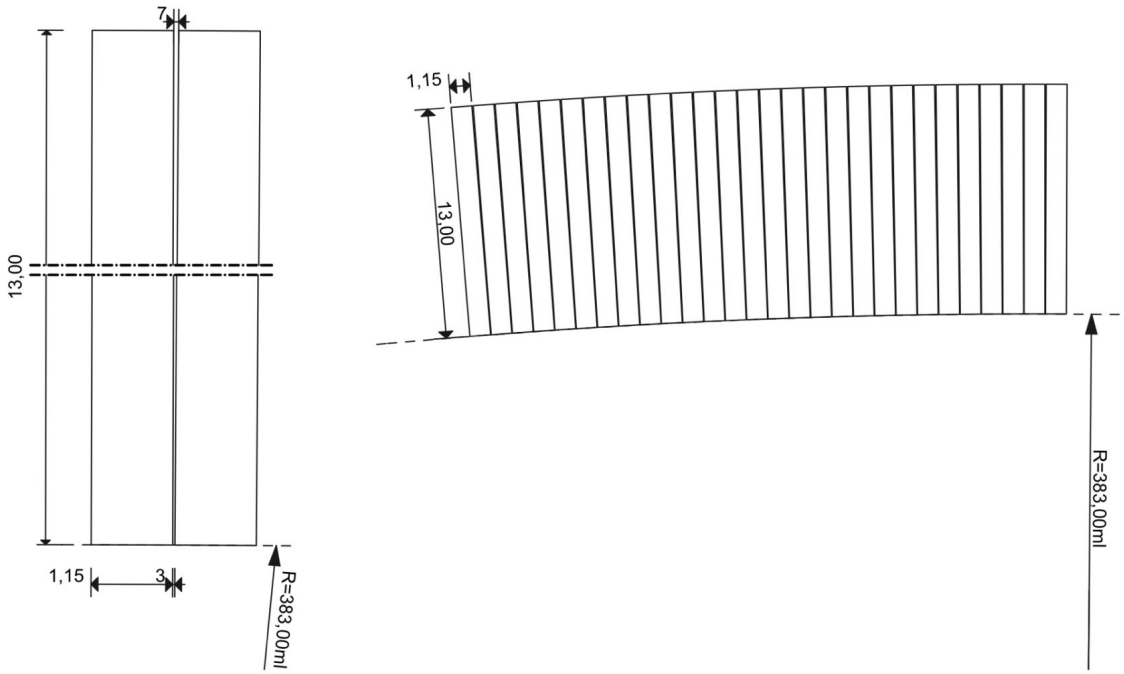
Detta dimensione ordinaria del giunto (cmt 5), per i tratti in curva potrà essere variata in più o in meno di circa 2 cmt così da avere una dimensione minima dello stesso di cmt 3 nel lato interno della curva, ed una massima di cm 7 in quello esterno (vedasi figura 10).

Ciò porta ad ottenere un raggio di curvatura interno di mt 383 che risulta inferiore a quello minimo richiesto dalla pratica costruttiva corrente (vedasi figura 11).



Giunto per i tratti in curva

Figura 10



Raggio minimo

Figura 11

Considerazioni sui vantaggi della soluzione prefabbricata rispetto alla tradizionale

TEMPI

Dal punto di vista dei tempi, i vantaggi sono evidenti in quanto la soluzione prefabbricata consente quanto meno l'eliminazione delle fasi afferenti alla esecuzione dell'arco rovescio, a quella delle murette e del rivestimento definitivo, mentre i tempi per l'esecuzione dello scavo restano identici e quelli del rivestimento di prima fase (gallerie naturali) equivalgono a quelli per la posa del concio prefabbricato.

Occorre inoltre considerare che, per le gallerie naturali, l'avere sempre al fronte di scavo l'influenza positiva e stabilizzante del rivestimento definitivo condurrà alla sensibile riduzione degli interventi di stabilizzazione del fronte (infilaggi in vtr e ombrello di micropali in calotta).

La assenza di getti integrativi in opera, oltre ad eliminare i tempi morti di maturazione, offre, in caso di gallerie artificiali molto lunghe, il vantaggio di poter eseguire lo scavo preliminare e il successivo rinterro per tratti relativamente corti, senza dove provvedere all'accumulo temporaneo di notevoli quantità di materiale.

Da ultimo occorre evidenziare che il sistema di prefabbricazione in argomento, prevedendo anche l'esecuzione dei terminali "a becco di flauto", abbatte notevolmente i tempi anche per tali tratti.

COSTI

La riduzione dei tempi di esecuzione di un'opera, ovviamente, consente l'abbattimento dei costi fissi dell'intero cantiere.

Occorre inoltre considerare che l'utilizzo di elementi prefabbricati consente l'impiego di calcestruzzo di miglior qualità e resistenza e di conseguenza un risparmio di materiali impiegati.

Quale ulteriore vantaggio del sistema a conci prefabbricato vi è da evidenziare, come accennato in precedenza, la riduzione dei tempi di esecuzione della galleria anche nei tratti in cui si verificano fenomeni di convergenza anche vistosi in quanto la sicurezza e l'efficacia del contrasto che è possibile porre in essere con la massima rapidità, fa si che si possano evitare la lunga serie di interventi che tradizionalmente occorre mettere in campo per far si che non si arrivi al collasso del rivestimento di prima fase.

Risparmio di tempi, ma anche risparmio economico in quanto si accorciano i tempi di esecuzione anche dei tratti "difficili", e si risparmiano anche l'esecuzione di costosi presidi (chiodature, tirantature e/o micropali sub orizzontali, rinforzo delle centine, contrasti al piede ecc.).