

DALL’AMPLIAMENTO IN SEDE DELLA GALLERIA NAZZANO ALL’AMPLIAMENTO IN SEDE DELLA GALLERIA MONTEDOMINI: L’EVOLUZIONE DELLA SPECIE

Antonino Galatà SPEA Ingegneria Europea S.p.A.- Amministratore Delegato

Giuseppe Lunardi ROCKSOIL S.p.A – Amministratore Delegato

Andrea Belfiore ROCKSOIL SPA in distacco presso SPEA Ingegneria Europea S.p.A.

Direttore dei Lavori del Lotto 5 dell’Ampliamento dell’A14 tra Rimini Nord e Porto Sant’Elpidio

Francesco Palchetti GHELLA SpA – Direzione Tecnica

1. Introduzione

Negli ultimi 15 anni Autostrade per l’Italia nell’ambito dei lavori di allargamento da 2 a 3 corsie del tratto autostradale Orte-Fiano dell’Autostrada A1 e del tratto autostradale Rimini- Porto Sant’Elpidio dell’A14 ha commissionato, sulla base di un’idea del Prof. Pietro Lunardi, per la prima volta al mondo l’ampliamento in sede senza interrompere il traffico di due gallerie, la Galleria Nazzano, le cui due carreggiate sono state ampliate tra il 2004 ed il 2007, e la Galleria Montedomini, la cui carreggiata Nord è stata ampliata tra il settembre 2013 ed il Maggio 2014.

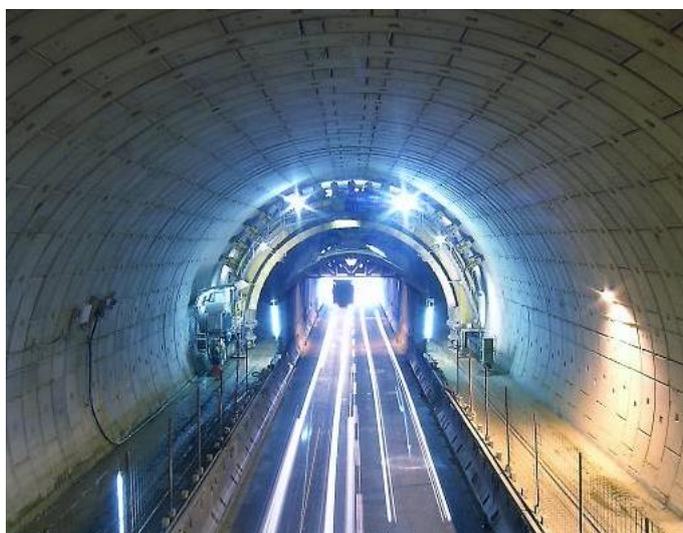


figura 1 Ampliamento di gallerie in presenza di traffico

Dopo aver descritto gli aspetti generali del metodo di Ampliamento in sede, vengono illustrati sinteticamente i lavori della Galleria Nazzano e successivamente quelli della Galleria Montedomini al fine di poter esperire un confronto tra le modalità esecutive delle due gallerie.

Dal confronto delle modalità esecutive e dei conseguenti dati di produzione si comprende come nel corso dell’ampliamento della Galleria Montedomini siano state risolte la globalità delle criticità emerse durante i lavori di ampliamento della Galleria Nazzano.

Questo processo virtuoso di superamento delle problematiche riscontrate nel corso della prima esperienza mondiale di ampliamento di una galleria in presenza di traffico ha consolidato l’affidabilità di tale tecnica ed ha altresì permesso di conseguire dati di produzione del tutto comparabili a quelli di gallerie eseguite o ampliate in assenza di traffico.

2. Aspetti Generali dell’Ampliamento in sede

Al fine di realizzare un ampliamento in sede in continuità di esercizio è necessario risolvere due criticità essenziali ovvero:

- individuare un apprestamento finalizzato a garantire la totale sicurezza per gli utenti che transitano attraverso il cantiere durante i lavori

- Individuare contestualmente, un sistema costruttivo che consenta di eseguire le lavorazioni necessarie per il completamento dell'opera in spazi molto ridotti in quanto la galleria esistente è ancora dedicata alla circolazione stradale.

La totale garanzia per la sicurezza degli utenti viene conseguita installando una specifica protezione che separi fisicamente le aree di lavoro a tergo dalle aree della galleria destinate alla circolazione, denominata "scudo di protezione del traffico".

Il sistema costruttivo derivante dalla presenza dello scudo di protezione si fonda sull'utilizzo di specifiche macchine appositamente progettate che lavorano al di sopra dello scudo di protezione del traffico, il tutto secondo un ciclo di lavoro standard che permette in definitiva di industrializzare il processo produttivo.

2.1. La separazione e protezione degli utenti

Lo scudo di protezione del traffico deve rispondere ai seguenti requisiti:

- ♣ resistenza agli urti del materiale scavato o proveniente da malaugurati crolli, il quale cadendo va a gravare sulla protezione medesima;
- ♣ dimensioni tali da essere compatibile con il transito dei veicoli all'interno e con le dimensioni delle galleria da ampliare, permettendo comunque il transito del numero minimo di flussi veicolari già presenti prima ancora dell'ampliamento;
- ♣ resistenza ai potenziali urti dei veicoli in transito.



figura 2 – Scudo di protezione del traffico in Acciaio

In generale, un tale scudo può essere metallico (v.figura 2), di lunghezza inferiore alla galleria, semovente e continuamente posizionato a cavallo del fronte di scavo, oppure in calcestruzzo armato (v. figura 3), di lunghezza superiore a quella della galleria e fisso. Lo scudo deve consentire il transito in sicurezza di due corsie ridotte almeno da 3,2 m ciascuna per un'altezza minima di 4,5 m.

2.2. Le tecnologie esecutive compatibili con il lay-out del cantiere

La presenza dello scudo di protezione del traffico altera sensibilmente gli spazi di lavoro per l'ampliamento della galleria e condiziona in modo significativo le scelte costruttive in quanto la parte centrale del fronte di scavo è destinata alla circolazione autostradale. Pertanto si sono individuate due tecnologie per l'esecuzione del prerinvolto del cavo – Pretaglio Meccanico- e del rivestimento definitivo – Volta Attiva - che fossero adattabili al lay-out di cantiere determinato dalla presenza dello scudo di protezione del traffico. Viceversa la fase di scavo di avanzamento e di demolizione della galleria esistente può essere condotta per mezzo di normali attrezzature che abbiano però la capacità di operare in spazi ridotti, stretti ed alti.

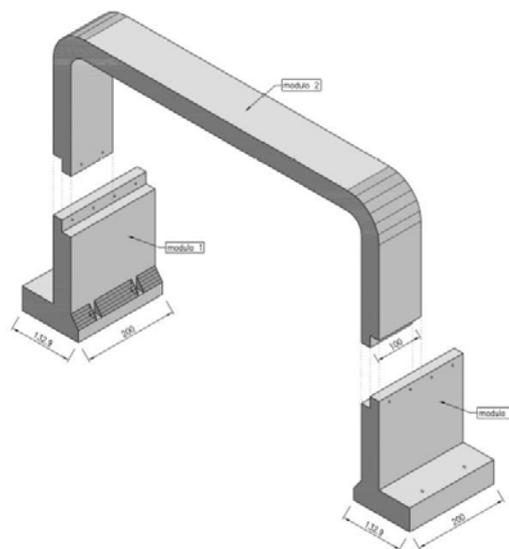


figura 3 – Singolo Modulo dello Scudo di protezione del traffico in C.A.

2.2.1. Il pretaglio

La tecnologia di realizzazione del prerivestimento del cavo adottata è quella del Pretaglio Meccanico che consiste nell'esecuzione sul fronte di scavo in avanzamento lungo il profilo di estradosso della galleria, di un'incisione troncoconica di lunghezza e di spessore opportuno (di norma variabile tra 4 e 6 m di lunghezza e tra 25 e 50 cm di spessore), da intasare mediante calcestruzzo fibrorinforzato al fine di realizzare un guscio di forma troncoconica al di sotto del quale avverrà lo scavo in avanzamento. Le fasi di taglio e di intasamento si alternano per campioni di ampiezza trasversale variabile da 1 a 3 m in funzione delle caratteristiche meccaniche del terreno.

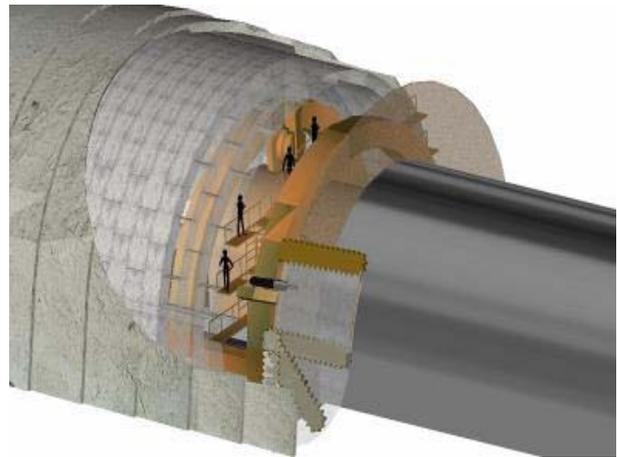


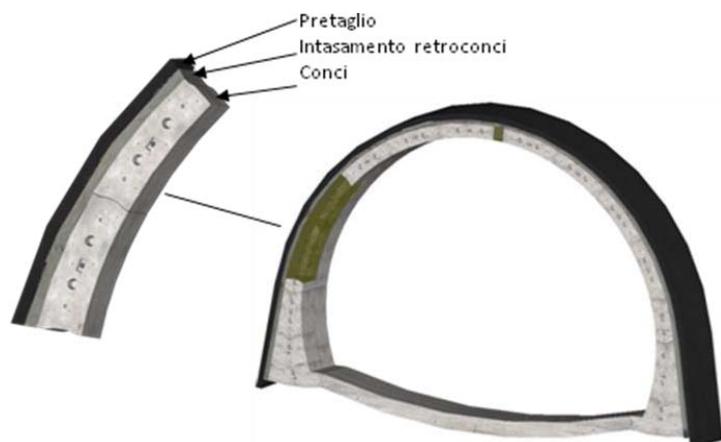
figura 4 – Esecuzione del Pretaglio Meccanico

Atteso che il pretaglio deve seguire il profilo di estradosso dello scavo, lo stesso viene realizzato per mezzo di una attrezzatura che si muove al disopra dello scudo e che quindi non necessita dello spazio occupato dallo scudo e dalla sottostante sede stradale per operare.

2.2.2. La volta attiva

La Volta Attiva è una tecnologia esecutiva del rivestimento definitivo e consiste nell'assemblaggio, al di sotto dell'intradosso del pretaglio, di un arco di conci prefabbricati di ampiezza e peso variabile separati nella zona di calotta da giunti a "ginocchio" e nella zona di piedritto da giunti a chiave di taglio.

Lo spazio tra il pretaglio e l'estradosso viene intasato da un calcestruzzo assimilabile a spritz-beton non fibrorinforzato mentre l'arco è reso immediatamente portante attraverso l'azione di un martinetto piatto, inserito nel concio di chiave, con cui viene applicata artificialmente all'arco la sollecitazione di compressione assiale necessaria a renderlo autoportante. Un secondo martinetto, alloggiato sempre nel concio di chiave e contrapposto al primo, viene attivato successivamente all'esecuzione dell'arco rovescio con la finalità di centraggio dei carichi a lungo termine.



Con la volta attiva il rivestimento definitivo viene installato a

figura 5 – Volta Attiva

ridottissime distanze dal fronte di scavo e tale circostanza costituisce uno dei principali elementi qualificanti la metodologia di ampliamento così come il conseguente lay-out di cantiere.

Infine, il montaggio dei conci prefabbricati avviene per mezzo di una macchina che può anche condividere la struttura portante con quella di pretaglio e che sostiene i conci fintanto che non viene completata la posa in opera dell'arco fino alla prima compressione. Anche questa fase può essere svolta senza particolari difficoltà operando al di sopra dello scudo e quindi in modo compatibile con il peculiare lay-out di cantiere di un ampliamento in sede.

2.2.3. Le Attrezzature Operatrici

Il pretaglio e la volta attiva possono essere realizzati per mezzo di un'unica macchina operatrice, denominata in questo caso "Attrezzatura Multifunzione" e costituita da una robusta struttura metallica a doppio arco, oppure per mezzo di due macchine distinte e separate una per l'esecuzione del pretaglio "Macchina del Pretaglio" ed una per la posa in opera dei conci di V.A. "Macchina Posa Conci".

In ogni caso le macchine operatrici dedicate all'esecuzione del Pretaglio e della Volta Attiva o di entrambe le operazioni, si basano sul principio di avere una struttura portante metallica ad arco che non interferisce con il sottostante scudo di protezione sulla quale sono montati l'utensile di taglio, l'erettore, il sistema di intasamento, i motori e gli impianti.

2.2.4. L'industrializzazione delle lavorazioni : il ciclo di avanzamento

Il metodo di ampliamento in presenza di traffico si basa sulla successione di più fasi di lavoro che ripetute secondo un preciso ordine determinano il ciclo industriale di avanzamento.

L'effettivo sviluppo del ciclo di avanzamento è condizionato dalla scelta di un'unica attrezzatura multifunzione o di attrezzature disgiunte.

Convenzionalmente un modulo di avanzamento è costituito dall'esecuzione di un singolo guscio di pretaglio, dallo scavo di ampliamento e demolizione della galleria esistente al di sopra dello scudo e dal montaggio del rivestimento definitivo a breve distanza dal fronte per un'ampiezza longitudinale pari a quella scavata al di sotto del singolo guscio di pretaglio.

Il ciclo è poi completato da lavorazioni accessorie quali la realizzazione dell'impermeabilizzazione, del sottofondo di allettamento/regolarizzazione degli archi della volta attiva così come la posa dei binari di scorrimento delle macchine.

Normalmente il ciclo di avanzamento ha un'ampiezza di 4 ml e la distanza tra il fronte di scavo e l'ultimo arco di conci montato è variabile intorno alla misura di 5 m in funzione dello sviluppo delle singole sottofasi.

La realizzazione dell'arco rovescio completa l'esecuzione del rivestimento della galleria e viene previsto una volta completato l'ampliamento della volta della galleria perchè l'esecuzione dell'arco rovescio è certamente interferente con la sede stradale. Solo una volta ultimato l'ampliamento di una o di entrambe le carreggiate è possibile realizzare tale apprestamento senza ridurre il livello di servizio dell'infrastruttura.

3. L'Ampliamento in sede della Galleria Nazzano



figura 6 – Galleria Nazzano: localizzazione geografica

3.1. Caratteristiche Generali dell'Opera

La galleria Nazzano è a due fornici adiacenti, di lunghezza pari a 337 m ed è ubicata lungo l'autostrada A1 Milano- Napoli a circa 40 Km da Roma . Il Committente dell'ampliamento è stata ASPI - Autostrade per l'Italia Spa, il Progetto e la Direzione Lavori sono state affidati a ROCKSOIL Spa mentre l'Appaltatore è stata l'Impresa COSSI Costruzioni Spa. L'ampliamento è stato realizzato tra il 2004 ed il 2007.

Il T.G.M. in periodo di esodo raggiunge punte di 40.000 Veicoli/g

La galleria ampliata, che ha un raggio interno di circa 9,50 m ospita oggi 4 corsie, tre di marcia ed una di emergenza. Il tracciato della galleria è rettilineo

La sezione tipo adottata per l'ampliamento prevede (figura 7):

- Pretaglio di forma troncoconica, dello spessore di 0,30m, profondità 5.50m e sviluppo 37m ed una cubatura totale di circa 70m³, con una sovrapposizione di 1,5 m tra gusci consecutivi.
- Volta Attiva, realizzata con n°19 conci prefabbricati del peso variabile da 1 a 7 ton, dello spessore in chiave di 0,60m ed alla base dei due conci di piedritto di larghezza 2,40m ed uno sviluppo in avanzamento pari ad 1m. L'impermeabilizzazione era garantita da guarnizioni in neoprene.

La sezione di scavo, per effetto del passaggio di una galleria da due corsie ad una che ne prevede tre e la corsia di emergenza ha determinato un'area di scavo di ampliamento comprensiva di arco rovescio ma esclusa la galleria esistente pari a ca. 160 mq.

Infine, il terreno attraversato dalla galleria Nazzano è costituito da sabbie gialle limose di origine marina. Le coperture variano da pochi metri presso gli imbocchi fino ad un massimo di 45 m. La falda è localizzata, al netto delle oscillazioni stagionali, in corrispondenza del piedritto della galleria.

Dal punto di vista geotecnico la formazione sabbiosa principale si caratterizzava per valori dell'angolo di attrito superiori ai 30° con valori massimi di 37-38° e per una coesione di 0.02 Mpa, da correlare alla presenza della frazione limosa. Ove la coesione era insufficiente a garantire la tenuta del pretaglio è stato realizzato un intervento di consolidamento del terreno, eseguito dalla galleria esistente in assenza di traffico nelle ore notturne ed in anticipo rispetto alle attività d'avanzamento, mediante iniezioni "selettive e ripetute" (IRS) di miscele cementizie e chimica ad alta penetrabilità.

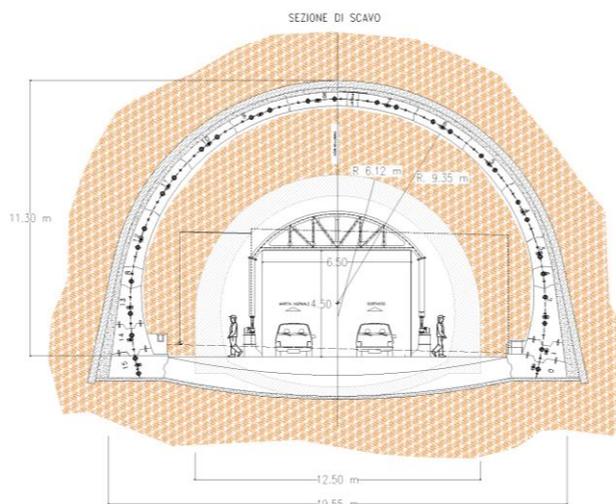


figura 7 – Galleria Nazzano: Sezione Tipo

3.2. Lo scudo di protezione

In figura 8 è riportata un'immagine dello scudo di protezione utilizzato per l'ampliamento della galleria Nazzano, di tipo metallico e semovente su elementi prefabbricati in calcestruzzo armato dotati lato traffico di uno specifico profilo analogo a quello delle barriere di sicurezza tipo "new-jersey".

Lo scudo è lungo 60 m di cui 20 m sono rinforzati all'interno e sono posizionati a metà del medesimo in corrispondenza del fronte di scavo. All'avanzare del fronte di scavo lo scudo viene traslato per mezzo di idonei pistoni in modo da garantire la predetta corrispondenza tra i moduli rinforzati ed il fronte di scavo.

Il passaggio del materiale proveniente dagli scavi e dei conci della volta attiva dal lato spartitraffico al lato cantiere è garantito da un carro-ponte posto in corrispondenza di un imbocco della galleria. La logistica del cantiere (approvvigionamenti, posizionamento mezzi), è sostanzialmente gestita da un solo lato ovvero quello opposto alla carreggiata adiacente, ove è situato il piazzale di cantiere di accesso alle aree di lavoro.



figura 8 – Galleria Nazzano: Scudo di protezione del traffico in Acciaio

3.3. Il ciclo di avanzamento e l'organizzazione del cantiere

Il ciclo di avanzamento implementato alla Galleria Nazzano prevede la seguente successione delle fasi operative così come riportate in figura 9 e nella Tabella 1 di seguito esposta unitamente al parametro distanza fronte - rivestimento definitivo alla fine della fase di riferimento. Il ciclo di avanzamento ha un'ampiezza di 4 ml. La distanza tra il fronte di scavo e l'ultimo arco di conci montato varia da un massimo di 6,50 m dopo aver realizzato lo scavo di 2 m ad un minimo di 4,5 m in fase di esecuzione del pretaglio e dopo aver posato due archi di conci consecutivi da 1 m di ampiezza.

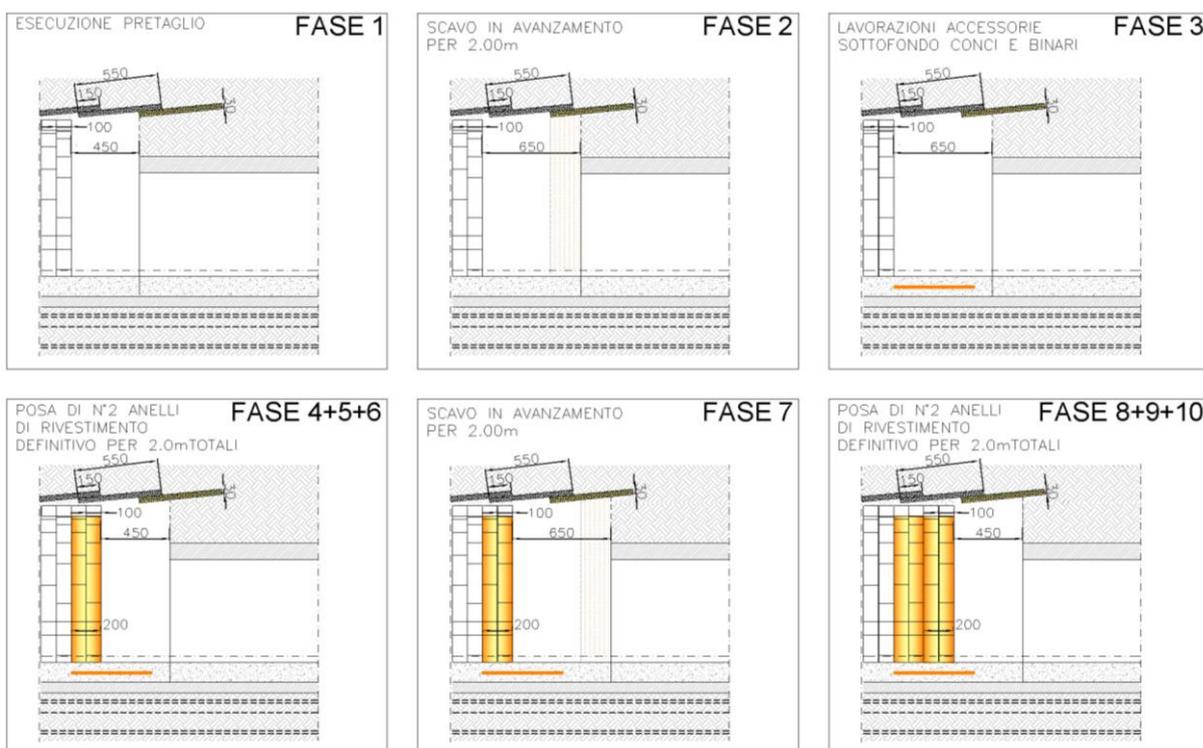


figura 9 – Galleria Nazzano: ciclo industriale delle lavorazioni

FASE	DESCRIZIONE DELLA FASE	DISTANZA	FRONTE- RIVESTIMENTO
1	<i>esecuzione guscio di pretaglio "n"</i>		4,50 m
2	<i>scavo e demolizione galleria esistente per 2 ml ed esecuzione spritz beton al fronte di scavo</i>		6,50 m
3	<i>esecuzione di lavorazioni accessorie, ovvero sottofondo conci e posa in opera binari traslazione macchina</i>		6,50 m
4	<i>posa conci di piedritto Volta Attiva archi A+B</i>		
5	<i>posa conci di calotta Volta Attiva arco A, realizzazione intasamento retroconci e compressione concio di chiave</i>		4,50 m
6	<i>posa conci di calotta Volta Attiva arco B, realizzazione intasamento retroconci e compressione concio di chiave</i>		
7	<i>scavo e demolizione galleria preesistente per 2 ml ed esecuzione spritz beton al fronte di scavo</i>		6,50 m
8	<i>posa conci di piedritto Volta Attiva archi C+D</i>		
9	<i>posa conci di calotta Volta Attiva arco C, realizzazione intasamento retroconci e compressione concio di chiave</i>		4,50 m
10	<i>posa conci di calotta Volta Attiva arco D, realizzazione intasamento retroconci e compressione concio di chiave</i>		

Tabella 1 – Galleria Nazzano: sequenza delle fasi di scavo ed avanzamento

3.3.1. Le Attrezzature Operatrici

Le fasi di pretaglio e di volta attiva sono state realizzate per mezzo di un'unica macchina operatrice denominata Attrezzatura Multifunzione costituita da una robusta struttura metallica a doppio arco.

Sul primo arco è montato un carrello che porta l'utensile lama dotato di catena con "denti" opportunamente sagomati per disgregare il terreno e per estrarlo dall'incisione e che porta anche il sistema di intasamento, in adiacenza al gruppo lama.

Sull'arco posteriore, progettato e dimensionato per la posa in opera dei conci, scorre un carrello dotato di "erettore", in grado di "agganciare" i conci e andarli a posizionare in opera. Prima che l'arco sia reso autoportante, i conci poggiano su speciali strutture telescopiche (mensole retraibili) ancorate all'arco e dotate di sensori che consentono di eseguire in sicurezza le diverse manovre.



figura 10 – Galleria Nazzano: Attrezzatura Multifunzione

Quando vengono eseguite le fasi di scavo di scavo, di sottofondo conci e di posa dei piedritti degli archi, la macchina è tralata dal fronte di lavoro alla posizione di riposo al di sopra di uno specifico scudo di traslazione che separa in fase di spostamento la macchina dal sottostante traffico. Una visuale della macchina e dello scudo di traslazione è riportata in figura 10.

3.3.2. I dati di produzione registrati

L'ampliamento in presenza di traffico di una galleria comporta necessariamente un *lay-out* di cantiere (vedi figura 11) caratterizzato da ridottissimi spazi operativi, tali da limitare fortemente in termini dimensionali le attrezzature utilizzabili, che devono comunque poter operare fino ad altezze considerevoli (circa 10 m).

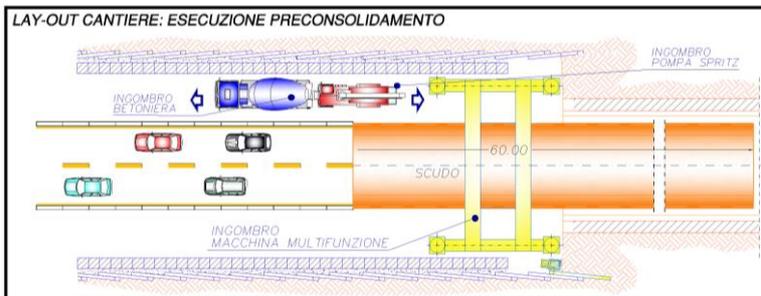


figura 11 – Galleria Nazzano: lay-out di cantiere (fase di pretaglio "n")

sulle massime produzioni conseguibili durante i lavori di ampliamento.

I valori delle velocità d'avanzamento medie ottenute nel corso dell'ampliamento sotto traffico dei due forni della galleria Nazzano oscillano tra 0.75 e 0.90 m/g rispettivamente per canna Nord e Sud, con picchi molto prossimi a 1 m/g (figura 12). I valori di durata media registrati per le principali fasi sono: 22 ore per il pretaglio, 28 ore per le fasi di scavo, 53 ore per le fasi di realizzazione della VA e 9 ore per le lavorazioni accessorie, per un totale di 112 ore, corrispondente ad una produzione media di 0,86m/gg. Al fine di meglio

caratterizzato da ridottissimi spazi operativi, tali da limitare fortemente in termini dimensionali le attrezzature utilizzabili, che devono comunque poter operare fino ad altezze considerevoli (circa 10 m).

Le suddette limitazioni hanno ovviamente dei fortissimi riflessi

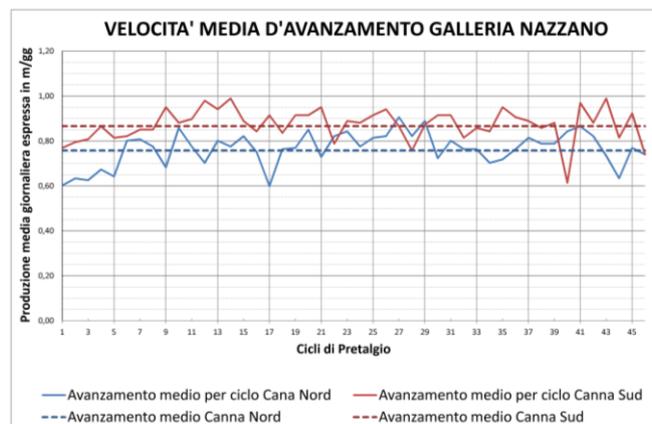


figura 12 – Galleria Nazzano: andamento velocità d'avanzamento

comprendere le potenzialità del sistema di ampliamento sono state condotte analisi relative all'incidenza di ciascuna fase del ciclo sui tempi globali di avanzamento.

Si è così individuato il "peso" di ciascuna fase sull'intero ciclo d'avanzamento e quindi sullo sviluppo della produzione.

Dalle analisi condotte è emerso che il 22% del tempo del ciclo è dedicato all'esecuzione del pretaglio, il 24,1% allo scavo in avanzamento, il 46,1% al montaggio del rivestimento definitivo ed il 7,8% alle lavorazioni accessorie.

4. L'Ampliamento in sede della Galleria Montedomini

Autostrade per l'Italia S.p.A., forte comunque dei positivi risultati raccolti nel corso dei lavori di ampliamento della Galleria Nazzano, ha deciso di utilizzare la medesima metodologia di ampliamento anche per allargare la galleria Montedomini, nell'ambito dei lavori di ammodernamento alla terza corsia più emergenza dell'Autostrada A14 Bologna-Taranto nel Lotto 5 ricompreso tra Ancona Nord ed Ancona Sud.

Per questo nuovo lavoro, il Progetto Definitivo e la Direzione Lavori sono stati affidati a SPEA INGEGNERIA EUROPEA Spa e a ROCKSOIL Spa, mentre la costruzione è stata affidata in Appalto Integrato all'Impresa GHELLA Spa che ha commissionato la progettazione e la realizzazione delle Macchine di Pretaglio e Volta Attiva al Gruppo PALMIERI S.p.a.



figura 13 – Galleria Montedomini: localizzazione geografica

4.1. Caratteristiche Generali dell'Opera

La Galleria Montedomini è a due fornici adiacenti, di lunghezza circa 280 m per carreggiata ed ubicata lungo l'Autostrada A14 Bologna-Taranto nei pressi di Ancona. La tecnica di ampliamento in sede in presenza di traffico è stata applicata solo per la carreggiata in direzione Nord a causa della vicinanza tra i fornici delle due gallerie esistenti per cui la canna Sud è stata realizzata con una lieve variante di tracciato. Tale circostanza, limitando ulteriormente le aree di cantiere al lato dello scudo, ha precluso la possibilità di allargamento in presenza di traffico.

Le quattro corsie, due per senso di marcia, sono comunque sempre garantite durante tutte le fasi di ampliamento delle due gallerie.

Il T.G.M. in periodo di esodo raggiunge punte di 25.000 Veicoli/g

Le gallerie ampliate, che hanno un raggio interno di 9,20m, prevedono il transito in configurazione definitiva, di tre corsie da 3.75 m + 1 corsia di emergenza da 3.00 m. Il tracciato prevede la presenza di una curva in corrispondenza di uno dei due imbocchi.

Il tratto di galleria che viene ampliato con il sistema pretaglio-volta attiva è pari a 217 ml. I tratti restanti in corrispondenza degli imbocchi verranno trasformati da

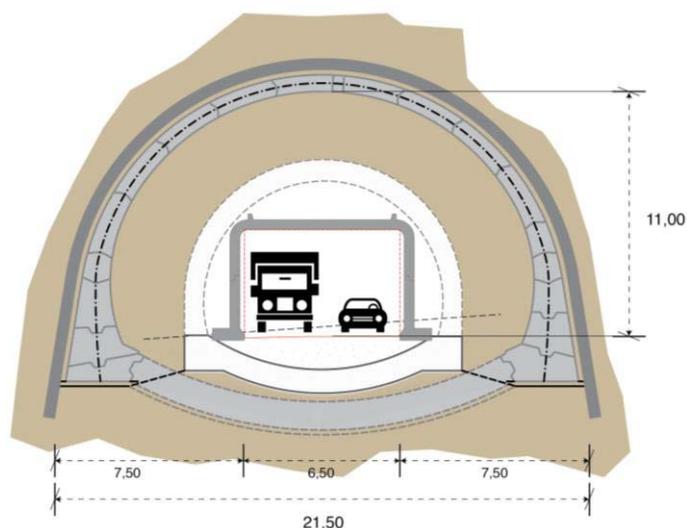


figura 14 – Galleria Montedomini: Sezione Tipo

galleria naturale a galleria artificiale.

La sezione tipo (figura 14) prevede:

- Pretaglio di forma troncoconica, dello spessore di 0,50m, profondità 6,00m e sviluppo 42m ed una cubatura totale di circa 130m³, con una sovrapposizione di 2 m tra gusci consecutivi
- Volta Attiva, realizzata con n°24 conci prefabbricati del peso variabile da 1 a 8,2 ton, dello spessore in chiave di 0,70m ed alla base dei due conci di piedritto di larghezza 2,70m ed uno sviluppo in avanzamento pari a 1,33m; l'impermeabilizzazione è garantita da un telo di PVC e di tessuto non tessuto opportunamente saldato e canalizzato.

La sezione di scavo, per effetto del passaggio di una galleria da due corsie ad una che ne prevede tre e la corsia di emergenza ha determinato un'area di scavo di ampliamento comprensiva di arco rovescio ma esclusa la galleria esistente pari a ca. 211 mq.

Infine il terreno attraversato dalla Galleria Montedomini è costituito da terreni argillosi sovra consolidati e molto consistenti. Le coperture variano da pochi m fino ad un massimo di 25 m

4.2. Lo scudo di protezione del traffico

In figura 15 è riportata un'immagine dello scudo di protezione utilizzato per l'ampliamento della galleria Montedomini, costituito da elementi prefabbricati in c.a., dotati lato traffico di uno specifico profilo analogo a quello delle barriere di sicurezza tipo "new-jersey".

Lo scudo è lungo 400m e sopra di esso viaggia in corrispondenza del fronte di scavo uno speciale calottino metallico rinforzato che all'avanzare del fronte di scavo viene traslato per mezzo di idonei



figura 15 – Galleria Montedomini: vista imbocco Nord dello scudo di protezione del traffico in C.A. e della rampa di scavalco autostradale

pistoncini in modo da garantire un adeguato grado di sicurezza nelle fasi di scavo della galleria. Lo scudo in calcestruzzo in corrispondenza dell'imbocco della galleria ha consentito l'eliminazione del carro-ponte che è sostituito da due idonee rampe, poste ai lati dello scudo medesimo, transitabili dai mezzi di cantiere e conseguentemente dai materiali da trasferire al fronte o dal fronte di scavo.

4.3. Il ciclo di avanzamento e l'organizzazione del cantiere

Il ciclo di avanzamento implementato alla Galleria Montedomini prevede la seguente successione delle fasi così come riportate in figura 16 e nella Tabella 2 di seguito esposte unitamente al parametro distanza fronte rivestimento definitivo alla fine della fase di riferimento.

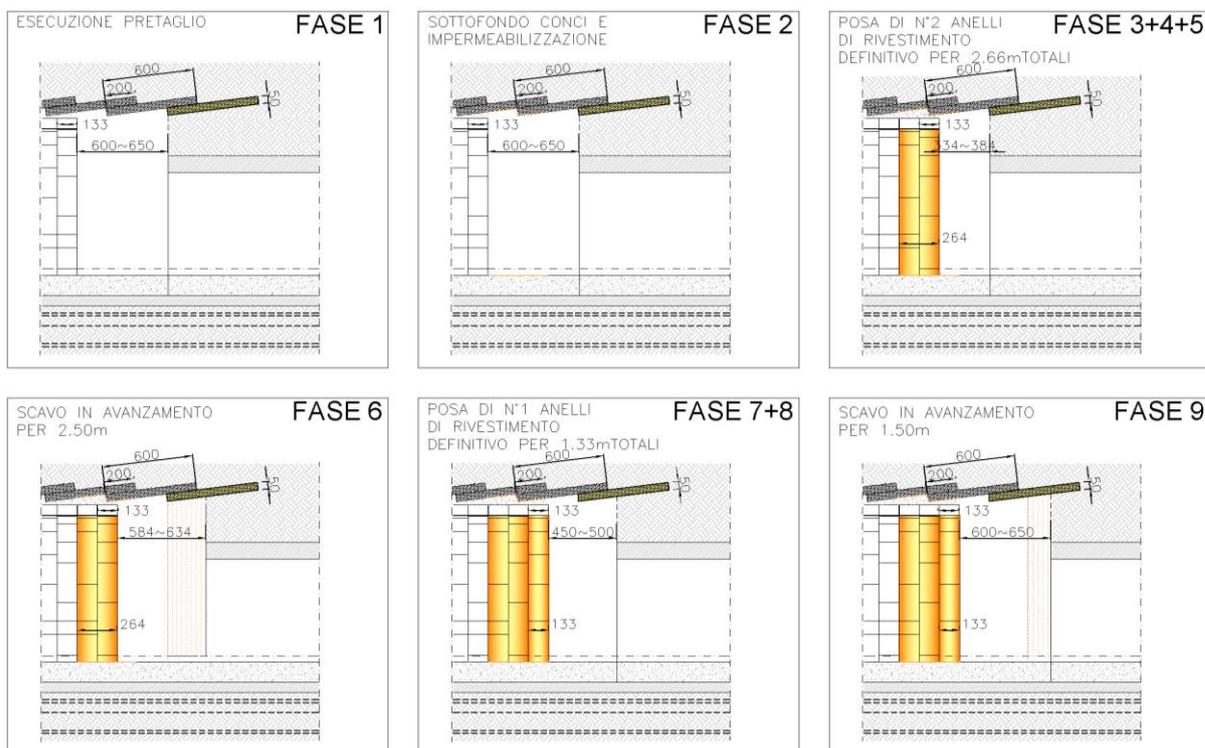


figura 16: Galleria Montedomini: ciclo industriale delle lavorazioni

FASE	DESCRIZIONE DELLA FASE	DISTANZA FRONTE-RIVESTIMENTO
1	<i>esecuzione guscio di pretaglio "n"</i>	<i>6,50 m</i>
2	<i>esecuzione di lavorazioni accessorie, ovvero impermeabilizzazione e sottofondo conci</i>	<i>6,50 m</i>
3	<i>posa conci di piedritto Volta Attiva archi A+B</i>	
4	<i>posa conci di calotta Volta Attiva arco A, realizzazione intasamento retroconci e compressione concio di chiave</i>	<i>3,83 m</i>
5	<i>posa conci di calotta Volta Attiva arco B, realizzazione intasamento retroconci e compressione concio di chiave</i>	
6	<i>scavo e demolizione galleria preesistente per 2,5 ml ed esecuzione spritz beton al fronte di scavo</i>	<i>5,83 m</i>
7	<i>posa conci di piedritto arco C</i>	
8	<i>posa conci di calotta Volta Attiva arco c, realizzazione intasamento retroconci e compressione concio di chiave</i>	<i>4,50 m</i>
9	<i>scavo e demolizione galleria preesistente per 1,5 ml ed esecuzione spritz beton al fronte di scavo</i>	<i>6,50 m</i>

Tabella 2 – Galleria Montedomini: sequenza delle fasi di scavo ed avanzamento

Il ciclo di avanzamento mantiene un ampiezza di 4 ml. La distanza tra il fronte di scavo e l'ultimo arco di conci montato varia da un massimo di 6,50 m dopo aver realizzato lo scavo di 4 m ad un minimo di 3,83 m al termine della fase di montaggio di due archi di conci.

4.3.1. Le Attrezzature Operatrici

L'ampliamento in sede della Galleria Montedomini viene realizzato per mezzo di 2 Attrezzature Distinte, una dedicata esclusivamente all'esecuzione del Pretaglio ed una esclusivamente all'esecuzione della Volta Attiva (vedi figura 17).

I principali componenti della macchina Pretaglio sono i seguenti:

1. Gruppo di taglio
2. Arco anteriore supporto carrello con piedritti sollevabili al fine di agevolare lo smarino del materiale di risulta del taglio
3. Arco posteriore supporto ausiliari
4. Telai di base dx e sx
5. Piattaforme di lavoro e Cabine di Guida
6. Braccio spritz per l'intasamento

I principali componenti della macchina Posa Conci sono i seguenti:

1. Braccio erettore
2. Piattaforma mobile
3. Arco anteriore e posteriore
4. Mensole
5. Telai di base dx e sx



figura 17 – Galleria Montedomini: la Macchina del Pretaglio e la Macchina Posaconci

5. Il confronto tra la Galleria Montedomini e la Galleria Nazzano

5.1. Le ottimizzazioni in fase di progetto.

Sulla base dell'esperienza di Nazzano sono state apportate alcune modifiche alle modalità di esecuzione dell'opera.

Le principali criticità evidenziate nel corso dei lavori di ampliamento della galleria Nazzano, riguardavano :

- La suddivisione della zona di cantiere in due parti distinte, separate dall'Autostrada A1 e difficilmente raggiungibili che rendeva particolarmente complessa, se non rischiosa, ogni operazione dal lato spartitraffico.
- La limitata potenza dell'attrezzatura multifunzione correlata alla circostanza che una sola attrezzatura doveva svolgere due operazioni molto complesse ed esigenti in termini di potenza assorbita con spazi disponibili molto ridotti.
- La significativa incidenza della fase di esecuzione del rivestimento definitivo che "occupava" circa il 50% della durata del ciclo di avanzamento.

- La presenza delle guarnizioni in neoprene che impedivano il corretto accostamento dei conci rendendo necessari continui aggiustamenti di posizione nella fase di posa degli stessi.

Dopo aver condiviso con l'Appaltatore Progettista i contenuti dell'esperienza maturata a Nazzano, già in fase di progettazione lo stesso ipotizzava soluzioni finalizzate a risolvere le criticità prima evidenziate.

5.1.1. Lo scudo di protezione del traffico



figura 19 – Galleria Montedomini: la copertura dello scudo in c.a. come area di cantiere

La prima soluzione individuata riguardava l'adozione di uno scudo fisso in cls armato di lunghezza maggiore di quella del tunnel, che consentisse il superamento della separazione del cantiere determinata dalla presenza dell'autostrada con le positive conseguenze sulla salubrità e rischiosità delle aree di lavoro. L'adozione di una protezione di 400 m di lunghezza con le opportune rampe di collegamento dei due lati dell'autostrada ha determinato una sostanziale "normalizzazione" dell'area di cantiere e della conseguente logistica. Con questa

variazione lo scudo di protezione è diventato una vera e propria area di cantiere sulla quale vengono trasportati i conci di calotta dall'esterno alla macchina e sulla quale viene trasportato il calcestruzzo di intasamento del pretaglio e del retroconci mediante un sistema di tubazioni e pompa ivi alloggiate.

D'altra parte un tunnel a gabarit ridotto ha costituito un punto singolare per la gestione del traffico in transito. Per la sicurezza dei veicoli sono stati installati sistemi automatici antincendio dimensionati sulla base della normativa applicata a gallerie di lunghezza maggiore di 500 m, imposti limiti di velocità ridotti controllati a mezzo sistema tutor e messo in opera un sistema di limitazione dei mezzi fuori sagoma che pur essendo "fuorilegge" avrebbero potuto urtare lo scudo fisso con imprevedibili conseguenze sui veicoli in transito e sulla pubblica incolumità.



figura 18 – Galleria Montedomini: portale di rilevamento automatico dei mezzi extrasagoma

5.1.2. Le attrezzature operatrici ed il ciclo di avanzamento

Al fine di risolvere la criticità inerente la limitata potenza della Macchina Multifunzione l'Appaltatore progettista si è determinato a scorporare la macchina multifunzione nelle due attrezzature distinte prima descritte.

Il principale vantaggio correlato allo scorporo delle funzionalità delle due macchine riguarda la possibilità di costruire Attrezzature più potenti e performanti in grado di realizzare un pretaglio più grande rispetto al caso della Galleria Nazzano o di porre in opera conci di maggiore peso. Le due macchine sono strutturate in modo che la Macchina Posa Conci possa traslare al di sopra della Macchina del Pretaglio sia andando verso il fronte di scavo che al ritorno verso la posizione di riposo a circa 30-40 m di distanza dal fronte. Risultano infine presenti anche vantaggi correlati alla gestione della manutenzione poiché aumentano i tempi di riposo delle attrezzature singole rispetto ai tempi di riposo della Attrezzatura Multifunzione ridotti in sostanza esclusivamente alle fasi di scavo.

Tenuto conto degli esiti delle analisi dei dati di produzione della Galleria Nazzano e della disponibilità di macchine più potenti è stato possibile procedere fin dalla fase di progetto alla riduzione del numero di archi necessari a realizzare 4 ml di rivestimento (riduzione da 4 archi da 1 ml di ampiezza a 3 archi da 1,33 m per ciclo), cercando in questo modo di ridurre la durata e l'incidenza della fase di posa rivestimento sulla durata globale del ciclo e quindi sulla produzione conseguita.

Infine la presenza dello scudo di protezione fisso e transitabile da mezzi d'opera determinava anche la possibilità di risolvere l'ultima criticità emersa nel corso dei lavori della Galleria Nazzano ovvero l'eliminazione delle guarnizioni in neoprene, potendo le maestranze raggiungere ogni punto dell'intradosso del pretaglio per porre in opera l'impermeabilizzazione di tipo tradizionale.

5.2. Le ottimizzazioni in corso d'opera del ciclo di avanzamento della Galleria Montedomini

La scelta di realizzare una specifica attrezzatura per ogni fase lavorativa rilevante (pretaglio e volta attiva) ha consentito un'ulteriore ottimizzazione dei tempi esecutivi basata sulla possibilità di ridurre ulteriormente la distanza tra il fronte di scavo ed il rivestimento alla fine della fase di posa del rivestimento definitivo. Se si analizza infatti la Tabella 3 e la figura 20 si evince come fosse possibile attese le caratteristiche della macchina posa-conci costruita senza parti sporgenti dalle mensole di sostegno, realizzare l'inversione delle fasi 7-8 con la 6 e l'accorpamento di quest'ultima con la fase 9 per dare corso ad un'unica fase di scavo da 4 ml di ampiezza ed ad unica fase di realizzazione dello spritz-beton di protezione del fronte a fine scavo. Infatti al termine della fase di posa conci si avrebbe avuto una distanza fronte –rivestimento ridotta a 2,5 ml con i conseguenti vantaggi in termini di

sicurezza dell'opera in fase esecutiva.

Dalle 10 fasi che costituivano il ciclo elementare di ampliamento della galleria Nazzano le successive ottimizzazioni hanno consentito di ridurre il numero di fasi prima a 9 e successivamente a 7 fasi con i conseguenti risparmi sia in ordine alle operazioni da eseguire (riduzione di lavorazioni quali ad esempio lo spritz-beton di protezione) sia alla riduzione degli spostamenti e piazzamenti della macchina posa conci con significativi benefici correlati alla continuità delle operazioni di realizzazione del rivestimento definitivo e dello scavo.

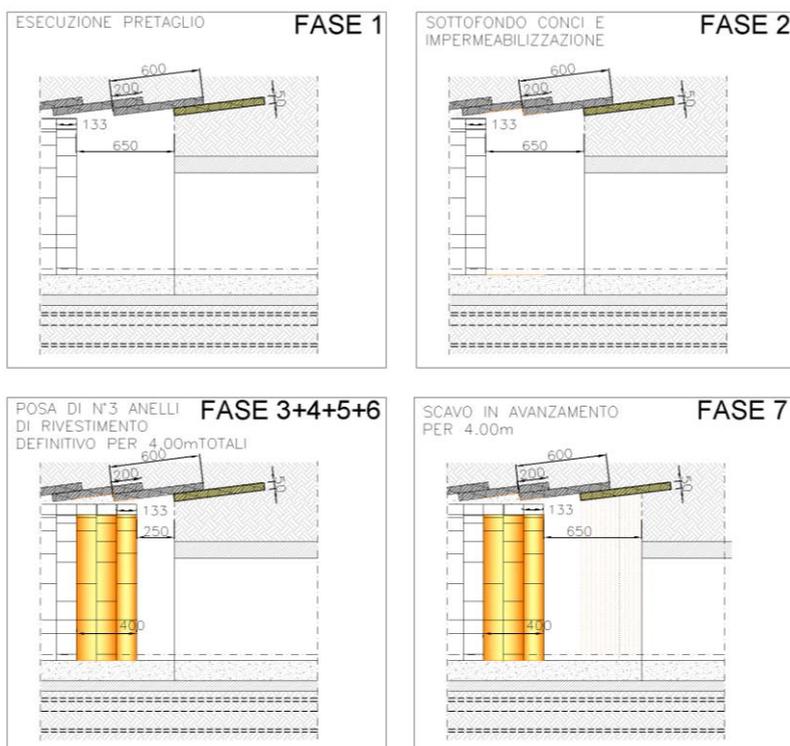


figura 20 – Galleria Montedomini: ciclo industriale d'avanzamento ottimizzato

FASE	DESCRIZIONE DELLA FASE	DISTANZA FRONTE-RIVESTIMENTO
1	<i>esecuzione guscio di pretaglio "n"</i>	<i>6,50 m</i>
2	<i>esecuzione di lavorazioni accessorie, ovvero impermeabilizzazione e sottofondo conci</i>	<i>6,50 m</i>
3	<i>posa conci di piedritto Volta Attiva archi A+B+C</i>	<i>2.50 m</i>
4	<i>posa conci di calotta Volta Attiva arco A, realizzazione intasamento retroconci e compressione concio di chiave</i>	
5	<i>posa conci di calotta Volta Attiva arco B, realizzazione intasamento retroconci e compressione concio di chiave</i>	
6	<i>posa conci di calotta Volta Attiva arco C, realizzazione intasamento retroconci e compressione concio di chiave</i>	
7	<i>scavo e demolizione galleria preesistente per 4 ml ed esecuzione spritz beton al fronte di scavo</i>	<i>6,50 m</i>

Tabella 3 – Galleria Montedomini: sequenza delle fasi secondo le ottimizzazioni apportate in corso d'opera

Sulla base delle ottimizzazioni messe in atto e ora descritte i valori delle velocità d'avanzamento medie ottenute nel corso dell'ampliamento sotto traffico del fornace Nord della galleria Montedomini sono stati prossimi ad 1,13 m/gg, con picchi superiori ad 1,30 m/g (figura 21). Tali valori medi sono deducibili dalla somma dei tempi medi di ciascuna delle sette fasi riportate nella precedente tabella. Nel dettaglio, si sono avute durate medie di 18 ore per il pretaglio, 22 ore per la fase di scavo, 35 ore per le fasi di realizzazione della VA e 11 ore per le lavorazioni accessorie, per un totale di 86 ore, ovvero una produzione media di 1.12 m/gg.

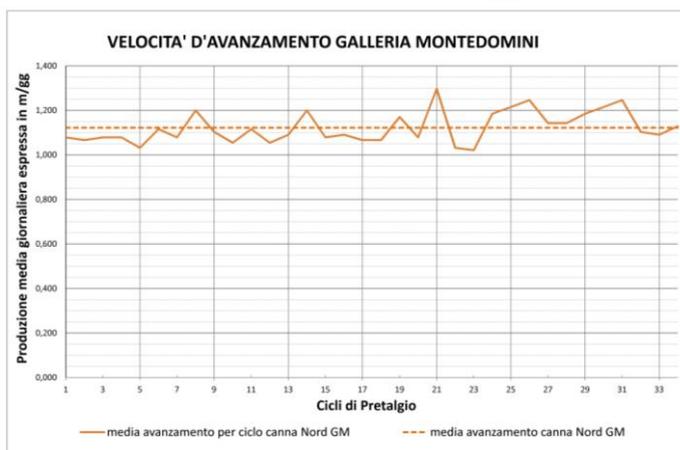


figura 21 – Galleria monte domini: andamento della produzione

Analisi analoghe a quelle già condotte per la galleria Nazzano relativamente all'incidenza di ciascuna fase del ciclo sui tempi globali di avanzamento, sono state eseguite anche per la galleria Montedomini.

Anche in questo caso si è individuato il "peso" di ciascuna fase sull'intero ciclo d'avanzamento e quindi sullo sviluppo della produzione.

Dalle analisi condotte è emerso che il 21% del tempo del ciclo è dedicato all'esecuzione del pretaglio, il 25% allo scavo in avanzamento, il 41% al montaggio del rivestimento definitivo ed il

13% alle lavorazioni accessorie.

L'obiettivo di ridurre l'incidenza della fase di realizzazione del rivestimento definitivo è stato comunque raggiunto.

Dal confronto di dettaglio tra le durate medie delle fasi omologhe riportato nella Tabella 4 si evince come l'incremento di produzione registrato, a distanza di circa 10 anni, presso la galleria Montedomini sia correlato ad i seguenti fattori

- le maggiori potenze delle due macchine disgiunte hanno consentito una maggiore velocità operativa delle singole fasi e lavorazioni
- i minori ingombri delle due macchine disgiunte hanno consentito di dare continuità alle singole lavorazioni (posa del rivestimento definitivo per 4m e scavo per campi da 4ml), riducendo tempi morti ed eliminando alcune lavorazioni (spritz beton al fronte per lo scavo intermedio)
- lo scudo di protezione fisso e transitabile ha consentito di trattare l'area di cantiere come tre sotto aree indipendenti (piedritto destro, parte centrale sopra lo scudo, piedritto sinistro) per

cui quando veniva ultimata una lavorazione in corrispondenza del piedritto destro poteva già essere avviata la successiva lavorazione del ciclo, mentre veniva proseguita la lavorazione in corrispondenza delle altre zone di cantiere con gli evidenti benefici di sovrapposizione delle lavorazioni condotte in modo indipendente senza creare particolari interferenze

LAY-OUT CANTIERE: REALIZZAZIONE DI LAVORAZIONI IN SIMULTANEA
SCAVO PER SOTTOFONDO CONCI DA UN LATO
POSA IN OPERA IMPERMEABILIZZAZIONE

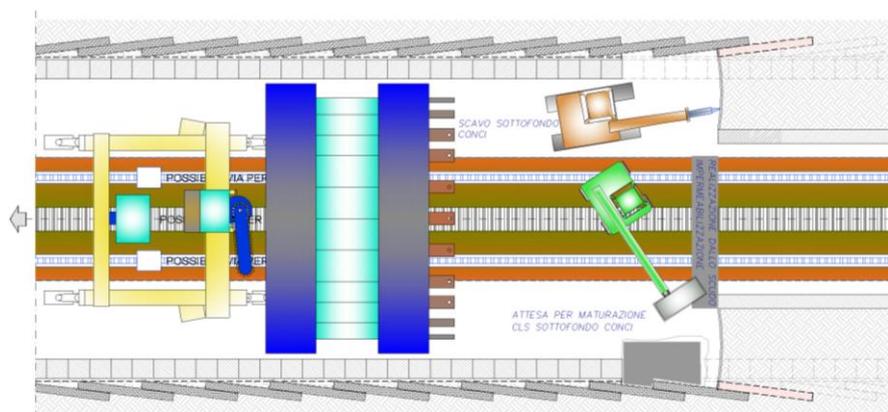


figura 22 – Galleria Montedomini: lay-out di cantiere fasi di realizzazione in contemporanea dell'impermeabilizzazione, lavorando da sopra lo scudo e del sottofondo conci lavorando dalle vie di accesso al fronte

<i>FASE DI LAVORO</i>	<i>GALLERIA NAZZANO</i>	<i>GALLERIA MONTEDOMINI</i>
	<i>DURATE MEDIE IN (h)</i>	
<i>Esecuzione Pretaglio</i>	22	18
<i>Lavorazioni Accessorie</i>	9	11
<i>Posa del Rivestimento definitivo</i>	53	35
<i>Scavo e demolizione galleria esistente</i>	28	22
Totale	112	86

Tabella 4 – Confronto delle durate fasi tra la Galleria Nazzano e la Galleria Montedomini

6. Conclusioni: Il futuro del sistema di ampliamento e le residue criticità da risolvere

La realizzazione della galleria Montedomini con valori di produzione molto simili a quelli di una galleria “normale” di pari dimensioni ha scritto una pagina importante nella evoluzione delle tecniche costruttive delle opere in sotterraneo.

Sulla base dei risultati conseguiti per l’ampliamento in sede della Montedomini sono stati abbattuti i limiti della metodologia di ampliamento in sede in termini di massima lunghezza delle gallerie “ampliabili” in continuità di traffico potendosi eseguire produttivamente i lavori da due imbocchi con due cantieri indipendenti in modo del tutto analogo a quello in uso per le gallerie di nuova esecuzione o in ampliamento senza traffico.

Sulla base dei risultati ottenuti il “metodo Montedomini” costituisce una ormai consolidata opzione per gli operatori del settore quando si deve valutare l’adattamento di un’infrastruttura all’eventuale incremento di traffico dovesse verificarsi nel corso della sua vita utile. Questa tecnologia può trovare il suo sviluppo naturale dove non esistono possibilità alternative di tracciato come nel caso di gallerie urbane o di gallerie stradali con sbocchi su viadotti o altre opere d’arte.

Se sul piano degli incrementi della produttività, l’andamento lavori della galleria Montedomini mostra che sono certamente possibili ulteriori sviluppi in senso positivo ma che la tecnica è ormai affidabile, resta da risolvere la gestione delle interferenze tra lo scudo fisso ed il sottostante traffico. La presenza di uno scudo fisso che, per una lunghezza maggiore di quella della galleria, elimini i franchi psicotecnici sui lati della sede stradale, determina una riduzione ulteriore del livello di servizio che potrebbe non essere compatibile con i volumi di traffico presenti su una infrastruttura di tipo

autostradale. Sarà quindi necessario in futuro preservare le vantaggiose funzionalità dello scudo fisso e lungo (normalizzazione dell'area di cantiere), da coniugare con un minore impatto sul livello di servizio dell'infrastruttura il cui mantenimento su condizioni analoghe a quelle preesistenti i lavori costituisce il principale vantaggio del metodo di Ampliamento in Sede. Peraltro il progresso tecnologico dimostrato dall'incremento di performances delle macchine utilizzate alla Galleria Montedomini rispetto alla macchina utilizzata alla Galleria Nazzano ci rende particolarmente ottimisti per la risoluzione delle residue criticità del "metodo Montedomini".

7. Ringraziamenti

Gli Autori desiderano ringraziare Pietro Lunardi dello Studio Lunardi, Gennarino Tozzi di Atlantia S.p.A., Alberto Selleri, Sergio Paglione e Giovanni Scotto Lavina di Autostrade per l'Italia Spa, Giandomenico Ghella, Roberto Trapasso e Roberto Alberati di Ghella Spa e Antonio Formichella di Rocksoil Spa per gli importantissimi contributi a diverso titolo forniti per la stesura di questo articolo, ma soprattutto per la realizzazione della galleria Montedomini.

8. Bibliografia

Lunardi P. 1999, Construction des stations de grandes portées pour métro, ETH-Tunnelbau-Symposium 99, Zurigo, 18 marzo 1999

Lunardi P. 1999, Construction des stations de grandes portées pour métro, ETH-Tunnelbau-Symposium 99, Zurigo, 18 marzo 1999
Lunardi P. 1999, Une methode de construction innovante pour elargir les tunnels routiers, autoroutiers et ferroviaires sans interrompre la circulation; son application au tunnel de Nazzano sur l'autoroute A1 Milan-Naples, Atti della Conferenza su "Instandsetzung von Tunneln" - Olten, 21 Ottobre 1999

Lunardi P. 2000, The construction of large-span stations for underground railways, Tunnel, n. 8 (dicembre), anno 2000

Lunardi P. et al. 2001 A new construction method for widening highway and railway tunnels, Atti del Congresso Internazionale su "Progress in Tunnelling after 2000", Milano, 10 ÷ 13 giugno 2001

Lunardi P. 2003, Un metodo costruttivo innovativo per allargare gallerie stradali, autostradali o ferroviarie senza interrompere il traffico: l'applicazione alla galleria Nazzano sull'autostrada A1 Milano-Napoli, Strade & Autostrade, n. 2

Lunardi P. 2003, Widening the load at Nazzano, Tunnels & Tunnelling International, Luglio

Lunardi P. et al. 2007, Widening the Nazzano motorway tunnel from two to three lanes + an emergency lane without interrupting traffic, Atti del convegno Internazionale su "Tunnels, drivers of change", Madrid, 5-7 November 2007

Lunardi P. 2007, Progetto e costruzione di gallerie-Analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli (ADECO-RS), Ed. HOEPLI, 575 pagine

Tolentino F. et al. Ampliamento della galleria di Nazzano senza interruzione del traffico

Tolentino F. 2008, Le gallerie nel progetto di ampliamento a 3 corsie dell'A14 da Rimini a Pedaso, Gallerie e Grandi Opere Sotterranee, n. 2, aprile-giugno

Lunardi P., Cangiano M. e Belfiore A. 2011 - Il metodo Nazzano tra passato e futuro – Storia e risultati della prima sperimentazione del sistema di ampliamento delle gallerie in presenza di traffico. Gallerie e grandi opere sotterranee, n. 100

Lunardi G., Selleri A., Belfiore A., Trapasso R. - 2014 Widening the "Montedomini" tunnel in the presence of traffic: the evolution of the "Nazzano" method. Proceedings of the World Tunnel Congress 2014 – Tunnels for a better Life. Foz do Iguaçu, Brazil.

Galatà G., Selleri A., Lunardi G., Belfiore A., Trapasso R. – 2014 Ampliamento della Galleria Montedomini in presenza di traffico: evoluzione del "Metodo Nazzano". Quarry & Costruction n.611 Luglio/Agosto 2014.

Lunardi G., Selleri A., Belfiore A., Trapasso R. - 2014 Widening the "Montedomini" tunnel in the presence of traffic: the evolution of the "Nazzano" method. Congrès international Lyon 2014 – Tunnels and Underground space risk & opportunities, Lione 10/2014.