CONGRESSO: "GALLERIE E SPAZIO SOTTERRANEO NELLO SVILUPPO DELL'EUROPA"

Società Italiana Gallerie
Italian Tunnelling Society

Variante di Valico - Galleria di Base. L'esperienza del progetto di variante della ventilazione.

Nicolò Faggioni [(1)] , Massimiliano Bringiotti[(2)]

[(1)] *Imgeco S.r.l.*

[(2)] *GeoTunnel S.r.l.*

ABSTRACT: Sovente l'impatto che le opere impiantistiche presentano sulla costruzione di un'infrastruttura è limitato a pochi interventi mirati. Quando il ricorso a sistemi impiantistici più complessi richiede interventi importanti occorre fare ricorso all'ottimizzazione delle soluzioni impiantistiche limitando l'impatto sulle opere civili e l'aggravio dei tempi e dei costi di realizzo. E' il caso del sistema di ventilazione della galleria di Base della Variante di Valico in cui lo studio di un progetto di variante impiantistico ha consentito di conseguire, pur mantenendo invariata l'efficacia finale degli impianti, ingenti risparmi attraverso la semplificazione e la velocizzazione dell'esecuzione delle opere. Il sistema di ventilazione della galleria di base è costituito sin dalla sua configurazione originale da un complesso sistema di canalizzazioni di rinnovo ed estrazione aria che intersecano la galleria nella sua zona mediana. Il percorso dei canali occupa la stessa discenderia utilizzata come finestra intermedia per lo scavo delle due linee. Il progetto esecutivo dell'opera prevedeva inoltre, in sommità alla discenderia, la realizzazione di un fabbricato in cui trovavano installati i maggiori servizi tecnologici ed i ventilatori di rinnovo/estrazione aria. Lo scopo perseguito dal progetto di variante consisteva nel ricercare una soluzione che semplificasse il percorso delle canalizzazioni e ne riducesse l'impatto sui tempi di realizzo. Tale scopo è stato conseguito ricorrendo allo spostamento in caverna, a ridosso della linea, della centrale di ventilazione.

1 Il progetto esecutivo

Il progetto dell'opera prevede la realizzazione, a servizio della galleria, di un impianto di ventilazione di tipo longitudinale integrato con un sistema centrale di rinnovo/estrazione aria. Il sistema di rinnovo/estrazione consente, data la rilevante lunghezza della galleria (≈ 9 km), l'importanza dell'arco stradale e le caratteristiche del traffico che lo percorrono, di estendere l'utilizzo del sistema longitudinale all'intero tracciato sotterraneo. L'installazione di un sistema intermedio capace, con il rinnovo e l'estrazione, di annullare gli effetti dell'inquinamento nella posizione mediana della galleria può consentire sia l'aspirazione dei fumi prodotti da un eventuale incendio che, più genericamente, la diluzione degli inquinanti in presenza di elevati livelli di traffico.

Durante l'operatività normale della galleria, al sistema di ventilazione è richiesto, infatti, di realizzare la diluizione degli inquinanti mantenendo le concentrazioni entro i limiti fissati mentre nell'operatività di emergenza della galleria, che corrispondente all'insorgenza di un focolaio di incendio, i requisiti principali sono quelli relativi al controllo della gestione dei fumi e la salvaguardia del processo di esodo degli utenti.

1.1 Il sistema di ventilazione centrale

Il sistema centrale di ventilazione galleria prevedeva, nella versione del progetto esecutivo, la realizzazione di una stazione di ventilazione e di una serie di canalizzazioni per il collegamento con la galleria; le canalizzazioni erano installate all'interno di una discenderia di servizio che collega la galleria con lo spazio a cielo aperto in prossimità di Roncobilaccio e terminavano con una serie di innesti che consentivano l'intersezione tra le canalizzazioni stesse e la linea. La discenderia, utilizzata per l'accesso ad una finestra intermedia durante la fase di scavo, si innesta alla galleria nel suo punto più alto per poi salire ancora con pendenza più o meno costante verso lo spazio aperto; la sua lunghezza è prossima agli 800 m ed il suo dislivello complessivo è pari a 50 m.

Complessivamente, si configuravano quattro innesti, due dei quali rispettivamente per il rinnovo e l'estrazione dell'aria dal primo fornice (nord) ed i rimanenti due per il rinnovo e l'estrazione dal secondo fornice (sud). Nel percorso compreso tra la centrale di ventilazione e la linea, le canalizzazioni erano tutte installate nella sezione di discenderia tramite la suddivisione della sezione corrente in 4 settori; solo in prossimità degli innesti le canalizzazioni si separavano per consentire i collegamenti appunto con le linee, tramite canalizzazioni a doppio settore rispettivamente AF (rinnovo Aria Fresca) e AV (estrazione Aria Viziata). Per innestarsi al fornice sud le canalizzazioni dovevano provvedere allo scavalco del fornice Nord che si interpone tra la discenderia e la linea.

Come illustrato in Figura 1, solo all'altezza dell'allargo denominato „Innesto 1", avveniva la separazione delle canalizzazioni per i collegamenti con la linea alla linea. Si noti come nel tratto compreso tra lo spazio esterno e l'innesto 1, le canalizzazioni AV occupavano la porzione inferiore di discenderia, mentre alle canalizzazioni AF era destinata la porzione superiore.

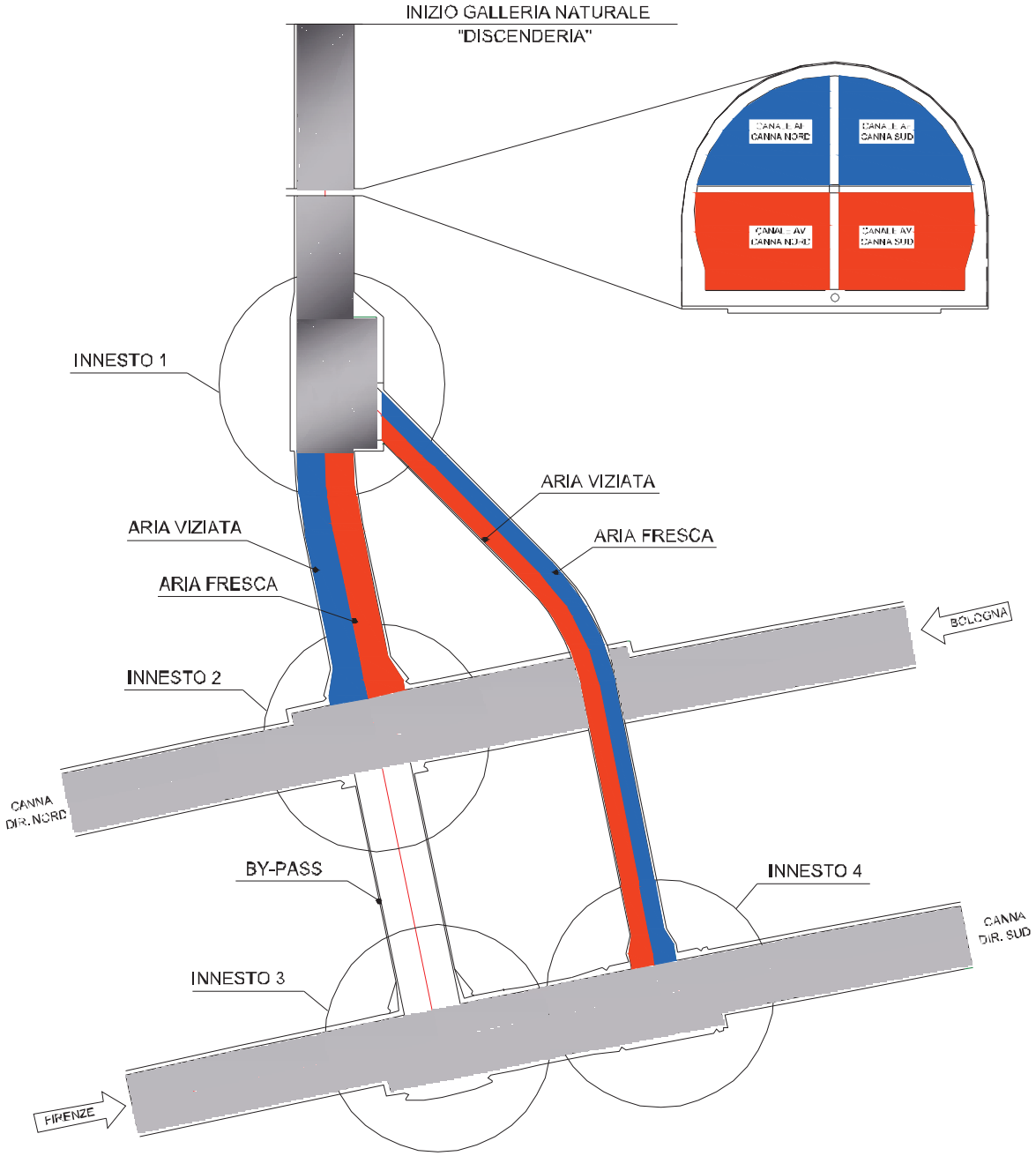

Figura 1 – Andamento delle canalizzazioni di trasporto aria previsto dal Progetto Esecutivo

La centrale di ventilazione, come illustrato nella Figura 2 e nella Figura 3, era attrezzata complessivamente con otto ventilatori, quattro dei quali dedicati al rinnovo dell'aria nei due fornici (due per fornice) e quattro predisposti per l'aspirazione. La centrale era quindi predisposta con le relative

prese d'aria ed i camini di espulsione indipendenti. Ogni coppia di ventilatori era installata per il rinnovo o la sola estrazione dal canale in cui era installata.

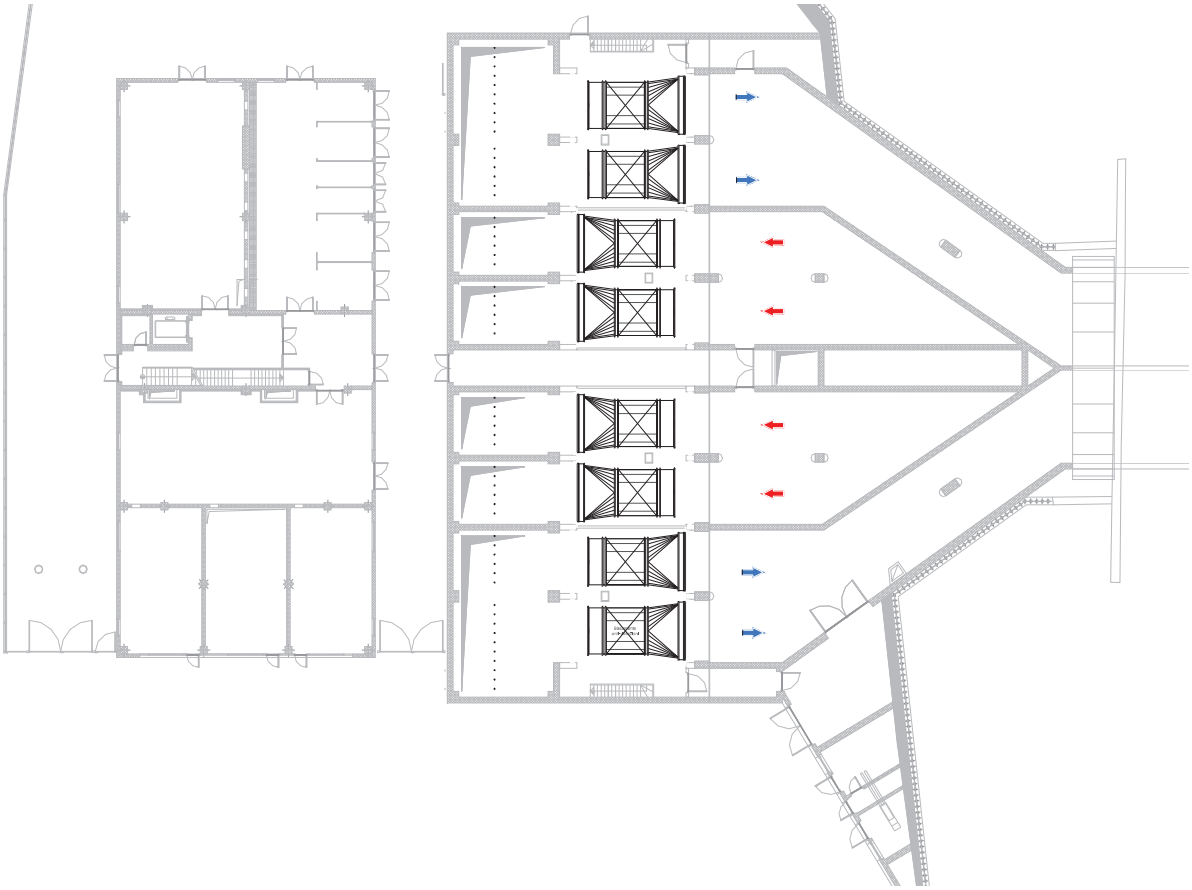

Figura 2 – Pianta dei locali tecnologici e della centrale di ventilazione

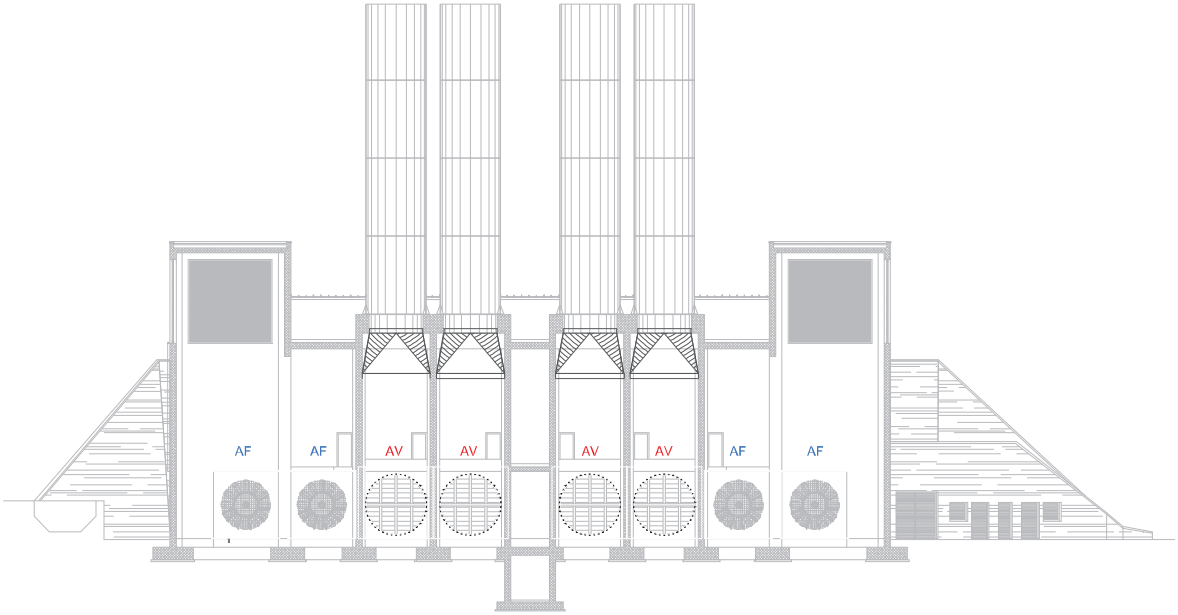

Figura 3 – Prospetto della centrale di ventilazione: in evidenza le prese d'aria ed i camini di espulsione

2 Il progetto di variante

In sede di revisione progettuale, il progetto impiantistico della galleria venne fortemente modificato al fine di introdurre delle ottimizzazioni volte a semplificare gli aspetti realizzativi dell'opera e dei suoi impianti ausiliari; il tutto senza alterare l'efficacia e l'affidabilità dei sistemi di sicurezza previsti.

Costituiscono oggetto di variante i seguenti sistemi:

- impianti di ventilazione;
- pressurizzazione e rinnovo aria delle vie di fuga;
- impianto idrico antincendio;
- sistema di distribuzione dell'energia elettrica MT e BT;
- alimentazione degli equipaggiamenti in galleria;
- sistemi ausiliari di rilevazione incendio, controllo video e telecontrollo.

Nel seguito ci si occuperà solo della variante progettuale che ha riguardato il sistema di ventilazione centrale della galleria e che ha introdotto la maggiore innovazione progettuale. La soluzione che nel seguito si descrive è nata dall'esigenza congiunta di:

- introdurre ottimizzazioni realizzative nell'esecuzione delle canalizzazioni di trasporto aria;
- semplificare l'impatto ambientale delle opere previste sul piazzale all'aperto nell'area prospiciente l'accesso alla discenderia (Roncobilaccio).

3 L'impianto di ventilazione e lo spostamento della centrale in caverna

Si è già descritto come il progetto prevedeva la realizzazione di una centrale di ventilazione all'aperto per il rinnovo e l'estrazione puntuale dell'aria dai due fornici della galleria. I canali di ventilazione di aria fresca e viziata erano separati per entrambe le canne (totale nr. 4 condotti) e realizzati all'interno della sezione corrente della discenderia il cui innesto in galleria è ubicato in posizione centrale rispetto al tracciato.

Rispetto alla soluzione di progetto, al fine di:

- ridurre i tempi di realizzazione dell'opera;
- semplificare la tecnica di esecuzione dei lavori in sotterraneo per la realizzazione delle canalizzazioni di trasporto aria;
- ottenere una riduzione dell'impatto ambientale prodotto dai manufatti di centrale e dalle opere impiantistiche accessorie installate in Roncobilaccio;

la proposta di variante, ha previsto:

- la realizzazione di una nuova Centrale di Ventilazione (nel seguito CdV) realizzata in caverna in una sezione di allargo ubicata lungo la discenderia di servizio all'altezza del vecchio innesto 1;
- l'eliminazione totale della centrale sul piazzale di Roncobilaccio, dove rimangono i soli locali tecnici, di nuova progettazione, relativi ad arrivi ENEL, distribuzione MT, gruppi GE, sala supervisione e stazione idrica antincendio;
- la conseguente suddivisione della porzione di discenderia compresa tra il piazzale a cielo aperto e la CdV in soli 2 sezioni/vani aria; rispettivamente il vano inferiore Aria Fresca (AF) ed il vano superiore Aria Viziata (AV);
- l'eliminazione del condotto di scavalco dall'attuale sopra l'asse Nord sino al collegamento in canna Sud;
- la realizzazione di nr. 4 nuovi collegamenti per il trasporto aria di rinnovo e di estrazione dalla nuova CdV sino agli innesti nelle due canne ricavati nella sezione di passaggio della discenderia;
- la realizzazione di nuovi manufatti di presa AF su Roncobilaccio e nuovi camini di estrazione AV, con sezione di emissione a raso.

L'aspetto forse più innovativo oltre allo spostamento della centrale di ventilazione in caverna, in posizione addossata alla linea, sta nella realizzazione dei 4 nuovi collegamenti tra la centrale ed i fornici (Figura 4). Le nuove canalizzazioni di trasporto aria, infatti, occupano ancora la sezione libera di discenderia sino al primo innesto con l'asse Nord (4 sezioni, rispettivamente AV e AF Nord e Sud) per poi procedere verso l'asse Sud occupando la sola sezione libera (sole 2 sezioni AV e AF Sud) del by-pass carrabile previsto proprio in asse con la discenderia. Per non intersecare la linea in Nord, all'altezza dell'asse viario, la canalizzazione inferiore la attraversa in posizione ribassata mediante un condotto ricavato sotto la sede stradale; al contempo la canalizzazione dedicata all'estrazione aria in Sud (AF Sud) attraversa prima la linea Nord, per poi innestarsi in Sud, attraverso un passaggio in calotta (separazione dal vano traffico con controsoffittatura REI).

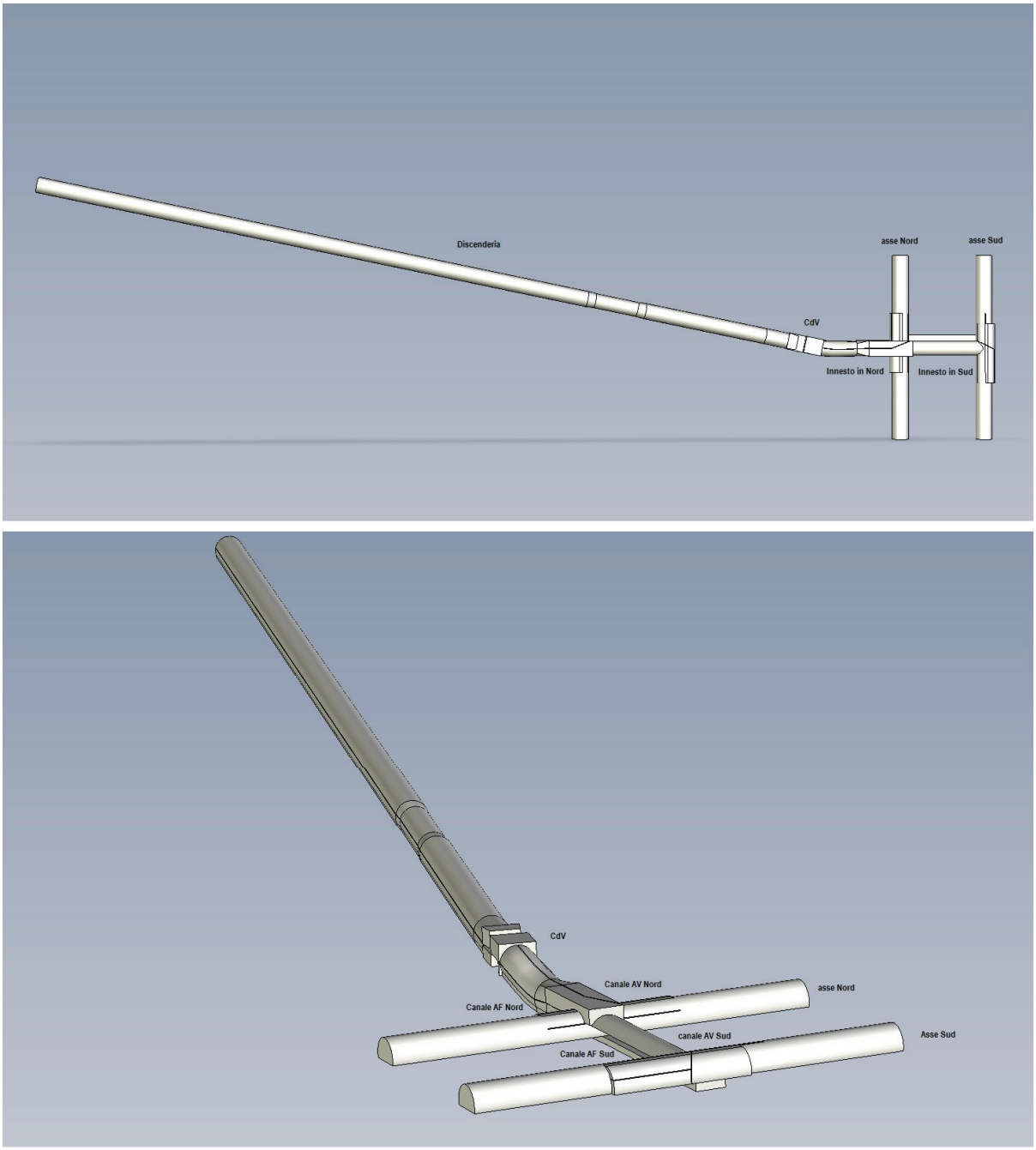

Figura 4 – Pianta e Vista prospettica del percorso di discenderia con il nuovo posizionamento della centrale di ventilazione e gli innesti con la linea

Nel conseguire gli obiettivi primari sopra descritti, l'introduzione delle varianti progettuali descritte ha consentito di conseguire inoltre:

- un miglioramento globale di efficienza del sistema di ventilazione dovuto ad un percorso meno tortuoso delle canalizzazioni di trasporto aria con sezioni libere maggiorate;
- una riduzione della potenza totale elettrica installata e del conseguente impegno di potenza richiesto all'ente distributore.

3.1 La nuova centrale di ventilazione

Come anticipato, la centrale di ventilazione è stata realizzata in caverna in una sezione di allargo ricavata lungo la discenderia. La distanza tra la nuova CdV ed il fornice Nord della galleria è approssimativamente di 50 m. La centrale è suddivisa su due piani rispecchiando la disposizione dei condotti a monte, vale a dire con un piano inferiore dedicato ai componenti di ventilazione per il rinnovo aria ed un piano superiore dedicato al sistema di estrazione. I due canali sono separati da un solaio sospeso di adeguate caratteristiche di resistenza al fuoco. Il canale AF, con accesso a raso dal

piazzale dei Roncobilaccio, consente, data la carrabilità, l'accesso dei mezzi alla CdV sia per quello che concerne la prima installazione dell'opera che per l'ordinaria manutenzione (si ricorda che lungo la discenderia in posizione adiacente alla CdV è ubicata anche la cabina elettrica CE 3/5).

Alla base della nuova proposta progettuale stanno le analisi di calcolo condotte sia per l'impianto di aspirazione aria viziata (AV) che per quello di immissione aria fresca (AF) e verificate attraverso il software di calcolo ad elementi finiti "Fluent". Il modello geometrico della galleria è stato riprodotto, ai fini del calcolo CFD, attraverso l'utilizzo di un software di modellazione solida. Le immagini di cui alla Figura 4, alla Figura 5 ed alla Figura 6 del presente documento si riferiscono al modello solido utilizzato.

3.2 Le canalizzazioni di trasporto aria

La sezione trasversale di discenderia, nel tratto compreso tra Roncobilaccio e la CdV, risulta divisa in due porzioni, rispecchiando la disposizione apparecchiature in CdV. Infatti un solaio orizzontale corrente suddivide il canale inferiore dedicato al percorso dell'aria fresca di rinnovo, dal canale superiore dedicato al percorso dell'aria viziata di estrazione dalla galleria. La sezione totale di discenderia è mediamente prossima ai 110 m^2 mentre per i due condotti AF e AV l'area della sezione ha valore mediamente prossimo a 60 e 50 m^2.

La posizione e la dimensione del vano inferiore di aria fresca, contrariamente a quanto previsto in sede di progetto esecutivo (condotti AF al vano superiore), consentono ora la carrabilità del condotto sino alla CdV (da cui la sezione di area maggiore). Oltre ai vantaggi di manutenibilità dell'opera, questo consente l'accesso diretto da spazio aperto alla cabina elettrica CE3/5 installata in prossimità della CdV.

La porzione di discenderia compresa tra la CdV e la galleria è suddivisa inizialmente, a partire dalla CdV, in 4 settori dedicati rispettivamente al rinnovo e l'estrazione separati per i due fornici. A partire dalla sezione corrente di discenderia si separano quindi nr. 4 nuovi collegamenti, due dei quali si arrestano sulla prima canna (Nord) mentre gli altri proseguono verso la seconda (Sud). I canali aria viziata si mantengono sempre all'interno della sezione corrente delle discenderia e del by-pass di collegamento tra i fornici. I canali di rinnovo aria, invece, si disassano dalla discenderia seguendo percorsi separati; il canale nord si separa dalla discenderia subito dopo la CdV mentre il canale sud si stacca dalla discenderia prima di intersecare la canna nord seguendo un percorso ribassato ricavato tra il piano stradale e l'arco rovescio della galleria. Le aree di sezione dei condotti AF non sono mai inferiori a 25 m^2, mentre per i canali AV le sezioni non risultano mai inferiori a 30 m^2. Gli innesti dei canali sono sempre in calotta e separati dal vano traffico mediante controsoffitti e solette di separazione. Per consentire l'aspirazione dell'aria viziata ed il corretto rinnovo aria nei fornici, è necessario che:

- la presa in galleria dei condotti AV sia sempre indirizzata verso l'imbocco del relativo fornice (in direzione opposta al verso del traffico);
- l'immissione dei condotti AF sia sempre indirizzata verso l'uscita dei rispettivi fornici (a favore del verso del traffico).

L'andamento dei condotti di ventilazione è desumibile in via approssimativa dalle immagini esportate dal modello solido elaborato per la nuova soluzione proposta, qui di seguito riportate. In particolare in Figura 5 vengono visualizzate le sezioni tipo delle canalizzazioni d'aria previste, dal progetto di variante, a servizio dei due fornici. Procedendo in ordine (da A verso D) si raffigurano:

- le sezioni tipo dei canali in discenderia a monte della CdV (2 settori);
- le sezioni del plenum della CdV con la separazione tra vano ventilatori AV (piano superiore) e vano ventilatori AF (piano inferiore);
- le sezioni di innesto dei 4 canali in partenda dalla CdV verso la linea;
- il particolare dell'abbassamento del canale AF Sud per il passaggio sotto la piattaforma stradale in corrispondenza dell'attraversamento della linea Nord. Come evidenziato meglio nella successiva Figura 6, il canale AF Sud, a causa delle interfernze con il by-pass carrabile, attraversa anche la stessa linea Sud, prima di risalire in calotta in una sezione di allargo appositamente realizzata.

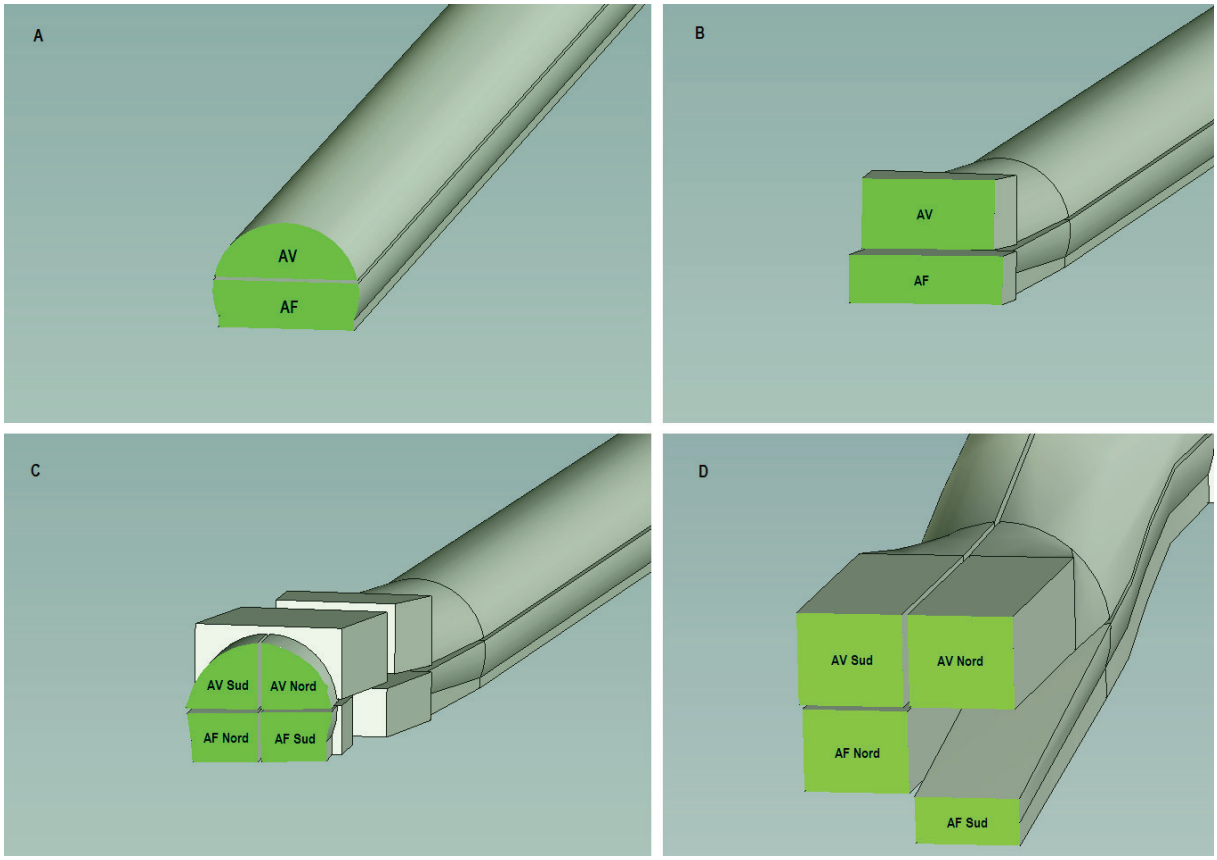

Figura 5 – Sezioni tipo delle canalizzazioni aria in discenderia

La presenza di due soli canali nel tratto compreso tra centrale e lo spazio aperto è consentita dal fatto che i flussi rispettivamente in aspirazione e mandata, una volta attraversata la CdV, possono riunirsi per consentire l'espulsione all'aperto; configurandosi, infatti, come un camino di presa/espulsione aria, i condotti non necessitano di un ulteriore separazione se non quella funzionale tra l'aria fresca e la viziata. Come si vedrà meglio nel seguito, la configurazione della centrale di ventilazione consente di operare il rinnovo d'aria ai fornici, con uno qualunque dei due ventilatori del piano inferiore, e al contempo l'estrazione dell'aria con una coppia qualunque dei tre ventilatori installati al piano superiore. La divisione dei flussi nei 4 condotti viene infatti regolata, nel tratto compreso tra la CdV e la linea, dalla presenza di altrettante serrande motorizzate di intercettazione che determinano il percorso di ventilazione.

L'installazione dei condotti e delle serrande di intercettazione è consentito dal fatto che, come verrà meglio descritto nel seguito, non si prevede un utilizzo contemporaneo del sistema di rinnovo/estrazione su entrambi i fornici della galleria.

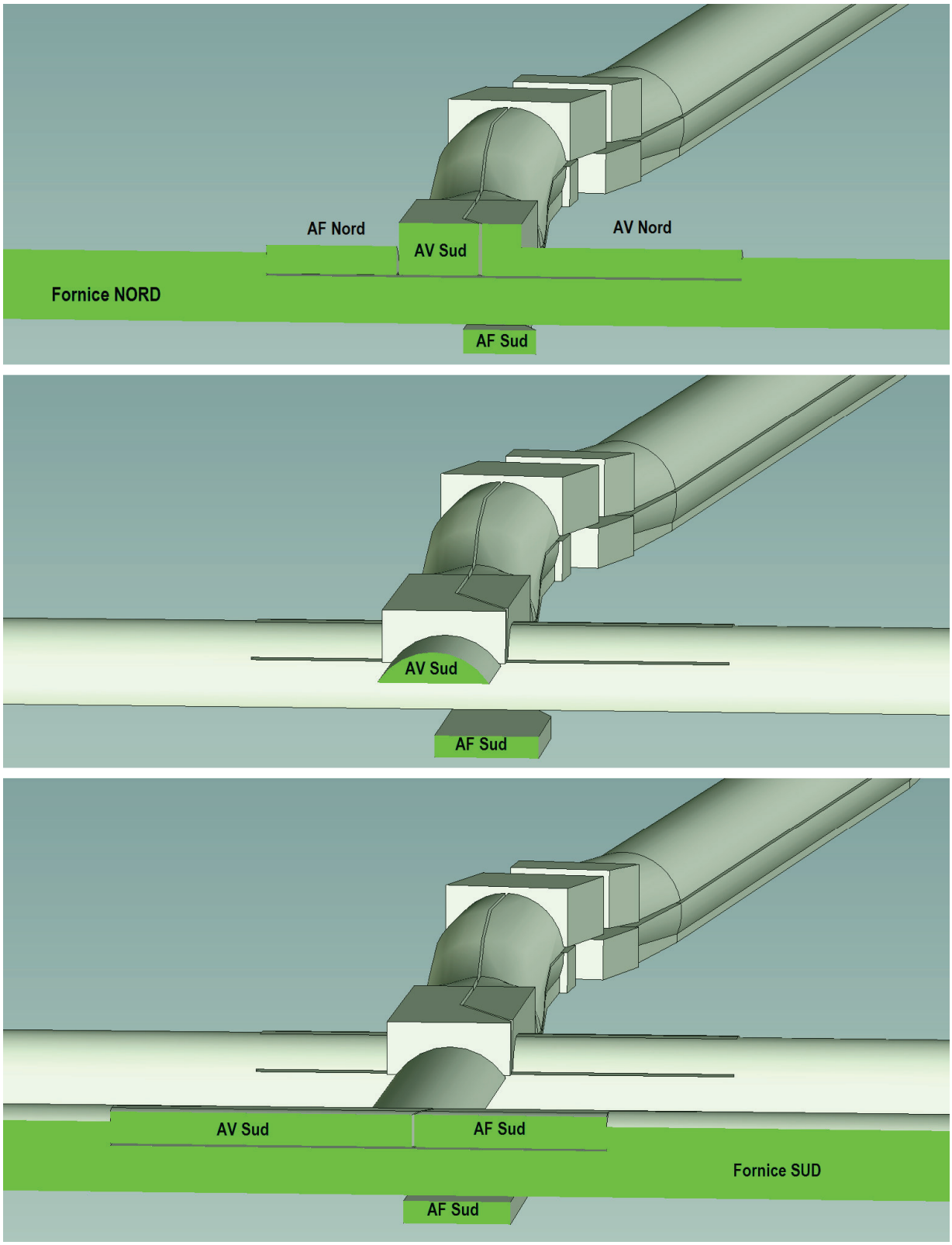

Figura 6 – Particolari degli innesti delle canalizzazioni nella linea

3.3 Criteri di dimensionamento della "nuova" CdV

La nuova centrale di ventilazione assolve appieno le funzionalità previste per la centrale di progetto; sono infatti rispettate le portate di progetto calcolate in sede di progetto. In particolare sono previste:

- portate di estrazione nominali di valore compreso tra 400 e 440 mc/s;
- portate di rinnovo di 200 – 220 mc/s.

Rimangono inoltre inalterate ed indiscusse le ipotesi di dimensionamento e funzionamento del sistema sia in condizioni di esercizio normale che di quello in emergenza. Il sistema può infatti operare:

- in esercizio ordinario: provvedendo al rinnovo e l'estrazione dell'aria, con le portate nominali di progetto, su entrambi i fornici (ventilazione sanitaria);
- in caso di emergenza: provvedendo all'aspirazione dei fumi o all'adduzione dell'aria di rinnovo secondo le portate nominali previste, su una singola canna. Non è contemplata, infatti, la contemporaneità di evento incendio nei due fornici).

Nella successiva Figura 7 sono riportate le piante dei due piani della CdV, così come prevista nel progetto di variante.

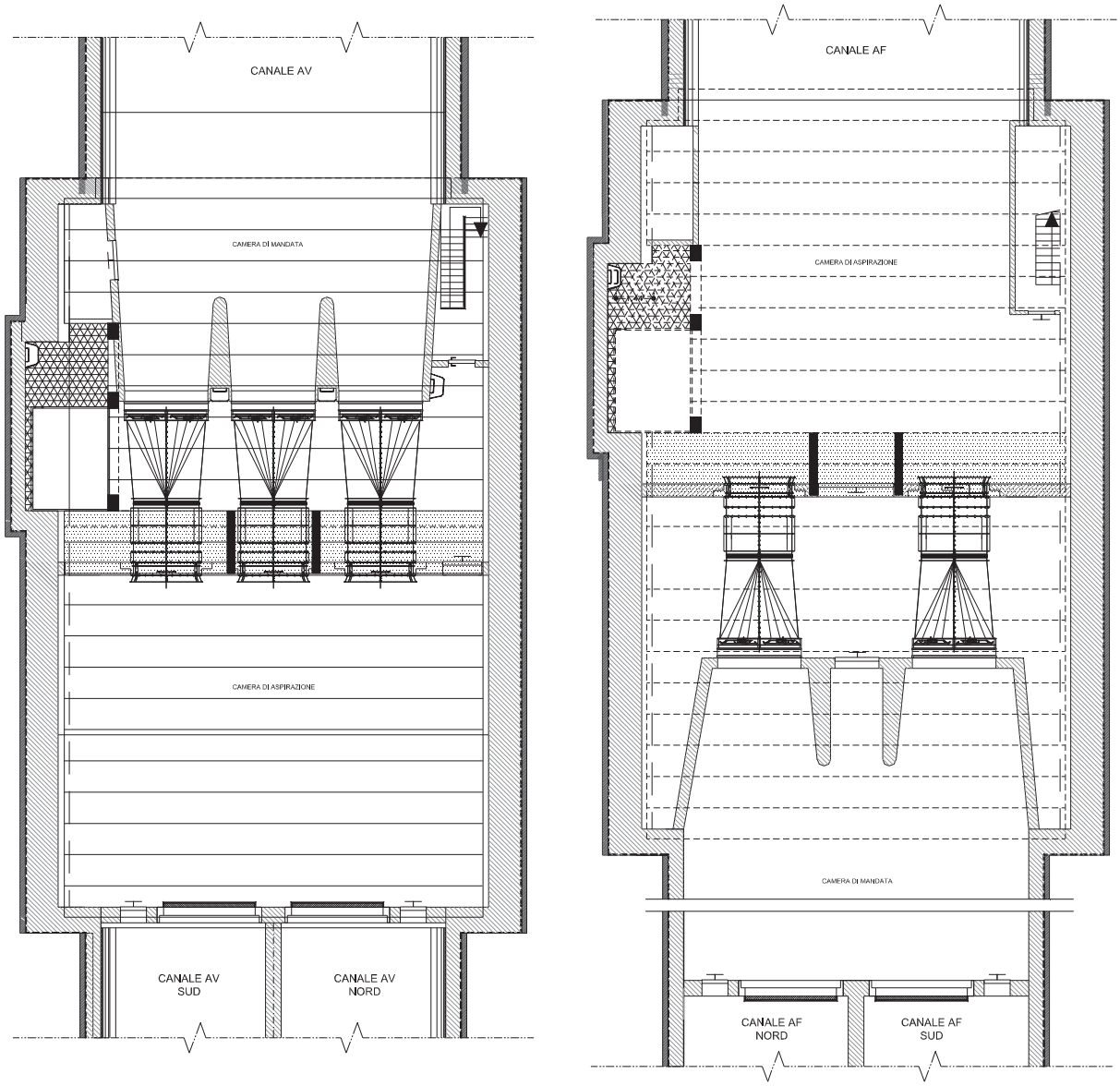

Figura 7 – Piante dei locali CdV: a sx il piano superiore (AV) ed a dx il piano inferiore (AF)

Nonostante le funzionalità del sistema siano rimaste invariate, la soluzione proposta consente la riduzione del numero di macchine installate, questo grazie all'installazione di serrande motorizzate di tipo on-off installate sulla partenza dei condotti di ventilazione dalla CdV. Le serrande consentono di gestire con flessibilità gli scenari di funzionamento sopra descritti e garantire la gestione separata della ventilazione nei singoli fornici. Grazie alla presenza delle serrande installate sui setti divisori tra la centrale di ventilazione ed i canali, ciascun ventilatore del piano inferiore può operare indistintamente su ognuno dei due fornici, così come qualunque coppia di ventilatori AV può operare indistintamente l'estrazione dalle due linee.

L'avvicinamento della CdV alla galleria congiuntamente alla divisione della discenderia in soli due canali consente, grazie all'aumento (raddoppio) della sezione utile di passaggio aria dei canali, di

ridurre la pressione statica di progetto delle macchine installate e contestualmente la dimensione e la potenza installata per macchina.

Sono previsti quindi, per installazione nella CdV:

- nr. 3 ventilatori assiali in aspirazione, con diametro girante 2.800 mm, ciascuna di portata nominale pari a 220 mc/s – pressione statica 800 Pa – Funzionamento 400°C – 2h.
- nr. 2 ventilatori assiali in mandata (rinnovo aria esterna), con diametro girante 2.800 mm, ciascuna di portata nominale pari a 220 mc/s – pressione statica 600 Pa.

Il posizionamento dei ventilatori e delle serrande è riportato nelle sezioni di riferimento qui a seguire (Figura 8). In Figura 9 è riportata un'immagine relativa alla fase di montaggio dei ventilatori di rinnovo nella sezione inferiore della CdV.

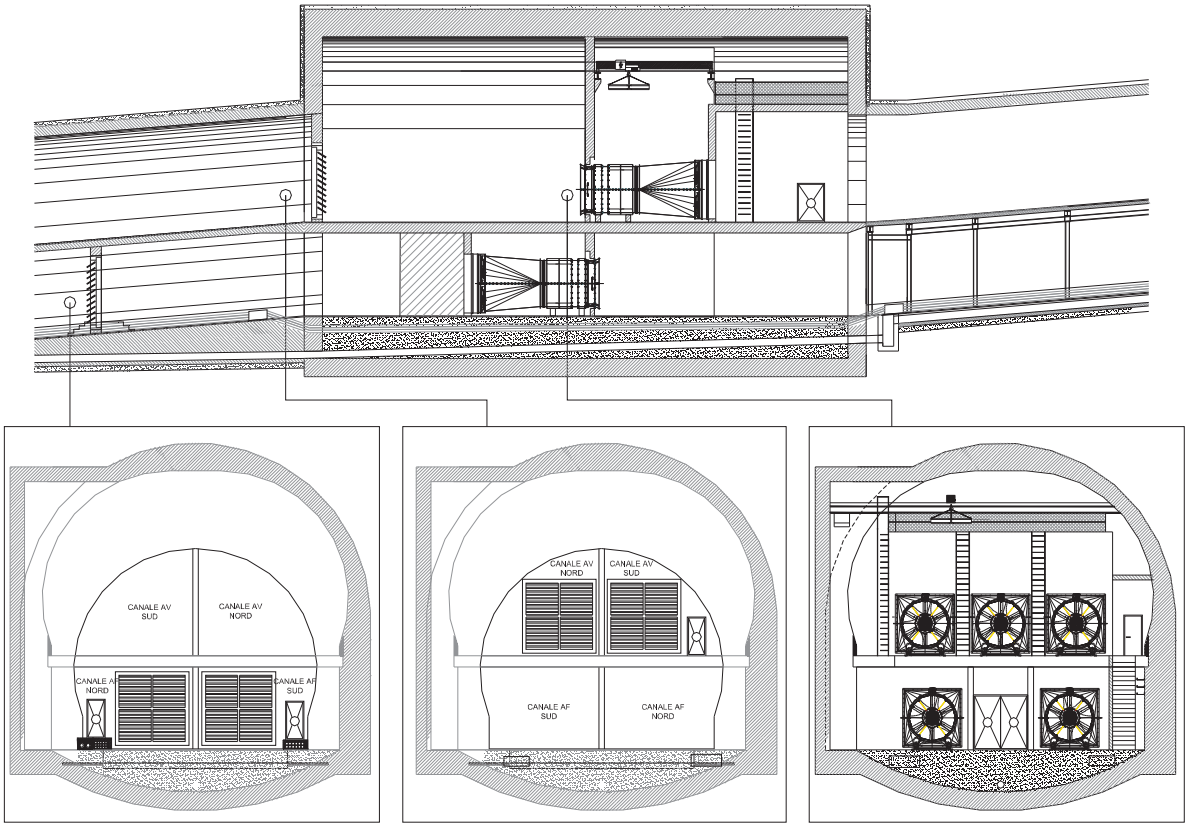

Figura 8 – Particolari degli innesti delle canalizzazioni nella linea

Le prestazioni nominali dell'impianto consentono, come sopra ricordato, di raggiungere le prestazioni di progetto in condizioni di emergenza, con il funzionamento di un solo ventilatore AF e di due ventilatori AV. L'installazione di una macchina aggiuntiva consente di conferire al sistema la ridondanza di sicurezza necessaria ed assicura ancora il corretto funzionamento dell'impianto, in caso di malfunzionamenti o disservizi sul sistema.

A servizio dell'impianto si è prevista l'installazione di macchine assiali Zitron rispettivamente del tipo:

- ZVN 1-28-400/6 (x2) della potenza nominale di 400 kW per i ventilatori di rinnovo aria;
- ZVN 1-28-450/6 (x3) della potenza nominale di 450 kW per i ventilatori di estrazione.

La potenza totale installata ammonta a 2,15 MW mentre si ricorda che nel progetto esecutivo erano previsti nr. 4 ventilatori in estrazione da 700 kW cad. e nr. 4 ventilatori di rinnovo da 400 kW cad. per un totale di potenza installata pari a 4,4 MW.
Si ricorda, a titolo esaustivo, che come previsto nel progetto di appalto, i canali AF e AV non hanno percorsi interscambiabili e le macchine installate in centrale non sono reversibili per cui non è possibile l'inversione del moto dell'aria all'interno dei condotti.

Figura 9 – Fase di montaggio dei ventilatori AF nel piano inferiore della CdV

3.4 Modifiche al sistema di ventilazione primaria realizzato con Jet-Fan

A completare le dotazione del sistema di ventilazione sono installati in galleria ventilatori assiali ad induzione completamente reversibili (jet-fans). I jet-fans devono consentire il controllo della velocità dell'aria all'interno della galleria, sia in modalità incendio che in modalità sanitaria. Per consentire il corretto controllo della velocità dell'aria in tutti gli scenari di emergenza ipotizzabili e garantire il corretto regime di ventilazione in tutti gli scenari di esercizio ordinario, si rende necessaria l'installazione di 40 jet-fans per fornice per una potenza totale installata di circa 3,0 MW.

La potenza installata è legata, oltre che a esigenze di carattere gestionale dell'impianto, anche ai risultati ottenuti dalla Committente sulla campagna di misure, volte a determinare gli effetti delle differenze totali di pressione sugli imbocchi causate dagli effetti meteo climatici. In particolare, è stata condotta una campagna di misure in loco mediante l'installazione di centraline climatiche ai portali della galleria. Gli andamenti delle differenze di pressione misurate in campo hanno evidenziato differenze massime anche superiori a 200 Pa ma l'analisi completa dei risultati ha evidenziato che il 74% circa delle misure corrisponde a variazioni di pressione ai portali inferiori a 100 Pa. Il 90% delle misure comprende la fascia dei valori tra +150 e -150 Pa e la copertura del 90% dei casi può essere considerata un riferimento valido per la progettazione. Il lay-out dell'impianto longitudinale prevede la distribuzione dei jet-fans riportata in Figura 10.

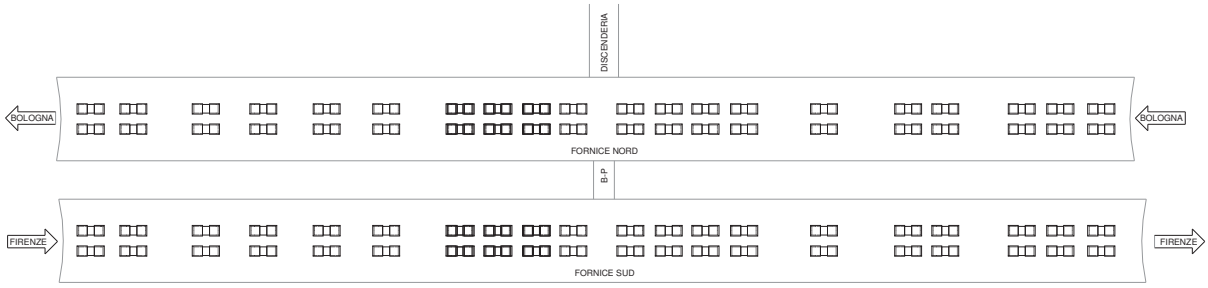

Figura 10 – Layout dell'impianto di ventilazione longitudinale in galleria

I jet-fans avranno le stesse caratteristiche di quelli previsti a progetto, diametro macchina di 1.250 mm e spinta nominale di 1400 N. In particolare l'elettroventilatore sarà del tipo assiale, silenziato, reversibile, resistente al fuoco 400°C per 120 min. (ZJR 12,5-38/4).

4 Manufatti esterni

Di seguito sono descritte le modifiche che sono state apportate al sistema di distribuzione dell'energia elettrica, al fine di rendere il sistema compatibile con la nuova configurazione del sistema di ventilazione.

La cabina di Roncobilaccio avrà la funzione di punto di fornitura dell'energia elettrica, attraverso le consegne ENEL in MT ed i gruppi elettrogeni per l'alimentazione degli impianti in condizioni di emergenza. Rimangono quindi, sul piazzale esterno, i soli locali tecnologici a servizio primario dell'impianto. La nuova cabina utente di alimentazione della centrale di ventilazione è ubicata in discenderia in posizione attigua alla centrale di ventilazione. Gli spazi all'interno della cabina sono stati realizzati di dimensioni adeguate per l'alloggiamento di tutte le apparecchiature previste nella nuova configurazione, che prevede anche l'alimentazione ed il controllo della centrale di aspirazione ed immissione aria attraverso la discenderia.

5 Conclusioni

L'introduzione della nuova soluzione progettuale proposta in sede di variante, ha permesso di conseguire, globalmente, importanti obiettivi sia in fase di esecuzione delle opere che di esercizio. In particolare ha previsto durante la fase di esecuzione, di conseguire:

- minori tempi di realizzazione;
- minori costi di realizzazione (semplificazioni delle canalizzazioni e dei relativi percorsi);
- riduzione del manufatto esterno adibito a centrale di ventilazione (installazione della sola cabina utente e dei servizi tecnologici annessi);
- conseguente riduzione dell'impatto ambientale dell'opera nel suo complesso.

In fase di esercizio invece, la configurazione finale consente:

- aumento dell'efficienza globale di impianto (riduzione delle lunghezze dei condotti di aspirazione e riduzione della distanza galleria-centrale di ventilazione);
- riduzione della potenza installata in CdV (2,15 MW anziché 4,4 MW);
- riduzione della potenza impiegata per il rinnovo d'aria (0,4 MW anziché 0,8 MW alla portata nominale);
- riduzione della potenza impiegata per l'estrazione d'aria (1,0 MW anziché 1,4 MW alla portata nominale);
- riduzione complessiva dei costi energetici di esercizio.

6 Bibliografia

World Road Association (PIARC) 2011. Road Tunnels Manual.

World Road Association (PIARC) Technical Committee C3.3 Road Tunnels Operations 2011. Road Tunnels: Operational Strategies for Emergency Ventilation.

World Road Association (PIARC) Committee on Road Tunnels (C5) 1999. Fire And Smoke Control In Road Tunnels

Daly B.B. 1997. Tecnica della Ventilazione - Manuale di Aeraulica. Woods Italiana.

Bringiotti et al. 2011. L'applicazione di nuove tecnologie per la progettazione, l'ottimizzazione e la validazione di un impianto di ventilazione in galleria. Strade e Autostrade, 2-2011.