

La Sicurezza nelle gallerie dell'alta velocità ferroviaria della tratta Bologna-Firenze: sicurezza in fase di costruzione e protezione dell'infrastruttura in fase operativa

A.Focaracci¹, F.Garzia², M.Guarascio³, P.Lunardi⁴, F.E.Spagnuolo⁵

¹Consulente del Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Piazzale Porta Pia 1, Roma, Italia

^{2,3,5}Ingegneria della Sicurezza e Protezione - Università degli Studi di Roma "La Sapienza" - Polo di
Civitavecchia
Via Aurelia sud 84, Civitavecchia, Italia
w3.uniroma1.it/sicurezza

⁴Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Piazzale Porta Pia 1, Roma, Italia

Sommario

La tratta dell'alta velocità ferroviaria compresa tra Bologna e Firenze rappresenta un'infrastruttura estremamente importante per l'Italia, soprattutto in termini di capacità ingegneristiche, in quanto costituita da una serie quasi ininterrotta di gallerie, lunga circa 80 km.

Nel presente lavoro viene presentato il contributo di studio e professionale degli autori, dimostrando come la progettazione di qualunque infrastruttura, ed in particolari di infrastrutture così imponenti, non possa prescindere da un approccio multidisciplinare tipico dell'ingegneria della sicurezza.

1. Introduzione

La tratta strategicamente più importante dell'intero sistema ferroviario italiano ad Alta Velocità (AV) è rappresentata dal tronco Bologna-Firenze: sebbene essa rappresenti appena il 5% dell'attuale rete delle Ferrovie dello Stato (FS), tale tratta sostiene il 30% dell'intero traffico viaggiatori e il 20% dell'intero traffico merci nazionale.

Le linee ferroviarie AV sono state progettate con caratteristiche tecniche adeguate all'esercizio misto passeggeri e merci, potendo i treni raggiungere, in condizioni ottimali, una velocità massima di 300 Km/h, utilizzando lo standard di segnalamento ETCS per garantire l'integrazione con le reti AV degli altri paesi della comunità europea.

La complessità geologica degli ammassi rocciosi da attraversare, la presenza di gas e di acqua pongono problemi non indifferenti dal punto di vista ingegneristico: infatti la realizzazione di tale tratta sta richiedendo l'utilizzo di soluzioni progettuali e organizzative d'avanguardia.

La lunghezza della tratta è di circa 78 km di cui 5 km allo scoperto (1 km su 11 ponti o viadotti di lunghezza variabile tra 7 m e 646 m) e i restanti 73 km in 9 gallerie caratterizzate da una lunghezza variabile da 654 m a 21,6 km.

Nella prima parte vengono discussi gli aspetti della sicurezza nella progettazione e organizzazione del cantiere in fase di costruzione. Nella seconda parte viene approfondito il tema della protezione dell'infrastruttura in fase operativa. Questi temi di approfondimento corrispondono agli specifici contributi di studio e professionali degli autori e non riguardano la sicurezza ferroviaria che è stata curata e affrontata in fase di progettazione direttamente dalle Ferrovie dello Stato secondo i consueti elevatissimi standard.

2. Sicurezza in fase di costruzione^{1,3,4,5}

2.1 Il significato della “Sicurezza” nelle varie fasi del processo costruttivo delle gallerie e di quelle ferroviarie in particolare

La diffusione di gallerie nel nostro Paese, con una estensione di più di 2400 km fra gallerie ferroviarie, stradali e metropolitane, ha sollecitato l'evoluzione del modo di progettare e costruire le opere in sotterraneo al fine di garantire condizioni sicure in tutte le fasi del processo costruttivo dell'opera.

Le opere in sotterraneo risultano di grande interesse per il potenziamento delle infrastrutture di servizio sociale, di transito e di trasporto in aree urbane ed extraurbane, potenziamento che deve avvenire con l'uso del territorio compatibile con l'ambiente naturale e il contesto socio economico.

Le esigenze di sicurezza, nella realizzazione di una tale opera, devono essere analizzate sia dal punto di vista di chi la commissiona, sia dal punto di vista di chi si occupa delle diverse fasi costruttive dell'opera. Il committente ha come esigenze principali la qualità dell'opera, in termini di utilizzo, di sicurezza statica e di durabilità nel tempo e la minimizzazione e il rispetto dei tempi e costi di esecuzione della stessa; mentre chi realizza l'opera, dalla fase di progettazione a quella di esecuzione e di esercizio, deve rispondere alle esigenze del committente e alle esigenze delle normative in tema di sicurezza nei luoghi di lavoro. La normativa in tema di sicurezza traduce, in pratica e in obblighi, quelle che sono le esigenze della collettività e cioè la salvaguardia dell'integrità psicofisica di chi opera nel singolo posto di lavoro.

Per rispondere a tutte queste esigenze, il progettista deve adottare una metodologia in grado di poter affrontare, in sicurezza, le possibili situazioni che si possono incontrare durante la fase di realizzazione e in grado di poter definire, in fase di progettazione, in maniera più precisa possibile i tempi e i costi di realizzazione dell'opera. La principale difficoltà del progettista sta nell'incertezza del mezzo in cui va ad operare, cioè l'ammasso roccioso, incertezza legata alle difficoltà tecnologiche e/o economiche nell'indagare l'ammasso roccioso che, come nel caso

dell'Appennino Tosco-Emiliano, si presenta con problematiche estremamente complesse: eterogeneità strutturale, presenza di acqua e gas, ecc.

A tali difficoltà progettuali si aggiungono la specificità dei lavori in sotterraneo che, per le ristrettezze degli spazi, e le condizioni ambientali, amplificano quelli che sono i fattori di rischio presenti nei cantieri edili. Quindi, è da non trascurare la necessità di una metodologia operativa che permetta una industrializzazione delle diverse fasi operative, al fine di avere delle procedure standard da utilizzare nelle varie situazioni e quindi di eliminare la necessità di dover improvvisare l'organizzazione del cantiere.

Il progetto di un'opera deve garantire, inoltre, il risultato in termini di tempi, costi e qualità. Per realizzare ciò sono fondamentali una chiara definizione delle responsabilità tra coloro che concorrono alla realizzazione del progetto, e una netta distinzione fra i costi per la sicurezza e i costi per la realizzazione dell'opera.

Un'attenta fase progettuale, oltre ad approfondire il più possibile le conoscenze tecniche sull'ammasso roccioso e sul prevedibile comportamento di questo in fase di scavo e costruzione del tunnel, consente di valutare tempi e costi di costruzione con sufficiente attendibilità, e di creare degli strumenti di gestione del progetto in corso d'opera quanto più flessibili possibile.

2.2 Analisi della sicurezza strutturale

Con metodi numerici si può analizzare la sicurezza strutturale nel breve, medio e lungo periodo, ottenendo così una panoramica sulle condizioni di stabilità sia nella fase di costruzione, sia in fase di esercizio. La bontà di tale analisi sarà funzione dell'accuratezza del modello, ma soprattutto della qualità e quantità dei dati di partenza. A tale proposito, infatti, sarà essenziale effettuare un'analisi di sensitività del fattore o fattori di sicurezza mono o multiparametrica al fine di individuare i parametri chiave del problema, e quindi per individuare dove orientare ulteriore approfondimenti ed indagini o interventi di miglioramento e/o conservazione delle caratteristiche dei terreni. In generale,

l'incertezza sul fattore di sicurezza può essere espressa come segue:

$$\sigma F_s = \sum \sigma p_i \times \frac{\partial F_s}{\partial p_i} \quad (1)$$

dove la variazione del coefficiente di sicurezza sarà funzione della variabilità del parametro da cui dipende e dalla influenza di tale parametro sul fattore di sicurezza espresso dalla derivata parziale.

Attraverso questa analisi è possibile ottenere un livello costante di sicurezza attraversando terreni differenti e, tramite un opportuno monitoraggio, è possibile verificare in continuo le ipotesi di progetto, l'efficacia degli interventi e, quindi, tarare sempre più in dettaglio il modello.

2.3 Analisi della sicurezza operativa

La sicurezza strutturale nel breve termine è un aspetto della più generale sicurezza operativa. Per una corretta valutazione e mappatura del rischio in ogni luogo e in ogni momento della costruzione dell'opera è necessario individuare, analizzare fenomenologicamente, e quindi tenere sotto controllo tutti i possibili fattori di rischio presenti.

In un cantiere di scavo in sotterraneo i fattori di rischio possono essere così suddivisi:

- Rischi geo-ingegneristici;
- Rischi igienico-ambientali;
- Rischi logistico-operativi;

Alla prima categoria indicata appartengono i rischi legati alle modifiche che lo scavo di una galleria induce nell'ammasso attraversato, come ad esempio manifestazioni di instabilità, venute d'acqua, di gas, ecc.. Alla seconda appartengono quei rischi legati all'igiene ambientale, derivanti dall'esposizione ad agenti fisici o chimici che possono risultare dannosi per la salute, quali rumore, vibrazioni, microclima, inquinamento ambientale, ecc.. Alla terza categoria appartengono i rischi derivanti dall'organizzazione del cantiere, cioè dalla pianificazione spaziale e temporale delle fasi lavorative e dalla disposizione dei vari impianti, dall'utilizzo di particolari tecnologie ed attrezzature, ecc.. Gli aspetti organizzativi sono estremamente importanti per le inevitabili interferenze fra le operazioni che si svolgono lungo l'asse della galleria.

2.4 Preconsolidamento del nucleo e prerivestimento del cavo come elementi di prevenzione

Nelle costruzioni in sotterraneo, gli interventi di consolidamento dei terreni hanno assunto un'importanza fondamentale. Il loro utilizzo è ormai una prassi ordinaria dell'approccio di progettazione e costruzione ADECO-RS, adottato per la realizzazione della tratta Bologna-Firenze. Il metodo ADECO-RS evidenzia come contrastando efficacemente i fenomeni di estrusione e preconvergenza, che sono la risposta deformativa dell'ammasso al disturbo a monte del fronte di scavo, sia possibile controllare i fenomeni deformativi in galleria in qualsiasi situazione, nel breve e nel lungo termine.

A tale scopo è necessario consolidare il nucleo di avanzamento a monte del fronte di scavo, e operare un corretto confinamento del cavo.

Gli interventi di consolidamento a monte del fronte di scavo sono chiamati preconsolidamenti e possono essere di tipo protettivo quando il loro fine è quello di canalizzare le tensioni all'esterno del nucleo di avanzamento, garantendo, così, la conservazione delle caratteristiche di resistenza e deformabilità, o possono essere interventi di rinforzo, se agiscono direttamente sul nucleo di avanzamento migliorandone le caratteristiche naturali di resistenza e deformabilità.

Sono interventi protettivi i drenaggi in avanzamento, i gusci di terreno consolidati mediante jet-grouting, i gusci di betoncino fibrorinforzato o calcestruzzo ottenuti in avanzamento mediante pretaglio meccanico, ecc..

Sono interventi di rinforzo ad esempio gli elementi strutturali di vetroresina, le colonne orizzontali di jet-grouting, ecc..

Per controllare completamente le deformazioni è necessario che ci sia una continuità dell'azione esercitata anche a valle del fronte e questo si ottiene operando il confinamento del terreno a valle del fronte di scavo il più possibile in prossimità del fronte stesso, ad esempio con l'immediato getto delle murette e dell'arco rovescio.

In questo è possibile ricondurre le situazioni di fronte instabile a condizioni di fronte stabile, consentendo produzioni industriali e condizioni di sicurezza costanti e indipendenti dal tipo di terreno che si deve affrontare.



Fig.1 Preconsolidamenti del fronte (posizionatore)

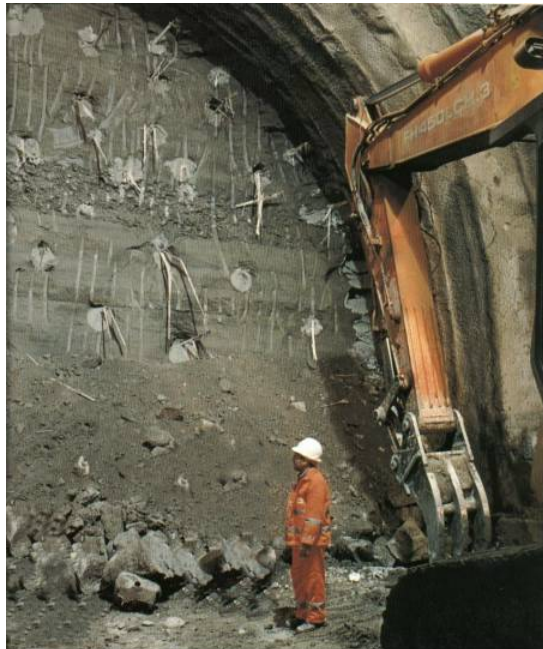


Fig.2 Scavo con ripper del fronte consolidato

Gli interventi di preconsolidamento, mirando a mantenere il più possibile indisturbate le condizioni tenso-deformative del terreno al contorno e al fronte di scavo, sono sicuramente da considerarsi essenziali misure di prevenzione per la tutela degli operatori e

del cantiere stesso, e un'applicazione concreta dei nuovi dettami normativi.

Misure di prevenzione sono da considerarsi il prerivestimento del fronte con spritz-beton, che impedisce il deterioramento della roccia a contatto con l'aria e quindi impedisce il distacco di blocchi di roccia, e il prerivestimento del cavo con centine e spritz-beton che rendono la galleria sicura durante le successive fasi operative, prima della messa in opera del rivestimento definitivo.



Fig.3 Centine e spritz-beton

2.5 Pianificazione tecnico-economica dell'opera

Per quanto riguarda la valutazione dei tempi e costi di esecuzione, l'applicazione di metodi integrati di progettazione e costruzione di gallerie, quali ad esempio l'approccio ADECO-RS (Analisi delle Deformazioni Controllate nelle Rocce e nei Suoli) e l'utilizzo di metodi di analisi e valutazione del rischio possono garantire risultati soddisfacenti.

Da un lato l'approccio ADECO-RS permette di avere progetti completi in cui sono ben definiti tipo, intensità, fase e tempi di messa in opera degli interventi di stabilizzazione, e quindi permette di ottenere una completa industrializzazione delle operazioni di avanzamento, in ogni tipo di terreno.

Dall'altro i metodi di analisi di rischio, come ad esempio il metodo Monte Carlo, permettono di ottenere una valutazione probabilistica del tempo e costo di realizzazione dell'opera in funzione della quantità e qualità di informazione ottenuta dalle indagini preliminari. Ogni analisi richiede comunque un'attenta valutazione dei dati che il metodo Monte Carlo fornisce per verificarne l'attendibilità pratica.

Adottando la metodologia DAT e seguendo i passi del metodo ADECO-RS è possibile in ogni fase progettuale ottenere indicazioni sui tempi e costi realizzazione. Inoltre individuando i fattori che maggiormente inducono variazioni sugli stessi è possibile orientare le indagini in modo da ottenere dati più accurati e ridurre, quindi, le incertezze.

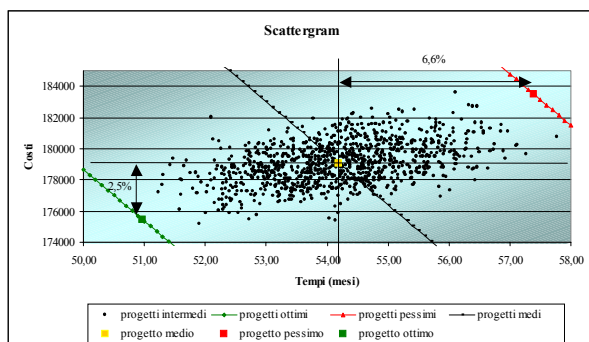


Fig.4 Scattergram

Nella figura 4 è riportato un diagramma costi-tempi, detto scattergram. Ogni punto del diagramma rappresenta la simulazione di un possibile progetto. Una tale rappresentazione permette di quantificare l'incertezza sia geologica che costruttiva in termini di tempi e costi totali. Le incertezze geologico-geotecniche rivestono maggiore importanza quando ci si occupa di tunnels profondi mentre quelle di carattere costruttivo acquistano maggior peso quando le coperture sono tali da permettere una soddisfacente acquisizione dei dati.

2.6 Gestione della sicurezza nella realizzazione di un'opera complessa quale la linea veloce Bologna-Firenze

La realizzazione di un'opera così complessa quale la linea veloce Bologna-Firenze, a partire dalla progettazione, all'esecuzione,

all'impatto sul territorio sia in fase di cantierizzazione che in fase di esercizio dell'opera, ha richiesto un grande impegno sui temi della sicurezza nei suoi molteplici aspetti.

In questa occasione i temi della sicurezza e della salute sono stati affrontati in maniera innovativa. Prendendo a riferimento la realizzazione della direttissima Firenze-Roma, esperienza in cui si erano verificati numerosi incidenti gravi e addirittura mortali, nella realizzazione di quest'opera si è cercato di rispondere a quelle che sono le esigenze di sicurezza della società.

Inoltre la nuova normativa sulla sicurezza, ha costituito la base per la realizzazione di un nuovo rapporto di concertazione fra i soggetti coinvolti e cioè l'Impresa, i Sindacati, e gli Organi di Vigilanza.

Si può dire che il CAVET, cioè il consorzio di imprese che realizza l'opera, ha visto la sicurezza come parte integrante della progettazione e dell'organizzazione della produzione. Tale impegno comincia dalla metodologia di scavo che, come detto sopra, consente di ottenere livelli di sicurezza costanti e indipendenti dal tipo di roccia, all'utilizzo delle tecnologie più all'avanguardia per quanto riguarda la produzione e i sistemi di monitoraggio e protezione. Inoltre, al fine della valutazione dell'esposizione dei lavoratori agli inquinanti chimici fisici, il Servizio di Prevenzione e Protezione del CAVET ha avviato un programma di igiene industriale, in accordo con le A.S.L. per il monitoraggio di alcuni parametri fondamentali.

Sono proprio le A.S.L. delle regioni Emilia Romagna e Toscana che, pur mantenendo il loro ruolo di Organo di Vigilanza, hanno collaborato al fine di elevare i livelli di sicurezza. Il loro impegno si è concretizzato, anche, in una serie di note interregionali per migliorare le condizioni di sicurezza. Tali note riguardano, ad esempio, i nuovi standard di sicurezza per lo scavo di gallerie in terreni grisutose, gli standard di sicurezza Antincendio e Salvataggio per i lavori in galleria, i sistemi di comunicazione e di allarme installati, i sistemi di ventilazione, ecc..

3. Protezione dell'infrastruttura in fase operativa^{2,3}

Data l'importanza strategica della tratta AV Bo-Fi e data la presenza di un numero così elevato di gallerie è stato necessario studiare e progettare un sistema di sicurezza integrato che proteggesse l'intera infrastruttura da intrusioni volontarie a fini di danneggiamento, sabotaggio o vandalismo, e da intrusioni involontarie, dovute per esempio ad animali, che comprometterebbero la sicurezza dei treni e dei viaggiatori. Tale sistema permette il controllo capillare e la visibilità totale dell'intera tratta, ricorrendo ad architetture e soluzioni impiantistiche avanzate.

Il sistema di sicurezza progettato (di cui si illustreranno ovviamente le caratteristiche generali e le filosofie di realizzazione, senza entrare nello specifico, per evitare di inficiarne la sicurezza intrinseca a seguito della divulgazione dei dettagli impiantistici e sistemistica) presenta caratteristiche uniche a livello nazionale e internazionale per potenzialità, funzionalità, affidabilità e soprattutto per estensione geografica, in quanto si tratta di un sistema di sicurezza esteso, praticamente tutto in galleria, per circa 80 km.

Il sistema è suddiviso in due sottosistemi autonomi dal punto di vista del funzionamento, ma connessi dal punto di vista delle comunicazioni. Il primo sistema, già in fase di progettazione costruttiva, si occupa della protezione dei cosiddetti posti tecnologici, all'interno dei quali vengono installate tutte le apparecchiature relative alla gestione della segnalazione ferroviaria, delle telecomunicazioni e agli altri sistemi necessari alla circolazione ferroviaria. Il secondo sistema, appena uscito dalla fase di progettazione preliminare, si occupa esclusivamente della protezione delle gallerie e rappresenta il sistema oggetto del presente lavoro in quanto studiato e progettato direttamente dagli autori.

Al fine di garantire una elevata affidabilità del sistema di sicurezza è stato necessario ricorrere ad una sua suddivisione in una serie di sottosistemi totalmente autonomi e in grado

di controllare e garantire la sicurezza delle singole gallerie, qualora caratterizzate da una elevata lunghezza, o di gruppi di gallerie, qualora caratterizzate da lunghezza relativamente ridotta.

I sottosistemi provvedono al controllo degli impianti antintrusione, controllo accessi, videosorveglianza TV a circuito chiuso e all'interfacciamento con gli altri impianti presenti. In particolare il sottosistema è in grado di interfacciarsi con l'impianto di monitoraggio strutturale al fine di operare in sinergia con quest'ultimo in caso di segnalazione di pericolo. Tali impianti fanno capo a delle opportune centrali di sicurezza autonome dal punto di vista della funzionalità e dell'alimentazione, in grado di funzionare a prescindere dalla funzionalità del sistema gerarchicamente superiore.

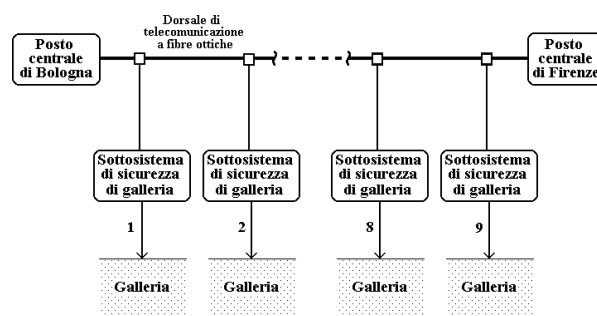


Fig.5: Schema a blocchi del sistema di sicurezza dell'infrastruttura, rappresentata dall'insieme di gallerie.

Ogni impianto è controllato da un sistema di supervisione locale che provvede a coordinare il funzionamento delle singole centrali di sicurezza e provvede alla comunicazione delle informazioni con i posti centrali, situati a Firenze e a Bologna, utilizzando dorsali a fibre ottiche caratterizzate da una elevata velocità di comunicazione e in grado di sostenere un elevato flusso di dati, dell'ordine di qualche centinaio di Mb/s.

Un particolare dispositivo per telecomunicazioni, denominato multiplexer add/drop, indicato come mux add/drop nella fig.6, provvede ad inserire nel flusso di dati ad elevata velocità presente all'interno della dorsale a fibre ottiche il flusso di dati a velocità relativamente ridotta proveniente dal

corrispondete sottosistema di sicurezza di galleria e viceversa.

I sottosistemi utilizzano, comunque, un opportuno canale di emergenza per la trasmissione ridotta dei dati in caso di caduta della linea principale su fibra ottica, circostanza che si può verificare con una probabilità bassissima dati gli elevati requisiti di affidabilità con la quale tale linea, e l'intero impianto di sicurezza, sono stati progettati.

Il singolo sottosistema rappresenta una unità totalmente autonoma sotto tutti i punti di vista. Il sistema di supervisione e tutte le centrali di sicurezza sono collocate in opportuni locali protetti sia fisicamente che elettronicamente dalle stesse centrali.

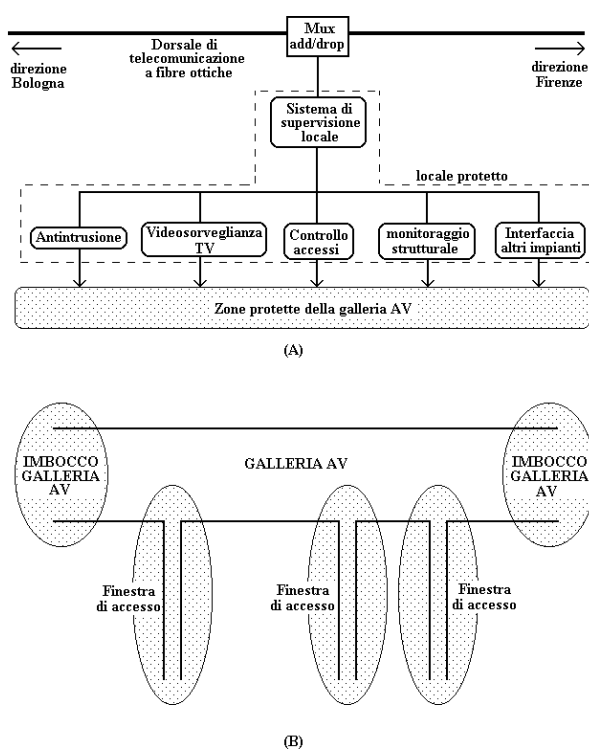


Fig.6: Schematizzazione del sottosistema di sicurezza di galleria. (A) Schema a blocchi delle componenti del sottosistema, (B) zone nevralgiche interessate dalla protezione.

L'impianto di videosorveglianza raccoglie tutte le immagini provenienti dalle telecamere in campo, sensibili all'infrarosso e dotate di opportuni illuminatori in maniera tale da consentire una chiara visibilità delle immagini in condizioni di scarsa illuminazione, tipiche dell'interno delle gallerie. Le immagini provenienti dalle telecamere vengono registrate su opportuni videoregistratori

digitali, che sono collocati in un sito secondario e protetto rispetto a quello contenenti le centrali.

Si è fatto ricorso all'utilizzo dei videoregistratori digitali in quanto caratterizzati da una elevata affidabilità, da una possibilità di accesso alle immagini di tipo casuale e, non da ultimo, tenendo anche conto del fatto che, al momento in cui tale sistema verrà realizzato, i videoregistratori a cassetta non saranno più disponibili sul mercato.

La registrazione avviene per fotogrammi (time-lapse) in caso di normale funzionamento, per non occupare inutilmente la memoria digitale del sistema, e passa in modalità reale (real time) nel caso di segnalazione di allarme da parte di un qualunque impianto.

Le immagini riprese vengono allo stesso tempo digitalizzate, compresse e inviate tramite la dorsale a fibre ottiche ai posti di controllo della circolazione posti a Firenze e a Bologna e ivi registrate a loro volta. La politica di gestione delle immagini è tale da contenere, quanto possibile, il numero delle immagini inviate ai posti di controllo centrale, al fine di ridurre il numero dei canali occupati e conseguentemente i costi di realizzazione della dorsale a fibre ottiche. In caso di allarme viene automaticamente assegnato un maggior numero dei canali al sottosistema di galleria dal quale è stato generato l'allarme permettendo la visione di tutte le immagini di interesse al posto centrale, dato che un evento pericoloso di qualunque genere deve essere prontamente valutato e gestito dal dirigente del movimento al fine di una eventuale interruzione del traffico ferroviario AV, garantendo la massima sicurezza ai treni e ai viaggiatori.

In ogni caso qualunque immagine relativa ad eventi precedenti, non disponibile al posto centrale a causa di interruzioni momentanee dei canali di comunicazione, può essere comunque visionata in un secondo momento richiedendone l'invio da parte del sottosistema di sicurezza di galleria, attingendo ai suoi dispositivi di videoregistrazione digitale.

Tutte le operazioni che avvengono a livello di galleria sono fortemente interconnesse. Infatti, l'eventuale autorizzazione all'ingresso del personale da parte dell'impianto di controllo accessi comporta: una comunicazione all'impianto antintrusione, che disinserisce momentaneamente la protezione nella zona di interesse; la ripresa del volto della persona che richiede l'accesso, nonché la sua memorizzazione sul videoregistratore locale; la memorizzazione dell'operazione nel sistema di supervisione locale al fine di rimanere nell'archivio storico locale; l'invio di tali informazioni al posto centrale di controllo.

La segnalazione di un qualunque allarme sia da parte dell'impianto antintrusione che da parte dall'impianto controllo accessi provoca l'immediata visualizzazione sul monitor dell'operatore del posto centrale della scena inquadrata dalla telecamera più vicina, in maniera tale da permettere la valutazione della situazione.

Le telecamere sono ubicate anche in prossimità dell'accesso delle finestre, lato interno, al fine di rendere disponibili le immagini in caso di sfollamento del treno in situazione di emergenza, permettendo l'uscita dei passeggeri attraverso tali passaggi e garantendone l'incolumità.

Tutte le gallerie presenti nelle tratta sono dotate di finestre mentre la galleria denominata Vaglia è dotata di un opportuno cunicolo, con by-pass ogni 250 metri, per permettere l'accesso dei mezzi di soccorso in galleria. La protezione di tale cunicolo ha ovviamente richiesto modalità differenti rispetto a quelle delle finestre delle altre gallerie.

Per quanto riguarda il sottosistema di galleria, esso è dotato di opportuni monitor di visualizzazione e di terminali di inserimento dati che permettono al personale di controllo e di manutenzione di agire su di esso, mediante procedure prestabilite in funzione del livello di accesso al sistema, e permettono eventualmente di eseguire operazioni di manutenzione remote sugli altri sottosistemi di galleria, nonché la visualizzazione dell'immagine ripresa da una qualunque telecamera presente nell'intera tratta,

rendendo visibile ogni punto da qualunque punto del sistema.

Tutte le connessioni tra le centrali di sicurezza del sottosistema e gli elementi in campo, costituiti da sensori, lettori e telecamere, vengono eseguite mediante fibra ottica per due motivi principali. Il primo è rappresentato dalle elevate distanze in gioco, che possono raggiungere lunghezze superiori ai 10 km tra l'elemento in campo e la centrale di sicurezza: tali distanze creerebbero problemi ai segnali elettrici di ridotta ampiezza utilizzati per la comunicazione dalle centrali. Il secondo motivo è rappresentato dall'elevato livello di interferenza elettromagnetica generata dal tipico ambiente ferroviario, sia in presenza che in assenza di treni in transito, la quale provocherebbe forti disturbi sulla trasmissione, generando errori, falsi allarmi e probabile distruzione dei componenti elettronici particolarmente sensibili. Utilizzando la fibra ottica i segnali elettrici vengono convertiti in segnali luminosi, immuni alle interferenze elettromagnetiche, in grado di propagarsi all'interno della fibra stessa con attenuazione ridotta e raggiungere notevoli distanze, dove, giunti a destinazione, vengono convertiti da segnali luminosi in segnali elettrici.

Numerose altre procedure sono implementate nel sistema ma non vengono riportati per ovvi motivi di sicurezza.

Il sistema è quindi strutturato su tre livelli: il livello centrale, il livello di sottosistema e il livello di campo.



Fig.7: Schema della suddivisione in livelli di sicurezza del sistema.

Ogni livello rappresenta una unità a se stante, in grado di operare indipendentemente dalla funzionalità del livello inferiore o superiore.

Le comunicazioni tra i vari livelli avvengono attraverso opportune reti di telecomunicazione, che variano da livello a livello, come si è avuto modo di illustrare precedentemente, utilizzando opportuni protocolli di sicurezza, al fine di garantire la massima protezione e funzionalità dell'intero sistema.

Con tale sistema si è dimostrato, ancora una volta, come l'approccio dell'Ingegneria della Sicurezza sia caratterizzato da una forte interdisciplinarietà e come esso richieda la convergenza dell'analisi dei rischi, delle tecnologie, delle normative e delle aspettative della comunità per fornire risultati concreti ed ottimizzati sotto tutti i punti di vista.

In particolare, il sistema di sicurezza in questione è fortemente integrato sia dal punto di vista della sicurezza intesa sia come security, cioè come protezione dei beni materiali e immateriali, sia come safety, cioè come tutela della persona fisica.

Esso si integra fortemente con le risorse umane e con le procedure di controllo e di circolazione dei treni, rappresentando un sistema unico a livello nazionale e internazionale per contenuto tecnologico, estensione geografica e funzionalità.

4. Conclusioni

L'Ingegneria della Sicurezza rappresenta ormai un elemento fondamentale e un cardine di tutti i settori dell'ingegneria, date le sue caratteristiche di multidisciplinarietà.

Nel presente lavoro, riguardante una delle componenti principali della più importante infrastruttura italiana mai costruita in Italia in termini ingegneristici, tecnologici ed economici, si è mostrato come l'ingegneria della sicurezza interessi inevitabilmente ambiti che, secondo i canoni del pensiero ingegneristico tradizionale, possono apparire molto distanti tra di loro.

Essa entra sin dalla fase di progettazione per definire tutti gli aspetti contrattuali, sia quelli legati ai tempi e costi di realizzazione dell'opera sia quelli legati alla realizzazione

dell'opera in sicurezza operativa sia quelli legati alla sicurezza in fase di esercizio.

Bibliografia

- [1] P.Lunardi, "Risk assessment for project financing", negli atti della conferenza AITES-ITA 2001, World Tunnel Congress, Milano, 2001.
- [2] A.Focaracci, "Evoluzione nella gestione progettuale dei preconsolidamenti", negli atti delle Conferenza Permanenti Alta Velocità – Sessione 3, Bologna, Giugno 1999.
- [3] Lunardi P. Bindi R., Focaracci A., "Pianificazione tecnico-economica delle opere in sotterraneo mediante l'approccio basato sull'analisi delle deformazioni controllate nelle rocce e nei suoli", Lavori in sotterraneo, Settembre 1994.
- [4] Lunardi P., "L'importanza del precontenimento del cavo in relazione ai nuovi orientamenti in tema di progettazione e costruzione di gallerie", Gallerie e Grandi Opere in Sotterraneo, Marzo 1995.
- [5] Lunardi P., "Il collegamento ferroviario ad alta velocità tra Bologna e Firenze, Aspetti progettuali e costruttivi delle opere in sotterraneo", Gallerie e Grandi Opere in Sotterraneo, Marzo 1998.
- [6] Lunardi P. Focaracci A., "The Bologna to Florence High Speed Railway Line: Progress of Underground Works", World Tunnel Congress, Oslo 31 may-3 june 1999.
- [7] Lunardi P., Focaracci A., "Il progetto dello scavo nella realizzazione di opere in sotterraneo", Conferenze Permanenti Alta Velocità – Sessione 4 " Lo Scavo: metodi, tecniche ed attrezzature nella progettazione e costruzione della tratta Bologna – Firenze", Scarperia marzo 2000.
- [8] M.Guarascio (coordinatore), "Fondamenti di Ingegneria della Sicurezza", in preparazione.
- [9] F.Garzia, M.Bertolotti, "All-optical cryptographic device for security application", Integrated Optics Devices V, SPIE, Vol.4277, pp.171-180, 2001.
- [10] F.Garzia, C.Sibilia, M.Bertolotti, "New Phase Modulation Technique Based on Spatial Soliton Switching", Journal of Lightwave Technology, IEEE, Vol. 19, N.7, pp.1036-1050, 2001.
- [11] F.Garzia: "IMPIANTI E SISTEMI DI SICUREZZA: antifurto, antintrusione, controllo accessi, videosorveglianza TV", Carocci Editore, Roma, 2001.

