

Analisi di sicurezza delle gallerie stradali a forte pendenza longitudinale

Safety analysis of road tunnels with high longitudinal slope



NICOLA DINNELLA

ANAS - Direzione Centrale Progettazione

Riassunto

L'analisi proposta ha lo scopo di individuare le maggiori criticità, relativamente alla sicurezza stradale di una galleria a forte pendenza longitudinale, tramite l'analisi di sicurezza.

L'obiettivo dello studio è stato quello di valutare il grado di sicurezza e la potenziale pericolosità della galleria, esaminando l'opera complessivamente in tutte le sue parti, servendosi sia di documenti progettuali sia del rilievo dello stato attuale della viabilità e della mobilità.

Summary

The aim of this analysis is to find, on the basis of safety analysis, a high percentage of critical situations with reference to road safety standard of tunnels with high longitudinal slope.

This study focuses its attention on the evaluation of the tunnels safety and danger characteristics, providing a comprehensive examination of the whole analysis, through the use of planning documents, as well as of a survey on the current situation of road conditions and of mobility.

1. Inquadramento plano-altimetrico dell'asse stradale

L'asse stradale della galleria prescelta per l'analisi di sicurezza (progetto esecutivo) ha una sezione trasversale classificabile "C1" (DM 5 novembre 2001: Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade) e si sviluppa per 1800 m su un dislivello di circa 150 m.

Il raccordo con la strada esistente, all'inizio della variante, avviene tramite un flesso planimetrico tra due curve circolari di raggio rispettivamente $R = 250$ m e $R = 550$ m; successivamente il tracciato prosegue in rettilineo per circa 320 m per poi percorrere una curva circolare di raggio $R = 1000$ m. Alla fine del tracciato, la variante si raccorda con il tratto esistente con un flesso planimetrico tra due curve circolari di raggio $R = 160$ m e $R = 140$ m.

La galleria è a singola canna, secondo le sagome previste per una strada tipo C1 dal DM del 2001; il raggio interno è pari a 6,3 m. La pendenza lungo il tracciato si mantiene costante per la quasi totalità del tracciato ed è pari al 9,5%.

Sono state previste 3 piazzole di sosta (45 m di lunghezza e 3 m di larghezza), delle quali 2 sulla corsia di salita ed 1 sulla corsia di discesa (**Fig. 1**).

2. Analisi di rispondenza al DM del 2001

2.1. Riferimenti normativi

L'entrata in vigore in data 19/01/2002 del Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n° 6792 del 05/11/2001 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" ha modificato sostanzialmen- ➤

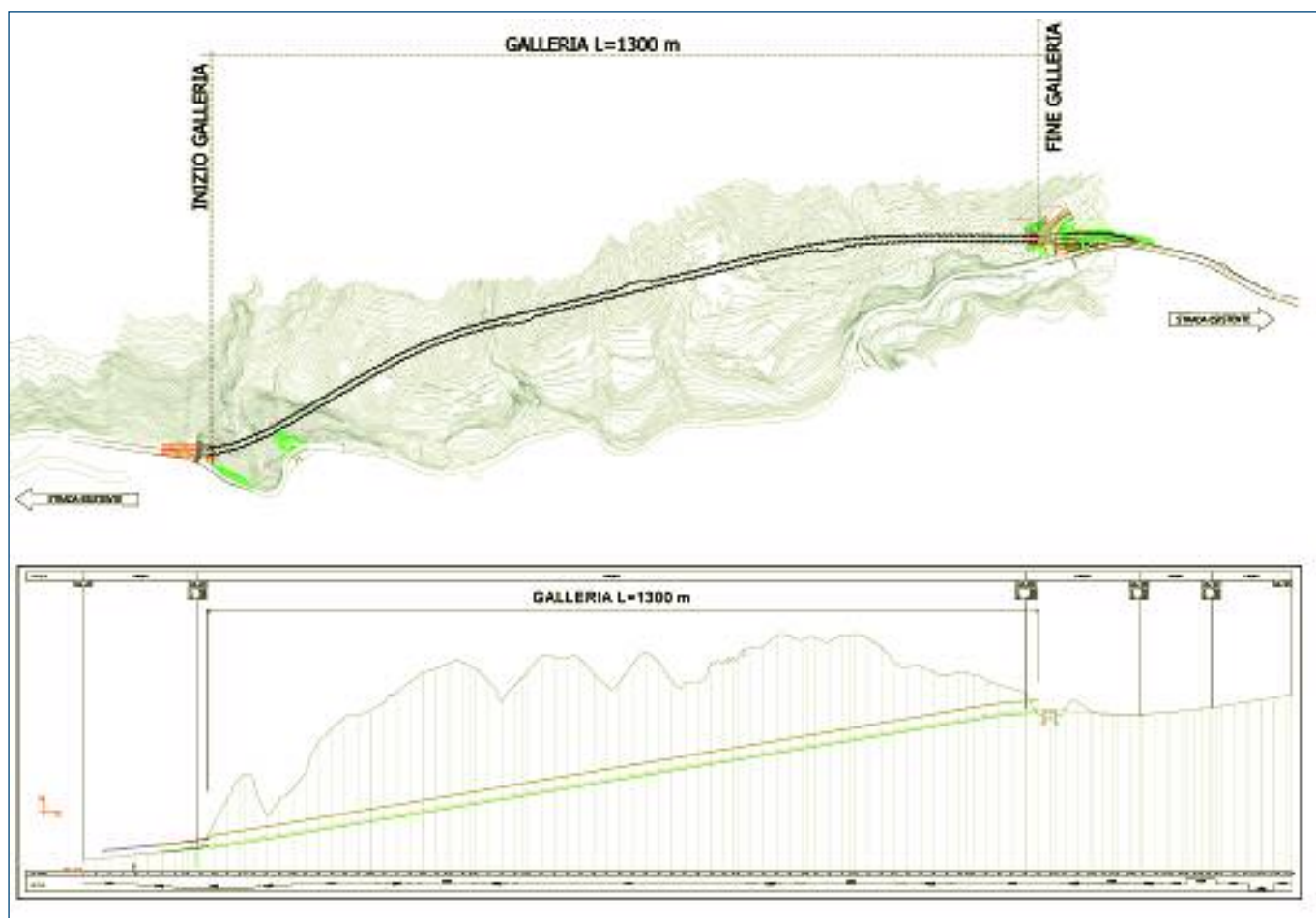


Fig. 1 Planimetria generale e profilo longitudinale della galleria

te la vigente normativa in campo di progettazione stradale; infatti, prima di tale data si faceva riferimento alle "Istruzioni per la redazione dei progetti di strade" n° 77/80 e alle "Norme sulle caratteristiche geometriche delle strade extraurbane" n° 78/80 del CNR.

Il Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 2001 si applica sia per la progettazione di nuovi tronchi stradali che per l'adeguamento di tratti stradali esistenti, salvo deroghe per casi particolari.

Tuttavia il citato decreto esclude (Capitolo 1 "Definizioni e riferimenti normativi") dall'ambito di applicazione le strade di montagna collocate su terreni morfologicamente difficili. In ogni caso, laddove possibile, il DM del 2001 deve essere preso a riferimento quale guida nella definizione di tutte le caratteristiche geometriche e dimensionali dell'asse stradale.

2.2 - Verifica delle distanze di visuale libera (DVL)

Il diagramma delle velocità di progetto è la rappresentazione grafica dell'andamento della velocità in funzione della distanza progressiva; tale diagramma è stato redatto per entrambi i sensi di marcia e costruito sulla base del solo tracciato planimetrico, calcolando per ogni elemento l'andamento delle velocità di progetto, entro i limiti fissati per il tipo di strada in oggetto.

Considerato che la strada in progetto prevede come limiti di velocità minimo e massimo rispettivamente tra 60 e 100 km/h e che ci si attesta su di un sedime esistente che consente di raggiungere velocità dell'ordine dei 60 km/h (o inferiore), è stato costruito il diagramma di **Fig. 2**.

Per quanto concerne i diagrammi delle visuali libere, essi riportano le distanze di visibilità per l'arresto e per

il sorpasso in funzione della progressiva stradale, redatti per entrambi i sensi di marcia.

2.3. Confronto tra i diagramma di velocità

Come si evince dall'elaborato di Fig. 2 a pagina successiva, il grafico delle velocità (Punto 1) è stato dapprima redatto secondo le indicazioni del DM del 2001; da tale diagramma emerge come le velocità rappresentative delle due curve formanti flessi all'inizio del tracciato (di raggio $R=250$ m e 550 m) e in prossimità dell'imbocco della galleria possano essere percorse dagli autoveicoli rispettivamente alle velocità di 80 Km/h e 100 Km/h.

Per tali velocità è stato redatto il diagramma di visibilità (Punto A e B) che mostra come in più di un tratto, la distanza di arresto sia superiore alla distanza di visuale libera (vedi tratto rosso Punto 6).

È stato inoltre valutato, in tali ipotesi, l'allargamento necessario per visibilità al fine di ottenere la curva relativa alle distanze di arresto al di sotto di quella delle visuali libere.

Per la carreggiata di destra nella direzione del tracciato alla progressiva $560,00$ circa in prossimità della curva circolare di raggio $R=550,00$ m di sviluppo $L=73,81$ m l'allargamento esterno necessario per la visibilità sarebbe di circa $0,75$ m per uno sviluppo complessivo di circa 100 m. Sempre per la carreggiata di destra nella direzione del tracciato, alla progressiva $1700,00$ circa in prossimità della curva circolare di raggio $R=160,00$ m di sviluppo $L=45,99$ m l'allargamento esterno necessario per la visibilità sarebbe di circa $0,80$ m per uno sviluppo complessivo di circa 70 m; tale tratto appartiene alla strada esistente.

Per la carreggiata di sinistra nella direzione opposta del tracciato alla progressiva $230,00$ circa in prossimità della curva circolare di raggio $R=250,00$ m di sviluppo $L=94,13$ m l'allargamento esterno necessario per la visibilità sarebbe di circa $8,75$ m per uno sviluppo complessivo di circa 350 m.

Come si deduce dal diagramma in oggetto (Fig. 3 Punto 1), dal passaggio dalla curva circolare di raggio $R=250$ m con $V_p=80$ Km/h alla curva di raggio $R=550$ m con $V_p=100$ Km/h, la differenza di velocità di progetto è di 20 Km/h; le norme (DM 05/11/2001) consigliano che tale differenza non superi i 15 Km/h.

3. La norma per gli interventi di adeguamento delle strade esistenti

Il progetto in esame ricade negli interventi di adeguamento della rete stradale esistente, improntati al miglioramento delle funzionalità e della sicurezza della circolazione stradale.

In base a tale normativa, il valore massimo della velocità di progetto ($V_{p_{max}}$) da assumere per la definizione degli standard geometrici dell'intervento dovrà essere scelto all'interno del campo di flessibilità fissato per ciascun tipo di strada.

Per tali motivi si è deciso di adottare come velocità massima di progetto $V_{p_{max}} = 90$ Km/h.

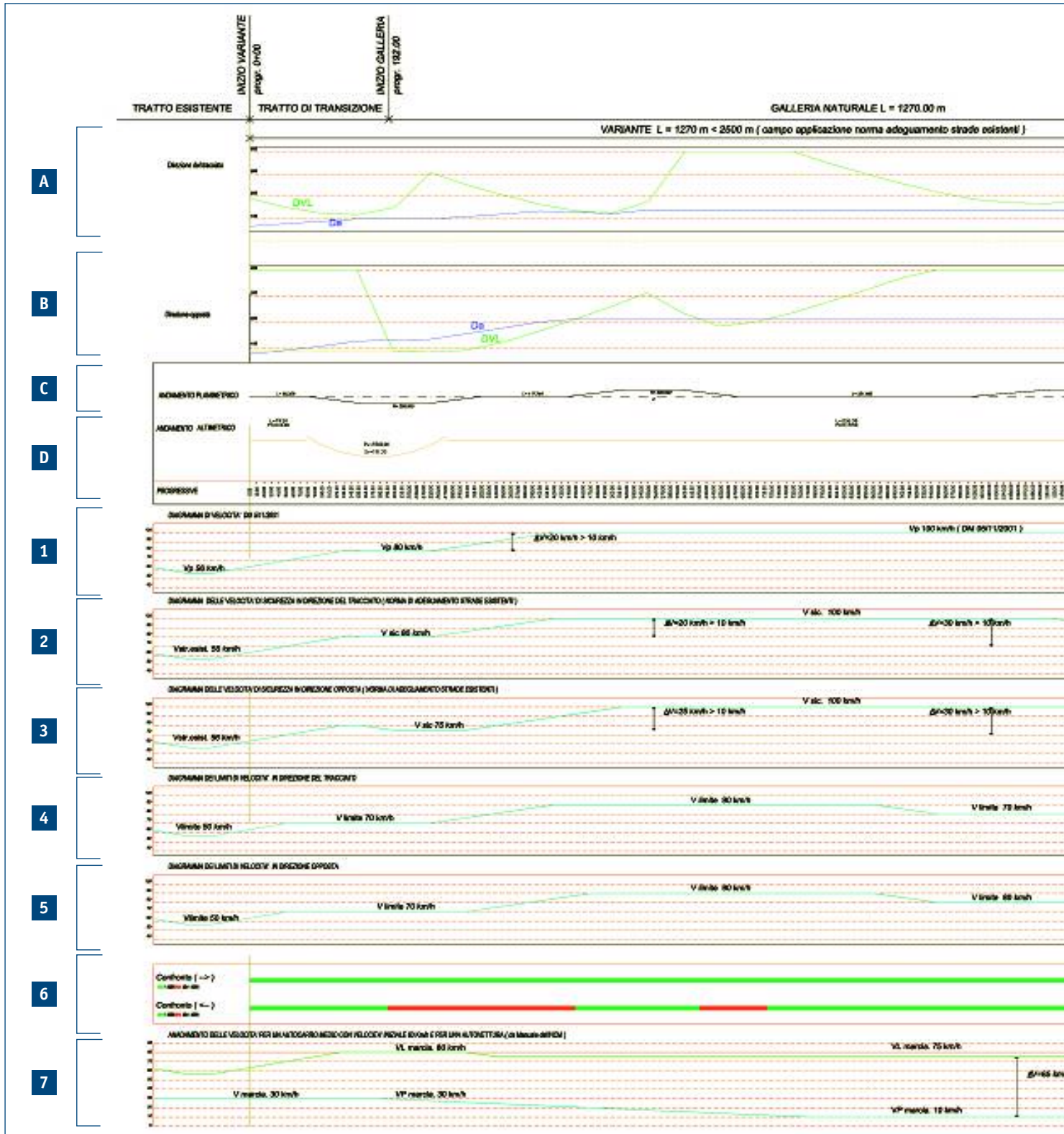
Adottando quindi tale velocità massima (Norma Adeguamento Strade Esistenti) anziché una $V_{p_{max}} = 100$ Km/h (DM 2001) la pendenza trasversale delle curve circolari costituenti il tracciato planimetrico si riduce; in particolare, per quanto attiene la curva di raggio $R=550$ m, la pendenza potrebbe essere ridotta dal 7% al $5,25\%$. In realtà, diminuendo tale pendenza trasversale a parità di velocità di percorrenza, si avrebbe un aumento del coefficiente "ft" di aderenza impegnabile trasversalmente; per tale motivo, e a "favore della sicurezza", si propone di diminuire la pendenza trasversale delle curve circolari lasciando inalterato il coefficiente di aderenza "ft". Tutto ciò premesso, la Norma per gli Interventi di Adeguamento di Strade Esistenti ammette delle deviazioni rispetto alle prescrizioni del DM 2001 quali la lunghezza minima e massima dei rettili, la lunghezza minima delle curve circolari, il parametro A delle clotoidi, assenza di curve di transizione in alcune condizioni, altezza libera delle opere di scavalco, ecc.

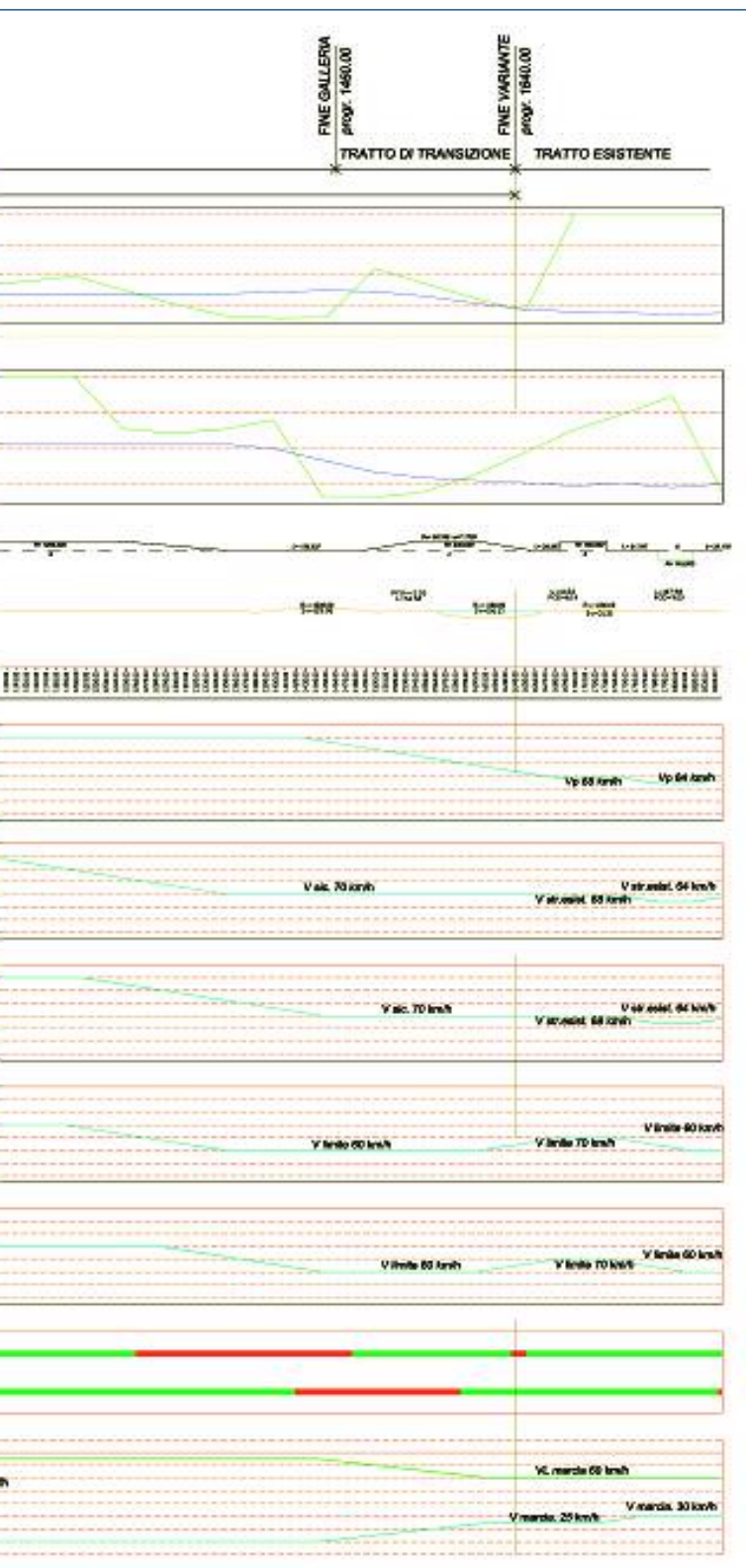
Per tale motivo il diagramma delle visuali libere (Fig. 3) è stato integrato con ulteriori grafici in cui sono stati evidenziati i seguenti andamenti:

- A Diagramma di visibilità nel senso del tracciato
- B Diagramma di visibilità nel senso opposto
- C Andamento planimetrico
- D Andamento altimetrico

1. Diagramma delle velocità ottenuto adottando con riferimento il DM 2001
2. Diagramma delle velocità ottenuto adottando come velocità massima quella di sicurezza consentita dalla Norma Adeguamento Strade Esistenti







3. Diagramma delle velocità ottenuto adottando come velocità massima quella di sicurezza consentita dalla Norma Adeguamento Strade Esistenti nel senso di marcia opposto
4. Diagramma dei necessari limiti di velocità in direzione del tracciato
5. Diagramma dei necessari limiti di velocità nel senso di marcia opposto
6. Confronto tra le distanze di arresto e quelle di visibilità
7. Andamento delle velocità per un autocarro medio e per una autovettura.

Nella redazione dei diagrammi dei limiti di velocità è stato comunque preso come riferimento il DM 2001 che prevede, nella parte relativa alla costruzione del diagramma di velocità, che per i tratti di strada con $V_{pmax} > 80$ km/h, (come nel caso di studio) nel passaggio da tratti caratterizzati da curve successive la differenza tra le rispettive velocità non sia mai superiore a 20 km/h.

4. Rilievi di velocità

La campagna di indagini di rilevamento del traffico esperita a mezzo di un apparato in grado di rilevare numero di passaggi totali, distribuzione dei passaggi nell'arco delle 24 ore, distribuzione dei passaggi in fasce orarie, distribuzione dei passaggi in per fasce di velocità, tipologia dei veicoli transitati, velocità, lunghezza del veicolo, data del rilievo, ora del passaggio del veicolo, senso di marcia, si riferisce ai dati rilevati in una settimana lavorativa sia per la corsia ascendente che per quella discendente; tale campagna ha permesso la definizione di un campione medio del traffico che è stato successivamente utilizzato nella determinazione del livello di servizio e nell'analisi del rischio.

5. Verifica corsia supplementare per veicoli lenti

Il rallentamento, a volte notevole, dei mezzi pesanti, comporta un peggioramento della qualità della circolazione e della sicurezza a causa dell'aumento del numero di sorpassi da parte dei veicoli più veloci; questi effetti negativi sono più o meno marcati a »

seconda del tipo di strada, del volume di traffico, della percentuale di mezzi pesanti, dall'andamento planimetrico e altimetrico.

È questo il motivo per cui in alcuni casi può essere opportuno realizzare un allargamento della sezione trasversale aggiungendo una corsia supplementare destinata ai veicoli lenti.

Nel caso in esame, il tracciato è caratterizzato da una livelletta ad elevata pendenza (9,5%) e di rilevante lunghezza (L=1300 m circa); pertanto è stata valutata l'opportunità di allargare la sezione stradale realizzando una corsia di arrampicamento destinata ai veicoli lenti.

La necessità di tale corsia nasce dalla considerazione che il peggioramento delle qualità della circolazione è dovuto alla presenza contemporanea dei veicoli con caratteristiche prestazionali differenti tra loro, soprattutto nell'affrontare un tratto altimetrico alla pendenza del 9,5 %.

6. Prestazioni dei veicoli stradali

La massima velocità costante (velocità di regime) che un veicolo stradale può mantenere su una livelletta di assegnata pendenza oppure la massima pendenza di una livelletta percorsa ad una prefissata velocità di regime sono ricavate dall'equazione della trazione in funzione dell'aderenza, delle resistenze al moto e delle velocità.

La riduzione di velocità dei veicoli lenti viene ritenuta non più tollerabile quando la velocità risulta inferiore al 50% della velocità delle autovetture; quest'ultima viene determinata secondo le indicazioni del DM 2001 e con i criteri utilizzati per il tracciamento del diagramma delle velocità, con l'avvertenza che le velocità si riducono convenzionalmente sulle pendenze uguali o superiori al 6%.

Da tale tabella del DM si evince che la velocità convenzionale ipotizzata per le autovetture nel caso in esame sarà di $V = 75 \text{ Km/h}$.

Diverso è il discorso per i mezzi pesanti che, per effetto del rapporto potenza/peso più sfavorevole subiscono sulle pendenze elevate vistosi rallentamenti.

Per chiarire meglio l'entità di tale condizionamento, di seguito si rappresenta in maniera schematica il diagramma di marcia dei veicoli leggeri e dei veicoli pesanti (**Fig. 3**) ottenuto secondo le indicazioni detta-

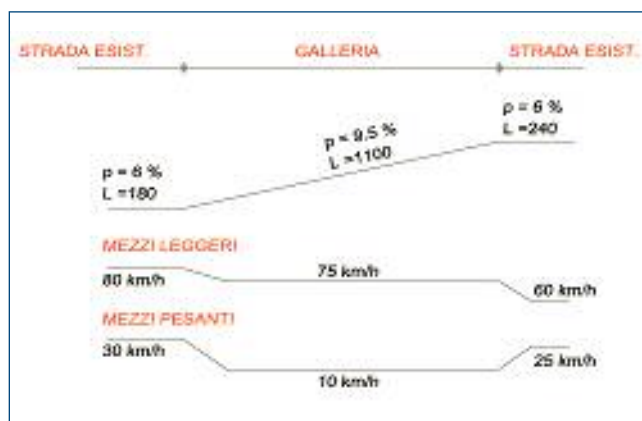


Fig. 3 Diagramma di marcia dei veicoli pesanti e leggeri

te dal manuale dell'HCM americano (Highway Capacity Manual); si rappresenta che tale diagramma è stato già rappresentato dettagliatamente nella Fig. 2 al Punto 7. Come schematizzato, prima dell'inizio della galleria, tutta su una livelletta al 9,5%, e dopo la fine, il tracciato altimetrico è rappresentato da un tratto in salita al 6%; per tale motivo, mentre i veicoli leggeri arrivano in galleria con una velocità iniziale di 80 km/h e proseguono la stessa diminuendo leggermente la loro velocità, 75 km/h, quelli pesanti arrivano con una velocità di 30 km/h e proseguono in con una velocità di 15 km/h subendo pesantemente l'altimetria del tracciato. La differenza quindi tra le due velocità di regime, una di 75 km/h e l'altra di 15 km/h, è di 60 km/h.

Tale differenza è maggiore di quella consentita dalle norme e pertanto non tollerabile; se si adotta quindi tale velocità è ovviamente "necessaria l'adozione della corsia di arrampicamento per i mezzi pesanti".

7. Il livello di servizio

Per la progettazione o l'ammodernamento di una strada sarebbe necessario definirne le condizioni d'esercizio in relazione al traffico secondo una certa scala: ciò al fine di effettuare confronti tra costi di costruzione e/o di miglioramento e poter così scegliere la soluzione ottima compatibile con gli obiettivi e i vincoli prefissati. In generale può considerarsi rappresentativo delle condizioni di esercizio il costo generalizzato del trasporto per l'utente (costi fissi e variabili dell'auto-

veicolo, tempo, comfort, rischio); se però ci si limita alla descrizione delle sole condizioni operative del deflusso, oppure se si fissano a priori le caratteristiche di progetto e d'esercizio prescindendo dai relativi costi, risulta particolarmente efficace la metodologia messa a punto da studiosi ed esperti degli USA che definisce le condizioni operative del deflusso veicolare (e quindi dell'infrastruttura d'appoggio) in funzione delle variabili: velocità media di marcia, densità, flusso, rapporto flusso/capacità, legate da una equazione analitica.

Il livello di servizio (LdS) infatti di una infrastruttura può essere definito come il grado con il quale il traffico presente sulla strada vincola il conducente durante la marcia.

La più recente edizione del Manuale HCM, risalente al 2000, illustra i criteri per la valutazione del LdS.

L'HCM riconosce 6 livelli di servizio, come rappresentati in **Fig. 4**, connotati con le prime sei lettere dell'alfabeto (da A ad E). Ad essi si aggiunge un settimo livello F, nel quale la congestione azzerava il passaggio dei veicoli. Al livello A corrisponde il massimo grado di libertà del conducente, al livello E il massimo grado di vincolo.

Nelle strade di categoria C1 ad unica carreggiata a doppio senso, la circolazione si svolge in modo alquanto diverso rispetto a quelle a carreggiate separate poiché per superare veicoli lenti occorre invadere la corsia di marcia della corrente opposta.

Una parte del tempo di viaggio è costituita quindi, dal

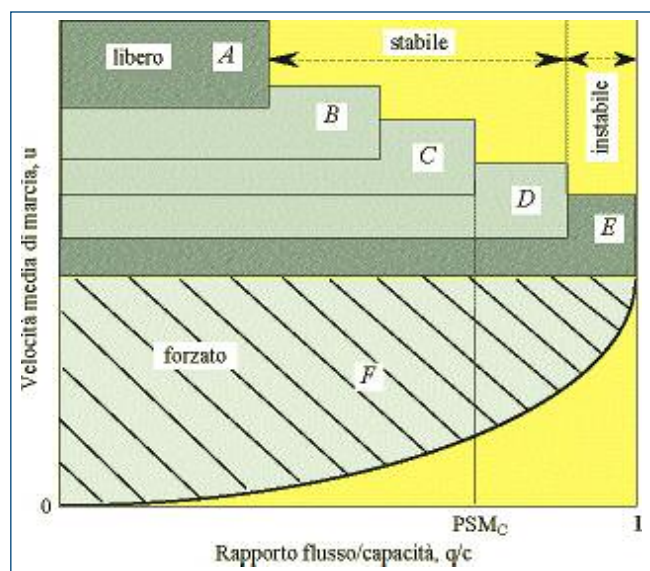


Fig. 4 Livelli di servizio

tempo che si trascorre in attesa di poter eseguire il sorpasso e ne deriva una diminuzione della velocità media di viaggio.

Per tali motivi l'HCM assume come parametri caratteristici per il L.d.S. la percentuale di tempo speso in coda PTC e la velocità media del viaggio V_s .

Nella Fig. 4 si è già esaminato come influisce negativamente la pendenza longitudinale sulla marcia dei veicoli pesanti e come tale fattore induca nei mezzi leggeri dei forti condizionamenti.

Per completezza di trattazione, si è determinato l'istogramma dei livelli di servizio; tale istogramma è stato ottenuto inserendo come dati di input la velocità a flusso libero, ottenuta come media tra la velocità dei veicoli pesanti e quella dei veicoli leggeri, la percentuale di tempo di occupazione e come pesi le rispettive lunghezze dei tratti che i veicoli percorrono a velocità costante.

La velocità calcolata è risultata essere di 38,50 Km/h.

Il livello di servizio ottenuto è il Livello E (**Fig. 5**)

che rappresenta condizioni di deflusso che comprendono, come limite inferiore, la capacità; le velocità medie dei singoli veicoli sono modeste e pressoché uniformi, non c'è praticamente possibilità di manovra entro la corrente, il moto è instabile perché piccoli incrementi di domanda o modesti disturbi (rallentamenti, ad esempio) non possono più essere facilmente riassorbiti da decrementi di velocità e si innesca così la congestione e il comfort è bassissimo.

Tale livello è del tutto inammissibile per la categoria di strada in esame.

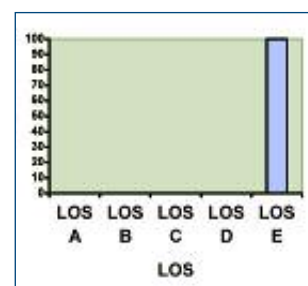


Fig. 5 Livello di servizio

8. Requisiti minimi di sicurezza nelle gallerie stradali europee

Direttiva 2004/54/CE del Parlamento europeo e del Consiglio relativa ai requisiti minimi di sicurezza per le gallerie della Rete stradale transeuropea [Gazzetta ufficiale L 167 del 30.04.2004].

Le gallerie sono infrastrutture importanti che facilitano la comunicazione fra le grandi regioni dell'Unione europea e svolgono un ruolo determinante per il funzionamento e lo sviluppo delle economie regionali.

Gli incidenti nelle gallerie, in particolare gli incendi, possono però avere conseguenze drammatiche e risultare estremamente costosi in termini di vite umane, aumento della congestione, dell'inquinamento e dei costi di riparazione.

Gli incendi nelle gallerie del Monte Bianco (Francia/Italia) e Tauern (Austria) nel 1999 e del Gottardo (Svizzera) nel 2001 hanno anche portato alla ribalta i drammatici rischi di incidenti in termini umani e economici: decine di morti e feriti e grandi assi europei inagibili per mesi o anni.

La Commissione Europea, preoccupata per la maggiore frequenza di incidenti aveva quindi annunciato nel Libro bianco del 2001 "La politica europea dei trasporti fino al 2010: il momento delle scelte" i requisiti minimi di sicurezza applicabili alle gallerie della rete stradale transeuropea.

La Direttiva (EN) fissa varie norme di sicurezza minima armonizzate che trattano aspetti organizzativi, strutturali, tecnici e operativi.

Le prescrizioni della Direttiva si applicano alle gallerie di lunghezza superiore a 500 m, in esercizio, in fase di costruzione o allo stato di progetto della rete stradale transeuropea (TEN). Le gallerie di lunghezza inferiore a 500 m non hanno in genere bisogno di essere dotate di sistemi di ventilazione meccanica in quanto i fumi caldi sprigionati dall'incendio si stratificano naturalmente.

8.1. Richiami Normativi

In Italia, se si escludono le Circolari emanate alla fine del 1999 sulla scia emotiva dell'incidente del Monte Bianco, dall'Ente ANAS (n. 7735 del 08.09.1999 - "Direttive per la sicurezza nelle Gallerie Stradali", poi anche sospesa dal TAR del Lazio il 20.01.00) e successivamente dal Ministero LL.PP. (Circolare n. 938 del 06.12.1999 - "Sicurezza della Circolazione nelle Gallerie Stradali con particolare riferimento ai veicoli che trasportano materiali pericolosi"), ed il decreto emanato sempre dal Ministero dei LL.PP. sulle disposizioni per l'attuazione degli interventi di miglioramento della sicurezza nelle gallerie (D.M. del 5 giugno 2001 "Sicu-

rezza nelle gallerie stradali"), allo stato attuale le uniche indicazioni progettuali riferibili alla sicurezza in galleria sono di carattere "infrastrutturale" (ossia di "genio civile"), e sono quelle fornite dalle nuove "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" (D.M. 5 novembre 2001).

In campo Internazionale oltre alla già citata "Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio relativa ai requisiti minimi di sicurezza per le gallerie della Rete stradale transeuropea - 2004/54/CE" costituiscono un utile riferimento raccomandazioni formulate da Organismi Internazionali come la World Road Association e la Commissione Economica per l'Europa delle NU, nonché la Direttiva Tedesca per l'equipaggiamento e l'esercizio dei tunnel stradali (1994), le Direttive Austriache per la progettazione degli impianti di ventilazione per le gallerie stradali (RSV 9.261 - Feb. 1997, aggiornate nel gen. 2001) e la recente Circolare Interministeriale Francese n. 2000-63 del 25.08.2000, relativa alla "Sicurezza nelle Gallerie della rete stradale Nazionale Francese".

In questo panorama si sono inserite le "Linee Guida per la progettazione della Sicurezza nelle Gallerie Stradali" emanate dall'ANAS nel giugno 2005, che recepiscono "di fatto" tanto le indicazioni quanto lo spirito ispiratore della Direttiva europea, estendendone l'applicabilità a tutte le gallerie di lunghezza maggiore di 500 m presenti sull'intera rete stradale nazionale aperta alla pubblica circolazione.

Secondo le "Linee Guida" ANAS la galleria del tratto stradale in esame deve soddisfare dei requisiti minimi di sicurezza, in gran parte corrispondenti a quelli precisati nella Fig. I della Direttiva 2004/54/CE, potendosene discostare, nei casi in cui questo sia praticamente impossibile (per motivi tecnici o a causa di "costi sproporzionati") previo una specifica analisi di rischio, che dimostri la scarsa utilità di una specifica dotazione o ne individui un insieme di interventi sostitutivi.

9. Principali caratteristiche del progetto infrastrutturale della galleria

Sono state analizzate tutte le dotazioni di progetto previste per la galleria in esame e per ognuna di esse si è valutata la rispondenza a norma; si è esaminata la

pendenza longitudinale massima, la composizione della sezione trasversale, i sistemi di evacuazione dei liquidi tossici o infiammabili, le caratteristiche ignifughe degli elementi strutturali, le dotazioni di sicurezza, le piazzole di sosta, la segnaletica luminosa, le dotazioni antincendio, i sistemi di comunicazione.

Per brevità di trattazione non ci si sofferma su tutti gli aspetti impiantistici ma si evidenzia solamente che la ventilazione prevista nel progetto in argomento è di tipo longitudinale ed è costituita da ventilatori disposti sulla sommità della calotta ad una interdistanza di 250 m.

Ovviamente tra tutti gli aspetti spicca particolarmente l'elevata pendenza longitudinale ed è per questo che sarà analizzata in dettaglio.

9.1. Valutazione sulla rispondenza a norma

Essendo una strada di montagna il DM del 2001 recita che "Le norme di questo testo si riferiscono alla costruzione di tutti i tipi di strade previste dal Codice, con esclusione di quelle di montagna collocate su terreni morfologicamente difficili, per le quali non è generalmente possibile il rispetto dei criteri di progettazione di seguito previsti"; in questi casi i criteri da rispettare ricadono nelle buone regole di progettazione.

La Direttiva 2004/54/CE impone di non superare un valore di pendenza longitudinale del 5%, ed allo stesso tempo di provvedere all'adozione di misure di sicurezza supplementari, da valutare tramite una Analisi di rischio, se questa eccede il 3%.

Le "Linee guida" ANAS fanno propria la precedente indicazione della Direttiva comunitaria.

Pertanto, la galleria in esame non rientra nei limiti del DM e nemmeno in quelli della Direttiva 2004/54/CE ed è necessaria l'analisi del rischio.

10. Analisi del rischio in galleria

La metodologia dell'analisi di rischio costituisce un corpus ordinario di principi e leggi mirato alla determinazione del livello di rischio di un dato sistema in funzione delle caratteristiche strutturali ed impiantistiche ad esso proprie e della destinazione d'uso.

La determinazione del livello di rischio è ottenuta attraverso la definizione di idonei indicatori di rischio

rappresentativi dei danni conseguenti ad eventi critici iniziatori possibili e delle probabilità con le quali i danni si possono verificare confrontati con prefissati criteri di accettabilità del rischio.

La strada in progetto non appartiene alla rete di trasporto europea TEN, e quindi la galleria non è tenuta a rispettare le prescrizioni della Direttiva 2004/54/CE; tuttavia, come richiamato dalle "Linee guida" ANAS, le Direttive devono essere considerate come criteri di corretta progettazione.

In tale veste risulta opportuno verificarne l'applicazione nel caso in esame.

10.1. Valutazione globale del livello di rischio delle gallerie. Norma austriaca (RVS 9.261)

Per disporre di un quadro generale e sintetico del livello di rischio connesso alle gallerie in progetto, con riferimento alle loro caratteristiche di sicurezza, tanto infrastrutturali che impiantistiche, si è applicata la procedura proposta dalla Normativa Austriaca "RVS 9.261".

La procedura, creata per orientare il progettista nelle scelte progettuali relative all'impianto di ventilazione (elemento principe tra le dotazioni impiantistiche di sicurezza delle gallerie), risulta particolarmente interessante in quanto rappresenta un modo internazionalmente riconosciuto da anni per la valutazione del livello di rischio in galleria.

L'indice di sicurezza proposto da tale normativa si ottiene considerando alcune misure caratterizzanti le proprietà costruttive e direttamente connesse alle capacità di estrazione di fumi, alle opportunità di fuga, all'accessibilità dall'esterno, nonché la disponibilità di una serie di dispositivi di rilevamento, comunicazione e controllo.

Tutte queste componenti vengono opportunamente pesate a formare un Coefficiente di sicurezza da confrontare con il valore minimo da garantire.

Tale coefficiente minimo è associato alla classe di pericolo che caratterizza la galleria e che deriva da una serie di fattori come il traffico orario che è raggiunto o superato per 30 ore l'anno a 10 anni dall'apertura, dall'esercizio mono o bidirezionale del tunnel, dalla presenza di intersezioni o cambi corsia all'interno dello stesso o nelle sue adiacenze, nonché dal livello del traffico giornaliero di mezzi con merci pericolose da cui è interessato.

In particolare si è assunto invece del traffico della 30ª »

ora di punta all'anno 2021 (considerando l'apertura al traffico della strada nel 2011), il traffico d'ora di punta (sempre al 2021) stimato dai dati esposti nello Studio di traffico (TGM), elaborati in base ai dati relativi alla ripartizione oraria del traffico.

Il traffico di mezzi con merci pericolose non è stato preso in considerazione; in via del tutto eccezionale il passaggio di tali veicoli potrebbe avvenire con delle misure straordinarie di sicurezza legate al singolo evento, per tale motivo nelle considerazioni seguenti il traffico di cui sopra si considererà assente.

10.2. Determinazione del rischio potenziale e del coefficiente di sicurezza

Il rischio potenziale e il coefficiente di sicurezza derivano da formulazioni empiriche che legano tra loro tutte le caratteristiche strutturali e di traffico della galleria; in particolare il rischio potenziale dipende da traffico, della trentesima ora, direzione del traffico, punti critici (zone di influenza di corsie, incroci nel tunnel e in prossimità degli imbocchi), ammissione al

Tab. 1 Rischio potenziale e coefficiente di sicurezza

| Calcolo del pericolo potenziale $G=MSV * G_R * G_K * G_G$ | |
|---------------------------------------------------------------|-------------|
| MSV: proiezione al 2018 | 725 |
| Grg: Traffico bidirezionale | 2 |
| Gkkvn: incrocio subito dopo la galleria | 2 |
| Gg-10: al massimo 10 trasporti al gg. di materie pericolose | 1 |
| RISCHIO POTENZIALE | 2900 |
| Calcolo del pericolo potenziale $S=S_R * S_W * S_B$ | |
| Rq=H/5 fattore sezione tunnel | |
| RA =800/a fattore estrazione fumi | |
| SR=RQ+ RA fattore ventilazione e fumi | 2.18 |
| WF fattore di fuga | |
| WE accessi per i soccorsi | |
| SW=WF+ WE fattore distanza soccorso e vie di fuga | 2.34 |
| Bw: Centro di controllo presidiato "H24" | 0 |
| Bu: Trasmissione immagini via Tv a circuito chiuso | 0.5 |
| Ba: postazione d'emergenza presidiata | 0 |
| Bst: Rilevatore congestione del traffico | 0.5 |
| Bg: Rilevatore automatico di materiali pericolosi | 0 |
| Bo: Presidio Vigili del Fuoco agli imbocchi | 0 |
| Bb: allarme antincendio automatico | 0.5 |
| Bs: Rilevatore di fumo e temperatura per incendi senza fiamme | 0.5 |
| Bt: trasmissione radio in galleria senza cavo | 0.5 |
| Sb=1+ Σ B (misure relative alla gestione) | 8.02 |

transito e frequenza dei trasporti di merci pericolose. Il coefficiente di sicurezza deriva invece da fattori di estrazione dei fumi, componenti delle vie di fuga e accessi per i soccorsi, componenti d'esercizio.

A completamento di quanto sopra esposto, nella **Tab. 1**, viene mostrato in dettaglio il calcolo del rischio potenziale e del coefficiente di sicurezza.

10.3. Raffronti tra coefficiente di sicurezza e potenziale pericolo

Di seguito si riporta nella **Tab. 2** il coefficiente di sicurezza richiesto a seconda del rischio potenziale di pericolo: Come si deduce dalle Norme, il coefficiente minimo richiesto per il pericolo potenziale calcolato non è sufficiente; infatti ci troviamo nella III Classe di Pericolo classificata come *Tunnel con traffico particolarmente intenso e rischi supplementari*.

Tab. 2 Rischio potenziale e coefficiente di sicurezza

| Classe di pericolo | Pericolo potenziale | Coeff. di sicurezza minimo |
|--------------------|---------------------|----------------------------|
| I | Fino a 1000 | 1 |
| II | Da 1001 a 2500 | 5 |
| III | Da 2501 a 10000 | 10 |
| IV | Oltre 10000 | 25 |

Nel caso in cui il coefficiente minimo richiesto non venga raggiunto, la normativa impone di adottare delle misure supplementari riguardanti le apparecchiature di sicurezza ed il sistema di ventilazione.

10.4 Soluzioni possibili

Le Linee Guida Anas impongono che per gallerie stradali di lunghezza superiore a 1000 m e con volume di traffico superiore a 2000 veicoli per corsia deve essere installato un impianto di ventilazione meccanico.

Inoltre, la scelta della tipologia del sistema di ventilazione trasversale o semi trasversale, oltre che essere basato sulle caratteristiche geometriche, architettoniche e di traffico deve essere sopportata dai risultati forniti dall'analisi del rischio.

Per tale motivo potrebbe essere quindi adottato un sistema di ventilazione semitrasversale in modo tale che l'aria pura venga immessa distribuendo la portata di mandata lungo la galleria, mentre quella aria viziata venga

mandata all'esterno dai portali o attraverso camini. Premesso che tutte le indicazioni dettate dalle norme Austriache siano rispettate, per esempio sulla velocità massima della corrente d'aria, la reversibilità del sistema, ecc, sarà sufficiente, al fine di un innalzamento del coefficiente di sicurezza, prevedere che l'immissione d'aria pura in galleria sia realizzata attraverso delle bocchette registrabili che consentano una regolazione lineare della portata d'aria.

Inoltre, come suggerito dall'allegato al supplemento della RVS 9.261 pubblicata nel 2001, si potrebbe adottare un sistema di ventilazione semitrasversale progettato sia per l'immissione dell'aria pura che per l'aspirazione dell'aria viziata.

Ad ogni modo, come si evince dalla Tab. 1, sono tanti i fattori che entrano in gioco nella determinazione del coefficiente di sicurezza e dalla modifica di soli alcuni di essi si avrebbero aumenti sostanziali che porterebbero il suo valore al di sopra di quello minimo previsto (Tab. 2).

11. Considerazioni conclusive

L'analisi di sicurezza ha evidenziato due aspetti molto importanti ossia la necessità della corsia di arrampicamento per i mezzi pesanti e la modifica per l'impianto di ventilazione.

Si tratta quindi di modifiche molto rilevanti che incidono pesantemente sull'infrastruttura dal punto di vista strutturale e quindi economico.

Inoltre, è importante sottolineare come il passaggio di mezzi contenenti sostanze pericolose non sia stato preso in considerazione; se invece si fossero considerati i possibili passaggi di mezzi contenenti sostanze pericolose le dotazioni impiantistiche avrebbero dovuto essere di tutt'altro genere e quindi le modifiche strutturali avrebbero comportato ulteriori incrementi economici per la realizzazione dell'opera.

Quanto sopra esposto rappresenta uno studio a carattere preliminare sull'analisi di sicurezza della galleria presa come riferimento. A completamento del lavoro svolto sarebbe stato interessante approfondire gli aspetti indiretti legati alla sicurezza stradale che intervengono comunque e con rilevata importanza nel problema dell'analisi.

Per esempio il comportamento dei conducenti in un tratto di strada sostanzialmente rettilineo con una forte pendenza longitudinale, come quella esaminata del 9,5%; analizzare quindi il numero dei sorpassi, quelli effettuati in sicurezza e quelli avventati, il tempo medio in coda ad un veicolo pesante sia in salita che in discesa. Inoltre, nel caso in cui si lasci in esercizio la vecchia sede stradale, sarebbe interessante sapere quanti veicoli leggeri e quanti pesanti rinunciano alla strada "Nuova" per la "Vecchia"; infatti non è detto che solo i veicoli leggeri scelgano la vecchia sede per evitare di incontrare mezzi pesanti che marciano a velocità molto ridotta, ma potrebbe anche verificarsi che alcuni dei pesanti, proprio per evitare di affrontare un tratto altimetrico così difficile e pericoloso, per esempio per il surriscaldamento dei freni in discesa, scelgano anche loro la vecchia sede.

In virtù quindi di questo meccanismo indotto dalla realizzazione delle variante potrebbe quindi verificarsi che la maggior parte dei veicoli, sia leggeri che pesanti, continuino per la vecchia sede non utilizzando più la nuova. In quest'ultimo caso la Stazione Appaltante avrebbe quindi realizzato un intervento che sulla carta era indispensabile per una serie di fattori, ma in pratica inutile perché inutilizzato.

Come evidenziato dall'analisi effettuata, riscontrare in una fase progettuale avanzata (progetto esecutivo) delle carenze progettuali e di sicurezza per l'infrastruttura che si sta per realizzare, da un lato permette di sanare e migliorare alcuni aspetti prima dell'apertura al traffico, ma dall'altro potrebbe essere "troppo tardi" in quanto i finanziamenti necessari ad effettuare modifiche strutturali importanti potrebbero non essere disponibili.

Quanto sopra detto vale ovviamente per le Stazioni Appaltanti che, effettuando l'analisi di sicurezza nelle fasi preliminari di progettazione e al più negli studi di fattibilità, potrebbero programmare e stanziare preventivamente le somme corrette per la realizzazione delle opere.

Parallelamente, anche per le Imprese di Costruzioni che rispondono a bandi di gare di appalto, appare un passo importante quello di analizzare i documenti progettuali da un punto di vista comune, quello della "sicurezza per entrambe". ■