

# AFGHANISTAN e VALANGHE

**Studio S.G.N.**  
**Servizi Geologici e Nivologici**  
dott.geol. Aldo Bariffi  
dott.geol. Matteo Lambrugo  
(collaboratore esterno)  
Via Martiri della Libertà 49  
23822 Bellano Lc  
albarsgn@libero.it

## IL PROGETTO DI RIABILITAZIONE DELLA STRADA DEL SALANG PASS

### **AFGHANISTAN AND AVALANCHES**

#### **Rehabilitation project of the salang pass road**

*The Salang Pass road was built by the Soviets for military purposes in the 60s of the last century. It crosses the Hindu-Kush mountain range and connects the northern provinces of Afghanistan and Asia with the capital Kabul. Today it is an essential connection for the country's economy. In fact, a lot of goods, from fuel to opium, go through this road. The average count of daily transits is about 6000 vehicles, mainly trucks and cars, number that will certainly increase in the coming years.*

*During the winter, the temporary closure of this road axis due to weather conditions or avalanche occurrences, causes sudden spikes in the costs of raw materials in the capital. Exposure to avalanche danger, which affects a significant portion of this road, represents one of the main problems that the Afghan Ministry of Transport intends to solve, thanks to the interest and economic support of the World Bank. A big boost in this sense came, unfortunately, from the catastrophic February 2010, when, within a week, a snowstorm hit the area, causing abundant snowfall accompanied by numerous avalanches. In that event, 171 victims were recorded on the Salang road, with vehicles blocked by snow and / or caught by avalanches. Currently, the average avalanche risk level on the Salang road is around 20 killed per year [GRF Davos 2017 report]. In December 2018 I was contacted by an important Lebanese company to develop the avalanche study to support the Salang road rehabilitation project. In the following article we will describe the technical approach we have adopted, in a difficult context like the Afghan one.*

La strada del Salang Pass è stata realizzata per scopi militari dai sovietici negli anni '60 del secolo scorso. Essa attraversa la catena montuosa dell'Hindu-Kush e mette in contatto le province settentrionali afgane e quelle asiatiche, derivate dallo smembramento dell'ex Unione Sovietica, con la capitale Kabul. Oggi è un collegamento fondamentale per l'economia del Paese. Attraverso questa strada transitano, infatti, un gran numero di merci, che vanno dal carburante all'oppio. Il conteggio medio dei transiti giornalieri è di circa 6000 mezzi, principalmente camion e auto, sicuramente in aumento nei prossimi anni. Durante l'inverno, la chiusura temporanea di questo asse viario per cause legate alle condizioni meteorologiche, determina, nella capitale, improvvise impennate nei costi delle materie prime. L'esposizione al pericolo di valanghe, che interessa una porzione rilevante di questa strada, rappresenta uno dei problemi principali che il Ministero dei Trasporti afgano intende risolvere, grazie all'interesse e al supporto economico della World Bank. Un grosso impulso in questo senso è arrivato, purtroppo, dal catastrofico febbraio 2010, quando, nell'arco di una settimana, una tempesta di neve ha interessato l'area, provocando abbondanti precipitazioni nevose accompagnate da numerose valanghe. In quell'occasione furono registrate 171 vittime sulla strada del Salang, con i mezzi bloccati dalla neve e/o travolti dalle valanghe. Attualmente, il livello medio di rischio valanga sulla strada del Salang, è stato calcolato in circa 20 morti all'anno (report GRF Davos 2017). Nel mese di dicembre 2018 sono stato contattato da un'importante Società di Ingegneria con sede a Beirut e con diverse filiali, soprattutto nell'area medio-orientale, per sviluppare la parte relativa al problema valanghe nell'ambito del progetto di riabilitazione della strada del Salang. La trattativa iniziale non è stata semplice, soprattutto per le incertezze legate alla disponibilità di una cartografia adeguata e di informazioni affidabili, che avrebbero potuto condizionare sia la metodologia sia i risultati. Nell'articolo che segue verrà descritto, a grandi linee, l'approccio tecnico che lo scrivente ha adottato, in un contesto difficile come quello afgano.



## INQUADRAMENTO DELL'AREA E DEL PROBLEMA

L'economia afgana dipende in larga misura dalla transitabilità delle strade interne che collegano le diverse province. Uno di questi importanti assi viari è rappresentato dal "Salang corridor". Si tratta di un percorso di 85 km, che attraversa la catena montuosa dell'Hindu-Kush in corrispondenza del Salang Pass, a circa 3.500 metri di quota, e permette il collegamento tra la capitale Kabul e le province settentrionali dell'Afghanistan.

L'Hindu-Kush è una catena montuosa che si estende per circa 800 km in direzione E-W, con altitudini comprese tra 4.000 e 7.800 metri. Essa rappresenta una vera e propria barriera fisica tra le regioni centrali (aree di Parwan, Jalalabad, Kabul a sud e

Baghlan, Mazarsharif, Kunduz a nord). Esiste anche un percorso alternativo che attraversa la catena dell'Hindu-Kush: la strada Baghlan - Bamiyan (B2B), di 152 km, destinata in genere al traffico leggero e con un ridotto volume di passaggi, stimato intorno a 800 veicoli al giorno. Anch'essa risulta esposta al pericolo valanga ed è considerata comunque di importanza secondaria.

La costruzione della strada del Salang risale al 1964. In particolare, il vecchio tracciato preesistente, venne allargato e portato a 7 metri, si costruirono delle gallerie paravalanghe (21 in totale) e un lungo tunnel di 2.511 metri, che consentiva di bypassare il passo ad una quota di circa 3.400 m., ed evitare altre zone valanghivo pericolose. Quando venne costruito, il tunnel del Salang Pass, era il più alto del mondo.

Nonostante le gallerie paravalanghe e il tunnel, ogni anno la strada del Salang, soprattutto nella parte al di sopra dei 2.700 metri di quota e per un tratto di circa 30 km, sia a nord che a sud del passo, viene interessata da abbondanti nevicate, accumuli di neve soffiata e valanghe che interrompono spesso la viabilità, anche per parecchi giorni. Ciò si riflette negativamente sull'economia locale in quanto sono sufficienti 2 o 3 giorni di chiusura della strada per vedere a Kabul i prezzi del carburante e dei beni di prima necessità aumentare anche del 30%. Alcuni dati riportano un costo di 2 milioni di \$ per ogni giorno di chiusura della strada.

Per queste ragioni la riabilitazione della strada del Salang è diventata urgente e molto più critica di quanto non lo fosse in precedenza. Il Governo dell'Afghanistan, con il supporto finanziario della Banca Mondiale, ha pertanto deciso di affrontare concretamente anche il problema del rischio di valanga, con specifico riferimento al tratto di strada al di sopra dei 2.700 m. (Figg. 1,2)

## METODOLOGIA DI LAVORO

Lo studio di valutazione del rischio di valanga lungo la strada del Salang, nel tratto compreso tra la progressiva 32+550 e 62+747, è stato redatto con lo scopo di supportare il progetto di riabilitazione di questa importante via di comunicazione. Esso è stato sviluppato secondo i seguenti punti:

### Fase 1

Raccolta della documentazione esistente (cartografia - dati nivometeo - catasto valanghe e rapporti sugli incidenti occorsi - valutazione studi pregressi);  
Elaborazione, interpretazione e presentazione dei risultati, con stesura preliminare della carta di localizzazione probabile di valanga in scala 1:10.000;  
Sopralluogo diretto con raccolta di testimonianze locali per la verifica, rettifica/ conferma e calibrazione dei risultati preliminari e stesura cartografia definitiva;  
Simulazioni di valanga lungo sezioni critiche per definire le caratteristiche dina-

Fig.1 - Afghanistan. E' visibile la catena dell'Hindu-Kush e la posizione del Salang Pass.

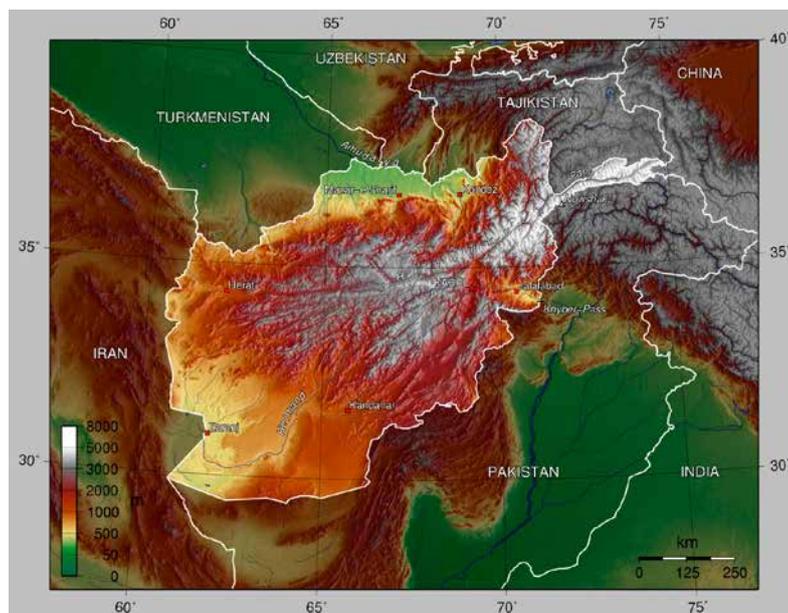
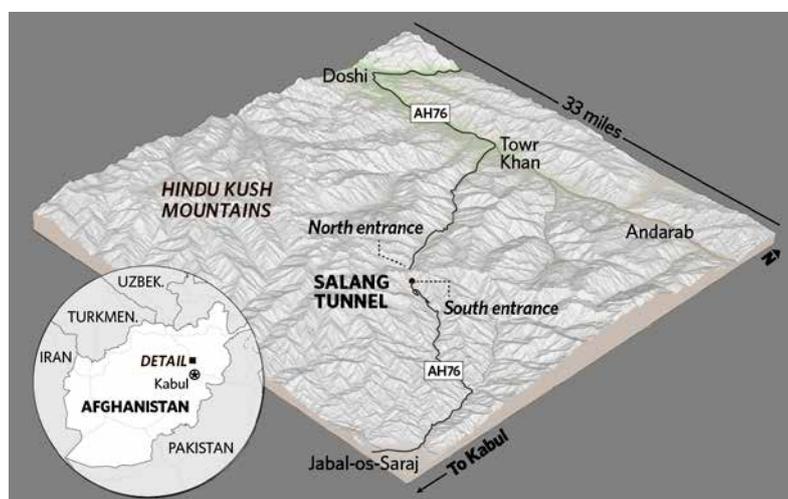


Fig.2 - Rappresentazione 3D dell'area di studio.



miche dei fenomeni valanghivi (pressioni, velocità, altezza di flusso, ecc.); Individuazione delle soluzioni possibili per la mitigazione del rischio, con raccomandazioni progettuali preliminari, in particolare per quanto riguarda gli aspetti costruttivi delle gallerie paravalanghe e le nuove possibili implementazioni e soluzioni;

Calcolo dei carichi di progetto per le nuove gallerie paravalanghe e/o per la riabilitazione di quelle esistenti, di concerto con il dipartimento strutturale, incaricato dello sviluppo del progetto.

**Fase 2 (in attesa di realizzazione)**

Analisi di approfondimento della dinamica valanghiva, condotte mediante simulazioni 2D, per casi specifici individuati attraverso lo studio della fase 1, prima e dopo l'intervento/i di mitigazione proposto/i, o per definire le procedure operative gestionali (distacco artificiale), da concordare con la committenza.

**ASPETTI CRITICI CONNESSI CON LO SVILUPPO DELLO STUDIO**

Fin da subito è apparsa evidente la difficoltà di reperimento di basi cartografiche adeguate, da utilizzare come modello digitale del terreno (DTM). Le stesse basi cartografiche dell'USGS, risalenti al 2005, sono alla scala 1:250.000 e utilizzabili solo per scopi generali. Di concerto con la committenza sono state quindi recuperate le basi DTM, ricavate da immagini satellitari. Dette basi sono state importate nel software IdrisiGis, che ha tuttavia evidenziato alcune anomalie nel trattamento e restituzione del DTM. Ciò ha reso necessario l'applicazione di filtri correttivi, che hanno consentito di ottenere un compromesso accettabile tra risoluzione e trattamento del dato ai fini del lavoro da svolgere nella prima fase.

La committenza ha poi messo a disposizione il rilievo topografico di dettaglio, eseguito lungo i 30 km circa di strada oggetto dello studio, con un'estensione laterale di circa 50-100 metri rispetto all'asse viario. Tale rilievo è stato integrato nel DTM

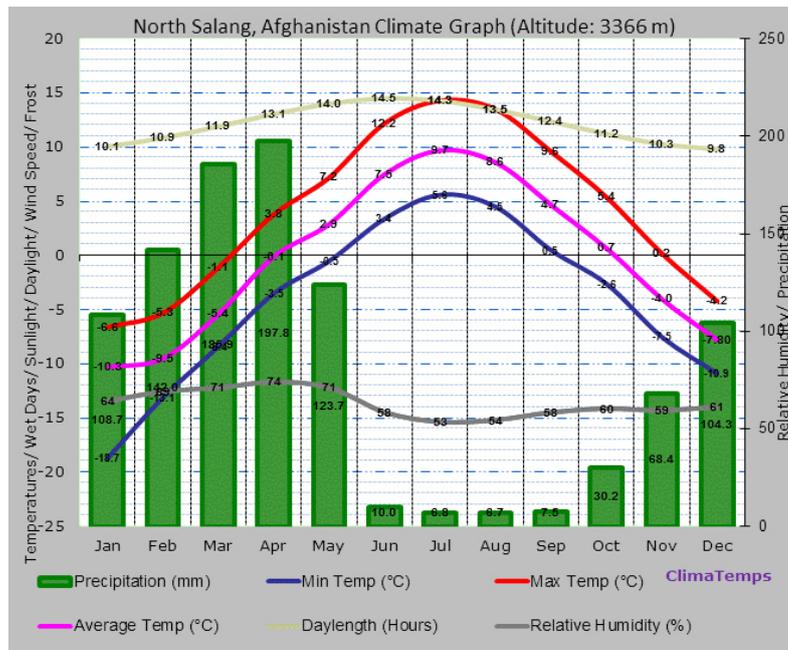


Fig.3 - Ricostruzione climatica - North Salang Met Station (3366 m).



Fig.4 - Vista di un tratto della strada del Salang in inverno.



Fig.5 - Valanga sulla strada del Salang.

e georeferenziato con coordinate UTM. Altra documentazione cartografica ha dovuto essere reperita con particolari ricerche sulla rete, attingendo ai seguenti riferimenti: Open Street Map data (open source);

Orthophoto high resolution (ESRI Digital Globe - Arcinfo); Google Earth Pro (open source). Il reperimento dei dati nivometeo ha ugualmente posto diversi problemi, non sempre risolvibili, in quanto i dati forniti

## OPERE DI DIFESA E DISTACCO ARTIFICIALE

sono risultati troppo generici, privi di continuità e raccolti senza un coordinamento specifico (Fig. 3). Essi sono riferiti a valori medi (ad esempio temperature e spessori neve). Non è risultato possibile, pertanto, elaborare dati statistici di riferimento per il calcolo degli spessori di neve da introdurre nei calcoli dinamici sulle valanghe per determinati tempi di ritorno, che hanno dovuto, pertanto, essere estrapolati e stimati. Un altro elemento critico è stata l'assenza di un catasto valanghe a cui fare riferimento. Ciò si è tradotto nell'impossibilità di operare correlazioni tra eventi valanghivi occorsi e condizioni nivometeo scatenanti, o calibrare meglio i parametri da introdurre nelle simulazioni dinamiche per la ricostruzione dei fenomeni in back analysis.

A livello generale è stato osservato come valori di temperatura inferiori ai  $-30^{\circ}\text{C}$  siano comuni durante la stagione invernale, che risulta concentrata soprattutto nei primi 3 mesi dell'anno mentre, in primavera, a seguito della posizione geografica ( $35^{\circ}$  di latitudine nord che corrisponde alla latitudine del nord Africa), l'irraggiamento solare diventa molto forte, fin dal mese di marzo. Ciò provoca frequenti valanghe primaverili. Infine, la presenza di tempeste di neve, tra gennaio e febbraio, favorisce gli accumuli nevosi lungo la carreggiata, con l'inevitabile e spesso prolungato blocco del traffico. Mediamente, la neve cumulata è stata stimata in circa 500-600 cm/anno alla quota dei 3.000 metri, con uno spessore massimo  $H_s$  di circa 300 cm. Allo stato attuale non esiste un servizio di monitoraggio valanga lungo la strada del Salang. In alcuni casi il servizio di manutenzione (Road Maintenance Service) organizza interventi di distacco artificiale con il supporto dell'esercito, mediante l'uso di razzi esplosivi ma ciò avviene senza una programmazione ed organizzazione particolari.

La ricostruzione di alcuni eventi valanghivi pregressi si è appoggiata pertanto unicamente a documentazioni generali e rapporti, che hanno riguardato eventi critici e/o eccezionali, avvenuti negli anni 2002, 2009, 2010, 2015, 2017 (Figg. 4,5). In particolare, quello del febbraio 2010, causò 171 vittime nell'arco di pochi giorni. Quella catastrofe fu il risultato di una serie di coincidenze concomitanti negative, legate alle condizioni della strada, alla rapidità negativa dell'evoluzione meteorologica, con nevicate abbondanti, accompagnate da forti venti e temperature molto basse. La strada venne interessata da numerose valanghe e i soccorsi incontrarono molte difficoltà. Molte persone morirono assiderate nella propria vettura bloccata dalla neve, altri asfissati all'interno delle gallerie e del tunnel del Salang, laddove le valanghe avevano ostruito le uscite ed altri vennero travolti dalle valanghe, in particolare un autobus con 50 persone. Fu una vera catastrofe e che potrebbe ancora ripetersi, a fronte delle condizioni impossibili in cui versa la strada e dell'elevato volume di traffico esistente.

## STUDI VALANGHIVI PREGRESSI E CONSIDERAZIONI

A lavoro iniziato siamo venuti a conoscenza di alcuni studi pregressi, realizzati in tempi relativamente recenti per conto del governo afgano o della banca mondiale, sul tema delle valanghe, uno dei quali condotto nel 2017 dalla Società GRF (Global Risk Forum) di Davos, facente capo al Dott. W. Amman, già direttore dell'Istituto Federale per lo Studio della Neve e delle Valanghe e riferito proprio all'area di interesse. Tale studio è risultato indubbiamente utile per la messa a fuoco del problema nelle sue linee essenziali. Esso ha evidenziato che, la strada del Salang, nei 30 km oggetto di valutazione, è soggetta a rischio

valanga, anche in presenza di condizioni considerate ordinarie, valutate con spessori di neve al distacco compresi tra 0,30 e 0.50 cm. In tali situazioni la pressione delle valanghe, simulate con il software RAMMS, è risultata, infatti, sufficiente a danneggiare un mezzo in transito o a spingerlo fuori dalla carreggiata, con il possibile conseguente trascinarsi a valle. GRF ha effettuato il calcolo del rischio sulla base di alcuni parametri legati al transito veicolare, alla velocità dei mezzi, all'estensione dei tratti a rischio valanga, ai costi di manutenzione delle opere di mitigazione esistenti (gallerie-tunnel), sulla base anche del valore attribuito alla vita umana in Afghanistan, stabilita in \$ 500.000 per persona, contro un valore di \$ 3.500.000 dei paesi occidentali. I risultati emersi hanno evidenziato che, il rischio valanghe calcolato per la strada del Salang, è di circa 20 morti/anno, ovvero pari a 10 milioni di dollari/anno. A fronte di ciò, le conclusioni di tale studio hanno portato a suggerire l'implementazione di un servizio di monitoraggio (Avalanche Warning Service), abbinato al distacco artificiale, piuttosto che alla proposta di opere di protezione e mitigazione del rischio valanga, che richiederebbero elevati investimenti.

Alcune considerazioni, sullo studio effettuato da GRF, sono necessarie per capirne i limiti nel contesto reale:

a) l'estrema difficoltà di implementazione di un Avalanche Warning Service nel contesto afgano, dove l'aleatorietà e il clima di perenne instabilità sociale e politica non consentirebbero lo sviluppo di quelle garanzie di serietà, affidabilità, coordinamento e continuità nel tempo che un servizio di questo tipo richiederebbe; inoltre, la gestione del rischio valanga attraverso il solo monitoraggio e il distacco artificiale, nel contesto specifico, comporterebbe una pressione psicologica e un carico di responsabilità, soprattutto durante i primi anni, molto elevato con un conseguente e molto probabile incremento dei giorni di chiusura della strada per mancanza di esperienza e di validi riferi-

Tab.1 - a) Classificazione standard CAA;  
b) Classificazione CAA adattata.

 0-19.9/61-90	<b>a</b>	 0-11.9 (runout zone)	<b>b</b>
 20-24.9/56-60.9		 12-19.9/60-90 (avalanche track)	
 25-29.9/51-55.9		 20-27.9/52-59.9 (avalanche track)	
 30-34.9/46-50.9		 28-32.9/45-51.9 (release zone LF)	
 35-45.9		 33-44.9 (release zone HF)	

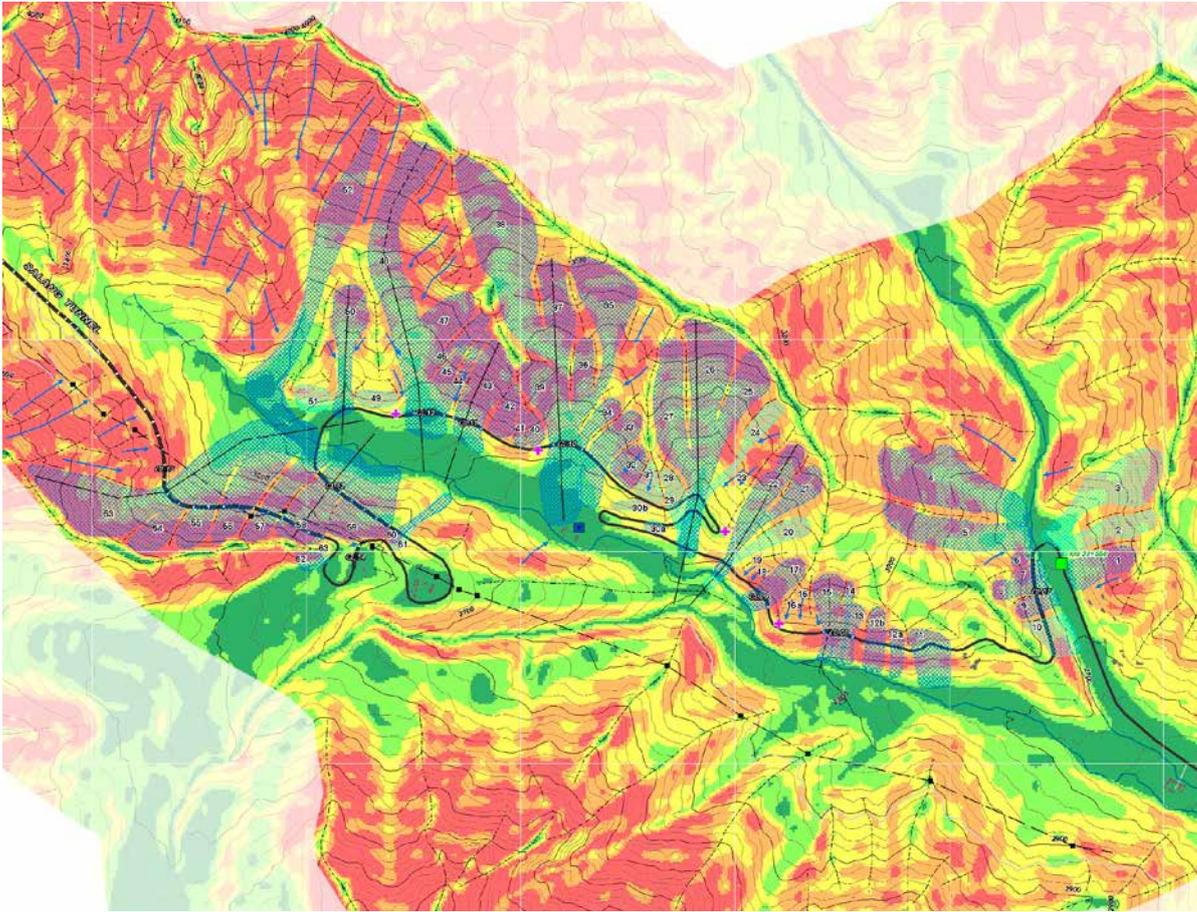


Fig.6a - Carta clivometrica con localizzazione probabile di valanga (estratto tavola 3c, quadro meridionale con sezioni critiche di riferimento); in basso la legenda.

menti pregressi. E questo nella migliore delle ipotesi. Non solo ma a tutto ciò si aggiungerebbe anche il problema della sismicità elevata del territorio, che contribuisce ad aumentare le probabilità di distacchi spontanei inaspettati e/o difficilmente gestibili;

b) nessun sopralluogo diretto è stato effettuato durante lo sviluppo dello studio sopraccitato per la verifica e validazione di assunzioni e risultati;

c) il calcolo del rischio è stato effettuato considerando una velocità dei mezzi in transito, nei tratti a rischio, pari a 20 km/h. All'atto pratico, dopo il sopralluogo effettuato dallo scrivente, tale valore è risultato in molti casi sovrastimato, soprattutto per i mezzi pesanti. Inoltre, nel calcolo non sono stati considerati eventuali blocchi/arresti della circolazione a seguito di accumuli di neve lungo la carreggiata o per caduta di valanga, cosa risultata abbastanza frequente, come testimoniato dal servizio di manutenzione stradale. In considerazione dei molti tratti di strada ravvicinati tra loro e potenzialmente

interessati dalle valanghe, ciò si traduce in una evidente sottostima del rischio calcolato. Infatti, in caso di blocco della circolazione, molti mezzi possono risultare esposti al pericolo per lungo tempo, con un incremento drastico del rischio, che tenderebbe all'unità, soprattutto per il tratto di strada oggetto del nostro studio.

Il traffico veicolare lungo la strada del Salang è passato da un volume di circa 1.000 veicoli/giorno degli anni sessanta del secolo scorso ai 4.000-6.000 odierani. Le previsioni sono per un ulteriore incremento nei prossimi anni, con punte di 9.000-10.000 veicoli/giorno. L'attuale progetto di riabilitazione della strada del Salang si inserisce in questo contesto, così come l'evidente necessità di trovare soluzioni adeguate e realistiche da proporre per la mitigazione del rischio valanga ed è pertanto con questo obiettivo che è stato sviluppato il lavoro in oggetto.

## ANALISI E VALUTAZIONI

L'elaborazione cartografica, effettuata con

### LEGENDA

- Salang road existing
- Salang gallery / tunnel existing and ID
- Building
- Secondary road
- North end point km 62+747
- South start point km 32+550
- Power line
- Emergency shelter
- Meteorological station - north Salang and south Salang
- River
- Lake
- Major ridge line

### SLOPE ANGLE CLASS IN DEGREE

Reclassification based on CAA rules (adapted)

- 0-12° (runout zone)
- 12°-20° / 60°-90° (avalanche track)
- 20°-28° / 52°-60° (avalanche track)
- 28°-33° / 45°-52° (release zone - low frequency)
- 33°-45° (release zone - high frequency)

### AVALANCHE SITE

Potential risk for the road

- Avalanche path
- High frequency site and ID (1-5 yr.)
- Low frequency site and ID (5-30 yr.)

ID counterclockwise for south Salang area  
ID clockwise for north Salang area

— Avalanche site section

COORDINATE SYSTEM: WGS_1984_UTM_Zone_42N WKID: 32642 Authority: EPSG		GRID INTERVAL: 1.000 m
500 250 0 500 M		CONTOUR INTERVAL: 25 m

OPERE DI DIFESA E DISTACCO ARTIFICIALE

ID avalanche	Risk parameters (general)	Priority P1	Priority P1	Weight	Priority P2	Priority P2	Weight	Priority P3	Priority P3	Weight
23-24-25 26-27	Rp	Rp			Rp			Rp		
	Slope angle	33°-45° (+3)		3	Mix	1	1	28°-33° or 45°-52°		1
	Slope aspect for drifting snow	E - N		1	S	1	1	W		1
	Slope morphology	channelled	1	1	irregular	1	1	open slope	1	1
	Extension of release zone	> 25.000 m <sup>2</sup>	1	1	10.000 - 25.000 m <sup>2</sup>	1	1	< 10.000 m <sup>2</sup>	1	1
	Mean elevation of release zone	> 3.500 m	1	1	3.000 - 3.500 m	1	1	< 3.000 m (+3)	3	3
	Documented events and references	yes if provided by R.M.S. (+5)	5	5	not clear		1	no if provided by R.M.S. (+5)		5
	Release zone crosses the road	yes	1	1	no, but very close to it		1	no	1	1
	track zone crosses the road	yes	1	1	yes, but with a long way		1	no	1	1
	Runout zone crosses the road	no	1	1	yes		1	yes	1	1
	Dangerous slope downstream of the road	yes (+3)	3	3	no	1	1	no	1	1
	possible obstruction of gallery (entry - exit)	yes	1	1	uncertain		1	no	1	1
	Avalanche can interest road in different part along the same avalanche track	yes	1	1	occasional		1	no		1
	Management control is required for road (artificial avalanche release)	no	1	1	no	1	1	yes (+3)		3
	Check control for avalanche occurrences is required at least for a winter season before planning the work	no	1	1	desirable		1	yes (+3)		3
Exposure time	long (>100 m)	1	1	medium (20-100 m)	1	1	short (<20 m)	1	1	
benefit/cost ratio (estimated)	high (+3)		3	medium		1	low	1	1	
<b>TOTAL</b>		<b>13</b>	<b>26</b>		<b>5</b>	<b>15</b>		<b>4</b>	<b>26</b>	
Total (percent)		19			7			6		
<b>ID avalanche</b>	<b>Risk parameters (general)</b>	<b>Priority P1</b>	<b>Priority P1</b>	<b>Weight</b>	<b>Priority P2</b>	<b>Priority P2</b>	<b>Weight</b>	<b>Priority P3</b>	<b>Priority P3</b>	<b>Weight</b>
28-29	Rp	Rp			Rp			Rp		
	Slope angle	33°-45° (+3)		3	Mix	1	1	28°-33° or 45°-52°	1	1
	Slope aspect for drifting snow	E - N		1	S	1	1	W	1	1
	Slope morphology	channelled	1	1	irregular	1	1	open slope	1	1
	Extension of release zone	> 25.000 m <sup>2</sup>	1	1	10.000 - 25.000 m <sup>2</sup>	1	1	< 10.000 m <sup>2</sup>	1	1
	Mean elevation of release zone	> 3.500 m	1	1	3.000 - 3.500 m	1	1	< 3.000 m (+3)	3	3
	Documented events and references	yes if provided by R.M.S. (+5)	5	5	not clear		1	no if provided by R.M.S. (+5)		5
	Release zone crosses the road	yes	1	1	no, but very close to it		1	no	1	1
	track zone crosses the road	yes	1	1	yes, but with a long way		1	no	1	1
	Runout zone crosses the road	no	1	1	yes		1	yes	1	1
	Dangerous slope downstream of the road	yes (+3)	3	3	no	1	1	no	1	1
	possible obstruction of gallery (entry - exit)	yes	1	1	uncertain		1	no	1	1
	Avalanche can interest road in different part along the same avalanche track	yes	1	1	occasional		1	no		1
	Management control is required for road (artificial avalanche release)	no	1	1	no	1	1	yes (+3)		3
	Check control for avalanche occurrences is required at least for a winter season before planning the work	no	1	1	desirable		1	yes (+3)		3
Exposure time	long (>100 m)	1	1	medium (20-100 m)	1	1	short (<20 m)	1	1	
benefit/cost ratio (estimated)	high (+3)		3	medium	1	1	low	1	1	
<b>TOTAL</b>		<b>16</b>	<b>26</b>		<b>4</b>	<b>15</b>		<b>3</b>	<b>26</b>	
Total (percent)		24			6			4		

Tab.2 - ATEs (Avalanche Terrain Exposures Scale) Elaborazione fogli di calcolo (esempio).

il software IdrisiGis per la parte di analisi e con Arcinfo per la parte di rappresentazione cartografica, ha consentito di ottenere le basi cartografiche, partendo dal modello digitale del terreno. E' stata prodotta una base in scala 1:25.000, utilizzata come inquadramento generale, e diverse tavole alla scala 1:10.000 (carta delle esposizioni e delle inclinazioni con la localizzazione probabile delle valanghe). Le scale di rappresentazione hanno tenuto conto della notevole estensione dell'area, pari a circa 150 kmq. La cartografia tematica realizzata ha consentito di riconoscere e discriminare arealmente i vari elementi ed aspetti utili ai fini dello sviluppo del lavoro. Un dato importante, legato al reale utilizzo delle immagini satellitari, è stato il fatto che l'altimetria dell'area da studiare è compresa tra 2.700 metri e circa 5.000 metri di quota. La vegetazione nell'area arriva proprio al limite dei 2.700 metri, con qualche rara pianta di pistacchio. Ciò significa immagini generalmente "pulite". Tale aspetto, se da un lato semplifica l'elaborazione cartografica, dall'altro elimina

l'aiuto che può venire dall'interpretazione dei testimoni muti, rappresentati appunto dall'elemento vegetazionale. La carta clivometrica, in gradi, è stata riclassificata in 5 classi, in accordo con le disposizioni del Canadian Avalanche Association e ulteriormente adattata al caso specifico (Tab.1a e 1b). La differenza, introdotta nella classe 1, tiene conto della run-out zone, in accordo con i modelli topografici. Si tratta di un valore mediato e tendenzialmente cautelativo tra quanto statisticamente riportato negli studi specifici, condotti in Norvegia e sulle Alpi (Italia e Francia). Tale valore rappresenta l'inizio della run-out zone. Le ulteriori differenze sono state introdotte soprattutto a scopo cautelativo, per tenere conto delle indeterminazioni legate all'effettiva risoluzione del modello digitale del terreno. Le sigle LF e HF hanno il significato di Low Frequency a High Frequency, in modo da considerare un ulteriore parametro discriminante, basato sulla maggiore o minore frequenza dei fenomeni, anche se questo

aspetto meriterebbe ulteriori considerazioni. In particolare a LF è stato attribuito un tempo di ritorno indicativo dei fenomeni compreso tra 5 e 30 anni, mentre a HF è stato attribuito un tempo di ritorno indicativo compreso tra 1 e 5 anni. La colorazione utilizzata è quella standard CAA, che riporta anche all'immediatezza, rappresentata dalla scala di pericolosità crescente. L'individuazione dei siti valanghivi, riportati sulla carta clivometrica (Figg. 6a, 6b) e sulla carta delle esposizioni che, di fatto, rappresentano anche la cartografia di localizzazione probabile dei fenomeni valanghivi, è stata ottenuta, in prima battuta, dalle analisi della carta clivometrica e morfologica, con confronti condotti anche sulle immagini ortofoto satellitari ad alta risoluzione. La calibrazione finale è stata fatta dopo la visita on-site e la raccolta delle informazioni dirette sul posto, effettuata con l'impostazione utilizzata per la raccolta delle testimonianze dirette. Purtroppo, tale fase sul terreno, ha dovuto essere condotta in modo semplifi-

cato e speditivo, sia per la limitazione del tempo a disposizione, sia per le difficoltà linguistiche e logistiche. Le informazioni raccolte, grazie al supporto del Servizio di manutenzione della strada, non sempre sono risultate chiare e affidabili, soprattutto con riferimento alla frequenza dei fenomeni. La verifica diretta e le informazioni raccolte, hanno tuttavia fornito degli utili riscontri, che hanno permesso di ottenere una buona calibrazione finale. Non è stato invece possibile recuperare i rapporti relativi agli incidenti per valanga e, indirettamente, all'effettiva mortalità legata ai fenomeni valanghivi. A livello cartografico si è preferito evitare la differenziazione tra fotointerpretazione ed eventi documentati. Sono stati individuati e discriminati oltre 120 siti valanghivi, suddivisi in 2 macroaree, con riferimento al passo del Salang, lato sud e lato nord. Infine, per i siti valanghivi considerati più critici o rappresentativi, è stata riportata una sezione di riferimento sulla quale sono poi state condotte le successive simulazioni, usando in questa fase del lavoro il software Aval-1D.

In considerazione delle limitazioni esistenti, nonché a fronte anche dei risultati ottenuti con il metodo analitico, utilizzato nello studio GRF sopra menzionato, si è ritenuto opportuno affrontare il problema della valutazione del rischio attraverso una metodologia sostanzialmente nuova, che, sebbene di tipo più qualitativo, fosse soprattutto pratica e applicabile al contesto reale, con lo scopo di arrivare a definire delle priorità di intervento, basate sia sull'incidenza dei diversi fattori, sia sui costi.

La valutazione del rischio è stata quindi espletata sulla base degli elementi disponibili e adottando il metodo canadese noto con l'acronimo ATEs (Avalanche Terrain Exposure Scale). Si tratta di un metodo empirico, sviluppato da Parks Canada e dal Canada Avalanche Association, testato e usato in contesti dove esistono poche informazioni sugli eventi valanghivi e/o con molte incertezze, come appunto nel caso in esame.

E' stata quindi utilizzata una tavola ATEs

di riferimento, implementata ad hoc e combinata con le informazioni disponibili e con i dati derivati dalle elaborazioni cartografiche. Ogni sito valanghivo cartografato è stato preso in considerazione e analizzato sulla base dei fattori di rischio e di criticità riportati nella tavola di riferimento. I risultati, in termini di priorità di intervento, sono stati trasferiti su schede tecniche di riferimento, con base topografica di dettaglio e accompagnate da ogni informazione descrittiva, sia per quanto riguarda il sito valanghivo, sia per quanto riguarda gli interventi proposti, con le eventuali criticità e la stima dei costi per ogni intervento proposto. Durante questo processo, i risultati ottenuti in forma preliminare, sono stati verificati, calibrati e integrati con le informazioni dirette, ac-

quisite durante le visite effettuate on-site. Sono stati proposti tre differenti livelli di priorità di intervento, basati appunto sui principali fattori individuati e riportati nella tavola ATEs di riferimento, ai quali è stato attribuito un maggiore o minore "peso numerico" in funzione della relativa criticità. Per i calcoli sono stati implementati degli specifici fogli di calcolo excel (Tab.2). La tipologia degli interventi di mitigazione proposti (Fig. 7) è stata decisa principalmente sulla base delle caratteristiche morfologiche dei siti valanghivi e della loro estensione, dei costi delle possibili differenti soluzioni, nonché dall'esperienza personale.

Ad esempio, il distacco artificiale, ha generalmente un rapporto elevato di beneficio/costo, ma la gestione di un tale

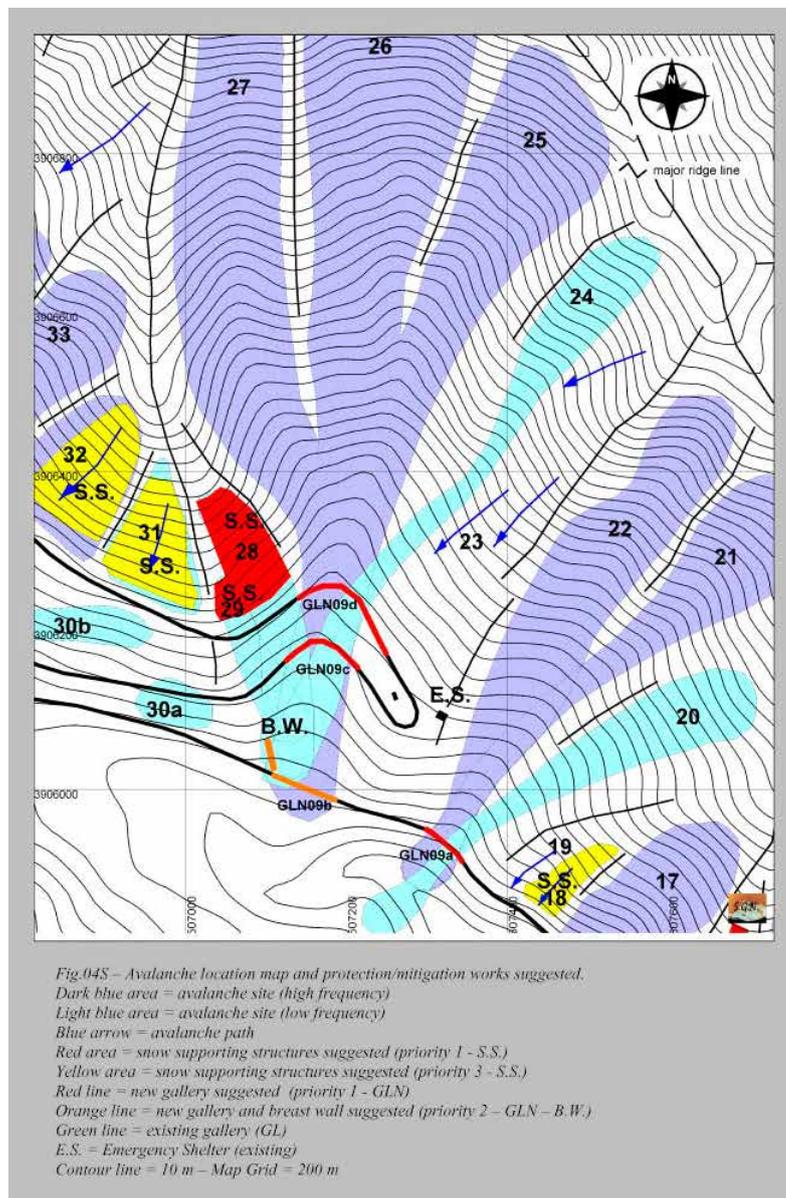


Fig.7 - Rappresentazione cartografica con tipologia degli interventi proposti differenziati per sito/siti valanghivi e priorità.

OPERE DI DIFESA E DISTACCO ARTIFICIALE

Fig.8 - Scheda tecnica descrittiva interventi proposti per sito/siti valanghivi identificati e priorità.

Avalanche site (South Salang pass) ID # 23-24-25-26-27		Three different road locations (UTM coordinates and/or chainage) upper 507200.4222 E – 3906248.0760 N intermediate 507177.8686 E – 3906176.8146 N lower 507135.8269 E – 3905997.8698 N			Priorità 1 (upper and intermediate)
					Priorità 2 (lower)
Scenario (HF or LF) and hazard (estimated road length affected by avalanche in meters)					
HF (high frequency) = 1-5 y		LF (low frequency) = 5-30 y			
upper and intermediate part of the road 120-185		lower part of the road 100			
Damage potential description					
Avalanches can reach the road in different time. The road has a double S curve and cross the most track avalanche path. In normal condition avalanches can reach the upper and medium part of the road. In case of important snow fall, avalanche can reach the lower part of the road too.					
Release area (sq. meter, degree, aspect, m.a.s.l.)					
Mean area 150,000 (total)	Mean slope 35	Mean aspect S - SW	Mean elevation 3190	Max elevation 3410	
Avalanche site description					
Very large wide and different avalanche sites that can release in different time. The different avalanche sites are mainly channeled and they have in common the last part of the avalanche track, just before the upper road intersection. Due to different aspects of the slopes is possible to have snow drift and snow accumulation in the release areas.					
Documented events and source					
No special report on documented events but suggestion of mitigation works (O&M Dpt./MOPW). During on-site visit (April 2019) the road maintenance service confirmed avalanche occurrences coming from these avalanche sites.					
Existing protections/mitigation measures					
Breast wall in the upper part of the road but it doesn't solve the problem.					
Suggested protections/mitigations works by S.G.N.					
After the on-site visit, the previous suggested artificial avalanche release has been abandoned due to the very articulated morphology in the release area. At the same manner the construction of a retain dam to protect the lower part of the road seems to be a problem for the lack of space. So we suggest two new galleries in priority 1 for the upper and medium part of the road and a third new gallery in priority 2 for the lower part of the road. We suggest the construction of a breast wall too for the third gallery, to guide the avalanche flow and reduce possibly overflow.					
Mitigation works, design recommendations and approximate cost (US\$)					
<p>Gallery GLN09d (upper – priority 1): It's possible to foresee about 165 meters of new gallery with the follow UTM and chainage references: Start=507258.0528E - 3906144.7251N - 36+395 End=507156.8557E - 3906250.4708N - 36+560.</p> <p>Gallery GLN09c (medium – priority 1): It's possible to foresee about 140 meters of new gallery with the follow UTM and chainage references: Start=507119.2439E - 3906152.7593N - 36+100 End=507227.1005E - 3906126.4076N - 36+240.</p> <p>Gallery GLN09b (lower – priority 2): It's possible to foresee about 80 meters of new gallery with the follow UTM and chainage references: Start=507182.2193E - 3905978.1676N - 35+170 End=507108.9474E - 3906010.8143N - 35+250.</p> <p>Design recommendations: Avalanche dynamic and static data set at the road intersection (see final report and reference table in annex 04) <b>Estimated cost: 15,000/ml = 15,000*305 = 4,575,000 (priority 1)</b> <b>Estimated cost: 15,000/ml = 15,000*80 = 1,200,000 (priority 2)</b> Breast Wall (priority 2): the breast wall must be in reinforced concrete. It's possible to foresee a length of about 40 meters, starting from the west side entrance of the new lower gallery. Design recommendation: H = 3 meters. P<sub>max</sub> = 30 KPa</p>					
Comment					
No comment					

Tab.3 -  $\gamma$ =densità neve,  $d$ =spessore neve,  $V_a$ =velocità valanga,  $L$ =lunghezza della deviazione,  $g$ =acceleraz. gravità,  $\beta$ =cambio pendenza,  $\theta$ =angolo tetto galleria sull'orizzontale,  $c$ =coefficiente di frizione compreso tra 0,2 e 0,55.

Action (loads – Pressure)	Pressure (normal) KN/mq = KPa	Pressure (tangential) KN/mq = KPa	
Soil thickness (over GL)	$P_{soil} = \gamma \cdot d_{soil} \cos\theta$	$P_{tsoil} = P_{soil} \tan\theta$	static
Natural snow cover (over GL)	$P_{nsc} = \gamma \cdot d_{sc} \cos\theta$	$P_{tsc} = P_{nsc} \tan\theta$	static
Avalanche accumulation (over GL)	$P_{naa} = \gamma \cdot d_{aa} \cos\theta$	$P_{taa} = P_{naa} \tan\theta$	static
Pressure of avalanche (deflection)	$P_{na} = \gamma \cdot V_a^2 \cdot d_{fh} \sin\beta / g \cdot L$	$P_{ta} = c \cdot P_{na}$	dynamic
Avalanche snow flow (over GL)	$P_{naf} = \gamma \cdot d_{fh} \cos\theta$	$P_{taf} = c \cdot P_{naf}$	dynamic

sistema non è facile nel contesto specifico e quindi tale tipologia di intervento è stata volutamente limitata a situazioni non altrimenti risolvibili. I rilevati e gli argini deviatori hanno generalmente un rapporto beneficio/costo migliore rispetto alle opere ferme neve, con costi minori di manutenzione e non necessitano, generalmente, di imprese specializzate per la realizzazione; le gallerie, infine, hanno un basso rapporto beneficio/costo per via degli elevati costi di realizzazione, che in Afghanistan sono stati considerati pari a 15.000 \$/ml. Nel lavoro in oggetto le gallerie hanno comunque avuto una grande considerazione, soprattutto nell'ottica di riabilitare e ottimizzare quelle esistenti e, laddove inevitabile, proporre di nuove.

## SOPRALLUOGHI E MEETING

Nell'aprile 2019 è stato effettuato un sopralluogo tecnico lungo la strada del Salang, con riferimento al tratto oggetto dello studio. L'organizzazione non è stata semplice e ha richiesto il supporto logistico locale, con servizio di scorta armata e auto blindata. I pernottamenti sono avvenuti in prossimità dell'accesso nord del tunnel del Salang, ad una quota di circa 3.400 m., presso una struttura di fortuna, temporaneamente rimessa in servizio. Nell'operazione sono state coinvolte diverse persone, tra cui una rappresentanza del Ministero dei Lavori Pubblici afgano e del servizio di manutenzione invernale della strada (R.M.S.), oltre all'interprete locale, autista e cuoco. Il sopralluogo è stato necessario e utile per acquisire alcune informazioni indispensabili legate ad esempio ai punti critici quali l'estensione delle gallerie esistenti in relazione ai fenomeni valanghivi ricorrenti, gli accumuli eolici frequenti, le zone valanghive più critiche e, in alcuni casi, le frequenze di occorrenza, nonché tutte le eventuali problematiche connesse, come la necessità di trovare soluzioni per ridurre i fenomeni di trasporto eolico all'interno delle gallerie esistenti, senza penalizzare esageratamente la luminosità naturale e la necessaria circolazione d'aria. Gli elementi raccolti

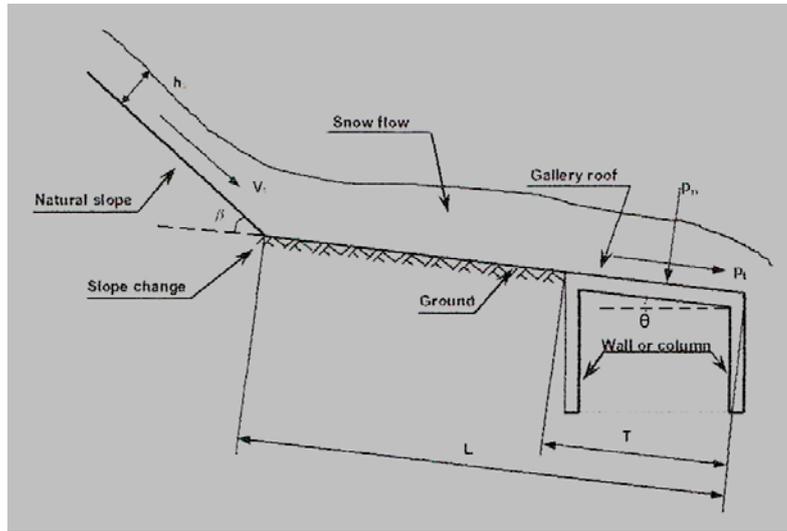


Fig.9 - Schema semplificato dei parametri considerati nel calcolo delle pressioni agenti sul tetto di una galleria paravalanghe.



Fig.10 - Vista sulle gallerie #17-18 (April 10, 2019).



Fig.11 - Vista sui siti valanghivi #46-47 con alcune vecchi frangivento (April 10, 2019).



Fig.12 - Vista sui siti valanghivi #28-29 (April 11, 2019).

## OPERE DI DIFESA E DISTACCO ARTIFICIALE

Fig.13 - Distribuzione dell'esposizione al pericolo di valanga nella sezione di strada considerata rosso (1)=16,592 m=55%, verde (2)=13,605 m=45%, totale=30,197 m=100%.

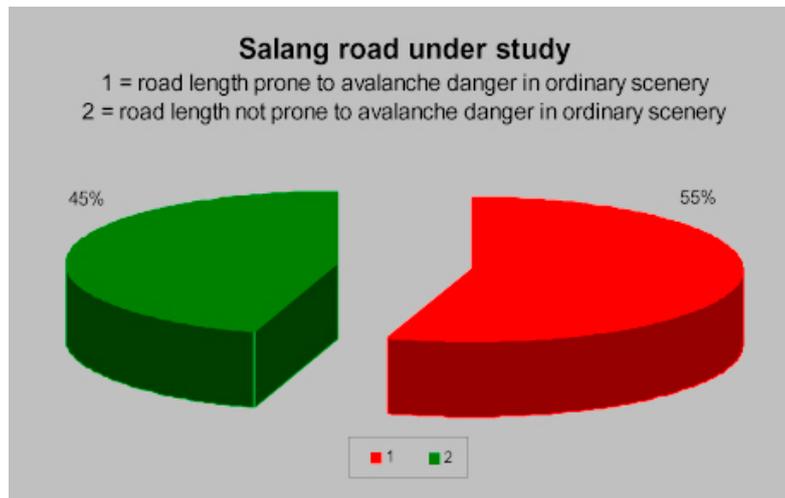


Fig.14 - Distribuzione dei costi degli interventi di mitigazione proposti in rapporto alle priorità P1=29,958, P2=6,433, P3=16,898.

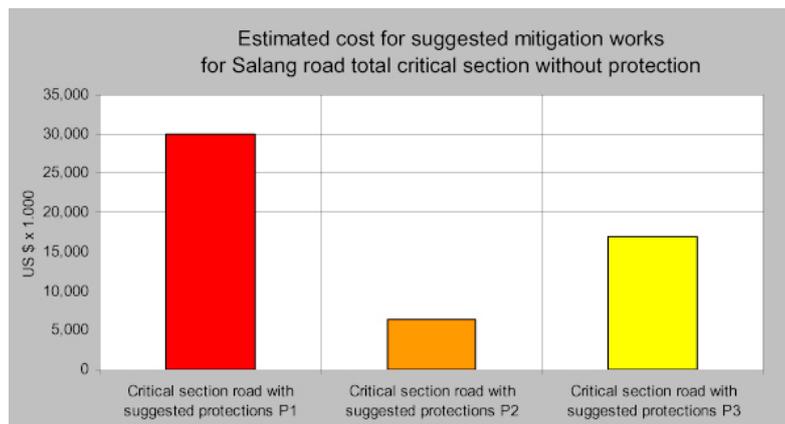


Fig.15 - Distribuzione dei costi degli interventi di mitigazione proposti in rapporto alle priorità e alla tipologia Priority 1+2 (New Galleries)=25,725,000 US\$=71%, Priority 1+2 (Other Solutions)=10,666,000 US\$=29%.

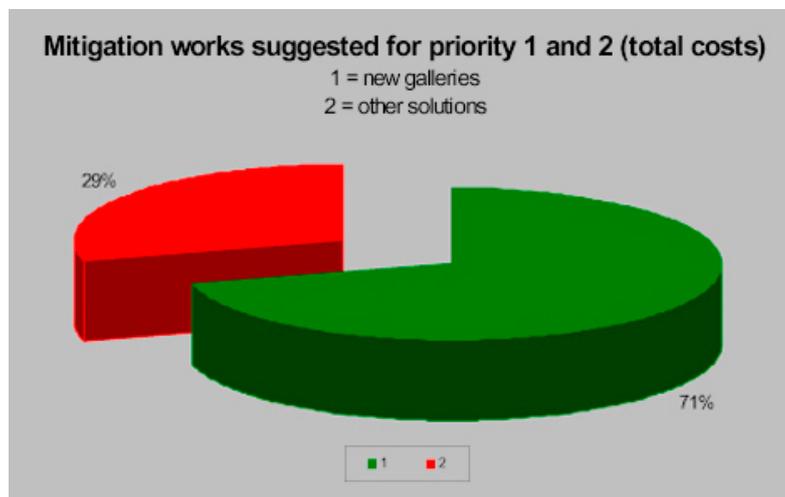
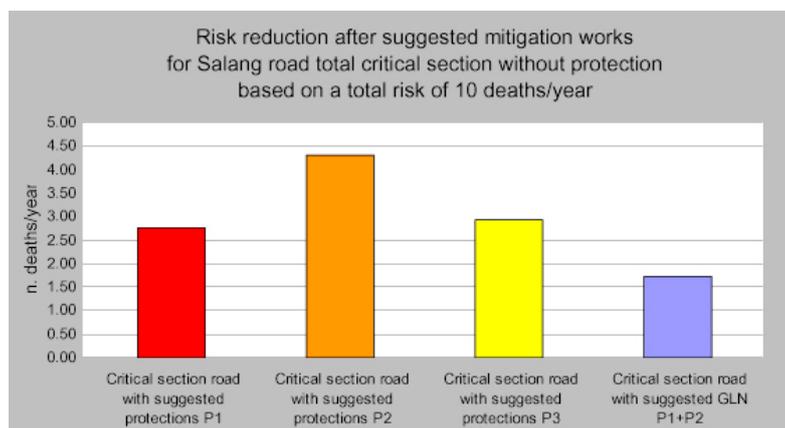


Fig.16 - Stima della riduzione del rischio dopo i lavori di mitigazione proposti. L'ultima colonna evidenzia l'incidenza delle nuove gallerie P1=2.75 deaths/year, P2=4.32 deaths/year, P3=2.93 deaths/year.



hanno consentito una calibratura della cartografia iniziale e una ottimizzazione dei risultati e delle proposte di intervento, suggerite e descritte nelle schede tecniche (Figg.8, 9). Le indagini sul terreno sono state limitate al percorso stradale, soprattutto per ragioni di sicurezza, in quanto i terreni esterni all'asse viario presentano ancora molte zone minate. Tale aspetto è stato anche evidenziato nei costi finali in quanto, laddove necessario, dovranno essere previste operazioni di controllo ed eventuale sminamento.

Nel corso del lavoro, che si è protratto per circa 8 mesi, sono state effettuate 2 altre trasferte a Kabul, per partecipare a meeting organizzati dalla World Bank e dal Ministero afgano per discutere i risultati emersi dallo studio. Un ulteriore incontro (Tab. 3) tecnico è stato infine organizzato a Davos tra il Dr. W. Amman (GRF e consulente della WB) e lo scrivente, nel quale sono stati verificati e concordati gli interventi proposti e le relative priorità, connesse con la fase 1 del lavoro (Figg.10, 11, 12).

## CONCLUSIONI

Il presente articolo descrive a grandi linee e in modo semplificato alcuni aspetti tecnico-operativi, che hanno consentito di superare le limitazioni e le indeterminazioni inevitabilmente insite in una realtà difficile e precaria come quella afgana. Il lavoro svolto ha richiesto un notevole impegno, ma ha rappresentato anche uno stimolo alla conoscenza e all'analisi per la risoluzione di problemi complessi (Figg.13, 14, 15, 16). Tra di essi se ne citano alcuni come la necessità di considerare, nel fenomeno valanghivo, anche la componente legata alla movimentazione di materiale detritico trascinato dalla valanga, oppure la necessità di trovare un compromesso, tra l'esigenza di avere una circolazione di aria naturale nelle gallerie e ridurre, al contempo, l'effetto del trasporto eolico interno. La riabilitazione di vecchie gallerie paravalanghe si è rivelata essere un problema sostanziale e che ha posto diversi interrogativi, ad esempio sull'opportunità di una riabilitazione, piuttosto che di una nuova costruzione. In effetti, le gallerie

Sim tests	Existing GL	Pnsoil (KPa)	Pnsc (KPa)	Pnaa (KPa)	Pnaf (KPa)	Pna (KPa)	STATIC		DYNAM		Ptsoil (KPa)	Ptsc (KPa)	Ptaa (KPa)	Ptaf (KPa)	Pta (KPa)	STATIC		DYNAM	
							Pn static (KPa)	Pn dyn (KPa)	Pt static (Kpa)	Pt dyn (Kpa)									
22	1	10	12	10	12	3.32	32	15.32	\	2.16	1.8	4.80	1.329	3.96	6.13				
43	2	10	12	10	12	14.428	32	26.43	\	2.16	1.8	4.80	5.77	3.96	10.57				
43	3	10	12	10	12	14.428	32	26.43	\	2.16	1.8	4.80	5.77	3.96	10.57				
26	4	10	12	10	12	11.629	32	23.63	\	2.16	1.8	4.80	4.65	3.96	9.45				
43	5	10	12	10	12	14.428	32	26.43	\	2.16	1.8	4.80	5.77	3.96	10.57				
43	6	10	12	10	12	14.428	32	26.43	\	2.16	1.8	4.80	5.77	3.96	10.57				
15	7	10	12	\	12	3.51	22	15.51	\	2.16	\	4.80	1.40	2.16	6.20				
15	8	10	12	\	12	3.51	22	15.51	\	2.16	\	4.80	1.40	2.16	6.20				
15	9	10	12	\	12	3.51	22	15.51	\	2.16	\	4.80	1.40	2.16	6.20				
37	10	10	12	15	12	11.28	37	23.20	\	2.16	2.7	4.80	4.51	4.86	9.31				
43	11	10	12	\	12	14.428	22	26.43	\	2.16	\	4.80	5.77	2.16	10.57				
48	12	10	12	15	12	3.90	37	15.90	\	2.16	2.7	4.80	1.56	4.86	6.36				
58	13	10	12	\	12	17.81	22	29.81	\	2.16	\	4.80	7.12	2.16	11.92				
58	15	10	12	\	12	3.448	22	15.45	\	2.16	\	4.80	1.379	2.16	6.18				
53	15	10	12	\	12	7.759	22	19.76	\	2.16	\	4.80	3.10	2.16	7.90				
7	16	10	12	\	12	7.479	22	19.48	\	2.16	\	4.80	2.99	2.16	7.79				
19	17	10	12	\	12	15.07	22	27.07	\	2.16	\	4.80	6.03	2.16	10.83				
19	18	10	12	\	12	15.07	22	27.07	\	2.16	\	4.80	6.03	2.16	10.83				
24	19	10	12	\	12	17.528	22	29.53	\	2.16	\	4.80	7.01	2.16	11.81				
26	20	10	12	\	12	8.23	22	20.23	\	2.16	\	4.80	3.29	2.16	8.09				
38	21	10	12	\	12	7.57	22	19.57	\	2.16	\	4.80	3.028	2.16	7.83				

paravalanghe del Salang, seppur in cattive condizioni e con ferri a vista, continuano a resistere da ben sessant'anni, senza alcuna manutenzione. Ciò contrasta con i risultati delle verifiche di stabilità delle strutture, basate sui carichi dinamici, calcolati nel contesto attuale e che ne evidenzerebbero, invece, la loro compromissione strutturale. E' evidente quindi che entrano in gioco anche altre variabili. E' altrettanto vero che i calcoli sono condotti su fenomeni rilevanti ed estremi e sommando più fattori negativi, che potrebbero non essersi mai presentati congiuntamente. Del resto, il calcolo, deve essere necessariamente più cautelativo come è giusto che sia, anche per le inevitabili indeterminazioni presenti. Nel caso specifico è stato fatto riferimento alle linee guida svizzere per la progettazione delle gallerie paravalanghe e ad un tempo di vita delle strutture pari a 50 anni. Purtroppo, a livello italiano, il calcolo delle pressioni agenti sulle gallerie paravalanghe è spesso sottovalutato e/o non affrontato nel modo più appropriato e secondo gli standard tecnici che la progettazione richiederebbe. A parere dello scrivente si tratta di un argomento molto interessante e che meriterebbe ulteriori studi di sviluppo e approfondimento, anche a livello internazionale. Gli interventi di mitigazione del rischio valanga, proposti nello studio effettuato, hanno riguardato l'implementazione di protezioni attive e passive (strutture fermaneve, gallerie, dighe di arresto e argini di deviazione), associate a sistemi di gestione del rischio

(distacco artificiale, monitoraggio, regolamentazione del traffico leggero e pesante e installazione di stazioni AWS, con ripristino dei rifugi di emergenza esistenti lungo il percorso). Si tratta di investimenti strutturali importanti, dell'ordine di 50-60 milioni di dollari, senza contare la riabilitazione delle gallerie esistenti e i costi annuali della gestione attiva del rischio, attraverso l'implementazione di un apposito servizio. I soli interventi strutturali, infatti, non risolveranno le situazioni straordinarie

o particolarmente critiche, che richiederanno il monitoraggio e la raccolta/analisi dei dati nivometeo. Ciò anche a fronte dei cambiamenti climatici che, in Afghanistan, sembrano essere particolarmente evidenti. Tale aspetto dovrebbe consentire, finalmente, di superare anche quelle resistenze gestionali e organizzative che relegano, in questi Paesi, l'importante funzione del monitoraggio e della raccolta dati, fondamentali nel settore della neve e delle valanghe, ad un mero compito secondario di scarsa rilevanza pratica.

Tab.4 - Parametri di calcolo e risultati espressi come pressioni statiche e dinamiche, normali e tangenziali, per il dimensionamento conseguente alla riabilitazione delle gallerie paravalanghe esistenti.

## Bibliografia

- BAFU/ SLF. 2014. Swiss Guidelines on Avalanche Hazard.
- Campbell C, Gould B. 2013. Proposition d'un modèle pratique pour le zonage à l'aide de l'échelle d'exposition en terrain avalancheux. Canadian Avalanche Centre, Revelstoke, British Columbia.
- Canada Avalanche Association. 2009. Guidelines for snow avalanche risk determination and mapping in Canada. CAA, Revelstoke, British Columbia.
- Christen M & altri. 2011. Sensitivity of snow avalanche simulations to digital elevation model quality and resolution. Annals of Glaciology, 52.
- Daudon D & altri. 2013. Sensivity of a reinforced concrete protective gallery under a snow avalanche load. Elsevier Structural Safety Journal, 41
- European Commission. 2009. The design of avalanche protection dams. Climate Change and Natural Hazard Research, Brussels.
- Ma Y. 2009. Analyse de l'effet d'une avalanche de neige sur un ouvrage de protection type galerie paravalanche. Thèse, Université de Savoie Sciences pour l'Ingenieur.
- New Zeland Governement. 2011. Applying the Avalanche Terrain Exposure Scale. Department of Conservation. New Zeland
- Office Federal des Routes OFROU-ASTRA 2007. Actions d'avalanches sur les gallerie de protection. Directive, Berne, Switzerland.
- Rudolf F-Miklau, Sauermoser S., Mears A.I. 2014. The technical avalanche protection handbook. Wiley Ed.
- Schellenberg K. 2016. Protection Level and Design of Rockfall and Avalanche Galleries. Road Office of Grisons, Chur, Switzerland.
- Statham G, McMahon B, Tomm I. 2007. The avalanche terrain exposure scale. Parks Canada Agency and Canadian Avalanche Association.
- Wilbur C. 2012. Structural Avalanche Defenses. Wilbur Engineering, ASCE, Colorado.