

LA PROGETTAZIONE PER LA MESSA IN SICUREZZA DELLA S.S. 34 DEL LAGO MAGGIORE

*Ripresa aerea dall'elicottero della frana del 2014, alla p.k. 28+300, nel comune di Cannero Riviera
The aerial shot from helicopter for the landslide of 2014, km 28+300, in council of Cannero Riviera*

UN ESEMPIO DI APPROCCIO MULTIDISCIPLINARE TRA PROFESSIONISTI E DI CONCERTAZIONE TRA GLI ENTI CHE HA RAGGIUNTO L'OBIETTIVO DI DEFINIRE GLI INTERVENTI PER LA SICUREZZA STRADALE E PERMETTERE IL COMPLETO FINANZIAMENTO DELLA PROGETTAZIONE E DELLE OPERE

La S.S. 34 "del Lago Maggiore" rappresenta un'arteria di primaria importanza della viabilità dell'alto Piemonte e della provincia del Verbano Cusio Ossola: inizia nel comune di Gravellona Toce come derivazione della S.S. 33 "del Sempione", attraversa l'abitato di Verbania e torna a costeggiare la sponda del lago Maggiore tagliando i centri costieri di Ghiffa, Oggebbio, Cannero Riviera e Cannobio.

Poco più di 4 km a Nord dell'abitato di Cannobio, la strada giunge al confine con la Confederazione Elvetica (Canton Ticino), al valico internazionale di Piaggio Valmara e prosegue come Stra-



1. La ripresa dell'accumulo detritico dalla sede viaria per la frana del 2014, alla p.k. 28+300 nel comune di Cannero Riviera

1. The shot of debris accumulation on the road for the landslide of 2014, km 28+300, in council of Cannero Riviera

DESIGN OF SAFETY PROJECTS OF THE S.S. 34 OF MAGGIORE LAKE

AN EXAMPLE OF A MULTIDISCIPLINARY APPROACH BETWEEN PROFESSIONALS AND CONSULTATION BETWEEN INSTITUTIONS THAT HAS ACHIEVED THE GOAL OF DEFINING ROAD SAFETY INTERVENTIONS AND ALLOWING THE TOTAL FUNDING OF THE DESIGN AND WORKS

The State Road 34 (S.S. 34) "del Lago Maggiore" represents an artery of primary importance of the road system of the Upper Piedmont and of the Province of Verbano Cusio-Ossola. It starts in the town of Gravellona Toce as an offshoot of the State Road 33 "del Sempione"; it crosses the town of Verbania, and goes back along the shore of Maggiore Lake, crossing the coastal towns of Ghiffa, Oggebbio, Cannero Riviera and Cannobio.

A little more than 4 km North of the town of Cannobio, the road reaches the border with the Swiss Confederation (Canton Ticino), at the international custom of Piaggio Valmara and continues as Strada Cantonale 13, proceeding towards Locarno and Bellinzona, where it meets the road axis connecting the passes of St. Gotthard and St. Bernardino.

As a matter of fact, the S.S. 34 has an international interest for the high volume of commercial, tourist and cross-border workers traffic; it represents the only infrastructure serving the western

da Cantonale 13, che procede verso Locarno e Bellinzona, dove incontra l'asse viario di collegamento ai passi del San Gottardo e del San Bernardino.

Di fatto, la S.S. 34 determina un interesse di rilevanza internazionale per l'elevato volume di traffico commerciale, turistico e legato ai lavoratori frontalieri; essa rappresenta l'unica infrastruttura che serve la sponda occidentale dell'alto lago Maggiore non essendo affiancata da alcun'altra viabilità percorribile dagli attuali volumi di traffico.

Dalla sua interruzione derivano disagi e problematiche di non facile soluzione che se protratte nel tempo possono determinare importanti danni economici alle Imprese ed alle attività del territorio, oltre che incidere negativamente sul traffico internazionale e isolare potenzialmente ampi ambiti territoriali dell'alta provincia. Nel secolo scorso si sono verificati dissesti importanti, fra cui quello di maggiore rilevanza nel 1977 poco a Nord di Cannero Riviera, costituito da una frana di terra e roccia con invasione della sede viaria.

Negli ultimi 17 anni la S.S. 34, a causa di franamenti, smottamenti e caduta massi, nonché per sovralluvionamenti degli attraversamenti è stata chiusa al traffico almeno una decina di volte con le conseguenze citate.

Gli eventi di maggior rilievo, riportati cronologicamente, sono riportati in Figura 2. Gli Enti territoriali, avendo la necessità di aumentare il livello di sicurezza e volendo assicurare la piena fruibilità della struttura, hanno siglato un Accordo di Programma (D.P.G.R. n° 52 del 09/07/2018), sottoscritto tra Regione Piamon-

shore of the upper Maggiore Lake, since it is not flanked by any other viability practicable by the current traffic volumes.

From its interruption derive inconveniences and problems not easy to solve that if prolonged in the time can determine important economic damages to the businesses and to the activities of the territory, besides it can negatively affects the international traffic and potentially isolating wide territorial areas of the upper province.

In the last century there have been major geological disruptions, including the most important in 1977 that occurred just North of Cannero Riviera, consisting of a landslide of soils and rocks pouring in the main road.

In the last 17 years the S.S. 34, due to landslides, mudslides and falling rocks, as well as flooding has been closed to traffic at least a dozen times with the consequences mentioned before.

The most notable events, reported chronologically, are resumed in Figure 2. The territorial authorities, in need to increase the level of safety and wanting to ensure the full usability of the structure, have signed a Program Agreement (D.P.G.R. n. 52 - 09.07.2018), subscribed by the Piedmont Region and the Union of Maggiore Lake (municipalities of Cannobio, Cannero Riviera, Oggebbio and Ghiffa) with the coordination of the municipality of Verbania, having as a general goal the elaboration of surveys, studies and investigation of the geomorphological setting to design and implement all the slope and transit safety projects, excluding some projects carried out directly by ANAS such as the construction of four rockfall protection tunnels.

ANNO/ YEAR	COMUNE/ COUNCIL	LOCALITÀ P.K. /AREA	TIPOLOGIA DISSESTO/ GEOLOGICAL DISRUPTIONS	NOTE/NOTES
2000	Cannero Riviera	km 28+700	Frana complessa e composta / Complex and composite landslide	Accumulo detritico sulla sede viaria / Debris accumulation on the roadway
2001	Cannero Riviera	km 28+700	Frana complessa e composta / Complex and composite landslide	Riattivazione della precedente; materiale lapideo sulla sede viaria / Reactivation of the previous one; stone material on the roadway
2009	Cannobio	Piaggio Valmara, km 38+750	Crollo di roccia per ribaltamento e rotolamento / Rock collapse by rollover and rolling	Materiale lapideo sulla sede viaria / Stone material on the roadway
2014	Cannero Riviera	km 28+300	Colata detritica / Debris flow	Volume stimato di circa 6.000 m ³ ; danni alla sede viaria e edifici residenziali / Estimated volume of approximately 6,000 cu m; damage to roadway and residential buildings
2016	Cannobio	Piaggio Valmara	Frana di roccia / Rock slide	Blocco ciclopico sulla sede viaria / Cyclopean blocks on the roadway
2016	Cannobio	Piaggio Valmara	Frana di roccia / Rock slide	Superamento di blocchi delle barriere paramassi esistenti / Overcoming blocks of existing rockfall barriers
2017	Cannobio	Puncetta, km 29+850	Crollo di roccia / Rock fall	Due feriti e una vittima; volumi rocciosi stimati 15 m ³ / Two injuries and one fatality; estimated rock volumes 15 cu m
2018	Cannobio	Puncetta	Crollo di roccia / Rock fall	Blocchi ciclopici sulla sede viaria / Cyclopean blocks on the roadway
2019	Verbania	Cascina Scopello	Colamento detritico / Debris flow	Superamento di blocchi delle barriere paramassi esistenti / Overcoming blocks of existing rockfall barriers
2020	Oggebbio	km 24+700	Colata detritica / Debris flow	Esondazione del Rio Sengia con totale invasione della sede viaria / Flooding of the Rio Sengia with total invasion of the roadway

2. Gli eventi di maggior rilievo in ordine cronologico

2. The most notable events reported chronologically

te, Unione del Lago Maggiore (comuni di Cannobio, Cannero Riviera, Oggebbio e Ghiffa) con il coordinamento del Comune di Verbania, avente come obiettivo generale la redazione dei rilievi, degli studi e delle indagini sull'assetto geomorfologico propedeutici alla progettazione e alla realizzazione degli interventi per la messa in sicurezza dei versanti e del transito, con esclusione degli interventi riconducibili direttamente ad ANAS tra cui la realizzazione di quattro gallerie paramassi.

Sulla base di tali obiettivi, è stato conferito un primo incarico al Politecnico di Torino (Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture Laboratorio di fotogrammetria, Geomatica e GIS, Resp. Ing. Andrea Maria Lingua) per l'acquisizione di dati territoriali, ad alta risoluzione in ambiente complesso, mediante l'integrazione di tecniche/strumenti metodi innovativi con un approccio multirisoluzione e multiscala. A partire dai risultati dello studio generale, sono stati poi affidati gli incarichi per gli studi di fattibilità tecnico ed economico suddivisi in due lotti:

- lotto 1: manutenzione opere di protezione esistenti con interventi sulle reti appoggiate alle scarpate rocciose aggettanti direttamente sulla strada, con la loro sostituzione e rinforzo, anche mediante sovrapposizioni, integrate con chiodature e legature diffuse affidato allo Studio associato Cargnel - Geologia & Ingegneria di Belluno;
- lotto 2A nuovi interventi opere di protezione dei versanti sovrastanti la piattaforma stradale S.S. 34 del Lago Maggiore affidato all'Ing. Stefano Pagani e al Geol. Massimiliano Coretta dello Studio Associato CMC di Geol. G. Capulli e Geol. M. Coretta, svolto in collaborazione con i Geol. Sabrina Casucci e lo scrivente Giovanni Capulli.

Lo studio geologico è stato sviluppato allo scopo di individuare le tipologie di dissesto e quindi di valutare la tipologia di opere necessarie alla messa in sicurezza con una prima valutazione dei costi, a partire dai risultati dello studio del Politecnico di Torino, che ha definito la pericolosità delle aree individuando quelle maggiormente critiche, giungendo alla definizione degli interventi necessari alla messa in sicurezza e dello studio dell'Ing. Cargnel che, valutando l'efficienza delle opere esistenti e proponendone il mantenimento ovvero la sostituzione/integrazione, è stato considerato come stato di fatto dal quale derivare la progettazione delle nuove opere.

È stato inoltre fatto riferimento agli studi esistenti, riconducibili ad altri Professionisti che negli anni hanno redatto e seguito interventi di messa in sicurezza lungo la S.S. 34, in particolare agli studi dei Geol. Italo Isoli, Francesco D'Elia e Paolo Millemaci.

Nello studio del Politecnico sono state individuate 14 aree ritenute maggiormente critiche e oggetto di approfondimento cartografico e morfostrutturale di dettaglio: quattro sono state definite di competenza ANAS (individuate con le lettere H-K-P), per cui gli approfondimenti hanno riguardato le restanti dieci, cioè le aree A-B-C (Ghiffa), D (Oggebbio), E-F-G (Cannero Riviera) e J-L-M-N (Cannobio).

Per ciascuna area è stato fornito un inquadramento generale e geologico basato sui dati esistenti e quelli ex novo.

A seguito di sopralluoghi, è stata effettuata una valutazione dei possibili scenari di dissesto del tratto di versante a monte dell'asse stradale.



3. Una ripresa aerea dall'elicottero della frana del 2017, alla p.k. 29+850, in località Puncetta, nel comune di Cannobio

3. The aerial shot from helicopter landslide of 2017, p.k. 29+850, in Puncetta locality, in council of Cannobio

Relying on these goals, a first assignment has been given to the Polytechnic of Turin (Department of Engineering of Environment, Territory and Infrastructures Laboratory of Photogrammetry, Geomatics and GIS, Resp. Eng. Andrea Maria Lingua) for the acquisition of spatial data, at high resolution in a complex environment, through the integration of techniques/instruments as innovative methods with a multi-resolution and multi-scale approach.

Starting from the results of the general study, the assignments for the technical and economic feasibility studies have been given subdivided into two lots:

- lot 1: maintenance of existing safeguards with replacement and reinforcement of the nets leaning on the rocky escarpments projecting directly on the road, also through overlaps, integrated with nails and diffused ligatures entrusted to the associated Company "Cargnel - Geologia & Ingegneria" in Belluno;
- lot 2A new slope protection works above the road platform entrusted to the Eng. Stefano Pagani and to the Geol. Massimiliano Coretta (associate Company CMC, Geol. G. Capulli and M. Coretta in Verbania), in cooperation with Geol. Sabrina Casucci and Giovanni Capulli.

The geological study was developed in order to identify the types of instability and then to evaluate the work required to secure the roadway with an initial assessment of costs, starting from the results of the study of the Polytechnic of Turin, which has defined the danger of the areas identifying those most critical, coming to the definition of the interventions necessary to make it safe and starting from Engineer. Cargnel's study, that, evaluating the efficiency of existing works and proposing their maintenance (replacement/integration), it was considered as the starting point from which design of new works.

Reference was made to existing studies, attributable to other professionals who over the years have drafted and followed safety interventions along S.S. 34; in particular the Geol. Italo Isoli, Francesco D'Elia and Paolo Millemaci.

In the Polytechnic study, 14 areas were identified as the most critical and they have been studied from a cartographic and morpho-structural point of view; four were defined under ANAS competence (identified with the letters H-K-P); therefore the investigations concerned the remaining ten: areas A-B-C (Ghiffa),

Sulla base dei possibili scenari ipotizzati, sono state indicate le tipologie di opere necessarie alla messa in sicurezza dei diversi tratti di strada suddivisi all'interno di ogni singola area.

Laddove l'individuazione delle tipologie di dissesto ha evidenziato la possibilità che si verificassero crolli, sono stati individuati i possibili meccanismi di distacco, i possibili volumi rocciosi unitari, verificando le possibili traiettorie lungo le sezioni di progetto ritenute maggiormente significative e finalizzate all'individuazione delle energie potenziali del dimensionamento di massima delle opere di protezione.

Per la classificazione degli ammassi rocciosi, sono stati utilizzati i dati forniti dal Politecnico di Torino, integrati con rilevamenti in sito per la definizione dei parametri secondo l'indice di qualità RMR.

Le simulazioni del fenomeno di caduta massi sono state effettuate con il codice di calcolo Colorado Rockfall Simulation Program (CRSP 2D), versione 4.0, sviluppato da C.L. Jones, J.D. Higgins, R.D. Andrew nel 2000, a partire dalla versione originale implementata da Pfeiffer (1989) e Pfeiffer et al. (1991, 1995), col supporto del Colorado Department of Transportation, Colorado School of Mines e Colorado Geological Survey. Si tratta di un codice di calcolo bidimensionale che permette di considerare forma e dimensioni dei blocchi, modellizzati riproducendo dei risultati più aderenti alle evidenze di terreno, una volta effettuata un'adeguata calibrazione dei modelli.

Le ipotesi semplificative su cui si fonda il codice di calcolo CRSP sono:

- la caduta massi avviene lungo il percorso più probabile determinato sulla base dei rilievi;
- lo scenario peggiore è quello del masso di maggiori dimensioni che rimane intatto lungo il tragitto; dimensione e forma del masso sono ritenute costanti per le simulazioni di caduta massi da una data area sorgente;
- dal momento che il masso in caduta non cambia durante il tragitto e che la variabilità delle proprietà fisiche del pendio sono maggiori rispetto a quelle delle proprietà fisiche del materiale roccia, i coefficienti assegnati alle proprietà del pendio (R_n , R_t) sono comprensivi sia delle caratteristiche del pendio che del materiale roccia.



4. La ripresa dell'accumulo detritico dalla sede viaria della frana del 2017, in località Puncetta, alla p.k. 29+850, nel comune di Cannobio

4. A shot of the debrisflow accumulation on the road for the landslide of 2017, km 29+850, in Puncetta locality, in council of Cannobio

D (Oggebbio), E-F-G (Cannero Riviera) and J-L-M-N (Cannobio). For each area a general and geological framework was provided based on existing and new data.

Following inspections, an evaluation of the possible scenarios of instability of the slope upstream of the road axis was carried out. On the basis of the possible scenarios hypothesized, the types of works necessary to make safe the different sections of road divided within each area were indicated.

Where the identification of the types of instability has highlighted the possibility of collapses, the possible mechanisms of detachment and the possible unitary rocky volumes have been identified, verifying the possible trajectories along different sections considered most significant and aimed to identify the potential energy related of the maximum sizing of the protection works.

The data provided by the Polytechnic of Turin were used for the classification of the rock mass rating, integrated with in situ measurements for the definition of the parameters according to the RMR quality index.

Rockfall simulations have been performed with the Colorado RockfallSimulation Program (CRSP 2D), version 4.0, developed by C.L. Jones, J.D. Higgins, R.D. Andrew in 2000, starting from the original version implemented by Pfeiffer (1989) and Pfeiffer et al. (1991, 1995), with the support of the Colorado Department of Transportation, Colorado School of Mines and Colorado Geological Survey. It is a two-dimensional computational code that allows to consider the shape and the size of the blocks, modeled reproducing results more adherent to the ground evidence, once a proper calibration of the models has been performed.

The assumptions on which the CRSP calculation code is based are:

- *rock fall occurs along the most likely path determined based on surveys;*
- *the worst case scenario is that the largest boulder remains intact along the route; size and shape of the boulder are assumed to be constant for simulations of rock fall from a starting point;*
- *since the falling boulder does not change en route and the variability of the physical properties of the slope are greater than of the physical properties of the rock material, the coefficients assigned to the slope properties (R_n , R_t) are inclusive of both the characteristics of the slope and the rock material.*

The CRSP calculation code requires input parameters:

- *slope geometry and boulder size;*
- *roughness of the slope for each cell (value that is a function of the radius of the boulder and the irregularities of the slope), which alters the angle of impact between the falling boulder and the surface of the slope determining the characteristics of the rebounds of the boulders (Wu, 1984);*
- *normal restitution coefficients R_n and tangential restitution coefficients R_t for each cell, which quantitatively define the loss of kinetic energy that occurs following each impact due to friction and inelastic components of the impacts. R_n represents a measure of the degree of elasticity of collisions perpendicular to the slope; R_t , on the other hand, is a measure of the attractive resistance of displacements parallel to the slope that reduce the impact energy.*

Il codice di calcolo CRSP richiede, come parametri d'ingresso:

- la geometria del pendio e le dimensioni dei massi;
- rugosità del pendio per ogni cella (valore che è funzione del raggio del masso e delle irregolarità del pendio), la quale altera l'angolo di impatto tra il masso in caduta e la superficie del pendio determinando le caratteristiche dei rimbalzi dei massi (Wu, 1984);
- coefficienti di restituzione normale R_n e tangenziale R_t per ogni cella, i quali definiscono quantitativamente la perdita di energia cinetica che si verifica a seguito di ogni impatto a causa dell'attrito e delle componenti anelastiche degli urti. R_n rappresenta la misura del grado di elasticità delle collisioni perpendicolari al pendio, R_t ; invece, è una misura della resistenza attrattiva degli spostamenti paralleli al pendio che riducono l'energia di impatto.

Il codice di calcolo effettua la simulazione di caduta massi con inizio da una predeterminata area sorgente con assegnata una velocità iniziale; le componenti della velocità sono soggette all'azione dell'accelerazione di gravità finché la traiettoria di caduta non interseca il profilo del pendio con velocità V_i .

Ad ogni impatto velocità iniziale, angolo di impatto e velocità rotazionale sono utilizzati per calcolare le componenti di velocità e rotazione post-impatto; ad ogni punto di impatto, l'inclinazione del pendio (φ) viene fatta variare casualmente fino al limite massimo stabilito dal valore della massima variazione probabile dell'angolo locale di inclinazione del pendio (ϑ_{max}); tale limite viene determinato in base ai risultati dell'analisi di terreno della superficie del pendio.

La rugosità del pendio (S) è definita come variazione della superficie topografica perpendicolare al pendio su di una distanza uguale al raggio del masso di progetto.

Tale valore è basilare nel determinare l'effettivo angolo locale di impatto del masso sul pendio. La rugosità del pendio (S) e il raggio del masso (R) sono utilizzati per calcolare la massima variazione possibile dell'angolo locale di inclinazione del pendio (ϑ_{max}).

CONCLUSIONI

Per ciascuna area, in relazione ai risultati ottenuti, sono state formulate le proposte d'intervento dalle quali è stato possibile redigere lo studio di fattibilità tecnico economica.

Dallo studio è stato sviluppato un quaderno tipo delle opere con il dettaglio del manufatto, la descrizione del livello prestazionale, la metodologia di installazione e infine il costo per unità di misura di sviluppo mediante analisi prezzi con riferimento al prezzario della Regione Piemonte ed. 2018.

Complessivamente, sono stati valutati 70 interventi; di questi, 25 sono barriere paramassi, uno è costituito una galleria paramassi e i restanti sono rivestimenti corticali e in generale consolidamenti di versante.

L'insieme di interventi previsti a completamento di quelli di ripristino delle protezioni esistenti individuati nello studio del Dott. Cargnel e alle previsioni di Intervento proposte da ANAS consentiranno di raggiungere un soddisfacente grado di protezione dell'importante arteria stradale. ■

⁽¹⁾ Dottore Geologo, Consigliere del Consiglio Nazionale dei Geologi

The computational code performs the simulation of rock fall starting from a predetermined starting area with an assigned initial velocity; the velocity components are subjected to the action of gravity acceleration until the fall trajectory intersects the slope profile with velocity V_i .

At each impact the initial velocity, the impact angle, and the rotational velocity are used to calculate the post-impact velocity and rotational components; at each impact point, the slope inclination (φ) is varied randomly up to the maximum limit set by the value of the maximum probable change in the local slope angle (ϑ_{max}); this limit is determined from the results of the terrain analysis of the slope surface.

Slope roughness (S) is defined as the variation of the topographic surface perpendicular to the slope over a distance equal to the radius of the design boulder.

This value is important to determine the actual local angle of impact of the boulder on the slope. Slope roughness (S) and boulder radius (R) are used to calculate the maximum possible change in local slope angle (ϑ_{max}).

CONCLUSIONS

For each area, relating to the results obtained, the proposals for action have been formulated from which it was possible to draw up the technical and economic feasibility study.

From the study a notebook type of works was developed with the detail of the artifact, the description of the performance level, the methodology of installation and finally the cost per unit through price analysis with reference to the price list of the Piedmont Region ed. 2018.

Altogether 70 interventions have been evaluated, of these 25 are rock fall barriers, one is a rock fall protection tunnel and the rest are cortical coatings and in general slope consolidations.

The set of interventions planned to complete the pre-existing protections, identified in the study of Dr. Cargnel and in addition to the interventions proposed by ANAS, will allow to achieve a satisfactory degree of safety of the important road. ■

⁽¹⁾ Geologist, Council Member at Consiglio Nazionale dei Geologi



5. La ripresa del corpo di frana nel 2017, in località Puncetta, alla p.k. 29+850, nel comune di Cannobio

5. A shot of landslide body for the landslide of 2017, km 29+850, in Puncetta locality, in council of Cannobio