

RELAZIONE DELLO

Aprile 2021

Studio de fattibilità del ripristino degli accessi al traforo stradale del colle di Tende

Fase 1: Primo elemento della missione: Situazione attuale -  
Diagnosi geotecnica - Studi esplorativi di fattibilità per il ripristino  
degli accessi al traforo stradale del colle di Tenda

© copyright fotografia Cerema

Relazione dello studio del Cerema

## Studio de fattibilità del ripristino degli accessi al traforo stradale del colle di Tende

Fase 1: Primo elemento della missione: Situazione attuale - Diagnosi geotecnica - Studi esplorativi di fattibilità per il ripristino degli accessi al traforo stradale del colle di Tenda

### Cenni retrospettivi delle versioni del documento

Versione	Data	Commento
A	12 aprile 2021	Prima versione

### Follow-up da

<b>Jean-Luc GENOIS</b> – Département Infrastructures et Matériaux – Groupe Géotechnique
Telefono: +33(0)4 42 24 71 22
E-mail: <a href="mailto:jean-luc.genois@cerema.fr">jean-luc.genois@cerema.fr</a>
Stabilimento di Aix-en-Provence : Cerema Méditerranée Pôle d'activités 30 Avenue Albert Einstein CS 70499 13593 Aix-en-Provence Cedex 3 - Francia

### Riferimenti

Fascicolo n.: 21ME0007

Partner: non applicabile

Contratto concluso internamente ("in-house") del 03/02/2021

Relazione	Nome	Struttura
Stabilito da	Jean-Luc GENOIS	DIM / Gruppo geotecnico
	Grégory GENEREUX	DMOB / Gruppo Stima e calcolo delle opere d'ingegneria
	Sébastien ONARD	DMOB / Gruppo Sicurezza stradale, adattamento infrastrutture
Con la partecipazione di	Hugues GIROUX	DIM / Gruppo geotecnico
	Jean-Philippe BISOGNO	DMOB / Gruppo Stima e calcolo delle opere d'ingegneria
Convalida tecnica	Dominique BATISTA	DIM / Gruppo geotecnico
	Jean-Christophe CARLES	DMOB / Gruppo Stima e calcolo delle opere d'ingegneria
	Valérie GOYON-LEROUX	DMOB / Gruppo Sicurezza stradale, adattamento infrastrutture

Relazione	Nome	Data	Visto
Controllato dal capo progetto	Jean-Luc GENOIS (DIM/Geotecnica)	12 aprile 2021	
Approvato da	Didier JAN (Direttore del DIM)		

### Riassunto dello studio:

A seguito delle intemperie legate al passaggio della tempesta Alex sulle Alpi Marittime del 2 ottobre 2020, la piattaforma di accesso allo storico tunnel del Colle di Tenda è stata direttamente distrutta dal maltempo (alluvione del Roia) mentre le due strutture per gli accessi alle testate delle due gallerie (di cui una in costruzione) sono state distrutte da un fenomeno di gravità tra le 24 e le 48 ore successive alla eccezionale pioggia caduta su quella zona. In questo contesto la DREAL PACA ha chiesto a Cerema di valutare la possibilità di ripristinare l'accesso alle testate dei due tunnel.

Questo studio esplorativo di fattibilità per il ripristino degli accessi al tunnel del Colle di Tenda mira a valutare la fattibilità tecnica di tale ripristino ed evidenzia le incertezze associate alla realizzazione di questo progetto. Questo studio si iscrive nel quadro di un contratto concluso internamente ("in-house") tra DREAL PACA da un lato e Cerema Méditerranée dall'altro.

<b>INDICE</b>	
<b>1 INTRODUCTION / CONTEXTE</b>	<b>5</b>
<b>2 DIAGNOSTIC GEOTECHNIQUE (DE L'EVENEMENT QUI A EMPORTE LES OUVRAGES)</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Phénomènes observés</b>	<b>5</b>
2.1.1 Etat des lieux avant / après tempête Alex	5
2.1.2 Descriptions des désordres observés	6
<b>2.2 Analyse des phénomènes observés</b>	<b>7</b>
2.2.1 Situation, au sein du réseau hydrographique, du secteur d'étude	7
2.2.2 Sollicitations pluviométriques début octobre 2020	8
2.2.3 Destruction de la plate-forme d'accès au tunnel historique	8
2.2.4 Destruction des viaducs d'accès aux tunnels	9
<b>3 ALÉA GLISSEMENT / LAVE TORRENTIELLE PRIS EN COMPTE</b>	<b>24</b>
<b>3.1 Aléa glissement de terrain dans le vallon de la Ca</b>	<b>24</b>
3.1.1 Historique de glissements	24
3.1.2 Glissement de terrain / lave torrentielle à considérer en entrant des études ultérieures	25
3.1.3 Suivi et traitement du glissement de terrain de projet	33
<b>4 ETUDES ANTERIEURES D'OUVRAGES D'ART</b>	<b>34</b>
<b>4.1 Généralités</b>	<b>34</b>
<b>4.2 Etude de faisabilité du CETE Méditerranée de 2004</b>	<b>34</b>
<b>4.3 EPOA du Sétra de 2006</b>	<b>35</b>
<b>4.4 Etude AVP du Sétra de 2008</b>	<b>35</b>
<b>4.5 Etude d'exécution de l'ouvrage réalisée par l'ANAS</b>	<b>36</b>
<b>5 CONTRAINTES ET DONNEES DE SITE POUR LES NOUVEAUX OUVRAGES</b>	<b>36</b>
<b>5.1 Présentation du site</b>	<b>36</b>
<b>5.2 Topographie du terrain naturel</b>	<b>37</b>
<b>5.3 Obstacle à franchir : la Ca</b>	<b>37</b>
<b>5.4 Ouverture hydraulique</b>	<b>38</b>
<b>5.5 Sensibilité environnementale</b>	<b>38</b>
<b>5.6 Avalanches</b>	<b>38</b>
<b>5.7 Nouvel éventuel glissement de terrain / Nouvelle éventuelle lave torrentielle</b>	<b>39</b>
<b>5.8 Sismicité</b>	<b>39</b>
<b>5.9 Température</b>	<b>39</b>
<b>5.10 Données de sol</b>	<b>39</b>
<b>6 CONTRAINTES FONCTIONNELLES DES NOUVEAUX OUVRAGES</b>	<b>39</b>
<b>6.1 Nature de la voie portée</b>	<b>39</b>
<b>6.2 Trafic</b>	<b>39</b>
<b>6.3 Niveau de retenue à considérer sur ouvrage</b>	<b>40</b>
<b>6.4 Niveau de retenue à considérer hors ouvrage</b>	<b>40</b>
<b>6.5 Durée d'utilisation du projet</b>	<b>40</b>
<b>7 SOLUTIONS TECHNIQUES ETUDIEES</b>	<b>40</b>
<b>7.1 Généralités</b>	<b>40</b>
<b>7.2 Dispositions géométriques particulières appliquées au projet</b>	<b>40</b>
7.2.1 Généralités	40
7.2.2 Tracé en plan	40
7.2.3 Profil en long	41
7.2.4 Profils en travers	41
<b>7.3 Scénario 1 : ouvrage unique</b>	<b>42</b>
7.3.1 Généralités	42
7.3.2 Niveau de retenue à considérer sur ouvrage	42
7.3.3 Tracé routier	42
7.3.4 Solutions possibles d'ouvrage d'art	44
7.3.5 Ouvrage retenu dans la présente étude	45
7.3.6 Reconstruction de la plateforme au niveau du tunnel Est	51
<b>7.4 Scénario 2 : deux ouvrages</b>	<b>51</b>
7.4.1 Généralités	51
7.4.2 Niveau de retenue à considérer sur ouvrage	51
7.4.3 Tracé routier	52
7.4.4 Solutions possibles d'ouvrage d'art	55
7.4.5 Ouvrages retenus dans la présente étude	56
7.4.6 Reconstruction de la plateforme au niveau du tunnel Est	65
<b>7.5 Pré-dimensionnement des fondations des ouvrages d'art</b>	<b>65</b>
7.5.1 Descentes de charges prévues à ce stade du projet	65
7.5.2 Données géotechniques disponibles au niveau des culées des ouvrages	65
7.5.3 Prédimensionnement des fondations profondes	65
7.5.4 Reconnaissances complémentaires	66
7.5.5 Synthèse	66
<b>8 RÉTABLISSEMENT DE LA PLATEFORME EST D'ACCÈS AU TUNNEL HISTORIQUE</b>	<b>66</b>
<b>8.1 Etat de la plateforme suite au passage de la tempête Alex</b>	<b>66</b>
<b>8.2 Emprise nécessaire au rétablissement d'un accès au tunnel est (tunnel historique)</b>	<b>68</b>

<b>8.3 Nature des matériaux au niveau de la plateforme</b>	<b>69</b>
<b>8.4 Profils en travers au niveau du talus</b>	<b>70</b>
<b>8.5 Solutions techniques envisageables</b>	<b>71</b>
<b>8.6 Reconnaissances géotechniques nécessaires</b>	<b>72</b>
<b>9 CONCLUSIONS ET SUITES A DONNER</b>	<b>73</b>

## 1 INTRODUZIONE / CONTESTO

Il tunnel "storico" di Tenda, messo in servizio nel 1882, ha dimensioni ridotte (6 m di larghezza, 3,9 m di altezza di sagoma) e oggi offre solo un livello di servizio molto degradato, soprattutto in termini di comfort e sicurezza dell'utente. Esso non è adatto alle dimensioni dei mezzi attuali: due autocarri non possono incrociarsi e non rispetta gli standard di sicurezza definiti a seguito dell'incidente nel traforo del Monte Bianco (in specie, nessuna galleria di emergenza).

L'operazione "Nuovo tunnel del Colle di Tenda", come approvata nelle fasi precedenti, prevede:

- la costruzione di una nuova canna unidirezionale, in direzione Italia-Francia, di larghezza utile 6,5 m, composto da una corsia di circolazione di 3,5 m, una banchina sinistra a raso di 0,30 m e una corsia di emergenza di 2,70 m.
- l'utilizzo temporaneo della nuova canna in entrambe le direzioni durante l'alesaggio della vecchia galleria al fine di raggiungere l'obiettivo finale di due nuove canne unidirezionali con una larghezza utile di 6,50 m.

Il tracciato della nuova canna è parallelo a quello della canna "storica" e la sua testata sul versante francese si trova a una quota equivalente a quella del traforo esistente, ma circa 40 metri più ad ovest.

Tenuto conto della posizione (alta) scelta per le testate sul versante francese, l'operazione prevede la rettifica degli ultimi quattro tornanti della RD 6204 con la ripresa dell'asse stradale dal ponte Romanin al ponte della Ca. I lavori prevedono in particolare la realizzazione di una seconda opera di attraversamento del Ca, lunga 45 m e posta a monte del viadotto esistente.

Sul versante francese, al 2 ottobre 2020, 493 m di galleria erano stati scavati, di cui 298 rivestiti in calcestruzzo. A quella data rimanevano ancora 1457 m di galleria da scavare.

A seguito delle intemperie legate al passaggio della tempesta Alex sulle Alpi Marittime del 2 ottobre 2020, la piattaforma di accesso allo storico tunnel è stata direttamente danneggiata (alluvione del Roia) mentre i due ponti di accesso alle testate delle due gallerie sono stati spazzati via da un fenomeno di gravità avvenuto il giorno successivo.

In questo contesto la DREAL PACA ha chiesto a Cerema di valutare la possibilità di ripristinare l'accesso alle testate dei due tunnel. Questo è l'oggetto di questo studio esplorativo di fattibilità per il ripristino dell'accesso al tunnel stradale del Colle di Tenda, per il quale è stato firmato un contratto "in-house" il 3 febbraio 2021 tra la DREAL PACA e Cerema Méditerranée.

Il progetto di ristrutturazione del tunnel è gestito, secondo i termini di un trattato internazionale, dalla Commissione Intergovernativa Franco-Italiana (CIG). Nel quadro dell'operazione "Nuovo Tunnel del Col di Tenda", l'ANAS (Azienda Nazionale Autonoma delle Strade), società per azioni che progetta, realizza e gestisce gran parte della rete stradale italiana è l'ente appaltante delegato per la progettazione e l'esecuzione dei lavori.

## 2 DIAGNOSI GEOTECNICA (DELL'EVENTO CHE HA DISTRUTTO LE OPERE)

### 2.1 Fenomeni osservati

#### 2.1.1 Situazione prima / dopo la tempesta Alex

Mentre se realizzavano i lavori di scavo per il nuovo tunnel di Tenda, ripresi nel 2019 per consentire il collegamento tra Italia e Francia tramite una seconda canna unidirezionale, il 2 ottobre 2020 si sono verificate precipitazioni eccezionali nel bacino idrografico del Roia nelle Alpi Marittime (e anche in altri bacini) che hanno causato la distruzione di parte delle strutture di accesso al tunnel del Col di Tenda sul versante francese.

Le illustrazioni Illustration 1 e Illustration 2 mostrano la situazione prima e dopo l'evento meteorologico all'inizio di ottobre 2020.

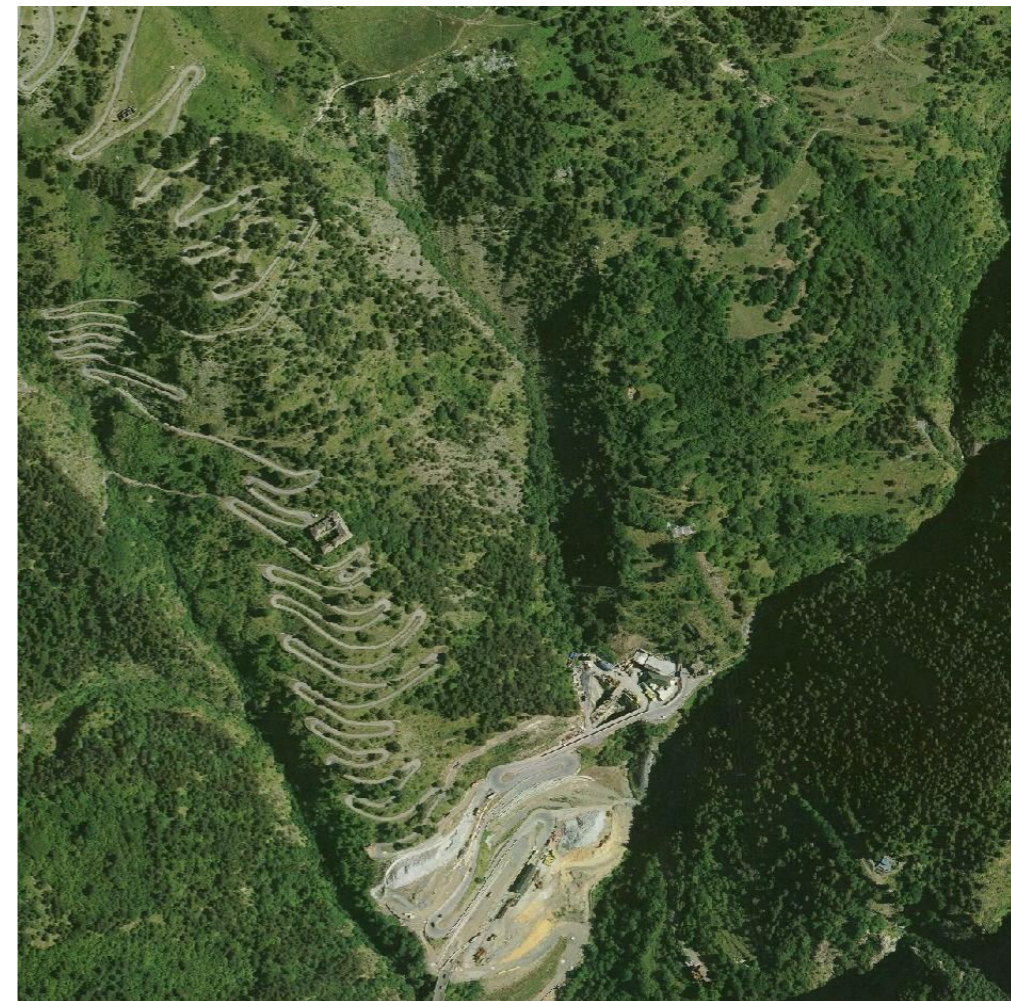


Illustration 1 : Accesso al tunnel del Colle di Tenda e versante a monte – Ortofotografia del 2017 (IGN©)



Illustration 2 : Accesso al traforo del colle di Tenda e versante a monte – Ortofotografia "post Alex" – ottobre 2020 (IGN©)  
Questa illustrazione mostra i movimenti superficiali e profondi del terreno che ora interessano questo versante, nonché il carattere erosivo del Roia.

Durante tali eventi, la piattaforma di accesso al tunnel storico (centro-destra nelle illustrazioni Illustration 1 e Illustration 2) è stata parzialmente distrutta dall'alluvione del Roia e due strutture per l'attraversamento della valle del Ca sono state spazzate via da un movimento del terreno (al centro delle illustrazioni Illustration 1 e Illustration 2). Queste due strutture permettevano l'accesso sia al tunnel storico sia al nuovo tunnel in costruzione.

### 2.1.2 Descrizione dei disordini osservati

In questa analisi occorre distinguere due generi di fenomeni.

In primo luogo vi sono i fenomeni legati all'alluvione del Roia e / o dei suoi affluenti che generalmente determinano l'erosione più o meno marcata degli argini e i depositi alluvionali.

Vi sono poi i fenomeni del tipo "smottamento" fuori dell'influsso del fiume. Questi smottamenti si traducono localmente in frane superficiali o profonde e in colate di fango. Questi smottamenti possono essere avviati da fenomeni di ruscellamento e/o saturazione del suolo.

Due grandi fenomeni si sono verificati nell'area del tunnel del Colle di Tenda; innanzitutto un fenomeno erosivo molto significativo del Roia che ha portato alla distruzione della piattaforma di accesso al tunnel, poi un fenomeno di frana nella valle del Ca che ha distrutto i viadotti di accesso alle canne del tunnel del Colle di Tenda

#### 2.1.2.1 Distruzione della piattaforma di accesso al tunnel storico

Questo evento è cronologicamente il primo ad essersi verificato. Al culmine dell'evento meteorologico, il Roia in piena ha eroso la base della piattaforma d'accesso al tunnel storico (verso l'Italia) che, avendo perso la scarpata a valle, è parzialmente crollata.. Le illustrazioni Illustration 3 e Illustration 4 mostrano la situazione prima e dopo l'evento meteorologico all'inizio di ottobre 2020.

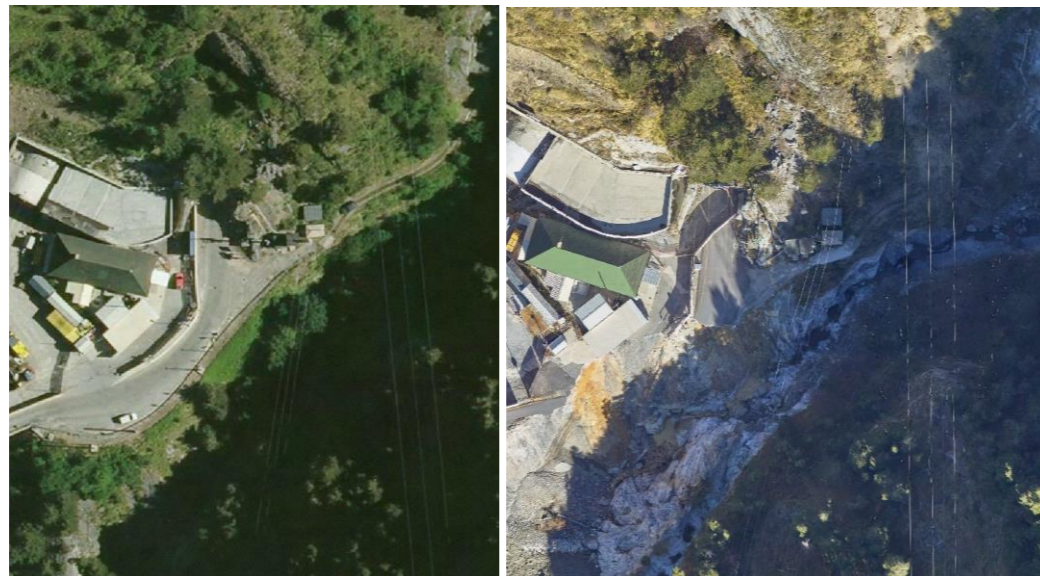


Illustration 3 : Piattaforma di accesso al tunnel storico – Ortofotografie del 2017 e "post Alex" – ottobre 2020 (IGN©)



Illustration 4 : Piattaforma di accesso al tunnel storico (fotografia del 03/10/2020)  
Queste illustrazioni testimoniano la forte incisione del Roia nel suo letto (substrato calcareo osservabile nell'affioramento) che ha provocato la destabilizzazione del terrapieno a valle della piattaforma di accesso al tunnel storico.

L'azione del Roia nel suo letto (costituito da alluvioni) è molto impressionante poiché lo ha completamente "pulito" fino a far affiorare il substrato calcareo giurassico. Il terrapieno a valle della piattaforma, apparentemente costituito dal materiale di marinaggio (materiale da estrazione) proveniente dal tunnel storico, è stato spazzato via lasciando la piattaforma parzialmente distrutta e localmente al di sopra del vuoto.

Vista l'illustrazione 4, si può ipotizzare che lo scavo del letto fosse concentrato principalmente sugli argini realizzati sulla sponda destra (a livello del terrapieno della piattaforma) poiché gli abeti sono ancora presenti nel corso principale del letto e non furono spazzati via dal fiume. Ciò testimonia la più debole attività del Roia sulla sponda sinistra del letto principale (durante la costruzione del primo tunnel, il Roia era stato inoltre deportato a sinistra del suo letto - scavo di un canale, in modo da scaricare l'argine, vedi paragrafo 2.2.3).

#### 2.1.2.2 Distruzione dei viadotti di accesso alle gallerie

Questo evento si è verificato tra 24 e 48 ore dopo le piogge del 3 ottobre 2001, vale dire tra il 3 e il 4 ottobre 2020. Uno smottamento ha avuto inizio sul versante che delimita la sponda destra del vallon del Ca e si è esteso ai viadotti distruggendoli. Le illustrazioni Illustration 5 e Illustration 6 mostrano il settore dei due viadotti prima e dopo l'evento meteorologico all'inizio di ottobre 2020.



Illustration 5 : Viadotti di accesso – Ortofotografie del 2017 e "post Alex" (IGN©)



Illustration 6 : Viadotti di accesso – (fotografie del 03 e 09/10/2020)

Le due strutture furono quasi completamente distrutte. Nell'illustrazione 6b, è ancora visibile la spalla della vecchia struttura sulla sponda destra. Le pile della nuova struttura furono distrutte; di questa opera dovrebbero rimanere solo le sbarre (fondamenta profonde). Si noti che, a ridosso del viadotto recentemente costruito (Illustrazione 6a), è stato eseguito un riempimento su una piccola struttura idraulica (bocchetta) per le esigenze del cantiere.

La frana, iniziata poche decine di ore dopo l'eccezionale pioggia del 2 ottobre 2020, ha scavato il vallon del Ca. Sostanzialmente, il vallon (almeno nella sua parte terminale) non si è sostanzialmente allargato con questo evento. Il canale principale del vallon ha la stessa apertura e sembra indicare zone di accrescimento (deposito) leggermente a monte dei due viadotti.

## 2.2 Analisi dei fenomeni osservati

Il paragrafo di seguito si concentrerà sulla determinazione della cronologia e dei nessi causali tra gli eventi successivi, che hanno portato alla distruzione delle opere.

### 2.2.1 Ubicazione, all'interno della rete idrografica, dell'area di studio

Il settore soggetto dei disordini osservati si trova alla testata del bacino idrografico del fiume Roia, alla confluenza di diverse valli inscritte su ripidi pendii con forte potere erosivo e potenziamento delle lave torrenziali. Questo settore è presentato di seguito nell'illustration 7.

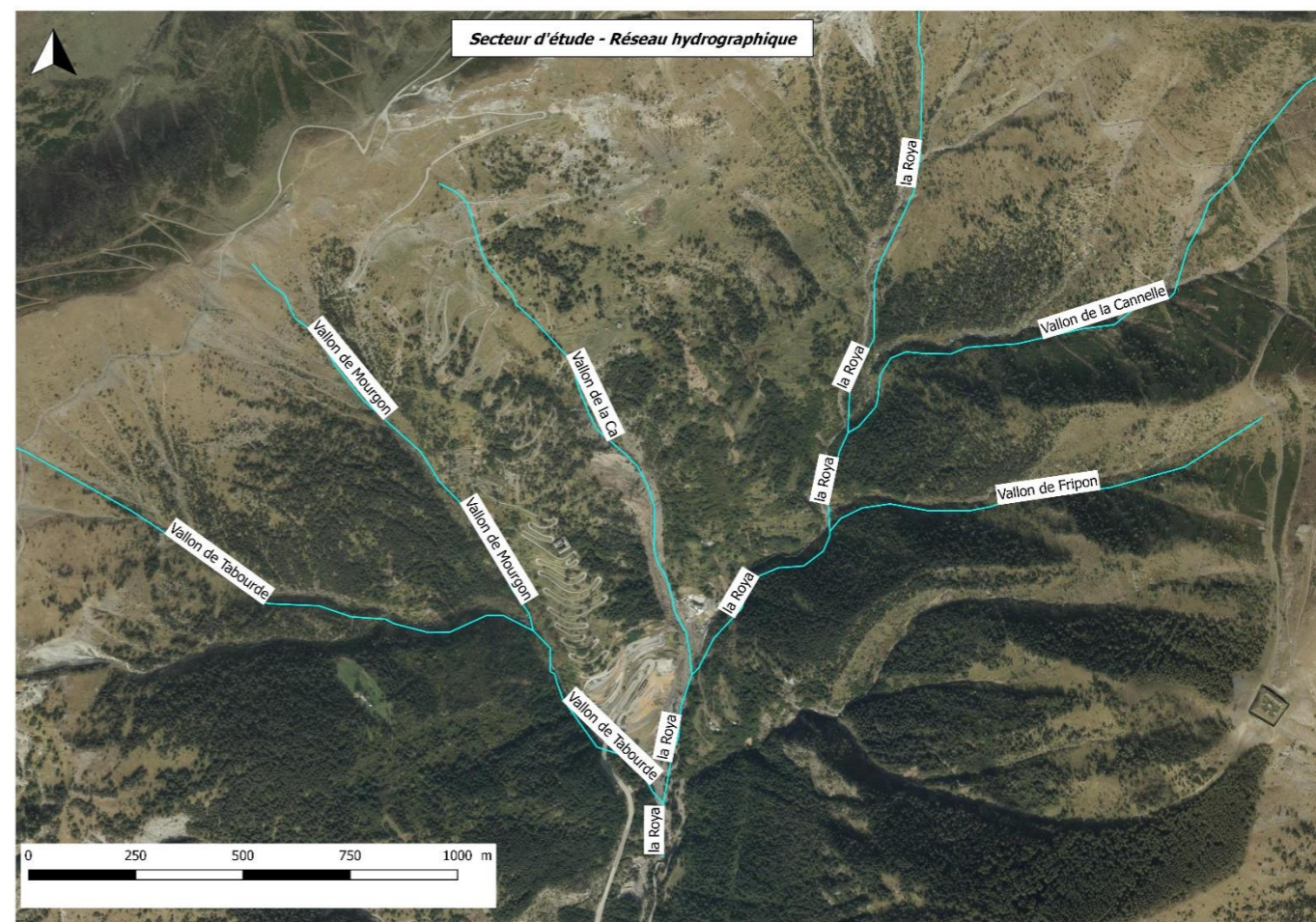


Illustration 7 : Rete idrografica alla testata del bacino idrografico del fiume Roia

In questo settore in forte pendenza, il cantiere per l'accesso al tunnel del Colle di Tenda si trova tra la confluenza tra il fiume Roia e il Vallon de Fripon a monte e la confluenza tra il fiume Roia e il Vallon di Taborda a valle. I viadotti distrutti dal ruscello Ca erano situati direttamente a monte della confluenza tra il fiume Roia e il Vallon de la Ca.

I punti più alti dei tratti idrografici (BD Carthage) per il Roia e dei suoi affluenti si trovano alle seguenti altitudini:

- Roia: 1864 m,
- Vallon de la Cannelle: 2140 m,
- Vallon de Fripon: 1922 m,
- Vallon de la Cannelle: 1790 m,
- Vallon de Mourgon: 1854 m,
- Vallon di Taborda: 2064 m.

Di seguito si riportano le pendenze medie del Roia e dei suoi affluenti fino alla confluenza con altre valli oppure lo stesso Roia:

- Roia:
  - Pendenza media fino alla confluenza con il Vallon de la Cannelle: 41%
  - Pendenza media tra le confluenze con il Vallon de la Cannelle e il Vallon de Fripon: 23%
  - Pendenza media tra le confluenze con il Vallon de Fripon e il Vallon de la Ca: 25%
  - Pendenza media tra le confluenze con il Vallon de la Ca e il Vallon di Taborda: 18%
- Vallon de la Cannelle:
  - Pendenza media fino alla confluenza con il Roia: 46%
- Vallon de Fripon:
  - Pendenza media fino alla confluenza con il Roia: 53%
- Vallon de la Cannelle:
  - Pendenza media fino alla confluenza con il Roia: 42%
- Vallon de Mourgon:
  - Pendenza media fino alla confluenza con il Vallon di Taborda: 52%
- Vallon di Taborda:

- Pendenza media fino alla confluenza con il Vallon de Mourgon: 48%
- Pendenza media tra le confluenze con il Vallon de Mourgon: e il Roia: 21%

Nelle parti a monte dei bacini idrografici, le pendenze risultano ampiamente sufficienti (> 40%) ad essere fonte di lave torrenziali o di eventi gravitazionali con una significativa componente idraulica, fermo restando la disponibilità di sedimenti.

### 2.2.2 Sollecitazioni pluviometriche all'inizio di ottobre 2020

La sollecitazione pluviometrica è ovviamente l'evento scatenante dei disastri osservati e della distruzione delle strutture.

Nella sua presentazione alla CIG del 20 novembre 2020, il dott. Andrea VALENTE ARNALDI indica accumuli pluviometrici eccezionali. Questi accumuli giornalieri, registrati presso la stazione meteorologica di Cuneo (Limone Piemonte), sono specificati di seguito nella Tabella 1:

Tableau 1 : Accumuli pluviometrici registrati alla stazione meteorologica di Cuneo ai primi di ottobre

Data	Accumulo pluviometrico
1 ottobre 2020	0 mm
2 ottobre 2020	549,4 mm
3 ottobre 2020	33,2 mm
4 ottobre 2020	6,8 mm
<b>Accumulo di pioggia</b>	<b>589,4 mm</b>

Queste accumuli pluviometrici rappresentano più della metà della quantità media annua di precipitazioni in questa stazione meteorologica. Sempre secondo l'Ufficio Studi italiano, il tempo di recupero dopo un evento di questo tipo è di oltre 200 anni.

I dati della stazione Meteo-France di Tenda indicano 310 mm di accumulo in 24 ore, di cui 262 mm in 12 ore in continuo.

Questa eccezionale pioggia, a prescindere dai dati sulle precipitazioni sul versante francese del tunnel del Colle di Tenda, ha avuto pesanti ripercussioni su:

- Da un lato, il regime idrologico e la portata dei corsi d'acqua:
  - I corsi d'acqua sono stati in piena molto rapidamente con un regime torrentizio sostenuto.
  - Le portate dei corsi d'acqua sono aumentate notevolmente. Non ci sono misure per il fiume Roia (i dati di portata e quota sono comunque registrati dalla stazione EDF), gli estratti relativi al fiume Vesubia ad Utelle indicano una portata di oltre 600 m<sup>3</sup>/s il 02/10/2020 in serata quando nel primo pomeriggio era praticamente zero. Allo stesso tempo, il livello del Vesubia è salito (nello stesso punto di misurazione) oltre 6 m.

L'Illustration 8 di seguito mostra i dati registrati dalla stazione EDF di Tende che ha modellato una curva di taratura in piena; fino ad allora la misurazione più alta eseguita in questo sito era di 22,5 m<sup>3</sup>/s.

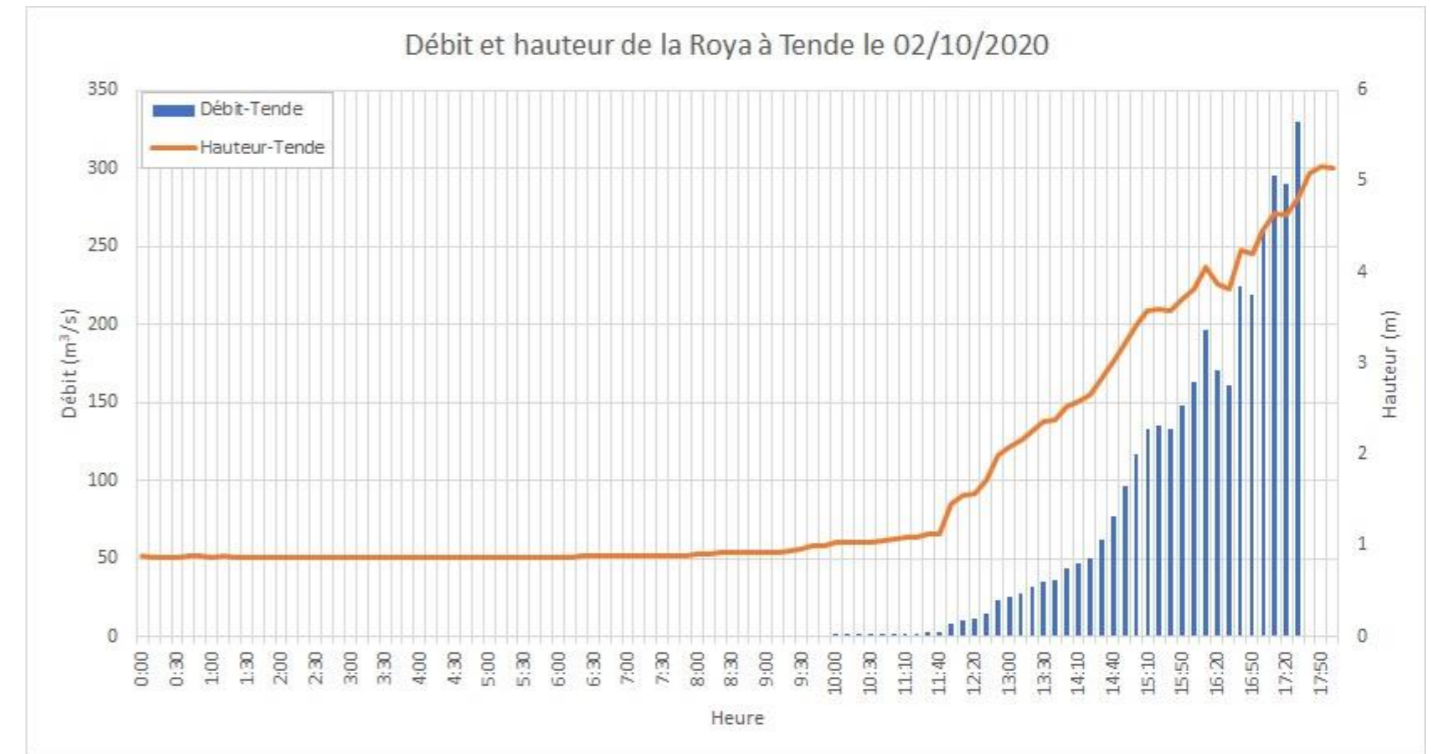


Illustration 8 : :Dati di portata e quota registrati dalla stazione EDF nel fiume Roia a Tenda  
I dati di portata del flusso si interrompono alle 17:30, la curva di taratura non supera i 5 m. I dati relativi all'altezza si interrompono alle 18:00 poiché la stazione è stata probabilmente distrutta poco dopo.

- D'altra parte, lo stato di saturazione del suolo:
  - Il suolo è passato da uno stato idrico molto basso a uno stato saturo in poche ore e non era più in grado di immagazzinare l'acqua. Il ruscellamento è stato molto importante e ha portato, nelle zone con forti pendenze, a fenomeni gravitazionali quali "colate di fango" o "colate detritiche". Quando il suolo era già molto saturo, nei settori a potenziale rischio di smottamento, questi si sono talvolta verificati.

### 2.2.3 Distruzione della piattaforma di accesso al tunnel storico

L'area della storica piattaforma di accesso al tunnel si trova alla confluenza del Vallon de Cannelle ad un'altitudine di circa 1.250 m. Il bacino idrografico di questa valle, così come quello del fiume Roia, culmina ad un'altitudine di circa 2.100 m. Le precipitazioni del 2 ottobre 2020, stimate in circa 300 mm di profondità di deflusso nell'arco della giornata, di cui oltre 260 mm in 12 ore in continuo, hanno provocato la piena di questa valle così come quella del Roia. L'argine a valle della piattaforma, come specificato in precedenza, si trova all'uscita del tornante del Roia nella "parte superiore", quindi con velocità di flusso molto elevate e probabilmente forti turbolenze.

L'Illustration 9 di seguito mostra una veduta aerea del Cannelle nell'ambiente a monte dell'argine della piattaforma di accesso al tunnel storico.



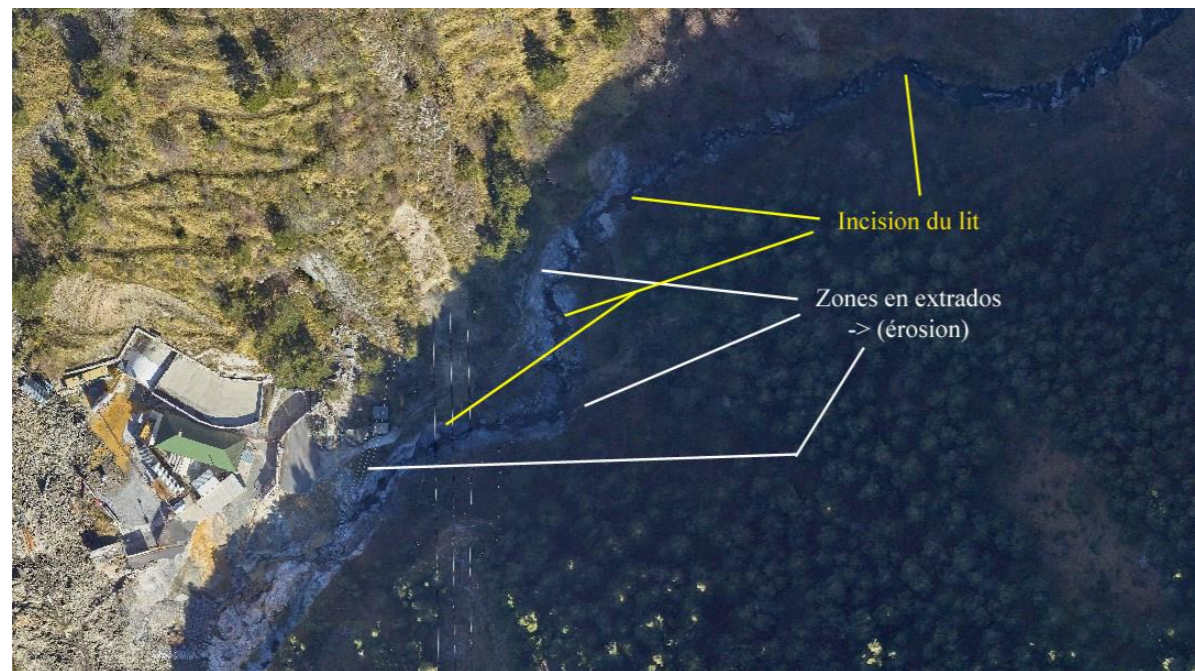


Illustration 9 : Ambiente a monte della confluenza Cannelle - Roia

Questa illustrazione mostra chiaramente i fenomeni di erosione sulla parte superiore del fiume così come lo scavo da parte di quest'ultimo nel suo letto.

Situata all'uscita del tornante, sulla parte superiore, l'argine a valle della piattaforma ha subito, dall'inizio della piena del Roia, un'erosione alla sua base proprio in linea con l'ingresso del tunnel. Secondo gli studi eseguiti per la realizzazione del nuovo tunnel e per lo sviluppo degli accessi alle gallerie, i materiali di questa piattaforma sono costituiti dagli argini fatti con materiali da marinaggio (estrazione) del tunnel. Questi materiali sono stati molto probabilmente "scaricati" (eventualmente compattati) direttamente sul calcare giurassico visto sull'illustration 9 (calcare di colore biancastro) e cartografati sull'illustration 10 di seguito.

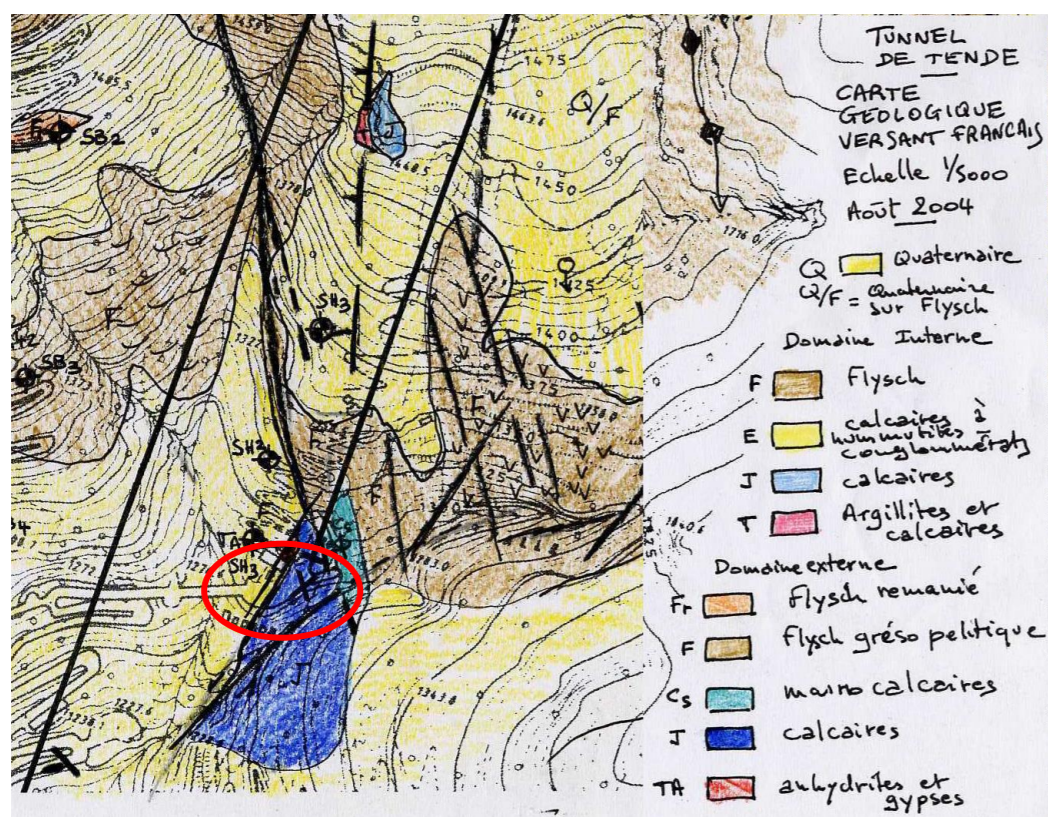


Illustration 10 : Cartografia geologica dell'area studiata (CETE Méditerranée - Laboratoire de Nice - 09/2004)  
In un cerchio rosso, la piattaforma di accesso al tunnel storico. In blu, i calcari giurassici visibili nell'illustrazione 7 sopra.

Gli argini della piattaforma, nel corso degli anni, si sono stabilizzati in modo da costituire un terrapieno a valle più o meno stabile; non erano però sufficientemente resistenti all'erosione del Roia in piena.

Occorre notare che durante la costruzione del tunnel storico, il letto del Roia è stato incanalato verso la sua sinistra idrografica in modo da poter scaricare i materiali da marinaggio dal tunnel in una zona fuori dall'acqua, questo è visibile sull'illustration 11 di seguito.



Vecchio canale creato per deviare il letto del Roia durante la costruzione del del tunnel storico.

Florent Adamo / Cerem

Illustration 11 : Particolare del letto del Roia

Sul lato destro della fotografia, si vede il vecchio letto canalizzato del Roia durante la costruzione del tunnel storico.

L'erosione è probabilmente iniziata all'uscita del tornante del Roia quando quest'ultimo ha trovato il suo letto "storico" e iniziato a scavare il terrapieno della piattaforma. L'erosione si è poi diffusa a valle del fiume fino a distruggere l'intero argine ed esporre i calcari giurassici sottostanti, destabilizzando così la piattaforma di accesso al tunnel storico.

La cronologia degli eventi che hanno portato alla distruzione della piattaforma di accesso al tunnel storico può essere stabilita così:

- precipitazioni eccezionali nel bacino idrografico del fiume Roia (e nel vallon de Cannelle),
- un importante ruscellamento sul suolo che ha raggiunto la saturazione,
- una notevole piena ("lampo"?) del fiume Roia e del suo affluente,
- una significativa erosione degli argini del Roia (soprattutto nelle zone situate nella parte superiore delle curve) nonché lo scavo del letto del fiume,
- un inizio dell'erosione del terrapieno a valle della piattaforma di accesso al tunnel storico con sottoscavo di quest'ultima ed erosione regressiva a monte,
- una propagazione dell'erosione a valle del Roia e al termine del terrapieno provocando la graduale rottura di tutto questo,
- distruzione della piattaforma per perdita di sostegno causata dalla completa erosione del terrapieno a valle.

## 2.2.4 Distruzione dei viadotti di accesso alle gallerie

### 2.2.4.1 Eventi concomitanti - Ruscellamento / Dilavamento / Colate di fango

La parte superiore del bacino idrografico del fiume Roia, a livello del Vallon del Ca, è stata interessata da notevoli fenomeni idraulici e gravitazionali. Rileviamo numerose colate di fango che iniziano sopra la zona d'insorgenza della frana che ha colpito i due viadotti. L'illustration 12, di seguito, a cura del servizio RTM delle Alpi Marittime, mostra alcuni smottamenti superficiali e colate di fango che hanno interessato l'area dello studio

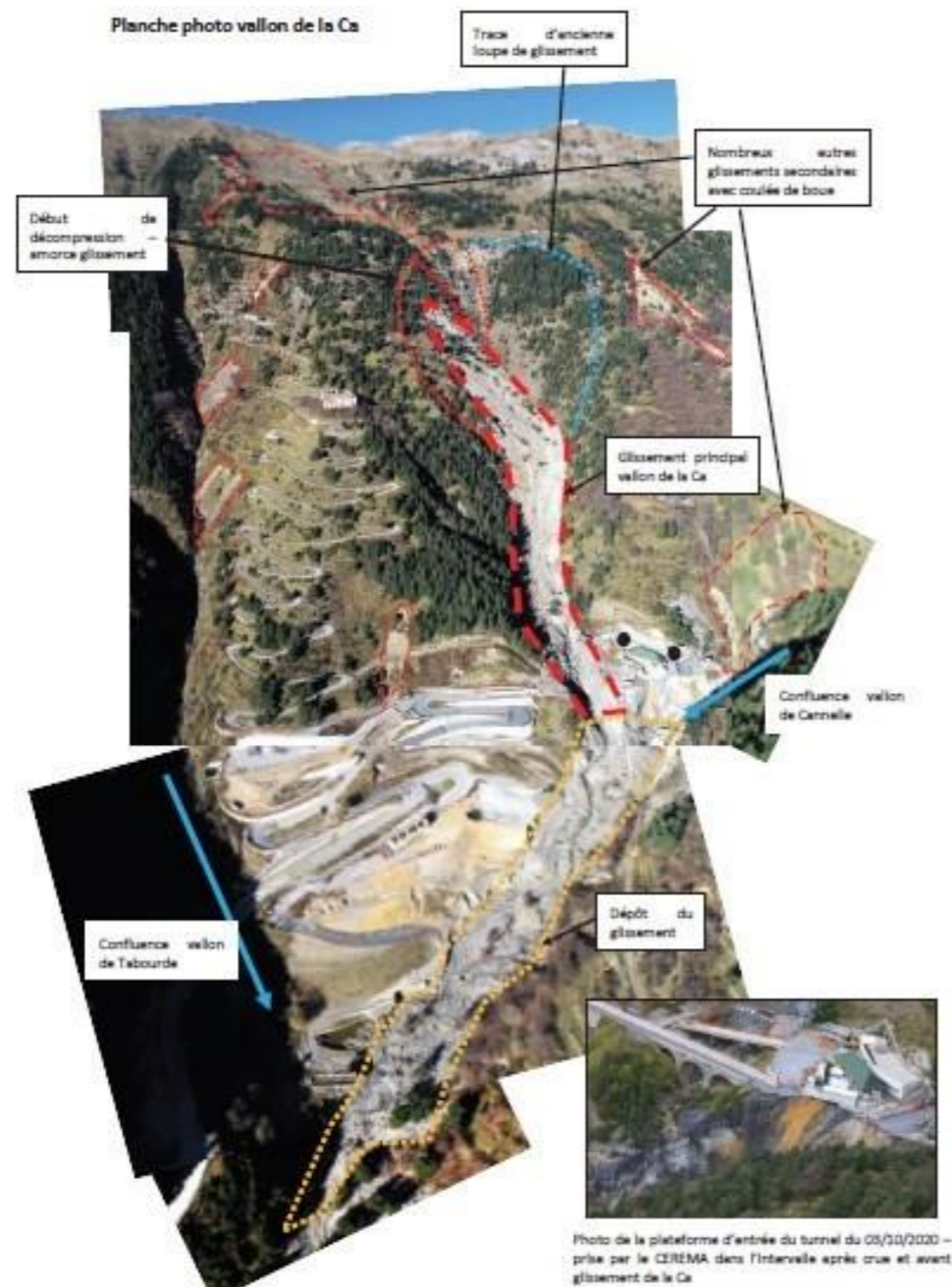


Illustration 12 : Analisi geomorfologica di eventi localizzati al Vallon del Ca (RTM 06)

Oltre allo smottamento principale (ben visibile in questo fotomontaggio), ci sono molti altri superficiali diventati colate di fango. Questi fenomeni sono visibili fino ai limiti del bacino idrografico (crinale).

Oltre a colate di fango e gli smottamenti, sono presenti forti tracce di ruscellamento a monte della nicchia di sfondamento della frana principale. Questi importanti deflussi sono stati sottolineati dal Dott. Andrea VALENTE ARNALDI nella riunione del CIG, il 20 novembre 2020. Sono inoltre molto facilmente identificabili sull'ortofotografia fornita dall'IGN dopo il passaggio della tempesta Alex. Il Dott. Andrea VALENTE ARNALDI propone come evento scatenante della frana del ruscello Ca, un massiccio afflusso di acqua da un ruscello affluente del Ca. Le acque di questo ruscello sarebbero state intercettate da un sentiero che porta agli alpeggi e che le avrebbe dirette fino alla vecchia strada del sale (un ripido sentiero tortuoso parallelo al Vallon del Ca). Poco dopo il bivio con questo sentiero, l'acqua incanalata sarebbe confluita nel versante sottostante e avrebbe (dopo aver saturato e imbibito il suolo) provocato lo smottamento.

Le Illustration 13 a Illustration 15 di seguito, tratte dalla presentazione del Dott. Andrea VALENTE ARNALDI, mostrano i fenomeni di erosione osservati sul versante a monte della frana del Ca.

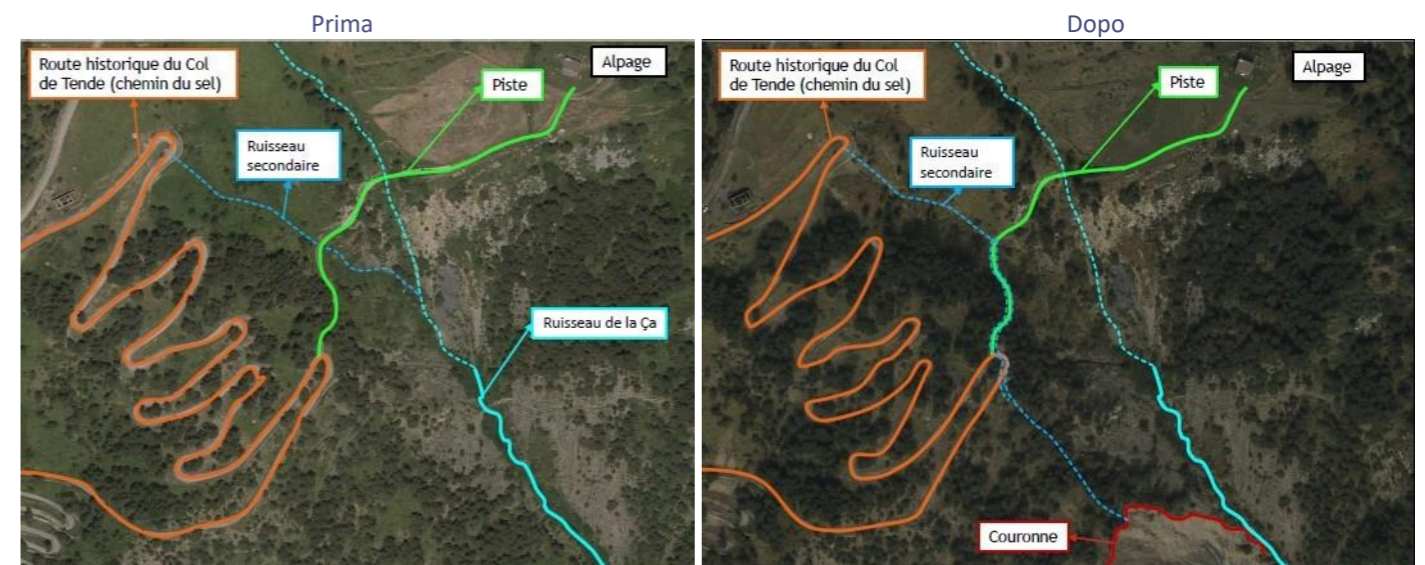


Illustration 13 : Interpretazione dei cambiamenti nei flussi durante la tempesta Alex (Dott. VALENTE ARNALDI)

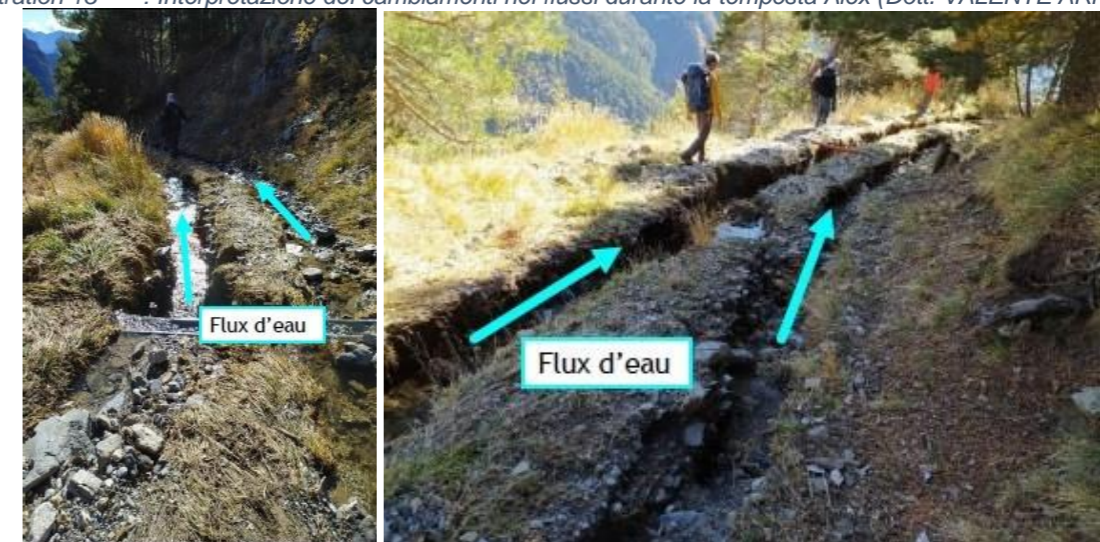


Illustration 14 Deflusso lungo il sentiero che porta agli alpeggi (Dott. VALENTE ARNALDI)

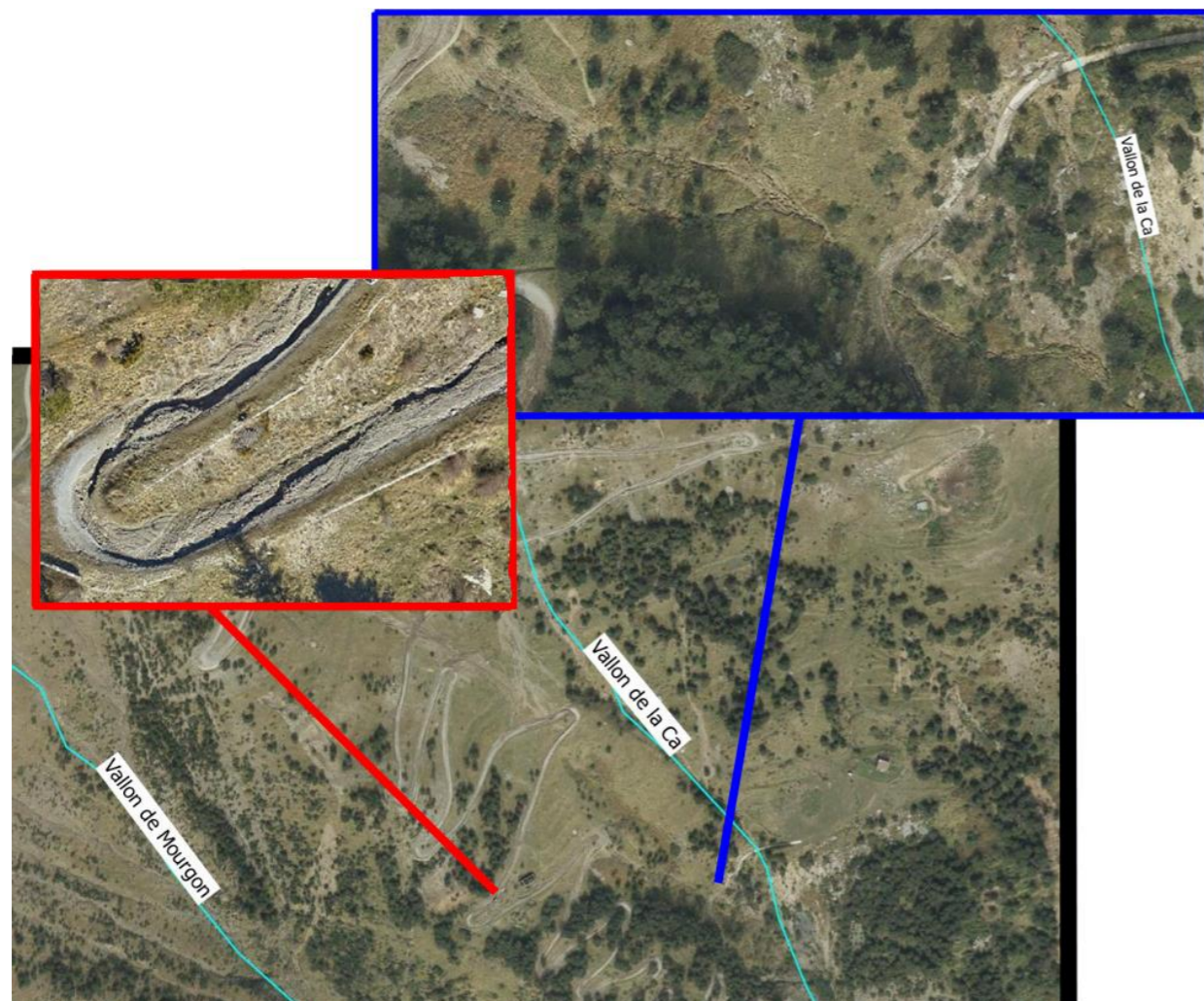
Il ruscellamento lungo il sentiero è notevole. I solchi testimoniano della natura altamente erosiva di questo dilavamento, così come della quantità d'acqua passata attraverso questo sentiero.



Illustration 15 : Dilavamento - Incrocio con la vecchia strada del sale - punto di scarico sul versante (Dott. VALENTE ARNALDI)

Le acque provenienti dal sentiero degli alpeggi sboccarono violentemente sulla vecchia strada del sale (asfalto distrutto) prima di "confluire" nel versante poche decine di metri a valle.

Gli effetti della cattura del deflusso da parte dei sentieri sono innegabili e responsabili principalmente della concentrazione delle acque superficiali. È tuttavia interessante notare che tutta la vecchia strada del sale è stata interessata, in vari punti, da un grande deflusso "re-iniettato" nel versante sottostante (vedi Illustration 16). Non è quindi solo una modifica nel sentiero di accesso agli alpeggi l'unica causa della concentrazione delle acque superficiali nella vallon del Ca ed in particolare a livello della nicchia di sfondamento della frana.



**Illustration 16** : Ruscigliamento in testata del bacino idrografico del Vallon del Ca - Ortofotografia "post Alex" (IGN©)  
Il ruscigliamento generalizzato nel bacino idrografico del Vallon del Ca e non solo il sentiero di accesso agli alpeggi ha concentrato tutte le acque del versante per portarle verso la frana.

In rosso, il ruscigliamento leggermente a monte della frana: L'acqua superficiale rimane sul sentiero.  
In blu, l'area documentata dal Dott. VALENTE ARNALDI: Si osserva che le acque del ruscello secondario attraversano il sentiero di accesso agli alpeggi.

L'illustrazione precedente mostra chiaramente che il comportamento dell'acqua superficiale in questo versante durante la tempesta Alex non può essere ridotto unicamente alla cattura di queste acque da un sentiero che le dirige verso il versante dove si verificherà la frana. L'acqua superficiale è rimasta infatti sostanzialmente sui sentieri del versante (uno zoom sulla vecchia strada del sale conferma questo fatto). In pratica, al momento di questa o quella svolta del sentiero, l'acqua può defluire nel versante sottostante. È quindi altamente probabile che la cattura di parte delle acque di deflusso da parte del sentiero di accesso agli alpeggi abbia contribuito (o accelerato) all'insorgenza della frana, ma le acque di ruscigliamento sarebbero state (comunque) concentrate in questa valle.

In ogni caso, le acque superficiali sono ovviamente un fenomeno, se non un fattore scatenante, perlomeno aggravante il fenomeno franoso iniziato nel vallon del Ca poche decine d'ore dopo il passaggio della tempesta Alex. È molto probabile che la piena del ruscello Ca abbia provocato uno scavo in suo letto minando la base e favorendo così la successiva frana.

È quindi la congiunzione di un fenomeno di erosione (indebolimento della base da parte del ruscello Ca) e di un fenomeno legato all'idrogeologia e al deflusso delle acque dal versante che ha portato allo sviluppo della frana.

## 2.2.4.2 Volume stimato della frana

Il Dott. Andrea VALENTE ARNALDI suggerisce un volume di circa 100.000 m<sup>3</sup> per un'area di pertinenza di circa 20.000 m<sup>2</sup> di nicchia di sfondamento.

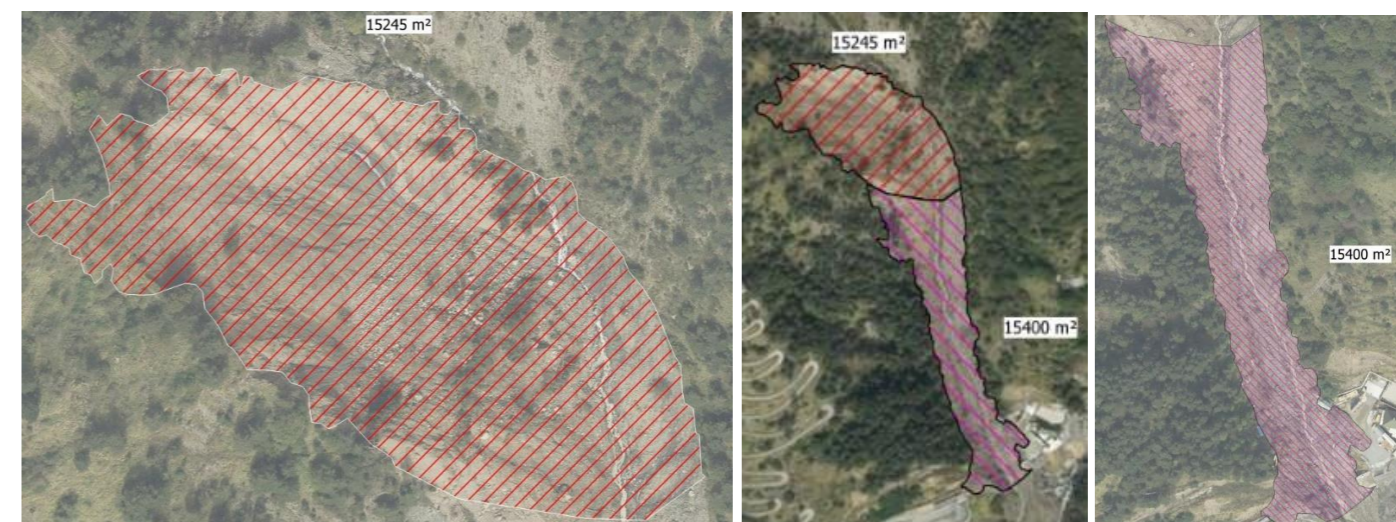
Sono stati testati diversi approcci per rivalutare il volume della frana che ha interessato il Vallon del Ca.

Il primo metodo è stato eseguito utilizzando i dati SIG disponibili. Questi sono DEM con una precisione di 1 m, realizzati dall'IGN nel 2018 e dopo la tempesta Alex. Per definire le aree, è stato utilizzato anche l'ortofotopiano "post-Alex" dell'IGN. Innanzitutto è opportuno notare che la precisione del DEM a 1 m non è sufficiente per valutare in modo preciso i volumi erosi e depositati. Il DEM del 2018 mostra in effetti aree boschive significative. La post-elaborazione del DEM, che consente di ottenere la superficie del terreno nuda, non è efficace nel trattamento di queste aree. Ciò si traduce in forti incertezze sull'altitudine reale del terreno naturale utilizzate nel resto dei calcoli.

Così, ad esempio, considerando un'area boschiva, la post-elaborazione del DEM tenderà a sovrastimare l'elevazione del terreno naturale. Quando si differenziano le quote tra il rilievo "pre-Alex" e quello "post-Alex", la differenza di altitudine dello stesso punto sarà sovrastimata perché il DEM "post-Alex" presenta, su queste aree, sostanzialmente terreni nudi.

Nonostante queste incertezze, abbiamo valutato con questo metodo il volume della frana del Ca.

Si ottengono così le aree interessate dalla frana del Ca rappresentate nell'illustration 17 di seguito.



**Illustration 17** : Aree della nicchia di sfondamento e del corridoio di propagazione - Ortofotografia "post Alex" (IGN©)  
La nicchia di sfondamento (~ 15.000 m<sup>2</sup>) è equivalente, in superficie, al corridoio di propagazione della frana.

L'elaborazione dei dati raster sulla zona di sfondamento permette di considerare solo le zone di erosione (queste sono le zone in cui il raster "differenza" tra il DEM "post-Alex" e il DEM del 2018 indica valori negativi).

A livello della nicchia di sfondamento, la differenza tra i DEM "post-Alex" e 2018 e 2018 dà una superficie di erosione di circa 1,3 ha (13.000 m<sup>2</sup> corrispondenti alle aree verde e viola dell'illustration 18), i 2.200 m<sup>2</sup> circa che rimangono corrispondono quindi alla zona di deposito franoso, localizzata principalmente a sud della nicchia di sfondamento. Su questi 13 ha, l'erosione massima raggiunge i 16 m di profondità e l'erosione media è di circa 5,7 m. Per valutare più precisamente il volume della frana a livello della nicchia di sfondamento si considera solo la parte superiore di essa, che è stata completamente "eliminata" ed è più rappresentativa del fenomeno, si spiega questa manipolazione nell'illustration 18 di seguito.

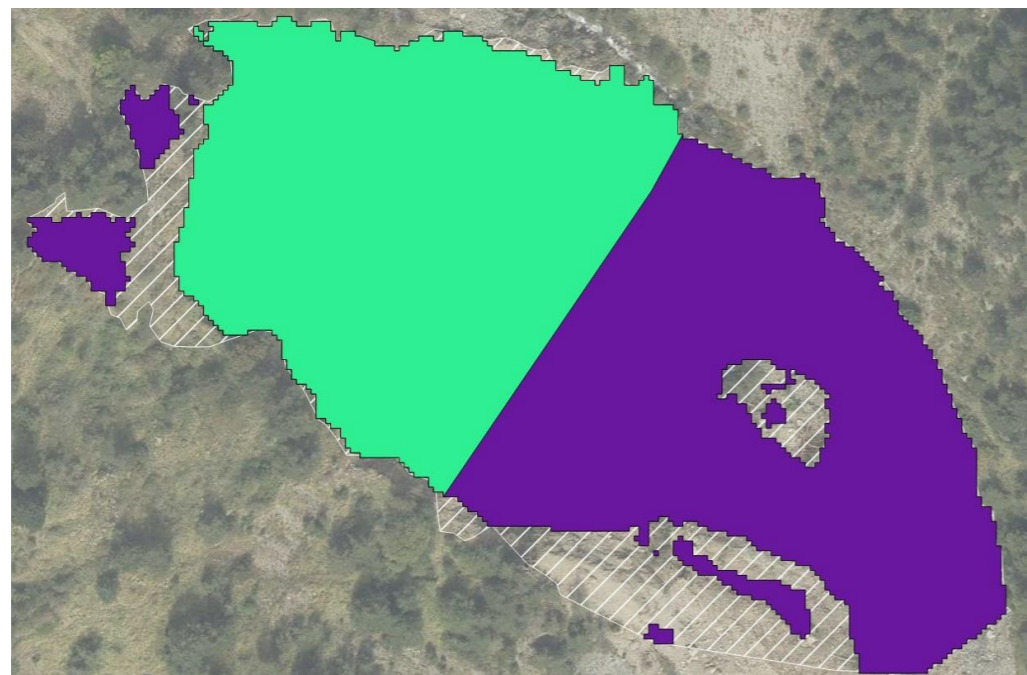


Illustration 18 : Zona considerata per la valutazione del volume della frana - Ortofotografia "post Alex" (IGN©)  
In bianco tratteggiato, il contorno "globale" della frana di ottobre 2020.  
In viola, l'area erosa.

In verde, la zona a monte della frana, presa in considerazione per la stima del volume della frana di ottobre 2020

Questa analisi del settore "ridotto" in parte a monte della nicchia di sfondamento fornisce i seguenti elementi:

- Area presa in considerazione: ~ 6.300 m<sup>2</sup>
- Profondità media della frana: 8,1 m
- Profondità massima dello smottamento : 16,2 m

Proiettando questa erosione media (sovrastimata) su tutta la superficie considerata per la frana, si ottiene così un volume mobilitato di circa 124.000 m<sup>3</sup>, che costituisce la fascia superiore della stima del volume della frana a livello della nicchia di sfondamento.

Il calcolo della differenza dei DEM 2018 e 2020 permette di accedere, per la stessa superficie, alla perdita di materiale. Otteniamo così una differenza di volume di 72.000 m<sup>3</sup>. Ciò significherebbe che la differenza di 52.000 m<sup>3</sup> tra questi due valori si è depositata nella parte inferiore della nicchia di sfondamento, il che sembra considerevole.

Questo calcolo (probabilmente sovrastimato) conferma la stima fatta dal Dott. Andrea VALENTE ARNALDI.

Il calcolo della differenza dei DEM 2018 e 2020, nella parte inferiore della frana (canale di propagazione) dà un volume eroso di 11.000 m<sup>3</sup> di materiale. Si ottiene così, a livello della frana (nicchia di sfondamento + vallon del Ca), un volume complessivo di materiali erosi, sull'intero sistema (frana + vallon del Ca) di 83.000 m<sup>3</sup>.

Questi valori di volume di frana dipendono molto dalla precisione dei DEM utilizzati e dalla post-elaborazione applicata, soprattutto sulle aree boschive (che costituiscono la maggior parte del DEM 2018) per le quali il DEM 2018 fornisce valori di altitudine più elevati poiché inglobano parte della vegetazione. Tuttavia essi forniscono informazioni vitali sull'intensità dello smottamento avvenuto. Un approccio ragionevole sarebbe considerare i volumi sopra esposti con un margine di errore dell'ordine del 15 al 20%; il che equivarrebbe a considerare una frana a livello della nicchia di sfondamento di 100.000 m<sup>3</sup>, un'erosione complessiva di 70.000 m<sup>3</sup> e una profondità media della frana di 6,5 m.

Il secondo metodo che è stato utilizzato per stimare il volume della frana a livello della nicchia di sfondamento è stato il tracciare tre profili nell'asse della nicchia e di valutare i volumi di materiali spostati in base solo ad un approccio geomorfologico relativo al pendenza media dell'area prima e dopo l'evento.

La posizione dei profili e la loro geometria presa in conto per il calcolo dei volumi sono presentate nell' Illustration 19 così come nelle seguenti Illustration 20 a Illustration 22 .

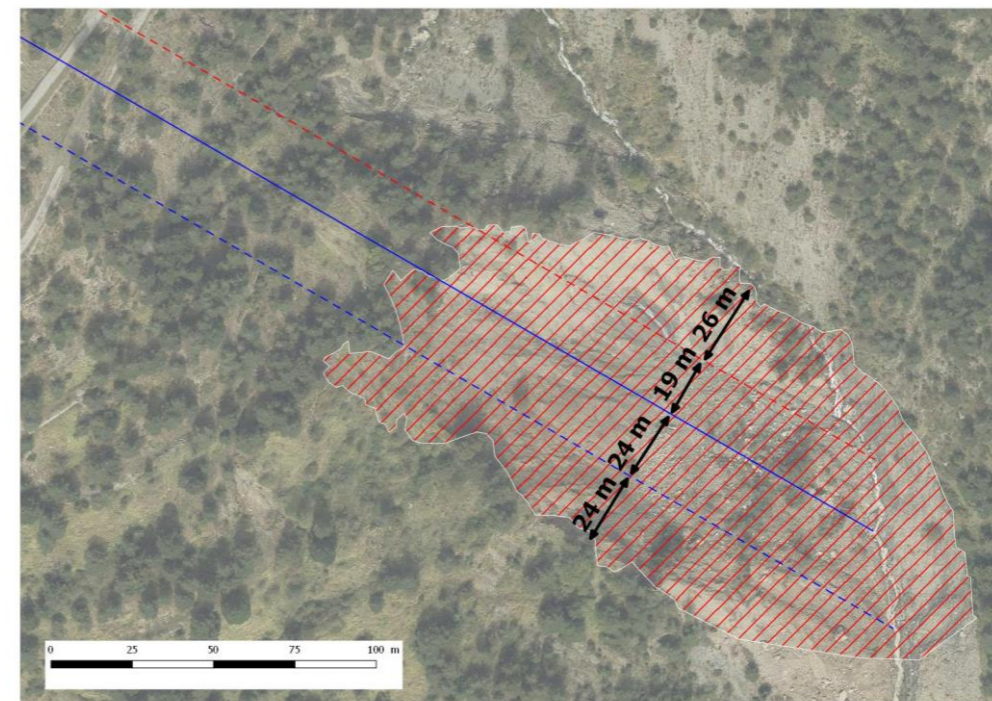


Illustration 19 : Principale nicchia di sfondamento con la posizione dei tre profili di calcolo - Ortofotografia "post Alex" (IGN©)



Illustration 20 : Profilo centrale (linea blu continua dell' Illustration 19)

La linea punteggiata sottile indica la forma proposta per la superficie della frana. La linea punteggiata più grossolana indica la probabile pendenza di equilibrio del pendio prima della tempesta Alex. I valori di abbassamento naturale del terreno misurati consentono di valutare il volume complessivo dei materiali spostati nonché quello dei materiali spostati ma rimasti sul posto.

Tenendo conto dei valori geometrici riportati sull' Illustration 19, il volume spostato associato a questo profilo può essere valutato come segue:  $\frac{(180 \times 13)}{2} \times \left(\frac{24+19}{2}\right) \sim 25\,000\,m^3$  (24 e 19 m sono le larghezze del profilo).

La stima dei materiali depositati può essere calcolata sottraendo il volume spostato su una lunghezza di 140 m dal volume spostato su una lunghezza di 180 m. Ciò dà un volume di materiale depositato di 6.500 m<sup>3</sup>.

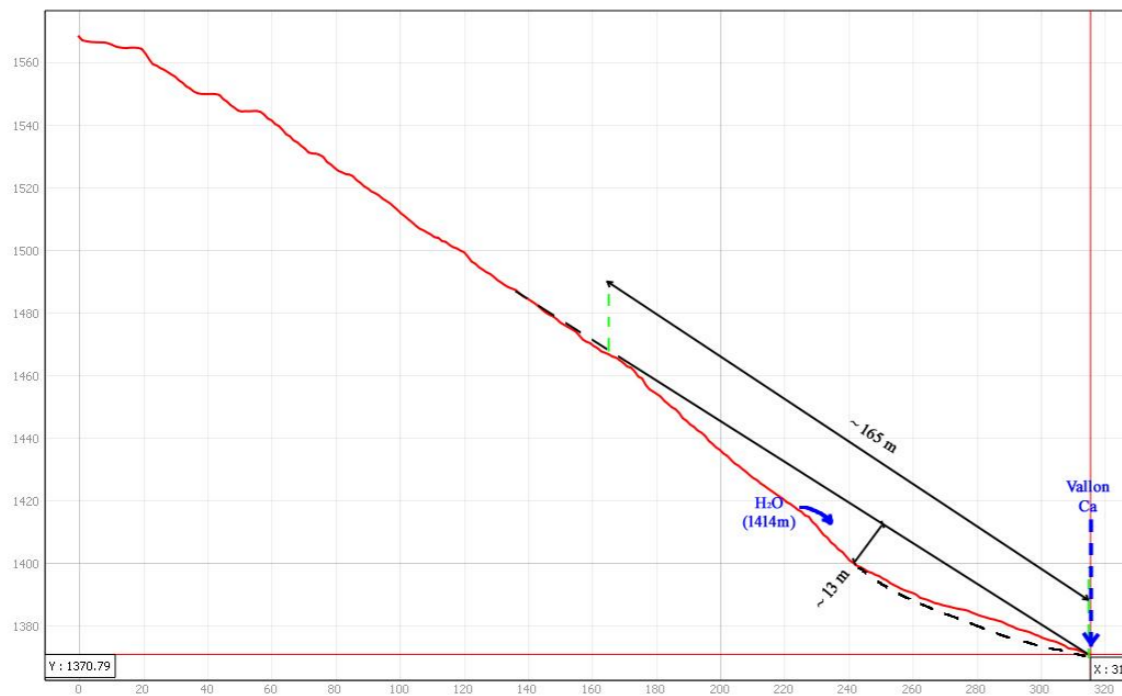


Illustration 21 : Profilo a monte (linea rossa tratteggiata dell'illustration 19)

Tenendo conto dei valori geometrici riportati sull'illustration 19, il volume spostato associato a questo profilo può essere valutato come segue:  $\frac{(165 \times 13)}{2} \times 0,8 \times (\frac{1}{2} \times 19 + \frac{2}{3} \times 26) \sim 23\ 000\ m^3$  (essendo 0,8 un coefficiente che tiene conto della forma della superficie della frana e 19 e 26 m le larghezze del profilo, 2/3 consente di tenere conto della forma della nicchia di sfondamento a nord di questo profilo).



Illustration 22 Profilo a monte (linea blu tratteggiata dell'illustration 19)

Tenendo conto dei valori geometrici riportati sull'illustration 19, il volume spostato associato a questo profilo può essere valutato come segue:  $\frac{(130 \times 10)}{2} \times 0,8 \times (\frac{1}{2} \times 24 + \frac{2}{3} \times 24) \sim 14\ 500\ m^3$ .

Questo tipo di approccio porta ad una stima del volume della frana di 62.500 m<sup>3</sup> di materiali spostati (di cui circa diecimila sarebbero stati depositati nella parte sud della frana), che rimane nel disegno dei volumi calcolato con il metodo precedente (che è sovrastimato) oppure dei volumi annunciati dal Dott. Andrea VALENTE ARNALDI.

Questo calcolo ha però il vantaggio di includere nella stima dei volumi spostati una componente geomorfologica che ci sembra più rappresentativa del fenomeno.

Questo approccio consente di stimare il volume di materiale trascinato nel ruscello Ca a circa 50.000 m<sup>3</sup>.

### 2.2.4.3 Stima della cinetica del movimento del suolo

Uno dei fattori determinanti, oltre al volume dei materiali spostati (o che possono essere spostati), nella qualificazione di questa frana è la propria cinetica.

Che sia sulle fotografie aeree, sull'elaborazione GIS (della differenza DEM) o sui profili sopra stabiliti, possiamo già confermare che alcuni dei materiali spostati si sono fermati al bordo del ruscello Ca poco dopo la nicchia di sfondamento. Si tratta dell'ammasso di materiale (costituito da alberi e blocchi) chiaramente visibile sull'illustration 19.

A livello del viadotto sul Ca, la nuova topografia (rilevata dalla parte italiana) indica un'area di depositi di materiale. Ai margini dell'vallon del Ca, questi depositi sono visibili anche nelle fotografie prodotte dal Dott. Andrea VALENTE ARNALDI o dai servizi RTM del dipartimento delle Alpi Marittime nella loro analisi morfologica dell'evento.

Il comportamento della massa franosa alla confluenza con il Roya deve anche permettere di decidere sulla cinetica del movimento. Il rapporto geomorfologico del servizio RTM indica la presenza di una chiusa poco dopo la confluenza con il vallon de Caramagne. Il servizio RTM osserva anche un deposito regressivo dalla chiusa a questa confluenza.

Alla luce delle Illustration 23 di seguito, risulta che la zona di deposito dei materiali trasportati dalla frana si estende per circa 300 m a valle della confluenza tra il vallon del Ca e il Roya, mentre il profilo longitudinale del fiume Roya in questo settore ha una pendenza di circa il 18% (vedi paragrafo 2.2.1).



Illustration 23 Zona di deposito dei materiali portati dalla frana del Ca (RTM 06)

Il deposito è caratterizzato dalla granulometria dei materiali trasportati che è abbastanza grossolana e presenta elementi molto voluminosi.

Per completare l'analisi, abbiamo tracciato un profilo lungo il Roya, al fine di valutare la zona di deposito. Questo profilo è presentato nelle sezioni Illustration 24 e Illustration 25 di seguito.

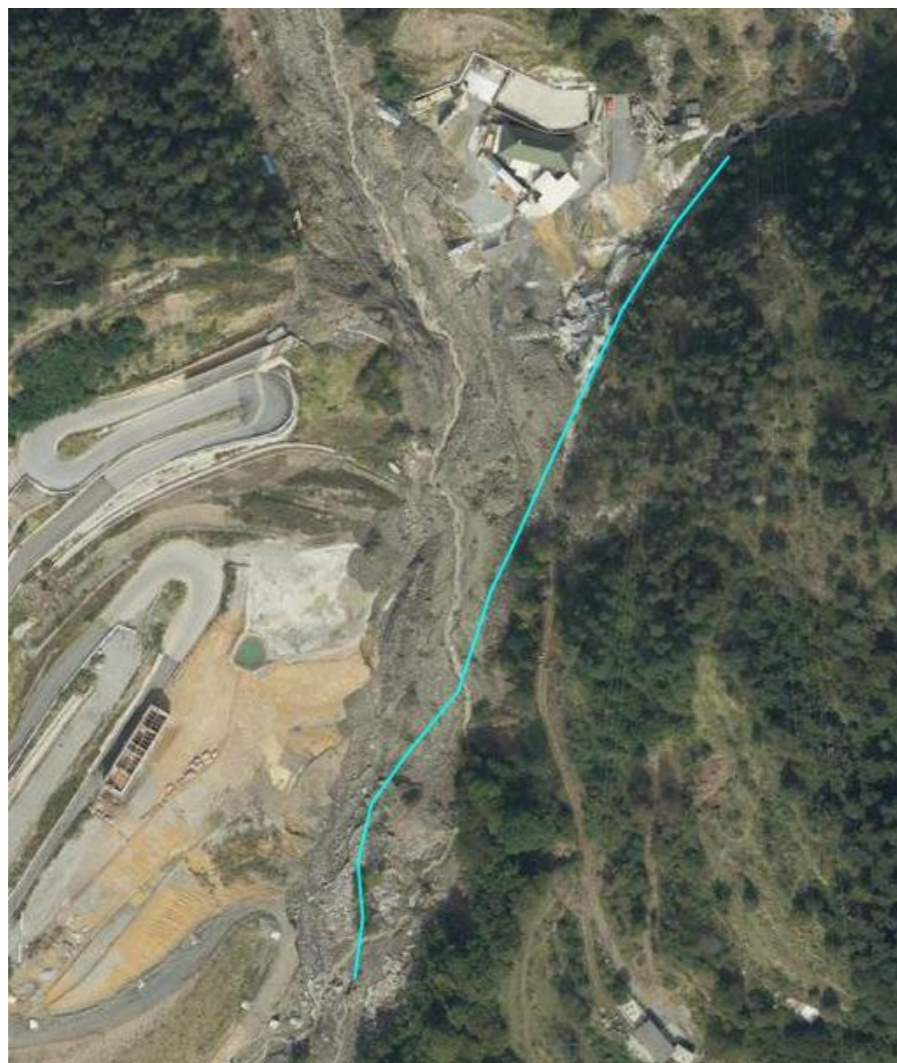


Illustration 24 Profilo lungo il Roia - Ortofotografia "post Alex" (IGN©)

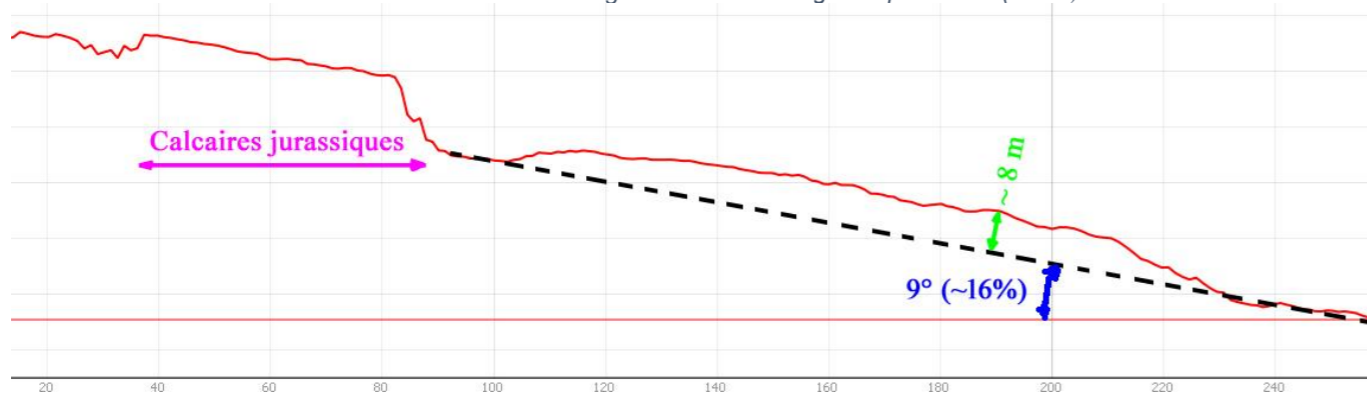


Illustration 25 Profilo lungo il Roia

Il profilo è stato fatto sul tracciato "pre-Alex" del letto del Roia.

La linea punteggiata mostra il fondo del letto del fiume Roia prima dell'erosione. Subito dopo i calcari giurassici, c'è una zona di erosione che coincide relativamente bene con la parte situata a valle dello sparpagliamento del materiale franoso. La pendenza di questa linea tratteggiata è di circa il 16%, molto vicina a quella del Roia (18%) prima dell'evento.

la zona di accrescimento di materiale corrisponde quindi al deposito di materiali derivanti dalla frana avvenuta nel vallon del Ca.

Lo studio RTM di novembre 2005 indicava una pendenza media del 18% del Roia tra la sua confluenza con il vallon del Ca e quella con il vallon di Taborda. La linea retta punteggiata ha una pendenza molto vicina a quest'ultima poiché è di circa il 16%.

In considerazione del profilo sopra presentato, lo spessore dei depositi a livello del Roia è complessivamente di circa 8 m. Questa stima si basa su un approccio morfologico effettuato nel letto iniziale del Roia. Ovviamente, dopo il deposito, il Roia riprende un

nuovo letto e lo scaverà di nuovo per farsi strada tra il materiale depositato. Questo spessore del deposito servirà per valutare il volume dei materiali depositati dopo la frana che ha interessato il vallon del Ca.

La superficie approssimativa della zona di deposito a valle dei viadotti di accesso distrutti è di circa 5.700 m<sup>2</sup>, da cui risulta un volume approssimativo di depositi di 45.000 m<sup>3</sup>.

La fotografia dell'illustration 26 di seguito permette di valutare la portata del vallon del Ca a livello dei viadotti ancora non distrutti al 03 ottobre 2020.



Illustration 26 Il ruscello Ca, il 03/10/2020 dopo il passaggio della tempesta Alex  
Il ruscello Ca ha una significativa portata ma lontana da una piena che potrebbe da sola generare una lava torrenziale.

Purtroppo nessuna fotografia del versante a monte delle opere di accesso al tunnel delle Col di Tenda è stata scattata tra il passaggio della tempesta Alex e l'inizio della frana che ha distrutto i due viadotti. Risulta quindi estremamente difficile stabilire una cronologia precisa degli eventi e quindi pronunciarsi in modo convincente sulla catena di eventi che ha portato alla distruzione dei viadotti e quindi al rischio da prendere in considerazione.

Sono state recuperate due immagini satellitari per valutare se, il 3 ottobre 2020, la frana fosse già comparsa.

Queste due immagini satellitari dovrebbero essere confrontate con l'ortofotopiano dell'IGN del 2020 e con quello realizzato dopo il passaggio della tempesta Alex, queste quattro fotografie sono presentate nelle Illustration 27 di seguito.

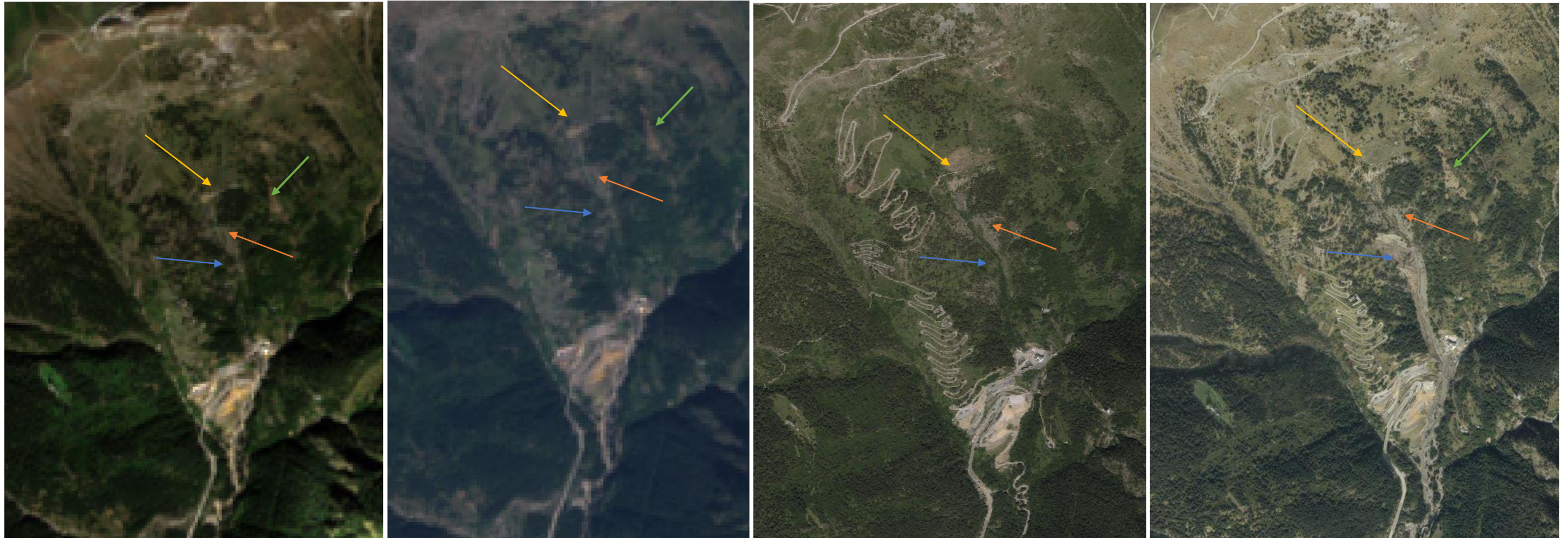


Illustration 27 Immagini satellitari del 03/10/2020 (a sinistra) - Ortofotografie del 2020 e post-Alex (IGN ©) (a destra)

Il confronto tra le diverse fotografie e le immagini è interessante.

Le frecce gialle indicano la barra di calcare giurassico presente alla rottura del pendio con gli alpeggi sovrastanti.

Le frecce arancioni puntano alla zona di dilavamento "attiva" del vallon del Ca, presente da molto tempo nelle successive fotografie aeree. Si tratta di un'area scarsamente boscosa.

Le frecce blu puntano al corridoio di propagazione del vallon del Ca (corridoio di valanghe, deflusso e, potenzialmente, caduta di massi. Anche questo corridoio è scarsamente boscoso. Esso costituisce nell'ultima fotografia (post-Alex) il corridoio di propagazione della frana del vallon del Ca.

Le frecce verdi puntano ad una colata di fango avvenuta a monte dell'ingresso del tunnel sulla sponda sinistra del vallon del Ca

Il confronto tra le diverse fotografie, nonostante la mediocre qualità delle immagini satellitari, permette chiaramente di individuare punti di comparazione (barra calcarea giurassica, corridoio di propagazione, zona "storica" di dilavamento). Consente inoltre di identificare (almeno) un movimento gravitazionale avvenuto nel settore studiato (colata di fango sulla sponda sinistra del vallon del Ca).

Questo confronto permette anche di individuare la visibile assenza di frana nel vallon del Ca il 03 ottobre 2020).

Ciò non significa, tuttavia, che la frana non sia stata già innescata per imbibizione del terreno interessato, al momento dell'immagine satellitare.

## 2.2.4.4 Stima della cronologia degli eventi

### 2.2.4.4.1 Preambolo - Costruzione di un traversamento intubato sul vallon del Ca

In premessa, è opportuno notare che a monte del viadotto sul ruscello Ca (l'ultimo completato), è stato realizzato un passaggio intubato per consentire la circolazione dei veicoli tra le due sponde del vallon. Tale passaggio intubato è stato, inoltre, risistemato in modo da aumentarne la larghezza e ciò sostanzialmente come evidenziato da quanto

l'Illustration 28 di seguito.



*Illustration 28* Passaggio intubato sul ruscello Ca nel 2017 e 2020 (IGN©)  
Il "piccolo" passaggio intubato è diventato un'importante piattaforma di movimentazione.

La larghezza del passaggio intubato nel 2017 è di poco più di 6 m ; nel 2020 è di più di 24 m in testata. Il " piccolo " passaggio intubato è diventato una vera e propria piattaforma di movimentazione e possibilmente anche di stoccaggio.

Non abbiamo informazioni sul dimensionamento di questa piattaforma né sulle dimensioni del tubo.

### 2.2.4.4.1 Osservazioni sul campo (17 marzo 2021)

Il manto nevoso sul sito, dopo richiesta fatta a Cerema dalla DREAL PACA, ci ha permesso di eseguire osservazioni sul campo solo il 17 marzo 2021. Questa visita sul campo consisteva nel percorrere a monte della frana (a livello degli alpeggi sovrastanti) la vecchia strada del sale, la nicchia di sfondamento della frana e i suoi confini (ovest, sud ed est), il corpo della frana (canale di " deflusso " ), il settore a livello dei viadotti nonché l'area di diffusione del fenomeno a livello della confluenza con il Roia.

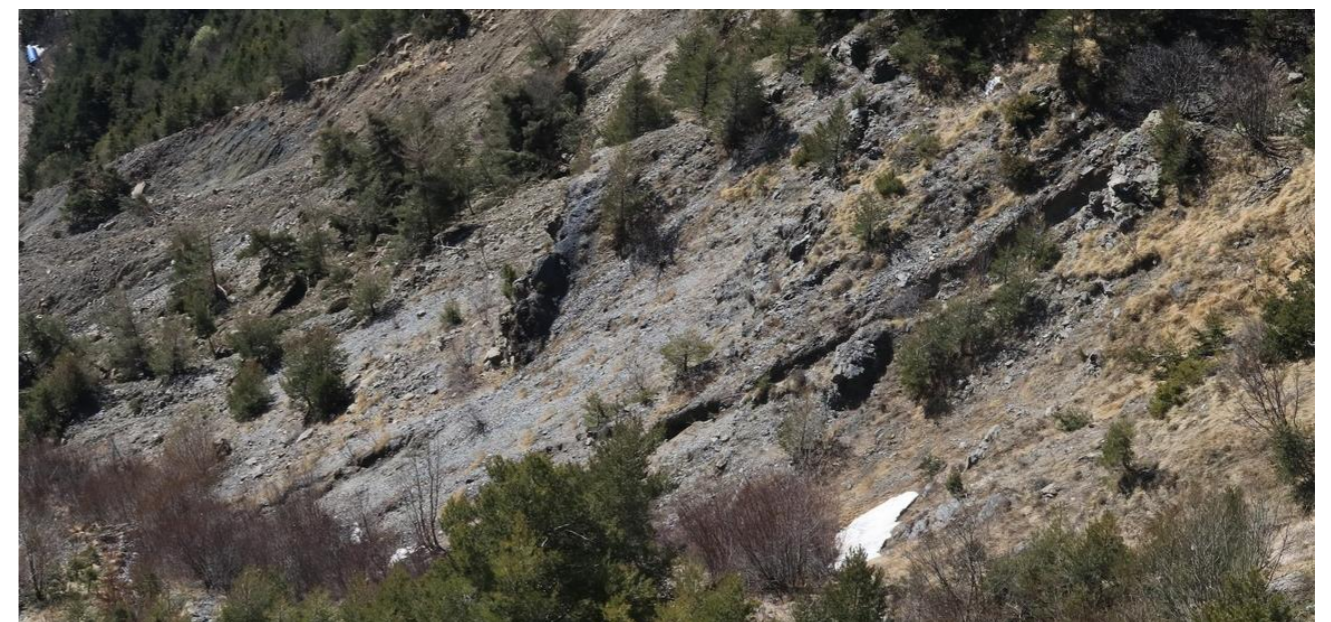
Le osservazioni sul campo confermano infatti un massiccio rifornimento idrico dall'alpeggio situato sopra il vallone. Questo afflusso idrico è stato raccolto dal sentiero che permette di accedere agli alpeggi grazie al suo rivestimento in calcestruzzo, che accelerava e convogliava l'acqua impedendone la diffusione nel versante (vedi Illustration 29 di seguito). Queste acque sono poi

arrivate fino alla strada del sale e si sono riversate in diversi tornanti e principalmente nel 29° tornante (dall'inizio del sentiero all'accesso al tunnel) creando due grandi deflussi (vedi Illustration 59 paragrafo 3.1.2.1).



*Illustration 29* Via in cemento - Conflitto tra le acque del versante e la via  
L'utilizzo di calcestruzzo nella via di accesso agli alpeggi per favorire l'accelerazione del ruscellamento provocò l'erosione del sentiero forestale canalizzando le acque di ruscellamento e impedendone la diffusione nel versante

A nord della frana, al di fuori dell'area franosa, sono state osservate forti tracce di deflusso. Esse riflettono il massiccio afflusso di acqua dal bacino idrografico, catturato dal sentiero forestale e poi dalla vecchia strada del sale, è stato "reiniettato" in particolare all'altezza del tornante n.29. Questi forti deflussi sono localizzati in un'area non interessata dalla frana e dove affiorano flysch " sani ". La presenza dei flysch all'affioramento, nonché i ripidi pendii legati alla natura rocciosa del terreno, consentono di concludere che non vi è alcun rischio che la frana regredisca a monte. In effetti, la frana si è verificata nello strato di alterazione dei flysch (o riorganizzazione dei flysch). Queste osservazioni sono presentate di seguito nell'Illustration 30 .



*Illustration 30* Dilavamento intensivo a nord della frana di ottobre 2020  
Si può vedere chiaramente gli strati di flysch "sani" che tagliano il versante offrendogli così una protezione naturale contro le frane di grandi dimensioni.

Al limite nord della frana si osservano strati di flysch sani che rinforzano il versante limitando l'estensione della frana. Questi strati si trovano a livello della calotta superiore dello sfondamento sommitale e arrestano così alla frana di risalire. Tuttavia si trovano anche leggermente più in basso con una pendenza sfavorevole (di circa 55° a valle), costituendo così una superficie di rottura preferenziale. Queste osservazioni si trovano nelle Illustration 31 e Illustration 32 di seguito.





*Illustration 31* Limite nord della nicchia di sfondamento  
I flysch "sani" sono subaffioranti.



*Illustration 32* Limite nord della nicchia di sfondamento - Zoom

L'illustrazione a sinistra mostra chiaramente la pendenza a valle dei flysch, favorevole all'attivazione di una superficie di rottura. Lo startto flysch, nell'illustrazione a destra, "arma" il versante e quindi limita l'estensione della frana

Risulta che questo limite corrisponde ad una regressione della frana avvenuta tra ottobre 2020 (data di ripresa aerea dall'IGN) e dicembre 2020 (data di ripresa da parte del geometra italiano che ha stabilito le planimetrie topografiche inviate a DREAL PACA). Questa estensione della frana sarà studiata nel Capitolo 3.

Nella parte superiore della nicchia di sfondamento (Illustration 33 e Illustration 34), osserviamo le marne da bluastre a nere a livello della superficie di frana. Le prese d'acqua (sorgenti e risorgive) si trovano in questa interfaccia geologica. Tali interfacce litologiche, corrispondenti a interfacce impermeabili, non sono state mappate nelle fasi precedenti del progetto (erano peraltro non accessibili) e corrispondono ai punti di risorgenza delle acque sotterranee. Formano così uno strato basale impermeabile ideale per lo sviluppo di una frana quando il flysch alterato e / o rielaborato è messo sotto carico con un elevato apporto idrico. A rigor di termini, le forze di flusso a questa interfaccia costituiscono a uno sforzo destabilizzante per la frana. Queste dettagli si trovano nelle Illustration 33 e Illustration 34 di seguito.



*Illustration 33* Superficie patinata al piano di frana

Si noti le numerose risorgive vicino a questa interfaccia impermeabile, soprattutto perché, durante la nostra visita del 17/03/2021, non pioveva da circa due settimane.



*Illustration 34* Vista aerea della nicchia di sfondamento con riporto dalla linea di contorno di 1418 m

Si noti che le marne bluastre (cerchiate in rosso) affiorano approssimativamente allo stesso livello. Questa interfaccia è servita da "strato di sapone" per la frana.

A livello del corpo della frana, in corrispondenza del passaggio tra la nicchia di sfondamento e il canale di deflusso, abbiamo osservato una sorta di conca di roccia (prolungamento della sbarra flysch " sani ") che sbarra, nella sua parte orientale una parte del vallon del Ca. Questa serratura, osservabile in loco, resta difficile da apprezzare nelle varie topografie prodotte prima o dopo l'evento.

Questa chiusa rocciosa è probabilmente all'origine della rottura di pendio esistente sul profilo longitudinale del ruscello Ca. Il vallon infatti presenta una forte pendenza dal limite con sovrastanti pascoli montani, questo versante si addolcisce a livello della chiusa rocciosa, poi diventa molto importante poi fino a poco prima dell'installazione dei due viadotti portati via dalle intemperie di ottobre 2020.

Le fotografie di questa serratura sono mostrate nell'illustration 35 di seguito.



*Illustration 35* Illustrazioni di blocco di roccia

Nell'illustrazione in alto, possiamo vedere nella parte sinistra dello zoom blu, la riva "sana" di flysch che forma la parte occidentale di questa chiusa. Nell'illustrazione in basso, che è una fotografia scattata leggermente al di sotto della chiusa rocciosa, si vede chiaramente la rottura del pendio a valle di questa chiusa rocciosa.

In corrispondenza di questa conca rocciosa si ha un accumulo di materiale grossolano corrispondente al deposito di parte dei materiali mobilitati nella nicchia di sfondamento e la frana. I materiali, il giorno della nostra visita, erano molto duri e grossolani (blocchi, ecc.).

A valle del blocco di roccia, il materiale depositato ha una granulometria più fine con elementi molto meno grossolani. Sulla sponda sinistra del vallon del Ca, è presente un rivestimento di materiali pregiati con massi depositati sul bordo della valle. La morfologia "a virgola" di questo deposito fa pensare a una sorta di "onda molto liquida" che sarebbe risalita sul bordo sinistro della valle prima di riprendere una traiettoria più coerente al centro della valle. Questa "virgola" è una continuazione della nicchia di sfondamento della frana e assume la forma della deviazione del ruscello Ca alla sua confluenza con la risorgenza osservata nell'illustration 34.

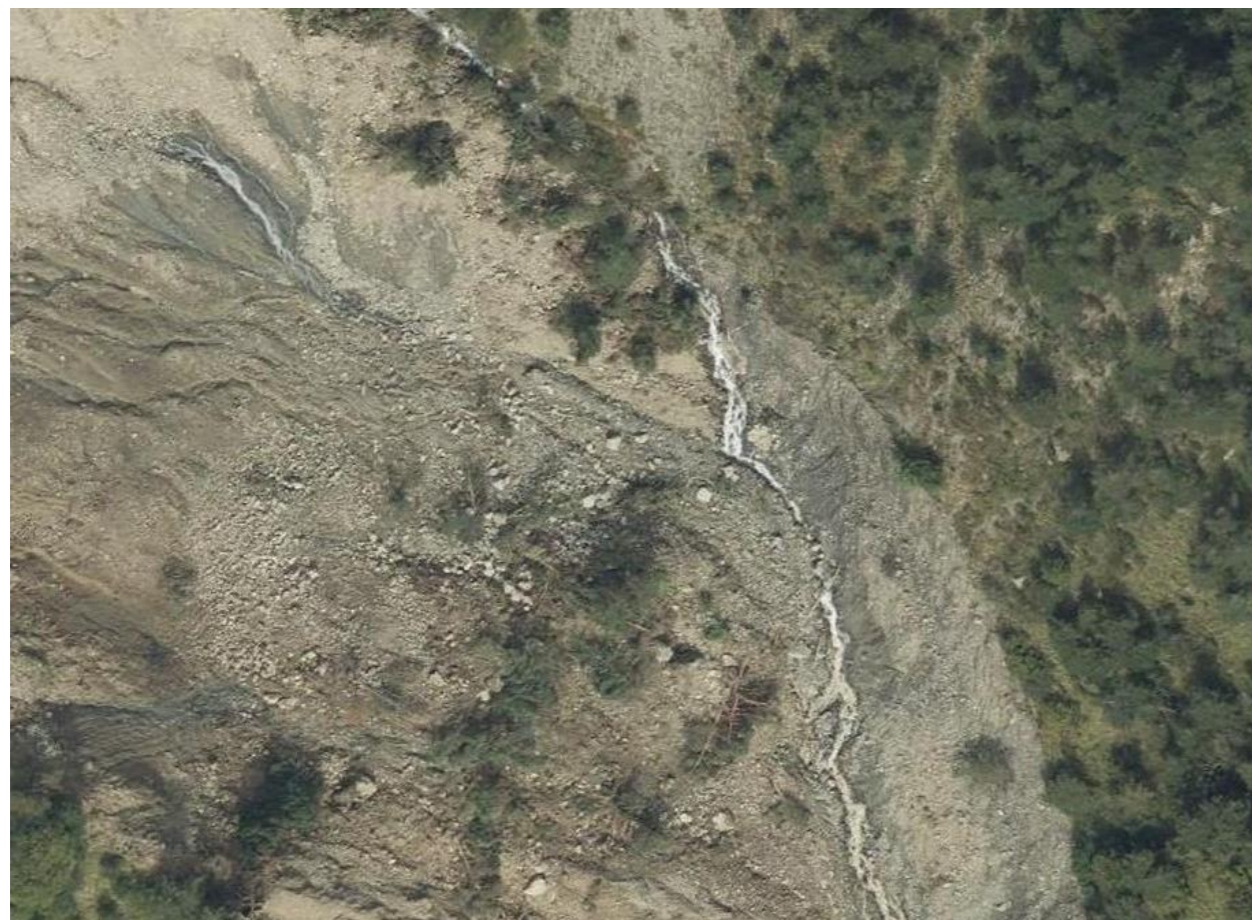
Sulla riva destra, i materiali depositati hanno una dimensione del blocco più grossolana. Questa parte del canale di deflusso è la parte più ripida del canale. I depositi lungo il canale hanno una morfologia tipica delle lave torrenziali (bordo laterale con gli

stimmi di altissima saturazione dell'acqua e presenza di un'abbondanza di elementi più fini). Anche il centro del canale mostra segni di un flusso " fluido " (tracce lasciate dall'acqua con materiali più fini). Tutte queste osservazioni sono presentate nelle Illustration 36 e Illustration 37 di seguito.



*Illustration 36* Vista panoramica e dettaglio della "virgola"

Morfologicamente, questa figura può essere prodotta solo da un materiale molto fluido. Questo è il punto di partenza della lava torrenziale.



*Illustration 37 Veduta aerea della partenza della lava torrenziale - Zoom sui materiali depositati nel fasciame*

L'illustrazione in alto mostra chiaramente i processi idraulici che hanno portato all'insorgenza della lava torrenziale alla confluenza tra la risorgiva e il ruscello Ca.

Nell'illustrazione inferiore, si osservano materiali di placatura più fini e grandi blocchi depositati sul bordo della lava torrenziale, alti diversi metri, a indicare la natura altamente energetica del fenomeno.

Si osserva un'erosione secondaria sul fasciame corrispondente al recupero dei materiali mediante acque di deflusso.

A valle della chiusa rocciosa, sia in sponda destra che in sponda sinistra, la morfologia dei depositi non lascia dubbi sulla natura del fenomeno ; è davvero una lava torrenziale (vedi Illustration 38 di seguito).



*Illustration 38 Ammassi laterali caratteristici dei detriti lavici*

I depositi laterali sono chiaramente osservati (sia sulla riva destra che sulla riva sinistra). Questi depositi sono caratteristici della lava torrenziale.

Al piedi di questo settore (leggermente a monte dei viadotti dilavati), la pendenza si addolcisce e si osserva nuovamente la presenza di massi, in un'area di deposito (vedi Illustration 39 di seguito).



*Illustration 39 Area di deposito a monte dei viadotti distrutti*

Quest'area di depositi con grossi blocchi contrasta nettamente con il canale di lava torrenziale (in primo piano nella fotografia) che presenta pochissimi depositi e una granulometria molto più fine.

Continuando la discesa verso la confluenza tra il Ca e il Roia, si arriva alla zona dei viadotti. Questa zona è caratterizzata da depositi molto grandi. Il profilo longitudinale "originario" del ruscello Ca è infatti segnato da un ammorbidimento della pendenza a livello dei viadotti e anche a monte di questi ultimi. La pendenza era del 15-20%, il che spiega, da un lato, la zona dei depositi osservata nell'illustrazione precedente e i depositi molto grandi osservati a livello dei viadotti. I depositi sono tanto più importanti in quanto vi erano numerose ostruzioni di ghiaccio (macchine edili, cisterne, silo, ecc.). L'illustration 40 di seguito mostra l'area dei grandi depositi presso i viadotti.



*Illustration 40* Zona di deposito a livello del viadotto

**Il deposito molto importante a livello dei viadotti. La zona di deposito si estende, ovviamente, nel letto del Ca, ma anche molto marcatamente oltre le spalle delle strutture.**

Un punto interessante da notare è la rottura del piano stradale dell'ultima struttura. In effetti, il piano stradale ha ruotato attorno ad un asse verticale senza crollare a valle. Ciò testimonia una forza orizzontale significativa a livello della coperta e una cinematica di "trasporto" del piano stradale per farlo ruotare attorno a questo asse. Non è stata quindi la rovina dei moli a portare alla distruzione del viadotto, ma uno sforzo laterale. L'illustration 41 mostra le modalità di rottura di questa struttura.



*Illustration 41* Rottura del piano stradale del viadotto sul Ca

**L'illustrazione mostra chiaramente che il piano stradale ha ruotato attorno ad un asse verticale situato generalmente a livello dei ferri nudi e ritorti. Si presume che il piano stradale abbia subito una notevole forza orizzontale, quindi sia stato spostato / spinto fino a fermarsi sul lato sinistro del vallone.**

Un altro punto importante da notare è che il Ca non ha scavato il suo letto a livello dei viadotti ; questo suggerisce l'assenza di erosione nelle fondazioni. In questo settore il Ca ha depositato molto materiale, ma il suo letto maggiore è rimasto allo stesso

livello altimetrico. Le tre soglie preesistenti, infatti, non sono state distrutte durante l'evento di ottobre 2020, né i muri posti sotto le spalle dei due viadotti. Le seguenti illustrazioni mostrano questi elementi. Questo è visibile nelle Illustration 42 e Illustration 43 .



*Illustration 42* Soglie nel letto minore del Ca

**Il fenomeno di ottobre 2020 non ha attraversato il letto del CA. Il torrente scorre alla stessa altezza di prima l'evento.**



*Illustration 43* Mura a valle dei viadotti

**L'intreccio, che consente l'incanalamento della Ca sotto l'ultimo viadotto completato è ancora visibile (cornice blu), anche se è probabile che si sia leggermente spostato. Anche il muro a valle dello storico viadotto in muratura non è stato spostato.**

A valle dello storico viadotto in muratura, il ruscello Ca assume un profilo longitudinale molto ripido (circa il 40%). È stato leggermente a valle della confluenza con il Roia che la maggior parte dei depositi di lava torrenziale si è depositata con caratteristici modelli "fluidi". Il fronte della zona di approdo lavico si trova a circa 160 m dalla confluenza tra Ca e Roia. Le Illustration 44 a Illustration 47 di seguito presentano l'arrivo della lava torrenziale a livello del fiume Roia.



*Illustration 44* Vista panoramica dello approdo della lava torrenziale del Roia.

Il contrasto tra la lava torrenziale e i materiali depositati dal fiume è molto evidente. La lava forma un insieme compatto di fango e massi (spesso "supernatante"), mentre i depositi fluviali non sono "cementati" da una matrice, sono solo depositi granulari.



*Illustration 45* "Lingua" di materiali alla fine della lava torrenziale. Queste figure di depositi alla fine del fenomeno sono caratteristiche dei detriti lavici.



*Illustration 46* Corpo di lava nella sua parte terminale

Lava è composta da materiali fini e blocchi. L'altezza del deposito può essere stimata tra 6 e 8 m in questo luogo.



*Illustration 47* Fine della lava torrenziale

Questo scatto mostra l'arresto dei detriti, con un fronte abbastanza ripido e un pacco compatto. A valle del fronte lavico torrenziale si trovano depositi grossolani trasportati dal Roia.

#### 2.2.4.4.2 Cronologia degli eventi

Il 3 ottobre 2020 i viadotti erano ancora in posizione sopra il vallon del Ca e la salita non era ancora iniziata quando sono state scattate le fotografie dell'elicottero.

Durante la realizzazione di queste fotografie, il passaggio intubato lascia passare il flusso del Ca ma è già danneggiato, come evidenziato dalle Illustration 48 e Illustration 49 di seguito

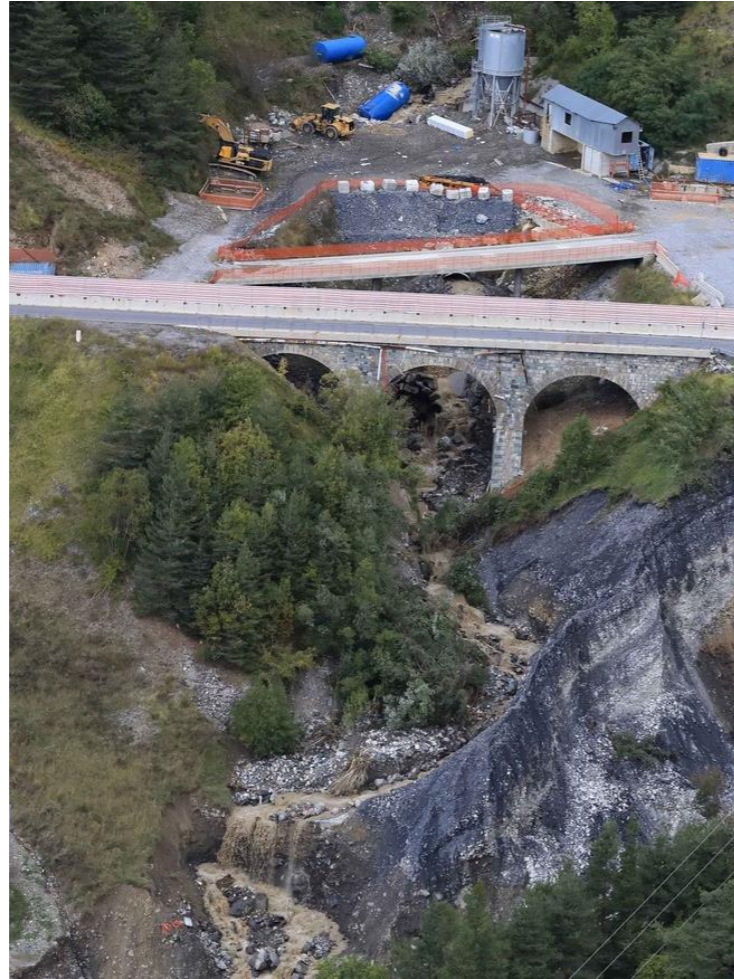


Illustration 48 Passaggio intubato sul ruscello Ca

Tra i due viadotti si vede il tubo che lascia passare il ruscello Ca. Il flusso in uscita (visibile a livello della piccola cascata a valle del viadotto in muratura non è molto importante).



Illustration 49 Zoom sul tubo e sulla piattaforma

In blu: Tubo quasi pieno assai ricoperto, visibile a valle.

In rosso: Corpo della piattaforma che mostra danni significativi. Il rivestimento a valle mostra un fenomeno di erosione interna. C'è un buco nella piattaforma con una macchina da costruzione all'interno

**Sullo sfondo, il serbatoio blu è bloccato all'ingresso del tubo.**

Queste illustrazioni mostrano il fenomeno dell'erosione interna del rilevato della piattaforma. Sotto l'azione della significativa alluvione del 2 ottobre 2020 (pluricentenaria) il tubo, probabilmente non dimensionato per le colate che doveva far passare, si è certamente riempito abbastanza velocemente. L'acqua deve essersi introdotta nel corpo del riempimento (sopra o sotto il tubo) e aver iniziato a minare il riempimento attraverso l'erosione interna. Segue la realizzazione di una fontis a livello del lato a valle del terrapieno, in cui cadeva la macchina da cantiere. Quando viene scattata la foto, l'acqua circola quindi attraverso il tubo ma anche attraverso il corpo del riempimento. Il riempimento non è quindi più stabile e il minimo stress aggiuntivo ne causerà la rottura.

Il lato a monte del rinterro è già saturo di materiali e attrezzature (cisterna, ghiaia, ecc.), La trasparenza idraulica (ed inoltre nei materiali) di questa struttura è quindi più che fortemente compromessa. Lo scenario di distruzione del viadotto può quindi essere stimato come segue.

Prima di tutto, sotto l'effetto combinato di un'incisione del suo letto da parte del Ca (indebolimento dell'arresto del piede di parte del pendio), di una forte saturazione dello strato di flysch alterati / rielaborati (anche un carico di questo set) e una forza di flusso (risorgive multiple) a livello della superficie di scorrimento, viene innescata una frana nella parte superiore del pendio.

Questa frana viene bloccata a livello della conca di roccia, creando così una "diga" "diga" molto a monte del versante.

L'arrivo dell'acqua dal Ca e molteplici risorgive (come si vede nell'Illustration 48) arriva gradualmente a caricare questa diga.

Questa diga si rompe (straripamento o altro) per effetto di pressioni e colate idrostatiche, favorendo la comparsa di detriti lavici che hanno a disposizione un grande volume di materiali da spostare. La lava torrenziale inizia così la sua discesa a valle "ricoprendo" la sponda sinistra del vallone e depositando materiali più grossolani sulla sponda destra.

La lava torrenziale giunge sul passaggio convogliato a livello del Ca che è già fortemente congestionato da vari ingorghi (macchine edili, cisterna, ecc.). Il fenomeno che si verifica è difficile da valutare ma è probabile un fenomeno di arresto a bassa velocità e trabocco sopra il passaggio del tubo. In questo momento, i materiali mobilitati dalla lava torrenziale e le relative pressioni idrostatiche accumulate dietro la piattaforma con tubi distruggono la struttura e al trabocco della lava torrenziale sulla piattaforma del cantiere. La velocità della lava torrenziale doveva essere piuttosto bassa perché i depositi sono molto importanti a livello della piattaforma e sono rimasti localizzati in prossimità di quest'ultima.

La lava torrenziale, e gli inceppamenti di ghiaccio che trasporta, colpiscono o esercitano una notevole forza laterale sull'impalcato del viadotto Ca e ne distruggono la struttura. Il viadotto a valle (muratura) non sopporta la forza dell'impatto o degli sforzi e è anch'esso distrutto.

La lava torrenziale, a favore di un profilo longitudinale della valle che diventa nuovamente più ripido, prosegue il suo percorso fino alla confluenza con il Roia. A questo punto il pendio si fa nuovamente debole e la lava torrenziale si arresta, formando un deposito di massi e ghiaia alto quasi 8 m

#### 2.2.4.4.3 Dimensionamento del terrapieno con passaggio intubato

Analizziamo qui l'effetto dei soli materiali spostati dalla lava torrenziale e accumulati dietro la piattaforma intubata senza tener conto delle velocità (considerando quindi un fenomeno di lava cumulativa). Al fine di verificare la giustificazione del riempimento alle forze dovute ad una frana, abbiamo modellato quest'ultima con il software di calcolo della stabilità del versante Talren v5 ©.

Le Illustration 50 a Illustration 52 di seguito presentano i calcoli di stabilità delle pendenze a livello di questo riempimento.

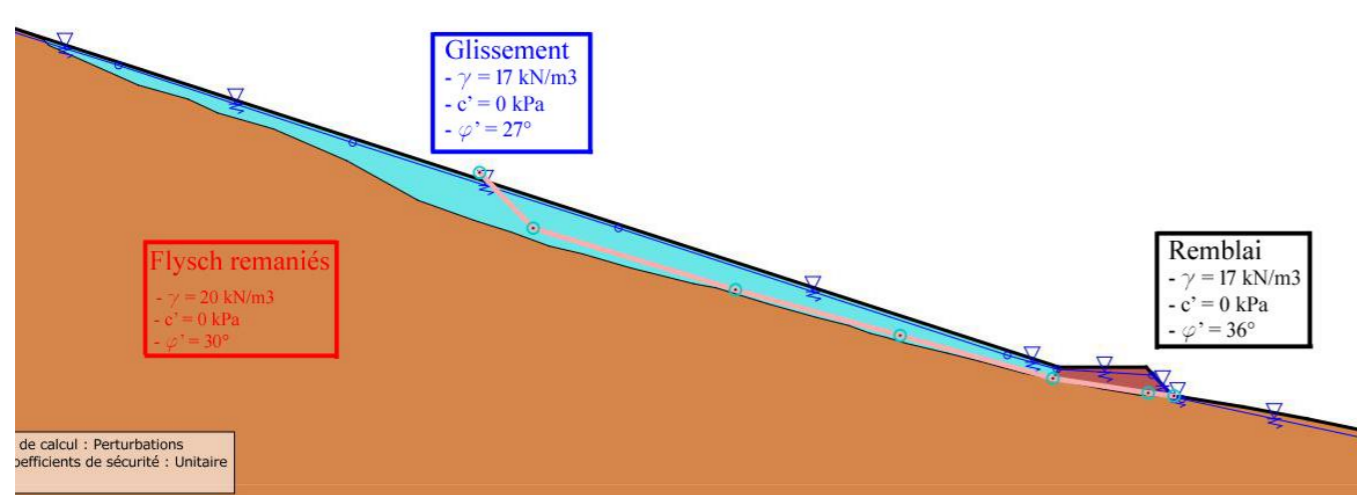


Illustration 50 Geometria del riempimento per i calcoli di stabilità.

Il peso specifico del riempimento del riempimento è considerata pari a  $17 \text{ kN/m}^3$  per tenere conto della saturazione dei materiali franati.

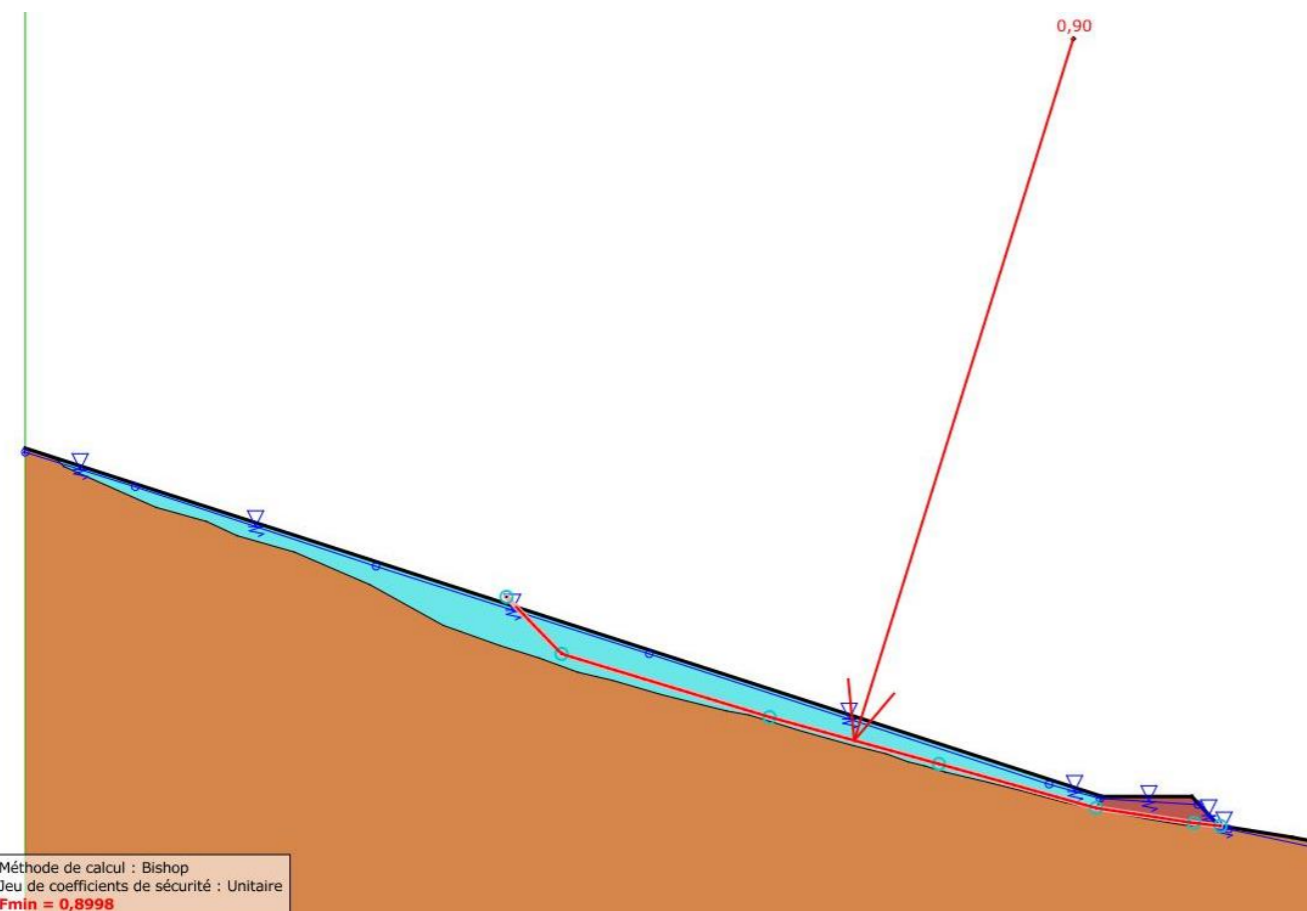


Illustration 51 Situazione di calcolo in coefficienti parziali unitari.

Situazione di calcolo (coefficienti unitari) considerando una superficie di rottura di 140 m di lunghezza e circa 6 m di altezza media, che rappresenta un volume di circa  $25.000 \text{ m}^3$ . Il fattore di sicurezza complessivo è dell'ordine di 0,9, il che giustifica pienamente la fragile rottura del terrapieno.

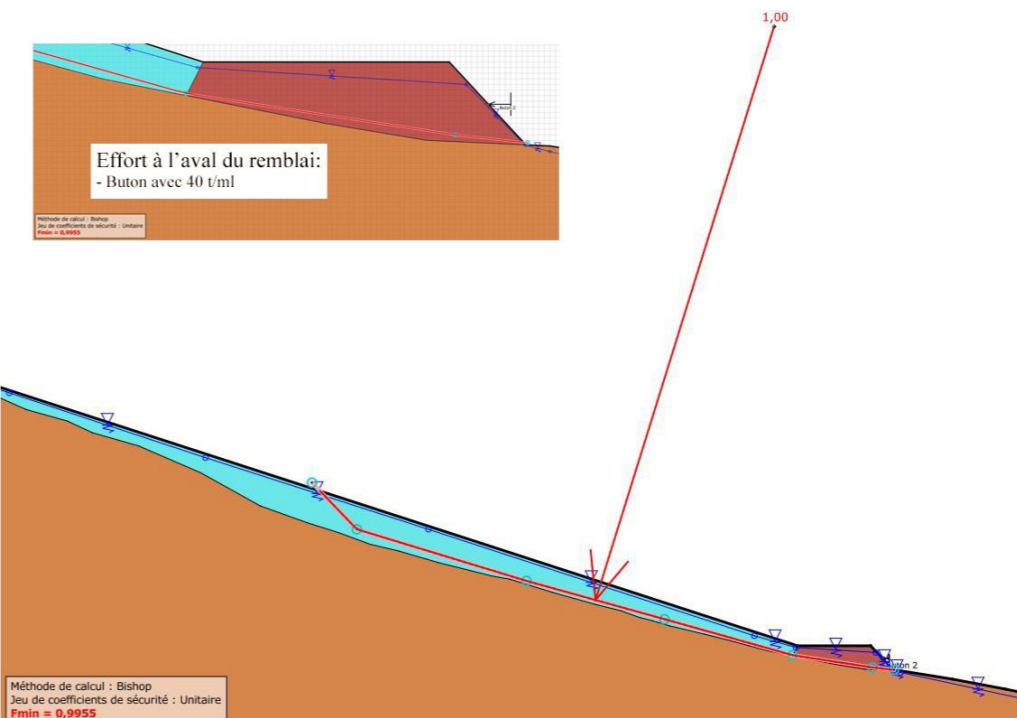


Illustration 52 Situazione di calcolo in coefficienti parziali unitari e forza stabilizzante a valle del terrapieno

La forza richiesta a valle del riempimento per stabilizzare il terrapieno nelle condizioni di scorrimento considerate ( $\sim 25.000 \text{ m}^3$ ) è dell'ordine di 40 tonnellate per metro lineare di riempimento, ovvero una forza stabilizzante complessiva di circa 1.200 tonnellate per l'intero terrapieno.

Per stabilizzare il rinterro, con una configurazione franosa di  $25.000 \text{ m}^3$ , a forza da applicare a valle del rinterro è di 1.200 tonnellate. Questo calcolo consente solo di approssimare la forza stabilizzante necessaria per l'avvio del terrapieno a ridosso (questa è una situazione di equilibrio iniziale delle rotture, il setting geotecnico). I  $25.000 \text{ m}^3$  di materiali mobilitati per sollecitare il rinterro sono considerati statici, ovvero senza considerare i fenomeni dinamici dovuti all'arrivo di detriti sulla struttura.

In queste condizioni il terrapieno non era assolutamente dimensionato per resistere ad uno smottamento e ancor meno alla lava torrenziale avvenuta nel vallon del Ca.

#### 2.2.4.5 Conclusione sul fenomeno considerato nel vallon del Ca

Lo scenario prescelto è l'attivazione di una frana che si ferma nella parte alta del vallon del Ca. Questa frana è dovuta alla combinazione di diversi fattori: saturazione del suolo, forza di deflusso alla base della futura frana, molto probabile incisione del suo letto minore da parte del Ca. Questa frana costituisce quindi una diga situata nella parte alta del pendio.

Gli afflussi d'acqua si accumulano dietro questa diga fino a quando non si rompe. La lava torrenziale (alimentata dall'acqua presente sul retro della diga e da materiali immagazzinati nello stesso luogo) si crea distruggendo parte della diga o, più probabilmente, per trabocco sopra la diga.

Questa lava torrenziale "scende" l'intero vallon "ricoprendo" dapprima la sponda sinistra con elementi più fini e blocchi grossolani depositati sulla cresta del riempimento e lasciando elementi più grossolani sulla sponda sinistra. Una piccola zona di atterraggio del materiale viene creata leggermente a monte delle strutture e si attesta alla piattaforma dei tubi, che finisce per cedere man mano che i materiali si accumulano.

La lava torrenziale probabilmente trabocca dal passaggio del tubo, portando con sé ulteriori inceppamenti di ghiaccio e, in fine, lo stesso passaggio intubato. Si giunge al livello del viadotto a monte carico di vari ingorghi e blocchi. Esercita forze orizzontali molto significative ( $> 1.200$  tonnellate) sull'impalcato del viadotto e vi deposita una grande quantità di materiale (piattaforma di lavoro, strada a valle del primo viadotto, ecc.) E distrugge il primo viadotto.

Il secondo viadotto subisce la stessa sorte e, grazie ad un aumento della pendenza del profilo longitudinale della valle, la lava torrenziale emerge alla confluenza con il Roia. Si ferma poco dopo la confluenza, essendo in questo punto molto più debole il profilo longitudinale del Roia. Complessivamente la lava torrenziale si ferma circa 175 m dopo la confluenza con il Roia.

Si tratta quindi in effetti di due fenomeni distinti che hanno portato alla distruzione dei due viadotti; prima una frana seguita da lava torrenziale poi un cedimento per frana ed erosione della piattaforma intubata.

Le lave torrenziali si formano "normalmente" a favore di forti precipitazioni e di un abbondante stock di materiali disponibili. Nel nostro caso lo stock di materiale disponibile è stato assicurato dalla frana e, in assenza di precipitazioni, è stato sostituito un importantissimo rifornimento idrico dovuto al ruscello Ca da un lato ma anche a molteplici risorgive dall'altro.

### 3 Presa in conto del rischio di frana / lava torrenziale

#### 3.1 Rischio di frana nel vallon del Ca

Come preambolo, va notato che il vallon del Ca era nota per le sue valanghe (relativamente frequenti) ma non per la sua suscettibilità al verificarsi di smottamenti o lave torrenziali. Lo studio del servizio RTM delle Alpi Marittime del novembre 2005 non ha ritenuto che il fenomeno della lava torrenziale potesse essere dannoso per il progetto di costruzione di un viadotto sul Ca, solo una certa protezione contro gli straripamenti di lava torrenziale è stata sostenuta.

##### 3.1.1 Cronistoria delle frane

Durante la riunione della CIG del 20 novembre 2020, il Dott. Andrea VALENTE ARNALDI ha presentato diverse immagini del vallon del Ca che indicano movimenti gravitazionali ricorrenti su questo versante.

Questa analisi è fondamentale per valutare gli smottamenti che potrebbero avere un potenziale impatto sul progetto di ricostruzione delle strutture di accesso alla galleria del Colle di Tenda.

L'illustration 53 di seguito mostra la prima fotografia aerea che si può trovare sul sito dell'IGN ; Si tratta di una ripresa aerea del 1945 che servirà da base per l'analisi dei movimenti rilevati in questo versante.

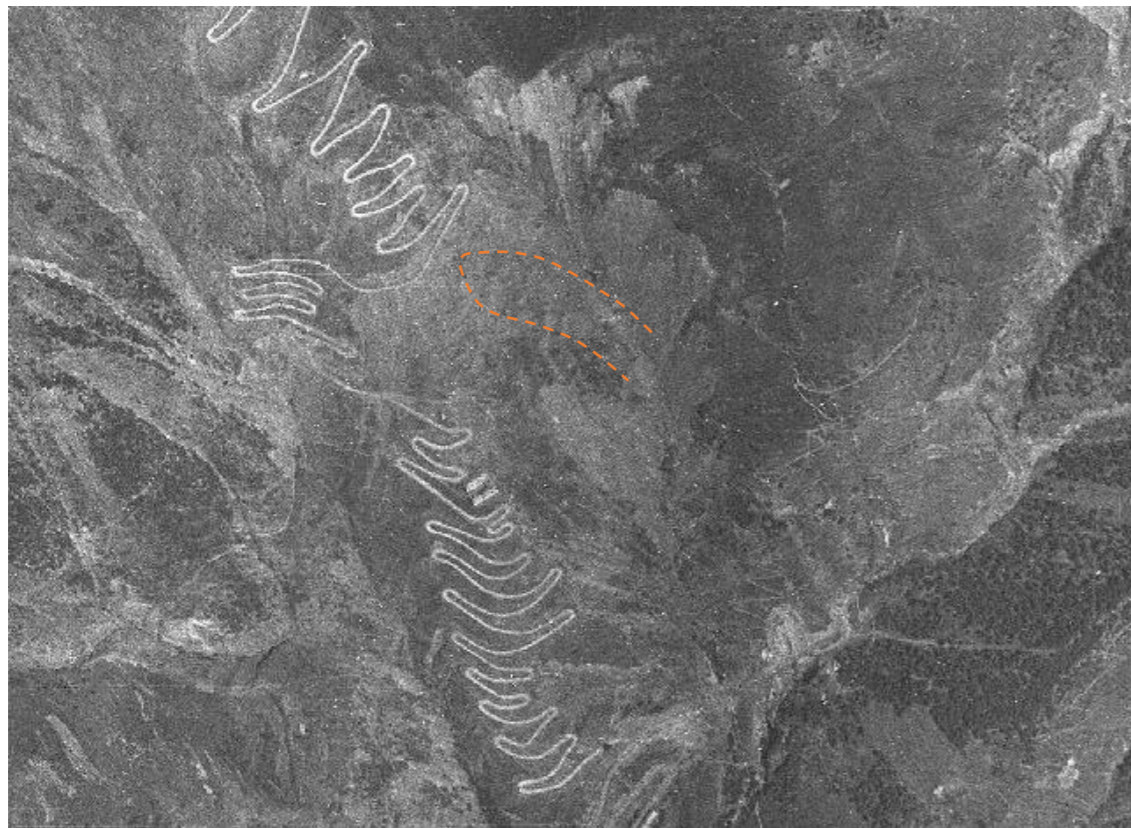


Illustration 53 Fotografia aerea del 23-06-1945 (IGN©)

La linea tratteggiata arancione indica la posizione della frana del Vallon del Ca avvenuta in ottobre 2020.

Si noti che in prossimità di questo punto di riferimento, tracce di dilavamento / frane; a monte, prima, a livello della sbarra calcarea giurassica, sulla sponda sinistra del vallon del Ca e infine appena sotto le linee tratteggiate.

Queste aree leggermente più chiare testimoniano dell'instabilità di questi settori e in particolare della difficoltà di insediamento delle specie arbustive.

Si noti che i tornanti sopra il forte si allontanano dall'asse principale della vecchia strada del sale, forse a causa dell'instabilità in quest'area, leggermente più nitida nella fotografia.

L'illustration 54 di seguito presenta più chiaramente lo stato del versante in questa prima metà del XX secolo.



Illustration 54 Fotografia aerea del 15-08-1952 (IGN©)

Le tracce di instabilità viste sull'illustration 53 sono chiaramente visibili in questa fotografia del 1952. Si noti, in corrispondenza dei tornanti citati nei commenti dell'illustration 53, che sono presenti altri tornanti, in linea con i tornanti sovrastanti e sottostanti, leggermente più vicini al vallon del Ca.

L'area osservata nell'illustrazione precedente, a livello di questi tornanti, sembra infatti essere oggetto di movimenti di gravità (possibilmente superficiali).

L'illustration 55 di seguito, il prossimo, a infrarossi in falsi colori, è datato 1974. Questa tecnica di rappresentazione consente di differenziare con precisione le aree boschive da quelle nude (erose).



Illustration 55 Fotografia aerea a infrarossi in falsi colori del 14-08-1974 (IGN©)

Questa illustrazione consente di identificare chiaramente (rispetto alle fotografie aeree in bianco e nero) le aree in cui la vegetazione è assente, probabilmente riflettendo aree di erosione. Di conseguenza è chiaramente visibile l'erosione sulla sponda sinistra del vallon del Ca così come a valle del 2020. Noteremo che la zona situata al di sotto della frana del 2020 "spicca" meno della sponda sinistra della valle, indicando (forse) una ripresa della vegetazione. Da notare che le curve "ovest" sopra il forte sono state interessate da un movimento di gravità e che la strada del sale "passa" ora sul lato del vallon del Ca e non più sul lato del vallon del Mourgon.

Questa illustrazione mostra chiaramente il riutilizzo del vecchio tracciato dei tornanti sopra il forte sulla sponda destra del vallon del Ca a seguito di un movimento di gravità avvenuto tra il 1955 e il 1964 (vedi Illustration 56 seguenti).



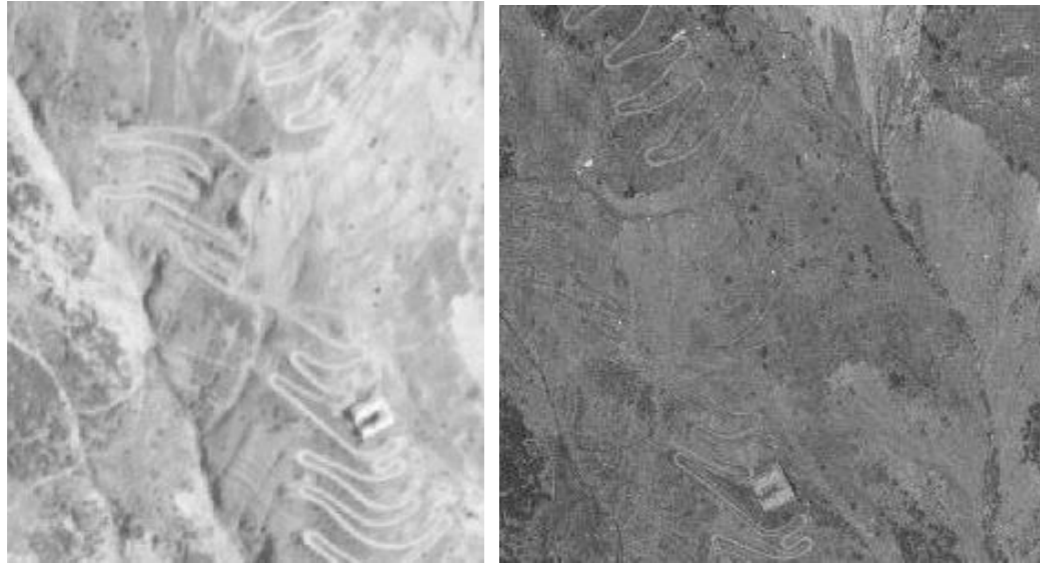


Illustration 56 Fotografie aeree del 1955 e 1964 (IGN©)  
Fotografie aeree del 1955 e del 1964 (IGN ©)

La fotografia aerea del 1955 indica il verificarsi di un movimento di gravità tra i tornanti nel vallon del Mourgon e in quello del Ca.  
La fotografia aerea del 1964 (anche se di scarsa qualità) indica un riutilizzo dei tornanti "est" nel vallon del Ca.

Le due Illustration 57 di seguito mostrano l'evoluzione del versante a metà degli anni 1990.

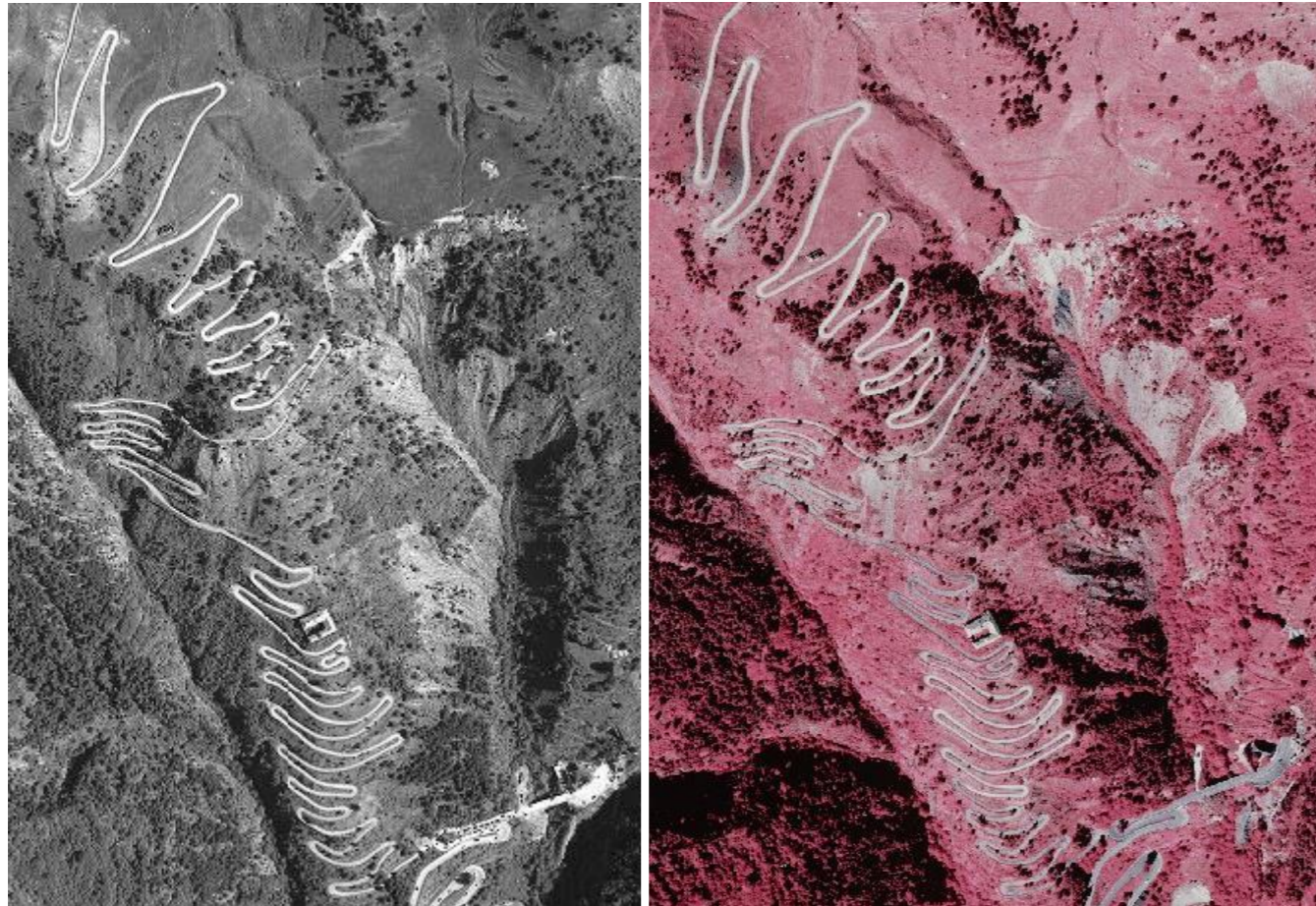


Illustration 57 Fotografie aeree in bianco e nero e infrarossi a falsi colori del 25/06/1995 e del 17/09/1996 (IGN ©)  
Queste illustrazioni mostrano il ritorno a un uso della vecchia strada del sale con tornanti "ovest" tra gli anni 1980 e 1983 (fotografie aeree non mostrate qui), probabilmente riflettendo un'instabilità del vallon del Mourgon.  
Nella fotografia del 1996 (infrarosso a falsi colori) si nota una ripresa della vegetazione sulla sponda destra del vallon del Ca, in parte in alto (vicino alla barra dei calcari giurassici). Questo sembra essere il caso anche per la zona di burrone al di sotto della zona di frana del 2020.

Le illustrazioni precedenti indicano l'inizio della rivegetazione (rimboschimento) del versante con un settore situato leggermente al di sopra del forte (posto a metà pendenza) regolarmente interessato da "piccoli" movimenti di gravità che richiedono il ricorso a percorsi (di merletti) alternativi. Queste modifiche al tracciato della vecchia strada del sale riflettono le ricorrenti instabilità che interessano i vallon del Ca e del Mourgon.

Le due ultime Illustration 58 permettono di apprezzare la nuova vegetazione del versante e la progressiva riduzione delle tracce del dilavamento.



Illustration 58 Fotografia aerea a colori del 22/06/1999 e ortofotografia del 2020 (IGN©)  
La vegetazione riconquistata a poco a poco gli spazi spogli ed erosi, in particolare il fondo del vallon del Ca.

Le illustrazioni precedenti indicano una riconquista di spazi spogliati ed erosi dalla vegetazione, prima arbustiva, poi foresta poi, cancellando così le cicatrici dei passati spostamenti di gravità.

In conclusione, si noti che il vallon del Ca è soggetto a ricorrenti movimenti gravitazionali, la loro grandezza non è ancora del tutto compresa, ma sembrano per lo più superficiali.

L'evento all'inizio di ottobre 2020, tuttavia, suggerisce che è probabile che si verifichino movimenti più ampi nell'area di studio. Questo è l'argomento del prossimo paragrafo.

### 3.1.2 Flusso di frane / detriti da considerare quando si accedono a ulteriori studi

#### 3.1.2.1 Caratterizzazione del fenomeno di riferimento per il progetto

##### 3.1.2.1.1 Lineamenti presenti a monte della frana di ottobre 2020

Alla luce dell'ortofotografia eseguita dopo il passaggio della tempesta Alex e il verificarsi della frana nel vallon del Ca, due fratture nei terreni sovrastanti la frana dichiarata suggeriscono una massa che potrebbe spostarsi.

Queste fratture sono visibili sull'illustration 59 di seguito.



*Illustration 59* Zoom sui lineamenti a monte della frana di ottobre 2020 - ortofotografia "post-Alex" (IGN©)

In fondo all'illustrazione, possiamo vedere chiaramente la nicchia di frana di ottobre 2020. In alto a sinistra della fotografia si notano le tracce di un intenso deflusso.

Ci sono due lineamenti molto marcati che possono, erroneamente, suggerire fratture da trazione dovute allo spostamento del terreno sottostante.

Infatti i lineamenti che fanno pensare a fratture da trazione sono in realtà solo canali perpendicolari al versante che consentivano lo scarico del deflusso dallo bacino idrografico a monte nel versante e addirittura, più precisamente, direttamente nel ruscello Ca.

La stessa immagine (Illustration 60, sotto) con le curve di livello permette di valutare meglio le pendenze in questo settore.



*Illustration 60* Zoom sulle "fratture" a monte della frana di ottobre 2020 - ortofotografia "post-Alex" (IGN©)

Le curve di livello sono generalmente perpendicolari ai lineamenti importanti rilevati su questa parte alta del vallon del Ca.

I lineamenti osservati non possono quindi essere considerati l'inizio di una frana simile a quella avvenuta all'inizio di ottobre 2020.

Sull'ortofotografia dell'IGN scattata nel 2020, è visibile anche il lineamento superiore (Illustration 61, sotto). Si indovina appena il lineamento inferiore. Non sono quindi da correlare con la frana di inizio ottobre, ma piuttosto con il fenomeno del deflusso avvenuto il 03 ottobre 2020.



*Illustration 61* Vista anteriore del settore con lineamenti - ortofotografia dal 2020 (IGN©)  
Le frecce arancioni puntano ai lineamenti chiaramente visibili nelle fotografie "post-Alex".

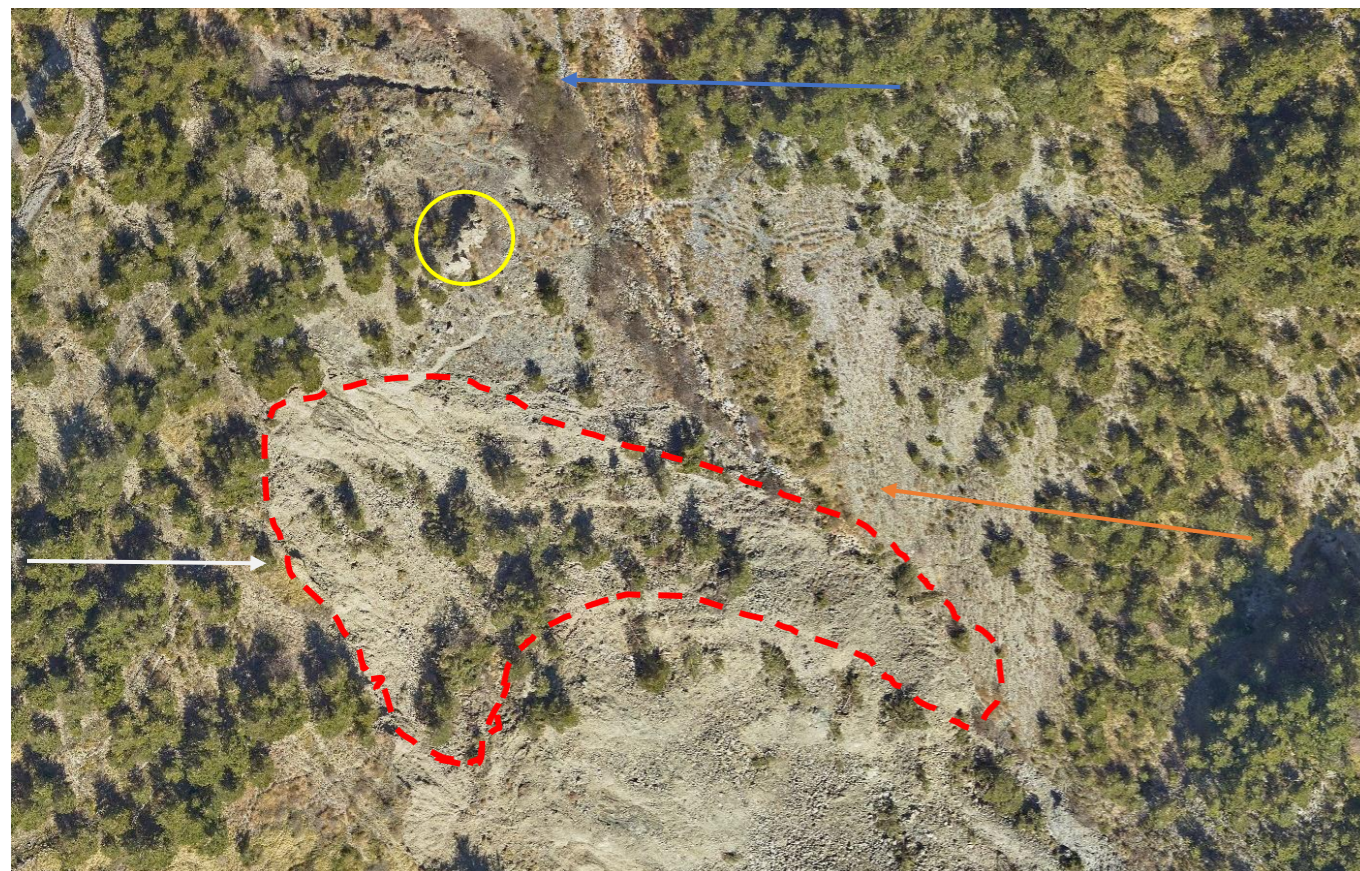
Questi lineamenti, se non possono essere considerati come stimate o segni di una possibile frana (di una geometria simile a quella di ottobre 2020), sono comunque elementi scatenanti o aggravanti nel senso in cui dirigono l'acqua di ruscellamento nel vallon del Ca, in un settore (sovrastante la frana di ottobre 2020) i cui materiali costitutivi sono della stessa natura e possono avere lo stesso comportamento dei materiali della frana del 2020.

### 3.1.2.1.1 Evoluzione della frana tra ottobre 2020 e dicembre 2020

In considerazione dell'ortofotografia scattata dall'IGN a seguito del passaggio della tempesta Alex e dell'ortofotografia del geometra italiano che ha fornito l'ultima topografia alla DREAL PACA, la frana si è evoluta a livello della nicchia di sfondamento a monte. Così, gli strati di flysch che osservati sull'illustration 31 corrispondono, infatti, al bordo settentrionale del lineamento inferiore visto nelle precedenti fotografie aeree. Questo lineamento di ruscellamento / dilavamento era quindi in contatto con dei flysch "sani".

L'area soggetta a regressione franosa è stimabile in circa 3.800 m<sup>2</sup>.

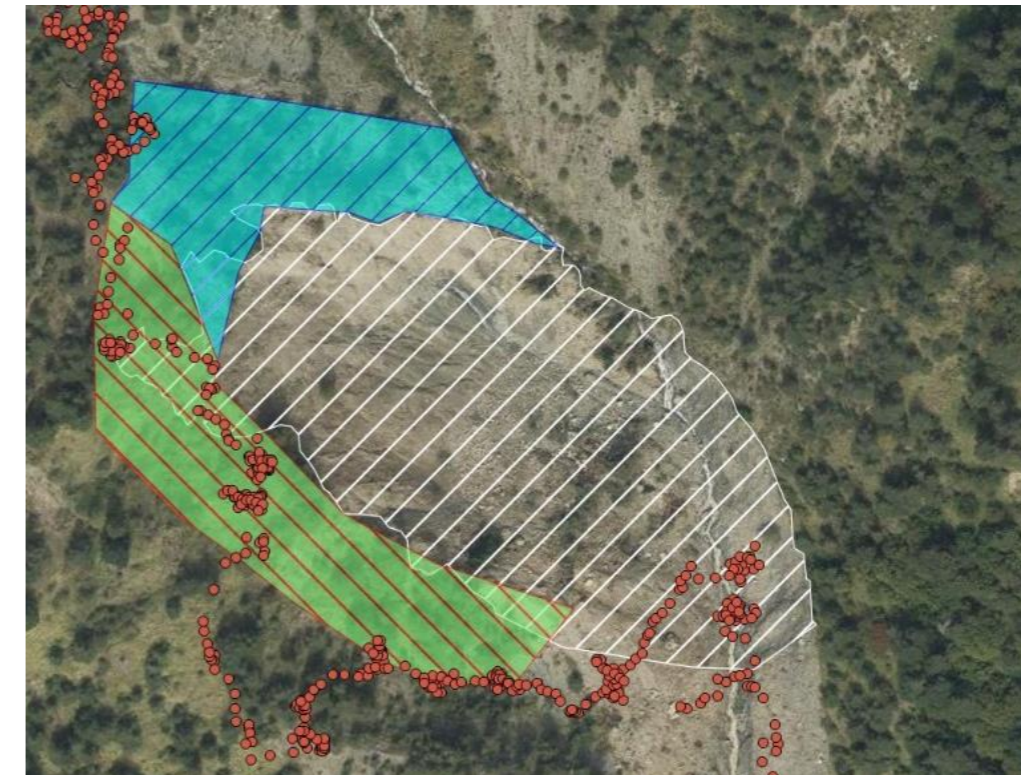
L'illustration 62, di seguito, La successiva ci permette di valutare l'estensore attuale della frana.



**Illustration 62** *Fotografie aeree "Post-Alex" dell'IGN e di dicembre 2020 del geometra italiano*  
 La frana di ottobre 2020 è quindi regredita al limite degli strati di flysch a livello del margine settentrionale del tracciato di dilavamento, a cui corrisponde complessivamente un aumento della superficie di frana di circa 3.800 m<sup>2</sup>.

Durante la nostra visita del 17 marzo 2021, abbiamo osservato che la nicchia di sfondamento della frana di ottobre era regredita al lineamento inferiore, vale dire a una superficie complessiva di circa 3.800 m<sup>2</sup> che è già "scomparsa". Abbiamo inoltre osservato, oltre il margine ovest-sudovest della frana, un'area con segni di decompressione (crepe di trazione nel terreno, ecc.). Questa area può essere potenzialmente mobilitata durante un grande evento di pioggia da una frana. La superficie

approssimativa di quest'area è stimata in circa 5.700 m<sup>2</sup>. Il tracciato GPS del nostro percorso sul versante e il corpo della frana / lava torrenziale è presentata nell'illustration 63, di seguito.

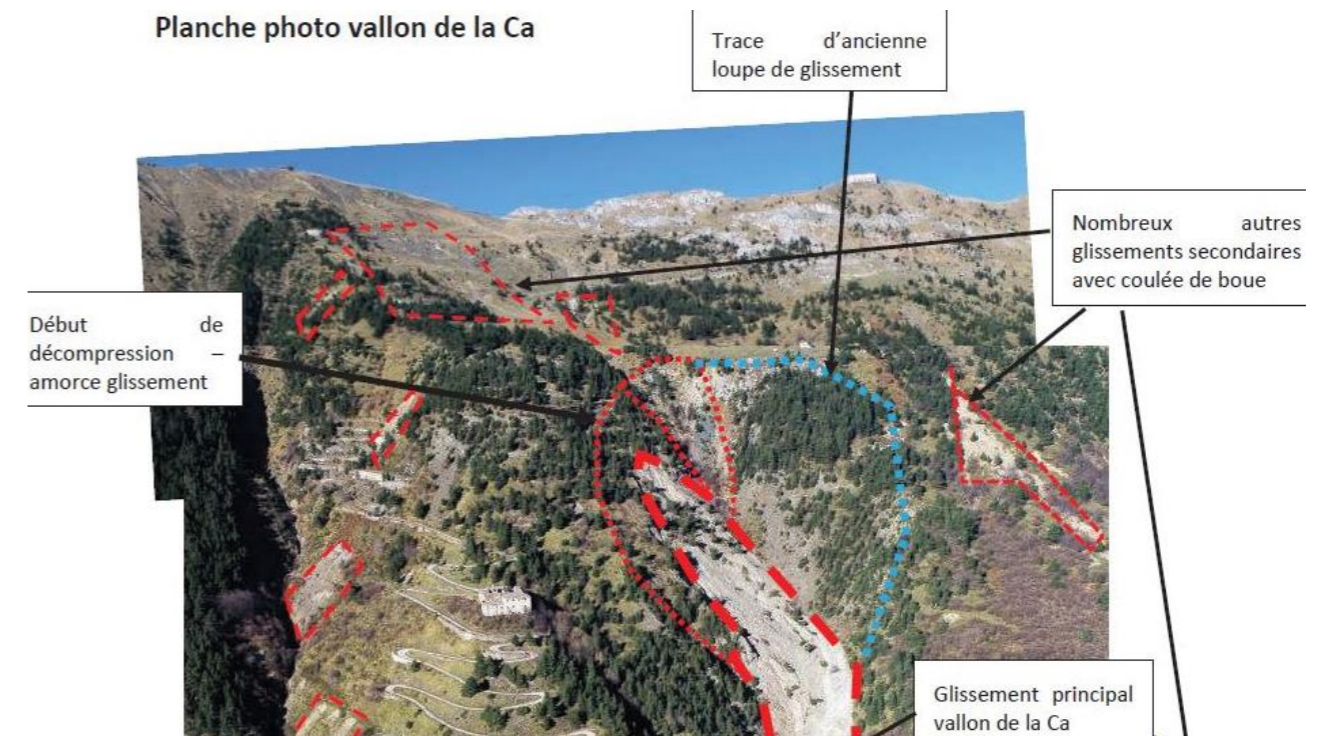


**Illustration 63** *Tracciato GPS della visita sul campo del 17/03/2021 – Relazione delle zone instabili*  
 Nella parte superiore dell'illustrazione, la traccia GPS indica chiaramente il settore di estensione della frana nel marzo 2021 (in turchese tratteggiato in blu e successivamente denominato "R"). L'area verde tratteggiata di rosso (di seguito denominata GPSO) corrisponde all'area decompressa osservata durante la nostra visita.

Il servizio RTM delle Alpi Marittime, nel suo rapporto post-evento di dicembre 2020, indica una potenziale area franosa con inizio di decompressione e inizio di frana, queste indicazioni sono presentate nell'illustration 64, di seguito.

Questa zona corrisponde alla zona osservata nel marzo 2021, fatta eccezione per la zona situata a livello della barra calcarea giurassica appena a valle dei pascoli di montagna nonché la zona situata tra i due lineamenti (poco visibili nell'illustration 64 di seguito).

**Planche photo vallon de la Ca**



**Illustration 64** *Analisi geomorfologica di eventi localizzati al Vallon del Ca (RTM 06)*

Il servizio RTM delle Alpi Marittime indica un'area con stimate di vecchie frane sulla sponda sinistra del ruscello Ca nonché un'area con inizio di decompressione e innesco di frana sulla sponda destra del vallon del Ca.

Le informazioni fornite dal servizio RTM nelle Alpi Marittime sono preziose nel senso che confermano in parte le nostre osservazioni sul campo su eventuali smottamenti che potrebbero verificarsi nella valle del Ca. Gli elementi instabili elencati dal servizio RTM sono stati trasferiti in una vista, ortorettificata. Questa figura è presentata nell'illustration 65 di seguito.

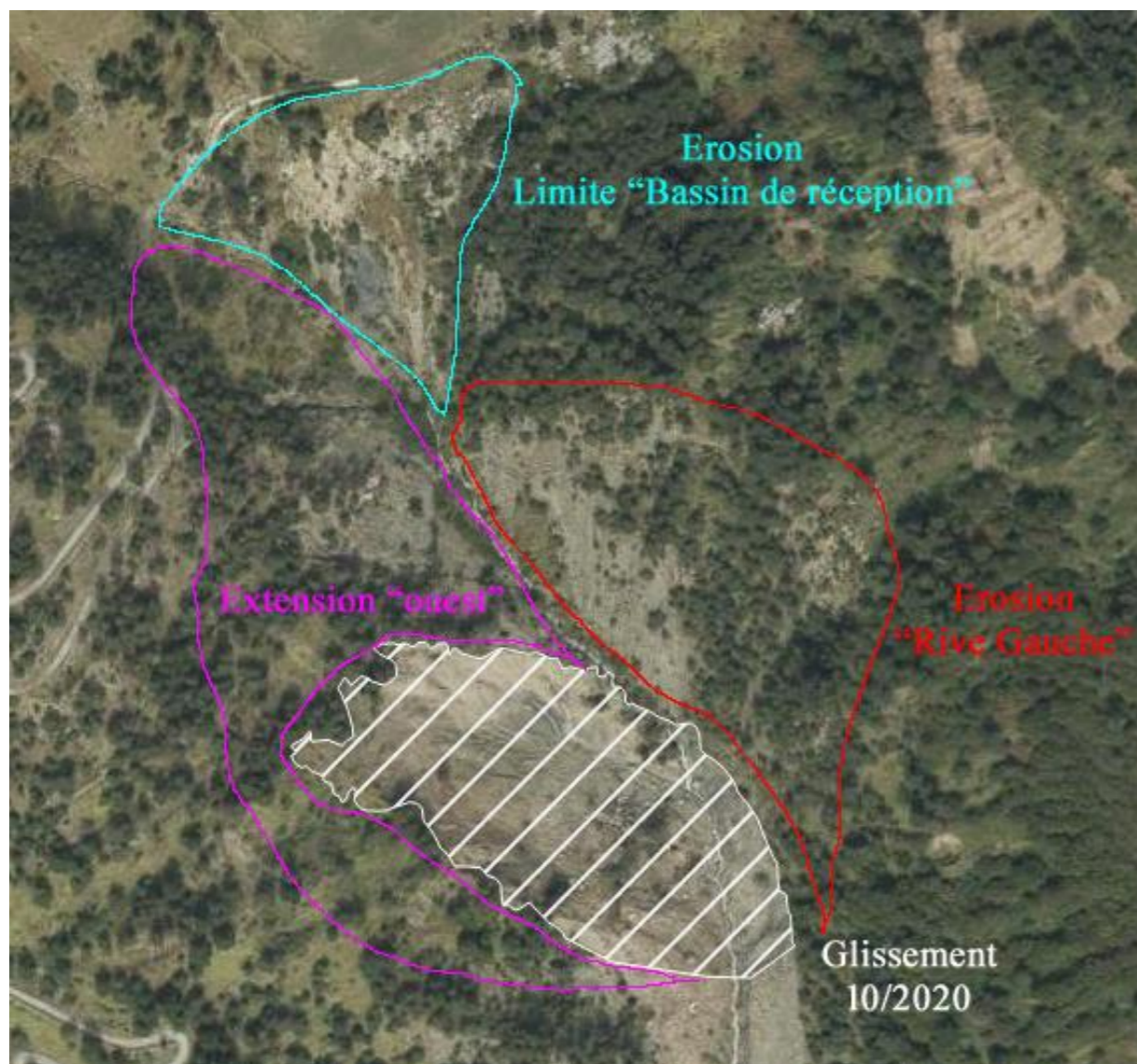


Illustration 65 Relazione delle instabilità osservate su fotografie aeree

Le aree cerchiare in rosso e turchese sono state tutte viste in fotografie aeree storiche. Rispecchiano le zone di dissesto individuate dalla RTM nel vallon del Ca.

Nell'illustrazione precedente, le aree cerchiare in rosso e turchese sono viste (nelle fotografie aeree presentate nel paragrafo 3.1.1 precedente) come aree di instabilità ricorrente nel vallon del Ca. In effetti, queste zone sono quasi sempre spoglie e talvolta presentano anche tracce "nette" (data la risoluzione delle fotografie aeree) di instabilità. Sotto la zona viola, un'altra zona di instabilità ricorrenti viene regolarmente osservata nelle fotografie aeree.

Tutte queste aree sono identificate dal servizio RTM nelle Alpi Marittime (vedi Illustration 64) come aree instabili che possono essere mobilitate da un evento di "frana" simile a quello occorso nell'ottobre 2020.

Anche se queste aree sono potenzialmente instabili, le fotografie aeree mostrano che le aree cerchiare in rosso e turchese sono regolarmente interessate da movimenti di gravità più o meno superficiali. La disponibilità di materiali sciolti potenzialmente mobilitati da una frana appare quindi minore.

L'area cerchiare in viola, per la sua parte meridionale e per il suo limite settentrionale con la frana di ottobre 2020, è stata osservata in campo ed è classificata come potenzialmente instabile o (per la parte nord) già inclusa nella regressione della frana. Resta quindi da decidere la parte più settentrionale dell'area cerchiare di viola situata la più a monte della valle del Ca.

Come abbiamo visto in precedenza (vedi Illustration 30) quest'area è situata in flysch "sani", con pendenze piuttosto elevate e quindi una minore disponibilità di materiale. I contesti geomorfologici di questa zona e della zona franosa dell'ottobre 2020 sono quindi differenti. Tuttavia, il posizionamento di questa zona (alla convergenza dei rifornimenti idrici dai pascoli montani

sovrastanti) nonché una relativa disponibilità di materiali (assenza di marcata erosione nelle varie fotografie aeree) possono suggerire che le condizioni si possano conciliare che questo settore è considerato potenzialmente instabile rispetto al progetto di ripristino dell'accesso alla galleria del Colle di Tenda. Il contorno di questa potenziale frana, così come quello che incorpora l'estensione della frana di ottobre osservata a dicembre 2020 nell'illustration 66 di seguito.

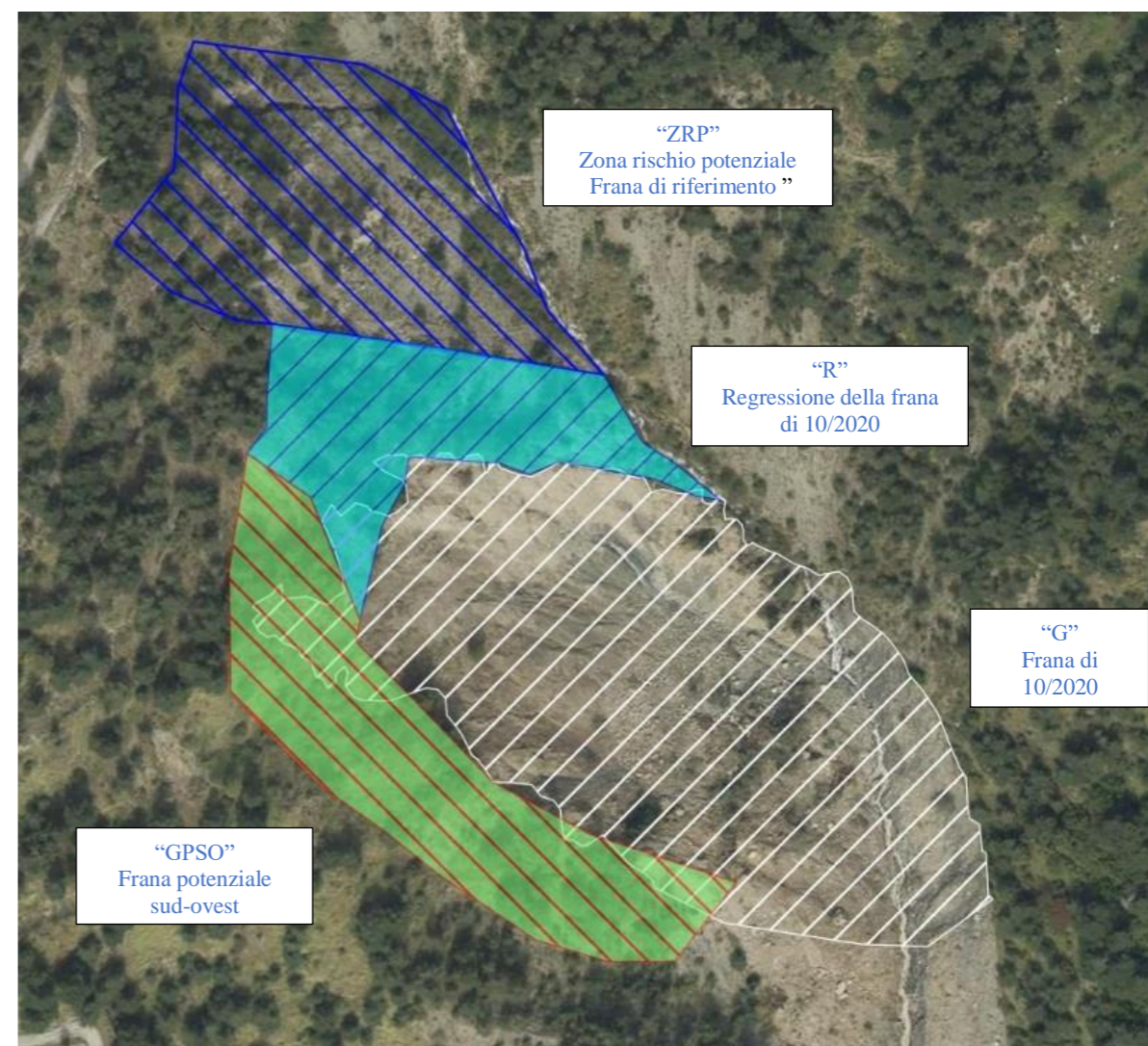


Illustration 66 Relazione sulla frana di ottobre 2020, la sua regressione, la frana di riferimento e quella a sud-ovest. La frana di ottobre 2020 (~ 1,5 ha) è tratteggiata in bianco, la sua regressione (~ 0,4 ha) tra ottobre e dicembre 2020 è in turchese tratteggiata in blu. La zona di rischio potenziale (~ 1 ha) è tratteggiata in blu, la possibile estensione a sud-ovest (~ 0,6 ha) è verde tratteggiata in rosso.

Per valutare la possibilità di una frana nella zona tratteggiata in blu e nella zona bluestra e soprattutto il suo volume, occorre analizzare le pendenze del terreno nelle due superfici tratteggiate. Se la distribuzione è più o meno la stessa, i suoli potranno reagire allo stesso modo. Tuttavia, se la distribuzione delle pendenze è totalmente diversa, non possiamo aspettarci che si comportino come i suoli.

La distribuzione delle pendenze sulle superfici tratteggiate in bianco ("G"), turchese tratteggiate in blu ("R") e tratteggiate in blu ("ZAP") è presentata nell'illustration 67. Questa illustrazione è interessante perché mostra le caratteristiche di pendenza dei materiali che sono stati spostati tra ottobre e dicembre 2020.

Répartition des pentes sur les glissements considérés

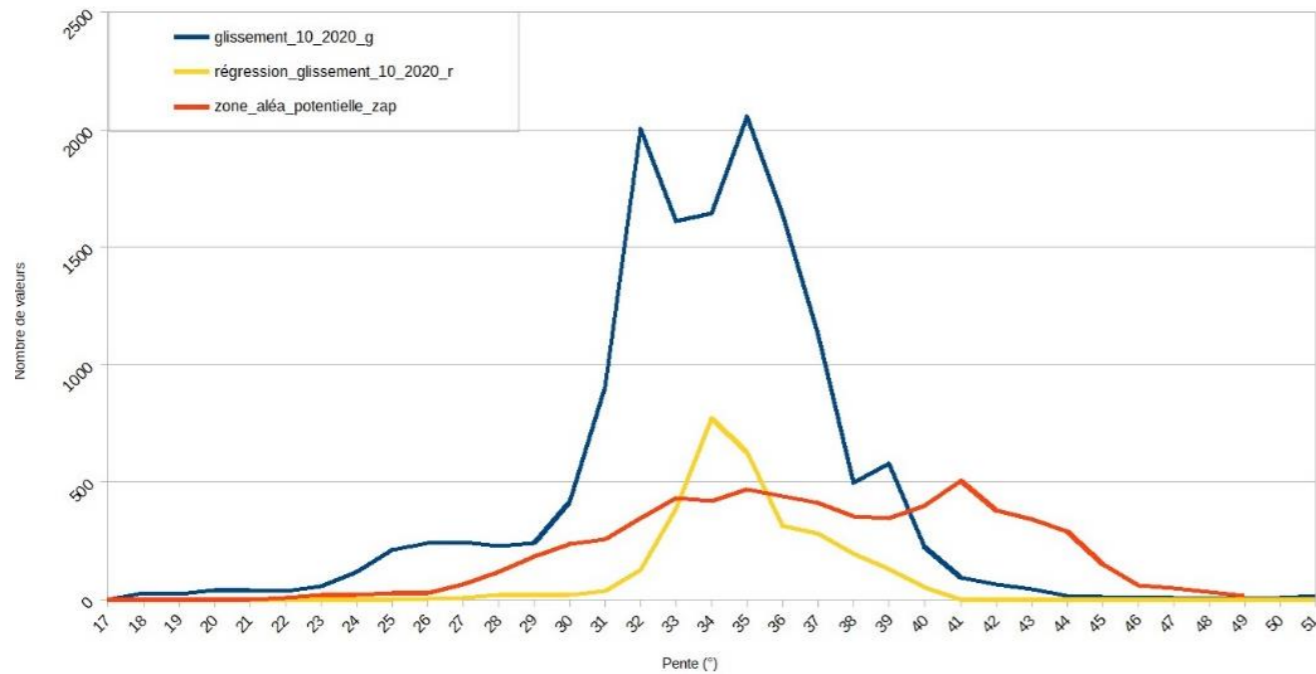


Illustration 67 Distribuzione delle pendenze all'interno delle frane considerate (zone "G", "R" e "ZAP" dell'illustration 66) La distribuzione della pendenza per pixel di 1 m<sup>2</sup> è centrata su un valore di 34-35 ° per la frana di ottobre 2020 e la sua regressione. Notiamo che per la frana di riferimento "ZAP" vi è una sovrabbondanza di pendii "ripidi" intorno ai 41-42 °, riflettenti terreno in atto all'interno di forte pendenze.

Il modello di distribuzione della pendenza per la regressione della frana è "più o meno" lo stesso della frana dell'ottobre 2020; queste due curve sono centrate su valori di pendenze prossimi a 35°. Il terreno che è stato mobilitato durante la regressione era precedentemente situato nello stesso intervallo di valori di pendenza di quelli della frana dell'ottobre 2020. Si può quindi considerare che, nelle potenziali zone di pericolo, solo i materiali che si trovano in questo intervallo di valori di pendenza potranno reagire allo stesso modo e quindi essere potenzialmente spostati.

La "grande popolazione" di pendii maggiori di 37-38 ° per lo slittamento di riferimento "ZAP" riflette il fatto che questi pixel si trovano in un terreno in forte pendenza. Dal punto di vista geotecnico, questo stato di cose può tradurre due stati:

- Suoli molto resistenti (poiché non si "muovono"),
- Uno spessore ridotto dei terreni morbidi.

Tuttavia, questa distribuzione dei pendii all'interno della frana di riferimento considerata porta a concludere che la potenziale zona di pericolo non è confrontabile e offre una maggiore resistenza alle frane, il che ci porta a considerare una superficie di scorrimento potenziale leggermente ridotta rispetto a quella tratteggiata in blu ("ZAP") nell'illustration 66.

Al fine di raffinare la potenziale superficie di slittamento, applichiamo la distribuzione delle pendenze dello slittamento di ottobre 2020 ("G") sulla superficie stimata dello slittamento di riferimento ("ZAP"), quindi stimiamo che la superficie corrispondente ai valori dei pendii "ripidi" che cadono al di fuori della curva di riferimento non devono essere considerati come potenzialmente spostabili. I risultati sono presentati nell'illustration 68 di seguito.

Application de la répartition des pentes de "G" sur la population du glissement potentiel "ZAP"

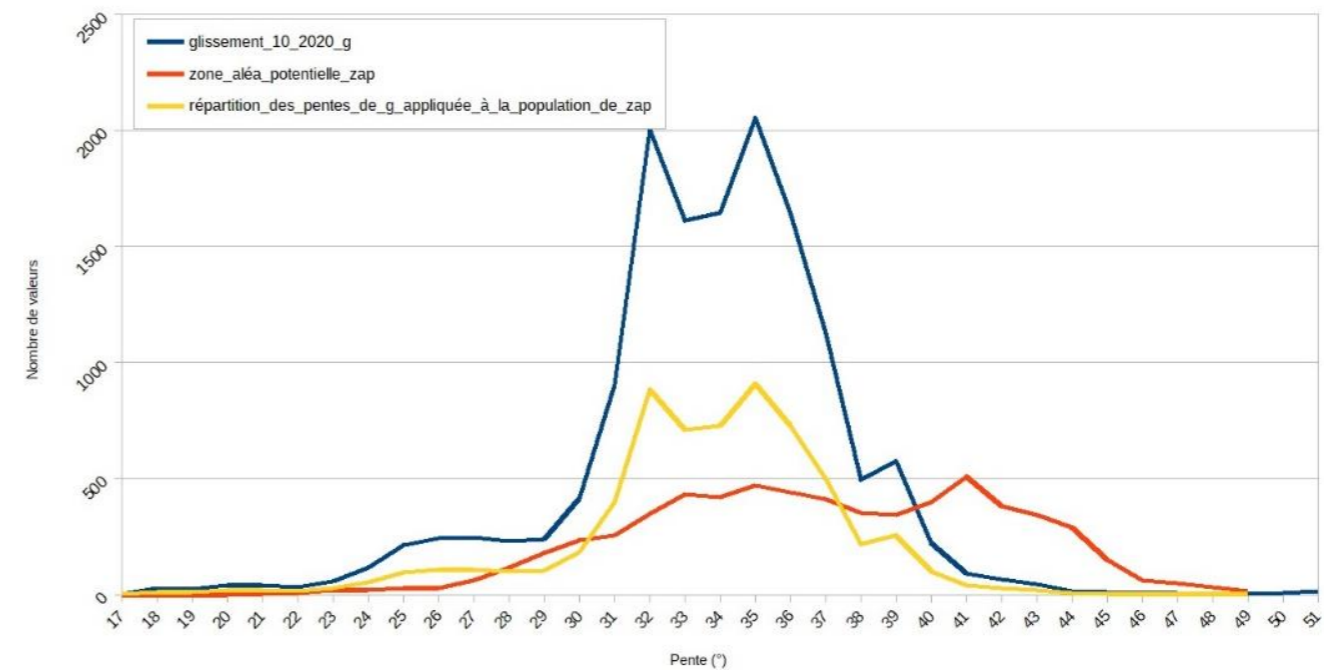


Illustration 68 Distribuzione dei versanti all'interno delle frane considerate (zone "G" e "ZAP" dell'illustration 66) applicando allo "ZAP" la distribuzione dei versanti della frana "G3 di ottobre 2020

In giallo, abbiamo applicato la distribuzione della pendenza di "G" alla popolazione (di pixel) di "ZAP".

Oltre la pendenza pari a 37-38 °, diventa predominante la popolazione di pixel di "ZAP" con pendenza maggiore della pendenza di "G".

Oltre i 38 °, le superfici in eccesso (pendenze dei pixel di "ZAP" maggiori delle pendenze di "G" sulla popolazione di pixel di "ZAP") devono essere sottratte dalla superficie potenziale spostabile. Si tratta di una superficie deducibile di circa 2.400 m<sup>2</sup>.

Ciò equivale a considerare una frana di riferimento "ZAP" la cui superficie è stimabile in circa 4.500 m<sup>2</sup>. Con uno spessore medio della frana considerato dell'ordine di 6,5 m (dell'ordine della profondità media della frana di ottobre 2020), il volume stimato della potenziale frana residua è quindi dell'ordine di 30.000 m<sup>3</sup>.

Questo volume di frana è di 30.000 m<sup>3</sup>, corrispondente all'area ombreggiata in turchese dell'illustration 66, può quindi essere considerato come la potenziale frana di riferimento. Le altre zone indicate nel rapporto della RTM degli Alpi Marittime non devono, tuttavia, essere trascurate, ma non saranno inserite come potenzialmente instabili nel senso della frana di progetto.

In questa fase, la frana di progetto considerata avrà quindi le seguenti caratteristiche :

- Superficie: ~ 4.500 m<sup>2</sup>,
- Volume: ~ 30.000 m<sup>3</sup>,
- Profondità media: ~ 6.5 m.

Questa diapositiva di riferimento è la diapositiva che potenzialmente può verificarsi a monte della diapositiva di ottobre 2020.

Dovrebbero essere incluse anche le altre aree instabili individuate durante la nostra visita sul campo del 17/03/2021, in particolare l'area "GPSO" dell'illustration 66. In questo settore le pendenze sono comprese tra 29 e 42°. Lo stesso approccio applicato in precedenza si traduce in una riduzione della superficie di scorrimento potenziale di circa 1.000 m<sup>2</sup>, che equivale a considerare uno smottamento di circa 5.800 m<sup>2</sup>, per un volume approssimativo di 38.000 m<sup>3</sup>(profondità media 6,5 m).

In pendenza il volume dei materiali stoccati è complessivamente di 20.000 m<sup>3</sup>.

I materiali spostati, sia riprendendo i materiali stoccati nel versante sia al verificarsi una nuova frana, possono essere stimati approssimativamente in 90.000 m<sup>3</sup>.

Il verificarsi di una frana nella zona "GPSO" non bloccherebbe la chiusa, poiché questa zona si trova a valle. Questa diapositiva non provocherebbe quindi lo stesso fenomeno di quello verificatosi nell'ottobre 2020 con la formazione di lava torrenziale.

La capacità del pendio di produrre materiali mobili non è tuttavia trascurabile.

Complessivamente il volume di materiale che è passato con la lava torrenziale è di circa 60.000 m<sup>3</sup> (50.000 m<sup>3</sup> dalla frana e 10.000 m<sup>3</sup> erosi dalla lava torrenziale). Se la lava torrenziale dovesse ripresentarsi nel vallone del Ca, il volume dei sedimenti trasportati sarebbe molto inferiore poiché, da un lato, il volume dei materiali che possono essere spostati è minore (la frana occidentale non ostacolerebbe il blocco roccioso) e che i materiali immagazzinati nel pendio sarebbero più difficili da riabilitare (le pendenze a livello della cicatrice della frana sono ora più basse).

Il volume ragionevole di materiali spostabili corrisponderebbe quindi all'estensione verso nord della cicatrice della frana in corso e comprenderebbe quindi la frana di riferimento (circa 30.000 m<sup>3</sup>) a cui va aggiunta parte dei materiali stoccati nel versante, ovvero circa 40.000 m<sup>3</sup> massimo.

### 3.1.2.2 Caratterizzazione della sezione idraulica della / e struttura / e di attraversamento del ca

Il fenomeno da considerare a livello delle strutture di attraversamento del Ca è quindi proprio una lava torrenziale con un volume massimo di sedimenti considerato di circa 40.000 m<sup>3</sup>. Per determinare la sezione idraulica necessaria, a livello delle strutture di attraversamento, è necessario valutare la cinematica del detrito, la sua portata e la sua velocità. Un altro approccio più naturalistico potrebbe essere effettuato successivamente sulla base di rilievi GPS di tracce di lava *in situ*.

Non si valuterà l'impatto di una frana proveniente dalla sommità del versante sugli attraversamenti della valle del Ca, da un lato perché non è questo il fenomeno che è stato osservato nell'ottobre 2020, dall'altro perché i materiali mobilitati da una possibile frana molto probabilmente si depositerà nel letto del torrente prima di raggiungere i viadotti (come è avvenuto nell'ottobre 2020).

Valuteremo semplicemente l'impatto della frana della zona "GPSO" che, a sua volta, può probabilmente raggiungere i viadotti. Si considera che il volume di questa frana è di circa 38.000 m<sup>3</sup>.

#### 3.1.2.2.1 Fenomeno di riferimento : lava torrenziale

La caratterizzazione di una lava torrenziale comporta una concentrazione di volume solido generalmente compresa tra 0,5 e 0,8 (Coussot, 1996); quindi il volume d'acqua necessario per innescare una lava torrenziale è compreso tra 10.000 e 40.000 m<sup>3</sup>, per un volume di sedimenti di 40.000 m<sup>3</sup>. È molto probabile che siamo nella fascia bassa quando si tratta di approvvigionamento idrico, poiché nel giorno in cui è iniziato il fenomeno non si sono verificate precipitazioni, solo apporto di Ca e risorgive varie a livello del piano di scorrimento a contatto con il bluastro marne.

La letteratura relativa alle lave torrenziali indica velocità di propagazione comprese tra 1 e 15 m/s. La tesi di A. Remaître, relativa al torrente Faucon (bacino di Barcelonnette) indica una stima della velocità della lava torrenziale del 1996, globalmente a 5 m/s. La modellazione di una lava torrenziale sul torrente Rioulong (Hautes-Pyrénées) mostra velocità di circa 10 m/s, fino a 13 m/s. Il profilo longitudinale di questo torrente è abbastanza simile a quello del torrente Ca, ma con un bacino imbrifero di 1,7 km<sup>2</sup> mentre quello del Ca è di soli 0,7 km<sup>2</sup>.

Ovviamente i fenomeni non sono del tutto simili in quanto la lava torrenziale che si è innescata nel vallone del Ca non è dovuta a forti precipitazioni ma ad un massiccio afflusso di acqua dal versante che si è immagazzinato sul retro della conca di roccia.

Per quanto riguarda le portate, la modellazione effettuata da CEMAGREF e ONF sul torrente Rioulong (Hautes-Pyrénées) si basa su più portate di diversi eventi :

- 30 m<sup>3</sup>/s – evento poco frequente,
- 100 m<sup>3</sup>/s – evento raro,
- 180 m<sup>3</sup>/s – evento eccezionale.

Relativamente ai rispettivi bacini idrografici di Rioulong e Ca, ci baseremo su un calcolo in range integrando occorrenze rare ed eccezionali per il fenomeno di riferimento.

#### 3.1.2.2.2 Fenomeno di riferimento : frana

Fenomeno di riferimento: frana

Valutare la portata di una frana è delicata, avremo un approccio di default basato sullo studio condotto nel novembre 2005 dal servizio RTM delle Alpi Marittime che valuta la capacità del vallone di produrre un rasporto solido per lettiera. più veloce di una frana).

Questo studio ha concluso che durante un periodo di alluvione di 100 anni, erano possibili fenomeni di tipo spinta torrenziale con una capacità di trasporto solida di 22.000 m<sup>3</sup>. Tuttavia, tenuto conto dello stock disponibile per la spinta (~ 1.400 m<sup>3</sup>), il torrente non sarebbe defluito a saturazione per un'alluvione di frequenza di 100 anni e che, di conseguenza, a livello del viadotto Ca era prevedibile un piccolo deposito.

Data l'elevata disponibilità di materiale in caso della frana ovest di riferimento, si può considerare che lo spostamento di 38.000 m<sup>3</sup> potrebbe essere effettuato in almeno 1 ora e 45 minuti (rapporto da 38.000 m<sup>3</sup> a 22.000 m<sup>3</sup>/ora).

In conclusione del suo studio, l'RTM ha valutato i parametri idraulici per un picco di flusso di 100 anni sotto la struttura proposta (viadotto Ca). Sono parametri idraulici per un torrente in piena, ma l'avvicinamento dalle velocità del corso d'acqua a livello della struttura a seconda che la portata sia uniforme o critica ci permetterà di valutare il tratto idraulico critico necessario al transito del fenomeno di riferimento.

Il servizio RTM fornisce due valori di velocità del flusso a livello della struttura : 3,3 m / se 0,4 m / s (complessivamente 12 km / he 1,5 km / h) che sono interessanti nel senso che danno un range di comportamento tra il comportamento del liquido e il comportamento di trasporto del solido. Questa velocità di 0,4 m / s sarà considerata come il valore superiore del campo di spostamento della frana.

#### 3.1.2.2.1 Scenari di riferimento

I paragrafi 3.1.2.2.1 & 3.1.2.2.2 I paragrafi precedenti e ci forniscono intervalli di parametri (portate, tempo di transito, velocità) per i due fenomeni di riferimento considerati, una colata detritica di volume 40.000 m<sup>3</sup> e una frana di volume di 38.000 m<sup>3</sup>.

Il Tableau 2 di seguito riepiloga tutti questi parametri per ciascun fenomeno di riferimento.

Tableau 2 : Parametri presi in considerazione per i fenomeni di riferimento

Fenomeno di riferimento	Volume (m <sup>3</sup> )	Tempo di transito (h)		Portata (m <sup>3</sup> /s)		Velocità di transito (m/s)	
Lava torrenziale	40.000			100	180	1	5
Frana	38.000	1,75	3			0,05	0,4

Per i volumi di frana considerati, la portata calcolata al viadotto Ca è leggermente inferiore alla portata di rara ricorrenza del torrente Rioulong che, si ricorda, poggia su un bacino idrografico 2,5 volte più grande. La stima sembra quindi ragionevole

I risultati del calcolo della sezione idraulica massima richiesta per ciascuna tipologia di scenario di riferimento sono riassunti nel Tableau 3 seguente.

Tableau 3 : Sintesi dei risultati del calcolo della sezione idraulica critica per ogni fenomeno di riferimento

Fenomeno di riferimento	Sezione idraulica critica (m <sup>2</sup> )
Lava torrenziale (*)	180
Frana (**)	120

(\*) La lava torrenziale critica, che permette di calcolare la sezione idraulica critica, ha le seguenti caratteristiche :

- Portata massima : 180 m<sup>3</sup> /s,
- Tempo di transito calcolato a livello delle strutture : 3 minuti e 36 secondi,
- Velocità di transito : 1 m/s, cioè 3,6 km/h (corrispondente, secondo la letteratura, alla velocità minima di una lava torrenziale).

(\*\*) La frana critica, che consente di calcolare la sezione idraulica critica, ha le seguenti caratteristiche :

- Tempo di transito stimato a livello delle strutture : 1 ora e 45 minuti,
- Portata di punta calcolata a livello delle strutture : 6 m<sup>3</sup> /s,
- Velocità di transito : 5 cm/s, cioè 0,18 km/h.

Per il dimensionamento dell'attraversamento del vallone del Ca, si utilizzerà quindi una sezione idraulica di circa 250 m<sup>2</sup>, garantendo un coefficiente di sicurezza di 1,4 nei confronti dei detriti lavici e 2,1 rispetto a una frana. Integriamo questo vincolo minimo di sezione idraulica perché, da un lato, non possiamo garantire il non verificarsi di nuovi detriti lavici e dall'altro non possiamo stabilizzare le frane che potrebbero verificarsi nell'area.

Anche il tiraggio dell'aria sotto la struttura o le strutture di attraversamento sarà un parametro di dimensionamento da adattare al contesto considerato.

### 3.1.2.3 Tirante d'aria sotto la / le struttura / i di attraversamento

L'ortofotografia fornita dall'IGN dopo il passaggio della tempesta, unita alla fotografia aerea ad alta risoluzione effettuata da drone dal geometra italiano, in assenza di una esauriente visita sul campo, ci permettono di valutare approssimativamente il volume dei blocchi. rocce che sono state mobilitate durante l'evento di ottobre 2020.

Senza fare un'analisi statistica del volume di questi blocchi (cosa non possibile senza un'indagine approfondita sul campo), si cercherà di valutare approssimativamente il volume dei blocchi che possono passare sotto l'attraversamento del vallon del Ca ; per questo analizzeremo più in dettaglio estratti di fotografie aeree raccolte dopo l'evento di ottobre 2020.

Per fare questo, sotto GIS (QGis), abbiamo misurato la dimensione apparente dei blocchi e fatto una sintesi. Abbiamo misurato i blocchi la cui dimensione apparente ci sembrava maggiore di un metro. I risultati sono presentati nell' Illustration 69 di seguito.

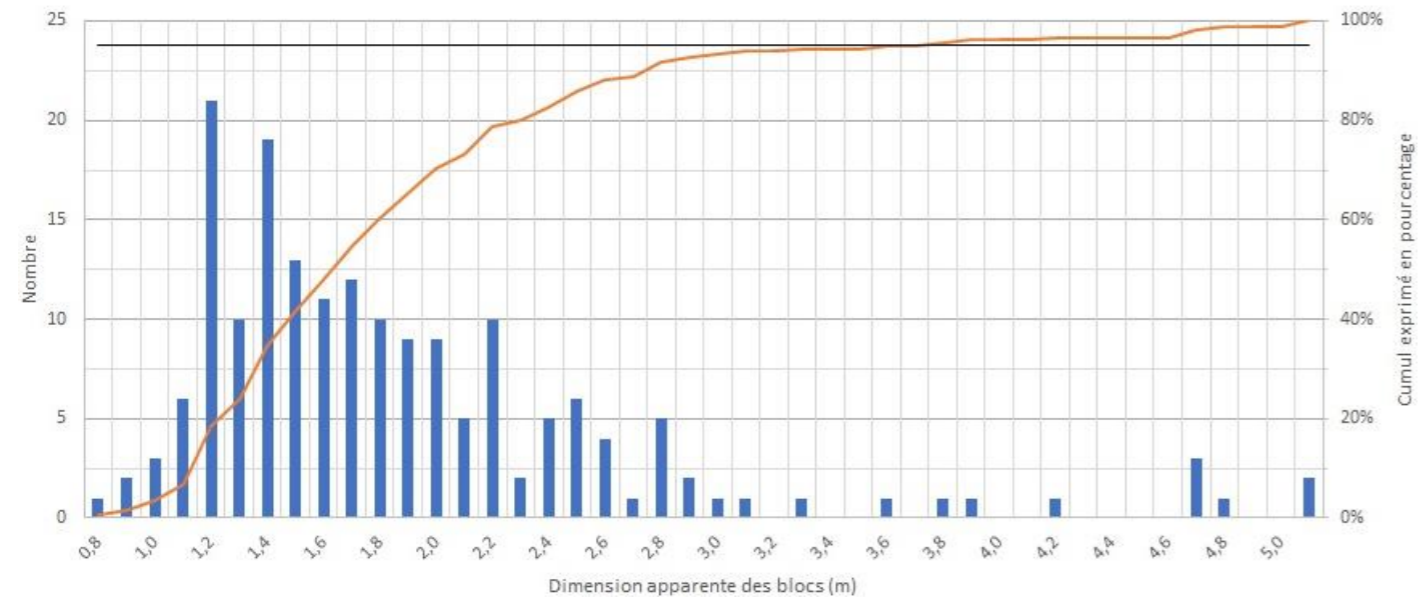


Illustration 69 I risultati di questa analisi sono presentati di seguito.

**Distribuzione dei 179 blocchi misurati tra la nicchia di sfondamento e la confluenza con la vallon di Taborda**  
**Si noti che il 90% dei blocchi misurati ha una dimensione apparente inferiore a 2,8 m, che il 95% dei blocchi misurati ha una dimensione inferiore a 3,8 m e che 7 blocchi misurati hanno una dimensione apparente superiore a 4,0 m.**

Il metodo di analisi presenta necessariamente degli errori sistematici ; da un lato nei confronti dello strumento di misura, dall'altro nei confronti del campionamento che è stato effettuato in modo abbastanza rapido e di dimensione apparente sapendo che alcuni dei blocchi sono interrati e quindi, quindi, invisibili. Si noti che dei 179 blocchi campionati, il 90% ha una dimensione apparente inferiore a 2,8 m e che solo 7 blocchi hanno una dimensione apparente maggiore di 4,0 m, che rappresenta meno del 4% dei blocchi campionati.

Le aree di campionamento dei blocchi misurati sono riportate

nell'illustration 70 di seguito.



Illustration 70 Presentazione dei settori del block sampling - Primi elementi di analisi

Più della metà dei blocchi campionati si trovano nell'ultimo settore tra gli stagni di decantazione e la confluenza con il vallon di Taborda.

Come controllo, durante la nostra visita sul campo il 17/03/2021, abbiamo misurato un blocco, blocco n. 17, per il quale avevamo valutato la dimensione apparente a 3,9 m. Nel sito, la misura ci ha dato 4 m di dimensione maggiore, a conferma (almeno in questo caso) della metodologia utilizzata. Questa verifica è presentata nell'illustration 71 di seguito.

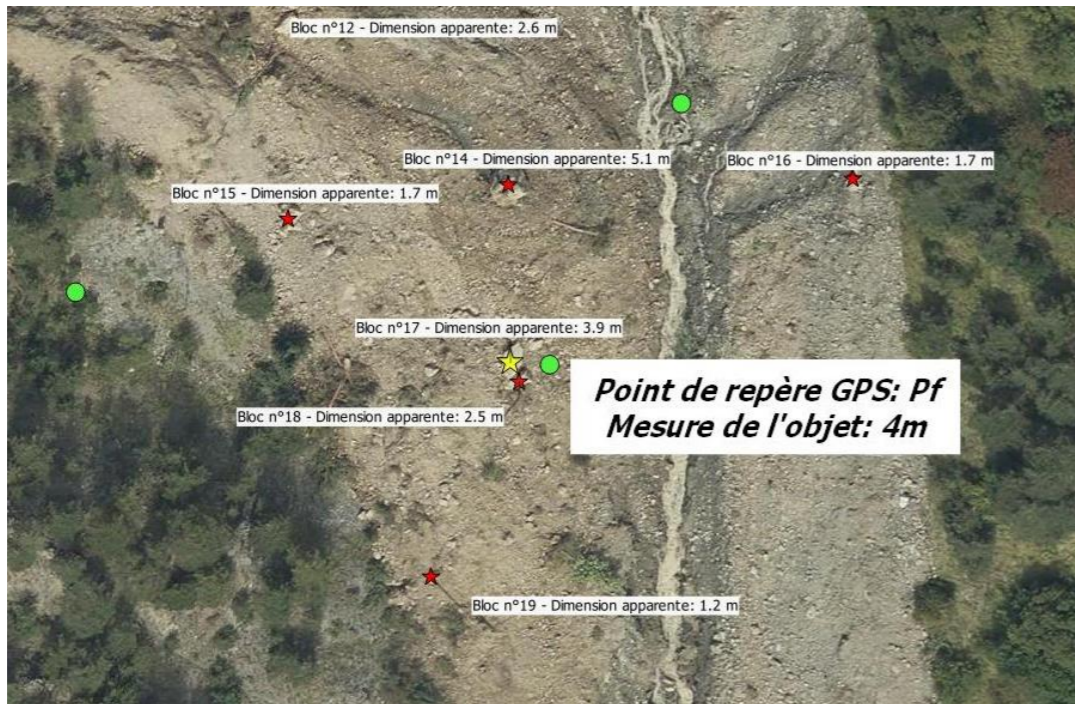


Illustration 71 Confronto tra la misura della dimensione apparente eseguita dall'ufficio sotto QGis e la misura "sul campo". Il valore stimato dal software GIS è assolutamente corretto per questo blocco.

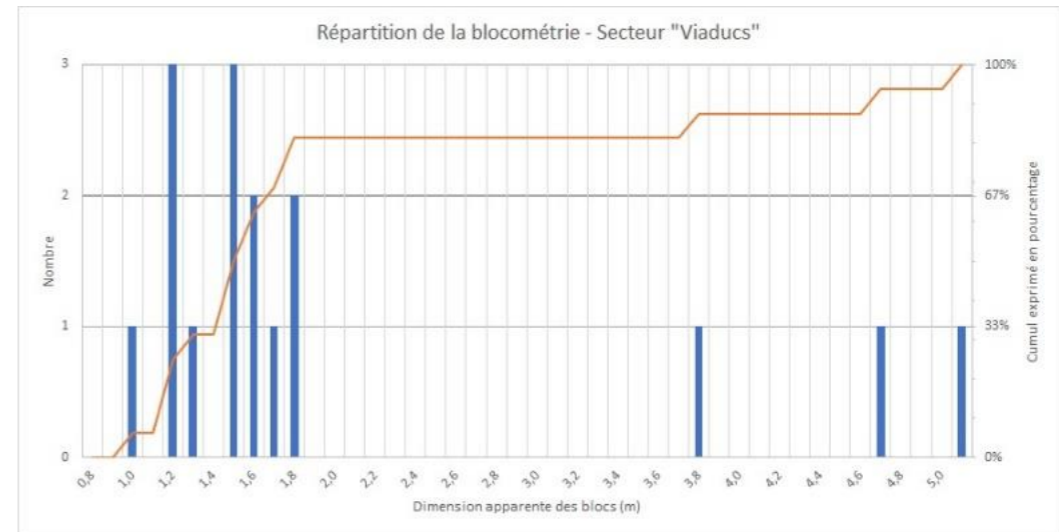


Illustration 72 Distribuzione dei blocchi misurata nel vallon del Ca fino alla sua confluenza con il Roia. La maggior parte dei blocchi misurati hanno una dimensione inferiore a 2,8 m.

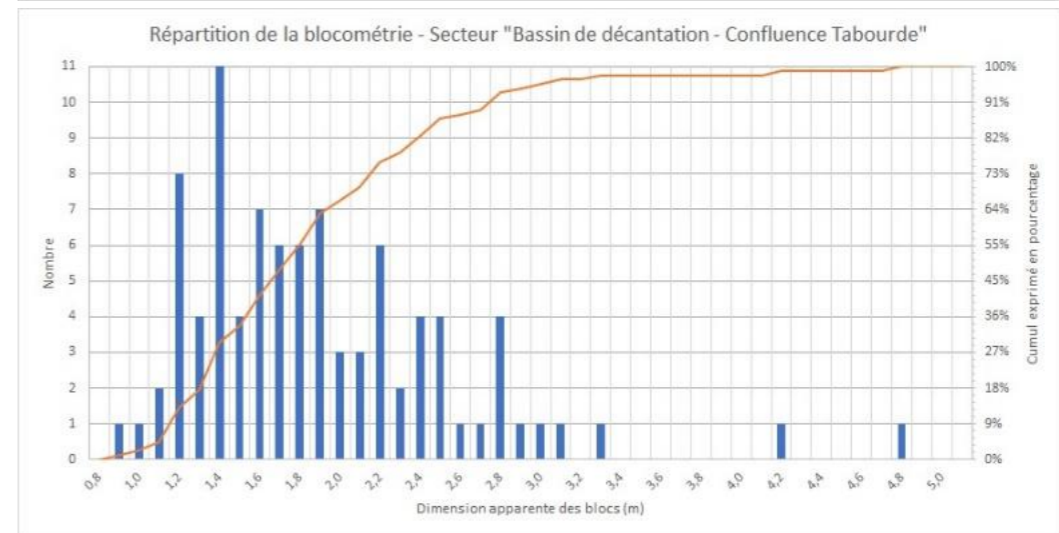
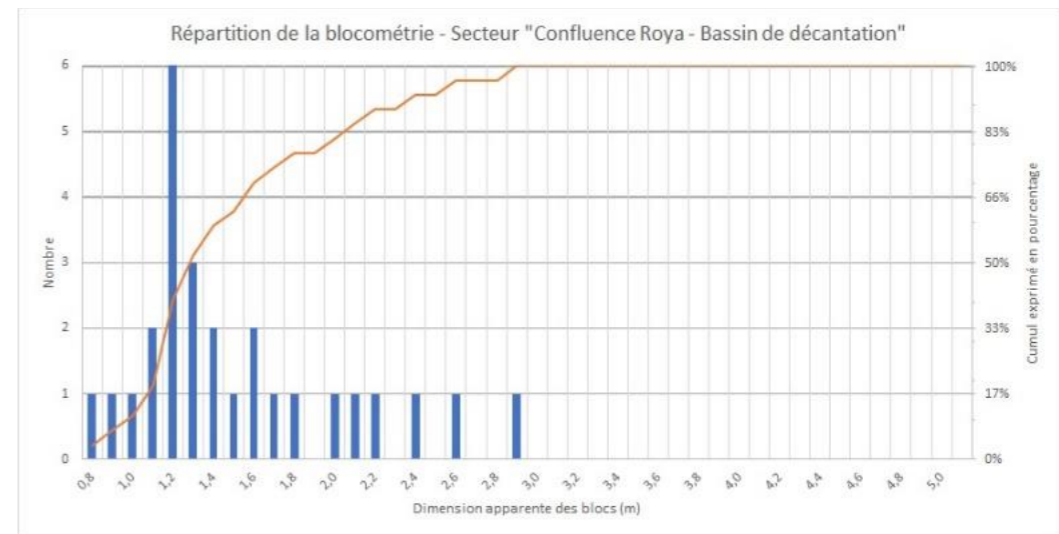
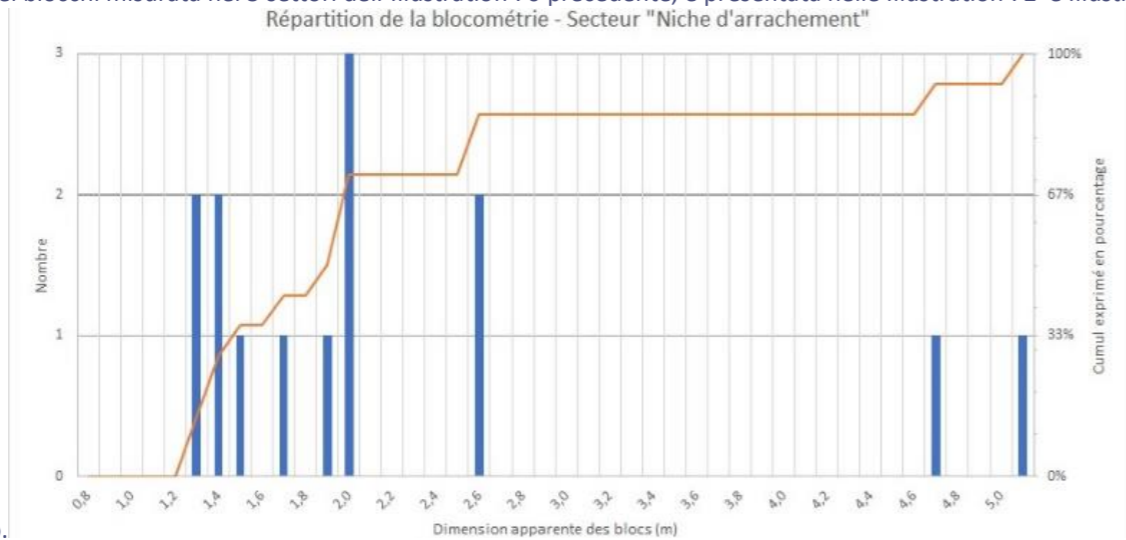


Illustration 73 Distribuzione dei blocchi misurati nel letto del Roia. Nel letto del Roia, nella zona di espansione franosa, sono stati osservati solo 2 blocchi di dimensione apparente superiore a 4,0 m.

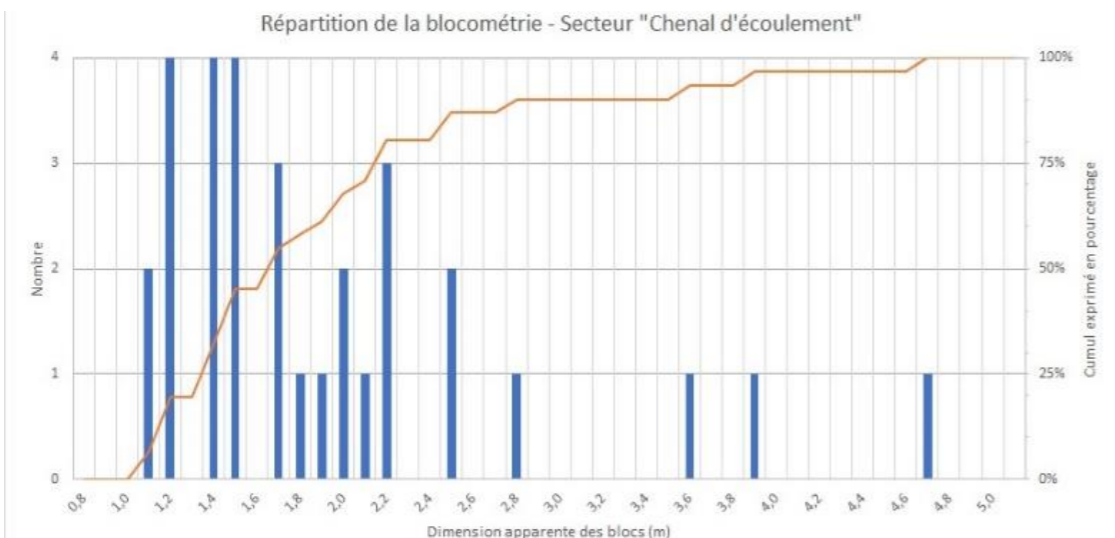
L'illustration 69 mostra che il 95% dei blocchi ha una dimensione inferiore a 3,8 m ; il tirante d'aria sotto la struttura deve essere di almeno 6,5 m (1,7 \* 3,8 m) per garantire il passaggio di 3 di questi blocchi.

Un altro approccio, poiché non è stato registrato alcun blocco con una dimensione apparente maggiore di 5,1 m sarebbe considerare questa dimensione come una dimensione di riferimento e applicare un fattore di sicurezza di 1,5 sulla dimensione per determinare il tirante d'aria. Questo approccio comporterebbe un tirante d'aria di 7,5 m a livello della struttura.

La distribuzione dei blocchi misurata nei 5 settori dell'illustration 70 precedente, è presentata nelle Illustration 72 e Illustration



73 di seguito.





a livello della struttura.

I valori di tirante d'aria sopra presentati sembrano molto sicuri nel senso che il fenomeno dell'ottobre 2020 aveva un volume globalmente pari al doppio del volume del fenomeno di riferimento (detriti o frane) e che nessun blocco più grande misurato a 5 m di dimensione apparente lo ha fatto non passare sotto la struttura del Ca. Manterremo comunque un tirante d'aria di circa 7,5 m. Questo tiraggio d'aria è approssimativamente quello del viadotto sul ruscello Ca, distrutto in ottobre 2020 (se si omette la piattaforma intubata che crea un ostacolo).

In conclusione, gli input geotecnici per il dimensionamento della / e struttura / i di attraversamento del vallon del Ca sono :

- Sezione idraulica minima per garantire: : 250 m<sup>2</sup>,
- Tirante d'aria minimo sotto la struttura : 7,5 m.

### 3.1.3 Monitoraggio e trattamento della frana di progetto

#### 3.1.3.1 Stabilizzazione delle frane

La frana nel vallon del Ca è già iniziata. Rimane un volume relativamente grande di materiali immagazzinati nella parte alta del vallon.

Due frane periferiche possono sorgere. Abbiamo osservato che il fenomeno scatenante della frana resta il carico dello strato di flysch alterati concomitante alla circolazione dell'acqua (a favore delle risorgive) a livello dell'interfaccia con le marne bluastre. Fintanto che queste condizioni sono soddisfatte, il verificarsi di una frana, in questi due settori che ci sembrano i più esposti, è sempre possibile.

Per stabilizzare tali frane, di particolare difficoltà di accesso, vengono proposte due soluzioni classiche:

- Il drenaggio della potenziale frana, al fine di evacuare l'acqua, principale forza motrice dello sviluppo di una frana,
- Rafforzare meccanicamente la frana.

Il drenaggio della frana sembra particolarmente difficile da attuare, da un lato perché la circolazione del acqua avvenga, durante il carico del pendio, all'interfaccia tra il flysch esposto alle intemperie e le marne bluastre, cioè fino a " ad una profondità di dieci metri, invece perché l'acqua estratta (fatta salva la possibilità di farlo) non potrebbe essere estratta dalla valle del Ca (topografia sfavorevole) ma dovrebbe essere immessa di nuovo a livello del Ca.

Per quanto riguarda il rinforzo meccanico delle frane. Soluzioni di rinforzo con elementi ad alta inerzia, del tipo a palo o sbarra, non sembrano adeguate, sia per le difficoltà di accesso e di realizzazione (pendenza molto ripida, ecc.) Sia per i mezzi finanziari da dispiegare (soggetti a fattibilità) con per quanto riguarda la capacità di affrontare il problema mediante mitigazione, sia a livello del vallon, sia a livello delle strutture di attraversamento di Ca, oppure combinando le due.

Non è ragionevole, per i vincoli sopra elencati, considerare un rinforzo meccanico delle frane sovrastanti.

Queste raccomandazioni si applicano anche ai materiali immagazzinati sul versante.

#### 3.1.3.2 Monitoraggio delle frane

Monitoraggio delle frane

La frana di ottobre 2020 e la sua regressione osservata a dicembre 2020 iniziano a essere meglio comprese, ma permangono ancora grosse incertezze sui fenomeni verificatisi all'inizio di ottobre, ed in particolare sulla loro sequenza cronologica. Mancano ancora molti elementi fattuali sulla caratterizzazione della frana avvenuta nel vallon del Ca (natura dei materiali, caratteristiche di taglio dei materiali, piezometria, movimenti).

Le potenziali frane (nord e ovest) presentano una suscettibilità a smottamenti, anche la frana mostra segni di decompressione. Sarebbero inoltre necessari elementi fattuali per caratterizzarli.

Si ricorda che prima di considerare soluzioni di rinforzo (che appaiono di difficile attuazione) o soluzioni di mitigazione, la precisa caratterizzazione di queste potenziali frane è un prerequisito essenziale.

L'ANAS ha proposto un piano di monitoraggio per la valle del Ca che consente di valutare lo spostamento dei target impiantati in questo versante. Ciò sembra un buon punto di partenza.

Tuttavia, queste informazioni dovrebbero essere integrate da informazioni di natura geotecnica in grado di valutare le potenziali masse in movimento nonché le caratteristiche meccaniche dei materiali in questi settori.

Al fine di valutare lo spessore di materiali potenzialmente spostabili, si propone che la campagna di misure geofisiche (rifrazione sismica e tomografia elettrica) proposta dall'ANAS sia chiaramente integrata da misure geofisiche più numerose e consentendo l'accesso ad una profondità di indagine più importante. Ad esempio, le tomografie elettriche offerte dall'ANAS consentono, al massimo, di raggiungere profondità dell'ordine di 10 a 12 m; offriamo dispositivi che teoricamente consentono profondità di indagine fino a 45 e 50 m.

Al fine di evidenziare i movimenti più profondi, si propone di completare la campagna di rilievo geotecnico proposta dall'ANAS effettuando rilievi per rilievi e monitoraggi geotecnici nella valle stessa. Si propone quindi di realizzare due sondaggi di carotaggio dotati di inclinometri sull'asse della frana di ottobre 2020. Questo profilo sarà completato da un pozzo distruttivo dotato di piezometro per seguire la variazione del livello piezometrico del sito.

Nella frana nord si propone di realizzare un sondaggio carotaggio dotato di inclinometro.

In corrispondenza della frana di ponente si propone di realizzare un pozzo carotaggio profondo 30 m dotato di inclinometro e di un pozzo distruttivo dotato di piezometro.

L'insieme delle ricognizioni è presentato nell'illustration 74 di seguito.

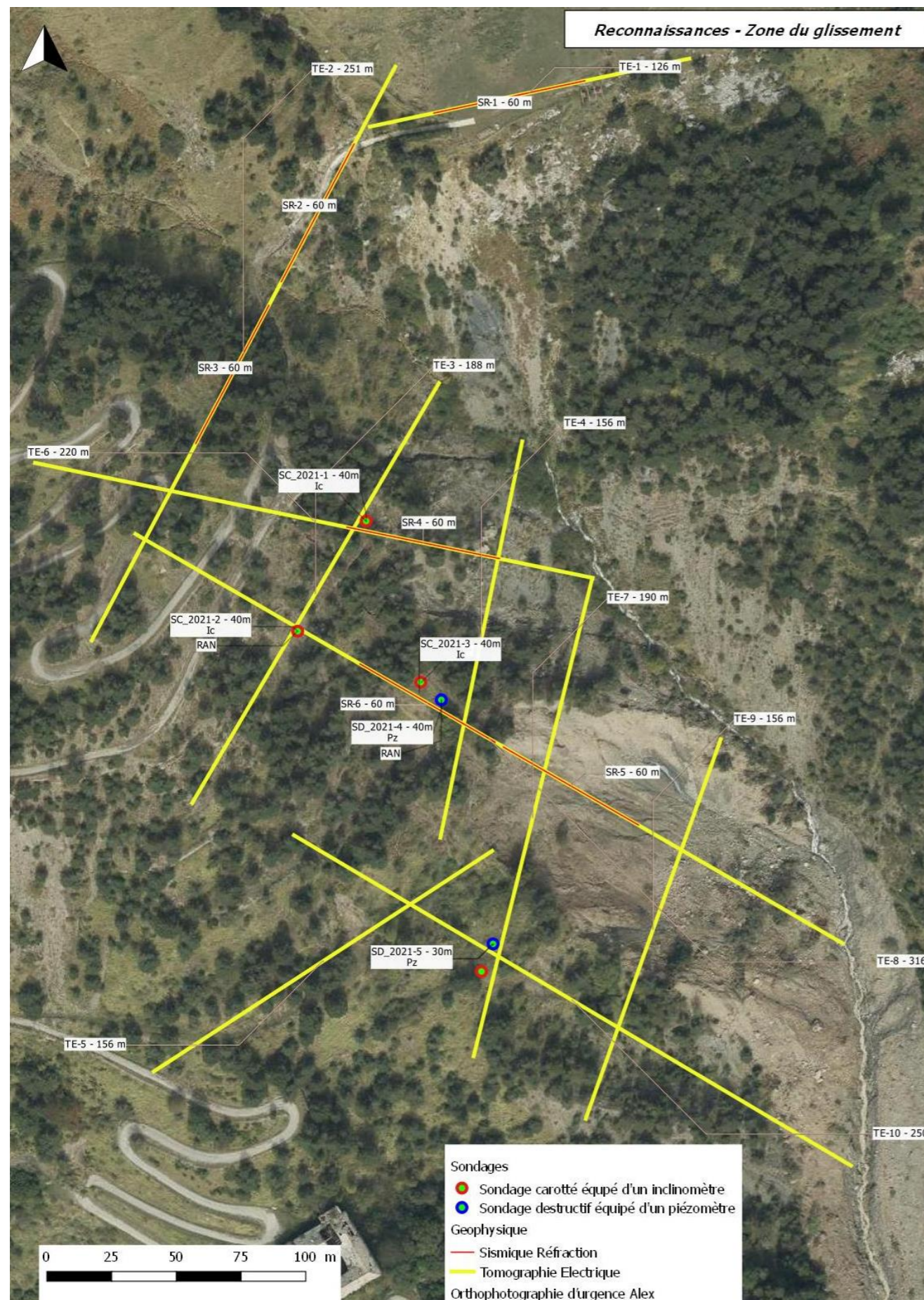


Illustration 74 Ricognizioni geofisiche e geotecniche proposte

Proponiamo una griglia della frana dell'ottobre 2020 e delle potenziali frane al fine di valutare gli spessori dei materiali potenzialmente spostabili. Si propone la realizzazione di 4 inclinometri e 2 piezometri per caratterizzare il livello piezometrico e = gli spostamenti a livello delle frane. Un inclinometro non è sottotitolato, è l'inclinometro situato in basso al centro dell'illustrazione nella diapositiva ovest; è profonda 30 m e sarà dotata di inclinometro.

Ovviamente queste ricognizioni non sono di facile attuazione e possono rendersi necessari degli aggiustamenti al luogo sul terreno, sono comunque essenziali per una buona comprensione del potenziale fenomeno franoso che può verificarsi in questo vallon.

Date le condizioni di accesso, i rilievi geofisici devono essere eseguiti da tecnici di accesso su fune.

Le ricognizioni geofisiche possono essere svolte prima per decidere, sulla base dei risultati di tali indagini, la rilevanza delle indagini geotecniche proposte e il loro possibile adattamento.

### 3.1.3.3 Tenendo conto di frane e colate detritiche nel progetto per ristabilire l'attraversamento della Ca

In questa fase possiamo solo proporre una soluzione di mitigazione per tener conto di frane e detriti lavici a livello di progetto per ripristinare l'accesso alle gallerie del valico di Tende, queste soluzioni devono essere attuate, no. Non a livello del frane stesse, ma a livello del / i viadotto / i e della valle del Ca.

Le diverse opzioni da considerare sono:

- Effettuare uno o due incroci senza una pila intermedia,
- Protezione dei monconi a livello della / e struttura / e (riprap, gabbie, ecc.),
- Trattamento anti-erosione delle spalle delle strutture,
- Eventuale riprofilatura del letto Ca a livello della / e struttura / e per consentire il transito dei materiali garantendo una sezione idraulica minima (\*),
- Trattamento degli argini della valle del Ca a livello del / i viadotto / i mediante indurimento o rammollimento,
- Realizzazione di sbarramenti o opere contro colate detritiche nel letto Ca,.

## 4 PRECEDENTI STUDI DI OPERE D'ARTE

### 4.1 Cenni generali

La nostra ricerca d'archivio mostra che negli ultimi anni sono stati effettuati numerosi studi ingegneristici nell'area di accesso ai tunnel di Tenda.

Questi studi erano relativi in particolare alla struttura a monte che ha raddoppiato la struttura storica in muratura e sono presentati nelle sezioni seguenti.

### 4.2 2004 Studio di fattibilità CETE Mediterraneo

Lo studio CETE Méditerranée del dicembre 2004 dal titolo "Nuovo tunnel del Col de Tende Lavori di accesso alla testata del tunnel lato francese - Studio di fattibilità".

La struttura progettata per attraversare la Ca ha le seguenti planimetrie:

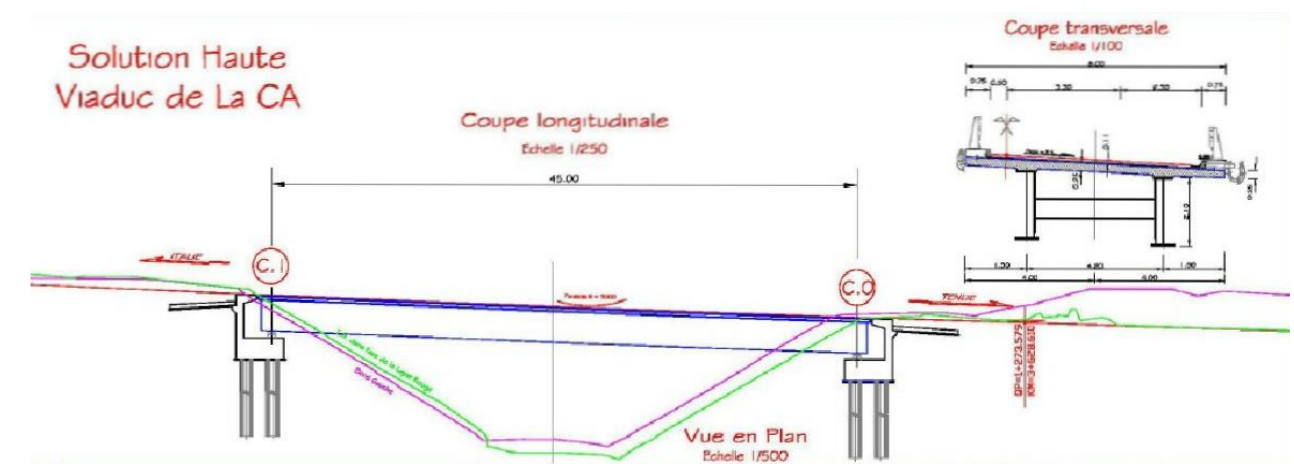


Illustration 75 Planimetria della struttura che attraversa il Ca dello studio CETE Méditerranée del dicembre 2004

Si segnala che in relazione alle valanghe di neve questo studio si basa sugli studi CEMAGREF del 1996 e 1997 ma indica comunque che uno studio più approfondito di CEMAGREF dovrà specificare gli sforzi da tenere in considerazione per la progettazione del corsia I lavori, nonché le disposizioni costruttive o anche le disposizioni di protezione degli utenti e i sistemi operativi stradali da attuare.

### 4.3 EPOA del Sétra del 2006

Lo studio EPOA del Sétra "Nuovo tunnel del Colle di Tenda - Opere per l'accesso alla testata del tunnel sul versante francese - STUDIO PRELIMINARE OPERE D'ARTE" di marzo 2006

Le opere immaginate per attraversare la Ca a conclusione di questo studio sono:

- struttura a campata unica con cassone di cemento armato precompresso,
- opera a una campata a trave mista
- struttura a una campata con cassone misto,
- struttura a tre campate PSIDA
- struttura a tre campate PRAD

Per quanto riguarda l'idraulica, questo studio si basa sullo studio dell'Ufficio studi Mountain Land Restoration (RTM) dal titolo "Studio idraulico delle valli di Ca e Cannelle Commune de Tende" del novembre 2005.

Per quanto riguarda le valanghe, questo studio si basa su studi del 2006 di Cemagref che indicano in particolare uno sforzo valanghe da tenere in considerazione di 28 tonnellate per metro quadrato.

### 4.4 Studio AVP Sétra del 2008

Lo studio AVP del Sétra di aprile 2008 - intitolato "NOUVEAU TUNNEL DU COL DE TENDE"

Le piante della struttura che attraversano il Ca in questo studio sono le seguenti:

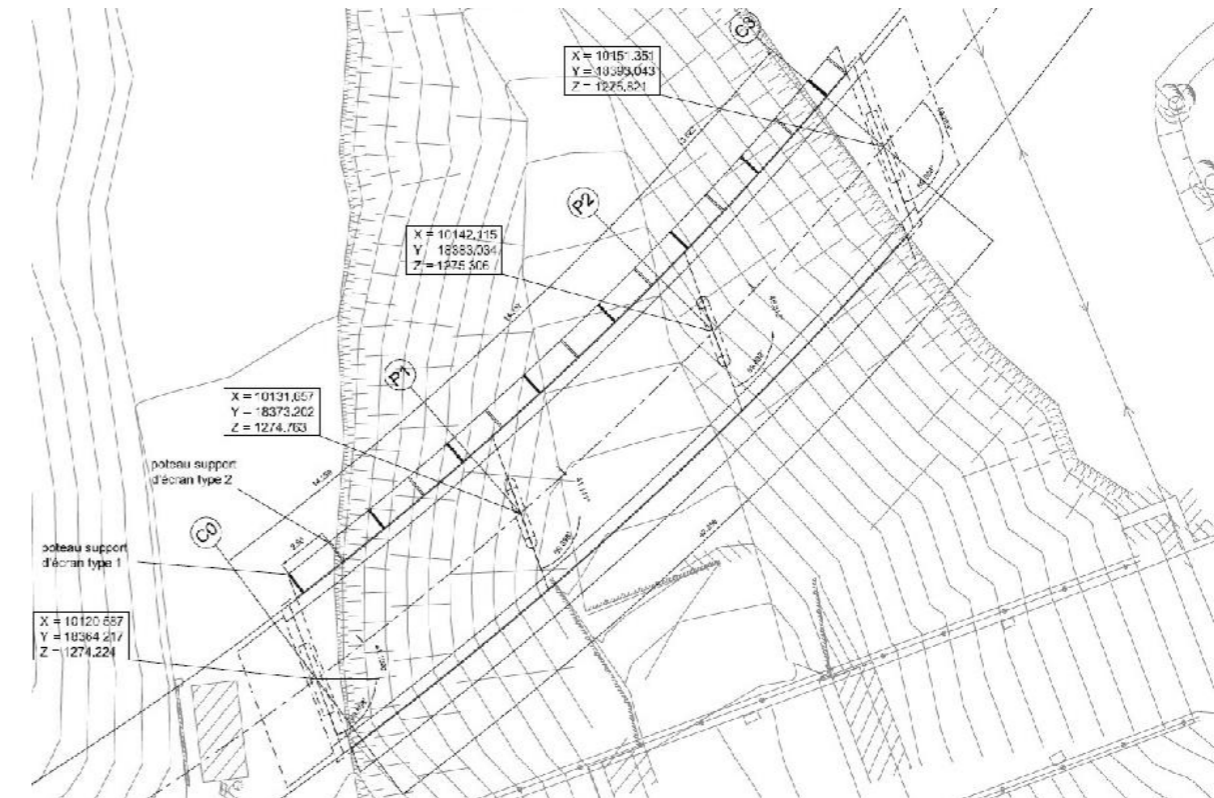


Illustration 77 Vista in pianta dell'opera che attraversa il Ca de AVP du Sétra nell'aprile 2008

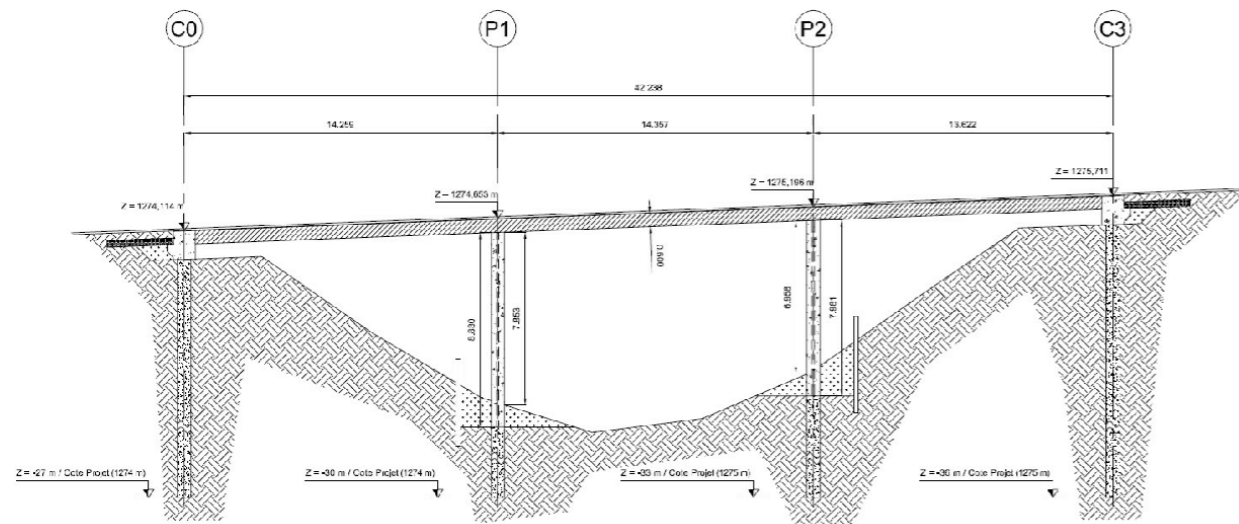


Illustration 76 Elevazione della struttura che attraversa il Ca de AVP du Sétra nell'aprile 2008

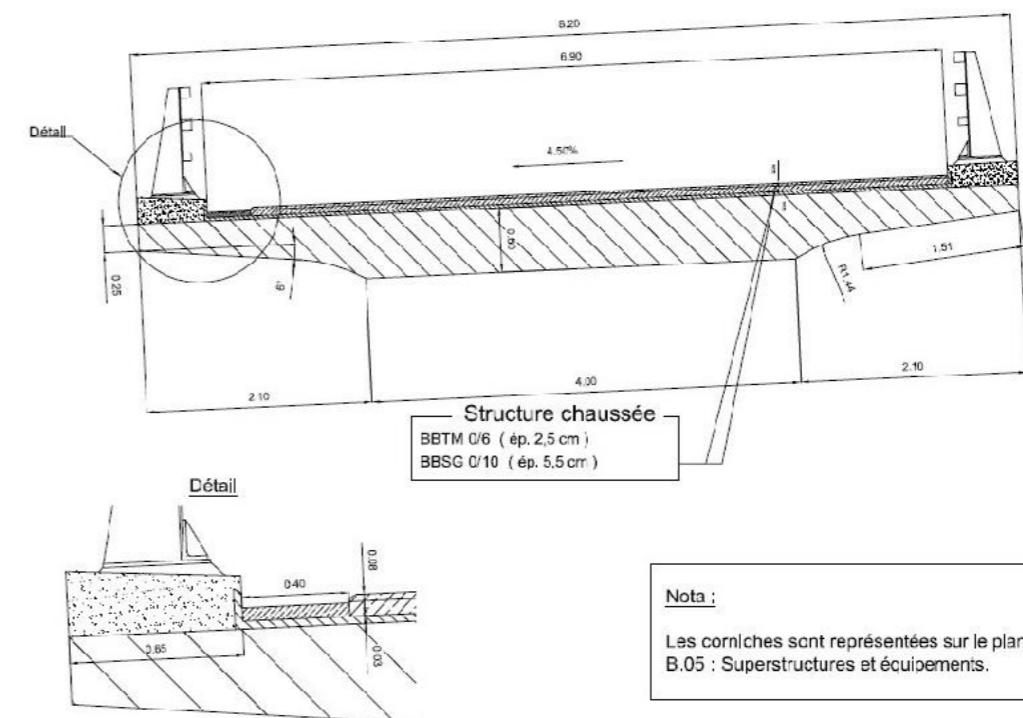


Illustration 78 Sezione trasversale della struttura che attraversa il Ca de AVP du Sétra nell'aprile 2008

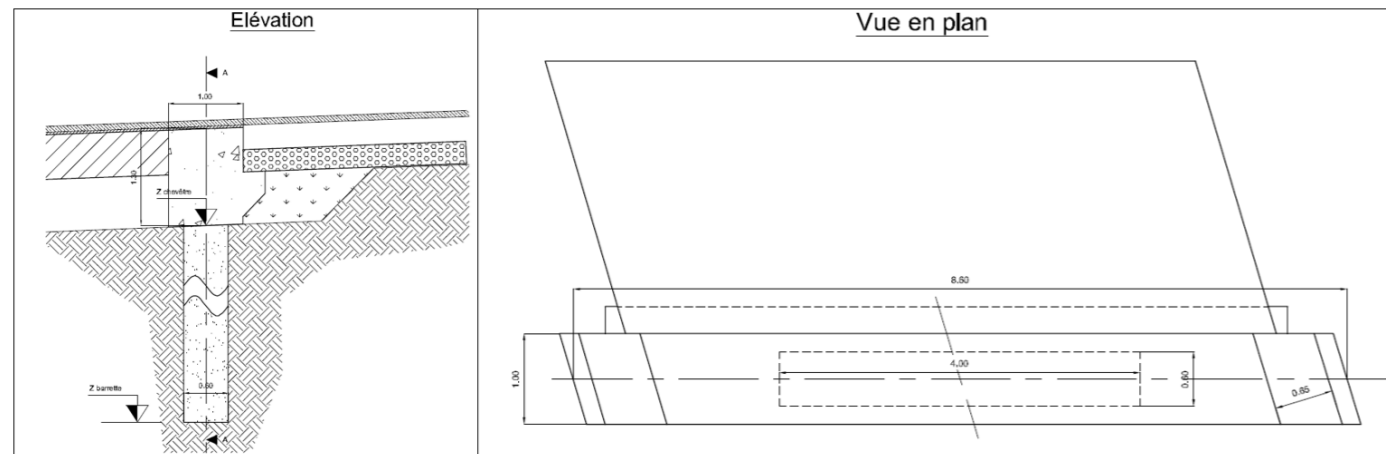


Illustration 79 Piani dei monconi del lavoro che attraversa il Ca dell'AVP du Sétra nell'aprile 2008

La struttura è una struttura in cemento a tre campate, annegata sui pilastri e sulle spalle. Il progetto è direttamente dettato dallo sforzo di recupero in caso di valanga di 28 tonnellate per metro quadrato, ponderato a 1,3 a SLU per tenere conto del fatto che il periodo di rientro in valanga è di 100 anni. Il grembiule di questa soluzione è il più sottile possibile, per presentare la più piccola superficie di contatto valanga possibile al fine di ridurre al minimo la forza complessiva della valanga sulla struttura. Il fatto di essere annegati su pilastri e monconi consente di distribuire al meglio questo sforzo complessivo tra i 4 supporti. Le botti di pali e sbarre (circa 30 m) sono disposte parallelamente alla valanga (con il lato piccolo di questi elementi rivolto verso la valanga), sempre con lo scopo di presentare la piccola superficie di contatto con la valanga, con la grande inerzia di questi elementi.

#### 4.5 Studio di esecuzione dei lavori svolti da ANAS

Nel documento ANAS "Relazione a struttura ultimata - Opera: Viadotto del Ca da marzo 2019, sembra che abbiamo un piano di esecuzione per il recente lavoro che è stato vinto:

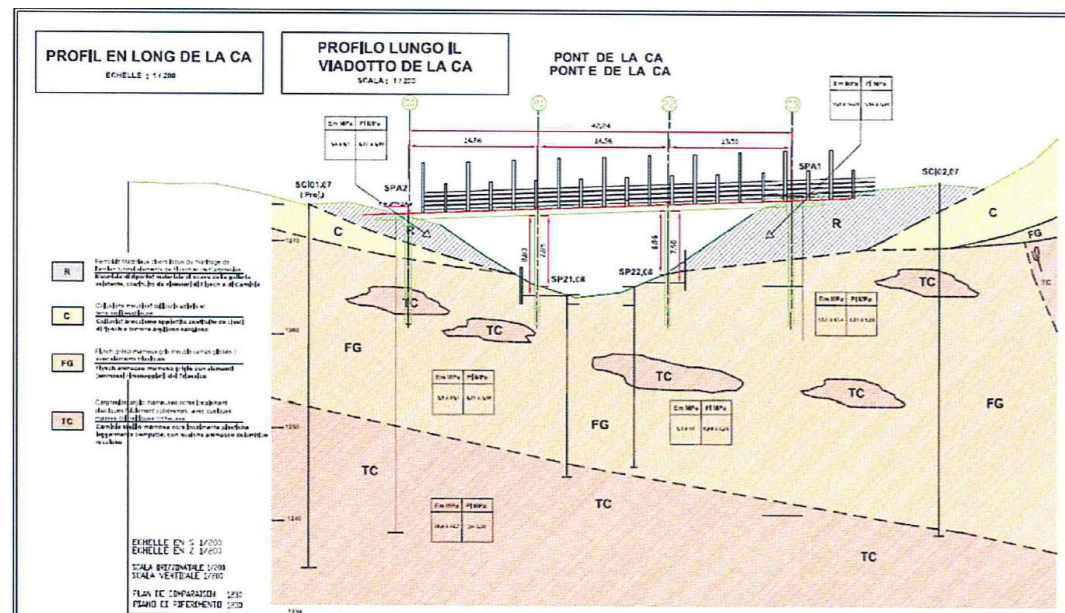


Illustration 80 Piano a priori per l'esecuzione dell'opera Ca - ANAS - marzo 2019

La pianta mostra una struttura a priori simile alla struttura AVP Sétra del 2008, vale a dire una struttura con tre campate a priori incorporate sui pilastri e sulle spalle.

### 5 VINCOLI E DATI DI SITO PER NUOVE OPERE

#### 5.1 Presentazione del sito

Il sito si trova nella città di Tende nel dipartimento delle Alpi Marittime, nella regione Provenza-Alpi-Costa Azzurra, a circa 80 km a nord-est di Nizza come mostrato nella mappa sottostante.

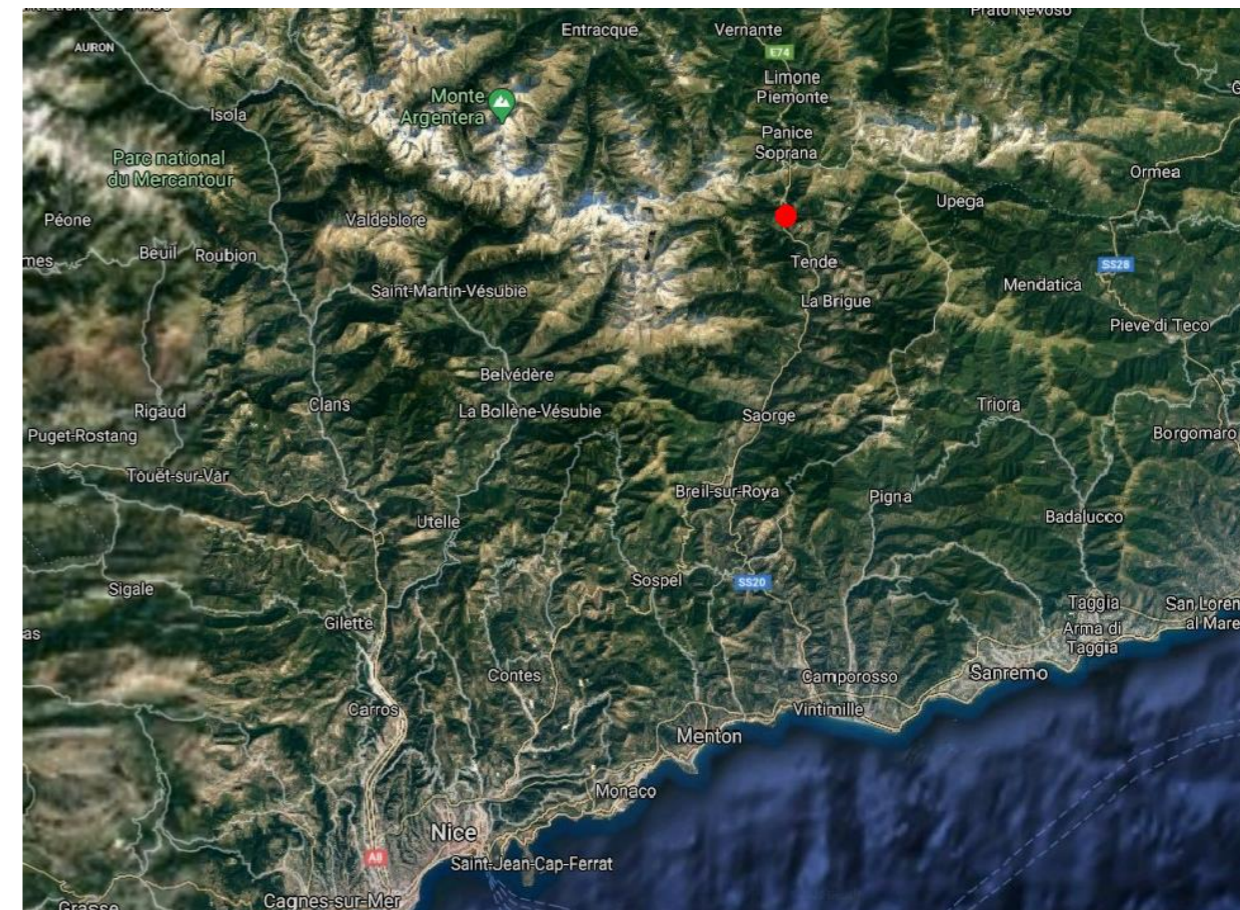


Illustration 81 Ubicazione del sito

Il sito è un sito di montagna (Alpi meridionali), a cui si accede dalla Francia tramite una piccola strada di montagna tortuosa di 2x1 corsie (vedi mappa sotto).

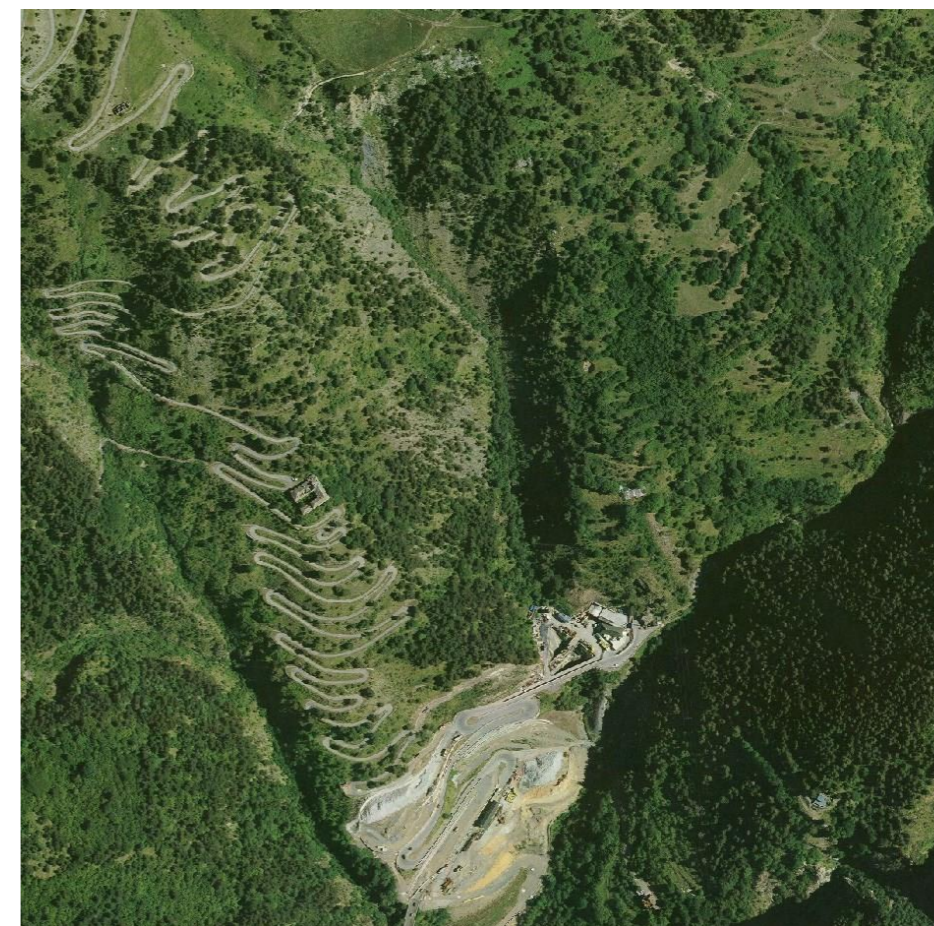


Illustration 82 Accesso al tunnel del Colle di Tenda e versante a monte – Ortofotografia del 2017 (IGN©)

Le fotografie seguenti mostrano il sito prima del crollo della piattaforma, dopo il crollo della piattaforma ma prima del crollo delle due strutture e dopo il crollo delle due strutture.



Illustration 83 Fotografie del sito prima della tempesta Alex



Illustration 84 Fotografia del sito dopo il crollo della piattaforma ma prima del crollo delle due strutture — 03/10/2020



Illustration 85 Fotografia del sito dopo il crollo delle due strutture - 10/09/2020

Queste mappe e fotografie illustrano due elementi importanti per la costruzione di nuove strutture:

- La costruzione di una grande piattaforma per iniziare un piano stradale o per installare una grande gru risulta difficile;
- Il trasporto di elementi troppo pesanti o troppo ingombranti per la costruzione di strutture è molto delicato, se non impossibile. È quindi necessario trovare soluzioni per strutture di ingegneria civile che consentano la consegna di diversi elementi di dimensioni relativamente modeste che possono essere assemblati in loco.

## 5.2 Topografia del terreno naturale

Per questo studio, abbiamo utilizzato la topografia post-tempesta del documento italiano "Rilievo post evento alluvionale CURVE DI LIVELLO PASSO 2m + P. QUOTATO". Questo è in coordinate georeferenziate riconosciute (sistema di proiezione UTM 32 del WGS84). Abbiamo quindi riproiettato questa topografia in un sistema francese convenzionale e ufficiale: il sistema di proiezione Lambert 93 dell'RGF93.

Tuttavia, la riproiezione riguarda solo le coordinate X e Y e abbiamo osservato una differenza in Z di 52 m rispetto ad altri dati ottenuti altrove. La topografia italiana sembra quindi essere 52 m sopra l'area interessata. Ciò può essere probabilmente spiegato da un sistema altimetrico diverso dal sistema francese (che è l'NGF-IGN69), che non conosciamo.

Inoltre, ANAS ha chiesto al geometra di riprogettare questa topografia in un sistema che sembra essere locale e non convenzionale. Il topografo ha fornito una topografia dell'area opposta 3D (triangolazione) in questo sistema locale, un sistema impossibile per noi riprogettare in Lambert 93.

Abbiamo rivolto queste osservazioni al DREAL, accompagnandole con alcune domande per meglio comprendere la topografia trasmessa dagli ingegneri italiani. Tuttavia, non abbiamo ancora ottenuto risposte, il che ci ha portato a formulare ipotesi che dovranno essere verificate in una fase successiva dello studio.

L'analisi dei rilievi mostra una topografia relativamente caotica a livello delle due strutture portate via (si vedano le varie planimetrie delle strutture fornite nelle parti successive di questo studio).

## 5.3 Ostacolo da superare: ruscello Ca

L'ostacolo da superare per ripristinare la viabilità è il vallone del Ca che si trova nella parte alta del bacino del fiume Roia. Il bacino idrografico di questo torrente ha una superficie di 0,7 km<sup>2</sup>. Il suo profilo longitudinale presenta nella sua parte superiore pendenze molto ripide (> 40%), ripide appena a monte di ponti distrutti (dell'ordine del 15-20%) e poi ancora molto ripide a valle di ponti distrutti. Questo bacino idrografico drena le acque del versante sotto i crinali di confine e le sue piccole direttrici idrografiche si incontrano a monte della strada statale.

## 5.4 Apertura idraulica

I dati idraulici disponibili per questo studio provengono dallo studio RTM rinvenuto negli archivi dal titolo "Studio idraulico delle valli di Ca e Cannelle Commune de Tende" del novembre 2005.

Questo studio è stato realizzato dopo quello di fattibilità del CETE Méditerranée del 2004.

L'obiettivo di questo studio è stato quello di specificare le caratteristiche idrologiche e in particolare di definire le varie piene Q10, Q20, Q50 e Q100.

Questo studio menziona due tipi di flusso: flusso solido e flusso liquido.

Questo studio, condotto con una topografia Ca che è stata notevolmente modificata dalla sua data di completamento, evidenzia:

- una superficie idraulica da garantire per l'"alluvione del secolo" di circa 17 m<sup>2</sup>
- riprap da effettuare sulle sponde del Ca per proteggersi da eventuali raschiature, per limitare il rischio di affondamento del letto ed anche per salvaguardare i trabocchi alla sommità della piattaforma, soprattutto in caso di colata detritica.

Data l'età di questo studio, e tenendo conto del fatto che il presente studio presuppone un rimodellamento del terreno naturale sotto la / e struttura / e (vedi capitolo 7), sarà necessario pianificare un nuovo studio idraulico prima delle fasi successive di studi per determinare l'influenza dell'alluvione centenaria nonché eventuali miglioramenti da apportare per garantire la trasparenza idraulica dell'attraversamento.

## 5.5 Sensibilità ambientale

Negli archivi, abbiamo trovato una diagnosi ambientale dell'area nel dicembre 2004 effettuata dal gruppo SEGC Foncier / SETEF / H. Gomila / G. Martinod. Questo studio costituisce l'Allegato 1.5. del Bando di Progetto preliminare relativo alla realizzazione della nuova galleria per l'attraversamento del valico di Tenda "Analisi degli aspetti ambientali dell'area di studio".

Questo studio fornisce alcuni elementi per la realizzazione di nuove strutture, ma data la sua età e il fatto che si rivolge più alla galleria che alle strutture, non è sufficiente. Dovrebbe essere previsto uno studio ambientale dell'area per la ricostruzione delle strutture di genio civile, con il particolare obiettivo di determinare se sia possibile dal punto di vista ambientale realizzare un arco temporaneo nella valle del fiume. dei lavori futuri.

## 5.6 Valanghe

Il vallon del Ca è un corridoio di valanghe. Sono già stati effettuati diversi studi Cemagref per determinare i due dati necessari alla progettazione di una struttura ingegneristica: l'altezza delle valanghe e le forze generate sulla struttura. Lo studio più recente e completo a nostra disposizione è quello del Cemagref di febbraio 2008 intitolato "Projet de viaduc de la Ca – Pressions développées par les avalanches".

I dati iniziali riguardanti la valanga dell'AVP Sétra del 2008 sono stati estratti da questo studio. Si segnala inoltre che lo studio Cemagref è stato condotto a livello della struttura AVP Sétra, con la topografia del suolo del 2008, topografia oggi diversa in particolare a causa della frana seguita alla tempesta Alex.

Per la struttura dell'AVP Sétra del 2008, lo studio Cemagref propone le seguenti curve di altezza e pressione di valanghe:

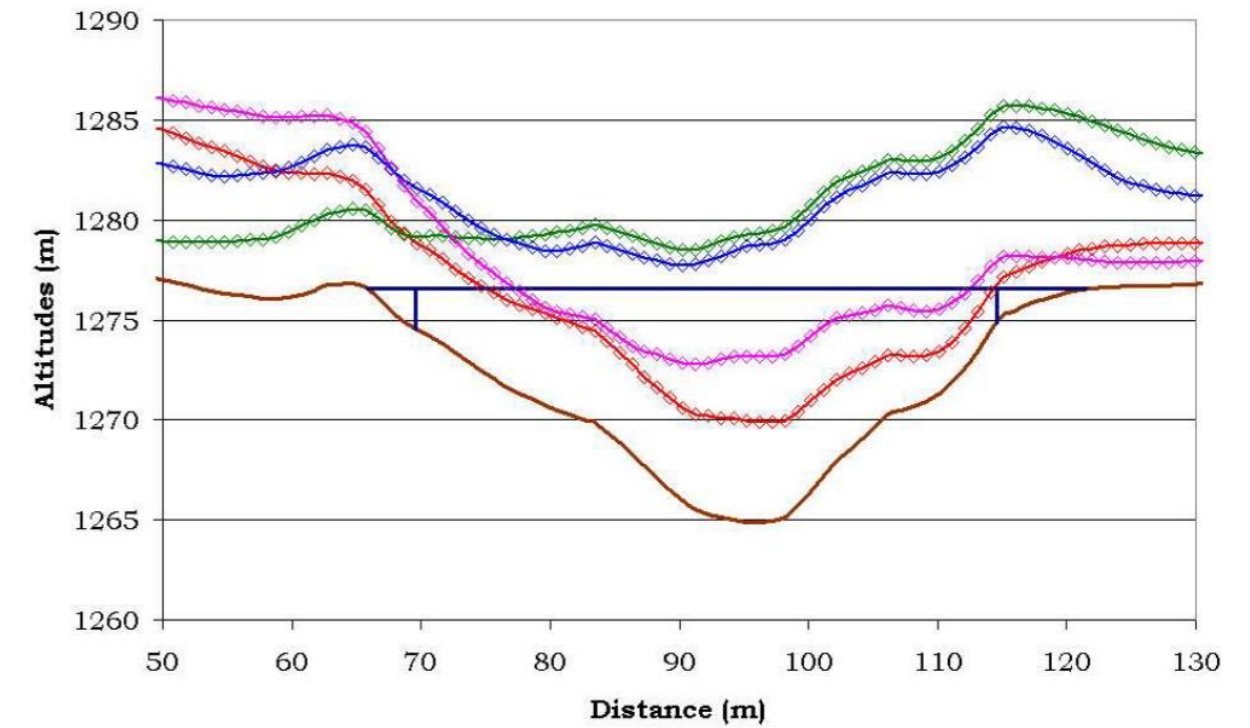


Illustration 86 Altitudine e altezza delle valanghe secondo lo studio Cemagref del 2008 a livello della struttura AVP Sétra del 2008

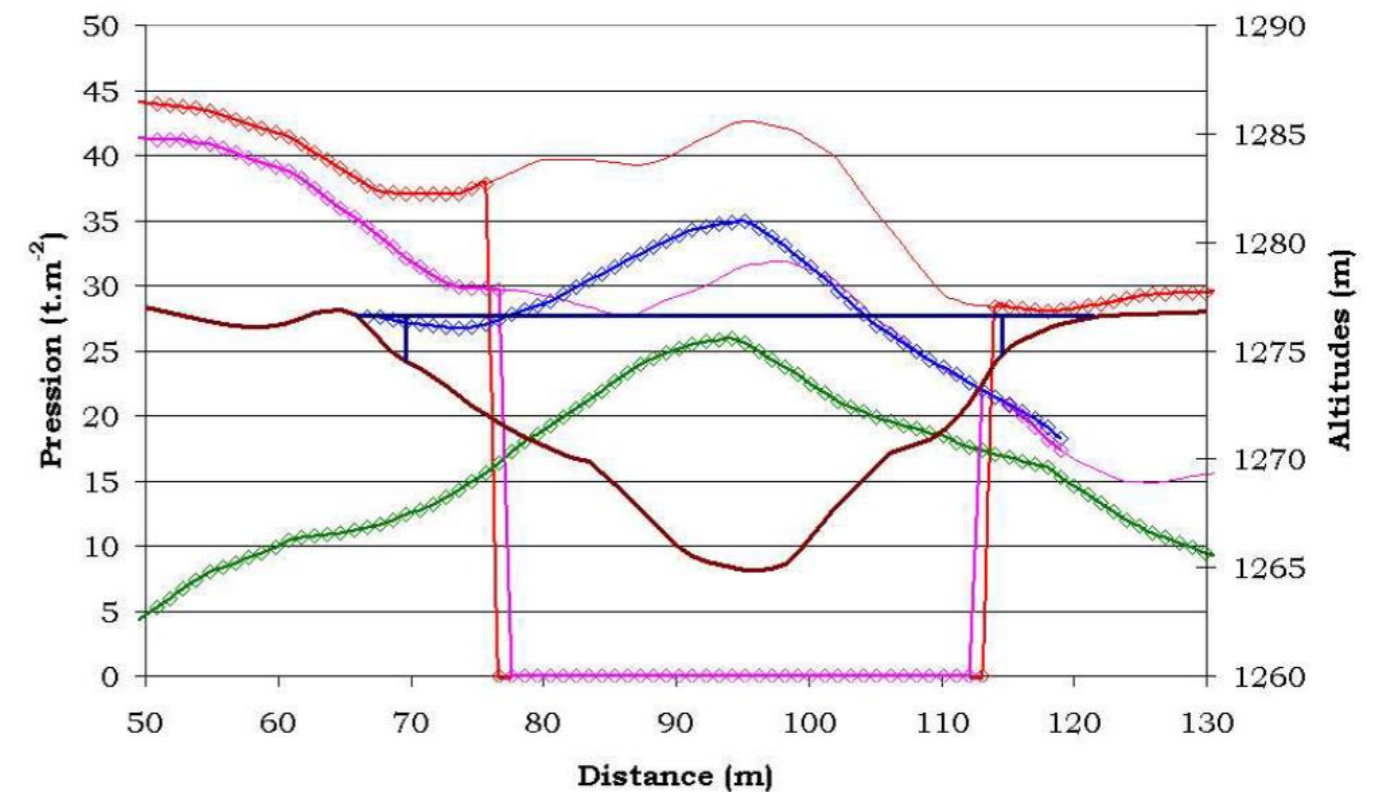


Illustration 87 Pressione delle valanghe secondo lo studio Cemagref del 2008 a livello della struttura AVP Sétra del 2008

In questi grafici sono rappresentate 4 diverse valanghe (verde, blu, rossa, magenta) e il terreno naturale a livello della struttura dell'AVP Sétra (marrone).

A seguito dello studio di questi 4 scenari di valanga, l'AVP Sétra ha ritenuto soltanto la valanga in verde perché è quella con la quota più alta pur avendo una pressione abbastanza forte a metà campata della struttura (28 tonnellate per metro quadrato).

Per il presente studio di fattibilità, questi dati riguardanti le valanghe sono stati ripetuti approssimativamente a livello delle nuove strutture studiate, il che consente di determinare pressapoco l'altezza della struttura colpita dalla valanga e lo sforzo di valanga (vedi piani 1\_8 e 2\_8 allegati a questo rapporto).

La relazione di questi dati può essere solo approssimativa perché i dati topografici sono cambiati in modo significativo tra il 2008 e il 2021 e le posizioni delle strutture non sono le stesse tra lo studio del 2008 e il presente studio. Inoltre, lo studio AVP del 2008 non tiene conto di un "effetto maschera" della valanga, la forza viene infatti applicata solo alla superficie vista della struttura. Tuttavia, è importante considerare che può esistere un effetto maschera, che può portare a forze maggiori di quelle generate dalla pressione esercitata sulla superficie vista della sola struttura.

Tenuto conto di questi diversi elementi, ai quali è possibile aggiungere che i fenomeni valanghivi del 2021 sono forse molto diversi da quelli del 2008, sarà necessario che nelle fasi successive degli studi sia disponibile un nuovo studio valanghivo incentrato sul nuovo struttura. .

Alcuni calcoli di pre-dimensionamento sono stati effettuati nell'ambito di questo studio. In relazione all'azione della valanga, sono stati ritenuti i seguenti principi :

- calcolo all'ULS fondamentale con ponderazione dell'azione valanga per 1,3 (periodo di ritorno di 100 anni)
- nella combinazione ELU di base con l'azione della valanga, i carichi di traffico frequenti sono ritenuti come azione di accompagnamento con una ponderazione di 1,35.

Da un punto di vista progettuale della struttura, come dettagliato nel capitolo 7, la ripresa delle forze dovute alla valanga è ottenuta in particolare mediante arresti laterali di dimensioni significative a livello delle spalle. È fornito anche un dispositivo anti-sollevamento per il piano stradale.

## 5.7 Possibile nuova frana / Possibile nuova lava torrenziale

Come specificato e dettagliato nel paragrafo 3.1.2.2 del presente rapporto, potrebbe eventualmente verificarsi uno smottamento di circa 38.000 m<sup>3</sup> o una lava torrenziale di circa 40.000 m<sup>3</sup>.

Il progetto della / e futura / e struttura / e dovrà quindi permettere ai materiali mobilitati durante questa possibile frana di passare sotto la struttura senza urtare l'impalcato o gli appoggi.

Come in parte indicato 3.1.2.2, ciò corrisponde alla distanza di un'apertura di almeno 250 mq e, come indicato nel paragrafo 3.1.2.3, ad un tirante d'aria di almeno 7 m a livello della parte centrale della struttura.

## 5.8 Sismicità

La struttura si trova nel comune di Tenda, nella zona di sismicità 4 (media) ai sensi del decreto n.2010-1255 del 22 ottobre 2010 che delimita le zone di sismicità sul territorio francese.

La zona sismica della struttura è relativamente ampia (4 su una scala da 1 a 5), il progetto della struttura deve quindi consentire di riprendere un'azione sismica relativamente ampia.

Inoltre, ai sensi del decreto del 26 ottobre 2011 relativo alla classificazione e alle regole di costruzione antisismica applicabili ai ponti nella categoria "rischio normale", si propone di classificare tale attraversamento nella categoria di importanza II. Questa proposta deve essere confermata dal cliente.

Come primo approccio, la classe di suolo da considerare sarebbe la classe B da confermare durante le fasi successive.

## 5.9 Temperatura

L'opera si trova nel dipartimento delle Alpi Marittime. Secondo l'Annesso Nazionale dell'Eurocodice 1-1-5, per la progettazione della struttura dovrebbe essere utilizzato quanto segue:

T<sub>max</sub> = + 40°C

T<sub>min</sub> = -15 °C

La temperatura originale T0 ritenuta è di +10°C.

Nel corso degli studi successivi si potrebbe effettuare un'analisi meteorologica per determinare se sia opportuno mantenere temperature T<sub>max</sub>, T<sub>min</sub> e T<sub>0</sub> inferiori a quelle sopra indicate, a causa dell'ubicazione delle strutture ad un'altitudine di circa 1.250 m.

## 5.10 Dati riguardanti al suolo

Il progetto è localizzato, dal punto di vista geomorfologico, nell'ambiente nativo, sotto l'unità “sub-briançonnaise” del Colle di Tenda, che è integrata nell'estremità orientale del confine del massiccio alpino dell'Argentera Mercantour.

Sulla sponda destra della valle Ca, il versante è costituito da un substrato flysch oligocenico, sormontato da una copertura sciolta di depositi colluviali e fluvio-glaciali.

Sulla sponda sinistra della valle, il versante è costituito da Trias (cargneuli, anidriti) con alto spessore di copertura o vecchi rilevati (in particolare i materiali derivanti dal decapaggio della perforazione della galleria storica).

Poche indagini sono state condotte a livello di progetto. Si segnala un rilievo effettuato per ogni moncone dell'ultima struttura realizzata sulla Ca (SPA1 & SPA2, profondità 35 m ciascuno) e un rilievo pressometrico (profondo 15 m nel 1990) a livello della spalla sinistra del viadotto storico. Inoltre, sono stati effettuati altri due sondaggi pressurometrici (SP21.08 e SP22.08, ciascuno fino a una profondità di 19 m a livello dei supporti intermedi dell'ultima struttura costruita.

In genere, si osserva quanto segue :

- uno strato superficiale di riempimento che presenta caratteristiche di un misuratore di pressione bassa. Questo strato è notevole sul lato Italia (15 m davanti alla SPA1) rispetto al lato Tenda (7 m a destra della SPA2),
- sotto gli argini, il flysch esposto alle intemperie, moderatamente compatto composto da arenaria e marna, poi,
- il substrato triassico (anidride) incontrato a 21 m di profondità davanti a SPA2 e che presenta caratteristiche di elevata pressione.

# 6 VINCOLI FUNZIONALI DELLE NUOVE OPERE

## 6.1 Natura del strada realizzata

La strada realizzata è la strada dipartimentale RD 6204 (ex RN 204) che collega Breil-sur-Roya al tunnel del Col de Tende nel dipartimento delle Alpi Marittime. È una strada a due corsie a doppio senso situata esclusivamente nel settore montano e di interesse locale e regionale in servizio per le valli di Roya (Francia) e Vermenagna (Italia).

Le attuali caratteristiche geometriche della RD 6204 sono simili a quelle definite dalla guida tecnica “Sviluppo delle strade principali” (ARP) di Sétra del 1994, categoria “strade in difficile rilievo”. Inoltre, nell'ambito del presente studio, si propone di mantenere questo standard ARP della categoria "terreno difficile" come riferimento progettuale per ristabilire l'accesso al Col de Tende. Questa categoria è consigliata quando la topografia presenta continue e significative difficoltà tali che il rispetto delle norme allegate ad altre categorie di strade comporterebbe costi sproporzionati.

Non esiste una velocità di riferimento associata alla categoria "terreni difficili". Sebbene la velocità regolamentare di 80 km / h sia applicabile alle strade a 2 corsie senza un separatore fisico, le velocità inferiori associate alle velocità convenzionali in curva dovrebbero essere utilizzate come velocità limite autorizzata in base alle principali caratteristiche geometriche del progetto (vale a dire 50 km / h in curve di R <120 m, 70 km / h in più).

Come accennato in seguito, vengono proposti due scenari di sviluppo per ristabilire l'accesso al Col de Tende, una struttura unica o due strutture che attraversano il vallon del Ca.

Le sezioni trasversali tipiche e funzionali sono fornite nel capitolo 7 di questo rapporto. È già possibile notare che data la vicinanza della struttura alla galleria (circa 25 m), è necessario avere una separazione fisica tra le due direzioni di traffico nello scenario che prevede un'opera unica.

## 6.2 Traffico

I dati di traffico comunicati da DREAL PACA sono i seguenti: prima della chiusura c'erano circa 1.500 veicoli / giorno in ogni direzione e le previsioni post-apertura sono circa 2.200 veicoli / giorno nel 2030.

Dal 2017 un decreto vieta il transito di automezzi pesanti di peso superiore alle 19 tonnellate.

L'altezza libera (il tirante d'aria ritenuto in questo studio per le strutture è di 6,00 m). Questo dato è da confermare o affinare con il cliente, avendo cura, comunque, di rispettare uno scartamento stradale autorizzato di 4,30 m.

Il traffico considerato sulla struttura è di classe 2 ai sensi dell'Eurocodice 1-2.

Nessun convoglio eccezionale è considerato sulla struttura.

Nessun convoglio militare è visto sulla struttura.

### 6.3 Livello di ritenuta da considerare per la struttura

È stato effettuato un calcolo dell'indice di pericolo secondo la guida Sétra “Scelta di un dispositivo di ritenuta sul bordo libero di un ponte in base al sito” del 2002, nonché con una versione provvisoria della revisione di questa guida.

I risultati dei calcoli dell'indice di rischio sono forniti nella parte 7, secondo i diversi scenari.

### 6.4 Livello di ritenuta da considerare fuori struttura

Sulle strade con caratteristiche geometriche ridotte, in particolare strade in difficile rilievo, ai sensi del decreto RNER, sarà consentito installare in caso di rilevati o dislivelli improvvisi, un dispositivo con un livello di ritenzione minimo N2 la cui dinamica di deflessione è inferiore o uguale allo spazio disponibile.

Allo stesso modo, per quanto riguarda i sistemi di ritenuta utilizzati sulla mediana centrale (TPC) delle strade divise, la classe di livello di ritenuta da mantenere è minima N2, classe di larghezza di lavoro W compatibile con lo spazio disponibile.

Inoltre, sarà necessario avere lo stesso livello di ritenzione della struttura nelle immediate vicinanze delle strutture di ingegneria al fine di garantire la lunghezza minima di ancoraggio. All'esterno della struttura saranno *a priori*, conficcati nel terreno i dispositivi di contenimento e saranno utilizzati specifici elementi di collegamento.

### 6.5 Durata di utilizzo del progetto

La durata di utilizzo del progetto, ai sensi dell'Eurocodice 0, è di 100 anni.

## 7 SOLUZIONI TECNICHE STUDIATE

### 7.1 Cenni generali

Un primo punto da analizzare è il trattamento, la strumentazione, il monitoraggio e la mitigazione della potenziale futura frana e / o dei suoi effetti sulle strutture sottostanti.

Come accennato nel paragrafo 3.1.3.3, non è ragionevole considerare un rinforzo meccanico della frana ovest, la frana di riferimento considerata in questo studio, si possono considerare solo soluzioni di mitigazione, si ricordano di seguito:

- Effettuare uno o due incroci senza una pila intermedia,
  - Protezione delle spalle a livello delle strutture (rinfianco, gabbie, ecc.),
  - Trattamento anti-erosione per le spalle delle strutture,
  - Eventuale riprofilatura del letto del Ca a livello delle strutture per consentire il transito dei materiali garantendo un'apertura minima (vedi paragrafo 3.1.2.2),
- ,
- Trattamento degli argini del vallon del Ca a livello dei viadotti mediante indurimento o rammollimento,
  - Realizzazione di sbarramenti o di opere contro le lave torrenziali nel letto del Ca.

Quindi, per ripristinare l'accesso alle gallerie del Colle di Tenda, sono possibili diversi scenari.

Lo scenario 1 consiste nella costruzione di un'unica struttura per entrambe le direzioni di traffico, che sarebbe situata davanti alla nuova canna del tunnel (canna ovest). Questo scenario ipotizza che una deviazione della canna Est sarà stata realizzata a nord dell'incrocio per portare tutti i flussi di traffico nella canna Ovest, allargata e sistemata in questo senso.

Questo scenario n.1 è quello evocato da DREAL PACA, il quale ci ha anche detto che il costo della deviazione del tunnel Est sarebbe relativamente basso rispetto ai costi di rialesaggio di tutte le due canne, già previsto. Questa fattibilità tecnica di deviare dalla canna Est alla canna Ovest non è stata esaminata in questo studio. Si richiama comunque l'attenzione sul fatto che ci sono vere e proprie problematiche geotecniche da tenere in considerazione per deviare e collegare la canna Est verso quella Ovest (stabilità di tutte le canne così come della canna “involuppo” a livello della congiunzione delle canne, che possono portare in particolare alla “perdita / distruzione locale” delle due canne).

Lo scenario n.2 consiste nella costruzione di due strutture, una per ogni direzione di traffico e davanti a ogni canna. In altre parole, si tratterebbe di tornare alla situazione originaria, prima del crollo delle strutture. Questo scenario n.2 ha il vantaggio del fatto che non sarebbe poi necessario deviare il tunnel Est. Lo svantaggio di questo scenario è che richiede la ricostruzione di una piattaforma a livello della canna Est, in particolare mediante un muro di contenimento.

Lo scenario 3 consiste nella costruzione di un'unica struttura per entrambe le direzioni di traffico, la cui spalla Nord-Est sarebbe situata a metà delle due canne e che permetterebbe l'accesso alle due gallerie.

Tuttavia, l'analisi mostra che non è possibile prevedere collegamenti rispettando le regole della geometria stradale; questo scenario è quindi abbandonato.

Gli scenari precedentemente evocati sono scenari di lavoro definitivi, progettati per una durata di vita di 100 anni e che soddisfano tutti i vincoli individuati.

Si potrebbe studiare una soluzione di struttura temporanea, come quella di Cerema-CNPS (Bailey Bridge o VMD). Una soluzione del genere, infatti, avrebbe il vantaggio di poter ripristinare l'accesso al tunnel più rapidamente di una struttura definitiva, risparmiando sia la durata degli studi che dei lavori.

Tuttavia, la soluzione di un ponte temporaneo presenta i seguenti inconvenienti:

- senza ricostruire una piattaforma, è possibile solo prevedere un ponte provvisorio davanti al tunnel Ovest, ad oggi non operativo. Quando i lavori sulla canna ovest saranno completati, sarà possibile pensare a costruirne uno definitivo piuttosto che temporaneo.
- la struttura provvisoria non consente di rispondere a tutti i problemi, in particolare la resilienza al rischio valanghe (o anche frane). Il cliente potrebbe tuttavia accettare temporaneamente questa situazione.
- Le spalle da realizzare per la struttura provvisoria, anche se progettate per essere facilmente demolibili, indurranno comunque un'ulteriore fase di lavoro per le strutture definitive e le fondazioni di queste spalle potrebbero costituire un intralcio alla costruzione delle fondazioni della costruzione lavori finali.

In considerazione di questi inconvenienti, lo studio di questo scenario non è proseguito.

### 7.2 Particolari accorgimenti geometrici applicati al progetto

#### 7.2.1 Cenni generali

Il documento di riferimento da cui è stata definita la geometria del progetto stradale è la guida SETRA, redatta nell'agosto 1994, relativa alle raccomandazioni tecniche per la progettazione generale e geometria della strada relative allo Sviluppo delle Strade Principali (ARP). Queste disposizioni generali si applicano integralmente al ripristino dell'accesso alle gallerie del Colle di Tenda (RD 6204).

L'RD 6204 è classificato, ai sensi dell'ARP, nella categoria “strada con rilievo accidentato”.

#### 7.2.2 Tracciato in piano

##### 7.2.2.1 Curve circolari

I valori dei raggi delle curve circolari sono stati definiti in accordo con le raccomandazioni dell'ARP per la categoria delle strade in difficile rilievo, in particolare dal punto di vista della sicurezza, avendo cura di tener conto il più possibile delle condizioni relative alla sequenza dei vari elementi del tracciato (allineamenti rettilinei e curvi, curve e raccordi, ecc.).

##### 7.2.2.2 Calcolo delle larghezze delle piste curve

In accordo con le raccomandazioni ARP, il progetto prevede carreggiate extra nelle curve con un raggio compreso tra 30 e 200 m per consentire a un veicolo per il trasporto di merci pesanti di tipo semirimorchio di non traboccare dalla sua carreggiata.

La larghezza minima della pista viene definita utilizzando la seguente formula :

$$L=3,5 + (25/R)$$

dove R è il raggio interno della curva.

La variazione della sezione trasversale è prodotta linearmente lungo le spirali che circondano le curve con raggio inferiore a 200 m rispettando almeno uno scostamento laterale di lunghezza pari a 37 d, con d = scostamento laterale che in questo caso corrisponde all'eccesso larghezza.

##### 7.2.2.3 Lunghezze a clotoidi

L'ARP consiglia l'introduzione di curve circolari di raggio R inferiore al raggio non inclinato mediante collegamenti progressivi, formati da archi di spirali, la cui lunghezza è pari a :

$$\inf (6 \cdot R^{0,4} ; 67m).$$



### 7.2.2.4 Disposizioni per evitare curve "a sommità"

Per evitare le curve "a sommità", che presentano difficoltà di leggibilità per l'utente della strada, è stata prestata particolare attenzione a soddisfare le raccomandazioni dell'ARP collegando l'entrata e l'uscita a spirale della curva con un arco circolare di lunghezza almeno pari a uno quinto dell'evoluzione totale del turno.

### 7.2.3 Profilo longitudinali

In accordo con le raccomandazioni dell'ARP, il profilo lungo del progetto è stato stabilito in modo che non superi il valore dell'8%. Inoltre, la pendenza del profilo longitudinale a valle dei tornanti è stata limitata al 4,5% al fine di limitare il valore della pendenza risultante (somma della pendenza longitudinale e della pendenza trasversale).

### 7.2.4 Profili trasversali

#### 7.2.4.1 Profilo unidirezionale a 1 corsia

Il profilo trasversale tipico ritenuto nel progetto per i tratti in modalità unidirezionale è costituito da una corsia di 3,50 m, una banchina transitabile sinistra (BDG) di 0,50 m e una banchina transitabile destra (BDD) di 2,50 m ; cioè 6,50 m di larghezza transitabile.

Questo profilo unidirezionale è stato ritenuto per coerenza e omogeneità con quelli previsti per el gallerie Est e Ovest.

Si applica, per ogni direzione di circolazione, dalla separazione delle correnti fino al collegamento con le testate di entrata e di uscita delle gallerie, ovvero una distanza lineare compresa tra 150 e 230 m a seconda dello scenario preso in considerazione.

#### 7.2.4.2 Profilo bidirezionale a 2 corsie

Il profilo trasversale tipico ritenuto nel progetto per i tratti in modalità bidirezionale è costituito da una corsia di 7,00 m (2 x 3.50 m) con due banchine transitabili a destra e sinistra di 1,50 m; cioè 10,00 m di larghezza transitabile. Come accennato in precedenza, le due direzioni di traffico devono essere fisicamente separate. Ciò sarà ottenuto da un TPC di 1,60 m composto da due BDG di 0,50 m e da una DBA di 0,60 m.

Tale profilo bidirezionale è stato mantenuto per coerenza ed omogeneità con quelli previsti per i tornanti di accesso ai viadotti.

Si applica dall'origine del progetto (collegamento ai tornanti Est e Ovest) fino alla separazione delle correnti, ovvero su una lunghezza compresa tra 30 e 70 m a seconda dello scenario considerato.

#### 7.2.4.3 Sopraelevazione

Sono state applicate le regole ARP (articolo 6-3d) relative alla sopraelevazione delle strade a rilievo accidentato :

Per raggi inferiori a 40 m, la sopraelevazione è normalmente del 6%.

- Tra 40 m e 250 m di raggio, la sopraelevazione è ottenuta per interpolazione in 1/R tra il 6% per 40 m e il 2,5% per 250 m.
- Tra 250 m e 400 m di raggio, la sopraelevazione è del 2,5%.
- Oltre i 400 m, le curve non sono più necessariamente inclinate.

Tableau 4 : Valore di sopraelevazione da considerare in funzione del raggio delle curve

R=	Sopraelevazione d1	Sopraelevazione d2
40,00	6,00%	6,00%
50,00	5,16%	5,16%
60,00	4,61%	4,61%
70,00	4,21%	4,21%
80,00	3,91%	3,91%
90,00	3,68%	3,68%
100,00	3,60%	3,60%
150,00	2,94%	2,94%
200,00	2,66%	2,66%
250,00	2,50%	2,50%
400,00	2,50%	-2,50%

La sopraelevazione della BDD è uguale a quella della carreggiata adiacente purché non superi il 4%. Quando la sopraelevazione supera il 4%, la pendenza della BDD all'interno della svolta è pari alla sopraelevazione della carreggiata e la pendenza della BDD sul lato esterno della svolta è opposta alla sopraelevazione e pari al 1,5%. La banchina ha una pendenza dell'8% verso l'esterno della carreggiata.

La zona di recupero consigliata dall'ARP corrisponde alla Banchina transitabile destra (BDD), la cui larghezza nella sezione attuale è pari a 1,50 m. La zona di sicurezza consigliata dall'ARP, in caso di installazione di nuovi ostacoli, è fissata a 7 m. Dati i vincoli inerenti alle strade a rilievo accidentato, non è possibile prevedere una tale larghezza su tutta la lunghezza, il che porta alla predisposizione di dispositivi di ritenuta se tale larghezza non è rispettata.

### 7.2.4.4 Visibilità

Le regole di visibilità sono state verificate secondo la guida alla progettazione stradale e autostradale - revisione delle regole sulla visibilità e sui raggi all'angolo sporgente dal profilo longitudinale (Cerema - Ott. 2018) tenendo conto della geometria e delle velocità utilizzate.

#### Disposizioni convenzionali

Le velocità prese in considerazione nel progetto sono quelle stimate in base alle caratteristiche principali del sito o addirittura limitate alla velocità massima autorizzata. Così, per il ripristino degli accessi alle gallerie del Colle di Tenda, si fissa, per le zone interessate da possibili perdite di visibilità, dati i vincoli del sito (ovvero tra il tornante ovest e la separazione delle correnti), un limite di velocità di 50 km / h, inferiore al limite di velocità regolamentare, ma superiore alle velocità calcolate. Per le altre aree del progetto è adottato un limite di velocità di 70 km / h tenendo conto della geometria proposta (raggio della curva 200 m per la struttura del ruscello Ca) e della velocità di esercizio di 70 km / h delle gallerie.

Tenuto conto dei vincoli del progetto relativi alle strade a rilievo accidentato, possiamo considerare che il criterio di visibilità per i sorpassi costituisce un requisito molto più debole. Inoltre, nel contesto del progetto, sembra anche che il rispetto della visibilità sugli ostacoli sia più restrittivo di quello nelle curve.

I calcoli di visibilità sono stati eseguiti sul software Autopiste.

#### Visibilità sull'ostacolo

- Altezza del punto di osservazione

Questa altezza è misurata 1,10 m e a 0,25 m a sinistra dell'asse centrale della corsia.

- Punto osservato

Questo è il punto meno restrittivo delle 2 luci posteriori, posizionato a 0,75 m a destra o a sinistra dell'asse della corsia. L'altezza di questo punto è presa a 0,50 m dal suolo.

- Distanza di arresto applicabile al progetto

La distanza di arresto (da) calcolata dalla formula :

$$d_a = \left( T_{PR} \cdot v + (1 + m_c(R)) \frac{v^2}{2g(\gamma_v + p)} \right) \cdot K(N_{PV})$$

dove:

- da : la distanza di arresto, in m;
- TPR : con:

da: la distanza di arresto, in m;

TPR: il tempo di percezione-reaione, assunto pari a 1,8 secondi;

- v: la velocità iniziale, in m/s;
- p: il gradiente, in valore algebrico (m / m);
- gv: la decelerazione media durante una manovra di arresto, espressa come frazione di g = 9,81 m/s<sup>2</sup> ;

Tableau 5 : Decelerazione media in funzione della velocità

Velocità	30 km/h	50 km/h	70 km/h	> 70 km/h
Decelerazione media $\gamma_v$	0,46	0,44	0,41	

- mc(R) : malus in curva. È preso in considerazione nel modo seguente:

Tableau 6 : Malus da prendere in considerazione in curva

Raggio della svolta	≤ Rdn	Rdn < R < 1,5 Rdn	≥ 1,5 Rdn
m <sub>c</sub> (R)	0,2	variazione lineare tra Rdn e 1,5 Rdn : mc(R) = 0,6 - 0,4.R/Rdn	0

- K(NPV) : un coefficiente che riflette il livello di prestazione.

Tableau 7 : Coefficiente che riflette il livello di prestazione da prendere in considerazione

Livello di prestazione N <sub>PV</sub>	A	B	C
K(N <sub>PV</sub> )	1,1	1	0,9

Il livello di prestazione da garantire per il progetto è NPV A, tenendo conto della presenza di punti singolari come la testata del tunnel (entrata e uscita) e la separazione delle correnti. Le distanze di arresto (da) applicabili al progetto variano quindi tra 96 m nella curva R = 201,4 m (70 km / h - NPV A) e 56 m nella curva R = 70,0 m (50 km / h - NPV A).

- Distanza di visibilità a seconda delle maschere laterali

In una curva del piano, nel semplice caso in cui il punto osservato e l'osservatore si trovano sullo stesso arco di un cerchio di raggio R, abbiamo la relazione:

$$e=d^2/8R$$

dove: R: il raggio della traiettoria; e: distanza laterale (distanza tra la traiettoria e la maschera); d: la distanza di visibilità.

## 7.3 Scenario 1: struttura unica

### 7.3.1 Cenni generali

Lo scenario N° 1 corrisponde alla soluzione di base raccomandata dalla direzione del progetto che consente di ristabilire l'accesso alle gallerie del Col de Tende da parte di un'unica struttura che attraversa il Ca. Questa soluzione può essere considerata solo con riguardo alla fattibilità di perforare una nuova galleria di collegamento tra la galleria storica e la nuova galleria in costruzione. Ai fini dello studio si ipotizza che l'entrata e l'uscita alle gallerie avvenga da una galleria comune il cui asse della galleria ovest (uscita) rimane invariato.

Per questioni di sicurezza (condizioni degradate di percezione e visibilità in galleria, ea fortiori in testa alla galleria), ma anche al fine di limitare i vincoli geometrici relativi alla realizzazione di una futura galleria di collegamento, si sceglie di procedere con la separazione delle correnti a valle della struttura che attraversa il Ca. Dalla separazione delle correnti, i binari saranno gestiti in un profilo unidirezionale in coerenza ed omogeneità con le modalità operative previste per le gallerie Est e Ovest

### 7.3.2 Livello di ritenuta da considerare per la struttura

Il calcolo dell'indice di pericolo effettuato secondo la guida Sétra "Scelta di un dispositivo di ritenuta sul bordo libero di un ponte a seconda del sito" del 2002 è il seguente:

Tableau 8 :Structure unica - Indice di pericolo sulla struttura

<b>ID1</b>	trafic retenu	2200	vehicules / jour / sens	<b>ID2</b>	sous-indice hauteur de chute	3	Hchute = 9 m	
	sous-indice trafic	11			sous-indice profondeur de l'eau	0		
	sous-indice poids lourds	0			<b>total ID2</b>	<b>3</b>		
	sous-indice niveau de service	0			<b>ID3</b>	sous-indice voie franchie	0	
	sous-indice tracé	3				sous-indice voies ferrées	0	
	sous-indice pente	0				sous-indice présence humaine	0	
	sous-indice courbure	1				<b>total ID3</b>	<b>0</b>	
	sous-indice points de conflits	0						
	sous-indice longueur de brèche	4						
	<b>total ID1</b>	<b>19</b>						

**TOTAL ID**

**Niveau de retenue choisi :** **H2** avec fonction garde corps

Essendo l'indice di pericolo totale 22, si propone di mantenere un livello di ritenuta H2, con funzione di guardrail.

La scelta di avere una barriera di sicurezza in aggiunta al livello H2 è fatta rispettando la raccomandazione della guida Cerema "Dispositifs de retenue routiers marqués CE sur ouvrages d'art" del 2014 che indica che in tutti i casi, "la sicurezza dei pedoni rispetto al rischio di caduta ai bordi della struttura [...] deve essere garantita". Anche senza un percorso pedonale previsto sulla struttura, può effettivamente verificarsi il caso di un automobilista che si è rotto sulla struttura e poi lascia il suo veicolo.

Il calcolo dell'indice di pericolo secondo l'ultima versione provvisoria della revisione della guida Cerema "Scelta di un dispositivo di ritenuta sul bordo libero di un ponte a seconda del sito" porta ad un indice di pericolo di 21 e ad una scelta del livello di ritenuta H2. Poiché il livello di detrazione determinato con la versione provvisoria della futura guida è identico a quello determinato con la guida attuale, non è necessario prevedere una disposizione speciale in previsione della pubblicazione della nuova guida.

Si sta inoltre valutando la deformazione del dispositivo di ritenuta durante l'impatto. Per non entrare in collisione con altri elementi strutturali, la larghezza di lavoro W è limitata a 0,80 m. Poiché gli elementi di ritenzione di livello H2 aventi una tale larghezza operativa W sono pochi sul mercato, si propone anche di mantenere un livello di ritenzione H3.

In sintesi, il livello di contenimento da considerare sulla struttura è il livello H2 o H3, con funzione di guardrail e larghezza di lavoro W minore o uguale a 0,80 m.

## 7.3.3 Tracciato stradale

### 7.3.3.1 Tracciato in piano

L'origine del progetto corrisponde alla fine del tracciato dei merletti est e ovest effettuato dal SIR di Marsiglia nel giugno 2008. Pertanto, la prima curva incontrata è stata posizionata tangente all'ultimo elemento geometrico del grafico del 2008. La sua estremità è posta a destra della testata del tunnel Ovest, l'ultima curva incontrata essendo stata realizzata spostando il presunto asse geometrico della galleria Ovest (elemento ad oggi non comunicato)

L'asse orizzontale è assimilato ad una curva a "S" i cui due raggi sono predefiniti dalla curvatura del tunnel in uscita (R = 201,4) e dalla terminazione del percorso dei lacci (R = 70) che non non si è ritenuto necessario modificare data la presenza di curve di piccolo raggio (lacci) sul tratto adiacente.

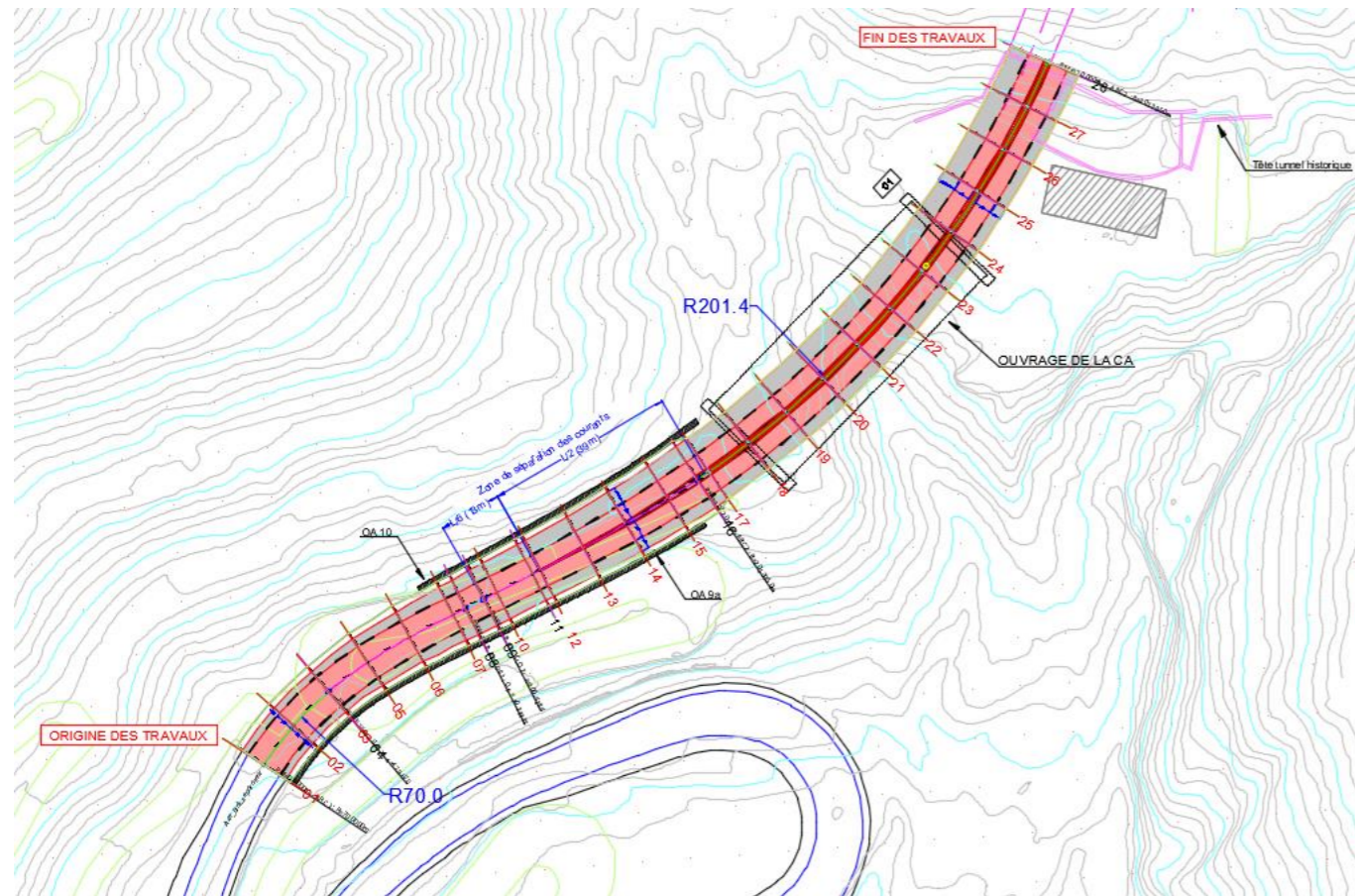


Illustration 88 Strutturata unica - Tracciato in piano

I raggi di curvatura sono compresi tra 70 m (sviluppato su 20 m) e 201,4 m (sviluppato su 113 m). Poiché la regola del ray chaining qui non può essere rispettata, è stato privilegiato, per la direzione Italia-Francia, offrire una buona visibilità in avvicinamento alla prima curva incontrata.

La tabella di seguito presenta la successione degli elementi geometrici :

Tableau 9 :Strutturata unica - Tracciato in piano - Successione degli elementi geometrici

Nome	Elementi - Caratteristiche		Lunghezza	Punti di contatto		
	Parametri			Ascissa	X	Y
Arco 1	Raggio	-70,000 m	20,052	0,000	1065285,357	6348233,169
	Centro X	1065343,834 m				
	Centro Y	6348194,692 m				
Clotoide 1	Parametro	47,967	32,869	20,052	1065298,612	6348248,125
Retta 1	Altezza	70,23 gr	4,200	52,921	1065326,637	6348265,145
Clotoide 2	Parametro	100,428	50,080	57,121	1065330,387	6348267,038
Arco 2	Raggio	201,395 m	112,799	107,201	1065374,088	6348291,426
	Centro X	1065261,720 m				
	Centro Y	6348458,559 m				
				220,000	1065445,710	6348376,659
Lunghezza complessiva dell'asse 220.000 metri						

### 7.3.3.2 Profilo longitudinale

Il profilo longitudinale è costituito da rampe successive collegate tra loro da raggi parabolici.

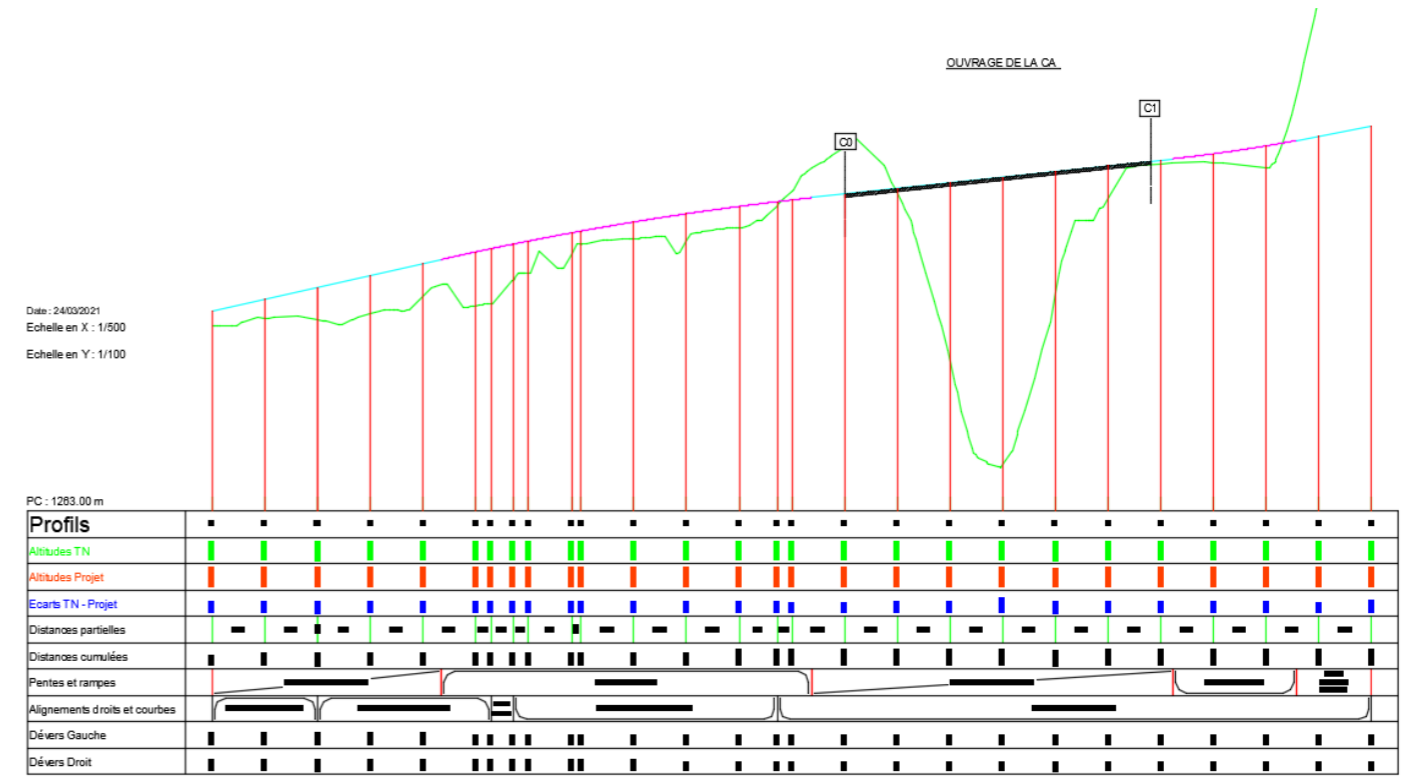


Illustration 89 Strutturata unica - Profilo longitudinale

Le pendenze delle rampe sono:

- 4,50% nella curva R = 70 m in continuità dal tornante Ovest per limitare la pendenza risultante (accumulo delle sopraelevazioni longitudinali e trasversali),
- 2,16% sul nuovo viadotto del Ca per massimizzare il flusso di materiali sotto il piano stradale,
- 3,72% a destra della testata del tunnel in continuità con il profilo longitudinale della galleria Ovest.

I raggi minimi nel profilo longitudinale sono pari a 3.000 m per gli angoli salienti e a 1.500 m per gli angoli rientranti.

La tabella di seguito presenta la successione degli elementi geometrici :

Tableau 10 :Strutturata unica - Profilo longitudinale - Successione degli elementi geometrici

Nome	Elementi - Caratteristiche		Lunghezza	Punti di contatto		
	Pendenza / Raggio			Ascissa	Altitudine	
Pendenza 1	Pendenza	4,50 %	43,524	0,000	1270,575	
Parabola 1	Raggio	-3000,000 m				
	Vertice ascissa.	178,524 m				
	Vertice altitudine	1275,571 m				
Pendenza 2	Pendenza	2,16 %	68,560	113,724	1274,871	
Parabola 2	Raggio	1500,000 m	23,463	182,284	1276,352	
	Vertice ascissa.	149,884 m				
	Vertice altitudine	1276,002 m				
Pendenza 3	Pendenza	3,72 %	14,253	205,747	1277,042	
				220,000	1277,573	
Lunghezza complessiva dell'asse 220.000 metri						
Lunghezza sviluppata complessiva dell'asse 220.121 metri						

### 7.3.3.3 Profili trasversali

I profili trasversali tipici utilizzati sono :

#### Profilo bidirezionale a 2 corsie

- Due banchine transitabili destre (BDD) di 1,50 m
- Una carreggiata di 7,00 m

cioè 10,00 m di larghezza transitabile.

### Profil bidirectionnel à 2 voies

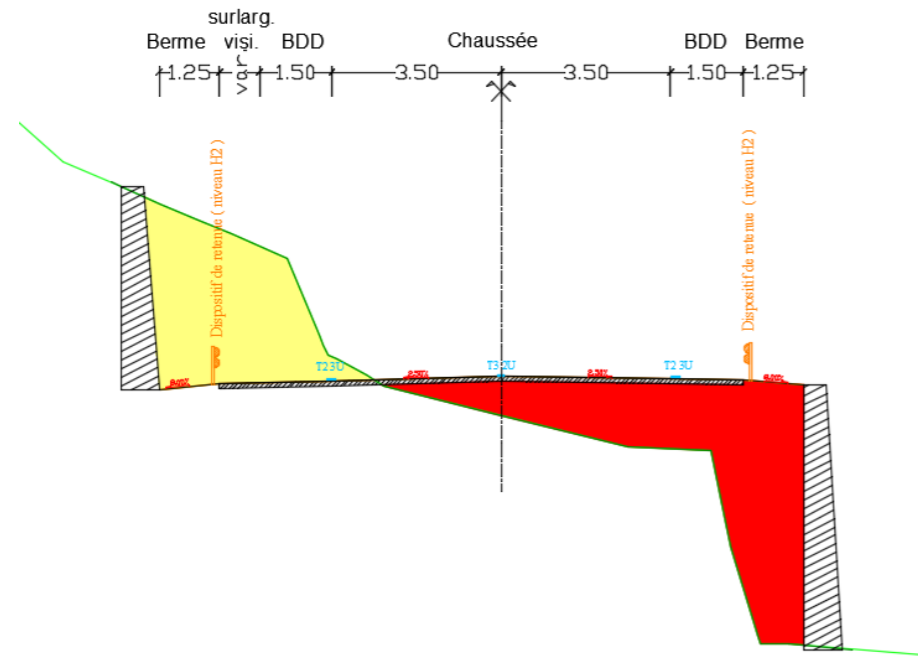


Illustration 90 Profil bidirezionale a 2 corsie – Profil trasversale

### Profilo bidirezionale a 2x1 corsia

Per direzione di circolazione :

- Una banchina transitabile a sinistra (BDG) di 0,50 m (cioè un TPC di 1,60 m)
- Una corsia di circolazione di 3,50 m
- Una corsia di emergenza (BAU) de 2,50 m

cioè 6,50 m di larghezza transitabile.

### Profil bidirectionnel à 2 x 1 voie

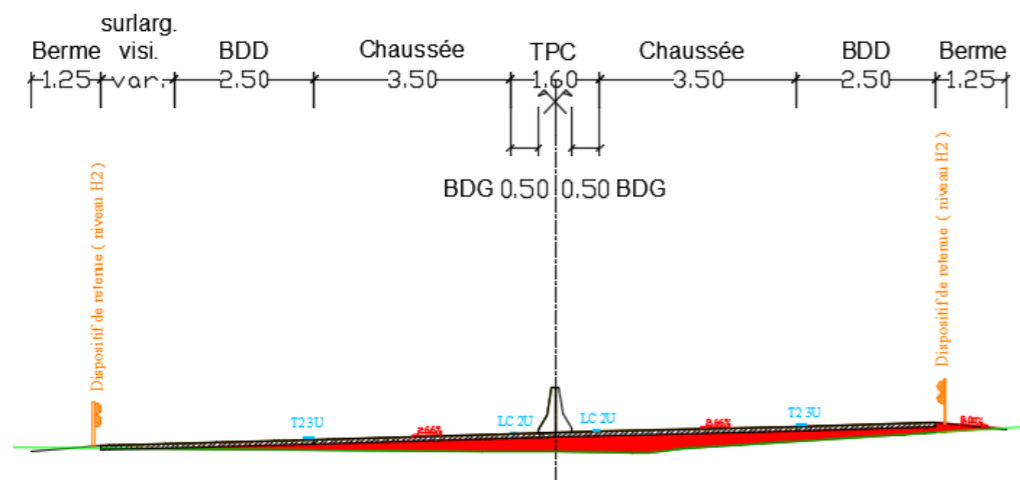


Illustration 91 Profil bidirezionale a 2 x 1 corsia – Profil trasversale

Profilo bidirezionale 2 x 1 vie - Profilo incrociato

Date le condizioni di scarsa visibilità e percezione insite nelle strutture interrato, in particolare all'uscita della galleria ovest (potenziale rischio di collisione frontale), nel fascicolo si propone una separazione fisica delle direzioni di traffico a valle della galleria per motivi di sicurezza. Crea una zona di transizione sull'interfaccia in modo che gli utenti possano adattare il loro comportamento. Inoltre, questa scelta mira anche a facilitare il futuro collegamento tra le due gallerie evitando disposizioni geometriche relative ad una separazione delle correnti nella galleria.

Nelle curve con un raggio inferiore a 200 m, viene introdotta una larghezza extra nella curva nelle curve. Questa larghezza in eccesso vale, per strada,  $25 / R$  (in m) secondo le raccomandazioni dell'ARP per le strade in difficoltà. La larghezza massima in eccesso si trova nella curva  $R = 70$  m a valle delle due curve est e ovest ed è pari a circa 0,35 m per la corsia di circolazione. Il profilo trasversale incorpora una banchina di almeno 1,25 m che può ospitare, se necessario, dispositivi di sicurezza e di depurazione delle superfici come canaletti di scolo o cunette di moderata profondità.

La sopraelevazione della carreggiata varia dal 2,5 % al 4,1 %, in applicazione delle raccomandazioni dell'ARP, il massimo è raggiunto anche nella curva di 70 m di raggio. La sopraelevazione della carreggiata del nuovo viadotto del Ca è costante al 2,66%.

Finché la sopraelevazione della carreggiata non superi il 4%, le pendenze delle BDD sono le stesse dell'allineamento, cioè verso l'esterno della carreggiata. Quando la sopraelevazione supera il 4%, la pendenza della BDD all'interno della svolta è pari alla sopraelevazione della carreggiata e la pendenza della BDD sul lato esterno della svolta è opposta alla sopraelevazione e pari al 1,5%.

La banchina ha una pendenza dell'8% verso l'esterno della carreggiata.

### 7.3.3.4 Visibilità

Il livello di prestazione da garantire per il progetto è il NPV A, tenendo conto della presenza di punti singolari come la testata del tunnel (entrata e uscita) e la separazione delle correnti. Le distanze di arresto (da) applicabili allo "scenario 1 : Struttura unica" variano tra 56 m nella curva  $R=70,0$  m (50 km/h – NPV A) e 96 m nella curva  $R=201,4$  m (70 km/h - NPV A).

Il controllo della visibilità ha rilevato perdite di visibilità su un ostacolo situato sulla carreggiata nella curva  $R = 201,4$  m tra i profili 22 e 28, su una distanza lineare di circa 60 m (ovvero 3,6 secondi a 70 km / h). La visibilità minima calcolata dal software è di 84 m invece dei 96 m consigliati dalla guida alla visibilità.

L'offset della "maschera" laterale necessario per una miglior visibilità nella curva di  $R = 201,4$  m è pari a 5,80 m e porta a proporre un allargamento della BDD nella curva di 0,90 m (2, 50 a 3,40 m) oltre alla riserva di una zona di 0,40 m che può essere dedicata alla raccolta delle acque superficiali.

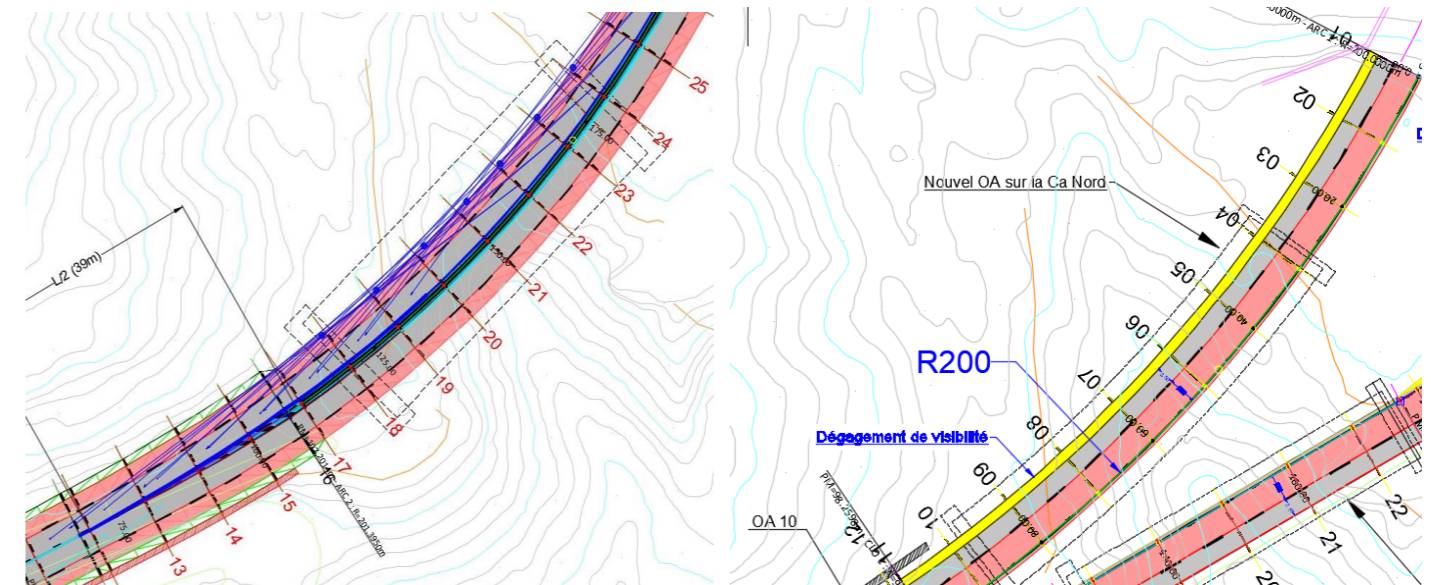


Illustration 92 Trattamento delle "maschere" di visibilità  
Sinistra: Perdite di visibilità nella curva  $R=201,4$  m (profili 01 a 07)  
Destra : larghezza supplementare di 1,30 m che garantisce una visibilità da = 96 m

Secondo il tipo di attraversamento scelto per la struttura del Ca (diritta o curva), l'effettiva visibilità offerta da una struttura rettilinea che avvolge la curva di  $R = 201,4$  m sarà notevolmente superiore ai requisiti di visibilità raccomandati dalla guida. Le ottimizzazioni della sezione trasversale possono essere ricercate nelle fasi successive per limitare la larghezza della struttura.

### 7.3.4 Possibili soluzioni di opere d'arte

Visti tutti i vincoli individuati, c'è poca scelta per la struttura dell'opera. Infatti, tenere conto di un possibile smottamento con l'idea progettuale che tale frana non debba colpire né il piano stradale né i sostegni porta all'esclusione di soluzioni con appoggi intermedi.

La struttura, come progettata ad esempio da Sétra nel 2008, non soddisfa le esigenze rispetto alle frane. Questa struttura in calcestruzzo ha effettivamente dei pilastri che possono essere danneggiati da una frana. Le sollecitazioni sui pilastri sono considerevoli e probabilmente non sarebbe possibile renderle sufficientemente resistenti per tale situazione. Sembra anche molto difficile, se non impossibile, determinare la forza generata da una simile frana, anche in modo approssimativo.

Il rispetto del tracciato stradale associato allo sgombero di un'apertura sufficiente porta a considerare una struttura con campata unica di 57,8 m.

Con il tracciato stradale imposto e la topografia del sito, non è possibile liberare l'apertura necessaria al passaggio della frana sotto il piano stradale senza colpirlo. L'unica soluzione è quindi quella di provvedere ai lavori di sterro a livello del vallone del Ca in modo da liberare la presa necessaria. Il guadagno di superficie è principalmente sui lati ma è necessario prevedere anche uno svuotamento del letto per ottenere la superficie di 250 m<sup>2</sup> rilasciando un tirante d'aria di 7 m (vedi paragrafi 3.1.2.2 e 3.1.2.3). Per limitare questi lavori di sterro sono scartate tutte le soluzioni di lavoro con struttura ad intradosso. Per quanto riguarda le valanghe, questa scelta è adatta anche perché più alte sono le parti della struttura in quota, minore è la forza complessiva della valanga sulla struttura.

Sono quindi scartate soluzioni di tipo misto bi-trave, cassone misto, cassone precompresso a favore di soluzioni per strutture con travi laterali :

- soluzione tipo brownstring in calcestruzzo,
- soluzione tipo "corda d'arco" in acciaio con ganci per cavi
- soluzione tipo "corda d'arco" in acciaio con sospensioni per cavi
- soluzione tipo Warren in acciaio

Per ragioni di peso e facilità di costruzione, la soluzione "corda d'arco" in calcestruzzo è scartata.

Per massimizzare la resistenza complessiva della struttura contro l'azione della valanga, sono scartate le soluzioni tipo "corda d'arco" in acciaio con ganci per cavi. Come la valanga colpisce infatti i tiranti ma anche parte degli archi, è preferibile irrigidire il più possibile gli archi ed i tiranti. Inoltre, una sospensione con cavo può avere punti sensibili agli attacchi che potrebbero rompersi durante una valanga. La soluzione "corda d'arco" che utilizza sospensioni con piastre in acciaio è anche pertinente rispetto all'elevata azione sismica.

Le soluzioni adottate sono quindi tipo "corda d'arco" in acciaio con sospensioni da piastre in acciaio e tipo Warren in acciaio.

Alcune fotografie di esempio di tali ponti sono fornite di seguito.



Illustration 93 Esempio di "corda d'arco" con arco autoancorato: Ponte di Roboul presso Perpignano (Francia)



Illustration 94 Esempio di ponte Warren : ponte d'Illzach presso Mulhouse

Poiché questo studio è uno studio di fattibilità, solo la soluzione "corda d'arco" con arco autoancorato è stata oggetto di ulteriori discussioni e piani.

### 7.3.5 Struttura scelta in questo studio

#### 7.3.5.1 Descrizione

La struttura scelta per questo studio di fattibilità è del tipo "corda d'arco" in acciaio con arco autoancorato.

Il tracciato stradale scelto per questo scenario richiede un profilo trasversale relativamente largo (16,4 m comprese le due larghezze di installazione dei dispositivi di ritenuta) e un tracciato curvo (raggio di circa 200 m). Dati i problemi di resistenza agli effetti legati alla curvatura e agli effetti di secondo ordine, è prevista una struttura più ampia di quanto necessario in termini di tracciato stradale per rendere rettilinea la struttura (larghezza supplementare di 2,11 m). La struttura ha quindi una larghezza complessiva di 21,6 m.

Sono riportati di seguito i piani principali di questa soluzione.

Coupe transversale sur OA à mi-travée  
1/50  
21600

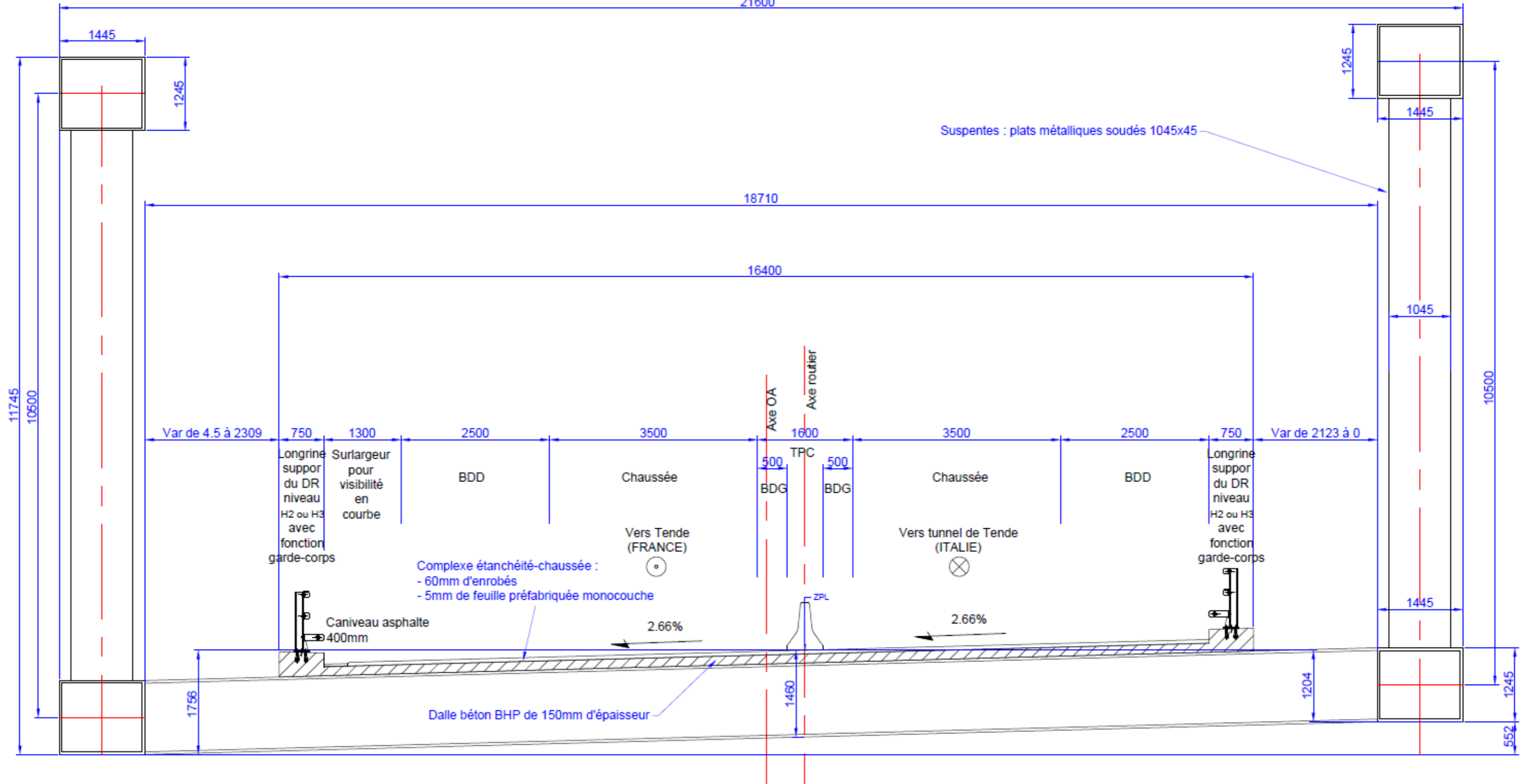


Illustration 95 Struttura unica: sezione trasversale a metà campata della struttura

Data l'ampia larghezza della struttura, sono adottate le seguenti soluzioni, che consentono di limitare il peso proprio del piano stradale :

Lastra sottile in calcestruzzo ad alte prestazioni (BHP) di 15 cm di spessore

Impermeabilizzazione in lamiera prefabbricata monostrato da 5 mm

Asfalto di spessore 60 mm (sarà necessario determinare in studi successivi se sia possibile ridurre ulteriormente lo spessore di questo asfalto)

Come evocato nella sezione sul livello di ritenuta, i dispositivi di ritenuta sono di livello H2 o H3 con funzione di barriera di protezione.

Dal punto di vista di depurazione è prevista una grondaia in asfalto sul lato inferiore. Una riflessione più generale sul drenaggio dell'acqua dovrà essere svolta nelle fasi successive degli studi.

Vue en plan

Nouveau tube du Tunnel de Tende (Ouest)

Tube historique du Tunnel de Tende (Est)

Vers Tende

C0

C1

C1  
0+178.0000

C0  
0+120.0000

57800 selon axe OA



Illustration 96 Struttura unica : vista in piano della struttura

### Scénario 1 : OA unique

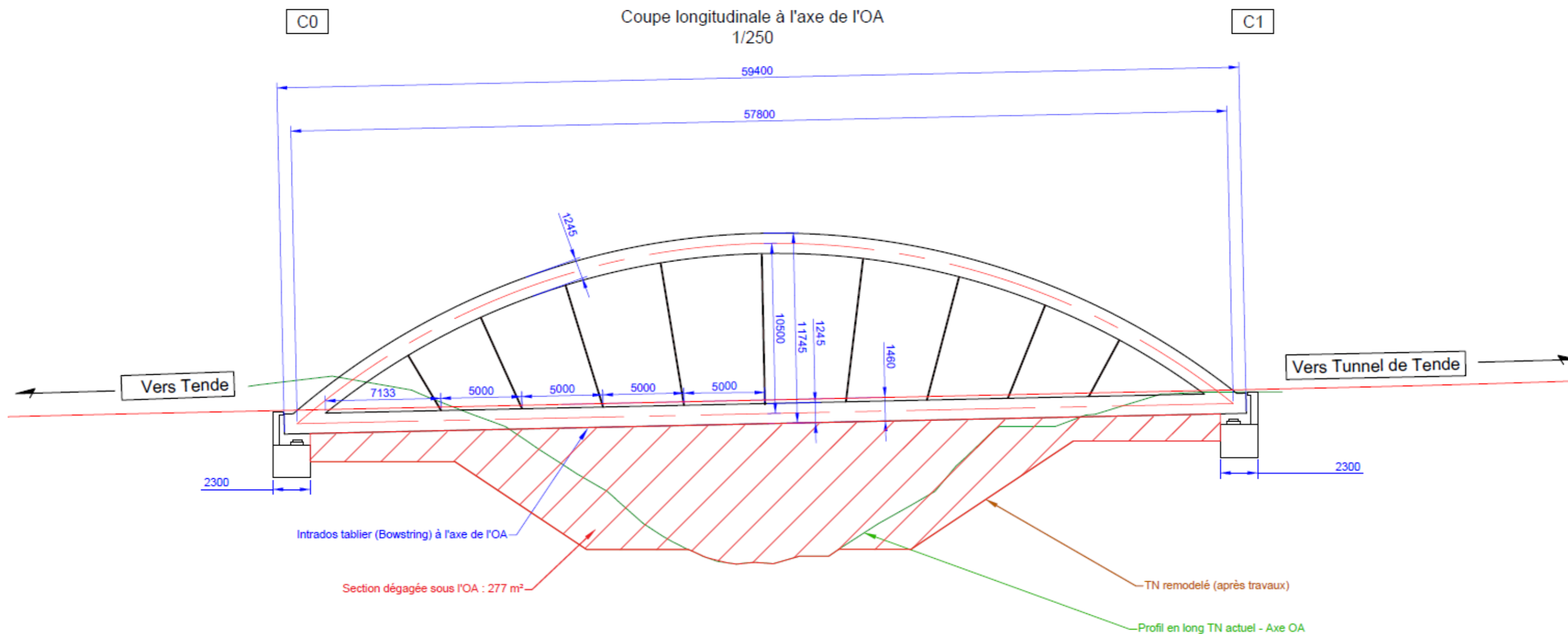


Illustration 97 Structure unica: sezione longitudinale lungo l'asse

La struttura scelta è del tipo "corda d'arco" in acciaio con arco autoancorato e una luce di 57,8 m per un'altezza a mezza campata di 11,75 m.

I tiranti e gli archi sono scatole di 1.445 mm x 1.245 mm in acciaio di grado S355 e di 45 mm di spessore. La lastra di calcestruzzo poggia su pezzi di ponte disposti secondo il seguente principio : un pezzo di ponte a destra di ogni " attacco " di sospensione, un pezzo di ponte al centro degli " attacchi " di ogni coppia di sospensioni. Al fine di aumentare la resistenza generale della struttura agli effetti della valanga, potrebbero essere previsti dei controventi orizzontali paralleli alle spalle che collegano tra loro gli archi nella parte centrale. Questa scelta può essere fatta durante gli studi successivi.

Le piastre che collegano gli archi ai tiranti sono fatte in acciaio di grado S355. Sono raggianti e hanno uno spessore di 45 mm e una larghezza leggermente inferiore a quella dei tiranti e degli archi, ovvero 1045 mm. In questa fase degli studi, il peso del piano stradale è stimato in 1.500 tonnellate di acciaio (archi, tiranti, sospensioni), 130 tonnellate di calcestruzzo e 200 tonnellate di sovrastrutture. La giunzione dei vari elementi in acciaio è realizzata mediante saldature (la saldatura garantisce una durata migliore rispetto ai bulloni HR).

La struttura è basata su cuscinetti in elastomero cerchiati.



Per quanto riguarda l'apertura e il tirante d'aria sotto la struttura, sono stati effettuati diversi tagli longitudinali: a monte della struttura, in corrispondenza del suo asse e a valle di essa. Questi tagli sono.

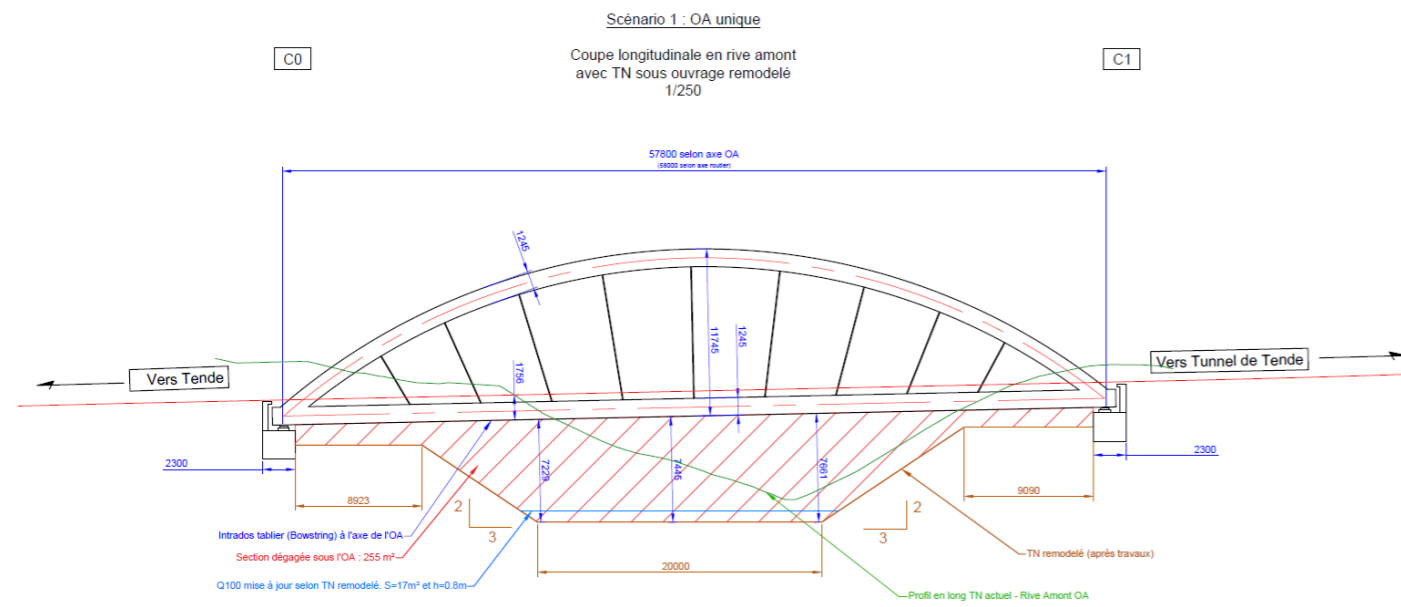


Illustration 98 *Struttura unica : Taglio longitudinale sul lato a monte con indicazioni di apertura idraulica*

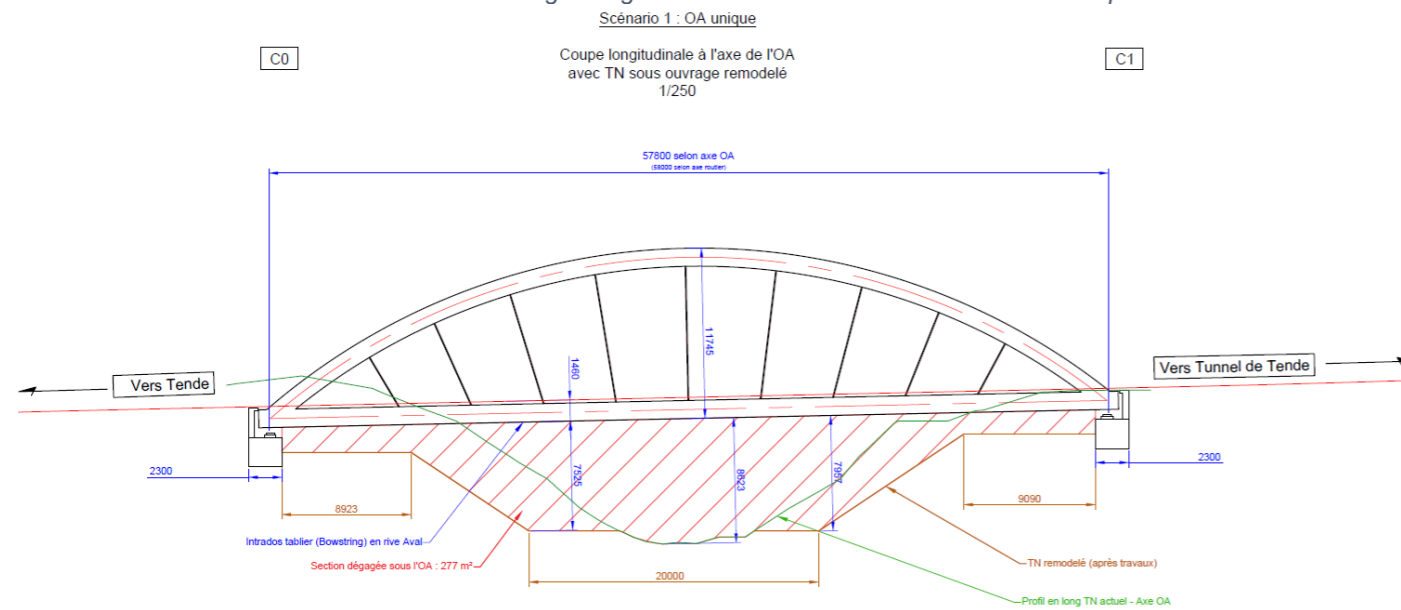


Illustration 99 *Struttura unica - Taglio longitudinale lungo l'asse con indicazioni di aperture idrauliche*

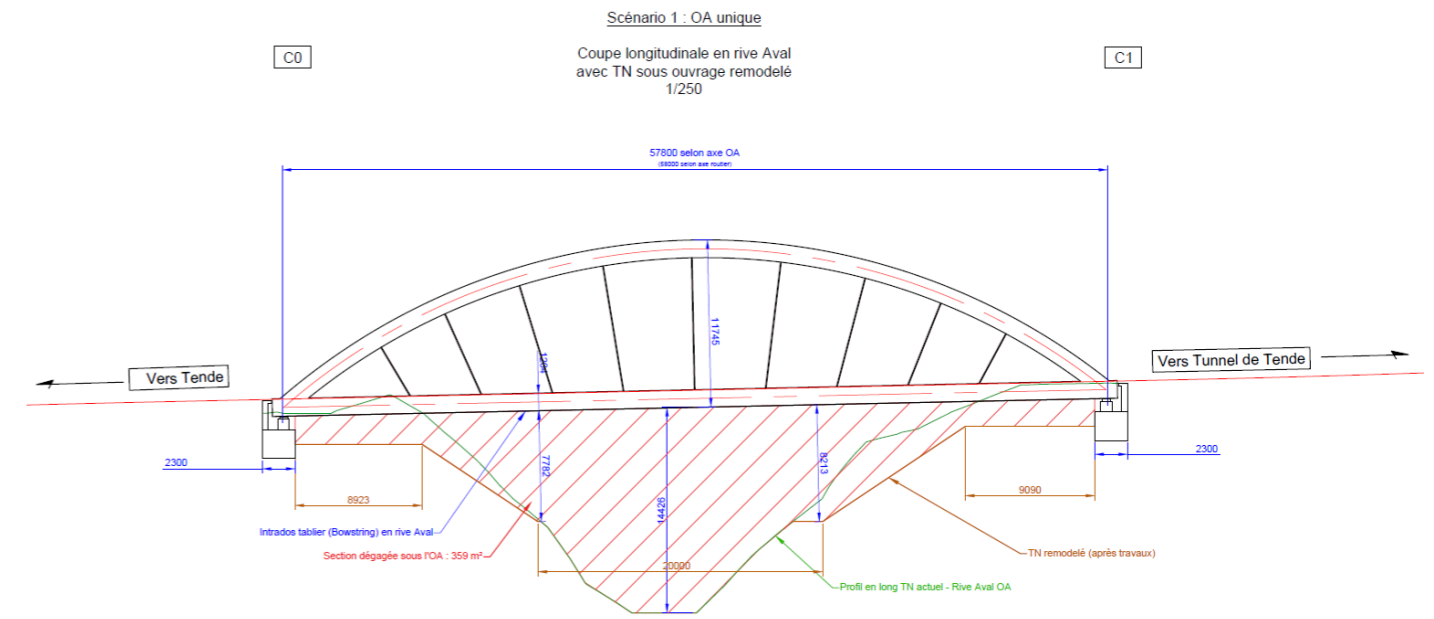


Illustration 100 *Struttura unica: Taglio longitudinale sul lato a valle con indicazioni delle aperture idrauliche*

In considerazione dei 3 tagli longitudinali soprastanti, si può notare che il taglio longitudinale critico rispetto all'apertura necessaria è il taglio a monte. Il terreno naturale a livello di questo taglio libera infatti solo 92 m<sup>2</sup> e un tirante d'aria massimo di 6,0 m. È quindi necessario eseguire lavori di sterro sotto la struttura per far fronte alle esigenze della potenziale frana : 250 m<sup>2</sup> di apertura e un tirante d'aria di 7,0 m. Il risparmio di spazio è massimizzato lateralmente anziché verticalmente. È quindi pianificato uno scavo di larghezza 20 m sotto la struttura a livello del terzo centrale. In seguito, il terreno è rimodellato con pendenze laterali di inclinazione a 3/2. Le viste sui tagli in corrispondenza dell'asse della struttura e a valle di essa consentono quindi di garantire che i lavori di sterro previsti portino alle aperture sufficienti. Si noti che a valle, il tirante d'aria è già di circa 14 m, quindi non è necessario liberare la parte centrale.

Per quanto riguarda il flusso d'acqua, la piena Q100 come definita nello studio RTM del 2005 è stata posizionata sulla sezione longitudinale in corrispondenza dell'asse della struttura soprastante, considerando che detta piena necessita un'apertura idraulica di 17 m<sup>2</sup>. Come accennato nella parte 5 di questa relazione, un nuovo studio idraulico dovrebbe essere pianificato prima delle prossime fasi di studio per confermare questa influenza dell'alluvione del secolo. Tuttavia, data la piccola apertura richiesta, sembrerebbe che lo stress idraulico sia ampiamente coperto dallo stress da frana.

Sono stati inoltre realizzati dei tratti longitudinali lungo l'asse del ruscello Ca per determinare l'entità dei lavori in terra e in particolare la distanza necessaria per recuperare il terreno naturale a monte della struttura. Questi piani sono:

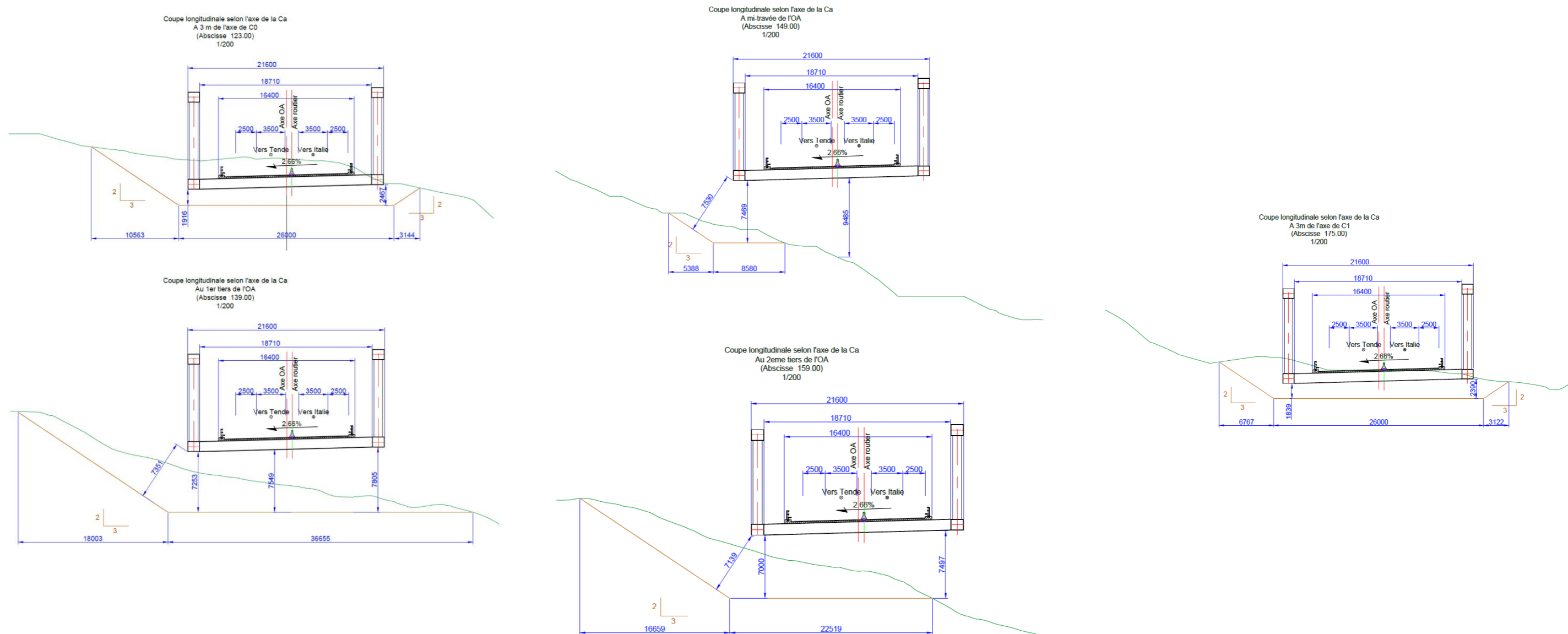


Illustration 101 *Struttura unica: Tagli longitudinali lungo l'asse del ruscello Ca*

È quindi possibile vedere su questi tratti longitudinali dell'asse del Ca che sono necessari al massimo quindici metri per recuperare il terreno naturale a monte della struttura, il che è abbastanza ragionevole.

Per quanto riguarda le spalle, nell'ambito di questo studio sono stati effettuati calcoli di pre-dimensionamento, in particolare tenendo conto dell'azione della valanga. Questi calcoli hanno prodotto il seguente schema di principio per le spalle.

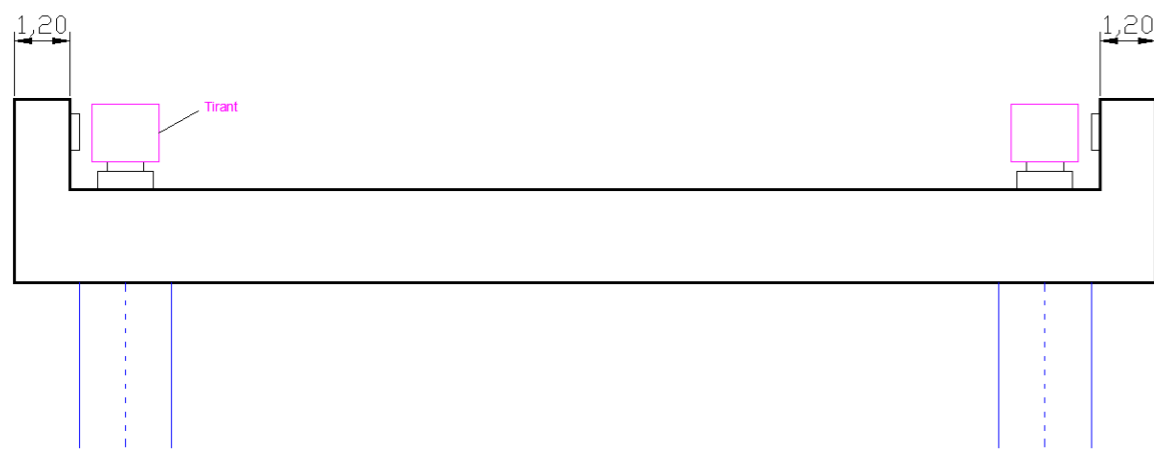


Illustration 102 Piano di elevazione principale per le spalle

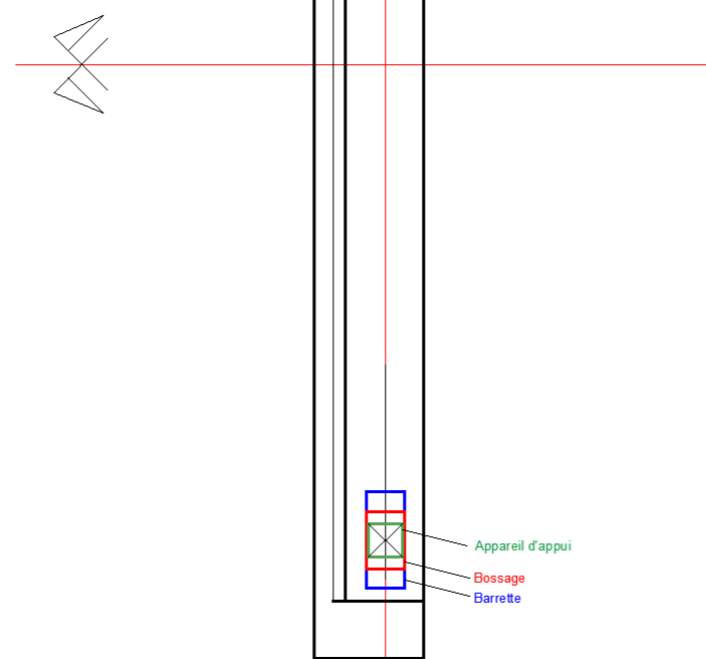


Illustration 103 Piano di principio a metà vista per le spalle

Le spalle della struttura sono in cemento armato con fondazioni profonde tipo barrette. Le forze di valanga portano a considerare una forza orizzontale significativa sulla struttura, stimata in questa fase di pre-dimensionamento in 33 MN per spalla (forza che tiene conto del peso di 1,3). Sono poi previste arresti laterali fortemente rinforzati a monte e a valle (da un punto di vista teorico rispetto alla valanga è necessaria solo l'arresto a valle ma in un'idea di disegno simmetrico e manutenzione laterale della struttura. Necessaria anche in relazione all'azione sismica, sono previsti arresti su ogni lato di ogni spalla). Su questi arresti sono previsti cuscinetti in elastomero con telaio verticale. Per garantire la stabilità della struttura durante le valanghe è previsto anche un sistema antisollevamento del piano stradale (ad esempio mediante tondini in acciaio)..

Le fondazioni sono profonde del tipo a sbarre con una sezione di 0,80 m x 2,00 m e di lunghezza adattata in base alle formazioni presenti. Il pre-dimensionamento delle sbarre è presentato nel paragrafo 7.5.3.

Si noti che l'impianto previsto per le spalle in questo studio permette di evitare a priori la zona di impianto delle fondazioni (del tipo a sbarre) della struttura che è stata distrutta, il che evita una complicazione durante i lavori per le fondamenta della futura opera.

### 7.3.5.2 Metodo di costruzione

I lavori in terra che consentono di liberare un'apertura sufficiente sotto la struttura sono classici, come lo sono anche la costruzione delle fondazioni a sbarre e quella in cemento armato colato al posto delle spalle.

Per quanto riguarda il piano stradale, il sito offre poca scelta. Innanzitutto, le varie parti in acciaio del piano stradale dovranno essere consegnate in piccoli pezzi poiché la strada di montagna non consente a priori il trasporto di colli di peso e dimensioni rilevanti.

L'assemblaggio dei numerosi elementi mediante saldatura è quindi eseguito in loco. Data la configurazione del sito, è piuttosto difficile prevedere la realizzazione di una piattaforma di dimensioni sufficienti per assemblare l'intera struttura. Un assemblaggio in loco per mezzo di un ponteggio provvisorio posto nel vallone del Ca per contenere i vari elementi del piano stradale sembra la soluzione più appropriata.

La possibilità di realizzare il ponteggio provvisorio nel vallone del Ca dovrà essere confermata da uno studio ambientale.

### 7.3.5.3 Calcolo sintetico dei costi della soluzione

Il rapporto utilizzato per il calcolo sintetico dei costi della struttura è di 6.000 euro IVA esclusa al metro quadro.

Si ottiene quindi un costo per la struttura dello scenario 1 di  $21,6 \times 57,8 \times 6\,000 = 7\,490\,880$  euro IVA esclusa arrotondato a 7,5 milioni euro IVA esclusa.

### 7.3.6 Ricostruzione della piattaforma a livello del tunnel Est

In questo scenario, la piattaforma a livello del tunnel Est, crollata, è di scarsa utilità. Tuttavia sarà necessario prevedere una sistemazione per garantire la sicurezza a chi si reca nelle vicinanze. La sistemazione può consistere nella ricostruzione di una piccola piattaforma in pianta. Questa ricostruzione non è studiata in questo documento..

## 7.4 Scenario 2: due strutture

### 7.4.1 Cenni generali

Lo scenario n.2 consiste nella costruzione di due strutture, una per ogni direzione di traffico e davanti a ogni canna. In altre parole, si tratterebbe di tornare alla situazione originaria, prima del crollo delle strutture. Questo scenario n.2 ha il vantaggio del fatto che non sarebbe poi necessario deviare il tunnel Est. Lo svantaggio di questo scenario è che richiede la ricostruzione di una piattaforma a livello della canna Est, in particolare mediante un muro di contenimento.

### 7.4.2 Livello di ritenuta da considerare per la struttura

#### 7.4.2.1 Struttura Nord

Il calcolo dell'indice di pericolo effettuato secondo la guida Sétra "Choix d'un dispositif de retenue en bord libre d'un pont en fonction du site" del 2002 è il seguente:

Tableau 11 Due strutture - Struttura Nord - Indice di pericolo sulla struttura

ID1	ID2	ID3
trafic retenu <input type="text" value="2200"/> vehicules / jour / sens	sous-indice hauteur de chute <input type="text" value="3"/> Hchute = 9 m	
sous-indice trafic <input type="text" value="11"/>	sous-indice profondeur de l'eau <input type="text" value="0"/>	
sous-indice poids lourds <input type="text" value="0"/>	<b>total ID2</b> <input type="text" value="3"/>	
sous-indice niveau de service <input type="text" value="0"/>	<b>ID3</b>	
sous-indice tracé <input type="text" value="3"/>	sous-indice voie franchie <input type="text" value="0"/>	
sous-indice pente <input type="text" value="0"/>	sous-indice voies ferrées <input type="text" value="0"/>	
sous-indice courbure <input type="text" value="1"/>	sous-indice présence humaine <input type="text" value="0"/>	
sous-indice points de conflits <input type="text" value="0"/>	<b>total ID3</b> <input type="text" value="0"/>	
sous-indice longueur de brèche <input type="text" value="4"/>	<b>TOTAL ID</b> <input type="text" value="22"/>	
<b>total ID1</b> <input type="text" value="19"/>		
<b>TOTAL ID</b> <input type="text" value="22"/>		

**Niveau de retenue choisi :** H2 avec fonction garde corps

Essendo l'indice di pericolo totale 22, si propone di utilizzare un livello di ritenuta H2, con funzione di protezione (scelta di una funzione di protezione per lo stesso motivo dello scenario 1).

Il calcolo dell'indice di pericolo secondo l'ultima versione provvisoria della revisione della guida Cerema "Choix d'un dispositif de retenue en bord libre d'un pont en fonction du site" porta ad un indice di pericolo di 21 e ad una scelta del livello di ritenuta H2. Poiché il livello di ritenuta determinato con la versione provvisoria della futura guida è identico a quello determinato con la guida attuale, non è necessario prevedere una disposizione speciale in previsione della pubblicazione della nuova guida.

Inoltre, viene eseguita la stessa riflessione della singola struttura per quanto riguarda la deformazione del dispositivo di ritenuta sotto impatto : affinché tale dispositivo non urti altre parti delle strutture, la larghezza di funzionamento W è limitata a 0,80 m, il che implica anche richiedere un livello di ritenzione H3 al fine di moltiplicare le soluzioni di eventuali dispositivi di ritenzione.

In sintesi, il livello di ritenzione da considerare per la struttura è il livello H2 oppure H3, con funzione di protezione e larghezza di funzionamento W minore o uguale a 0,80 m.

### 7.4.2.2 Struttura Sud

Il calcolo dell'indice di pericolo effettuato secondo la guida Sétra "Choix d'un dispositif de retenue en bord libre d'un pont en fonction du site" del 2002 è il seguente:

Tableau 12 Due structures - Struttura Nord - Indice di pericolo sulla struttura

<b>ID1</b>		<b>ID2</b>	
trafic retenu	2200 vehicules / jour / sens	sous-indice hauteur de chute	3 Hchute = 9 m
sous-indice trafic	11	sous-indice profondeur de l'eau	0
sous-indice poids lourds	0	<b>total ID2</b>	<b>3</b>
sous-indice niveau de service	0	<b>ID3</b>	
sous-indice tracé	4	sous-indice voie franchie	0
sous-indice pente	0	sous-indice voies ferrées	0
sous-indice courbure	1	sous-indice présence humaine	0
sous-indice points de conflits	0	<b>total ID3</b>	<b>0</b>
sous-indice longueur de brèche	4		
<b>total ID1</b>	<b>20</b>		

**TOTAL ID** 23

**Niveau de retenue choisi :** H2 avec fonction garde corps

Essendo l'indice di pericolo totale 23, si propone di utilizzare un livello di ritenuta H2, con funzione di protezione (scelta di una funzione di protezione per lo stesso motivo dello scenario 1).

Il calcolo dell'indice di pericolo secondo l'ultima versione provvisoria della revisione della guida Cerema "Choix d'un dispositif de retenue en bord libre d'un pont en fonction du site" porta ad un indice di pericolo di 22 e ad una scelta del livello di ritenuta H2. Poiché il livello di ritenuta determinato con la versione provvisoria della futura guida è identico a quello determinato con la guida attuale, non è necessario prevedere una disposizione speciale in previsione della pubblicazione della nuova guida.

Inoltre, viene eseguita la stessa riflessione della singola struttura per quanto riguarda la deformazione del dispositivo di ritenuta sotto impatto : affinché tale dispositivo non urti altre parti delle strutture, la larghezza di funzionamento W è limitata a 0,80 m, il che implica anche richiedere un livello di ritenzione H3 al fine di moltiplicare le soluzioni di eventuali dispositivi di ritenzione.

In sintesi, il livello di ritenzione da considerare per la struttura è il livello H2 oppure H3, con funzione di protezione e larghezza di funzionamento W minore o uguale a 0,80 m.

### 7.4.3 Tracciato stradale

Lo scenario 2 : " Due strutture " corrisponde alla soluzione adottata pre-evento con una struttura Sud che collega il tunnel Est (storico) e una struttura Nord che collega il tunnel Ovest (nuovo tunnel in fase di costruzione). Ai fini dello studio si ritiene che l'asse del tunnel Ovest (uscita) rimanga invariato mentre quello del tunnel Est (ingresso) sarà modificato a causa del crollo di parte della piattaforma a destra di esso.

#### 7.4.3.1 Tracciato in piano

L'origine del progetto è identica a quella dello scenario 1 e corrisponde alla fine del tracciato del 2008 realizzato per i tornanti Est e Ovest. La prima curva è stata posizionata in modo da garantire un raccordo tangente con l'ultimo elemento geometrico del vecchio tracciato. L'estremità del progetto si trova a destra della testata del tunnel Ovest per la corsia in direzione Italia verso Francia e 30 m a valle della testata del tunnel Est in direzione opposta. Per entrambe le direzioni di traffico, i collegamenti alle

gallerie esistenti sono conformi alle raccomandazioni ARP ma sono stati costruiti da assi geometrici presunti per i tunnel Est e Ovest (dati non forniti per lo studio)..

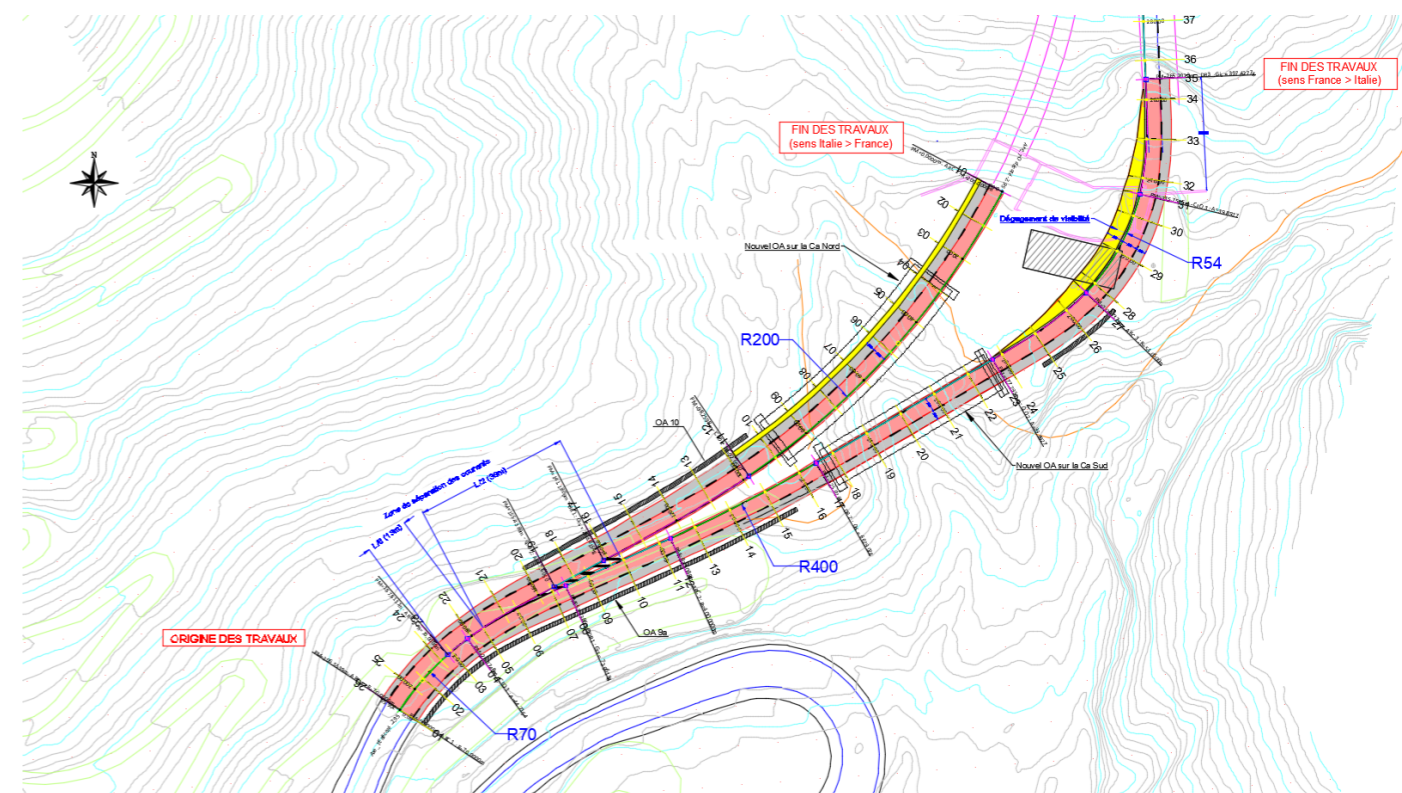


Illustration 104 Due structures – Tracciato in piano

In direzione Italia> Francia - Struttura Nord

L'asse della pianta è assimilato ad una curva "ad S", i cui raggi corrispondono a quello del tunnel Ovest a destra della struttura di uscita (R = 200) e a quello dell'ultimo elemento geometrico proposto per il tracciato del tornante del 2008 (R = 70). Non si è ritenuto necessario modificare quest'ultimo date le regole di concatenamento e il basso valore dei raggi esistenti sul tratto a monte del progetto (tornanti est e ovest).

I raggi di curvatura sono compresi tra 70 m (sviluppato su 19 m) e 200 m (sviluppato su 98 m). Poiché il concatenamento dei raggi non può essere rispettato, si è privilegiato di offrire buone condizioni di visibilità in avvicinamento al primo tornante incontrato

La tabella di seguito presenta la successione degli elementi geometrici:

Tableau 13 :Due strutture - Struttura Nord - Tracciato in piano - Successione degli elementi geometrici

Nome	Elementi - Caratteristiche		Lunghezza	Ascissa	Punti di contatto		
	Parametri				X	Y	
Arco 1	Raggio	-200,000 m	98,260	0,000	1065439,279	6348365,461	
	Centro X	1065262,097 m					
	Centro Y	6348458,233 m					
Clotoide 1	Parametro	92,651	42,921	98,260	1065374,555	6348292,845	
Retta 1	Altezza	268.82gr	14,258	141,181	1065337,446	6348271,320	
Clotoide 2	Parametro	47,605	32,375	155,439	1065324,865	6348264,612	
Arco 2	Raggio	70,000 m	18,740	187,814	1065297,619	6348247,268	
	Centro X	1065343,834 m					
	Centro Y	6348194,692 m					
Lunghezza complessiva dell'asse 206.554 metri					206,554	1065285,357	6348233,170

In direzione Francia> Italia - Struttura Sud

L'asse orizzontale è costituito da curve, linee dritte e clotoidi. I raggi di curvatura sono compresi tra 54 m (sviluppato su 29 m), 70 m (sviluppato su 25 m) e 400 m (sviluppato su 42 m).

Una curva di R = 400 m (valore per il quale la curva non è più inclinata secondo l'ARP in rilievo accidentato) è stata adottata a monte della struttura di attraversamento del ruscello Ca al fine di evitare l'uso di una clotoide sulla struttura e mantenere una sola sopraelevazione di 2,50% verso l'esterno della carreggiata. A valle della struttura è stata proposta una curva di R = 54 m per limitare da un lato lo sviluppo della clotoide a destra della spalla della struttura e consentire il mantenimento di una velocità praticabile di 50 km / h.

La tabella di seguito presenta la successione degli elementi geometrici:

Tableau 14 :Due strutture - Struttura Sud - Tracciato in piano - Successione degli elementi geometrici

Nome	Elementi - Caratteristiche		Lunghezza	Ascissa	Punti di contatto	
	Parametri				X	Y
Arco 1	Raggio	-70,000 m	25,175	0,000	1065285,374	6348233,194
	Centro X	1065343,834 m				
	Centro Y	6348194,692 m				
Clotoide 1	Parametro	44,715	28,564	25,175	1065302,664	6348251,305
Retta 1	Altezza	72.96gr	29,370	53,739	1065327,784	6348264,791
Arco 2	Raggio	400,000 m	41,918	83,109	1065354,545	6348276,894
	Centro X	1065189,719 m				
	Centro Y	6348641,356 m				
Retta 2	Altezza	66.29gr	52,267	125,026	1065391,764	6348296,134
Clotoide 2	Parametro	39,893	29,444	177,293	1065436,873	6348322,535
Arco 3	Raggio	54,050 m	29,022	206,737	1065460,754	6348339,592
	Centro X	1065421,910 m				
	Centro Y	6348377,176 m				
Clotoide 3	Parametro	-39,893	29,444	235,759	1065474,512	6348364,750
Retta 3	Altezza	397.43gr	39,003	265,202	1065475,988	6348394,060
				304,205	1065474,413	6348433,031
		Lunghezza complessiva dell'asse 304.205 metri				

### 7.4.3.2 Profilo longitudinale

I profili longitudinali sono costituiti da rampe successive collegate tra loro da raggi parabolici. Sono stati incuneati nella parte più alta in modo da lasciare una sagoma massima sotto la struttura per consentire il miglior flusso possibile di materiali dal vallone del Ca.

Il raggio minimo utilizzato nel profilo longitudinale è 3.300 m per i raggi in un angolo saliente e 1.500 m per i raggi in un punto di contatto.

In direzione Italia> Francia - Struttura Nord

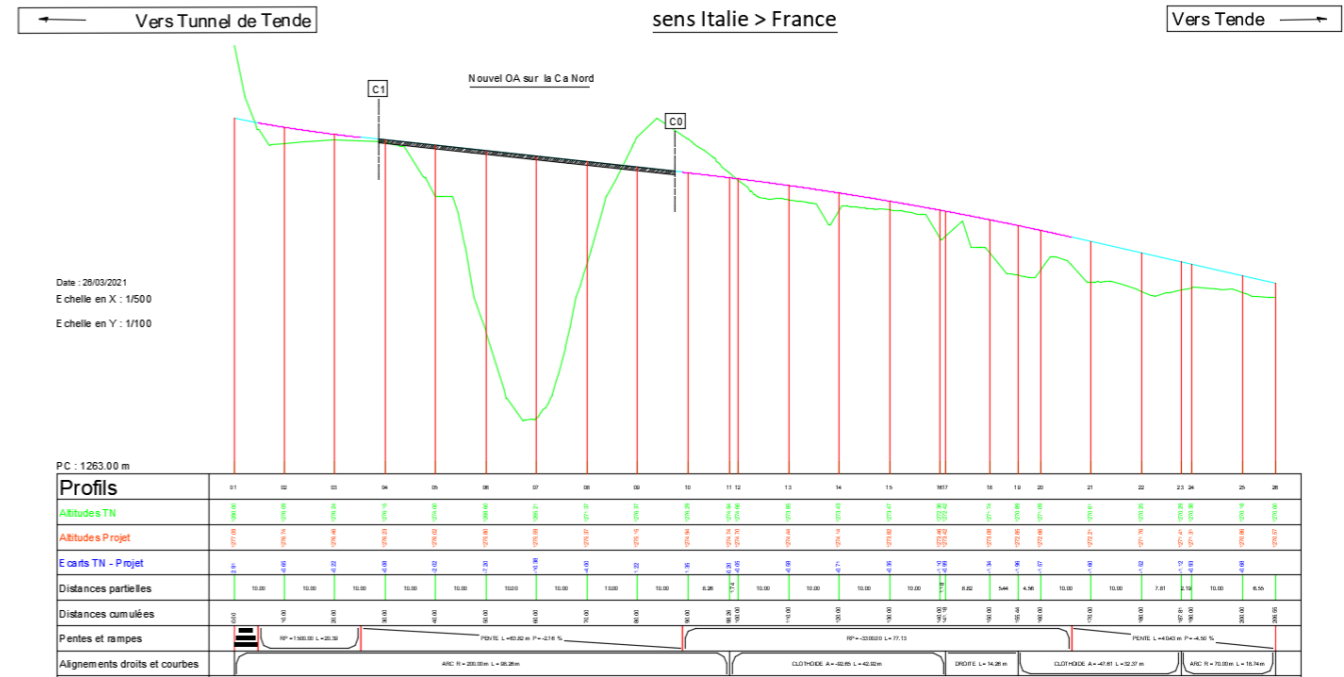


Illustration 105 :Due strutture - Struttura Nord - Profilo longitudinale

Le pendenze delle rampe sono:

- -3,52% a destra della testata del tunnel (valore simile a quello del tunnel Ovest),
- -2,16 % sulla struttura Nord (valore massimo scelto per favorire l'altezza sotto la struttura),
- -4,50 % nella curva R=70m (valore simile a quello del tratto adiacente).

La tabella di seguito presenta la successione degli elementi geometrici:

Tableau 15 :Due strutture - Struttura Nord - Profilo longitudinale - Successione degli elementi geometrici

Nome	Elementi - Caratteristiche		Lunghezza	Punti di contatto	
	Pendenza / Raggio			Ascissa	Altitudine
Pendenza 1	Pendenza	-3,52 %	4,779	0,000	1277,087
Parabola 1	Raggio	1500,000 m	20,393	4,779	1276,918
	Vertice ascissa.	57,613 m			
	Vertice altitudine	1275,988 m			
Pendenza 2	Pendenza	-2,16 %	63,822	25,172	1276,339
Parabola 2	Raggio	-3300,000 m	77,131	88,994	1274,958
	Vertice ascissa.	17,625 m			
	Vertice altitudine	1275,730 m			
Pendenza 3	Pendenza	-4,50 %	40,429	166,125	1272,389
Lunghezza complessiva dell'asse 206.554 metri				206,554	1270,570
Lunghezza sviluppata complessiva dell'asse 206.666 metri					

In direzione Francia> Italia - Struttura Sud

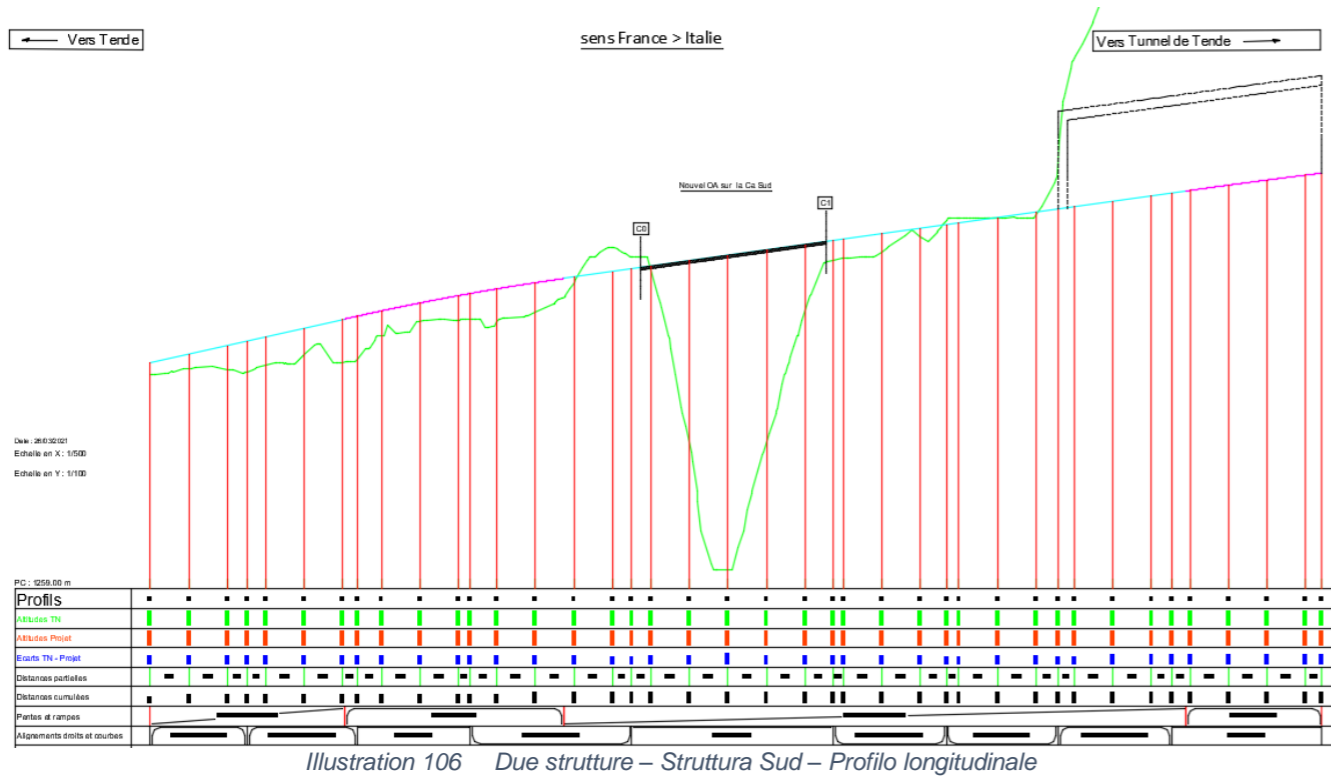


Illustration 106 Due strutture - Struttura Sud - Profilo longitudinale

Le pendenze delle rampe sono:

- +4,50 % nella curva R=70m (valore simile a quello del tratto adiacente).
- +2,78 % sulla struttura Sud (valore massimo scelto per favorire l'altezza sotto la struttura),
- +3,72% davanti alla testata del tunnel (valore simile a quello del tunnel Ovest),

La tabella di seguito presenta la successione degli elementi geometrici:

Tableau 16 :Due strutture - Struttura Sud - Profilo longitudinale - Successione degli elementi geometrici

Nome	Elementi - Caratteristiche		Lunghezza	Punti di contatto	
	Pendenza / Raggio			Ascissa	Altitudine
Pendenza 1	Pendenza	4,50 %	50,485	0,000	1270,568
Parabola 1	Raggio	-3300,000 m	56,895	50,485	1272,840
	Vertice ascissa.	198,985 m			
	Vertice altitudine	1276,181 m			
Pendenza 2	Pendenza	2,78 %	161,571	107,380	1274,910
Parabola 2	Raggio	-10305,000 m	35,253	268,951	1279,395
	Vertice ascissa.	555,009 m			
	Vertice altitudine	1283,365 m			
				304,205	1280,313
Lunghezza complessiva dell'asse 304.205 metri					
Lunghezza sviluppata complessiva dell'asse 304.369 metri					

7.4.3.3 Profili trasversali

I profili trasversali tipici utilizzati sono :

Profilo bidirezionale a 2 corsie

Questo profilo si estende tra il tornante ovest e la separazione delle correnti.

- Due banchine transitabili destre (BDD) di 1,50 m
- Una carreggiata di 7,00 m

cioè 10,00 m di larghezza transitabile.

Profilo bidirezionale a 2 vie

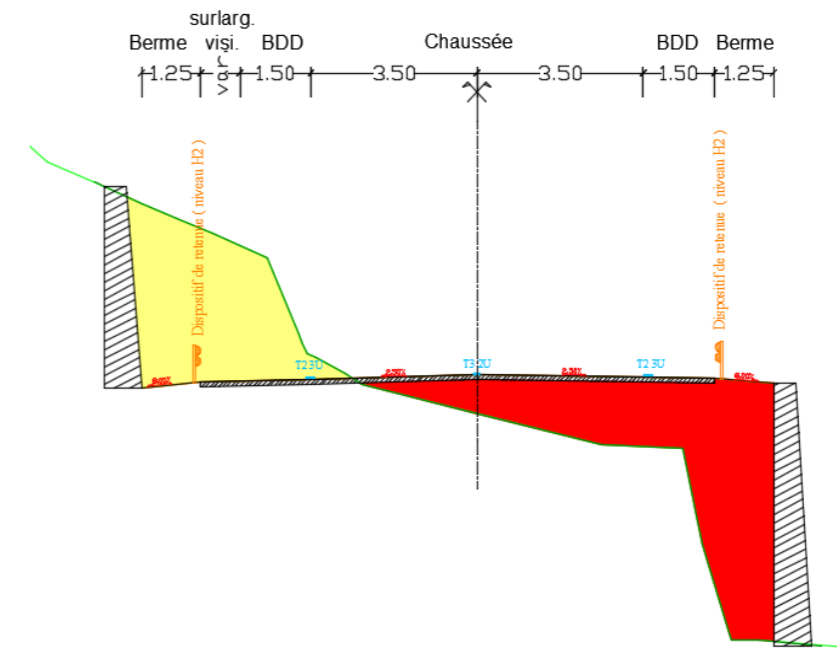


Illustration 107 Profilo bidirezionale a 2 corsie - Profilo trasversale

Profilo unidirezionale a 1 corsia

Questo profilo si estende tra l'attuale separazione delle correnti e i collegamenti con il tunnel Est e Ovest.

- Una banchina transitabile sinistra (BDG) di 0,50 m
- Una corsia di circolazione di 3,50 m
- Una banchina transitabile destra (BDD) di 2,50 m

cioè 6,50 m di larghezza transitabile.

Profilo unidirezionale a 1 voie

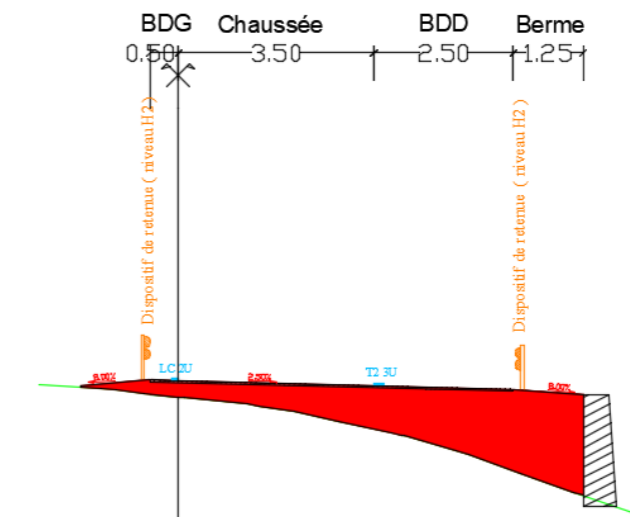


Illustration 108 Profilo unidirezionale a 1 corsie - Profilo trasversale

In direzione Italia> Francia - Struttura Nord

Nelle curve con un raggio inferiore a 200 m, è introdotta una larghezza supplementare nelle curve. Questa larghezza supplementare vale, per corsia di circolazione, 25 / R (in m) secondo le raccomandazioni dell'ARP per le strade in rilievo accidentato. La larghezza massima supplementare si trova nella curva R = 70 m a monte dei due tornanti est e ovest ed è pari a

0,35 m. La sezione trasversale incorpora una banchina di almeno 1,25 m che può ospitare dispositivi di sicurezza e di depurazione superficiale come grondaie o cunette di moderata profondità.

La pendenza della carreggiata varia tra - 2,67% e 4,21% in applicazione delle raccomandazioni del rilievo difficile ARP, il massimo è raggiunto anche nella curva R = 70 m. La pendenza della strada è costante al -2,67% nella struttura nord.

#### In direzione Francia> Italia - Struttura Sud

Nelle curve con un raggio inferiore a 200 m, è introdotta una larghezza supplementare nelle curve. Questa larghezza supplementare vale, per corsia di circolazione,  $25 / R$  (in m) secondo le raccomandazioni dell'ARP per le strade in rilievo accidentato. La larghezza massima supplementare si trova nella curva R = 70 m a valle dei due tornanti est e ovest ed è approssimativamente di 0,35 m. La sezione trasversale incorpora una banchina di almeno 1,25 m che può ospitare dispositivi di sicurezza e di depurazione superficiale come grondaie o cunette di moderata profondità.

La pendenza della carreggiata varia tra - 2,50 % e 4,92 % in applicazione delle raccomandazioni del rilievo difficile ARP, il massimo è raggiunto anche nella curva R = 54 m. La pendenza della strada è costante al -2,50% nella struttura sud.

#### 7.4.3.4 Visibilità

Il livello di prestazione da garantire per il progetto è il NPV A, tenendo conto della presenza di punti singolari come la testata del tunnel (entrata e uscita) e la separazione delle correnti. Le distanze di arresto (da) applicabili allo "scenario 2 : Due strutture" variano tra 56 m nella curva R=54,0 m (50 km/h – NPV A) e 96 m nella curva R=200 m (70 km/h - NPV A).

#### In direzione Italia> Francia

Il controllo della visibilità ha rilevato perdite di visibilità su un ostacolo situato sulla carreggiata nella curva R = 200 m tra i profili 01 e 07, su una distanza lineare di circa 60 m (ovvero l'equivalente di 3,1 secondi a 70 km / h). La visibilità minima calcolata dal software è di 84 m invece dei 96 m consigliati dalla guida alla visibilità.

L'offset della maschera laterale necessario per cancellare la visibilità alla distanza di arresto è pari a  $5,80 \text{ m} (da^2/8R)$  e si traduce in una larghezza di visibilità supplementare di **1,30 m, 1,30 m oltre il bordo de la BDD** (in giallo nel diagramma sottostante).

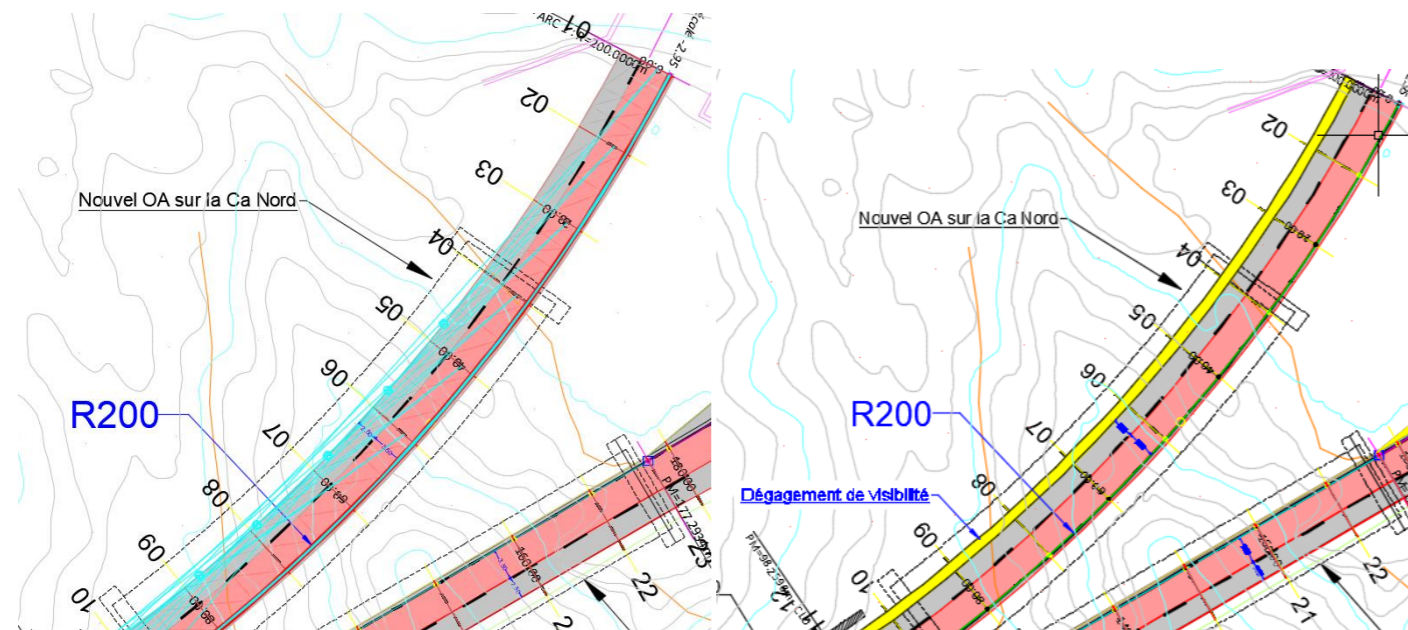


Illustration 109 Traitement delle "maschere" di visibilità

Sinistra: Perdite di visibilità nella curva R=200 m (profili 01 a 07)

Destra : larghezza supplementare di 1,30 m che garantisce una visibilità da = 96 m

La larghezza del BDD è aumentata da 2,50 ma 3,40 m nella curva R = 200 m oltre alla riserva di uno spazio di 0,40 m che può essere dedicato alla raccolta delle acque superficiali.

#### In direzione Francia> Italia

Il controllo della visibilità ha rilevato perdite di visibilità su un ostacolo situato sulla carreggiata nella curva R = 54 m tra i profili 22 e 29, su una distanza lineare di circa 50 m (ovvero l'equivalente di una zona di visibilità ridotta durante 3,7 secondi a 50 km / h). La visibilità minima calcolata dal software è di 31 m (tra P26 e P28) invece dei 56 m consigliati dalla guida alla visibilità.

L'offset della maschera laterale necessario per cancellare la visibilità alla distanza di arresto è pari a  $7,00 \text{ m} (da^2/8R)$  e si traduce in una larghezza di visibilità supplementare di **4,75 m, 1,30 m oltre il bordo de la BDG** (in giallo nel diagramma sottostante).

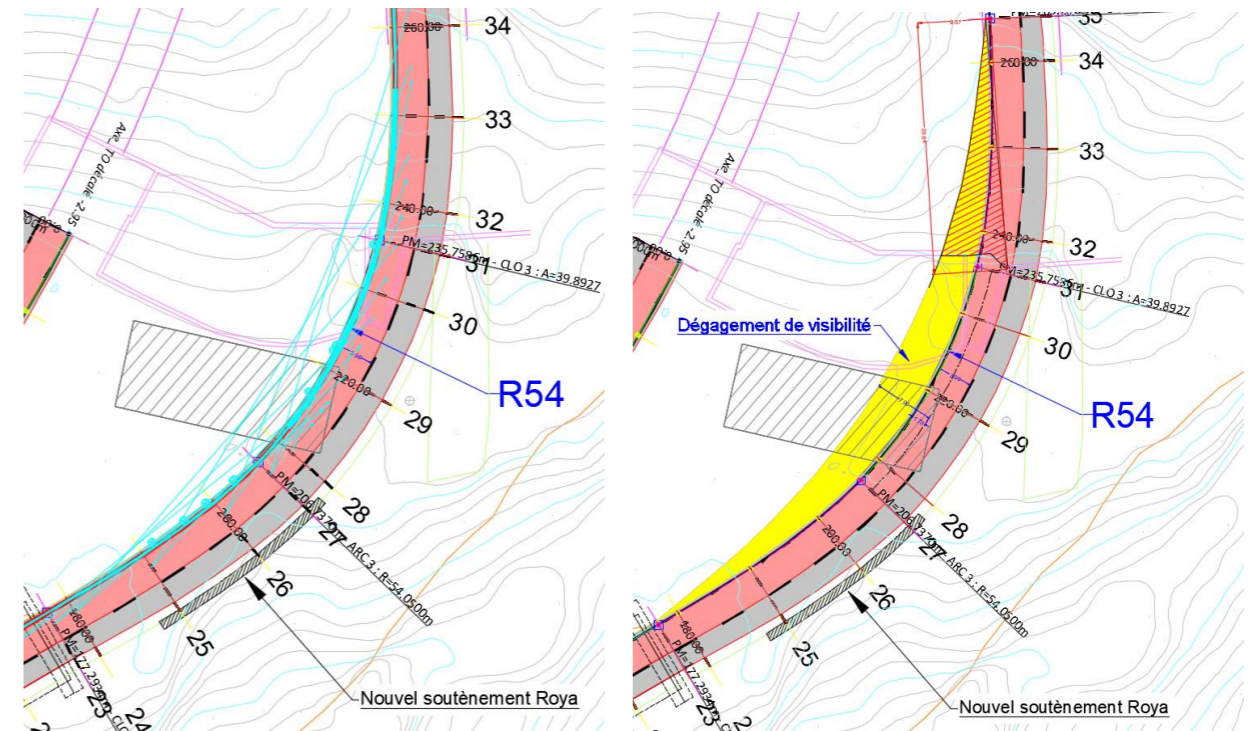


Illustration 110 Traitement delle "maschere" di visibilità

Sinistra: Perdite di visibilità nella curva R=54 m (profili 22 a 29)

Destra : larghezza supplementare di 4,75 m che garantisce una visibilità da = 56m

#### 7.4.4 Possibili soluzioni di opere d'arte

La riflessione per le possibili soluzioni per le due strutture dello scenario 2 è identica a quella dello scenario 1 con un'unica struttura. In genere, occorre ricordar, sia per la struttura Nord che per quella Sud, una struttura a campata unica e travi laterali del tipo "corda d'arco" in acciaio. Anche la struttura di tipo Warren è possibile ma non è sviluppata nello studio.

Il vincolo riguardante l'apertura sotto le strutture che consente il passaggio della frana senza urtarle è lo stesso della struttura dello scenario 1, ovvero un'apertura di almeno 250 m<sup>2</sup> e uno spazio libero al centro di ciascuna delle due strutture di almeno 7 m.

Per quanto riguarda il rischio valanga, in questo studio si considera la stessa azione (altezza e intensità) per la struttura Sud come per la struttura Nord. In altre parole, per sicurezza, non è considerata una protezione della struttura Sud da parte della struttura Nord. Questo aspetto potrà essere affinato nel corso del nuovo studio speciale sulle valanghe che vi proponiamo.

Un ulteriore vincolo dello scenario 2 è il fatto che sul lato sud-ovest, il tracciato stradale richiede strutture relativamente vicine. Il progetto generale deve quindi consentire di evitare conflitti geometrici tra le due strutture.

## 7.4.5 Strutture scelte in questo studio

### 7.4.5.1 Descrizione della struttura Nord

La struttura scelta è del tipo "corda d'arco" in acciaio. A differenza della soluzione dello scenario 1, la struttura non è progettata con una larghezza supplementare che la rende rettilinea per i seguenti motivi:

- Se la struttura Nord fosse realizzata dritta tramite una larghezza supplementare, ci sarebbe un conflitto geometrico con la struttura Sud;
- Poiché il piano stradale della struttura Nord è più stretto della struttura nello scenario 1, le forze coinvolte nei tiranti e negli archi sono meno importanti, gli effetti del secondo ordine e gli effetti della curvatura sono quindi meno problematici.

Al fine di aumentare la resistenza generale della struttura agli effetti della valanga, sono previsti 3 controventi trasversali alla sommità degli archi per collegarli tra loro.

Sono riportati di seguito i piani principali di questa soluzione.

La lastra della struttura è una lastra BHP di 15 cm di spessore.

L'impermeabilizzazione è costituita da lastre prefabbricate monostrato da 5 mm e l'asfalto ha uno spessore di 60 mm. Come evocato nella sezione sul livello di ritenuta, i dispositivi sono di livello H2 o H3 con funzione di barriera di protezione. Dal punto di vista di depurazione è prevista una grondaia in asfalto sul lato inferiore. Una riflessione più generale sul drenaggio dell'acqua dovrà essere svolta nelle fasi successive degli studi.

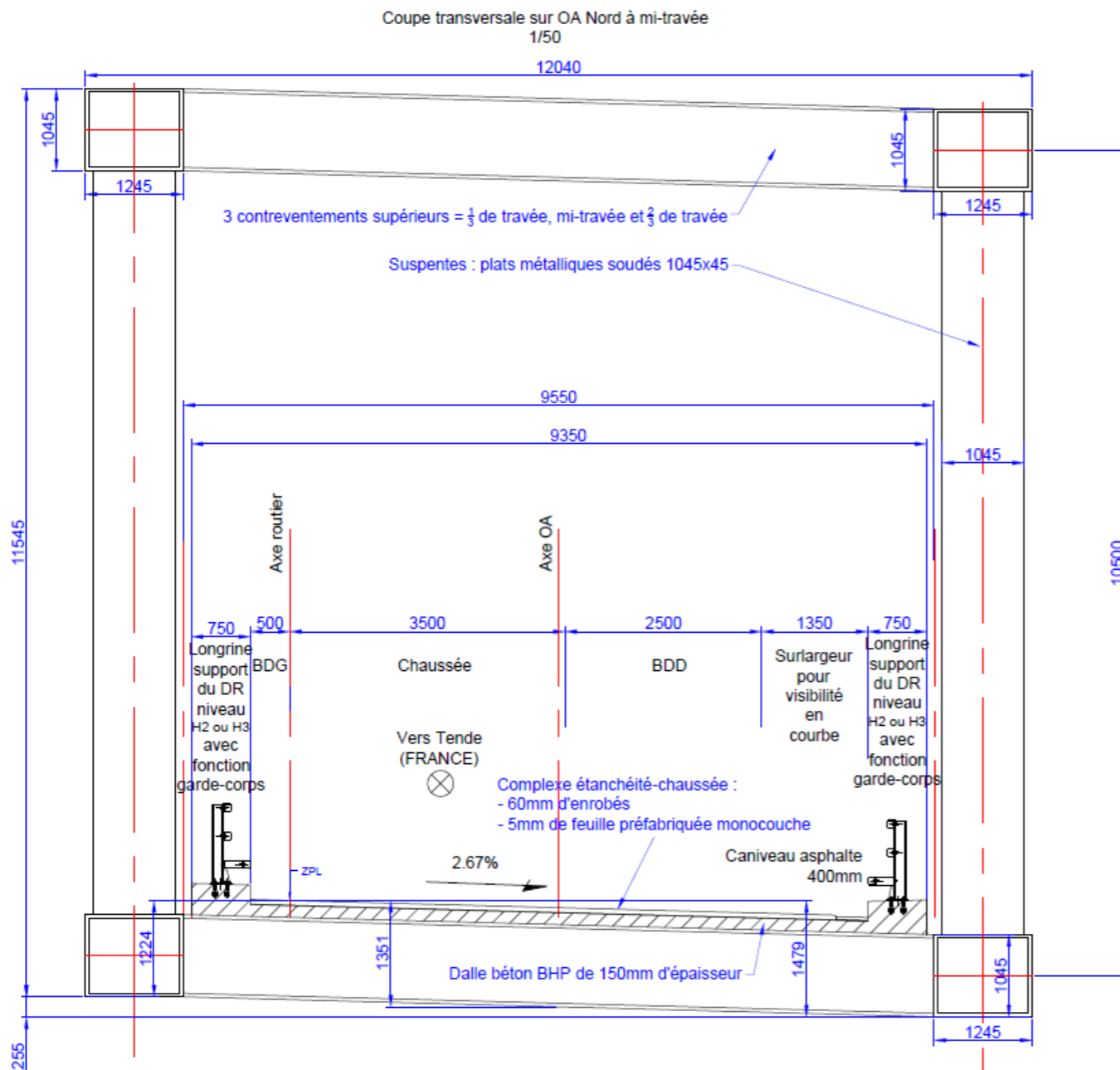


Illustration 111 Due strutture: Taglio trasversale della struttura Nord





Illustration 112 Due strutture: Vista in pianta delle strutture

**Scénario 2 : Deux ouvrages**  
**Ouvrage Nord**  
 Coupe longitudinale à l'axe de l'OA  
 1/250

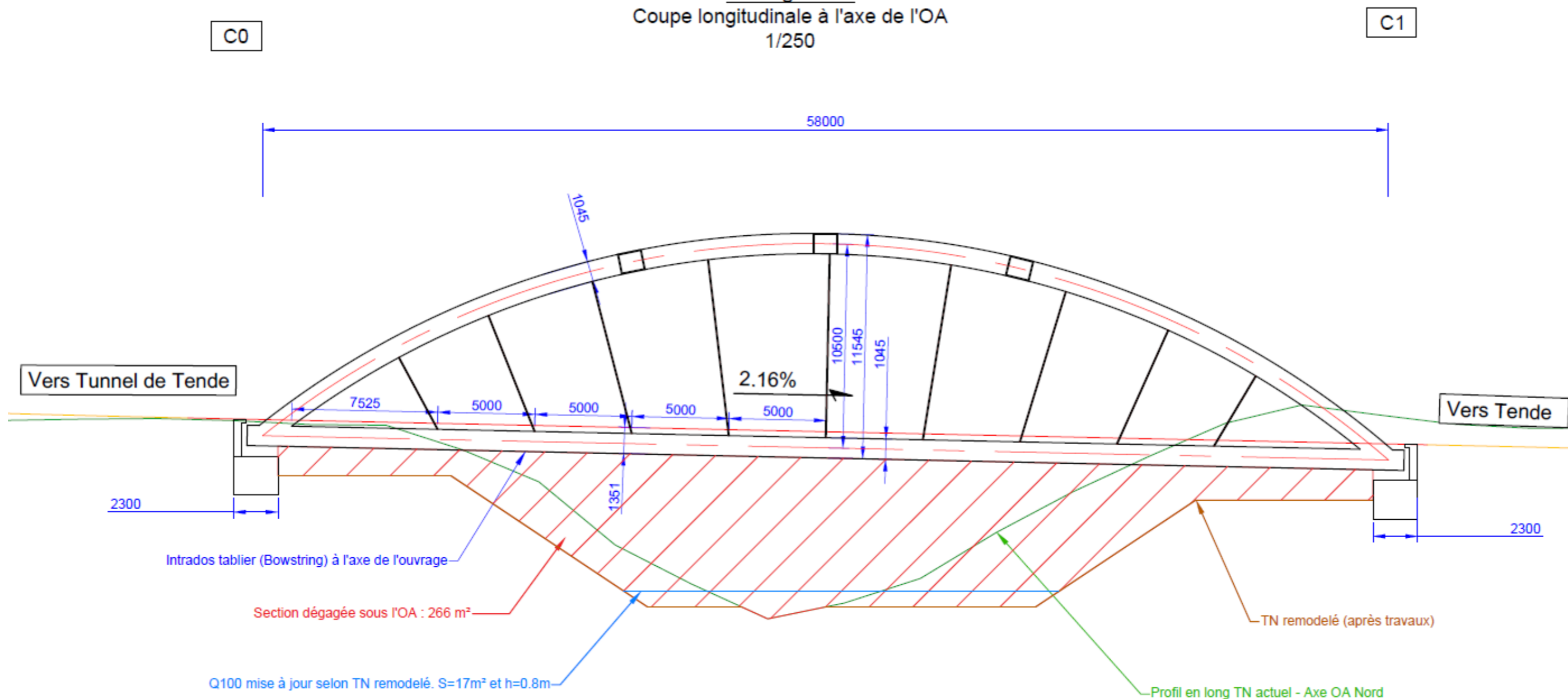


Illustration 113 Due strutture: taglio longitudinale della struttura Nord

La struttura scelta è del tipo "corda d'arco" in acciaio di 58 m per un'altezza a mezza campata di 11,55 m. I tiranti e gli archi sono cassoni da 1.245 mm x 1.045 mm in acciaio di grado S355 e di 45 mm di spessore. La lastra di calcestruzzo poggia su pezzi di ponte disposti secondo il seguente principio: un pezzo di ponte a destra di ogni "attacco" di sospensione, un pezzo di ponte al centro degli "attacchi" di ciascuna coppia di sospensioni. Sono previsti tre elementi di controvento trasversali che collegano gli archi tra loro. Le piastre di collegamento degli archi ai tiranti sono realizzate in acciaio di grado S355, hanno uno spessore di 45 mm e una larghezza leggermente inferiore a quella dei tiranti e degli archi, ovvero 1045 mm. In questa fase degli studi, il peso del piano stradale è stimato in 750 tonnellate di acciaio (archi, tiranti, pendini), 270 tonnellate di calcestruzzo e 150 tonnellate di sovrastrutture. La giunzione dei vari elementi in acciaio è realizzata mediante saldature (la saldatura garantisce una durata migliore rispetto ai bulloni HR). La struttura è basata su cuscinetti in elastomero cerchiati.

Per quanto riguarda l'apertura e il tirante d'aria sotto la struttura, sono stati effettuati diversi tagli longitudinali: a monte della struttura, in corrispondenza del suo asse e a valle di essa. Questi tagli sono.

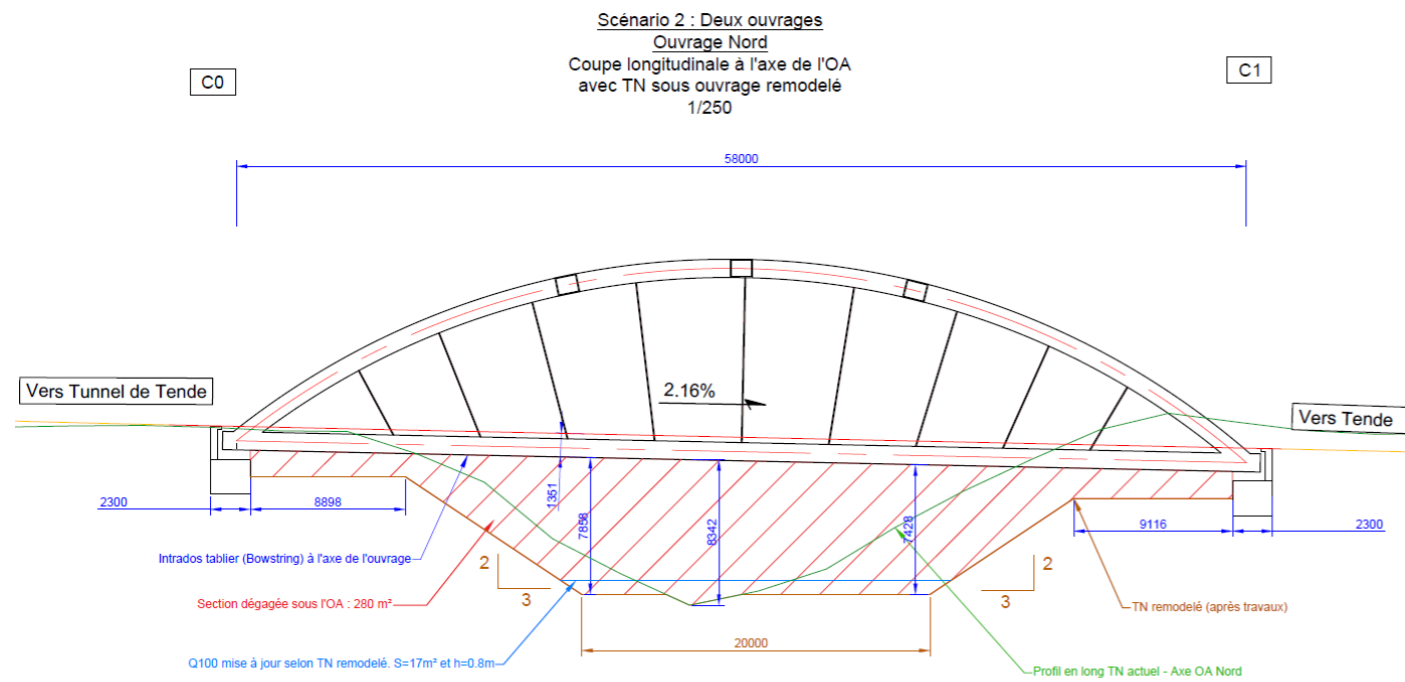


Illustration 114 Due strutture: – Struttura Nord: Taglio longitudinale lungo l'asse con indicazioni di aperture idrauliche

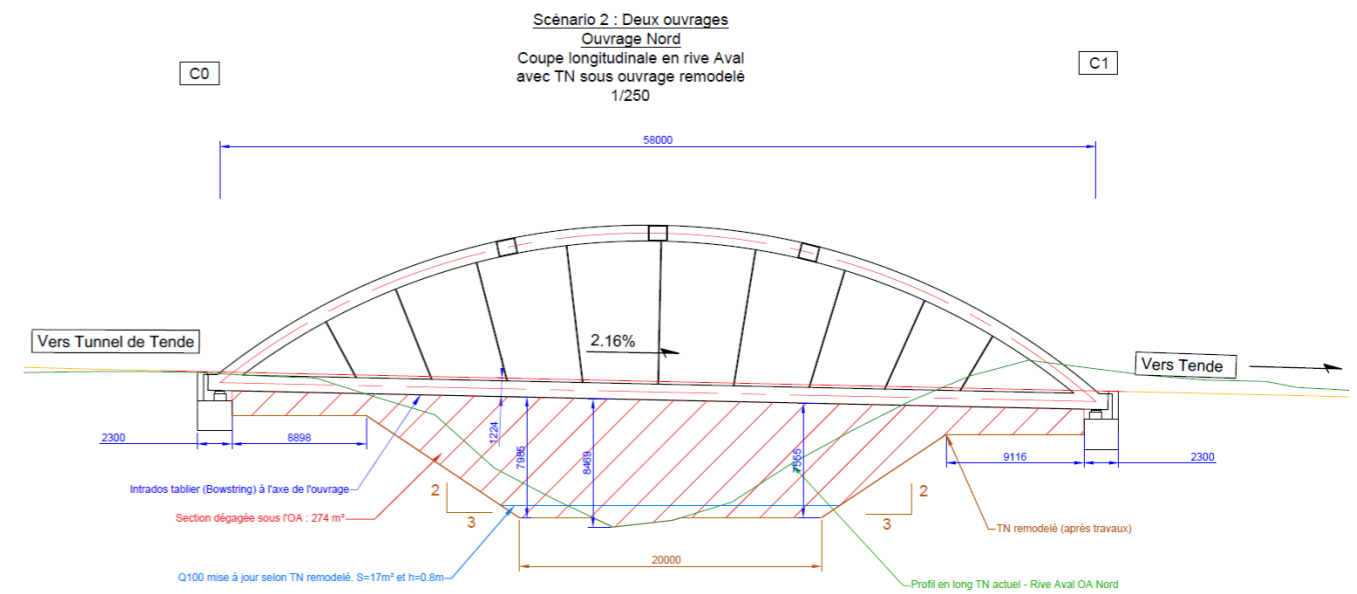


Illustration 116 Due strutture: – Struttura Nord: Taglio longitudinale sul lato a valle con indicazioni delle aperture idrauliche

Al fine di determinare l'influenza generale dei lavori di sterro, sono stati realizzati anche dei tagli longitudinali nell'asse del Ca.

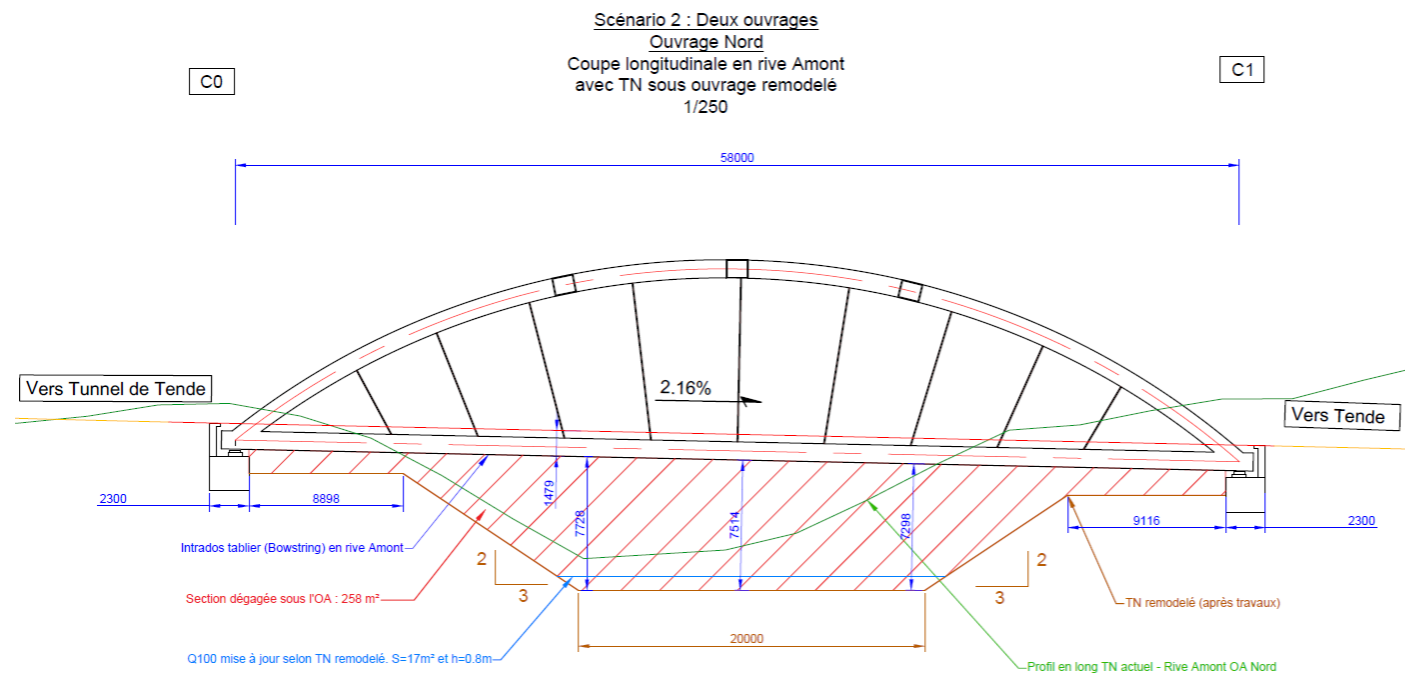
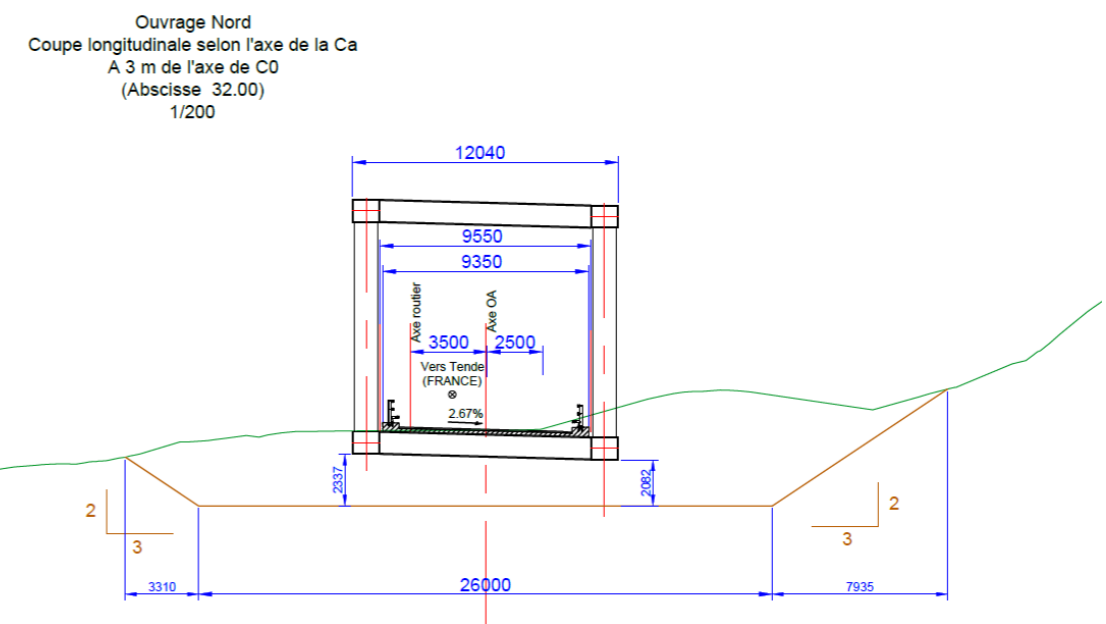
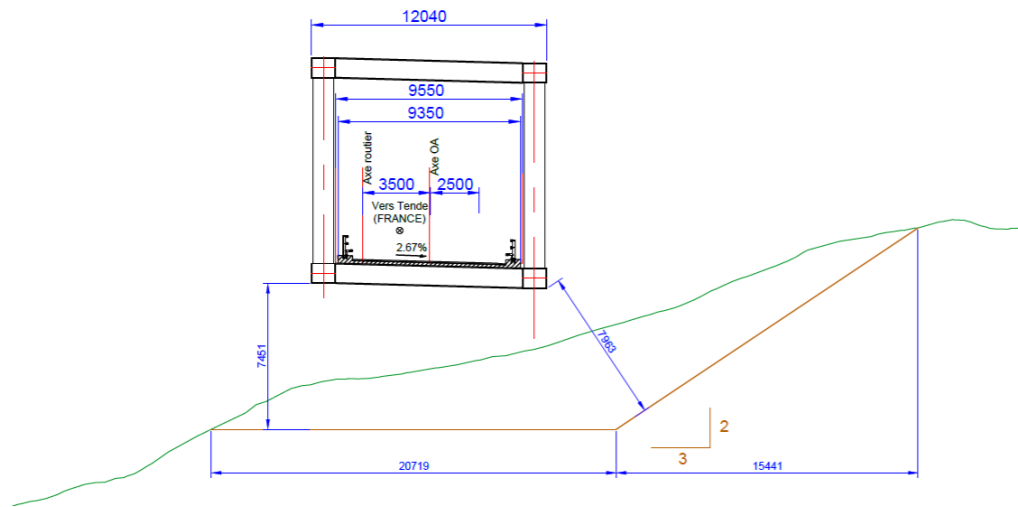


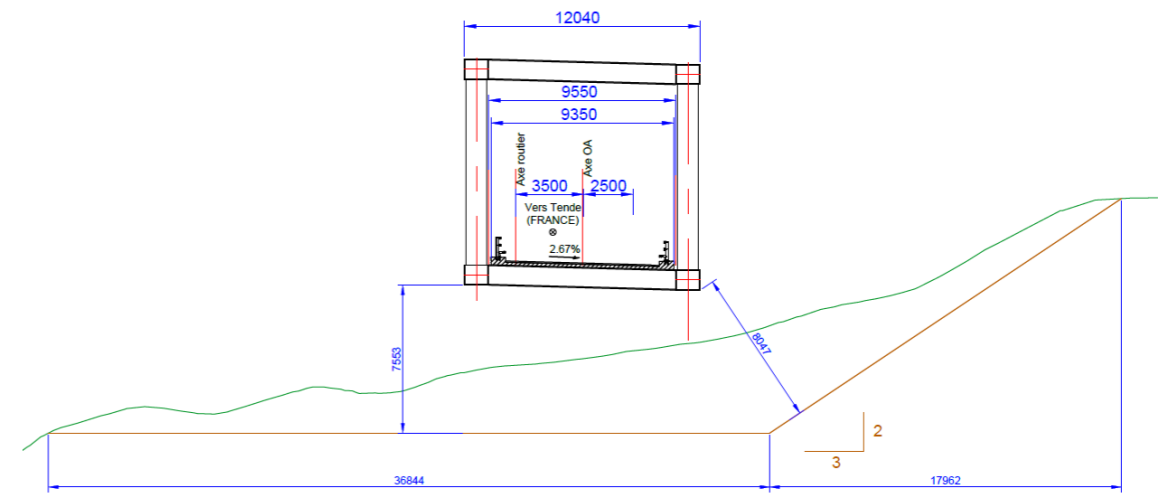
Illustration 115 Due strutture: – Struttura Nord: Taglio longitudinale sul lato a monte con indicazioni di apertura idraulica



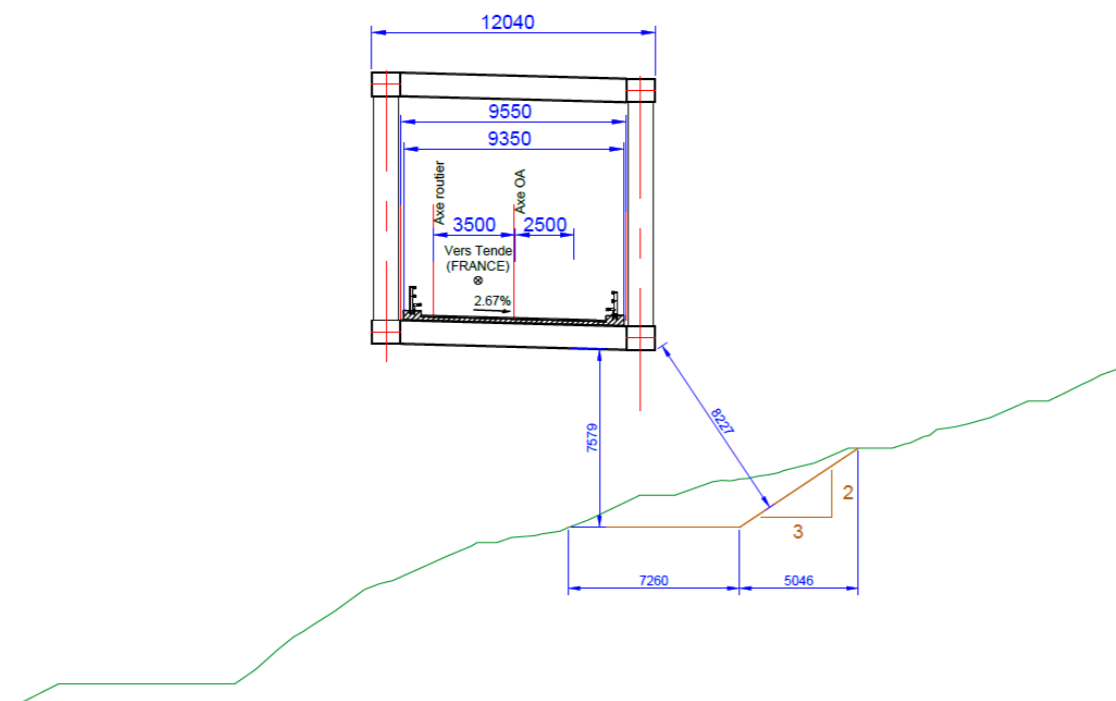
Ouvrage Nord  
Coupe longitudinale selon l'axe de la Ca  
Au 1er tiers de l'OA  
(Abscisse 48.00)  
1/200



Ouvrage Nord  
Coupe longitudinale selon l'axe de la Ca  
Au 2eme tiers de l'OA  
(Abscisse 68.00)  
1/200



Ouvrage Nord  
Coupe longitudinale selon l'axe de la Ca  
A mi-travée de l'OA  
(Abscisse 58.00)  
1/200



Ouvrage Nord  
Coupe longitudinale selon l'axe de la Ca  
A 3m de l'axe de C1  
(Abscisse 84.00)  
1/200

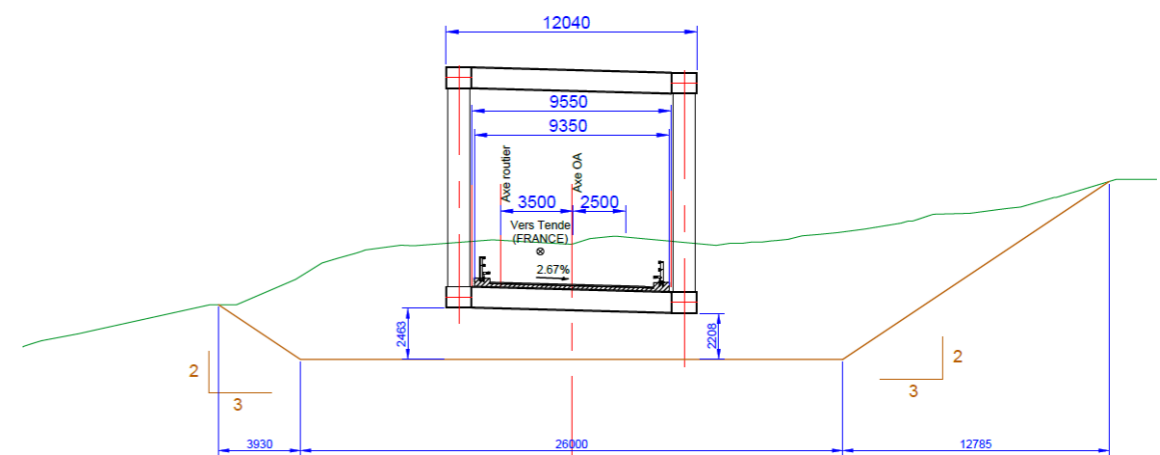


Illustration 117 Due strutture - Struttura Nord: tagli longitudinali nell'asse del Ca

Per quanto riguarda le spalle e le fondazioni si ripetono gli stessi principi della struttura dello scenario 1. El peso del piano stradale è notevole rispetto allo scenario 1, le sbarre potrebbero eventualmente avere dimensioni inferiori in pianta (da studiare nella fase successiva degli studi).

#### 7.4.5.2 Metodo di costruzione della struttura Nord

Il metodo di costruzione è identico a quello della struttura dello scenario 1, ovvero assemblaggio mediante saldatura in loco utilizzando un ponteggio provvisorio ricavato nel vallon del Ca.

#### 7.4.5.3 Calcolo sintetico dei costi della soluzione della struttura Nord

Il rapporto utilizzato per il calcolo sintetico dei costi della struttura è di 6.000 euro IVA esclusa al metro quadro.

Si ottiene quindi un costo per la struttura Nord dello scenario 2 di  $12,04 \times 58 \times 6.000 = 4.189.920$  euro IVA esclusa arrotondato a 4,2 milioni euro IVA esclusa.

#### 7.4.5.4 Descrizione della struttura Sud

La struttura scelta è del tipo "corda d'arco" in acciaio con arco destro autoancorato.

Sono riportati di seguito i piani principali di questa soluzione.

Coupe transversale sur OA Sud à mi-travée  
1/50

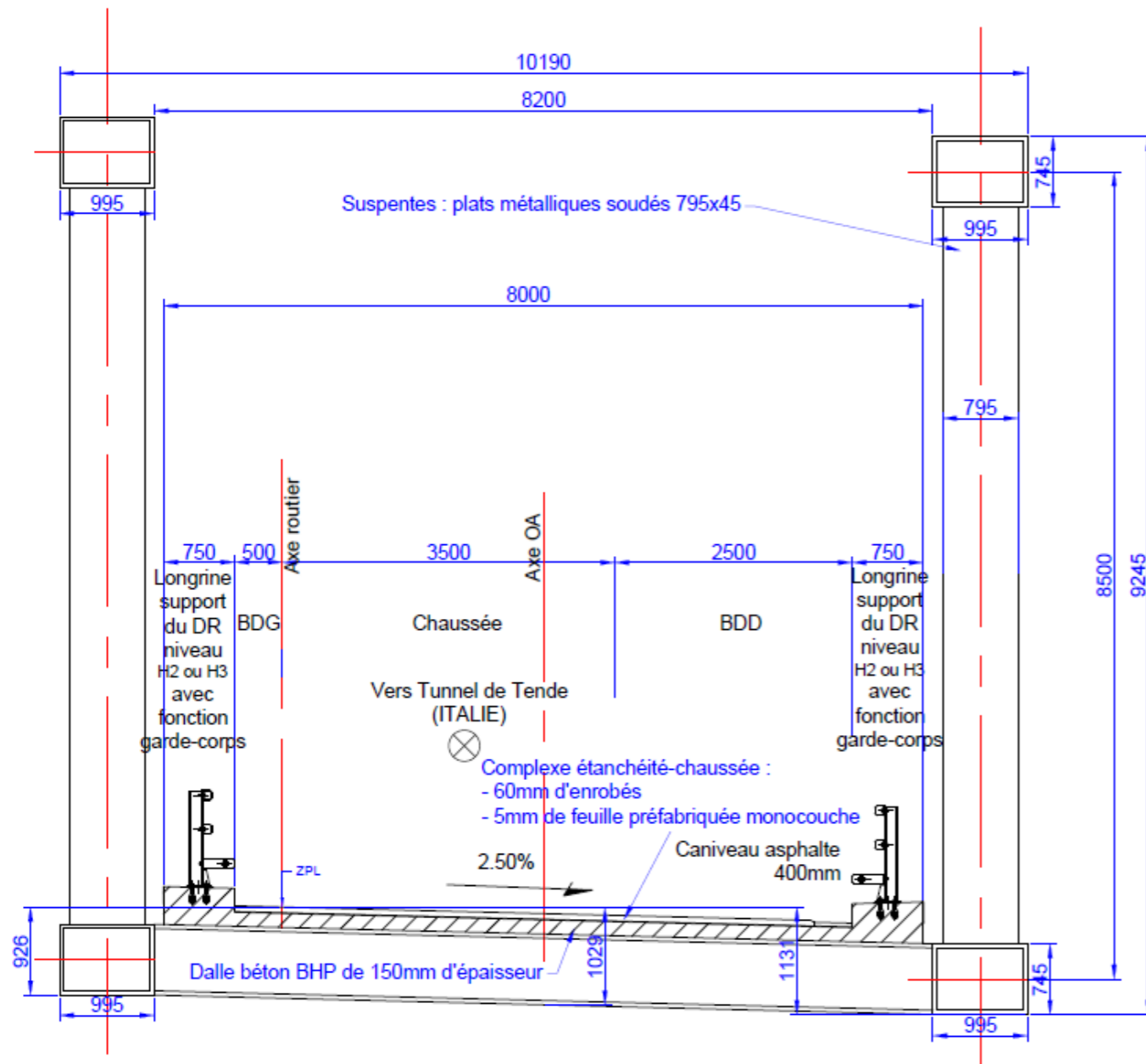


Illustration 118 Scenariò 2: Taglio trasversale della struttura Sud

La lastra della struttura è una lastra BHP di 15 cm di spessore.

L'impermeabilizzazione è costituita da lastre prefabbricate monostrato da 5 mm e l'asfalto ha uno spessore di 60 mm. Come evocato nella sezione sul livello di ritenuta, i dispositivi sono di livello H2 o H3 con funzione di barriera di protezione. Dal punto di vista di depurazione è prevista una grondaia in asfalto sul lato inferiore. Una riflessione più generale sul drenaggio dell'acqua dovrà essere svolta nelle fasi successive degli studi.

**Scénario 2 : Deux ouvrages**  
**Ouvrage Sud**  
 Coupe longitudinale à l'axe de l'OA  
 1/250

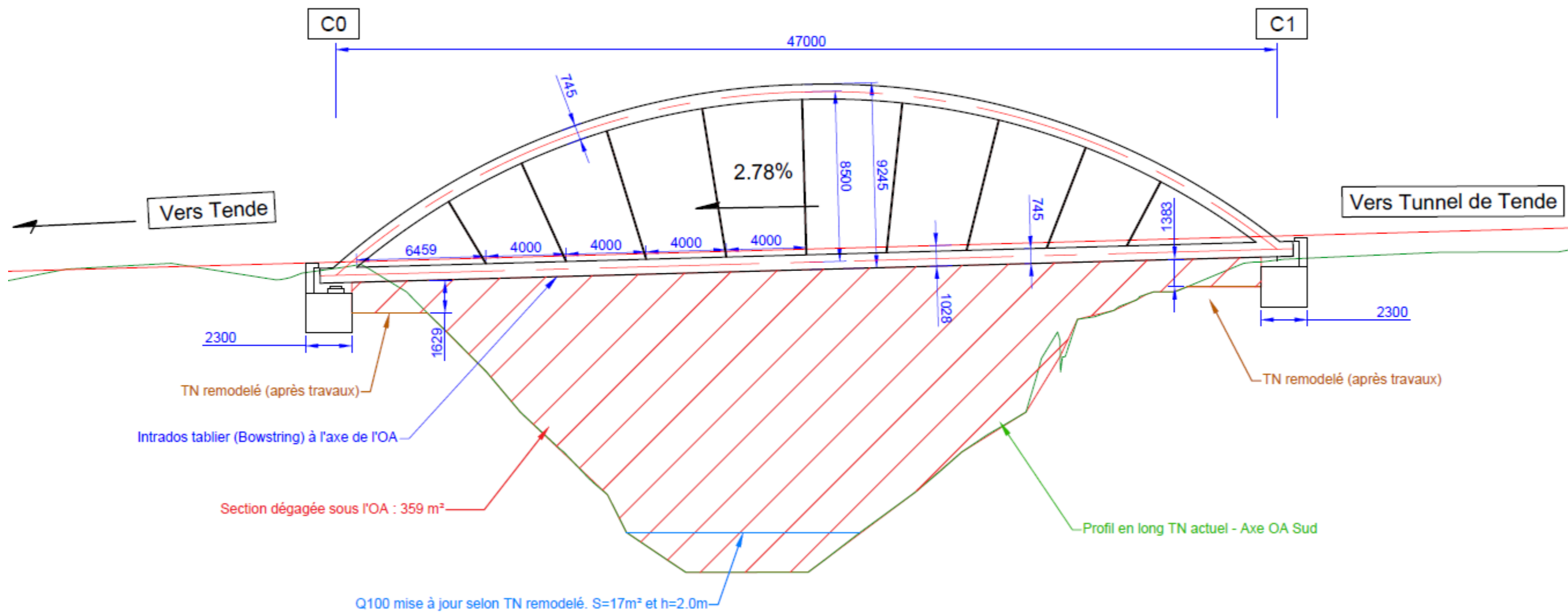


Illustration 119      Due strutture - Struttura Sud: taglio longitudinale lungo l'asse

La struttura scelta è del tipo "corda d'arco" in acciaio con arco autoancorato di 47 m per un'altezza a mezza campata di 9,25 m. I tiranti e gli archi sono cassoni da 995 mm x 745 mm in acciaio di grado S355 e di 45 mm di spessore. La lastra di calcestruzzo poggia su pezzi di ponte disposti secondo il seguente principio: un pezzo di ponte a destra di ogni "attacco" di sospensione, un pezzo di ponte al centro degli "attacchi" di ciascuna coppia di sospensioni. Sono previsti tre telai orizzontali paralleli alle spalle che collegano gli archi tra loro. Le piastre di collegamento degli archi ai tiranti sono realizzate in acciaio di grado S355, hanno uno spessore di 45 mm e una larghezza leggermente inferiore a quella dei tiranti e degli archi, ovvero 795 mm. In questa fase degli studi, il peso del piano stradale è stimato in 420 tonnellate di acciaio (archi, tiranti, pendini), 190 tonnellate di calcestruzzo e 90 tonnellate di sovrastrutture. La giunzione dei vari elementi in acciaio è realizzata mediante saldature (la saldatura garantisce una durata migliore rispetto ai bulloni HR). La struttura è basata su cuscinetti in elastomero cerchiati. Ad ogni spalla è previsto un sistema antisolllevamento del piano stradale (ad esempio mediante tondini in acciaio)..

Per quanto riguarda l'apertura idraulica sotto la struttura e il tirante, sono stati effettuati alcuni tagli longitudinali: a monte della struttura, in corrispondenza dell'asse della struttura e a valle di essa. Questi tagli sono.

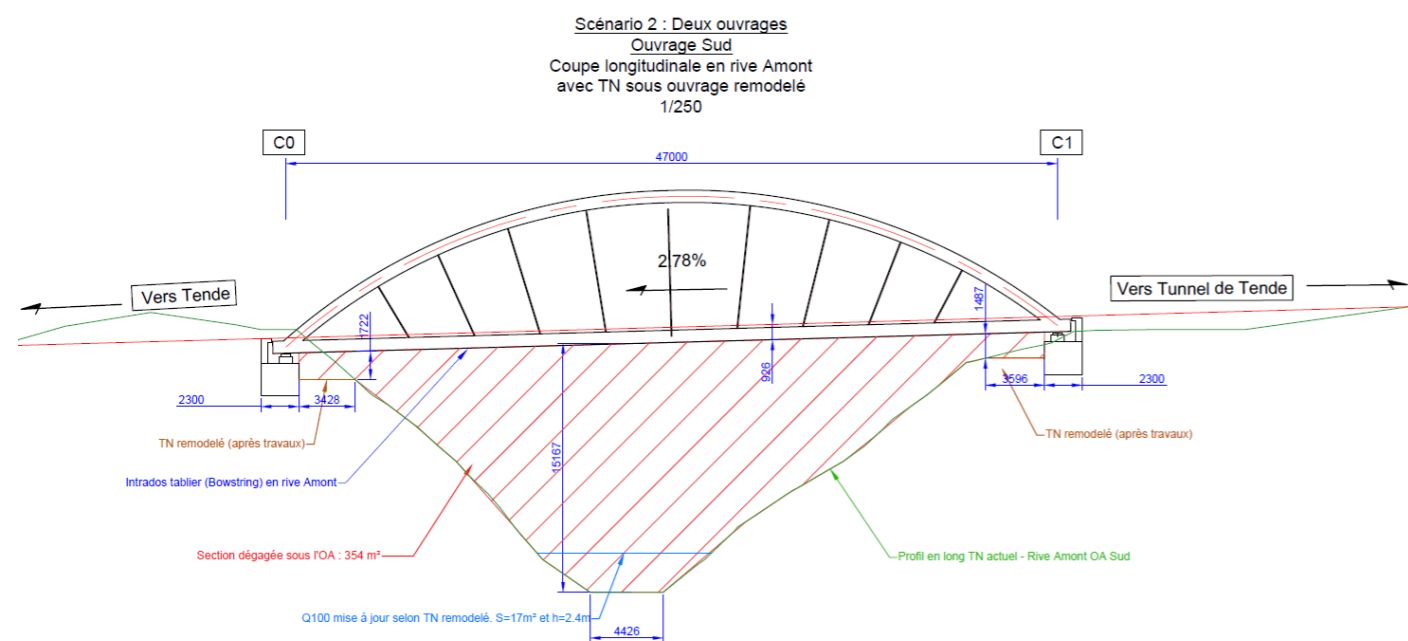


Illustration 120 Due strutture: – Struttura Sud: Taglio longitudinale sul lato a monte con indicazioni di apertura idraulica

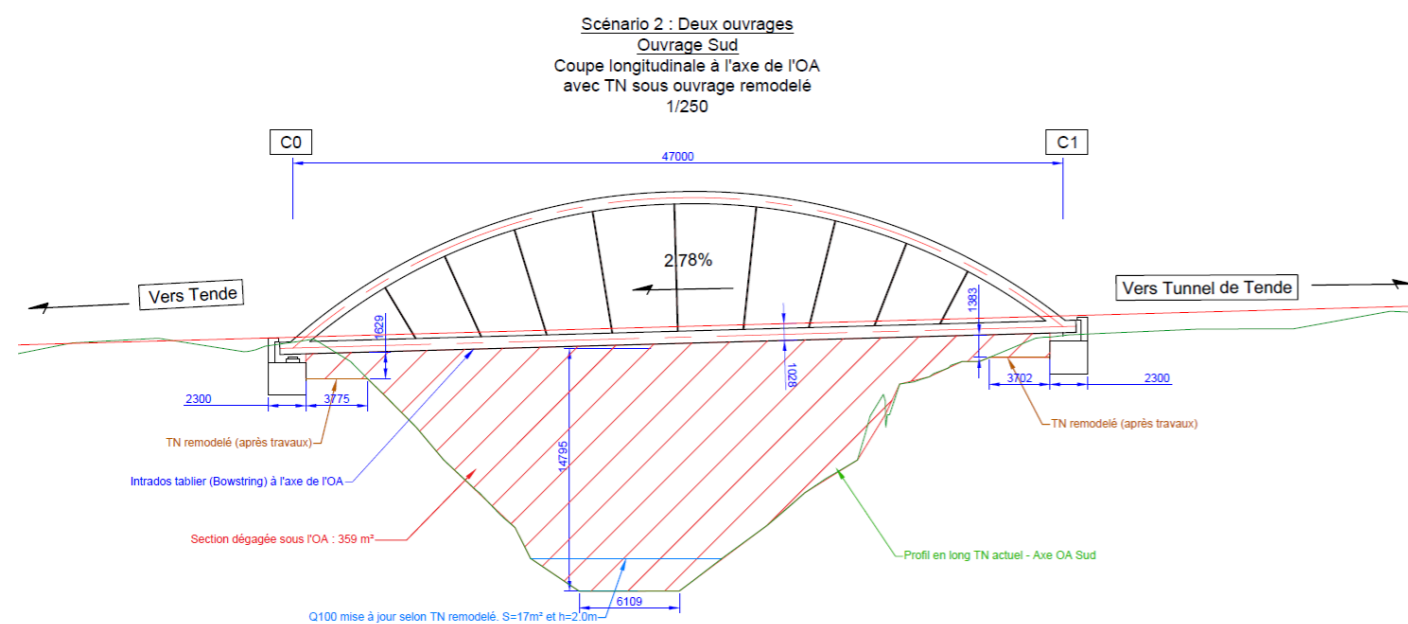


Illustration 121 Due strutture: – Struttura Sud: Taglio longitudinale lungo l'asse con indicazioni di aperture idrauliche

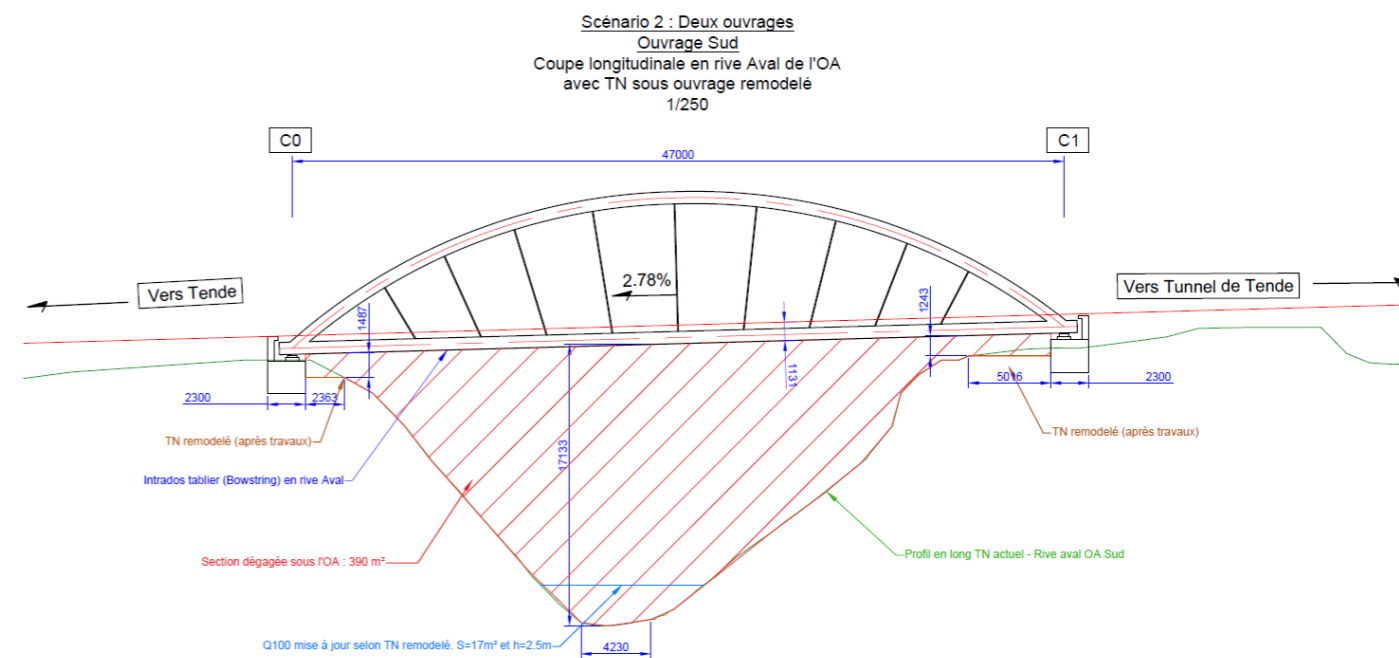
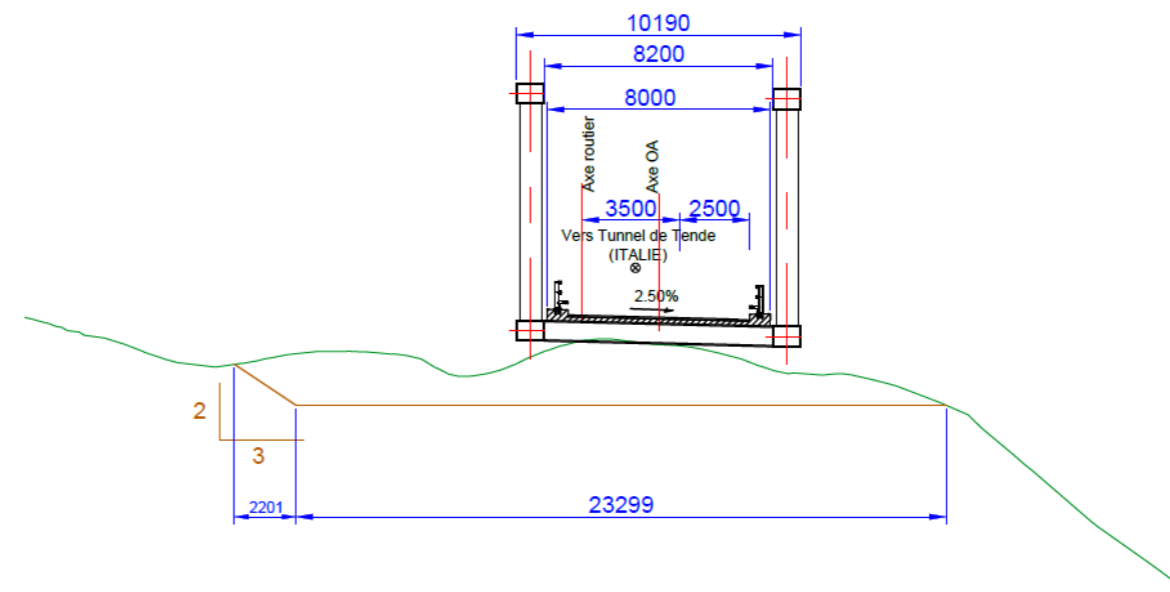


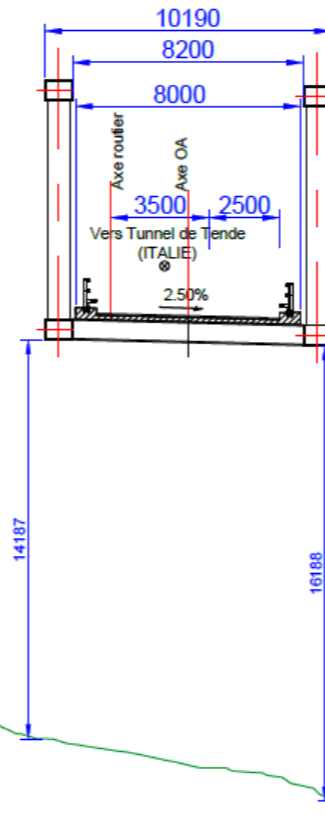
Illustration 122 Due strutture: – Struttura Sud: Taglio longitudinale sul lato a valle con indicazioni delle aperture idrauliche

Al fine di determinare l'influenza generale dei lavori di sterro, sono stati realizzati anche dei tagli longitudinali nell'asse del Ca.

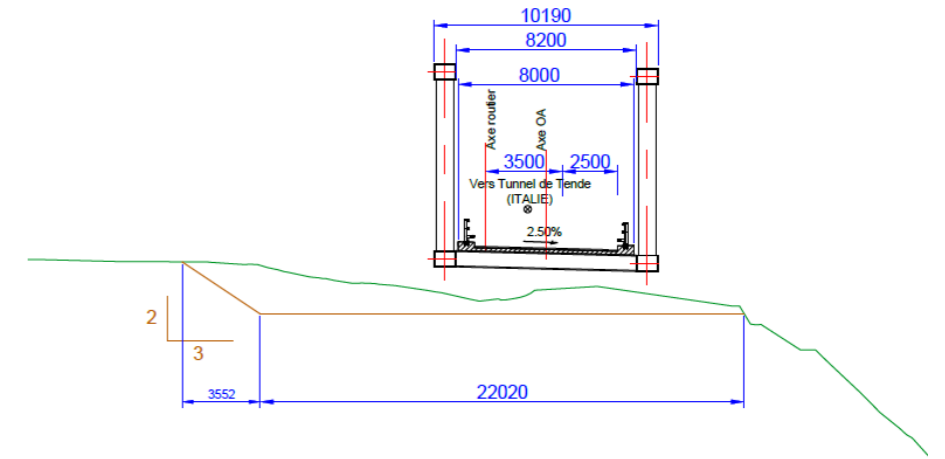
Ouvrage Sud Coupe longitudinale selon l'axe de la Ca A 3 m de l'axe de C0 (Abscisse 131.00) 1/200



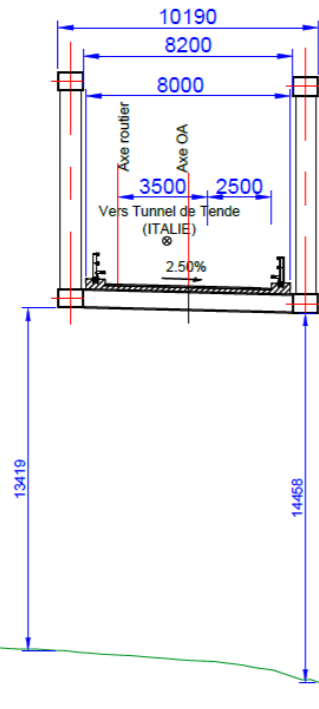
Ouvrage Sud  
 Coupe longitudinale selon l'axe de la Ca  
 A mi-travée de l'OA  
 (Abscisse 152.00)  
 1/200



Ouvrage Sud  
 Coupe longitudinale selon l'axe de la Ca  
 A 3m de l'axe de C1  
 (Abscisse 172.00)  
 1/200



Ouvrage Sud  
 Coupe longitudinale selon l'axe de la Ca  
 Au 1er tiers de l'OA  
 (Abscisse 144.00)  
 1/200



Ouvrage Sud  
 Coupe longitudinale selon l'axe de la Ca  
 Au 2eme tiers de l'OA  
 (Abscisse 160.00)  
 1/200

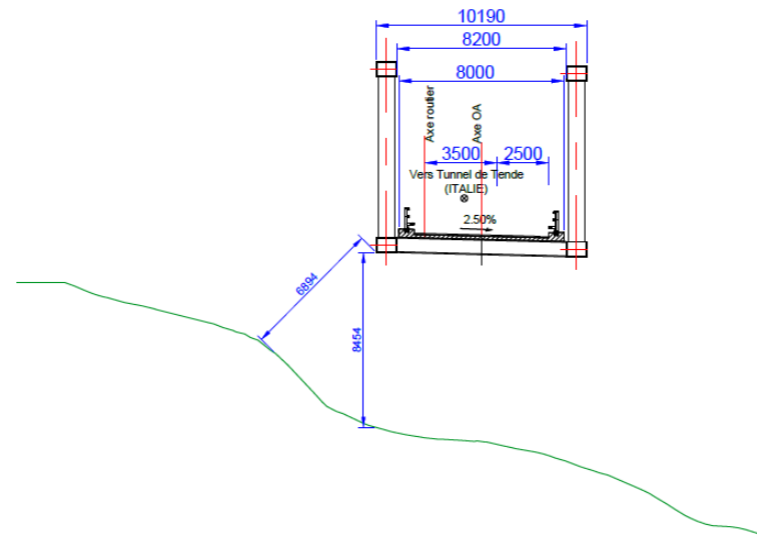


Illustration 123 Due strutture - Struttura Sud: tagli longitudinali nell'asse del Ca



Per quanto riguarda le spalle e le fondazioni si ripetono gli stessi principi della struttura dello scenario 1.

#### 7.4.5.5 Metodo di costruzione della struttura Sud

Il metodo di costruzione è identico a quello della struttura dello scenario 1, ovvero assemblaggio mediante saldatura in loco utilizzando un ponteggio provvisorio ricavato nel vallone del Ca.

#### 7.4.5.6 Calcolo sintetico dei costi della soluzione della struttura Sud

Il rapporto utilizzato per il calcolo sintetico dei costi della struttura è di 6.000 euro IVA esclusa al metro quadro.

Si ottiene quindi un costo per la struttura Sud dello scenario 2 di  $10,19 \times 47 \times 6.000 = 2.873.580$  euro IVA esclusa arrotondato a 2,9 milioni euro IVA esclusa.

#### 7.4.6 Ricostruzione della piattaforma a livello del tunnel Est

Per ristabilire il collegamento con la canna Est è necessaria la ricostruzione di parte della piattaforma mediante un supporto.. Le soluzioni tecniche previste sono sviluppate nel capitolo 8.

### 7.5 Pre-dimensionamento delle fondazioni delle opere d'arte

#### 7.5.1 Discese di carichi in questa fase del progetto

Alla data di redazione della presente relazione tecnica sono state prese in considerazione solo le discese di carico verticale per predimensionare le fondazioni delle strutture di attraversamento del Ca. Questi calcoli dovranno essere ripetuti per ottimizzare le fondazioni profonde previste e per affinare l'armatura trasversale minima necessaria per l'assorbimento delle forze di flessione-taglio imposte dalla valanga di riferimento. La presa in considerazione delle significative forze orizzontali derivanti in particolare dall'azione sismica e dalla valanga e della flessione delle fondazioni porterà in questa fase ad un lieve aumento delle dimensioni delle sbarre predimensionate.

Le discese di carico sono presentate nel Tableau 17.

Tableau 17 : Discese di carichi in MegaNewton per scenario e per combinazione di calcolo

Stati limite	Struttura unica		Due strutture			
			Struttura "Nord"		Struttura "Sud"	
	Combinazione 1	Combinazione 2	Combinazione 1	Combinazione 2	Combinazione 1	Combinazione 2
ELU	8,7	10,2	5,7	8,6	3,8	6.8 / -1.3 (solo valanga)
ELS caratteristica	6,4	7,6	4,2	6,4	2,8	5,1
ELS frequente	5,9	7,3	3,9	6,1	2,6	4,9
ELS quasi-permanente	5,2	6,8	3,4	5,7	2,2	4,6

La combinazione 1 corrisponde al traffico frequente, la combinazione 2 al traffico frequente e la valanga.

#### 7.5.2 Dati geotecnici disponibili a livello delle spalle delle strutture

Sono stati eseguiti solo 5 rilievi pressometrici a livello dei vecchi viadotti sul Ca. Uno per ogni supporto dell'ultimo viadotto realizzato (SPA1, SPA2, SP21.08 e SP22.08) oltre a un rilievo pressometrico del 1990 a livello della spalla sinistra del viadotto in muratura, per determinare l'origine dei disordini in quel momento.

Il sondaggio del 1990 è stato escluso dall'analisi perché i dati raccolti erano troppo superficiali e riguardavano principalmente solo gli terrapieni.

Il sondaggio SPA1 (Spalla sponda sinistra) indica complessivamente 14 m di riempimento con deboli caratteristiche di pressometriche, 19 m di flysch alterato po il substrato.

Il sondaggio SP21.08 (pilastro sponda sinistra) mostra 19 m nel flysch alterati.

Il sondaggio SP22.08 (pilastro sponda destra) indica 17 m nel flysch alterati, poi 2 m nel substrato.

Il sondaggio SPA2 (spalla sponda destra) attraversa 7 m di terrapieni, poi 14 m di flysch alterati e infine 13 m di substrato.

Si noti che le anidriti (substrato) sono state riscontrate solo nel sondaggio SPA1.

Il Tableau 18 di seguito riassume l'insieme delle caratteristiche pressometriche necessarie, in questa fase degli studi, per il predimensionamento delle fondazioni profonde ; si tratta di tercili.

Tableau 18 : Parametri presi in considerazione per i fenomeni di riferimento

Formazioni litologiche	Terrapieno PI* (Mpa)	Flysch alterati PI* (Mpa)	Substrato PI* (Mpa)
Sponda sinistra	01:42	02:17	03:46
Sponda sinistra	1,75	02:33	04:31

La scelta di utilizzare delle fondazioni profonde è giustificata, da un lato, dalla relativa mediocrità delle caratteristiche pressometriche del terreno di copertura e, dall'altro, dalle discese di carichi molto importanti per i soli due supporti per struttura e infine dalla necessità di assorbire forze laterali significative sotto sollecitazioni dalla valanga di riferimento.. Gli elementi delle fondazioni profonde considerati saranno sbarre di dimensioni (2 m \* 0.8 m) che offrano maggiore inerzia rispetto ai pali convenzionali (dimensionamento per forze laterali e conseguente flessione-taglio).

#### 7.5.3 Pre-dimensionamento di fondazioni profonde

Abbiamo testato tre lunghezze di sbarre per verificare il dimensionamento alle cadute di carico riportate nel paragrafo 7.5.1. Queste lunghezze sono 25, 28 e 33 m. Abbiamo scelto di neutralizzare lo strato di riempimento (scarse caratteristiche pressometriche, soprattutto in testata), il che significa che il contributo di questo strato non è integrato nel dimensionamento delle sbarre. Questa ipotesi di sicurezza può successivamente essere parzialmente attenuata.

##### 7.5.3.1 Sbarre lunghe 25 m

Il Tableau 19 di seguito sono riepilogati i risultati ottenuti per delle sbarre di 25 m di lunghezza, non sono presentati i risultati dei calcoli, è proposto solo un codice colore per indicare lo stato limite di dimensionamento.

Tableau 19 : Riepilogo per stato limite per sbarre lunghe 25 m

Spalla	Stati limite	Struttura unica	Due strutture	
		Combinazione 2 (*)	Struttura "Nord"	Struttura "Sud"
			Combinazione 2 (*)	Combinazione 2 (*)
Sponda sinistra	ELU			
	ELS caract			
	ELS qp			
Sponda sinistra	ELU			
	ELU trazione	Non applicabile		
	ELS caract			
	ELS qp			

(\*) La combinazione 2 è sempre la più sfavorevole (traffico frequente + valanga), ELS frequente non è una dimensione.

Le sbarre da 25 m di lunghezza non giustificano le fondazioni profonde per la sponda sinistra (maggiore altezza di riempimento). Le fondazioni nella sponda destra, indipendentemente dal numero di strutture di attraversamento scelte, possono essere realizzate con sbarre di 25 m di lunghezza.

### 7.5.3.2 Sbarre lunghe 28 m

Il Tableau 20 di seguito sono riepilogati i risultati ottenuti per delle sbarre di 28 m di lunghezza, non sono presentati i risultati dei calcoli, è proposto solo un codice colore per indicare lo stato limite di dimensionamento.

Tableau 20 : Riepilogo per stato limite per sbarre lunghe 28 m

Spalla	Stati limite	Struttura unica	Due strutture	
		Combinazione 2 (*)	Struttura "Nord"	Struttura "Sud"
			Combinazione 2 (*)	Combinazione 2 (*)
Sponda sinistra	ELU			
	ELS caract			
	ELS qp			
Sponda sinistra	ELU			
	ELU trazione	Non applicabile		
	ELS caract			
	ELS qp			

(\*) La combinazione 2 è sempre la più sfavorevole (traffico frequente + valanga), ELS frequente non è una dimensione.

Le sbarre di 28 m di lunghezza giustificano il dimensionamento della struttura Sud sulla sponda sinistra.

### 7.5.3.3 Sbarre lunghe 33 m

Il Tableau 21 di seguito sono riepilogati i risultati ottenuti per delle sbarre di 33 m di lunghezza, non sono presentati i risultati dei calcoli, è proposto solo un codice colore per indicare lo stato limite di dimensionamento.

Tableau 21 : Riepilogo per stato limite per sbarre lunghe 33 m

Spalla	Stati limite	Struttura unica	Due strutture	
		Combinazione 2 (*)	Struttura "Nord"	Struttura "Sud"
			Combinazione 2 (*)	Combinazione 2 (*)
Sponda sinistra	ELU			
	ELS caract			
	ELS qp			
Sponda sinistra	ELU			
	ELU trazione	Non applicabile		
	ELS caract			
	ELS qp			

(\*) La combinazione 2 è sempre la più sfavorevole (traffico frequente + valanga), ELS frequente non è una dimensione.

Le sbarre di 33 m di lunghezza giustificano l'insieme delle configurazioni in particolare per la struttura Nord oppure la struttura unica sulla sponda sinistra. Questa lunghezza può essere ottimizzata in una seconda fase dello studio.

### 7.5.4 Ricognizione aggiuntiva

Il pre-dimensionamento delle sbarre è basato sui sondaggi esistenti, che sono pochi nella zona di studio, soprattutto sulla sponda sinistra del vallone del Ca. Al fine di perfezionare il dimensionamento delle fondazioni profonde della struttura di attraversamento, è necessario realizzare, a minima, un pozzo distruttivo con prove pressometriche ogni metro a livello della spalla sulla sponda sinistra della struttura sud. La descrizione delle ricognizioni minime da svolgere è specificata nell'illustration 124 di seguito.



Illustration 124 Ricognizioni geotecniche proposte a livello del supporto sulla sponda sinistra della struttura sud. Proponiamo la realizzazione di un rilievo distruttivo profondo 45 m con prove pressometriche ogni metro al fine di affinare il dimensionamento delle fondazioni profonde della struttura sud (nel caso di due strutture di attraversamento) sulla sponda sinistra. Questo sondaggio avrà un piezometro per valutare le variazioni del livello piezometrico di questa struttura. Si propone inoltre di effettuare un sondaggio con raccolta di campioni integri per prove triassiali al fine di determinare le caratteristiche di taglio delle formazioni a livello dell'estremità Est del tunnel. Questo rilievo avrà un inclinometro per valutare i possibili movimenti in quest'area.

### 7.5.5 Sintesi

In questa fase degli studi, avendo solo discese di carico verticale, il predimensionamento delle sbarre di fondazione fornisce sbarre di sezione 2 m\*0.8 m, di :

- 25 m di lunghezza per le spalle della sponda destra (lato Tenda) indipendentemente dal bias sul numero di strutture di attraversamento,
- 28 m o 33 m (28 m o 33 m (con possibilità di ottimizzazione in una fase successiva) per le spalle della sponda sinistra (lato Italia) rispettivamente per la struttura sud e quella unica o la struttura nord.

## 8 Restauro della piattaforma di accesso al tunnel storico

### 8.1 Stato della piattaforma in seguito al passaggio della tempesta Alex

Come abbiamo visto nel paragrafo 2.1.2.1, parte della piattaforma è stata distrutta dall'alluvione del fiume Roia che è venuta minando il terrapieno della piattaforma. Le Illustration 125 a Illustration 128 di seguito attestano dello stato di distruzione della piattaforma.



*Illustration 125* Piattaforma di accesso alla canna Est - Panoramica  
Il fiume Roia ha eroso il suo letto fino alla roccia. Si noti che l'installazione del cantiere è "nel vuoto".



*Illustration 126* Piattaforma di accesso alla canna Est - Vista in direzione della canna Est  
La piattaforma è "sospesa" nel vuoto.



*Illustration 127* Piattaforma di accesso alla canna Est - Vista in direzione del fiume Roia  
Sul lato sinistro dell'illustrazione, i calcari giurassici sono visibili nel terrapieno.



Illustration 128 Piattaforma di accesso alla canna Est - Vista in direzione di Tenda  
La carreggiata si basa su terreni più o meno induriti

Alla luce delle illustrazioni precedenti, parte della piattaforma è sospesa nel vuoto. I materiali visibili nel terrapieno, così esposti, sono molto eterogenei. I calcari giurassici possono essere visti al bordo settentrionale della breccia e sembrano salire abbastanza in alto nel terrapieno, quasi a livello della carreggiata. Si osservano anche due distinte formazioni, una grigio-nera, l'altra di colore ocra, che sembrano corrispondere ad un indurimento dei materiali di marinaggio del tunnel storico per la parte grigio-nera e a un materiale di alterazione (sia a materiali di marinaggio sia a un'altra formazione). Non siamo stati in grado, durante la nostra visita del 17 marzo 2021 di "toccare da vicino" questi materiali. In ogni caso, la formazione grigio-nera sembra relativamente "competente" poiché mostra la cementazione tra gli elementi angolari. Per quanto riguarda la formazione ocra, sembra molto più sciolta ed erodibile, ed è inoltre quella che si è formata principalmente durante l'alluvione del Roia. Si noti, per attestare la "competenza" della formazione grigio-nera, che è stabile mentre il terrapieno è quasi verticale al suo livello.

All'interno di questo terrapieno sono state anche osservate sacche di gesso, appena sotto il cantiere bianco, vedi Illustration 125.

### 8.2 Atto necessario per ripristinare l'accesso al tunnel orientale (tunnel storico)

Per ripristinare l'accesso alla canna est è necessario ricostruire parte della piattaforma distrutta durante l'alluvione. Per ridurre al minimo la parte della piattaforma da ricostruire, abbiamo deciso di prendere il controllo del vecchio edificio che ospitava gli estrattori d'aria durante la costruzione del tunnel. La DREAL ci ha detto che queste installazioni non sono destinate a durare. Quest'area guadagnata sulla piattaforma ancora in uso richiede però una modifica nella geometria della testata del tunnel Est poiché l'ingresso sarà sbilanciato. Ciò richiederà, soprattutto per una questione di visibilità, un allargamento della testata Est.



Illustration 129 Piattaforma di accesso alla canna Est - Vista aerea in direzione del limite della carreggiata  
Per garantire la visibilità all'ingresso del tunnel, per una testata inclinata rispetto all'ammasso roccioso, è necessario alesare nuovamente la testata del tunnel e allargarla.

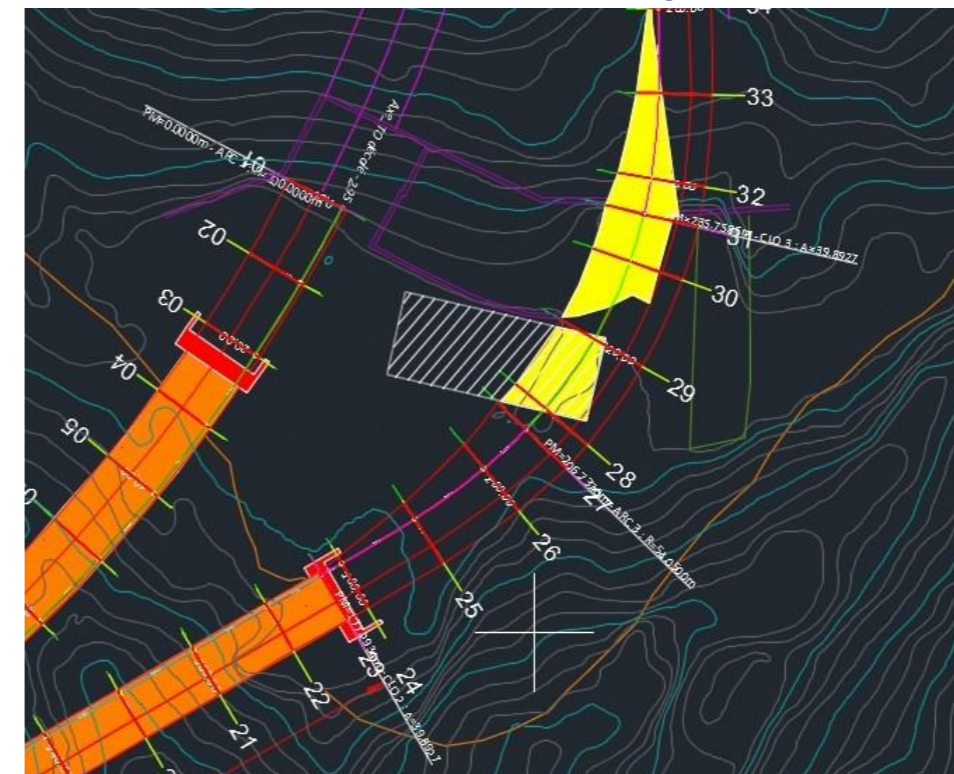


Illustration 130 Piattaforma di accesso alla canna Est - Piano con posizionamento della carreggiata  
L'edificio appare in parte tratteggiato e in parte in giallo sul piano; corrisponde all'edificio con tetto verde sull'illustration 129.

L'illustration 129 mostra chiaramente la parte della piattaforma da proteggere. Si tratta principalmente della parte situata sotto l'installazione del cantiere bianco, a livello del profilo " PT26 ". La lunghezza di questa parte può essere stimata in una trentina di metri di lunghezza.

### 8.3 Natura dei materiali a livello della piattaforma

Come abbiamo visto nel paragrafo 8.1, i materiali presenti a livello del terrapieno della piattaforma sono molto eterogenei. Sulla sponda sinistra del Roia c'è una chiusa costituita da calcare giurassico, è a filo con il livello del letto del Roia e punta nell'argine della sponda destra. Questi calcari sono massicci e possono " ospitare " adeguatamente un supporto. L'incertezza su questi calcari risiede nella loro posizione nel terrapieno così come a livello della piattaforma.

Osserviamo anche i materiali induriti, sicuramente i materiali di marinaggio del tunnel storico. Questi materiali hanno una buona tenuta, poiché tengono verticalmente leggermente a valle della costruzione bianca. Questi materiali sembrano essere di qualità geotecnica sufficiente per affidarsi (o ancorarsi ad essi) e costruire un supporto.

Restano i materiali color ocra, che sembrano molto più morbidi e sui quali non sembra opportuno, in assenza di caratterizzazioni geologiche e geotecniche più precise, affidarsi per costruire un supporto. I materiali, di colore grigiastro, presenti anche sotto la costruzione bianca, inoltre, non sembrano adatti per il rimontaggio di un supporto. Costituiscono anche la parte del versante erosa dall'alluvione del Roia.

I diversi materiali sopra menzionati sono presentati nelle Illustration 131 a Illustration 135 di seguito :



*Illustration 131 Vista panoramica dei materiali presenti a livello del terrapieno sotto la piattaforma*

A destra dell'illustrazione così come in fondo al letto del Roia, i calcari giurassici biancastrì sono presenti sulla sponda sinistra, in fondo alla lir così come sulla sponda destra (almeno in parte).

All'estremità sinistra, osserviamo gli argini induriti di colori da grigiastri a nerastrì con sfumature ocra.

Al centro dell'illustrazione si osservano i materiali sciolti ocra e grigio a livello dell'abbassamento del terrapieno a valle della breccia sotto la costruzione bianca.



*Illustration 132 Calcarei giurassici*

Il calcare è presente, ovviamente sulla sponda sinistra e nel letto della Roia. Si possono osservare anche a monte della costruzione bianca nel pendio della piattaforma fin quasi a livello della piattaforma, si vedono anche puntati in primo piano, in sponda destra, a livello del letto del Roia.



*Illustration 133 Materiali di riempimento induriti*

Questa formazione molto eterogenea presenta una stratificazione che potrebbe corrispondere al metodo di deposizione degli argini durante la costruzione del tunnel storico. I numerosi circoli d'acqua, carichi di vari elementi chimici (solfati, ecc.), hanno potuto, in quasi 150 anni, indurre l'indurimento, o meglio la cementazione di questi terrapieni eterogenei. In genere, questa formazione regge bene poiché il terrapieno è sub-verticale in questo luogo (che più o meno corrisponde alla posizione della futura spalla della struttura sud).



Illustration 134 Zoom sui materiali di riempimento induriti

Questa fotografia mostra chiaramente l'eterogeneità di questa formazione con un passato più fine (alterazione dell'ocra sabbiosa dei cargneuli ?) all'interno di materiali più strutturati.



Illustration 135 Materiali per mobili

Al centro della fotografia si osservano chiaramente questi materiali eterogenei grigi e ocra che formano pendii più morbidi e testimoniano così il loro carattere sciolto. Si tratta di materiali che sono stati principalmente erosi durante l'alluvione del Roia. Sul lato destro (guardando la fotografia) dell'imbuto sotto la costruzione, sembra esserci uno sperone calcareo (o più competente, almeno) su cui sarebbe possibili appoggiarsi efficacemente per ricostruire un supporto.

## 8.4 Profili trasversali a livello del terrapieno

Per valutare le possibilità di ricostruzione della piattaforma, sono state rilevate diverse profili trasversali (Illustration 137, Illustration 139 e Illustration 140) sotto QGis (dal DEM fornito dall'IGN in seguito al passaggio della tempesta Alex). Sono stati completati dal profilo trasversale PT26 (Illustration 138) tratto dalla topografia fornita da ANAS. L'Illustration 136 mostra il posizionamento di questi profili.



Illustration 136 Posizione dei profili trasversali sul terrapieno della piattaforma

Come promemoria, la differenza di altezza tra il fondo del letto del Roia e la piattaforma è di circa 26 m, il che è significativo per la costruzione di un supporto.

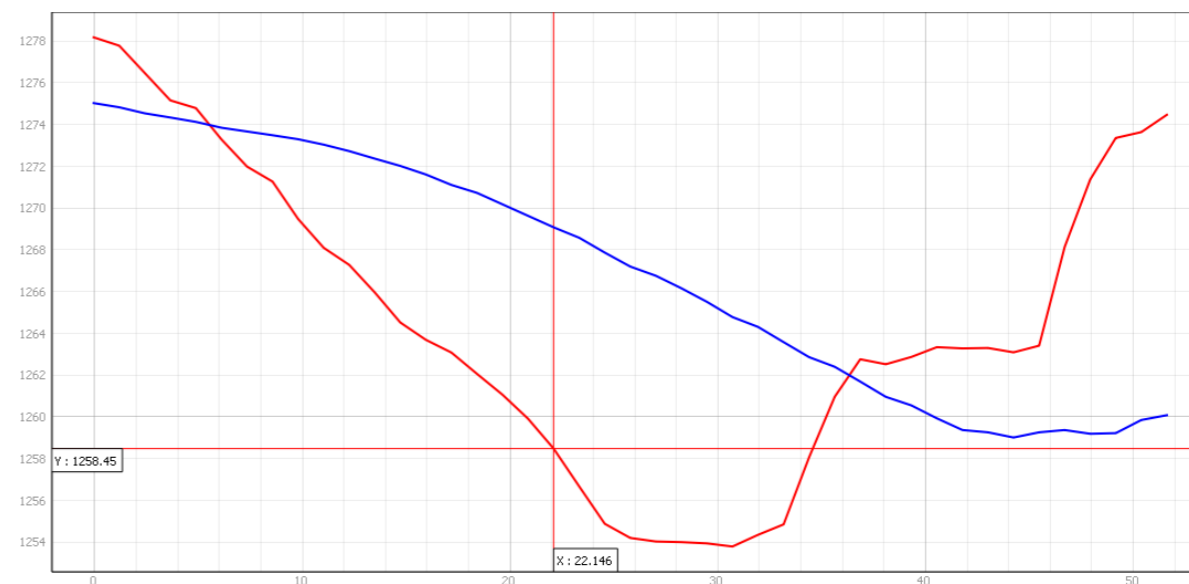


Illustration 137 Sezione trasversale PT26 da QGis

In blu: DEM del 2018.

In rosso: DEM post Alex

Indipendentemente dalla precisione dei DEM (come spiegato nel capitolo 3, soprattutto sulla sponda sinistra del Roia, possiamo vedere quanto questo fiume ha scavato il suo letto fino al substrato calcareo.

L'intersezione delle due curve nella parte sinistra del grafico corrisponde al limite della piattaforma a livello della costruzione bianca.

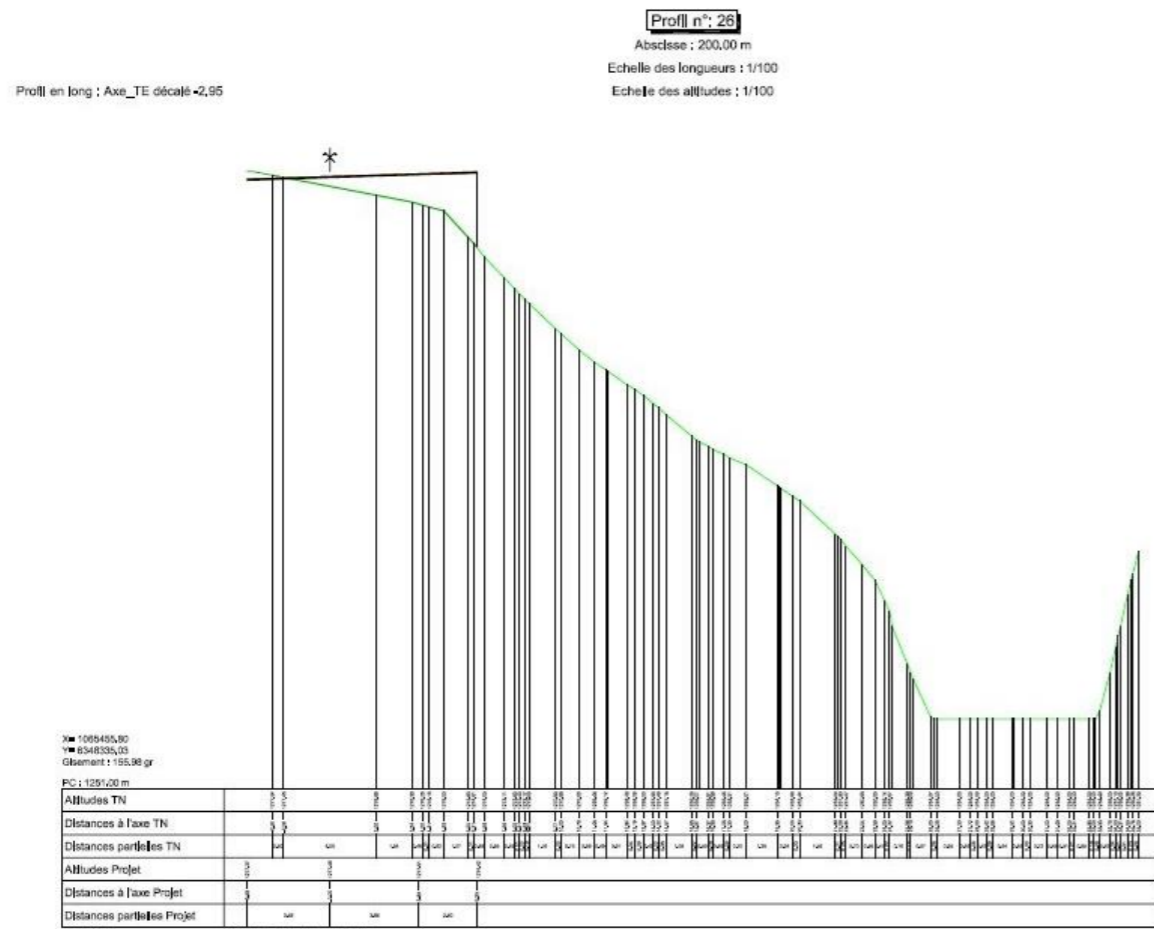


Illustration 138 Profilo trasversale PT26 dalla topografia dell'ANAS

Il terrapieno sopra il letto del Roia è abbastanza ripido e questo non può che essere dovuto al materiale roccioso, soprattutto nel contesto di intensa erosione durante l'alluvione di ottobre 2020.

Il profilo trasversale PT26 mostra chiaramente che i materiali ai piedi del terrapieno sono meccanicamente robusti poiché le pendenze sono comprese tra circa 50 e 65°, il che è piuttosto " un buon segno " in termini di impianto di un supporto. A livello del limite della carreggiata l'altezza di appoggio necessaria è di circa 3,5 m.

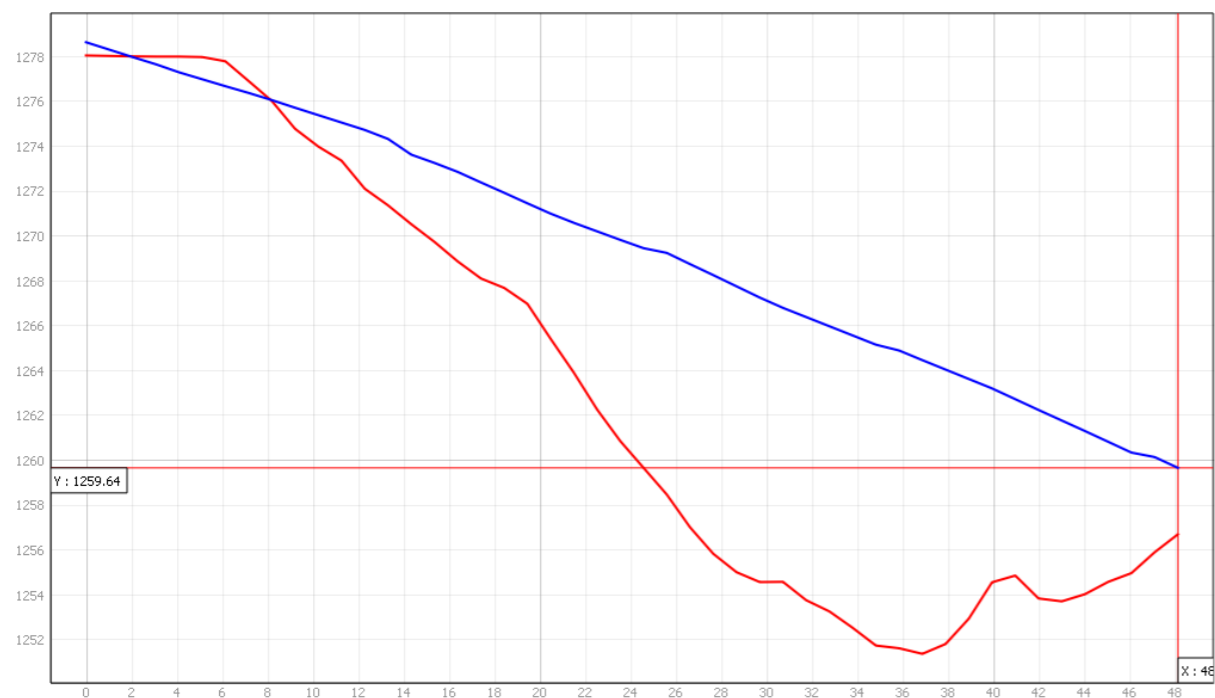


Illustration 139 Profilo trasversale PT26 - A monte da QGis

In blu: DEM del 2018.  
In rosso: CEM post Alex

Anche in questo caso, la pendenza al piede del terrapieno è abbastanza grande, il che si traduce in materiali "robusti", la fondazione del supporto potrebbe essere costruita in questa prospettiva.

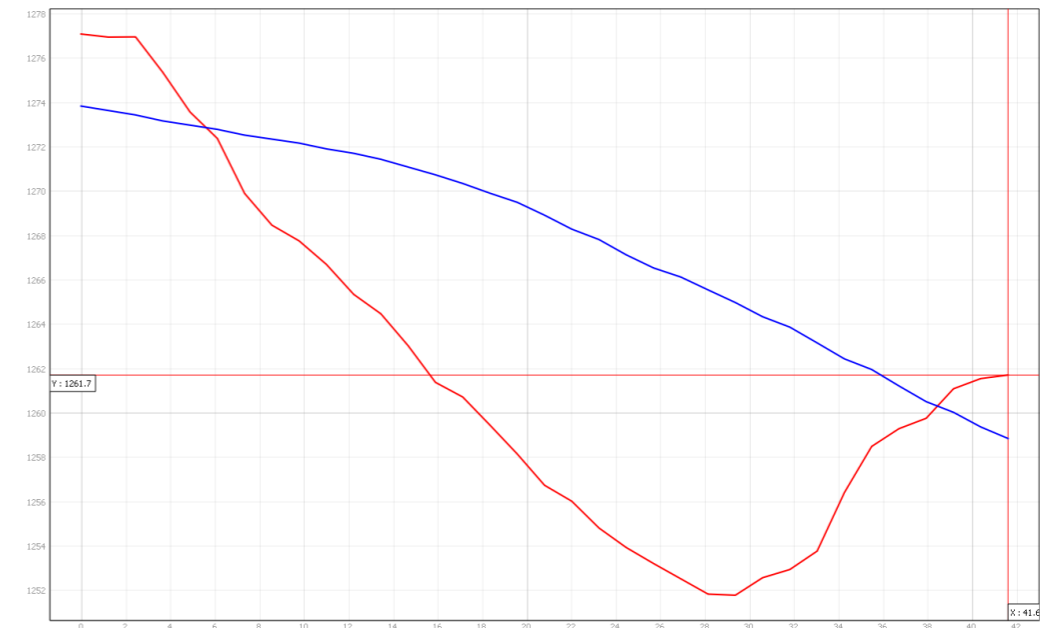


Illustration 140 Profilo trasversale PT26 - A valle da QGis

In blu: DEM del 2018.  
In rosso: DEM post Alex

La pendenza al piede del terrapieno è molto più bassa che a livello degli altri profili Siamo quindi, qui, su materiali meno rocciosi. In questo luogo, la fondazione di un supporto sembra più difficile.

Se il profilo PT26-A monte mostra anche una pendenza abbastanza ripida ai piedi del terrapieno piuttosto favorevole (dal punto di vista della resistenza meccanica) per l'installazione di un supporto, il profilo PT26-A valle, da parte sua, presenta pendenze piuttosto basse ai piedi del terrapieno e riflette la minore resistenza meccanica del terreno. Con questo profilo, la realizzazione della fondazione di sostegno sembra più difficile.

## 8.5 Possibili soluzioni tecniche

Durante la nostra visita sul campo del 17 marzo 2021, non ci è stato possibile avvicinarci ai materiali più morbidi (nessuna possibilità di installare funi per accedere dall'alto al terrapieno). Non possiamo quindi determinare con certezza la natura dei materiali sfusi. Comunque, date le pendenze visibili all'interno di questi materiali, sembra piuttosto difficile considerare la costruzione di un muro di contenimento basato su questi materiali (vedi Illustration 140). Da un lato perché questi materiali sembrano non avere caratteristiche meccaniche sufficienti e, dall'altro, perché il supporto partirebbe quasi a livello del letto del Roia, il che lo renderebbe estremamente vulnerabile all'erosione.

Di conseguenza, abbiamo materiali rocciosi (calcarei giurassici) parte a monte della piattaforma e rilevati induriti (le cui caratteristiche geomeccaniche sono ancora da valutare) parte a valle della piattaforma che presentano caratteristiche meccaniche piuttosto favorevoli alla ricostruzione della piattaforma.

Tra queste due formazioni resta la breccia, costituita da materiali piuttosto sciolti, le cui caratteristiche meccaniche non sembrano adeguate a ricostruire la piattaforma.

La prima soluzione evidente per ricostituire una piattaforma e consentire il ripristino dell'accesso al tunnel è quindi quella di attraversare questa breccia con una costruzione a sbalzo.

Ai lati della mensola avremmo robusti punti di ancoraggio (calcarei giurassici e terrapieni induriti) che costituirebbero i principali supporti della mensola. Tra questi due punti va ricostituita una piattaforma o semplicemente appoggiata su questi due punti di ancoraggio, oppure appoggiata al centro su una stampella ancorata nel pendio a valle della piattaforma, che costituirebbe così un terzo punto di appoggio.

Un'altra soluzione consiste nel costruire un muro di contenimento più " classico ". al limite della breccia, questo muro sarebbe basato su calcari giurassici e su terrapieni induriti (soggetti alle caratteristiche meccaniche di questi ultimi). Nella parte centrale, a livello dell'imbuto grigio visibile sull'illustration 135, si potrebbe prevedere una ricostruzione di tipo muro AD/OC che consentirebbe di ripartire dalla base del " prelievo " sollevando un supporto fino alla piattaforma.

Un'ultima soluzione potrebbe consistere in un "muro di Berlino" o un "micromuro di Berlino" inchiodato o tirato ai piedi (a seconda del tipo di formazione presente, piuttosto indurito o sciolto) esteso in terrapieno, possibilmente con una tecnica AD/OC. Questa "muro di Berlino" potrebbe anche essere sostituito da un muro inchiodato.

Per poter valutare al meglio quale soluzione sarebbe la più appropriata per consentire la ricostruzione della piattaforma, è necessario comprendere meglio la successione delle litologie in questo settore e valutarne le caratteristiche meccaniche.

Innanzitutto, è necessario individuare il tetto di calcari giurassici che costituisce l'orizzonte di impianto di un muro di contenimento o di una fondazione profonda nel caso di una mensola. È necessario quindi caratterizzare meccanicamente gli argini induriti così come gli argini color ocra per valutare se possono servire o meno come formazione di fondazione per un muro di sostegno o come fondazione profonda nel caso di una mensola

Infine, si dovranno intraprendere indagini naturalistiche più approfondite per valutare più precisamente al di sotto di quale livello altimetrico non è possibile abbassare il supporto per non renderlo vulnerabile alle piene del Roia.

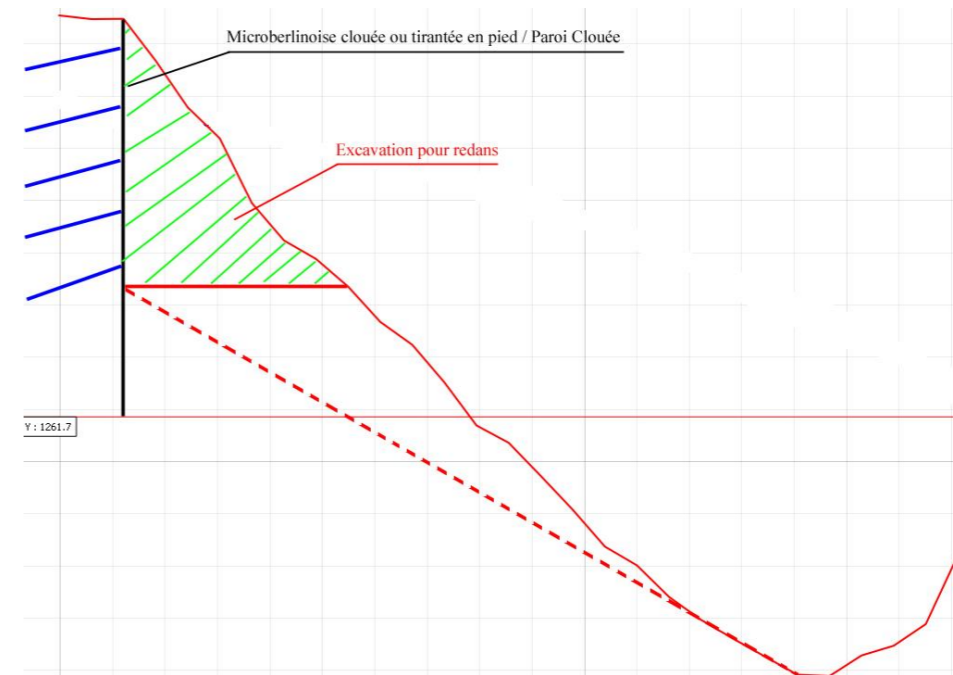
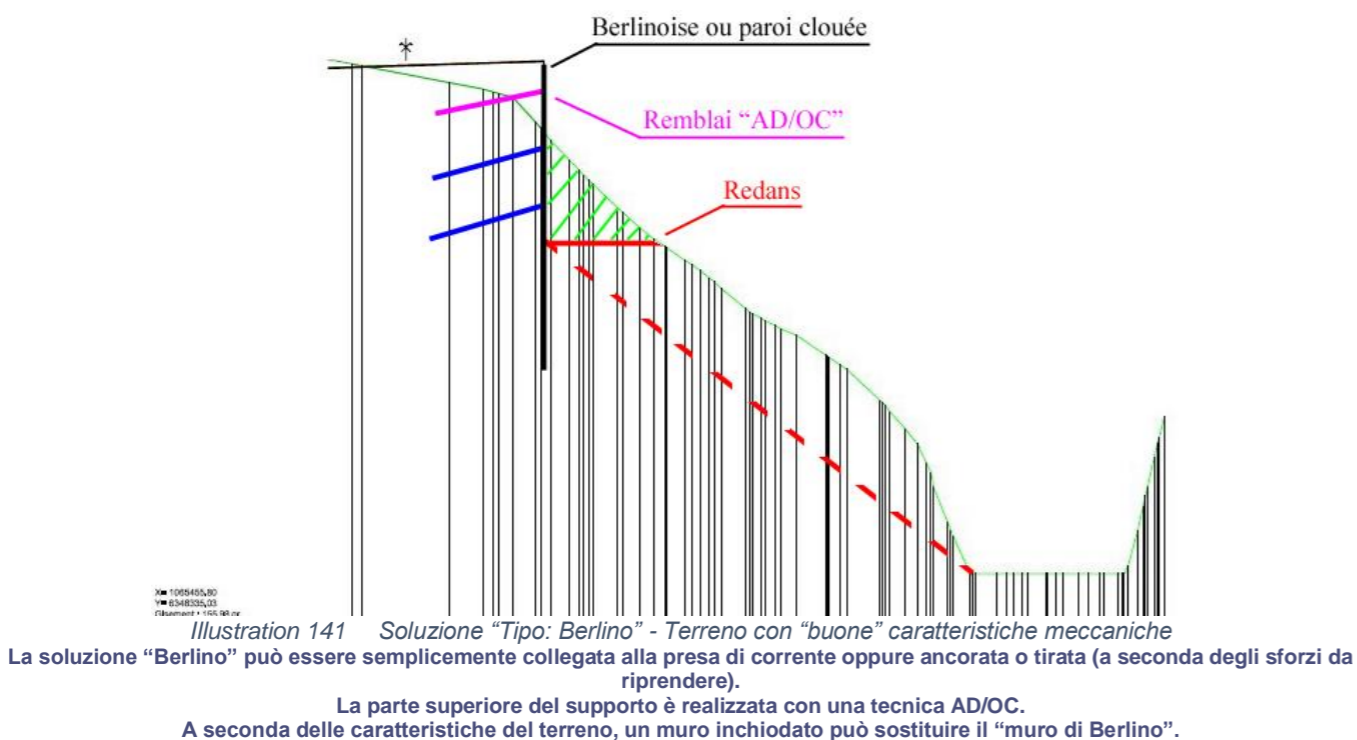
Pertanto, la prima soluzione per ristabilire la piattaforma consisterebbe nella realizzazione di una mensola a sbalzo a livello della breccia, o semplicemente appoggiata alle sue estremità oppure supportata anche al centro su una stampella ancorata nel versante a valle. Questa soluzione offre il vantaggio di estrarre il supporto dall'influenza del Roia e la rende meno vulnerabile. Il progetto, che potrà essere studiato in una fase successiva, sarà comunque piuttosto complesso e richiederà probabilmente la realizzazione di fondazioni profonde del tipo a palo.

Un'altra soluzione consiste nella realizzazione di un muro di sostegno misto "peso" / muro AD/OC nella parte centrale. Più leggera nel design, questa soluzione offre però lo svantaggio di installare la base del muro AD/OC leggermente sopra il letto del Roia, che potrebbe rendere questa soluzione più vulnerabile alle piene.

Si può evocare un'altra soluzione Consisterà nella realizzazione di un muro di contenimento in calcestruzzo gettato che poggi ai lati della breccia sui materiali più resistenti e scenderà, al livello della breccia sufficientemente profonda da chiudere l'imbuto visibile sull'illustration 135. Questo muro sarebbe quindi prodotto e dimensionato per fungere da console a sbalzo che consente la costruzione della piattaforma della carreggiata. A prima vista, sembra molto probabile che questo muro debba essere ancorato alla parte posteriore del terrapieno, attivamente o passivamente.

L'ultima soluzione proposta, infine, consiste nella realizzazione di un "muro di Berlino" o di un "micromuro di Berlin", prolungato da un terrapieno, possibilmente con la tecnica AD/OC.

Quest'ultima soluzione è dettagliata nelle Illustration 141 e Illustration 142 .



**Illustration 142** Soluzione "Tipo: Micromuro di Berlino inchiodato / ancorato" - Terra di "cattive" caratteristiche meccaniche  
Il micromuro di Berlino sarà necessariamente ancorato o tirato

La parte superiore del supporto è realizzata con una tecnica AD/OC.  
Secondo le caratteristiche del terreno, un muro inchiodato può sostituire il "micromuro di Berlino".

## 8.6 Ricognizioni geotecniche necessarie

Come specificato nel paragrafo precedente, sono necessarie ricognizioni geotecniche per la determinazione del tetto di calcari giurassici da un lato e, dall'altro, per caratterizzare i materiali di questo settore e in particolare i terrapieni induriti

Le ricognizioni minime da eseguire sono elencate nell'illustration 143 .



**Illustration 143** Ricognizioni geotecniche proposte a livello della piattaforma di accesso al tunnel Est  
Proponiamo la realizzazione di due sondaggi distruttivi profondi 40 m con prove pressometriche ogni metro e un carotaggio profondo 40 m anche per determinare la posizione dei calcari giurassici e per specificare le caratteristiche meccaniche dei materiali del sito. Il sondaggio distruttivo avrà un piezometro e il carotaggio con un inclinometro. Inoltre, nel carotaggio, saranno prelevati campioni integri al fine di effettuare prove triassiali per determinare le caratteristiche di taglio di tutte le formazioni a livello della testata Est del tunnel.



## 9 CONCLUSIONI E AZIONI DA ESEGUIRE

La prima parte dello studio presenta una diagnosi geotecnica del fenomeno all'origine della distruzione di gran parte della piattaforma antistante la canna Est nonché delle due strutture che attraversano il vallon del Ca.

Le parti da 4 a 7 costituiscono uno studio di fattibilità tecnica delle strutture che consentono il ripristino dell'accesso alla galleria stradale, tenendo conto in particolare di due principali vincoli :

- La possibilità di una nuova frana o di lava torrenziale, la cui descrizione si trova nella parte 3
- Notevoli sforzi in caso di valanga

Lo studio è condotto in due scenari distinti:

- Scenario 1: questo scenario corrisponde alla soluzione di base raccomandata dall'amministrazione aggiudicatrice per ripristinare l'accesso alle gallerie del Colle di Tenda da parte di un'unica struttura che attraversa il ruscello Ca. Questa soluzione può essere considerata solo con riguardo alla fattibilità di perforare una nuova galleria di collegamento tra la galleria storica e la nuova galleria in costruzione.
- Scenario 2: questo scenario consiste nella costruzione di due strutture, una per ogni direzione di traffico, con una struttura davanti a ogni canna. In altre parole, si tratterebbe di tornare alla situazione originaria, prima del crollo delle strutture. Il vantaggio di questo scenario 2 è che non sarebbe quindi necessario deviare il tunnel Est, ma solo rialzare la testata e l'ingresso per evitare problemi alla "maschera". Lo svantaggio di questo scenario è che richiede la ricostruzione di una piattaforma a livello della canna Est associando un supporto sostanziale.

Le soluzioni strutturali presentate e analizzate in questo studio che soddisfano tutti i vincoli sono strutture del tipo "corda d'arco" in acciaio, sia per la struttura nello scenario 1 che per le due strutture nello scenario 2. Il piano stradale di ciascuna struttura è previsto per essere trasportato a pezzi, assemblati in loco mediante saldatura su un ponteggio provvisorio ricavato nel vallon del Ca..

L'estimazione dei costi delle strutture è di 7,5 milioni di euro IVA esclusa per la struttura dello scenario 1, 4,2 milioni di euro IVA esclusa per la struttura Nord dello scenario 2 e 2,9 milioni di euro IVA esclusa per la struttura Sud dello scenario 2. A queste stime bisognerà aggiungere i costi dei collegamenti stradali, dei grandi lavori di sterro da eseguire sotto e intorno alla struttura, il costo di alcuni supporti da fornire all'esterno di essa e il costo della ricostruzione della piattaforma davanti al tunnel Est (costo che a priori sarà molto più importante per lo scenario 2 che per lo scenario 1) con un grande muro di contenimento.

Per le strutture, anche le soluzioni di tipo Warren potrebbero soddisfare le esigenze.

Le soluzioni studiate in questa relazione tecnica inducono una leggera modifica del profilo longitudinale e della disposizione in pianta della RD6204. Le ripercussioni sulle strutture di accesso (tornanti fino a OA10, in particolare) non sono state studiate ma dovranno essere prese in considerazione a livello dell'EPOA. Allo stesso modo non è stata studiata la rettifica dell'ingresso alla galleria Est (testata e inizio del tratto attuale).

Per quanto riguarda il seguito da dare, è previsto un secondo elemento di missione da parte di Cerema per rendere più affidabile lo studio.. Questo secondo elemento della missione terrà conto in particolare dell'analisi e del funzionamento dei rilievi geotecnici che saranno effettuati e specificherà alcune scelte tecniche nonché proporrà una stima più dettagliata dei lavori..

Per il nostro secondo elemento di missione, è necessario che ci siano forniti:

- risposte alle nostre domande sulla topografia fornita dagli ingegneri italiani (qual è esattamente il sistema altimetrico utilizzato ? Potremmo avere le facce 3D della zona in WGS84 / UTM32 così come il sistema di livellamento che è attaccato alle coordinate altimetriche?)

- gli assi geometrici previsti per le gallerie.
- I risultati delle ricognizioni geotecniche.

Per il proseguimento degli studi ed in particolare per poter approfondire la conoscenza dei punti sensibili che questo studio di fattibilità ha individuato, sarà utile effettuare i seguenti studi specifici :

- studio specifico delle valanghe, sulla base dei lavori selezionati, che consente di determinare le altezze e le pressioni delle valanghe ma anche di cogliere l' "effetto maschera", ovvero il fatto che lo sforzo valanga da considerare può essere potenzialmente maggiore di la pressione moltiplicata per la sezione presentata alla valanga.
- studio geomorfologico per aggiornare la possibilità di lava torrenziale e le sue caratteristiche
- studio ambientale dell'area, pronunciandosi in particolare sulla fattibilità di collocare un ponteggio provvisorio nel vallon del Ca
- studio idraulico basato sulla riprofilatura programmata del Ca per determinare in particolare l'influenza delle alluvioni centinarie e gli eventuali sviluppi da programmare sulla sponda
- studio architettonico e paesaggistico
- studio di risanamento fuori opera.



**Cerema**

CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN

Cerema Direction Méditerranée

Pôle d'activités 30 Avenue Albert Einstein – CS 70499 – 13593 AIX-EN-PROVENCE Cedex 3 – FRANCIA – Telefono: +33(0)4 42 24 76 76

Sede sociale: Cité des mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F-69674 Bron Cedex - Francia - Telefono: +33 (0)4 72 14 30 30

