

平成 29 年 10 月 欧州砂防調査報告書



平成 30 年 3 月

筑波大学大学院
生命環境科学研究科環境防災学講座 教授

西 本 晴 男

応用地質（株） 砂防・防災事業部 技術部

大 村 さつき

（株）東京建設コンサルタント
東京本社流域施設本部砂防部

高 橋 大 地

○砂防堰堤での集合写真

【表紙写真】

フィレンツェ（イタリア）近郊の歴史的砂防堰堤調査の参加者
（左から 2 人目と右から 3 人目は、アメリゴ・ホフマンの孫）

平成 29 年 10 月

欧州砂防調査報告書

平成 30 年 3 月

筑波大学大学院
生命環境科学研究科環境防災学講座 教授

西 本 晴 男

応用地質（株） 砂防・防災事業部 技術部

大 村 さつき

（株）東京建設コンサルタント
東京本社流域施設本部砂防部

高 橋 大 地

ま え が き

日本の近代砂防に大きな影響を与えたヨーロッパの砂防の歴史と現在の状況を把握するため、平成 29 年 10 月 1 日から 10 月 13 日にかけてオーストリア、イタリア、チェコ及びフランスを訪れた。

これらの国においては、2012 年にはオーストリアでのザルツブルグ周辺の諸戸北郎博士関連の現場とシュタイアーマルク州の砂防施設及び災害現場の調査、2013 年にはオーストリアでのイン川上流及びザルツブルグ周辺の砂防施設調査とウィーン市内の諸戸博士関連調査を行い、2014 年にはオーストリアでのシュタイアーマルク州、イタリアでのトレント市周辺フェルシナ川流域の砂防施設等の調査を行い、2015 年にはオーストリアでのニーダーエスターライヒ州の砂防施設及び災害現場の調査、イタリアでのトスカーナ州とエミリア・ロマーニャ州の砂防施設調査並びにアメリゴ・ホフマンの資料調査を行うとともに、ウィーン市において BOKU 大学教授協力のもと諸戸博士の関連調査を行った。2016 年には、オーストリアではケルンテン州の砂防施設及び災害現場の調査、イタリアではフリウリ・ヴェネツィア・ジュリア州の砂防施設及び災害現場の調査、クロアチア・モンテネグロ・チェコでは諸戸博士アルバムの写真にある砂防工事個所調査、ウィーン市において BOKU 大学教授協力のもと諸戸博士の関連調査を行った。

今回は、これらに引き続く一連の調査として、オーストリアでは 20 世紀初頭に BOKU 大学に留学した日本人研究者・技術者の軌跡をたどり、イタリアではフリウリ・ヴェネツィア・ジュリア州とトスカーナ州フィレンツェ近郊の砂防施設、土石流観測地及び災害現場の調査を行い、チェコでは諸戸博士アルバムの著書にある砂防工事個所調査を行い、フランスではサボア県の歴史的砂防施設の調査と RTM 実施本部訪問によるフランス砂防の情報収集を行った。

今回の調査は、現在の砂防技術の調査、歴史的施設の調査、諸戸博士関連の調査など複数の視点からのものであり、また時間的な制約と言葉の問題もあったなかで、欧州におけるこれまでの人脈を活かして調査目的、確認したい事項並びに訪問したい現場について出国までに詳細を伝えていたことから、概ね目的を達し、現地調査と資料収集の両面で大きな成果があったと考えている。イタリア、フランスでは新たな知己を得られたことも成果の一つである。

訪問国で事前の準備と現場案内をしていただくなどお世話になった各国の諸氏、そして出張をともにした応用地質株式会社の大村さつき氏と株式会社東京建設コンサルタントの高橋大地氏に心より感謝の意を表します。

平成 30 年 3 月

筑波大学大学院・環境防災学講座
教授 西 本 晴 男

平成 29 年 10 月 欧州砂防調査報告書

目 次（1 / 2）

まえがき

第 1 章 概要	1
1.1. 目的	1
1.2. 参加者	1
1.3. 行程	2
1.4. 面会者	4
第 2 章 オーストリア	5
2.1. 概要	5
2.2. BOKU 大学	8
2.3. 留学者名簿	12
2.4. ウィーン市内	20
第 3 章 イタリア（タルヴィジオ周辺）	21
3.1. 概要	21
3.2. Lussari（ルッサーリ）溪および Sciaid（シアイド）溪	25
3.3. Saisera（サイセラ）溪	33
3.4. 森林警察事務所	38
第 4 章 イタリア（タリアメント川流域）	41
4.1. 概要	41
4.2. Rivoli Bionchi alluvial fan（リヴォーリ・ビオンキ）扇状地	42
4.3. Moscardo（モスカルド）溪	44
第 5 章 イタリア（フィレンツェ周辺）	51
5.1. 概要	51
5.2. Barberino Val d' Elsa（バルベリーノ・ヴァル・デルサ）近郊溪流	53

平成 29 年 10 月 欧州砂防調査報告書

目 次 (2 / 2)

第 6 章	チェコ	69
6.1.	概要	69
6.2.	Rakovník (ラコヴニーク) 溪域	73
6.3.	チェコ工科大学 (České vysoké učení technické v Praze)	84
第 7 章	フランス	87
7.1.	概要	87
7.2.	RTM 本部	88
7.3.	IRSTEA	98
7.4.	Morel (モレール) 溪	101
7.5.	Staint-Julien (サン・ジュリアン) 溪	111
第 8 章	収集資料	113
8.1.	収集資料リスト	113
8.2.	収集資料	113
第 9 章	調査写真	241
	調査旅行日記	259

第 1 章 概要

1.1. 目的

欧州諸国の砂防事業及び砂防研究の実施状況の調査及び砂防技術者・研究者との意見交換により，環境防災の考え方と対策施設の構造等を把握するとともに，欧州諸国の砂防事情並びに先人の欧州視察の足跡について調査を行い，今後の日本の砂防技術の発展に資する知見を得る．

1.2. 参加者

表 1.1 調査参加者

氏 名	所 属
西本 晴男	筑波大学大学院生命環境科学研究科環境防災学講座教授
大村さつき	応用地質（株） 砂防・防災事業部 技術部 主担
高橋 大地	（株）東京建設コンサルタント 東京本社流域施設本部 砂防部 技師

1.3. 行程

2017年10月1日～15日（全15日間）における行程は表1.2のとおりである．行程は西本が訪問先及び各国の知人と連絡調整の上作成した．訪問先の位置を図1.1に示す．

表 1.2 調査行程

日付	行程	移動経路	内容	宿泊地 ホテル
10/1 日	移動	飛行機 タクシー	・NH209 便 (11:00 成田→16:00 デュッセルドルフ) ・EW9752 便 (18:00 パリ→19:30 ウィーン)	ウィーン REGINA
10/2 月	ウィーン	タクシー	・BOKU 大学 Hübl 教授と打合せ ・諸戸北郎博士関連調査 ・ウィーン市内視察	ウィーン REGINA
10/3 火	ウィーン →ウディネ	鉄道、バス	・電車 (10:25 ウィーン中央駅 →14:46 フィラハ中央駅) ・バス (14:56 フィラハ中央駅 →16:30 ウディネ駅)	ウディネ Friuli
10/4 水	タルビジオ	レンタカー (運転手付)	現地調査 (Lussari 溪, Alpini 溪, CARABINIERI 事務所)	ウディネ Friuli
10/5 木	トルメッゾ	レンタカー (運転手付)	現地調査 (Tolmezzo の巨大扇状地, Moscardo 溪)	ウディネ Friuli
10/6 金	ウディネ →フィレンツェ	鉄道	・R2449 (ウディネ→ベニス・メストレ) ・ES9427 (ベニス・メストレ→フィレンツェ S.M.N)	フィレンツェ EMBASSY
10/7 土	バルベニーノ・ヴァル・デルサ	レンタカー (運転手付)	・レオナルドダヴィンチが関係したとされる砂防堰堤の調査 ・アメリゴ・ホフマンの子孫と打合せ	フィレンツェ EMBASSY
10/8 日	移動	飛行機 タクシー	・AZ1678 便 (12:10 フィレンツェ→13:00 ローマ) ・AZ512 (15:30 ローマ→17:20 プラハ)	プラハ Rezidence Dlouhá 17
10/9 月	ラコヴニーク周辺	タクシー	現地調査 (Sanov、Senomaty)	プラハ Rezidence Dlouhá 17
10/10 火	プラハ	トラム 地下鉄 タクシー	・チェコ工科大学で講義 ・プラハ市内視察	プラハ Rezidence Dlouhá 17
10/11 水	移動	タクシー 飛行機 鉄道	・LX1473 便 (12:45 プラハ→14:20 ジュネーブ) ・IC725 (14:32 ジュネーブ空港 →14:39 ジュネーブ中央駅) ・TER96642 (15:00 ジュネーブ中央駅 →17:04 グルノーブル)	グルノーブル Hotel d'Angleterre
10/12 木	グルノーブル	トラム	・RTM 本部で情報交換 ・IRSTEA で資料収集	グルノーブル Hotel d'Angleterre

日付	行程	移動経路	内容	宿泊地 ----- ホテル
10/13 金	サボア県	レンタカー (運転手付)	現地調査 (モレール溪、サンジュリアン溪)	グルノーブル ----- Hotel d'Angleterre
10/14 土	移動	鉄道 飛行機	・TER17618 (11:21 グルノーブル→12:44 リヨン) ・TGV5066 (14:00 リヨン→16:02 シャルルドゴール空港) ・NH216 便 (20:05 シャルルドゴール空港→)	機中泊
10/15 日		飛行機 レンタカー (運転手付)	・NH216 便 (→14:55 羽田空港) - 現地調査 (モレール溪、サンジュリアン溪)	—

ラコヴニーク



図 1.1 本調査における訪問先

1.4. 面会者

調査中における主な面会者は表 1.3 のとおりである.

表 1.3 面会者一覧

面会日	面会者	所属
オーストリア		
10/2	Johannes Hübl	Professor, Universität Für Bodenkultur Wien
イタリア		
10/4	Andrea Bonanni	Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia の技士
10/4	Patrizio Terlicher	CARABINIERI 所長
10/5	Alessandro Pasuto	National Research Council, Research Institute for Geo-Hydrological Protection (CNR-IRPI)
10/5	Luca Marcato	
10/7	Amerigo Hofmann(Jr.)	Dr. Amerigo Hofmann(Senior)の孫
10/7	Elsa Niessner	Dr. Amerigo Hofmann(Senior)の孫
10/7	Federico Preti	Professori, Università degli Studi Firenze
10/7	Alessandro Errico	Student, Università degli Studi Firenze
10/7	Giacomo Trentanovi	Barberino Val D'elsa 市 市長
10/7	Giannino Pastori	Barberino Val D'elsa 市 副市長
10/7	Marco Bottino	President URBAT (Union Regional Per Le Bonifiche L'irrigazione e L'ambiete Della Toscana)
10/7	Sandro Matteini	URBAT 広報室
10/7	Paolo Caccetta	ACCADEMIA DELLO ZAFFERAO 農園オーナー
チェコ		
10/10	Josef Křeček	Associate Professor, Department of Hydrology Czech Technical University in Prague
10/10	Ladislav Palan	Aon Benfield
フランス		
10/12	Oliver Marco	Head of natural risk Department, RTM
10/12	Simon Cardlados	Reseach engineer for protection system effectiveness, RTM
10/12	Guillaume Piton	Research engineer, ETNA : Torrential Erosion, Snow and Avalanche research unit

第2章 オーストリア

2.1. 概要

平成 29 年 10 月 2 日、オーストリアのウィーンにある BOKU 大学を訪問した。日本及びオーストリアの砂防に関する意見交換、および BOKU 大学の留学生名簿の収集を行った。

オーストリア共和国（ドイツ語: Republik Österreich）、通称オーストリアは、ヨーロッパの連邦共和制国家で、首都は音楽の都といわれるウィーンである。

ドイツの南方、中部ヨーロッパの内陸に位置し、西側はリヒテンシュタイン、スイスと、南はイタリアとスロベニア、東はハンガリーとスロバキア、北はドイツとチェコと隣接する。

ウィーン（標準独: Wien〈ヴィーン〉、バイエルン・オーストリア語: Wean〈ヴェアン〉、仏: Vienne〈ヴィエンヌ〉、英: Vienna〈ヴィエナ〉）は、都市単独で一つの連邦州であり、ヨーロッパ有数の世界都市である。第一次世界大戦まではオーストリア＝ハンガリー帝国の首都としてドイツを除く中東欧の大部分に君臨し、さらに 19 世紀後半まではドイツ連邦や神聖ローマ帝国を通じて形式上はドイツ民族全体の帝都でもあった。クラシック音楽が盛んで過去にモーツァルトやベートーヴェン、シューベルトなど、多くの作曲家が活躍したことから「音楽の都」・「楽都」とも呼ばれる。

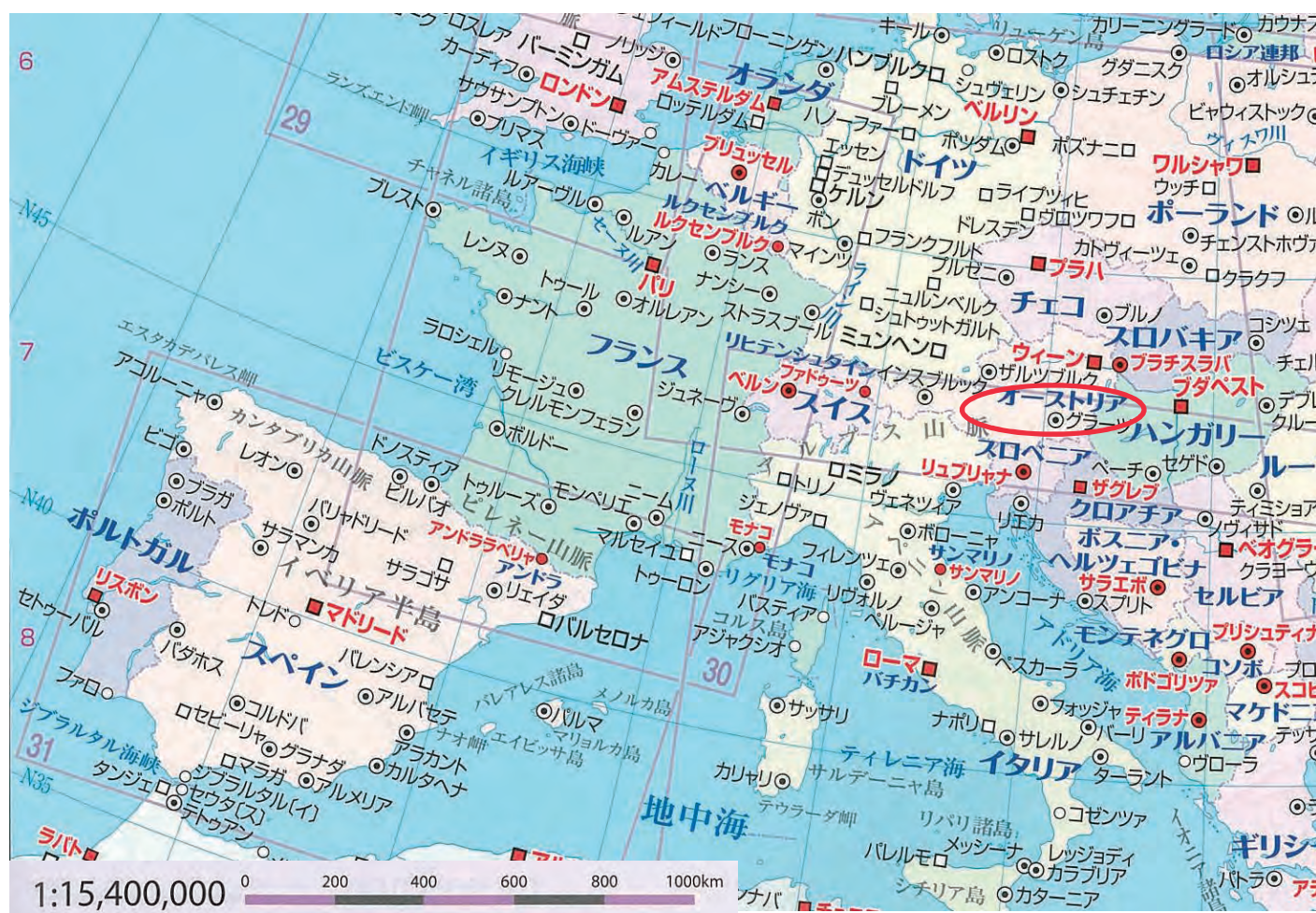


図 2.1-1 オーストリア

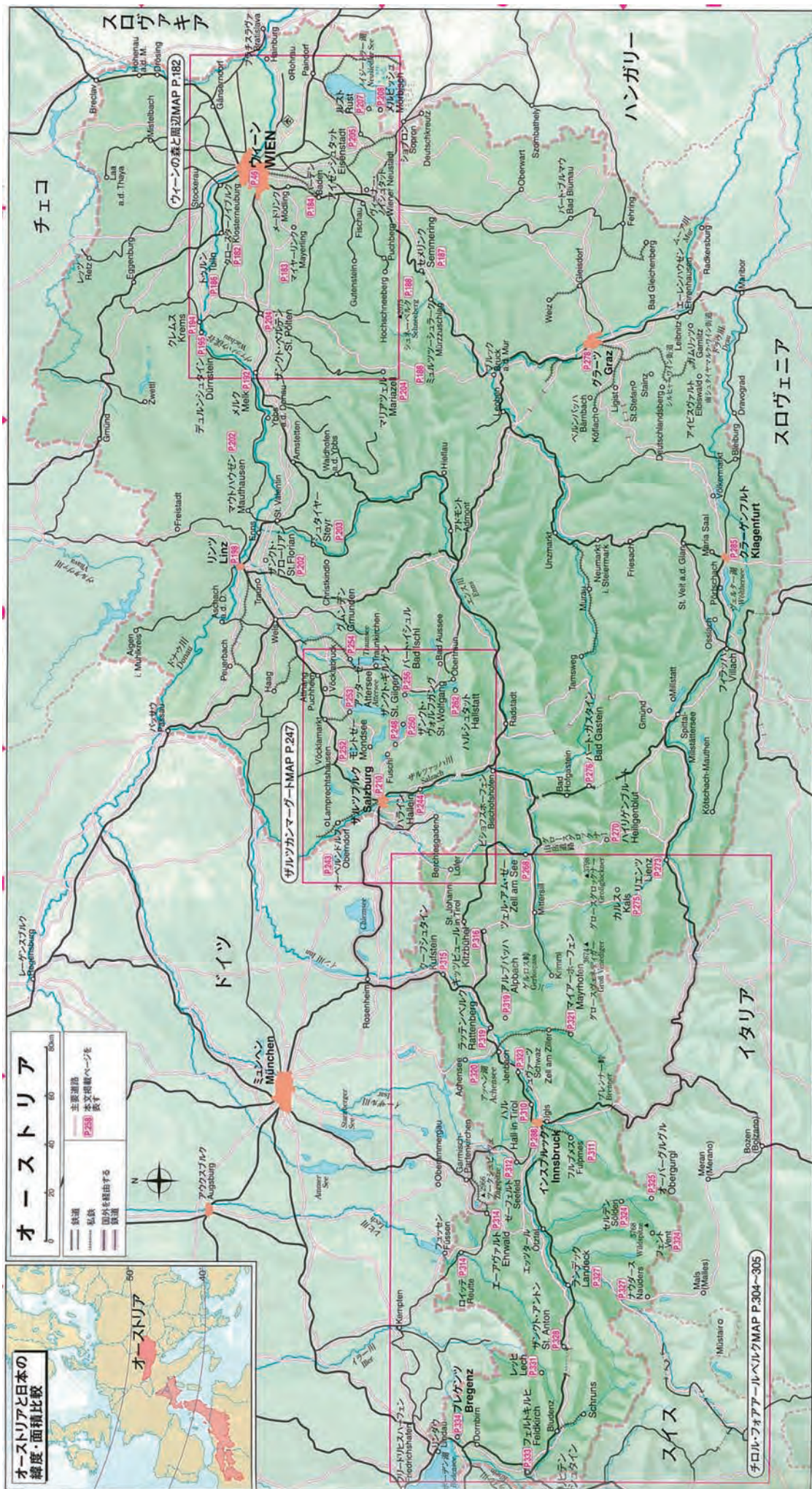


図 2.1-2 オーストリア全図

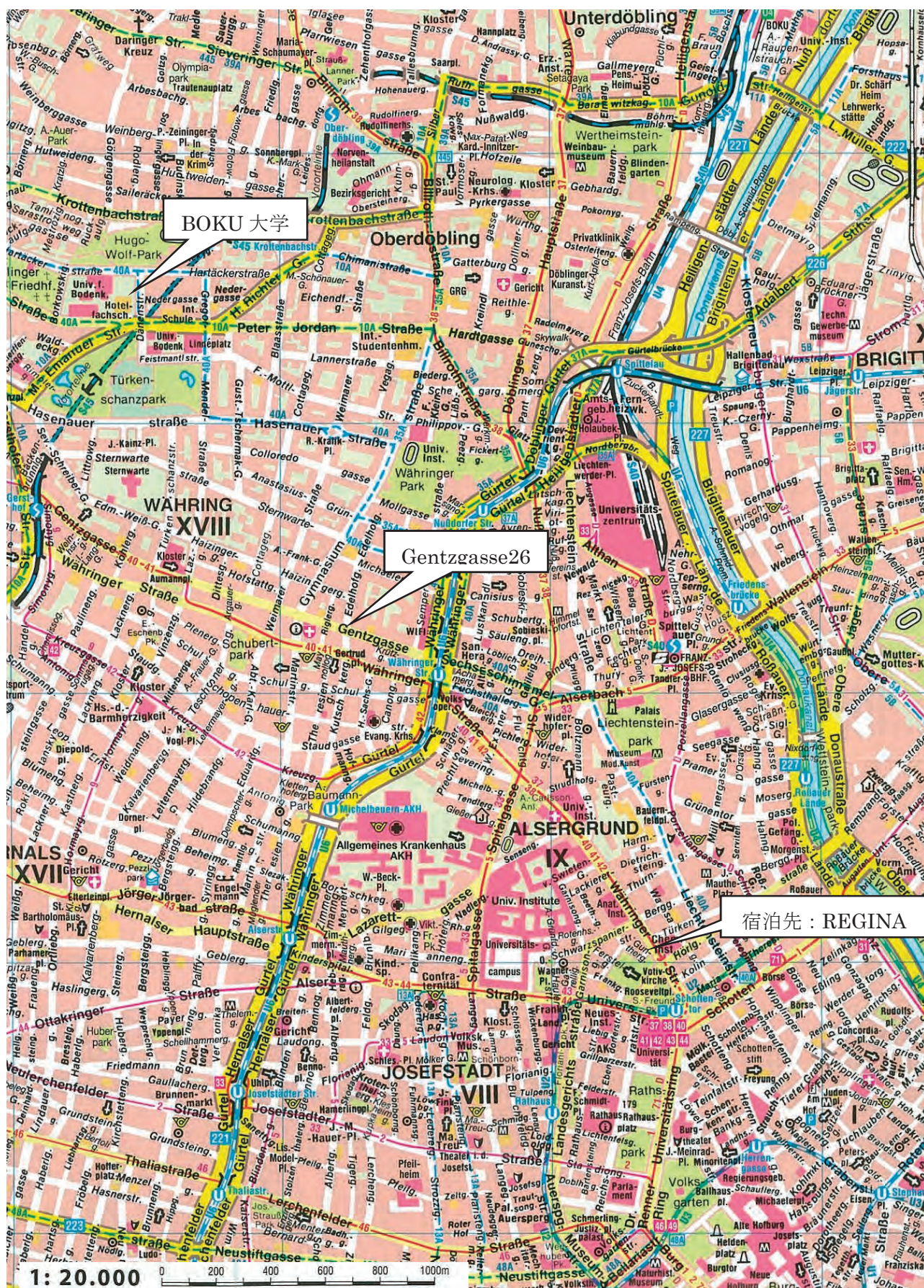


図 2.1-3 ウィーン訪問箇所

2.2. BOKU 大学

BOKU 大学の Hübl 教授を訪問し、日本の砂防事業について及び最近の土砂災害事例についての紹介を行い、日本およびオーストリアの砂防について意見交換を行った。

意見交換の場には学生 5 名も参加し、全 10 名での交換会となった。冒頭のあいさつで西本教授が BOKU 大学と日本の歴史的な砂防の技師とのかかわりについて説明し、北九州豪雨災害について大村が発表した、その後西本教授が日本の砂防とホフマンの係わりについて発表した。質疑応答では、以下のような内容が議論された。

Q：報告の中に写真があったが、いつ撮られたものなのか。

A：日本では、災害発生後、国の機関や民間会社が写真を撮り、それを公開している。

その段階で撮影されたものである。

Q：山の木は利用されていたものなのか？

A：昔植林されたものだが、手入れがされていない山であった。

Q：流木の対策はこれまでは考えられてなかったのか。

A：過去の災害事例をもとに、流出土砂量の流木量の割合を考えて基準を作っていた。

今回の災害で、想定を上回る流木が発生したため、基準の見直しを検討中である。



図 2.2-1 BOKU 大学前にて



図 2.2-2 Hübl 教授と研究室



図 2.2-3 ディスカッションの状況 1



図 2.2-4 ディスカッションの状況 2

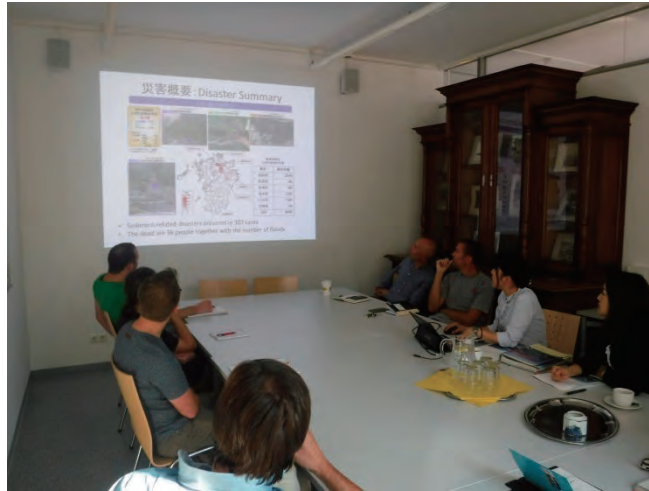


図 2. 2-5 北九州豪雨に関する説明（発表：大村）



図 2. 2-6 諸戸博士とホフマンの関連についての説明
（発表：西本教授）



図 2. 2-7 Hubl 教授の説明

全体での議論の終了後学生が退出し、Hübl 教授からオーストリアの砂防について説明があった。内容は以下である。

■ハード対策とソフト対策

- ・ 予防措置について、2つの手法がある。
 - ・ 能動的な事前処置、状況によって異なる。
 - ・ 計画的な対応と一時的な対応がある。
 - ・ 生物学的なもの：古くから行われている植林などの手法
 - ・ 技術的なもの：近代の技術を使ったもの
-
- ・ ソフト対策：ハザードマップ、建築抑制、警戒避難
区域指定については、レッド・イエローとその他の色がある。
区域指定については、砂防関係の団体（溪流と雪崩に関する協会）であるオーストリア協会が作っている。
-
- ・ 住民への公表については、公表というよりも地域の都市開発に関わっているところに渡す。規制については流動的。州によっても違う。都市計画についても。市によって違う。
ある州では洪水が重視され、ニーデル・オーストライヒ州では、建物を建てることを禁止しているが、山岳地域のチロルでは規制が無い。おそらく規制してしまうと立てる土地が無くなってしまふからだと思われる。
-
- ・ 規制しない場合は、国からの助成金が打ち切られたりする。通常は 60%の助成金がある。
家が建てられた後の指定についてはそのまま、地形が変わった場合は更新していく。
-
- ・ オーストリア全体でゾーニングをしている。雪崩・川がある市町村は全部指定されている。
大きな川については EU の洪水ガイドラインがある。洪水のおそれがある地域では、リスクマネジメントのプランが実施されている(ドナウ川等)
-
- ・ ハード対策の機能：越流させる（洞門で線路の上を飛ばしたりする）、捕捉する、流下する箇所の強化、危険なところを避けて流下させる、がある。

■堰堤記号の利用

- ・記号については、線が入っているものは透過型堰堤。
- ・黄色は土砂用で、緑は木用。マークで堰堤の種類や機能を示している。

■観測手法

- ・パルスドップラーレーザー 高周波を測る。
- ・土砂が動く高さを測るセンサーの設置。

14 のセンサーが入っている。2000 箇所計測している。1 秒当たり 12 万ものデータになる。

夏に小規模な土石流が発生し、システムはよく機能した。

つながっている観測網は、警報時発令後計測を始める。

- ・観測網の設置

道路上流に設置する。計測のきっかけとしても使用する。

危険な場合、信号に連絡が行く。道路管理者にも連絡が行く。

的中率は 90 パーセント以上。基準はマグニチュードで測っている。

レーザーとカメラが連携している。

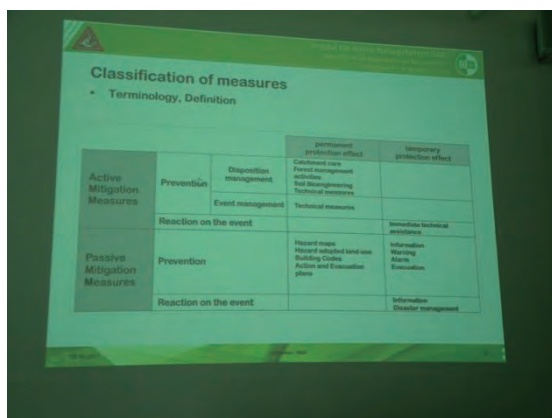


図 2.2-8 ハード・ソフト対策



図 2.2-9 堰堤の記号

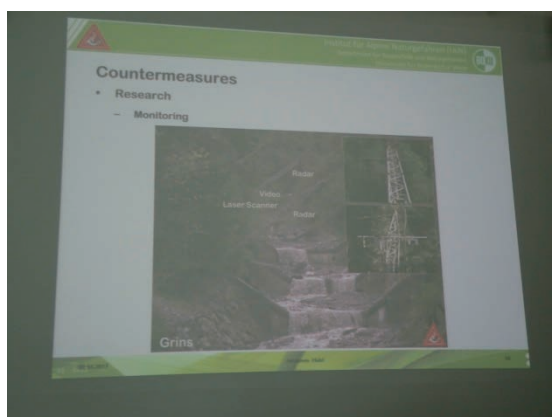


図 2.2-10 観測状況の例

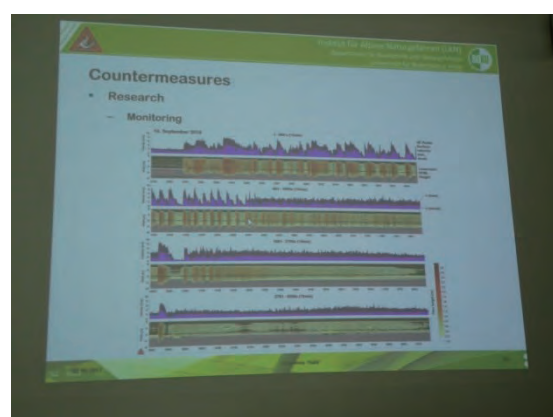


図 2.2-11 観測結果

2.3. 留学者名簿

BOKU 大学の留学生名簿の写し（図 2.3-2 参照）を、Hübl 教授より提供を受けた。入手した名簿は以下の氏名の者のもの（日本名を括弧内に記載）である。

- ・ Kawai（河合銈太郎）
- ・ Mochida（持田軍十郎）
- ・ Moroto Kitaro（諸戸北郎）
- ・ Watanabe（渡辺音吉）
- ・ Akagi（赤木正雄）

留学生名簿には、留学生が受講していた科目（取得単位）についても記載があり、「写真測量」、「森林に関する〇〇（解読不明）」、「水の流れを通常化させる〇〇（解読不明）」といった表記が見られた。

原文が、古い表記でかつ筆記体のドイツ語で書かれているため、Hübl 教授でも読み取れない部分も多くあった。年配の専門知識を持っている方なら読めるかもしれないということで、通訳の築瀬氏に翻訳について可能な方を探してもらうことにした。

帰国後、柳瀬氏からドイツ語活字表記したものとその日本語訳が送られてきた（図 2.3-3～図 2.3-12）。これをもとに作成した、上記の 5 名が BOKU で単位を取得した科目の一覧を表 2.3-1 に示す。



図 2.3-1 名簿の確認状況

Matriculanten-Verzeichnis			
Nr.	Nachname, Vorname	Geburtsort	Geburtsdatum
1	Kawai, Suetaro	Kawai, Japan	1891
2	Mochida, Junichiro	Mochida, Japan	1892
3	Moroto, Kitaro	Moroto, Japan	1893
4	Watanabe, Onkichi	Watanabe, Japan	1894
5	Akagi, Masao	Akagi, Japan	1895

図 2.3-2 留学生名簿（Kitaro Moroto）原本のコピー

135	Kitaro Moroto		Matrikelschein Nr. 64/II 1904		Kulturtechniker		
Geb.:	Vater oder Vormund	Religion	Geburts- und Zuständigkeitort	Nationalität	Wohnung	Vorbildung	Genuss eines Freiplatzes oder Stipendium
6. September 1873		Budda	Tokyo Japan detto	Japaner	Gentzgasse 26	 Professor für Forstwissenschaft und ...Tokyo Universität	
Semester	Besuchte Lehrgegenstände		Frequenz und Prüfungserfolg	Semester	Besuchte Lehrgegenstände		Frequenz und Prüfungserfolg
			Stunden				Stunden
S(ommer) S(emester)	Mechanische Technologie des Holzes Dozent Piliwa		4	S(ommer) S(emester)	Baumchronik und Brückenbau Professor		4
1909/10	Kulturtechnik Wasserbau I Hofrat Friedrich		3	1910/11	Kulturtechnik Wasserbau Hofrat Friedrich		3
	Erd., Wege und Brückenbau Dozent Oelwein		3		Kulturtechnik Maschinenbau Prof[essor] Riezek		3
	Hydraulik. Dozent Professor L. Tiefenbacher		4		Allgemeine Maschinenkunde derselbe		2
					Höhere Geodäsie Dozent E. Engel		3
W(inter) S(emester)	Wildbachverbauung. Hofrat Dozent Wang		2		Agrarische Operationstechnik Dozent Riebel		2?
1909/10	Konstruktionsübungen hiezu derselbe		2				
	Photogrammetrie derselbe		1				
	Forstliches Bauingenieurwesen, Professor Marchet		3				
	Konstruktionsübungen hiezu derselbe		4				
	Elektrotechnik Professor Dozent Grau		3				
	Regulierung der Wasserläufe, Dozent Oelwein		1				
	Forstbenutzung Prof[essor] Dr. Tieler		3				
	Allgemeine Baukunde Prof[essor] Marchet		3				
	Konstruktionsübungen hiezu derselbe		4				
	Allgemeiner Wasserbau.		3				
	Hofrat Dozent von Schwen						
	Anatomie des Holzes. Prof[essor] Wilhelm		1				
	Geographische Ortsbestimmung, Professor Helebrand		2				

図 2.3-3 留学生名簿 (Kitaro Moroto) 独語

135	諸戸北郎		学籍証 Nr. 64/II 1904		環境工学		
生年月日	父又は後見人	宗教	生誕地及び管轄地	国籍	住居	最終学歴	授業料免除または奨学金の受領
1873年 9月6日		仏教	東京、日本 同上	日本	Gentzgasse 26	東京大学林学科助教	
学期	履修科目		出欠及び試験結果	学期	履修科目		出欠及び試験結果
			単位				単位
夏学期	木材機械技術 プリヴァ講師		4	夏学期	樹木年代史及び架橋土木		4
1909/10	環境工学 理水建設 I フリードリヒ宮廷顧問官		3	1910/11	環境工学 理水建設 フリードリヒ宮廷顧問官		3
	土地、道及び架橋土木 エールヴァイン講師		3		環境工学 機械工学 レツェク教授		3
	理水学 講師 L. ティーフェンバッハ教授		4		基礎機械学 同上		2
					高度測地学 E. エンゲル講師		3
冬学期	砂防工学 宮廷顧問官ワング講師		2		農業的運用術 リーベル講師		2?
1909/10	構造演習 同上		2				
	写真測量法 同上		1				
			3				
	森林土木工学 マルヒェット教授						
	構造演習 同上		4				
	電気工学 講師グラウ教授		3				
	河運監正 エールヴァイン講師		1				
	森林利用学 教授ティーラー博士		3				
	基礎建築学 マルヒェット教授		3				
	構造演習 上記に関連して 同上		4				
	基礎理水建設学 宮廷顧問官フォン・シュヴェン講師		3				
	解剖的木材構造学 ゴットホルスト教授		1				
	地理学的位置計測 ヘルブランド教授		2				

図 2.3-4 留学生名簿 (諸戸北郎) 日本語訳

160	Kawai Shitaro		Matrikelschein N r. 26/II 1900	Forstwirt			
Geb.:	Vater oder Vormund	Religion	Geburts- und Zustä ndigkeitsort	Nationalität	Wohnung	Vorbildung	Genuss eines Freiplotzes oder Stipendium
15. Juni 1871	K. Kawai Tokio Japan	katholisch	Tokyo	japanisch	XVII Gentsgasse 60	Universität zu Tokio Universität zu Tübingen	
Semester	Besuchte Lehrgegenstände		Frequenz und Pr üfungserfolg	Semester	Besuchte Lehrgegenstände		Frequenz und Prü fungserfolg
			Stunden				
	allg[emeines] Bauingenieurwesen		3				
	Prof[essor] Delwein						
1900/01	Forstliche Nutzung Prof[essor] Hempel		3				
	Anatomie des Holzes Prof[essor] Wilhelm		1				
	Forst[liche] Bauingenieurwesen		3				
	Prof[essor] Marchet						
	Konstruktionsübungen hierzu		6				
	Prof[essor] Marchet						
	Konstruktionsübungen zu Wildbachverbauung		2				
	Prof[essor] Wang						
	Praktikum zu Waldbau Prof[essor] Hempel		2				
S[ommer]	 Technologie		5				
S[emester]	Prof[essor] Schwachhöfer						
	Forstdienstorganisation		3				
	Prof[essor] Güttenberg						
	Mechanische Technologie d[es] Holzes		/				
	Dozent Elina						
	Waldbau Prof[essor] Marchet		/				
W[inter]	Allgemeine Maschinenkunde		3				
S[emester]	Prof[essor] Reich						
	Enzyklopede der Hochbaukunde Prof[essor]		3				
1901/02	Proben						

図 2.3-5 留学生名簿（Kawai Shitaro）独語

160	河合 錦太郎		学籍証 26/II 1900番	森林学			
生年月日	父又は後見人	宗教	生誕地及び管轄地	国籍	住居	最終学歴	授業料免除または奨学金の受領
1871年6月 15日	K. カワイ 東京 日本	カトリック	東京	日本	XVII Gentzgass	東京大学 チュービンゲン	
学期	履修科目		出欠及び試験結果	学期	履修科目		出欠及び 試験結果
			単位				
	基礎土木工学 エールヴァイン教授		3				
1900/01	森林利用学 ヘンベル教授		3				
	解剖的木材構造学 ヴィルヘルム教授		1				
	森林土木工学 マルヒェト教授		3				
	構造演習 上記に関連して マルヒェト教授		6				
	砂防工学に関する構造演習 ワング教授		2				
	森林土木に関する実習 ヘンベル教授		2				
	 技術		5				
夏学期	シュヴァッハヘーファー教授		3				
	森林作業員機構 グッテンベルク教授		/				
	木材機械技術 ブリヴァ講師		/				
	森林鉄道建設 マルヒェト教授		3				
冬学期	基礎機械学 ライヒ教授		3				
1901/02	地上建築百科 ブローボン教授		3				

図 2.3-6 留学生名簿（河合 錦太郎）日本語訳

28	Mochida Gunjiuro		Matrikelschein Nr. 64/II 1904		Forstwirt		
Geboren	Vater oder Vormund	Religion	Geburts- und Zuständigkeitsort	Nationalität	Wohnung	Vorbildung	Genuss eines Freiplatzes oder Stipendium
7. Juli 1871		Buddist	Fukui Japan Tokio Japan	Japaner	Edelhofgasse 15	Tokio Universität	
Semester	Besuchte Lehrgegenstände		Frequenz und Prüfungserfolg Stunden	Semester	Besuchte Lehrgegenstände		Frequenz und Prüfungserfolg
S[ommer] S[emester]	./.						
W[inter] S[emester]	Allg[meine]Baukunde f[ür] Forstw[esen] Prof[essor] Oelwein		3				
1904/05	Forst[liches] Bauingenieurwesen Prof[essor] Wang		3				
	Wildbachverbauungen		2				

図 2.3-7 留学生名簿（Mochida Gunjiuro）独語

28	持田軍十郎		学籍証 64/II 1904番		林学		
生年月日	父又は後見人	宗教	生誕地及び管轄地	国籍	住居	最終学歴	授業料免除 または奨学金 の受領
1871年 7月7日		宗教	福井、日本 東京、日本	日本	Edelhofgasse 15	東京大学	
学期	履修科目		出欠及び 試験結果	学期	履修科目		出欠及び 試験結果
			単位				
夏学期	./.						
冬学期	森林における基礎建築学 エールヴァイン教授		3				
1904/05	森林土木工学 ワング教		3				
	砂防工学 ワング教授		2				

図 2.3-8 留学生名簿（持田軍十郎）日本語訳

32	Watanabe Otokichi		Matrikelschein Nr. 3/II 1901		Forstwirt		
Geboren	Vater oder Vormund	Religion	Geburts- und Zustä ndigkeitsort	Nationalität	Wohnung	Vorbildung	Genuss eines Freiplotzes oder Stipendium
11. April 1877	Hirochi Watanabe Bü rgermeister in Fukui	Buddhist	Tokyo in Japan	Japaner	XVII Koll[er] gasse 47	Forstl. Abteilung der Landw. Fakult ät der Universität in Tokyo	
Semester	Besuchte Lehrgegenstände		Frequenz und Prüfungserfolg	Semester	Besuchte Lehrgegenstände		Frequenz und Prü fungserfolg
			Stunden				
1901/02	Allgemeines Bauingenieurwesen Hofrat Prof. Oelwein		3				
	Forstbenutzung Hofrat Prof[essor] G. Hempel		3				
	Forstbetriebeinrichtung Hofrat von Guttenberg		3				
	Forstliche System der Wildbachverbauung Professor F. Wang		2				
	Waldwegbau, Dozent Inl. Marchet		1				
	Forstwirtschaftliches Bauingenieurwesen Professor Wang		3				
	Wildbachverbauungen Prof[essor] Wang		2				
S[ommer] Semester	Mechanische Technologie des Holzes Dozent Pliwa		4				
1902	Landw. Und forstw. Hochbaukunde Professor		3				
	Waldeisenbahnbau Prof[essor] Marchet		1				
	Forstbetriebeinrichtung, Prof[essor]r Guttenberg		3				
	Praktikum Holzernte und Forstbetriebe- einrichtung Professor Guttenberg		1				
	Konstruktionsübungen zur Wildbachverbauung Professor Wang		2				
	Konstruktionsübungen zu forstl Bauingenieur Prof[essor] Wang		4				
W[inter] S[emester]	Hydraulik Professor Tiefenbacher						
1902/03	Forstl. Standortlehre Prof[essor] H. Lorenz						

図 2.3-9 留学生名簿 (Watanabe Otokichi) 独語

32	渡辺音吉		学籍証 3/II 1901番		林学		
生年月日	父又は後見人	宗教	生誕地及び 管轄地	国籍	住居	最終学歴	授業料免除 または奨学 金の受領
1877年4月11	ワタナベヒロシ 福井市長	仏教	東京、日本	日本	XVII Koll[er] gasse 47	東京の大学 農学部森林学科	
学期	履修科目		出欠及び試験 結果	学期	履修科目		出欠及び 試験結果
			単位				
1901/02	基礎土木工学 宮廷顧問官エールヴァイン教授		3				
	森林利用学 宮廷顧問官G. ヘンベル教授		3				
	山林事業設備 フォン・グッテンベルク宮廷顧問官		3				
	砂防工学における森林システム F. ワング教授		2				
	山道建設 マルヒェット講師		1				
	林業土木工学 ワング教授		3				
	砂防工学 ワング教授		2				
夏学期	木材機械技術 プリヴァ講師		4				
1902	農業及び林業における地上建築学 プロコップ教授		3				
	森林鉄道建設 マルヒェット教授		1				
	山林事業設備 グッテンベルク教授		3				
	森林伐採及び山林事業設備の実習 グッテンベルク教授		1				
	砂防工学に関する構造演習 ワング教授		2				
	森林土木工学に関する構造演習 ワング教授		4				
冬学期	水理学 ティーフェンバッハ教授						
1902/03	森林位置学 H. ローレンツ教授						

図 2.3-10 留学生名簿 (渡辺音吉) 日本語訳

2	Matrikelschein Nr. 108 vom 17. Oktober 1923					
Name des Studierenden und Studienrichtung	Geburtsdaten und Zuständigkeit	Religion	Vorbildung	Name und Wohnort des Vaters oder Vormundes	Wohnung des Studierenden	Militärpflicht
Dr. Masao Akagi Forstwirt	24. März 1886 Tokio, Japan detto	buddistisch	Gymnasium Tokio 1903	./.	Hotel, Auge Gottes	
Semester	Nummer des Kassascheines	Lehrgegenstand	Stunden	Name des Dozenten		
Winter Semester						
1923/24	[...]	Fostwirtschaftliches Bauingenieurwesen	3	Marchet		
	[...]	Konstruktionsübungen hiezu	4			
	[...]	Allgemeiner Wasserbau	3	Fischer		
	[...]					
	[...]					

図 2.3-11 留学生名簿（Masao Akagi）独語

2	学籍証 108番 1923年10月17日					
学生の氏名及び専攻	生年月日及び管轄地	宗教	最終学歴	父または後見人の氏名及び住所	学生の住所	兵役義務
赤木正雄博士 森林学	1886年3月24日 東京、日本 同上	仏教	東京高等学校 1903	./.	ホテル、アウゲ・ゴッテス	
学期	領収書番号	履修科目	単位	講師名		
冬学期						
1923/24	[...]	林業土木工学	3	マルヒェト		
	[...]	構造演習 上記に関連して	4			
	[...]	基礎理水建設	3	フィッシャー		
	[...]					

図 2.3-12 留学生名簿（赤木正雄）日本語訳

表 2.3-1 留学者取得単位状況

氏名	受講期間	履修科目【単位】
河合鈺太郎	1900 年～ 1902 年	基礎土木工学【3】(エールヴァイン教授) 森林利用学【3】ヘンペル教授 木材解剖学【1】ヴィルヘルム教授 森林土木工学【3】マルヒェト教授 構造演習上記に関連して【6】マルヒェト教授 砂防工学に関する構造演習【2】ワング教授 森林土木に関する実習【2】ヘンペル教授 ……技術【5】シュヴァッハヘーファー教授 森林作業員機構【3】グッテンベルク教授 木材機械技術【不明】プリ ヴァ講師 森林鉄道建設【不明】マルヒェト教授 基礎機械学【3】ライヒ教授 地上建築百科【3】プローボン教授
持田軍十郎	1904 年～ 1905 年	森林における基礎建築学【3】エールヴァイン教授 森林土木工学【3】ワング教授 砂防工学【2】ワング教授
諸戸北郎	1909 年～ 1911 年	木材機械技術【4】プリ ヴァ講師 環境工学 理水建設【3】I フリードリヒ宮廷顧問官 土地、道及び橋梁土木【3】エールヴァイン講師 理水学【4】講師L. ティーフエンバッハ教授 砂防工学【2】宮廷顧問官ワング講師 構造演習【2】宮廷顧問官ワング講師 写真測量法【1】宮廷顧問官ワング講師 森林土木工学【3】マルヒェト教授 構造演習【4】マルヒェト教授 電気工学【3】講師グラウ教授 河川工学【1】エールヴァイン講師 森林利用学【3】教授ティーラー博士 基礎建築学【3】マルヒェト教授 構造演習 上記に関連して【4】マルヒェト教授 基礎理水建設学【3】宮廷顧問官フォン・シュヴェン講師 木材解剖学【1】ヴィルヘルム教授 測量学【2】ヘレブランド教授

		樹木年代史及び橋梁土木【4】不明 環境工学 理水建設【3】フリードリヒ宮廷顧問官 環境工学 機械工学【3】レツェク教授 基礎機械学【2】レツェク教授 高度測地学【3】E. エンゲル講師 農業工学【2?】リーベル講師
渡辺音吉	1910 年～ 1912 年	基礎土木工学【3】宮廷顧問官エールヴァイン教授 森林利用学【3】宮廷顧問官 G. ヘンペル教授 林業設備【3】フォン・グッテンベルク宮廷顧問官 砂防工学における森林システム【2】F. ワング教授 林道建設【1】マルヒェト講師 林業土木工学【3】ワング教授 砂防工学【2】ワング教授 木材機械技術【4】プリヴァ講師 農業及び林業における地上建築学【3】プロコップ教授 森林鉄道建設【1】マルヒェト教授 林業設備【3】グッテンベルク教授 森林伐採及び林業設備の実習【1】グッテンベルク教授 砂防工学に関する構造演習【2】ワング教授 水理学【不明】ティーフェンバッハ教授 森林立地学【不明】H. ローレンツ教授
赤木正雄	1923 年～ 1924 年	林業土木工学【3】マルヒェト 構造演習【4】マルヒェト 基礎理水建設【3】フィッシャー

2.4. ウィーン市内

BOKU 大学訪問後、ウィーン市内の調査を実施した。「砂防」に、諸戸博士が昭和 6 年に再び欧州に訪れた際の記述があり、その中に前回の留学時のゆかりの土地の記述がある。それらの記述をもとに現地を訪れた。

訪れた場所は Gentzgasse (ゲンツガッセ) 26 (諸戸博士下宿先)。戦後建物が新しくなっていることを記す看板がある。



図 2.4-1 諸戸博士の絵葉書



図 2.4-2 同左の現在



図 2.4-3 戦後建物が補修されていることを説明する看板



図 2.4-4 「26」の標識前にて

ウィーン留学時代の下宿の住所・ゲンツガッセの詳細な番地(「小生の住居は奥国ウイン市の第十八區(例えば赤坂區と云うが如し)のゲンツガッセ(例えば東京にては溜池町、地方にては何町通り)の第二十六號(例えば東京にては溜池町二十六番地、地方にては何町二十六丁目)の二十四チュール(東京にては二十四番、地方にては二十四番屋敷或は二十四番戸)にて間數四個(十五疊、十二疊半、五疊、十二疊半)ありて小生共で四人住居せり」

(諸戸北郎, 公園に就いて所感を述ぶ, 大日本山林會報 318 号, p.21-22, 1909)

第3章 イタリア（タルヴィジオ）

3.1. 概要

平成29年10月4日～7日までイタリアの調査を実施した。イタリアでは、フリウリ州にて、ウディネを拠点にタルヴィジオ（Tarvisio）周辺とタリアメント（Tagliamento）川流域を、フィレンツェを拠点にバルベリーノ・ヴァル・デルサ（Barberino Val. D'Elsa）周辺の調査を実施した。第3章でタルヴィジオ周辺を、第4章でタリアメント川を、第5章でバルベリーノ・ヴァル・デルサ周辺について述べる。

イタリア共和国（イタリア語: Repubblica Italiana）、通称イタリアは、ヨーロッパにおける単一国家、議会制共和国である。総面積は301,338km²で、イタリアではlo Stivale(ロスティバル)と称されるブーツ状の国土をしており、国土の大部分は温帯に属する。地中海性気候が農業と歴史に大きく影響している。人口は約63,000,000人でヨーロッパ第5位である。

イタリアは地中海に突き出した長靴型イタリア半島、および周辺の島（サルデーニャ島、シチリア島など。コルシカ島はフランス領）から構成されている。東はアドリア海、西でティレニア海とリグリア海、南でイオニア海と地中海に面している。国境を接する国としては、大陸部では西側をフランス、北側をスイスとオーストリア、東側をスロヴェニア。アドリア海を挟んで、クロアチア、アルバニア、ギリシアなどとも地理、歴史的に結びつきが強い。キリスト教・カトリック教会の治めるバチカン市国があるが、これはイタリアの首都ローマが周囲を囲んでいる。他にもアドリア海近くのサンマリノ共和国を包み込むように接する。さらに、スイス領内には飛び地として面積1.7km²ほどのカンピオーネ・ディターリアを持つ。

領土内北部ではアルプス山脈が東西に弧を描き、国境を成している。国境にはマッターホルンや、モンテローザ、モンブランなど高峰があり、イタリアの最高点はフランスとの国境線上のモンブラン頂上付近にある。アルプスは北西部で分岐し、イタリア半島を縦断するアペニン山脈を形成する。アペニン山脈はイタリア半島の気候をアドリア海側とティレニア海側とで非常に異なったものにする役割を果たしている。特にアドリア海側は寒冷であり、海岸部ではときにボラ（冬の北東季節風）の影響が及んで冷たい潮風が吹きつける。また火山国でもあり、とくに中部（アブルッツォ州、ラツィオ州）と南部ではしばしば地震が起こる。エトナ山、ヴェスヴィオ山等が有名で、エトナ山はヨーロッパ最大の活火山であり、ほとんど常に噴火している。時には大きな噴火を起こすこともあるが、特別に危険な火山とは見なされておらず数千人が斜面と麓に居住している。イタリアには多くの川があるが、ポー川、アディジェ川、テヴェレ川が上位三位の長さを持つ。テヴェレ川はアルノ川源流近くに源を発し、ローマ市内を抜けて流れることで有名である。



図 3.1-1 イタリア全図（地球の歩き方 A09 イタリア, ダイアモンド社より引用・追記）

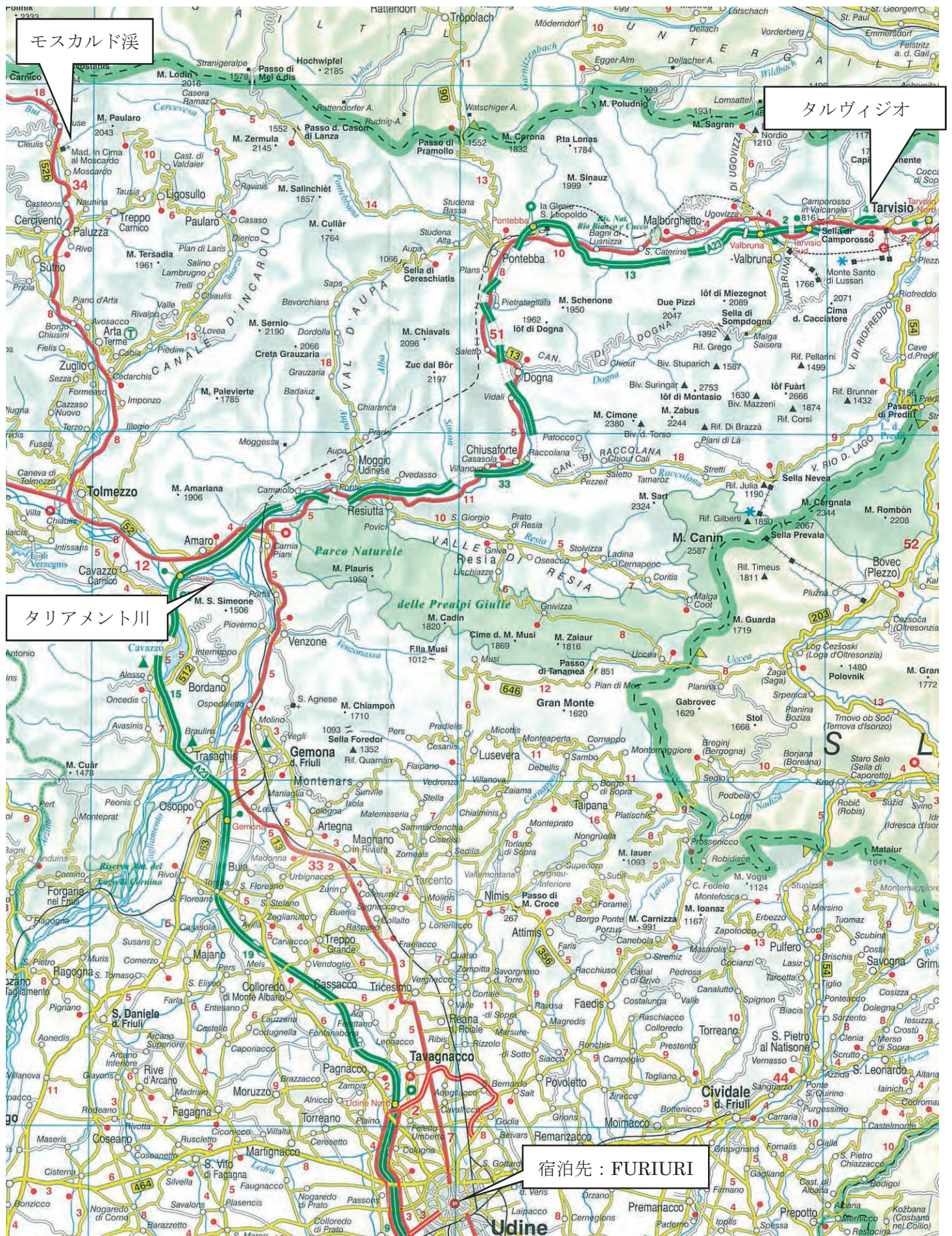


図 3.1-2 タルヴィジオ周辺及びタリアメント川上流図

(Friuli Venezia Giulia 25 万分の 1, Iter Edizioni より引用・追記)

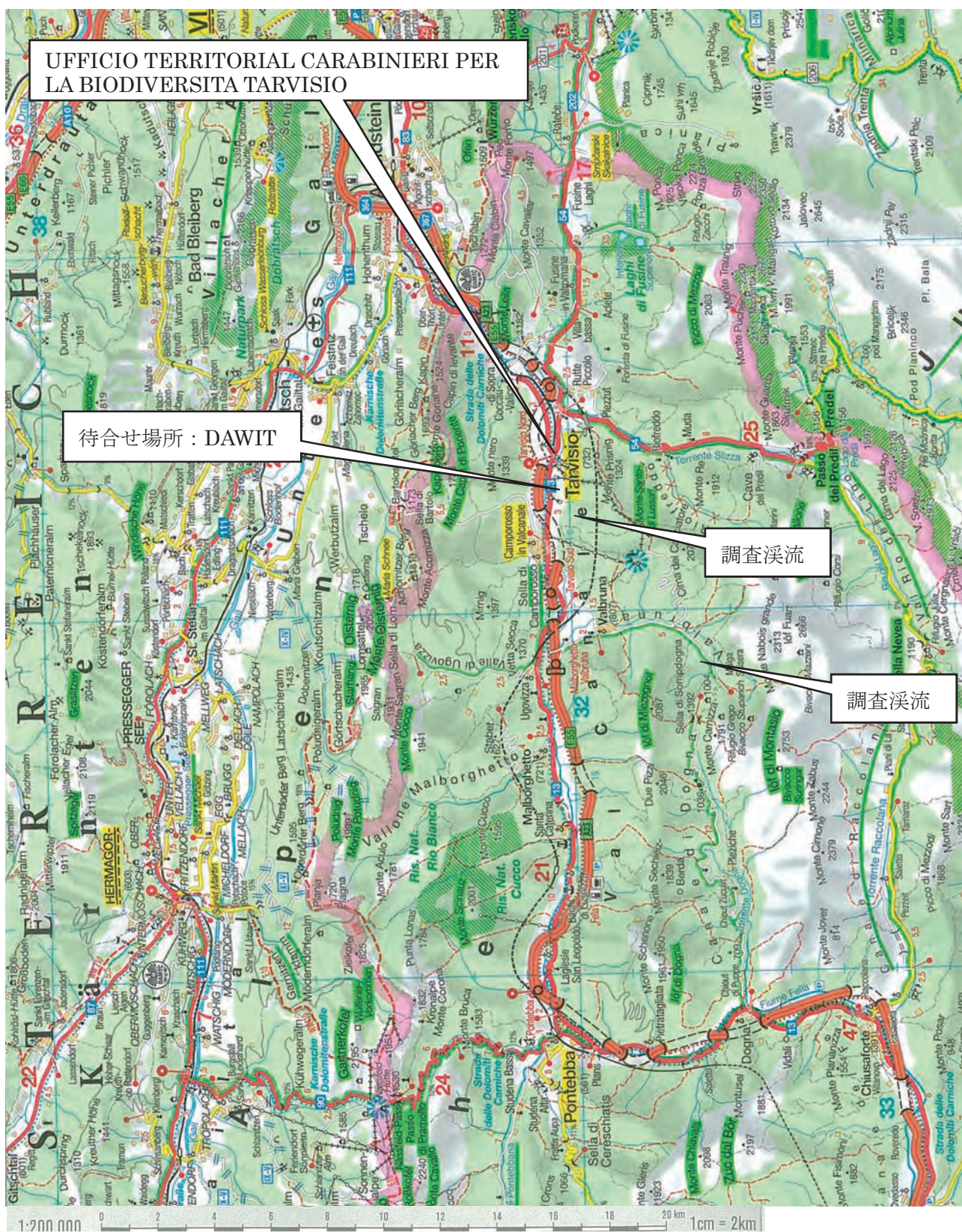


図 3.1-3 タルヴィジオ周辺図

(VENETO, FRIULI VENEZIA GIULIA LAGO DI GARDA, 20 万分の 1, MARCO POLO Highlights より引用・追記)

3.2. Lussari (ルッサーリ) 溪および Sciaid (シアイド) 溪

現場近くのバールにて、案内者でフリウリ・ヴェネツィア・ジウリア (Friuli-Venezia Giulia) 州の Gorizia (ゴリツィア) にある同州の砂防を担当する事務所の Andrea Bonanni (アンドレア・ボナーニ) 氏、そして森林警察の方々と合流する。森林警察署長の Patrizio Terlicher (パトリツィオ・テルリッシャー) 氏は、午前中都合が悪いとのこと、午後合流するとのこととなった。

バールにて、諸戸北郎博士と砂防堰堤が写っている写真を見てもらい、写真の場所がどこかわかるか聞いたが写真が近景のため、難しいとのこと。ただ、同行の森林警察の方が、マルベニアのほうにある施設に似ているので後日確認してみるとのことである。彼らが言うには、スロベニアとの国境付近のモンテグアルダにあるグアルダ山の溪流らしいとのこと。森林警察の車に同乗し堰堤まで移動する。道は急勾配で、普通車では難しい道だった。



図 3.2-1 バールにて待ち合わせ



図 3.2-2 森林警察の車で移動

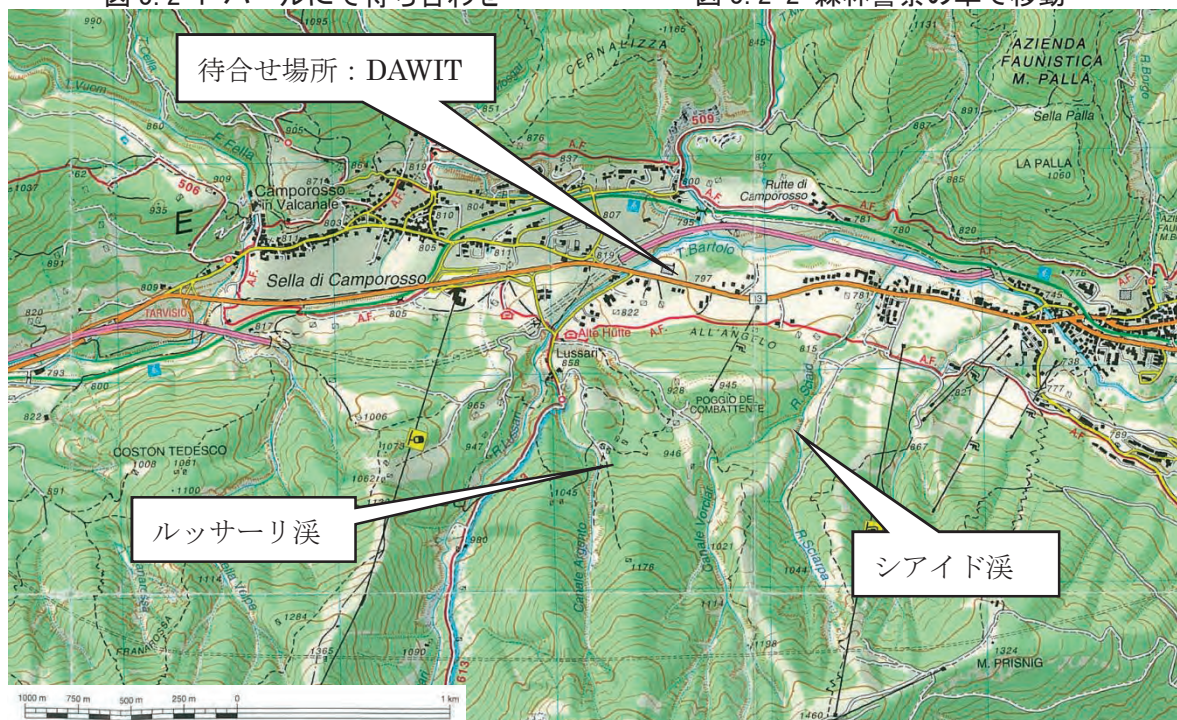
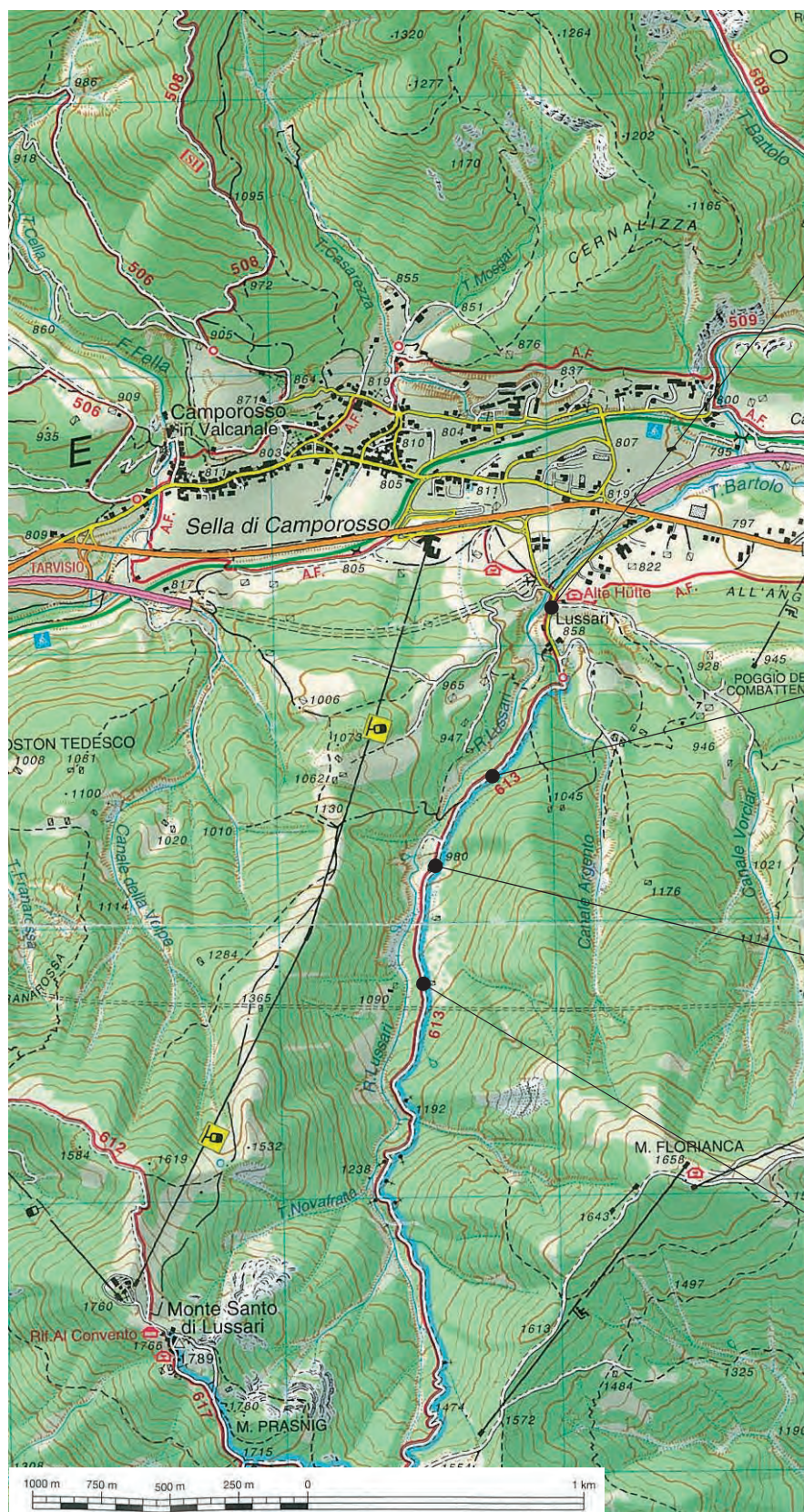
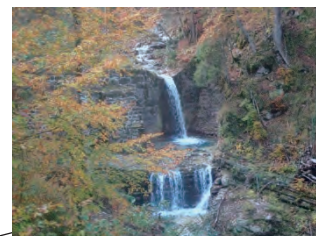


図 3.2-3 調査箇所地図

(019 Alpi Giulie Occidentali Tarvisiano, 2万5千分の1, TABACCO より引用・追記)



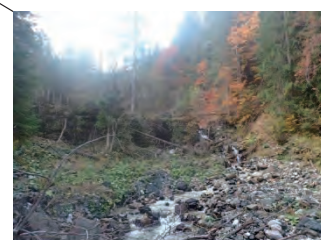
道路標識



堰堤③



堰堤②



堰堤①

図 3.2-4 ルッサーリ溪調査位置図

(019 Alpi Giulie Occidentali Tarvisiano, 2 万 5 千分の 1, TABACCO より引用・追記)

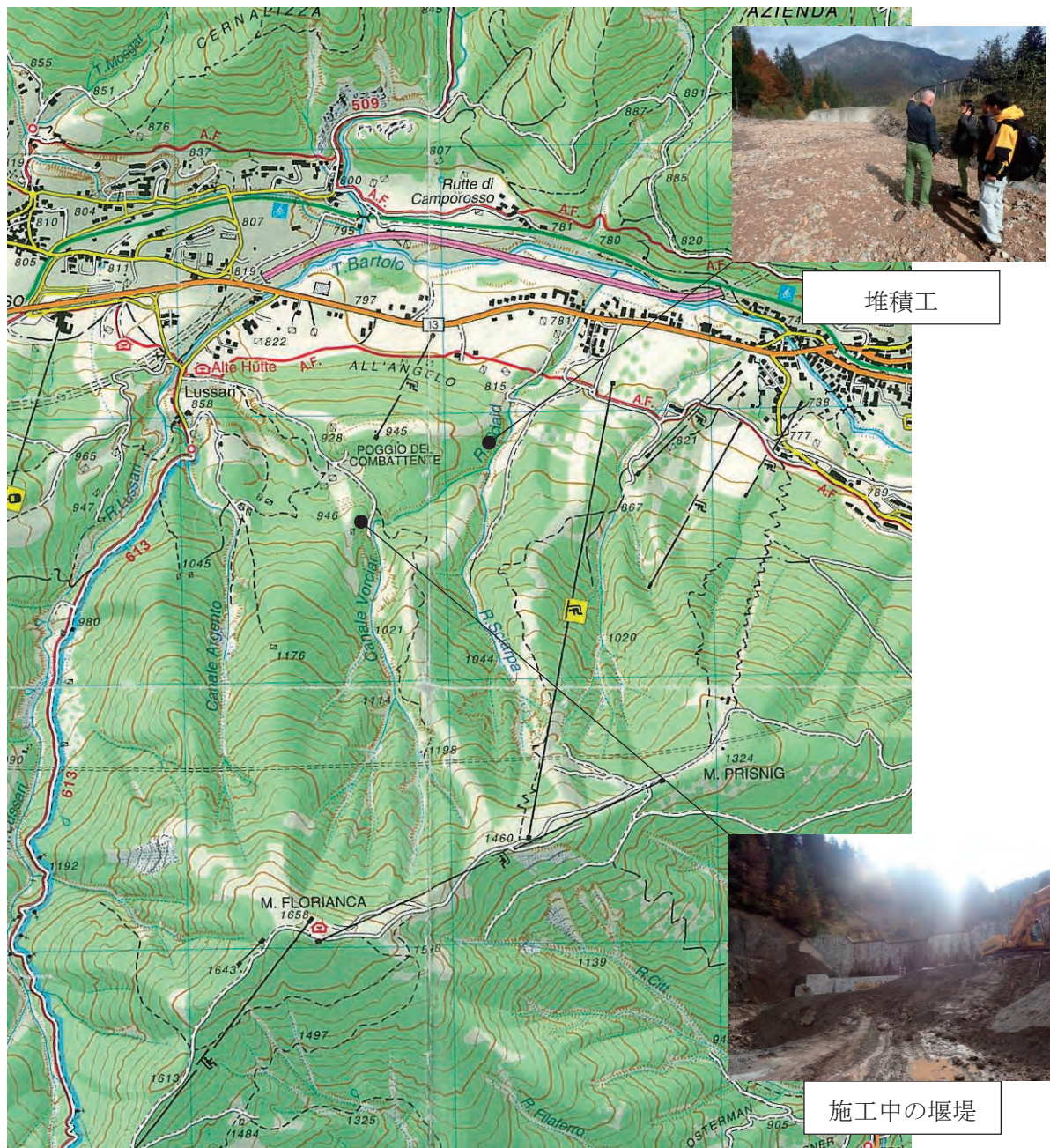
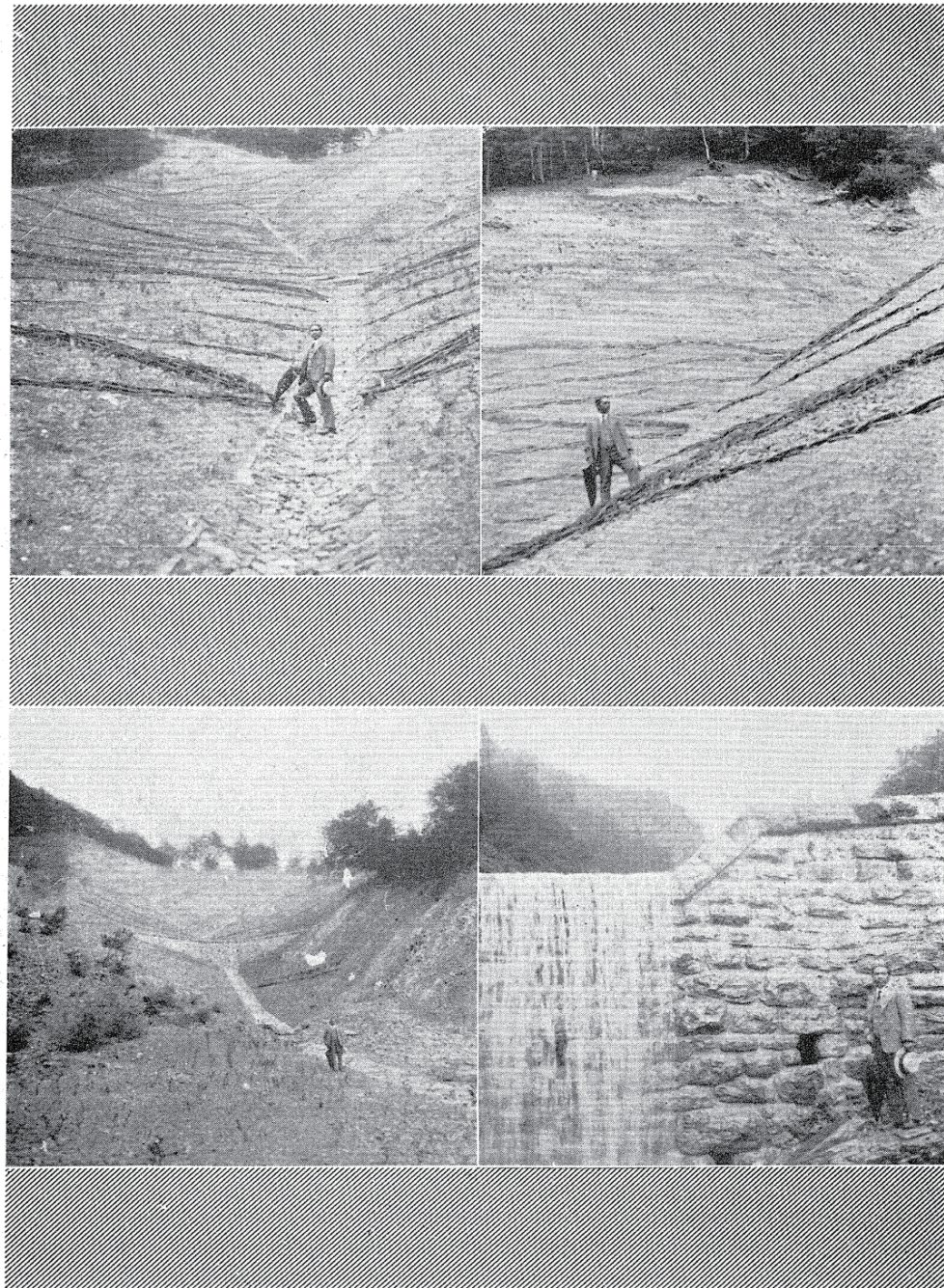


図 3.2-5 シアイド溪調査位置図

(019 Alpi Giulie Occidentali Tarvisiano, 2 万 5 千分の 1, TABACCO より引用・追記)



伊太利國砂防工事（歐米旅行日記參照）

図 3.2-6 諸戸北郎博士と砂防堰堤が写っている写真
（「砂防」第 24 号の口絵写真）

3.2.1 ルッサーリ溪・堰堤①

上流から順に堰堤の調査を実施した。上流から下流側を見て左岸右岸という言い方は、イタリアでも同じという話があった。本堰堤は 1900 年代（1900－1910）の造りであり、石を積み重ねた空石積の構造となっている。使用されている石は大きく、重さで構造を持たせる構造とみられる。戦後直後のクラシカルなタイプである。当時は機械が無い時代であるため、手作業で作業していた。

現在メンテナンス作業が必要になってきている状態であるとのことである。森林警察の方からも北の方でもメンテナンスが必要な施設も出てきているとの話があり、日本同様維持管理において課題が出てきているようである。

本溪流には、同様な堰堤が 10 基以上存在するとのことである。下流側の堰堤は後から作られたものもあるが、実際何年に施工されたものなのかははっきりしていない。オーストリア帝国の支配下にあった第一次世界大戦（1914-1918）以前に施工された堰堤は、イタリアには資料が残っていないので、オーストリアでの調査を勧められた。施工年は石に書いてある場合もある。1904 年までの施工であればホフマンが関わっている可能性もある。

今回調査に同行いただいた CARBINIERI は森林警察で、もともとは軍隊の組織であった。警察の中の多岐にわたる管轄のうち、森林関係を受け持つ。今年体制が変わり、州独自の体制となっている。



図 3.2-7 堰堤全景（下流から撮影）



図 3.2-8 同行の森林警察のメンバー



図 3.2-9 堰堤下流部の状況



図 3.2-10 堰堤付近全景

3.2.2 ルッサーリ溪・堰堤②

堰堤①から 300m 程度下流にある堰堤。堰堤①よりも新しい時代の堰堤で、1930-1935 年に施工されたとのことである。堰堤は練石積で施工されている。堰堤高は 6m 程度。溪流の左岸側は表層崩壊により、樹木が繁茂せず植生に乏しい。



図 3.2-11 堰堤の全景

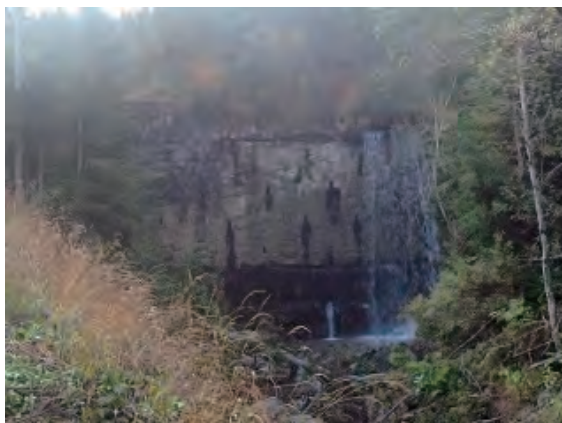


図 3.2-12 越流部



図 3.2-13 堰堤下流部左岸側：崩壊が進む



図 3.2-14 堰堤下流周辺状況

3.2.3 ルッサーリ溪・堰堤③

堰堤②から 300m 程度下流にある堰堤。1950 年代に補修が行われている。

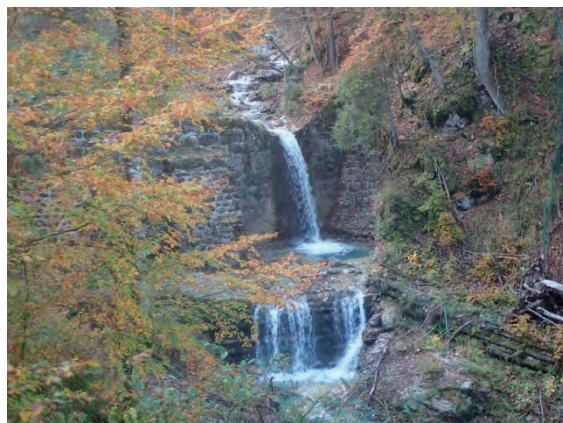


図 3.2-15 越流部

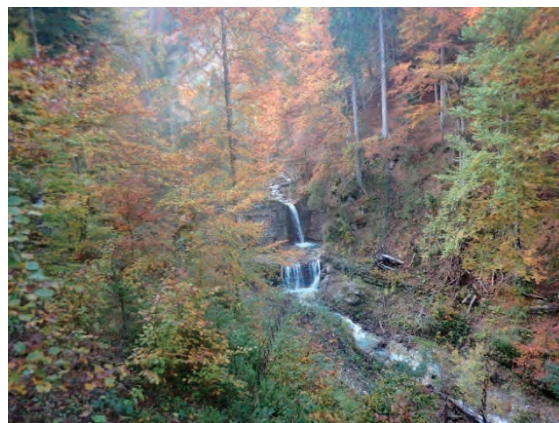


図 3.2-16 堰堤周辺状況

3.2.4 シアイド溪の施工中の堰堤

ルッサーリ溪の隣にある Sciaid（シアイド）溪流の左支溪で、堰堤の嵩上げ工事を施工している現場の調査を実施した。本堰堤は国の管轄で上流側にある堰堤は、15 年程度前に施工されたものである。鉄筋コンクリート製で、景観への配慮のため、表面に石を貼っている。施工手順としては、堰堤を守るための基礎工事を実施した後、上部の施工を行う。施設の天端幅は、堰堤の高さによって 50 cm～100、120 cm 程度まで様々である。流木対策についても実施している。

流域の整備は、基本的に国が実施しており、堰堤は国または州が施工を行っている。施工担当会社については、州が資金を出し、どこが仕事を請け負うか決めるコンクールが開催され、受注会社が確定する。（日本のプロポーザル方式のようなものと考えられる）

タルヴィジオ周辺は、3 つの国の境界付近となっているため重要な位置となっており、整備についても力を入れている地域とのことである。



図 3.2-17 堰堤全景

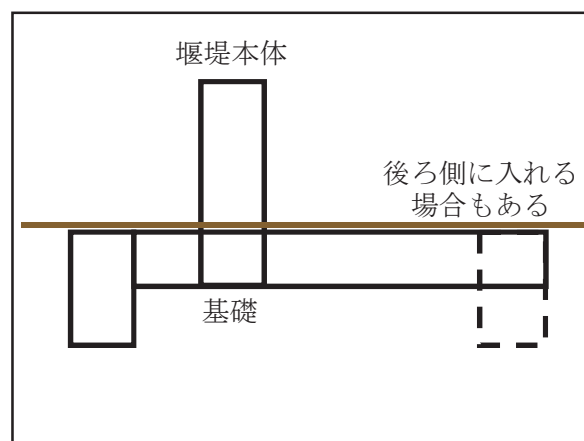


図 3.2-18 堰堤の形状



図 3.2-19 基礎の状況



図 3.2-20 天端 50 cm 程度

3.2.5 シアイド溪の堆積工

Sciaid（シアイド）溪流の右支溪の流木対策用の施設の調査を実施した。施設は堆積工として施工されており、前述の新設の堰堤と同様に鉄筋コンクリートで施工されている。天端幅は 1.5m となっており、土圧に耐えられるよう、通常の堰堤よりも厚くなっている。ここ 2 年間に流出した土砂で、現状まで堆積した。

堰堤の形状は、河床勾配、高さ、土砂量から決めており、この堰堤はボナーニ氏が設計したものである。イタリアでは、施設施工の責任が技師個人に求められており、会社として責任を持つ日本よりも技師個人の責任が重くなっている。

施設計画の際の測量やプロジェクトデザインは地質学の専門家（州の職員）の協力を得て実施しているとのことである。



図 3.2-21 堰堤全景



図 3.2-22 天端の状況



図 3.2-23 上流側の状況



図 3.2-24 下流側の状況

3.3 Saisera (サイセラ) 溪

午前中でボナーニ氏・森林警察の方々と別れ、昼食後パトリッツィア氏 (Fond Edificio di Culto の局長) と合流した。現地調査に入る前に、以下の内容について、ヒアリングおよび情報提供があった。

○諸戸博士が写っている写真の堰堤について

ディプレーデイル (鉛や銅の鉱山のある閉鎖されている地区) にこのような堰堤はあるが、この資料だけでは難しい。写真を預かりそれらしいものが無いか見ておくようにする。

○写真を利用しても良いかどうかの確認

以前いただいた書籍に関して、ホフマンの写真を論文に使用しても良いかどうか了解をいただく。論文が出たら送ってほしいとのこと。

○ホフマンの業績に関する会議

20 年程度前にホフマンの業績に関する専門家会議が開催されており、パトリッツィア氏がオーガナイザーを務めた。フィラッハの施設担当者の Hofurat Längera (ホフラットレンゲラ) 氏はプロジェクトを把握していると思われる。



図 3.3-1 ヒアリング状況①



図 3.3-2 ヒアリング状況②



図 3.3-3 サイセラ溪調査位置図①

(VENETO, FRIULI VENEZIA GIULIA LAGO DI GARDA, 20 万分の 1, MARCO POLO Highlights より引用・追記)

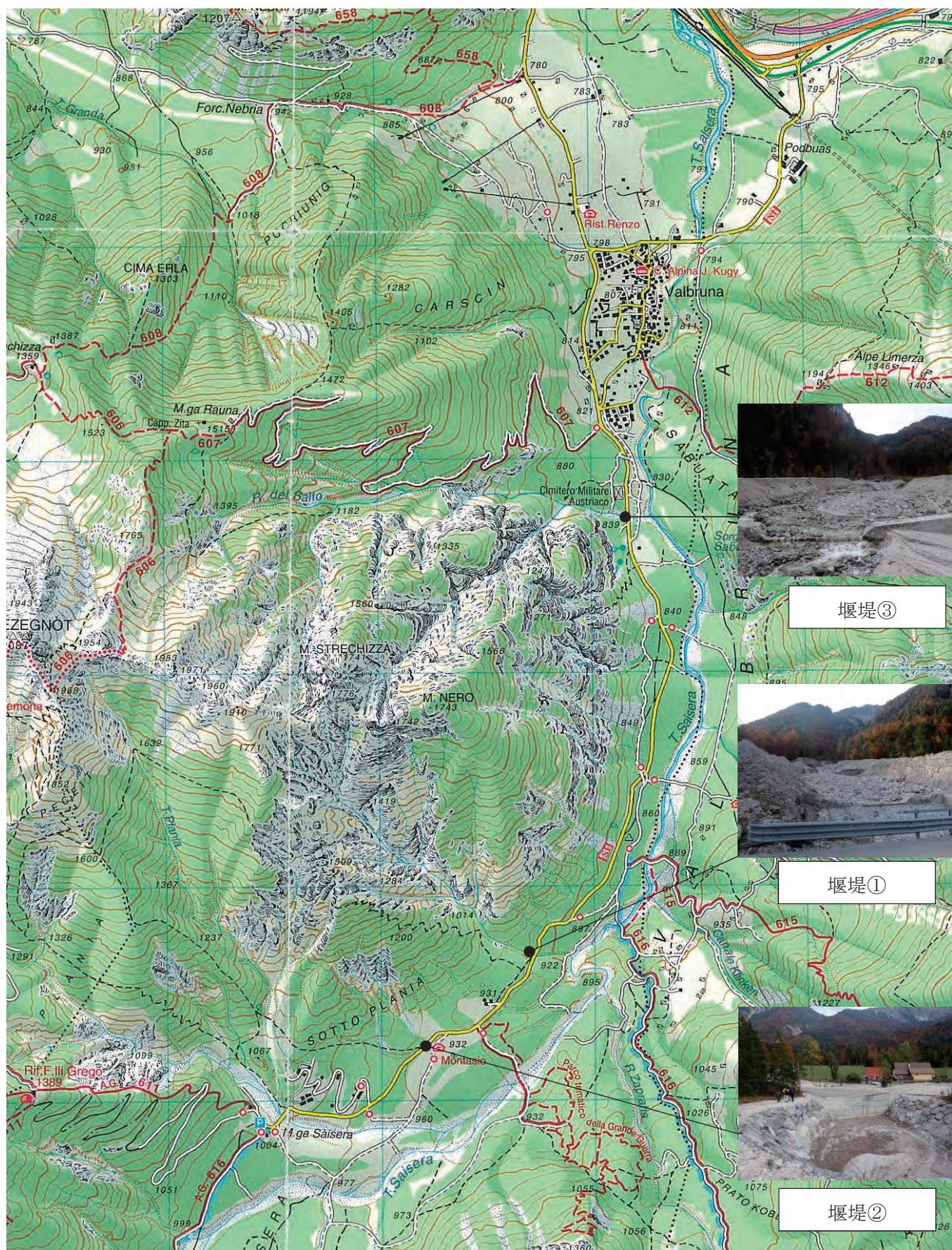


図 3.3-4 サイセラ溪調査位置図②

(019 Alpi Giulie Occidentali Tarvisiano, 2 万 5 千分の 1, TABACCO より引用・追記)

3.3.1 堰堤①

サイセラ流域へ移動し、石積の堰堤について調査を実施した。水に関することは国で管理するため、河川はパトリッツィオ氏の所管となっている。

現地は 2003 年に災害が発生した現場である。イタリアでも近年雨の降り方が変わってきており、2003 年～2008 年の間に 2 時間で 80 mm の雨が降るようになった。現場周辺は優良なミネラルウォーターの産出地のため、水の売買、また石材としても良質であるため、石についての売買も管轄となっている。

付近の森林についても、重要な資源となっており、ブナの木はブロンズを作る際、またバイオリンのストラトディバリウスを作る際にも使用されている。



図 3.3-5 施設全景



図 3.3-6 施設前面の勾配が緩く被災している



図 3.3-7 下流側



図 3.3-8 パトリッツィオ氏と

3.3.2 堰堤②

堰堤①の南側に位置する溪流である。ここ 20 年くらい、上流で降雨があると、崩れた土砂がそのまま流下してしまう状況となっている。本施設では、堆積工を設けており、500m³ の土砂を堆積させることが可能となっている。

ここ 20 年で、500 年に 1 度の規模の災害が 2 回も発生しており、堆積工の施工を他の溪流でも進めていかななくてはならないと考えているとのことであった。

2003 年の災害では、1903 年の災害（9 名死亡）の記念式典準備中の被災で、8 名の方が亡くなっている。この際の公示援助金は 2 億 5 千ユーロ（=300 億）であった。



図 3.3-9 施設全景



図 3.3-10 施設のポケット状況



図 3.3-11 上流から下流を臨む



図 3.3-12 天端幅 50 cm

3.3.3 堰堤③

2007 年、2008 年に災害が発生し、道路を乗り越えて、下流側の村が被災している。



図 3.3-13 施設全景

Bonanni 氏への質問と回答

Q1) 日本には「土対針」のような設計基準があるが、イタリアには共通の設計基準はあるか？

A1) 基準はない。堰堤設計時には礫径や溪床勾配を参考にして、州の技士が測量や地 調査担当者（州の技士）と相談しながら堰堤高等の諸元を検討する。

Q2) 設計図は誰が描くか？

A1) 基自治州の担当者が設計図を描く。この堰堤は Bonanni が設計した堰堤である。イタリアでは砂防堰堤の設計に関して、すべてを州の担当者が担っているため、全ての責任が自治州に属する。

【イタリアン北部・旧オーウトリア帝国時代施工の堰堤について】

第一次世界大戦（1914－1918）以前に施工された堰堤は、オーストリア帝国時代のものであることから、イタリアには資料が残っていない。

3.4 森林警察事務所

パトリツィオ氏が所長をしている、タルヴィジオの森林警察事務所（UFFICIO TERRITORIAL CARABINIERI PER LA BIODIVERSITA TARVISIO；直訳すると「タルヴィジオの生物多様性保護のための国有林警察事務所」）

現地調査後、諸戸北郎博士やアメリゴ・ホフマン（元東大お雇教師）が訪問し宿泊した森林事務所の建物を訪問し、施設の歴史と、組織の取組みについて説明を聞いた。



図 3.4-1 事務所全景



図 3.4-2 事務所正面入口

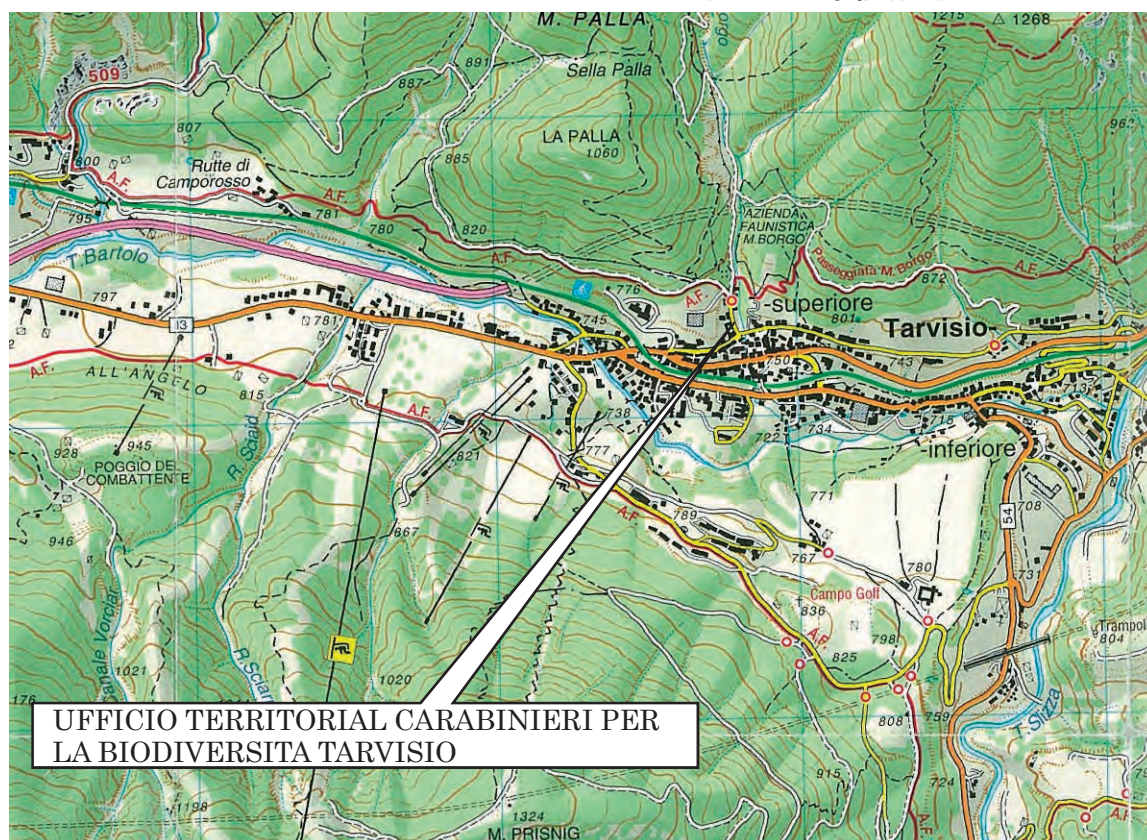


図 3.4-3 タルヴィジオの森林警察事務所位置図

(019 Alpi Giulie Occidentali Tarvisiano, 2 万 5 千分の 1, TABACCO より引用・追記)

○森林事務所の施設と仕事

- ・ 1880 年代、戦争でイタリアが勝利し、イタリアの持ち物となった。それまではオーストリアの貴族の持ち物だった。
- ・ それまでは様々な貴族が所有していた。
- ・ 2500m³ を管理し、木の配分もしていた。80 箇所のフィールドでは木を切っていた。
- ・ 昔は各地の森林の持ち主がお伺いをたてにくる場所だった。
- ・ 木の梁は 1516 年頃の物。
- ・ 家具は、管理している森林の木を使って作ったものである。
- ・ 木の販売もしており、ストラトディバウス用の木等用途にふさわしいものを届ける取組もしている。



図 3. 4-4 鹿の間

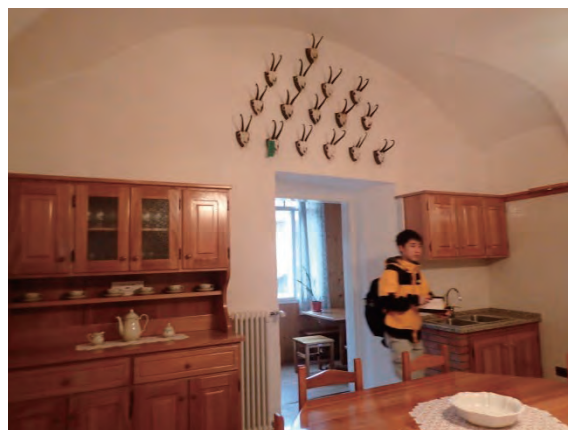


図 3. 4-5 管理している森林の木で作った家具



図 3. 4-6 アジェリカ焼きのストーブ 1800 年代製作



図 3. 4-7 ストラトディバウス用の木。
木目が波打っている。

○アメリゴ・ホフマンの仕事

- ・アメリゴ・ホフマンが作った森林の図。ピンクの部分は民地。砂防の施設は、また別の図があるようである。
- ・1922 年 アメリゴ・ホフマンが戻ってきて最初の仕事。ゴリッツィア地域であった。
- ・アメリゴ・アレッサンドロ・ホフマン（アメリゴ・ホフマンの孫）も小さいころ来ている。41～50 歳の時森林監として住んでいた。昨年も来ている。
- ・木をどのように配布したか示した資料。ホフマンのサインがある。



図 3.4-8 アメリゴ・ホフマンが作成した森林基本図

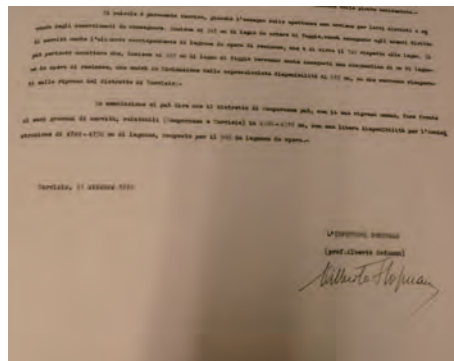


図 3.4-9 アメリゴ・ホフマンのサイン

○諸戸北郎博士とアメリゴ・ホフマン

- ・諸戸先生やホフマンも泊まったと思われる寝室。
- ・ホフマンがローマの森林局長をしていた時、1931 年に諸戸先生が当地へ来た時に、この事務所を訪問しており、来客としてこの部屋で泊まった可能性がある。

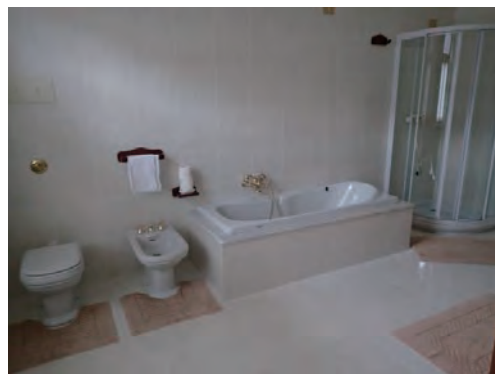
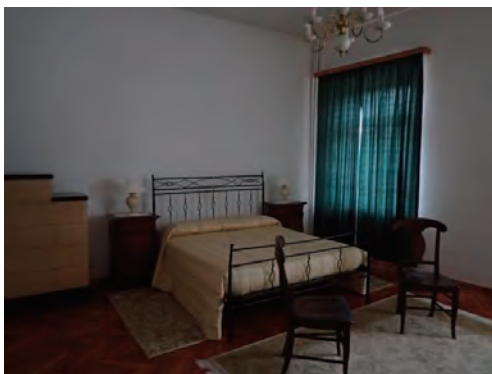


図 3.4-10 施設内の客間(セレモニー等の際に VIP が使用する)

第4章 イタリア（タリアメント川流域）

4.1 概要

10月5日に、CNR 科学アカデミー出先機関 Padoa（パドア）事務所の、パスート氏とマルカート氏の案内で、Tagliamento（タリアメント）川左支川 Torrente But（ブットゥ）川の右支川 Bombasso（ボンバッソ）川流域で2箇所の調査を行った。一つは、Tolmezzo（トルメッツォ）市から約1kmにある巨大な扇状地で、もう一箇所は上流のオーストリア国境に近い Moscardo（モスカルド）溪の砂防施設である。オーストリア国境付近では、1976年に M6.3~6.4 の地震が発生し、地震後に調査で現場に入っていた地質学者らも含めて約1,000 人の人が亡くなっている。



図 4.1-1 調査箇所の確認



図 4.1-2 タリアメント川調査箇所地図

(VENETO, FRIULI VENEZIA GIULIA LAGO DI GARDA, 20 万分の 1, MARCO POLO Highlights より引用・追記)

4.2. リヴォーリ・ビオンキ扇状地

Tolmezzo (トルメツ) から約 1 km 北方にある、 Rio Cornons (リオ・コルノンス) 溪の巨大な Rivoli Bionchi alluvial fan (リヴォーリ・ビオンキ扇状地) における土砂災害とその対策について調査を行った。周辺は第 2 次世界大戦のときは国境になっており、軍隊を置いて対応していたため、今でも軍の訓練場として使われている。調査時に扇頂部方向に向かったが、軍の訓練中であることが出来なかった。



図 4.2-1 調査位置図

(上 : VENETO, FRIULI VENEZIA GIULIA LAGO DI GARDA, 20 万分の 1, MARCO POLO Highlights より引用・追記
下 : 背景に Google Earth を使用。)

この箇所での災害の記録は、1900年代からとなっている。現状の流路だけでなく、左岸側にも土石流が流下し、下流側の集落が被災したことがある。現在はきれいな円錐状になっているが、2万年前には、一帯が覆われるくらいの大規模な土砂の流下により、一面が完全に平坦地になった時期もある。災害の発生するパターンは発生時によって異なっている。現在も砂礫の堆砂敷きは拡大している。

対応については国が決め、実際の対策の実施は州で行っている。シミュレーションについても実施している。砂防堰堤は1個か2個設置されており、除石後の礫はコンクリートの材料として利用されている。これまで砂防堰堤が被災したことは無い。また、掘削により流路や導流堤を造るなどにより、流れの方向をコントロールしている。土石流の衝撃では壊れないが、オーバーフローすると被害が出る可能性がある。ただし、流域が小さくオーバーフローするほど土砂が出ることは無いためあまり壊れることは無いと想定されている。

今は土砂の流出は活発ではないが、地震の時には被害が多かった。イタリア北部は、プレートの動きにより隆起している地域であるため、地震も多く、地震の影響範囲マップも作成されている。土石流の災害調査で入っていた調査員が被災したこともある。



図 4.2-2 左岸からの全景



図 4.2-3 流路内の状況

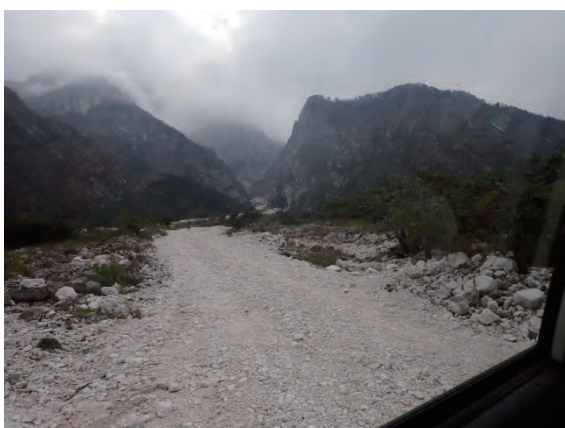


図 4.2-4 管理用道路の状況



図 4.2-5 全景

4.3 Moscardo（モスカード）溪

流域の上流に土砂の供給源として地すべり土塊があり、この地すべりを抑止するために、砂防堰堤が施工されている溪流である。道路が整備されているため登山で訪れる人もいる。

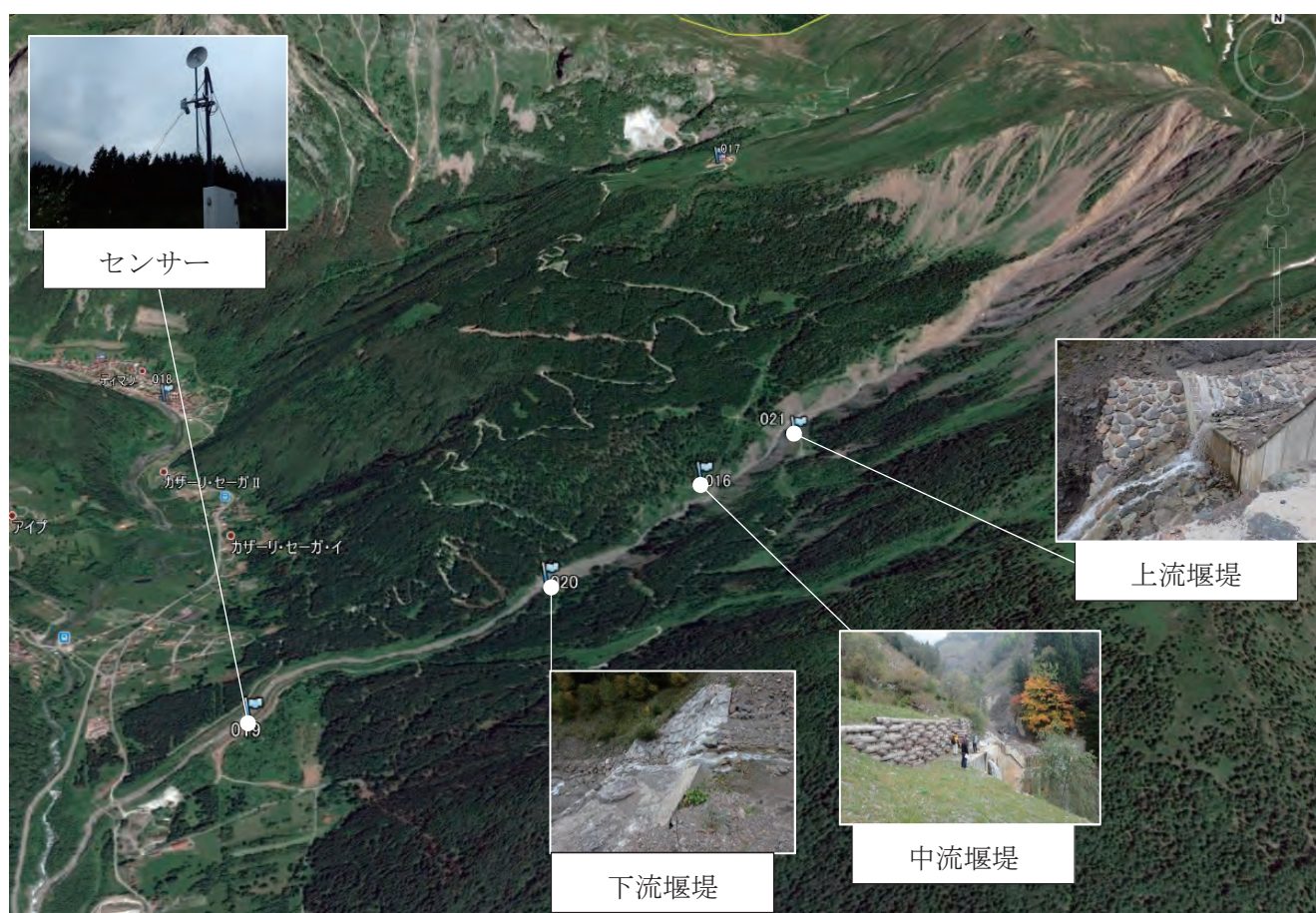


図 4.3-1 調査箇所位置図

(上：VENETO, FRIULI VENEZIA GIULIA LAGO DI GARDA, 20 万分の 1, MARCO POLO Highlights より引用・追記
下：背景に Google Earth を使用。斜め写真)

4.3.1 地すべりブロック及び上流部堰堤

地すべりブロックおよび、上流側の地すべりブロック直下に作られた堰堤について調査を行った。地すべりの規模が大きく、ブロックが破碎されており、アンカーでは抑止することが難しいため、堰堤による脚部固定の手法をとっている。堰堤の施工により、下流側の縦横浸食を防止することで地滑りの動きを止めている状況である。水抜きの処置についても行っており、地すべりブロック内の水は、下流で抜いている。25年間モニタリングを続けているが、すべり面が 60m 下にあり、動きも速く、直接的な対策は難しい状況である。通常 1 年で流出する規模の量が 2 日間で流出するようなこともあり、毎年修復している。

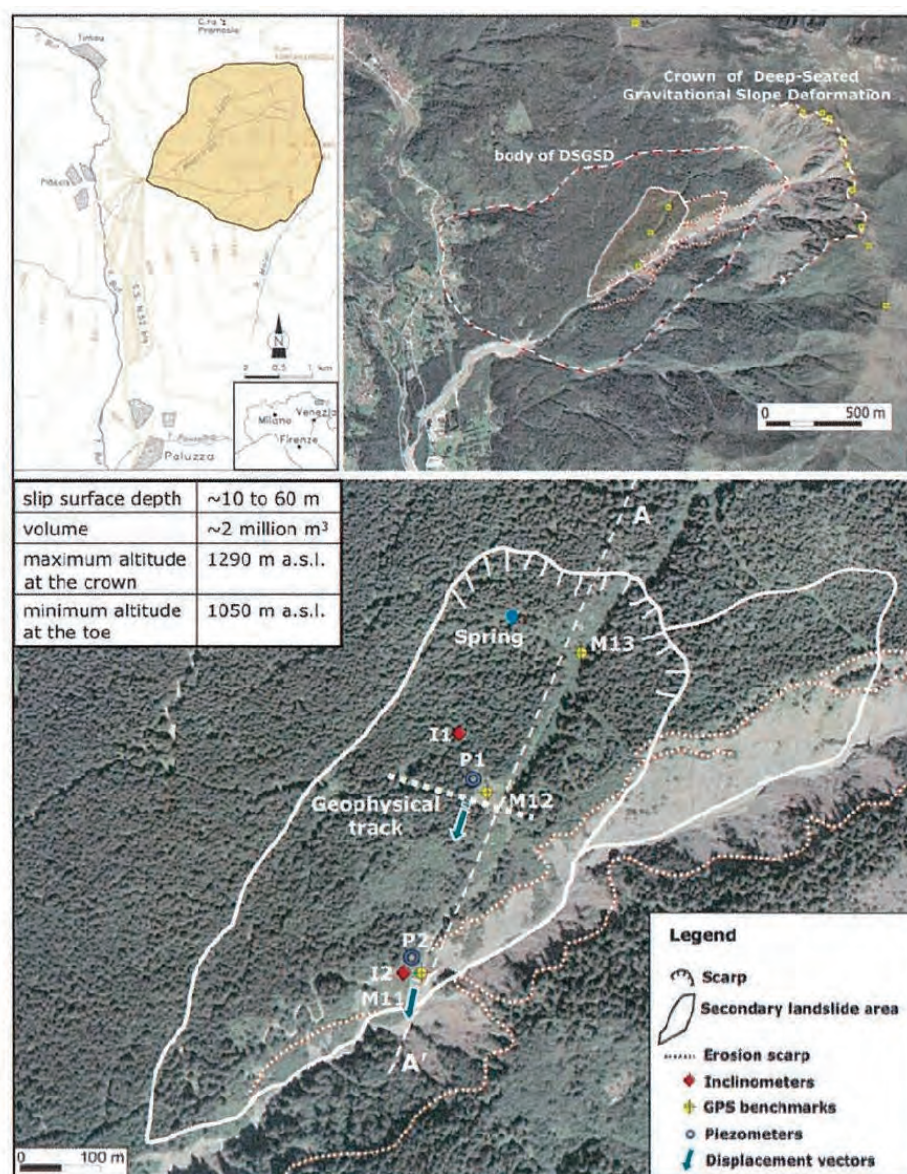


Fig. 1. Moscardo Torrent and the landslides affecting its basin, in the lower part the modeled landslide is represented.

(Monitoring, numerical modelling and hazard mitigation of the Moscardo landslide(Eastern Italian Alps),2012 より引用)

図 4.3-2 地すべりブロック図



図 4.3-3 堰堤近景



図 4.3-4 堰堤下流方向を臨む



図 4.3-5 堰堤下流方向を臨む



図 4.3-6 堰堤上流方向を臨む



図 4.3-7 地すべり土塊
(岩盤が土砂状になっている)



図 4.3-8 破碎された泥岩の露頭

4.3.2 中流部堰堤

溪流の中流部に施工されているコンクリート堰堤と木製の堰堤の調査を行った。国が管轄している堰堤で、上流の地滑りの動きを止めるために施工されているものである。主流路がコンクリート堰堤、支川が木製の堰堤になっている。主流路のコンクリート堰堤だけでは流下する土砂が溢れてしまうため、支流にも木製の堰堤を設置している。コンクリートを使わず、巨礫と木材を使用しているのは環境への配慮のためである。



図 4.3-9 全景：本川・支川の位置関係



図 4.3-10 本川



図 4.3-11 支川の木製堰堤



図 4.3-12 木製堰堤の流末

4.3.3 下流部堰堤

溪流の下流部に設置された堰堤について調査を行った。下流域は流路が直線となっており、土石流が発生した場合、流速が上がりやすい区間となっている。そのため、この堰堤により、減速させることを目的としている。コンクリートと採石場から運んだ石による練石積の堰堤である。施工は10年前であるが、既に満砂状態である。



図 4.3-13 天端状況



図 4.3-14 下流状況



図 4.3-15 堆砂状況



図 4.3-16 袖の状況

4.3.4 センサー

流域の下流側、流域の谷出口付近に設置されている土石流に関するセンサーについて調査を行った。20年間継続して計測を実施しており、土石流が発生すると入れかえをおこなう。センサーは、土石流センサー・ビデオカメラだけではなく、振動に関するセンサーも設置されている。

2つの砂防堰堤が設置してあり、それぞれで計測している。上流のセンサーが計測のトリガーとなっており、センサーが反応した時点からカメラの撮影が開始される。

発生時のエネルギーは、確認されている範囲では、徐々に大きくなっている。大きなものは5～7年に1回発生、小さい土石流は1年に1から2回発生する。機器が流失してしまったこともある。

警戒避難体制については、アラートが市の管轄の部署にも情報が入るようになっており、下流の道路ではサイレンが鳴るようになっている。



図 4.3-17 センサー設置状況



図 4.3-18 下流側センサー設置状況

4.3.5 ソフト対策

イタリアでもハザードマップの作成が行われている。作成は政府が主導して行い、助言を行う専門家や、調整役のコンサルタントがいる。ハザードマップでは、レッド、イエロー（オレンジ）、グリーンの範囲が示されており、範囲の意味は日本と同様である。

ハザードマップの更新についてはコンサルタントが実施している。また施設整備の優先順位決めにも利用されている。

第5章 イタリア（フィレンツェ周辺）

5.1. 概要

フィレンツェは、イタリア共和国中部にある都市で、その周辺地域を含む人口約 36 万人の基礎自治体（コムーネ）。トスカーナ州の州都、フィレンツェ県の県都である。中世には毛織物業と金融業で栄え、フィレンツェ共和国としてトスカーナの大部分を支配した。メディチ家による統治の下、15 世紀のフィレンツェはルネサンスの文化的な中心地となった。

本調査ではフィレンツェから約 50 km 南下したところにある Barberino val. d'Elsa（バルベリーノ・ヴァル・デルサ）市近郊の Borro Aglena（ボッロ・アグネーナ溪）において調査を実施した。



図 5.1-1 調査位置図

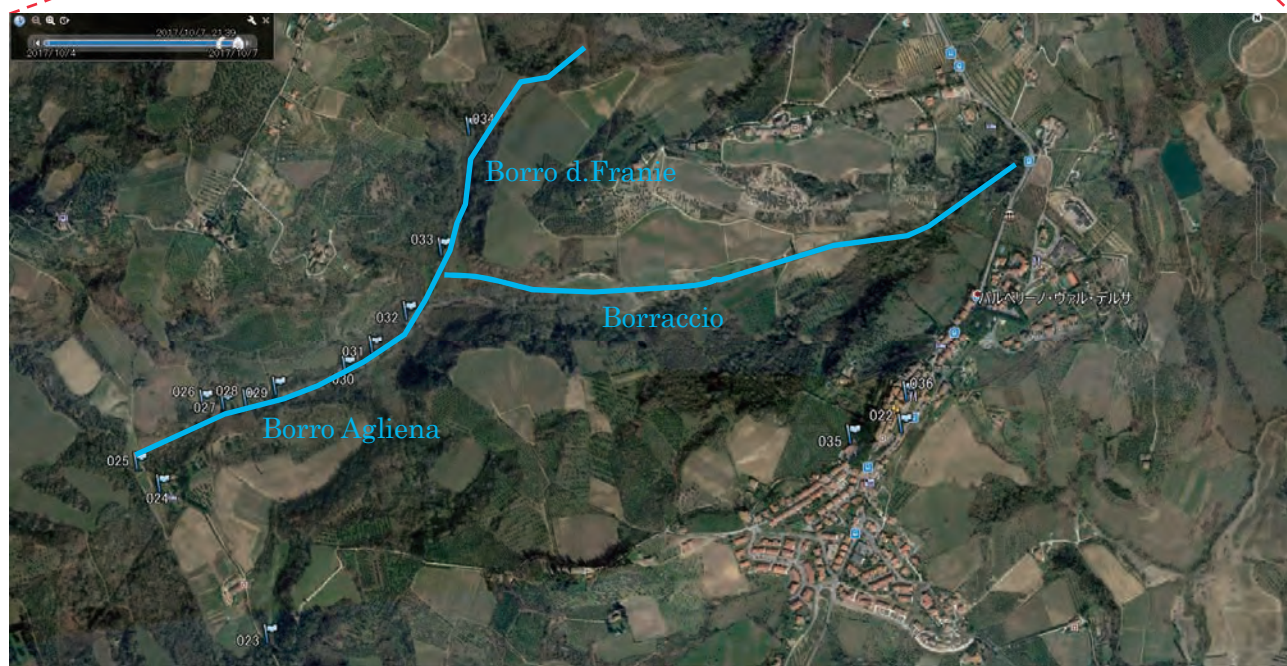


図 5.1-2 調査位置図詳細図

(上 : CHIANTI, 5 万分の 1, CARTGRAFIA Belletti, より引用・追記

下 : 背景に Google Earth を使用)

5.2. Borro Agliena (ボッロ・アグリエーナ溪)

昨年の欧州砂防調査時に、ルカ氏より Leonardo da Vinci (レオナルド・ダ・ヴィンチ) (1452-1519) が計画した砂防堰堤があるという情報を入手した。レオナルド・ダ・ヴィンチが計画したものであれば、現存する世界最古の砂防堰堤はイタリアのトレントにある 1613 年竣工のポンテ・アルト堰堤と云われていることから、それよりも古い堰堤ということになる。日本出発前にフィレンツェ在住の Amerigo Alessandro Hofumann (アメリゴ・アレッサンドロ・ホフマン) 氏 (元東大御雇教師であるアメリゴ・ホフマンの孫) に連絡をとったところ、関係者と共に現地に同行してくれることになったため、具体的な場所を特定でき現地調査を実施することができた。

調査には、以下の方々に案内・同行していただいた。

アメリゴ・アレッサンドロ・ホフマン氏 (Amerigo Alessandro Hofumann) : アメリゴ・ホフマンの孫

エルサ・ニースナー女史 (Elsa Niessner) : ホフマンの孫

マルコ氏 : 行政の取り組み支援を実施する会社。日本の財団や行政法人に類似した組織。

アサンドロ氏 : マルコ氏の会社の報道部。

フェデリコ・プレティ (Federico Preti) : フィレンツェ大学の教授。

フィレンツェ大の学生 : Preti 教授の教え子。ダ・ヴィンチ堰堤の研究をしていた。

ジャコモ・トレントノビ (Giacomo Trentanovi) : 市長。

パストーリ氏 : 副市長。

2019 年は、レオナルド・ダ・ヴィンチ没後 500 年であり、記念イベントも検討されている。本堰堤群はレオナルド・ダ・ヴィンチに関わった施設の一例としての利用も、地元で検討されている。



図 5.2-1 調査参加者

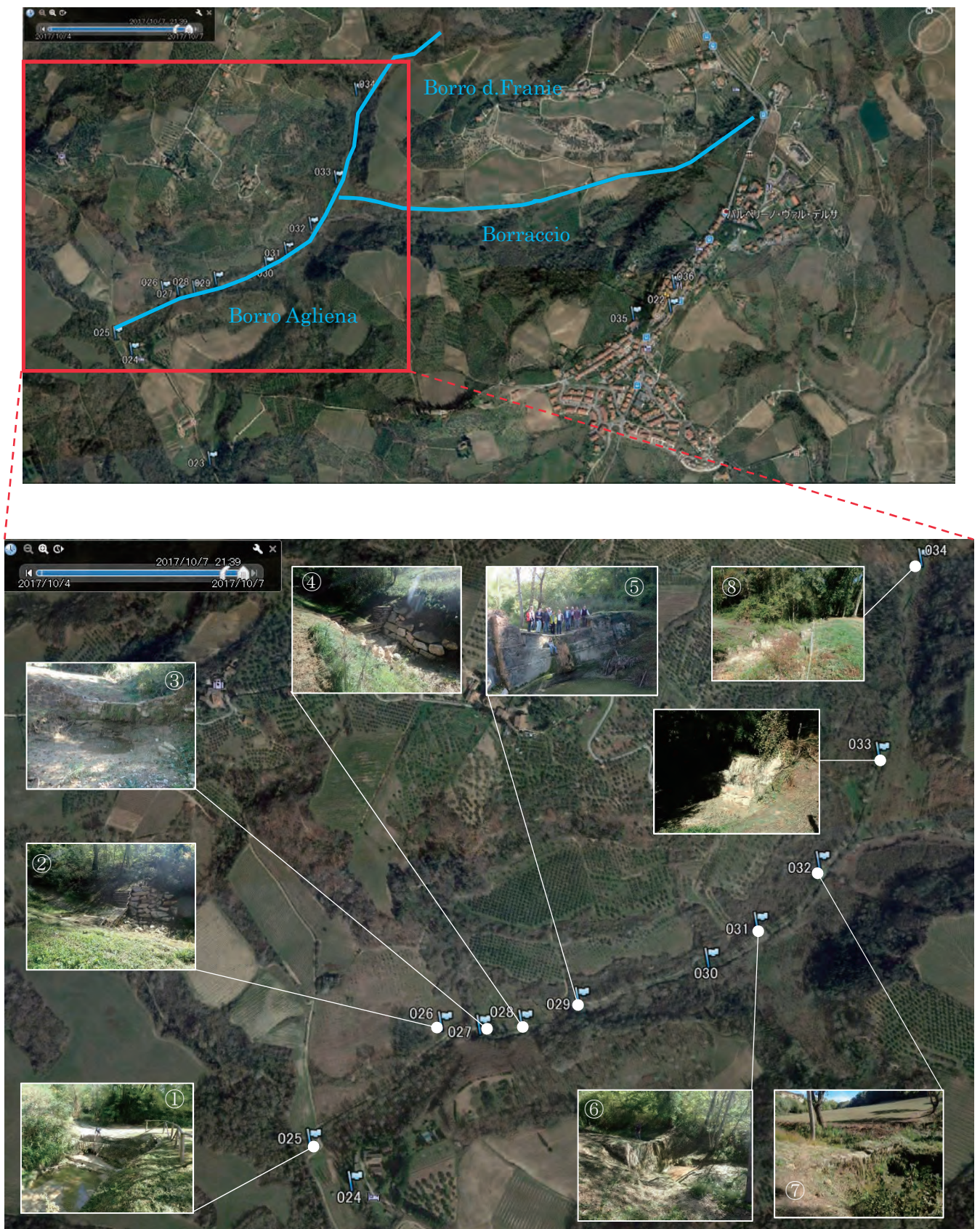


図 5. 2-2 調査位置図（背景に Google Earth を使用）

5.2.1 駐車場

堰堤群の周辺は管理用道路が整備されており、管理用道路に入る手前に駐車場が設けられている。また、管理用道路を観光にも利用することを想定し、周辺の地図が設置されている。



図 5.2-2 駐車場



図 5.2-3 看板

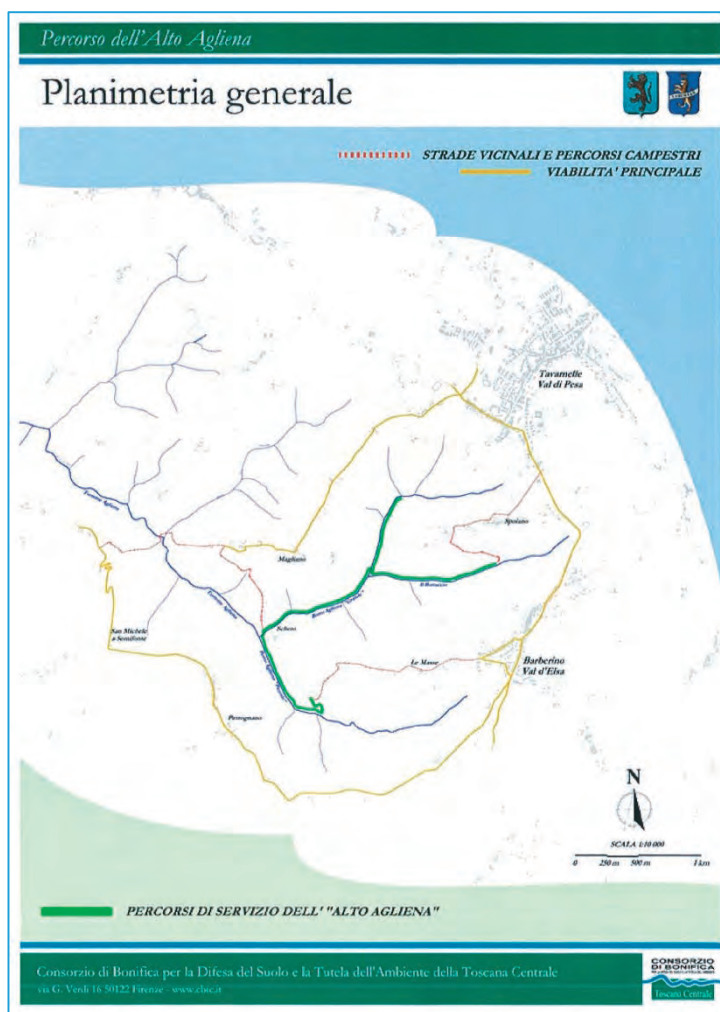


図 5.2-4 看板の地図

5.2.2 堰堤群について

案内人で当該溪流付近に住んでいるパウロ氏と合流し、堰堤群について説明を受けた。パウロ氏は溪流周辺の土地の所有者であり、災害後に現れた堰堤群のことを研究もしているとのことである。

パウロ氏からヒアリングした内容を以下に示す。

- ・堰堤群は、1992年に洪水が発生し、その際に発見された。
- ・約1000年前の施設である可能性がある。
- ・丘の上にセミフォンテ（Semi founte）という遺跡が見つかった。

このセミフォンテの町は、1170年から、リボン市アルデンテ侯爵により整備されたもので、建物の遺跡も残っている。この侯爵はリベンリーニ派（皇帝派）に属していた。

アルデンテ侯爵は、まず治水をしてから町づくりをしようとしたため、アリエナ（Bor Aalena）の治水整備をしようというプロジェクトがあったようである。

- ・セミフォンテの下側に位置するこの周辺は、谷になっているため、大雨になると川になる。侯爵はセミフォンテがある高台の下側が削られて、高台が不安定なることを避けるため、治水整備を実施したと考えられる。

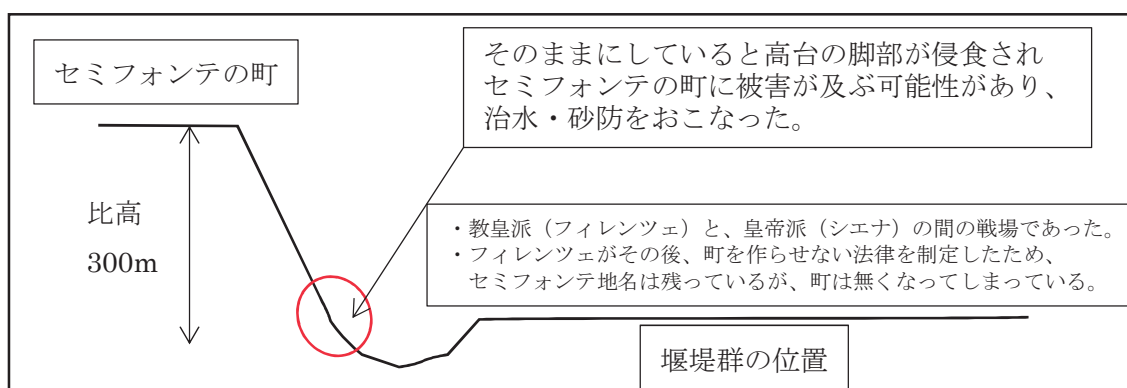


図 5.2-5 概念図



図 5.2-6 パウロ氏

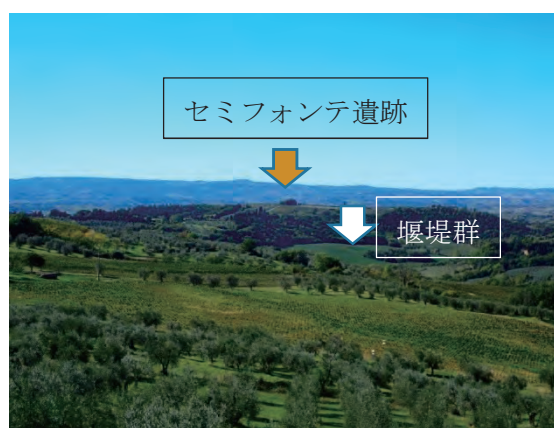


図 5.2-7 高台から見たセミフォンテ遺跡の位置と堰堤群の位置

5.2.3 堰堤群

① 堰堤

最初に見つかった堰堤である。堰堤が見つかった状況について、パネルで掲示されており、観光として利用すること目指している。施設は上側を人が歩けるようにしてあり、堰堤の様子がよく見えるよう整備されている。

堰堤は堤高 2.5m、堤長 10m の石積堰堤で、洪水により土砂が流出し発見されるまでは、完全に土砂に埋没していた。埋没していた様子が、パネルにも示されている。



図 5.2-8 説明パネル



図 5.2-9 埋没している状況



図 5.2-10 天端の状況



図 5.2-11 下流側の状況



図 5.2-12 上流側の状況



図 5.2-13 下流から撮影



図 5.2-14 周辺の状況

②堰堤

下流から2つ目の堰堤である。今から750年前に作られたものであると考えられている。2011年の洪水時に流されたため修復している。



図 5.2-15 上流から撮影



図 5.2-16 下流から撮影

Percorso dell'Alto Agliena

Agliena Grande: prima e dopo

Uno degli interventi principali sull'Agliena Grande ha riguardato la ricostruzione di nuove briglie in pietrame e legname in sostituzione dei residui delle briglie crollate. La briglia è oggi composta da una struttura a cassone in legno di castagno, riempita di ciottoli e ghiaia e ben ammassata all'interno delle sponde per evitare l'aggrimento da parte della corrente.

In altri casi è stato stabilizzato il fondo alveo a valle delle briglie in pietra già esistenti, mediante la realizzazione di soglie a raso in scogliera, anch'esse ben ammassate all'interno delle sponde per evitare l'aggrimento da parte della corrente. L'obiettivo è evitare la formazione di fenomeni erosivi al piede di queste antiche opere idrauliche, per favorirne la funzionalità e la conservazione.

Consorzio di Bonifica per la Difesa del Suolo e la Tutela dell'Ambiente della Toscana Centrale
via G. Verdi 16 50123 Firenze - www.cbtc.it

CONSORZIO DI BONIFICA
Toscana Centrale



図 5.2-17 説明パネルとパネルの設置状況

③堰堤

4つ目の堰堤である。堤長 12m、高さ 3m、天端幅 1m、前のり直壁となっている。洪水で見えるようになる前は、植物が生い茂っている状態であった。発見されたときは中央部分が崩れていたため、中央部分については積みなおしている。発見された際は、中央部がさらにその下が 6m 程度まで侵食されていた。堰堤を作る際、通常は堰堤長に加えて両側 5m 程度ずつとり管理するが、この堰堤はそうになっていなかった。そのため、現在は通常水路幅にプラスアルファで幅を設けて管理している。



図 5.2-18 周辺状況



図 5.2-19 下流から



図 5.2-20 袖の状況



図 5.2-21 袖の状況



図 5.2-22 側方から



図 5.2-23 下流側

④堰堤

5つ目の堰堤である。洪水で流失し、木製堰堤として組みなおしている。堤高 1.7m、堤長 5m、天端幅は 1.5m である。周辺は平坦地であるが、一度増水すると巨礫も流れるほど流速が速くなる。周辺の農地では、ブドウを植えるとき畑を掘り起こすが、大きな石が多く出てくる。周辺から流されてきたものだと考えられる。水害の後、河床は6～7m上がった。



図 5. 2-24 下流から撮影



図 5. 2-25 上流から撮影



図 5. 2-26 上流側



図 5. 2-27 下流側



図 5. 2-28 付近の河床礫

⑤堰堤

6つ目の堰堤であり、この流域内の最大の堰堤。洪水の発生前は、入ることができないくらいの植生状況で、道も無いような状況であった。2005年から管理・整備が行われ、今の状況になっている。堤長14m、堤高3m、水通し部の各段の高さは、上から80cm、60cm、90cmとなっている。

天端に使用している石に溝があるのが特徴的で、町の敷石を再利用している可能性がある。この天端の石により、時代が分かる可能性もある。一部に煉瓦が使用されており、煉瓦が使用されている部分は時代が異なる可能性もある。煉瓦が使用される場合、古くて1200年代となる。他にもこのように煉瓦と石積を合わせて堰堤を作っている場所も見られる。

レオナルド・ダ・ヴィンチとのつながりについては、この地域でレオナルド・ダ・ヴィンチが灌漑の実験を行っていたことを示す資料があり、水路の整備にも携わったと考えられている。



図 5. 2-29 調査者全員で撮影



図 5. 2-30 積みなおした範囲



図 5. 2-31 副堰堤が設置されている

La storia dell'Agliena



Semifonte e le acque dell'Agliena

Il nome deriva da latino *Summus Fons* (sorgente d'acqua alla sommità di una altura), divenuto in seguito *Summifonte* e infine *Semifonte*.

Obiettivi di questo primo importante progetto di bonifica erano:

- assicurare acqua e risorse idriche alla futura città, e alla agricoltura,
- rallentare il deflusso tumultuoso delle acque piovane,
- interrompere i dissesti idrogeologici dei terreni collinari circostanti.

A questo scopo lungo gli alvei del torrente venne realizzato un organico sistema di briglie, scogliere e casse di espansione volte a regimare le piene in occasione di piogge torrentizie e creare a valle riserve idriche da utilizzare nei periodi di siccità.



Il torrente Agliena nel Codice Leicester di Leonardo

Il Codice Leicester (noto anche come Codice Hammer) è una raccolta di disegni e scritti di Leonardo da Vinci, comprendente 36 fogli databili tra il 1504 e il 1508.



Leonardo da Vinci was here!

"L'acqua che tocchi dei fiumi è l'ultima di quella che andò e la prima di quella che viene. Così è la vita." Leonardo Da Vinci

L'intero sistema rimase in funzione anche dopo la distruzione di Semifonte decretata dalla Città di Firenze allora sotto l'egida dei Guelfi.

Nel 1540 Leonardo da Vinci svolse una accurata indagine del torrente e ne lasciò memoria nel Codice Leicester (oggi Codice Hammer) in un suo scritto dal titolo "Metodi per evitare l'erosione degli argini dei fiumi".

Una pittura dell'Agliena, attribuibile allo stesso Leonardo, è conservata oggi al British Museum di Londra.

L'opera idraulica venne conservata e utilizzata fino a tutto il XVIII secolo come dimostrano le iscrizioni ancora oggi leggibili sulle briglie. Da quella data venne progressivamente abbandonata fino ai giorni nostri.



図 5. 2-33 下流側



図 5. 2-34 上流側



図 5. 2-35 天端状況



図 5. 2-36 左岸袖状況



図 5. 2-37 溝がある天端の石
(街の道の敷石を使用)



図 5. 2-38 右岸側状況

⑥堰堤

1970年代にメンテナンスをしたという記録（詳細不明）がある堰堤。



図 5.2-39 堰堤全景

⑦堰堤

高さ 3m の堰堤。周囲は平地となっている。堆積している土砂は細粒である。



図 5.2-40 溪流分岐箇所の堰堤



図 5.2-41 同左上流より

⑧堰堤

石に数字が記載されている堰堤。「CCR1863」の文字が彫られている。1863 年は、洪水があった記録が残っているため、その時に作られたか、修復されたものと考えられる。

「CCR」については、当時の権力者の名前ではないかと考えられている。ペトロ氏はこの数字を 1363 年だとして、1300 年代の施設があると考えていたが、後続の研究で 1863 と結論付けられている。



図 5. 2-42 堰堤全景



図 5. 2-43 CCR1863 の文字

5.2.4 まとめ

現地調査後、レオナルド・ダ・ヴィンチがこれらの堰堤の整備に関わったかどうかについて、また、堰堤群の施工された年代についてディスカッションを実施し、以下のような意見が出た。

- ・ 1170 年にセミフォンテの町が出来始めているのは確実であり、その際に治水・砂防工事がされていたと考えられる。
- ・ 1202 年に町は破壊されており、破壊された町の資材を使って治水・砂防工事がされた。という説がある。
- ・ 石から年代は分からないが、モルタルの分析で年代が確認できる可能性がある。
- ・ レオナルド・ダ・ヴィンチが生まれたのは 1452 年。
水路を使った実験時期と併せて考えると、堰堤施工に関わったのは 1400 年代だと想定される。(1500 年代だと晩年なので関わることは厳しい。)
- ・ レオナルド・ダ・ヴィンチが、アリアーナやゲリアーナという呼び方をしている場所で水路実験を行っていることが資料には記されており、付近で実験を行っていることは確実である。ただ、川を同じところでやっているかはわからない。
- ・ アリアーナの大学の研究では、レオナルド・ダ・ヴィンチが関わっていたということになっている。

堰堤群の施工年代については、確実なところとしては 1400 年代後半から 1863 年頃である。レオナルド・ダ・ヴィンチが関わっていたかどうかについて明確な検証結果が出ていないが、今後、堰堤材料の年代測定等の実施が可能となれば、明らかにすることができると考えられる。

第6章 チェコ

6.1 概要

平成 29 年 10 月 9 日，諸戸北郎博士アルバムの写真にある堰堤箇所の現況を確認するため，チェコの Bohemia（ボヘミア、チェコ語 *Čechy*）地方 Rakovník（ラコヴニーク）郡の Šanov（シャノフ）及び Senomaty（セノマティ）を訪れた。

チェコは，東西 700km，南北 300m の国土を持ち，北はポーランド，東はスロバキア，南はオーストリア，西はドイツと国境を接する内陸国であり，国土のほとんどは山や丘陵で覆われている．中央～西部は Bohemia（ボヘミア、チェコ語 *Čechy*）地方と呼ばれ，全体的になだらかな丘陵地帯が広がっている．東部は Moravia（モラビア、チェコ語 *Morava*）地方と呼ばれ，平均的には Bohemia（ボヘミア）地方よりも標高が高い．このような地形状況のため，チェコには流れ込む河川がなく，全ての河川はチェコから流れ出ている．それらのうち，ドイツを貫流して北海に流れ込む Elbe（エルベ）川，Vltava（ヴルタヴァ，別名モルダウ）川 という Elbe（エルベ）川の支流が大きい．西部は西岸海洋性気候の影響を受け，夏季もさほど気温は上昇せず乾燥しており，東部は大陸性気候で気温の年較差が大きい．

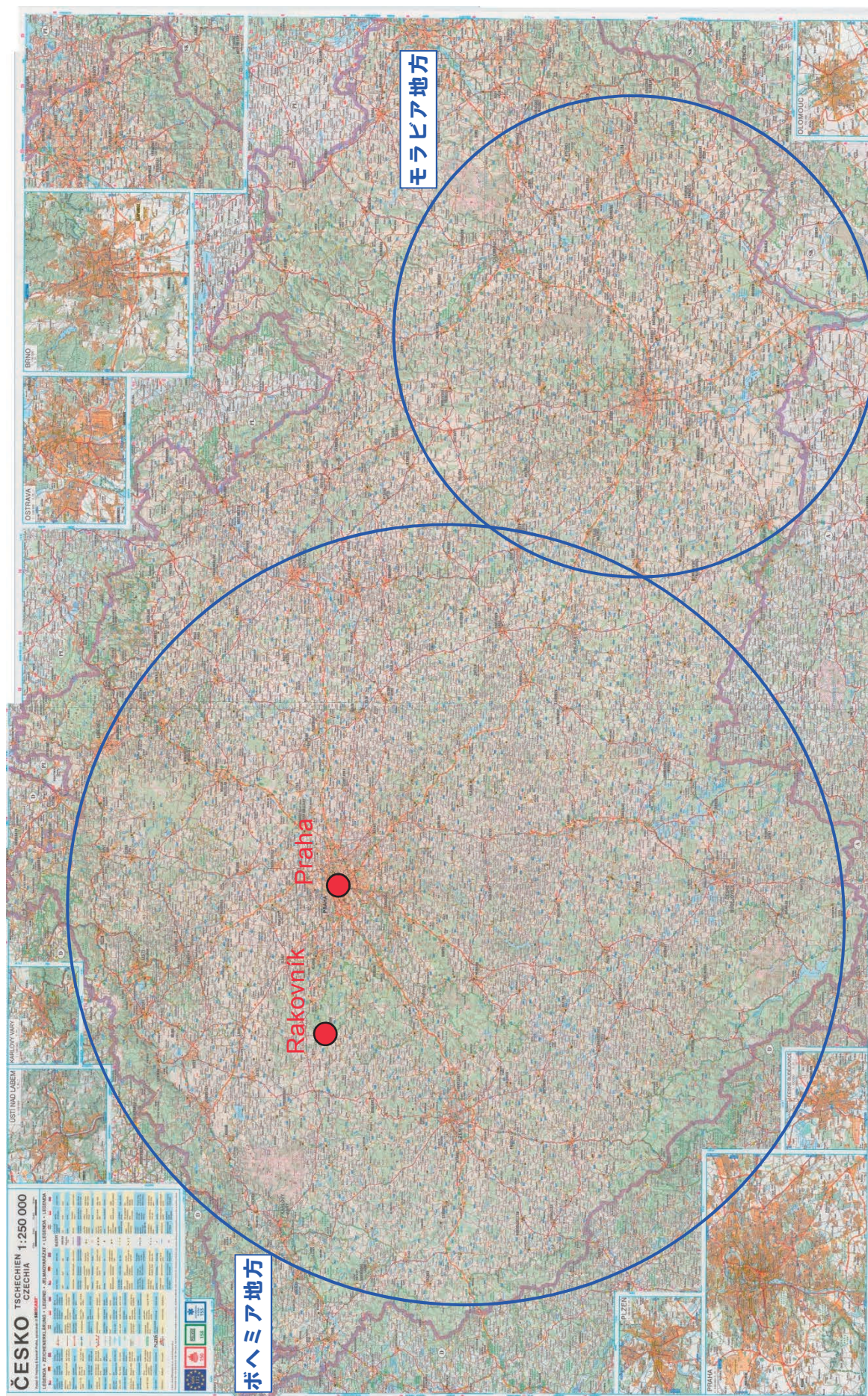


図 6.1-1 チェコの全図



図 6.1-2 Bohemia（ボヘミア）地方のなだらかな丘陵地形（Šanov 周辺）

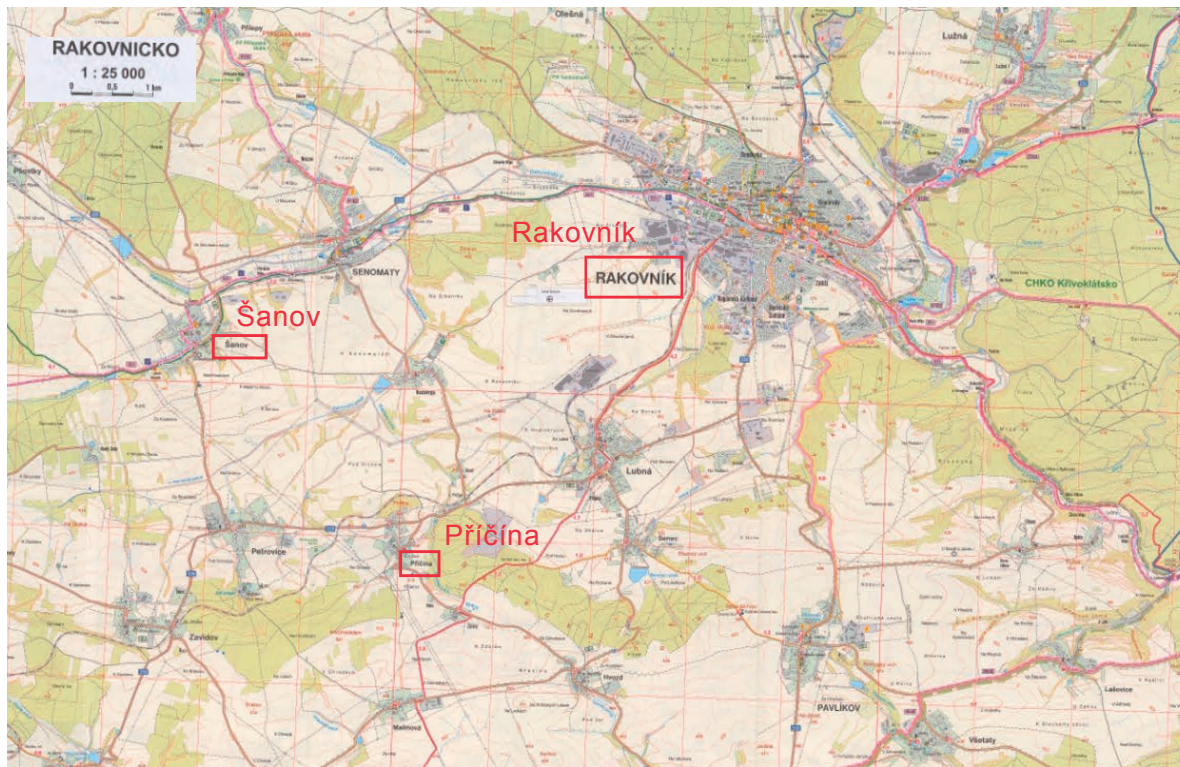


図 6.1-3 調査位置図（1:25,000 地形図）



図 6.1-4 地元の観光マップと調査位置

6.2 Rakovník（ラコヴニーク）溪域

6.2.1 Šanov（シャノフ）町周辺

諸戸北郎博士アルバム（図 6.2-1）にある「ラコニツチェル(Rakonitzer)」溪域「セノマート(Senomaty)」溪はチェコの首都プラハから西へ約 60km の丘陵地形のところに位置している。この呼び名はドイツ語であり、チェコ語ではそれぞれ「Rakovník(ラコヴニーク)」, 「Senomaty (セノマティ)」である。1910 年代半ばまではオーストリア帝国のベーメン州であった時期に諸戸博士が当地を訪れた時の写真と考えられる。

図 6.2-2 の復命書の位置図中に「サノブ村」という記載がある。現在の Senomaty 周辺の地図を確認したところ、「Šanov」という地名があることが分った。諸戸博士は「サノブ」とカタカナ表記しているが、チェコ語の発音では「シャノフ」となる。今回、Šanov 村の周辺の現地調査を実施した。



図 6.2-1 諸戸北郎博士アルバム写真と諸戸北郎博士解説文

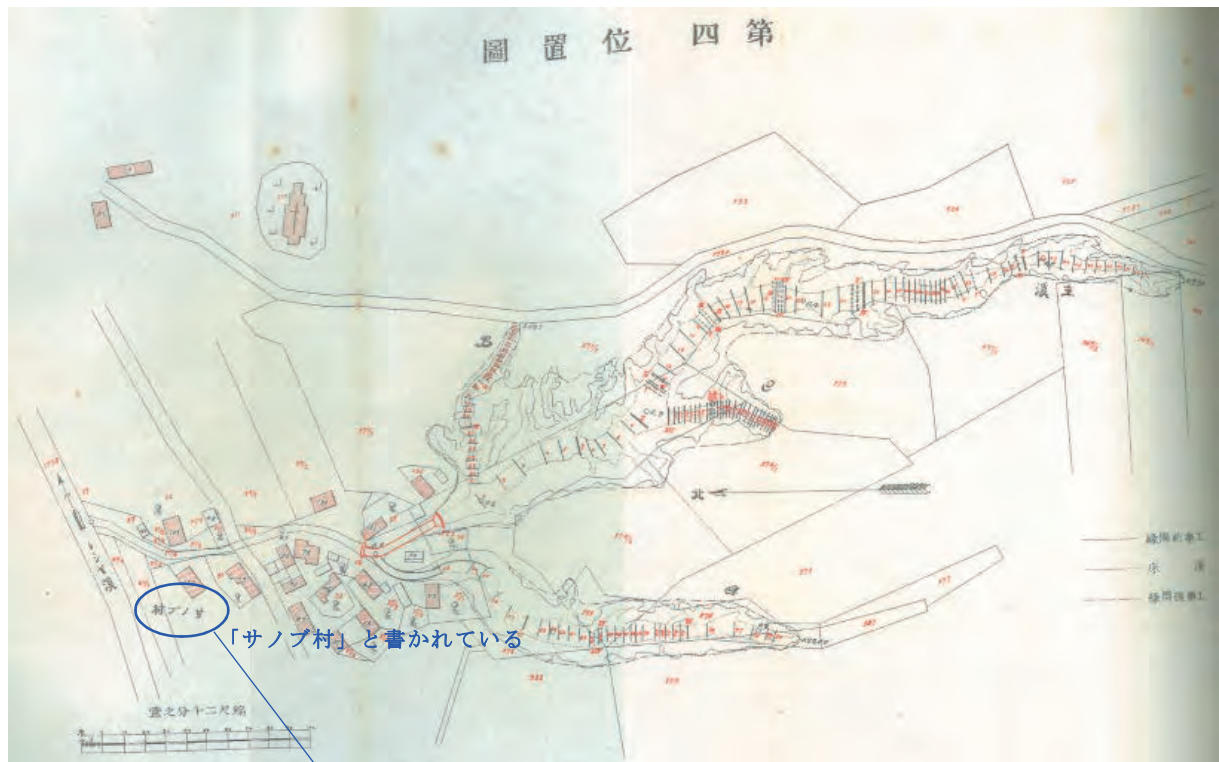


図 6.2-2 諸戸北郎博士復命書の位置図と現在の地図の比較
(上：諸戸北郎博士復命書、下：Google Map)

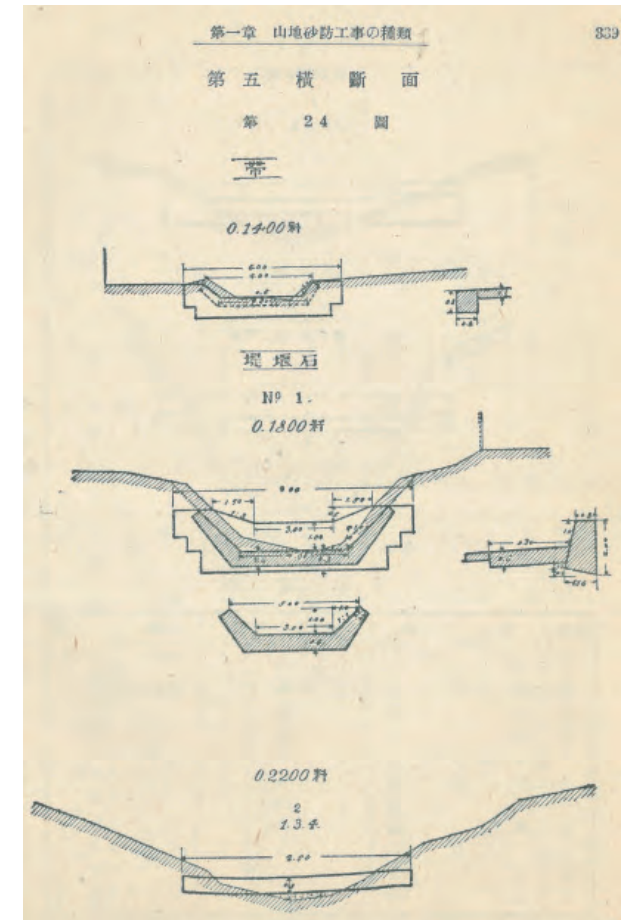
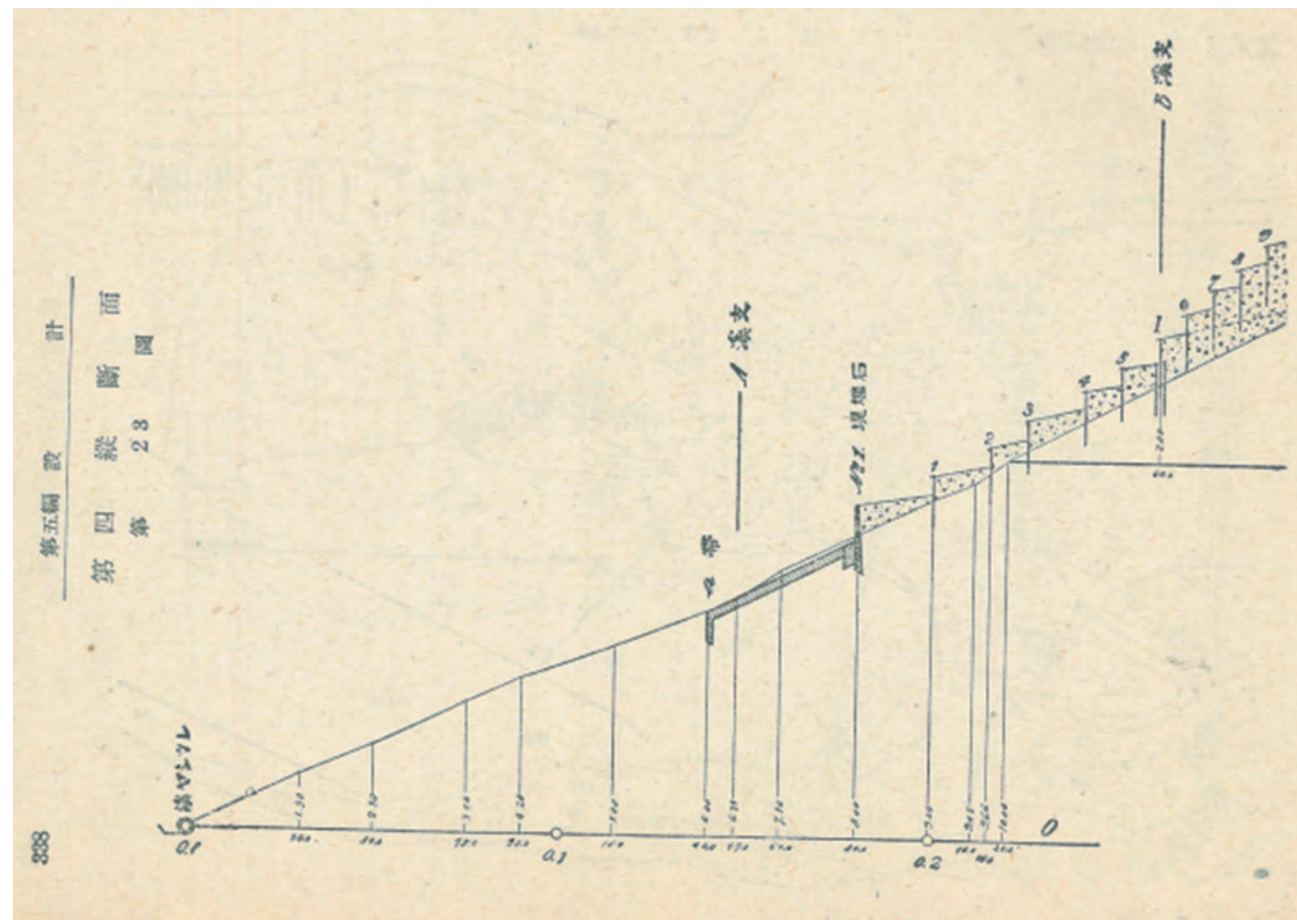
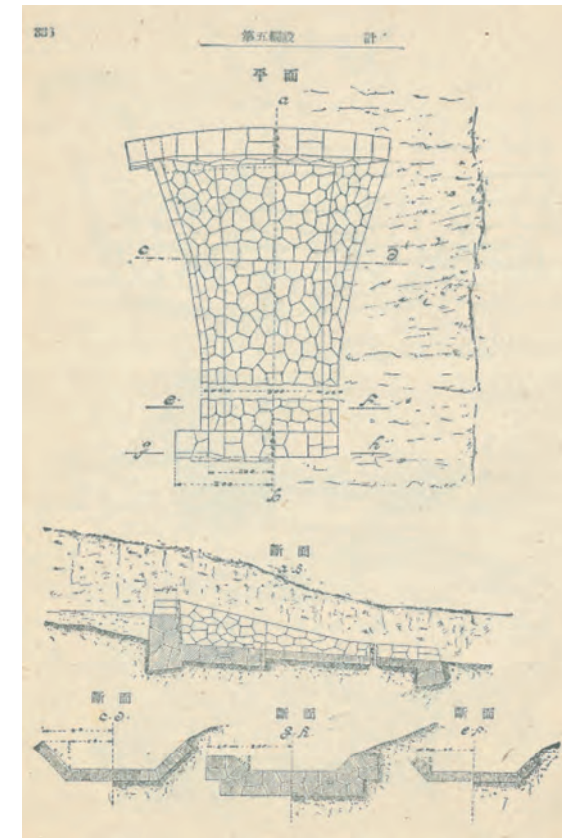
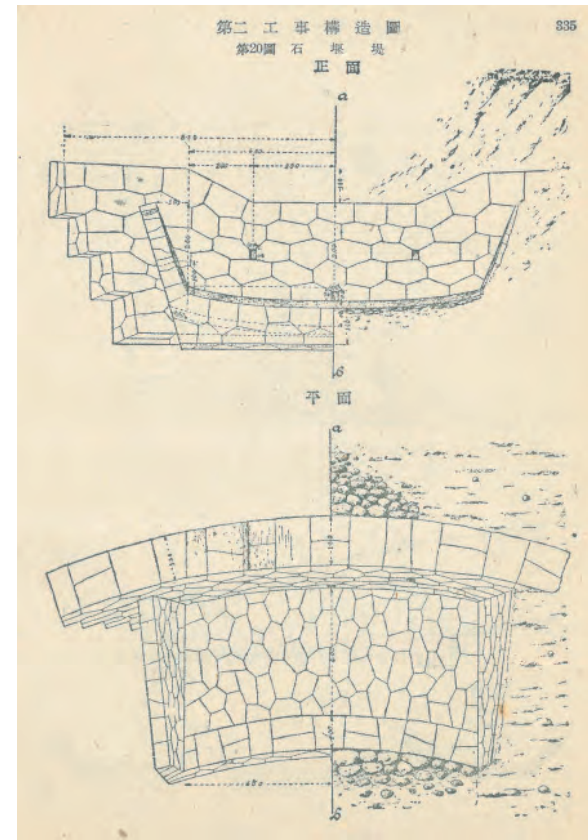
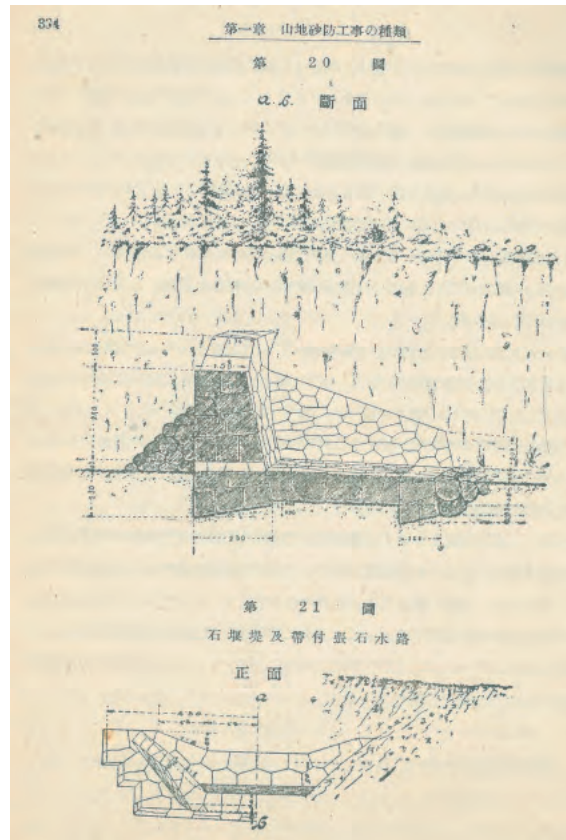


図 6.2-3 諸戸砂防工学 工事雛形

諸戸北郎博士の留学復命書にある位置図をたよりに、チェコ工科大学の Josef Křeček (ヨゼフ・クシェチェック) 准教授の案内で現地の調査を行った。Šanov 地区庁舎職員へヒアリングした結果、留学復命書の位置図にある堰堤位置には砂防施設は堰堤はなかった。現地踏査の結果、図 6.2-5 の位置図にある溪流の場所へはアクセスできたと思われるが、溪流の上流部は耕作地として利用されていたことから、地形改変により、溪流上流部は埋められたと推測される。

また、地区庁舎職員へのヒアリングにより、1950 年頃に洪水（もしくは土石流）が発生したことが判明し、堰堤があったとされる位置よりも下流でも、大きな地形改変があったことが分かった。



図 6.2-4 Šanov 地区庁舎でのヒアリング



図 6.2-5 現地調査結果（諸戸北郎博士アルバム内の位置図に加筆）



写真① 谷合流点



写真② 溪流状況



写真③ 溪流状況



写真④ 上流域土地利用



写真⑤ 道路屈曲部



写真⑥ 下流状況



写真⑦ (Řeřišský potok)
シェシシュスキー溪との合流点

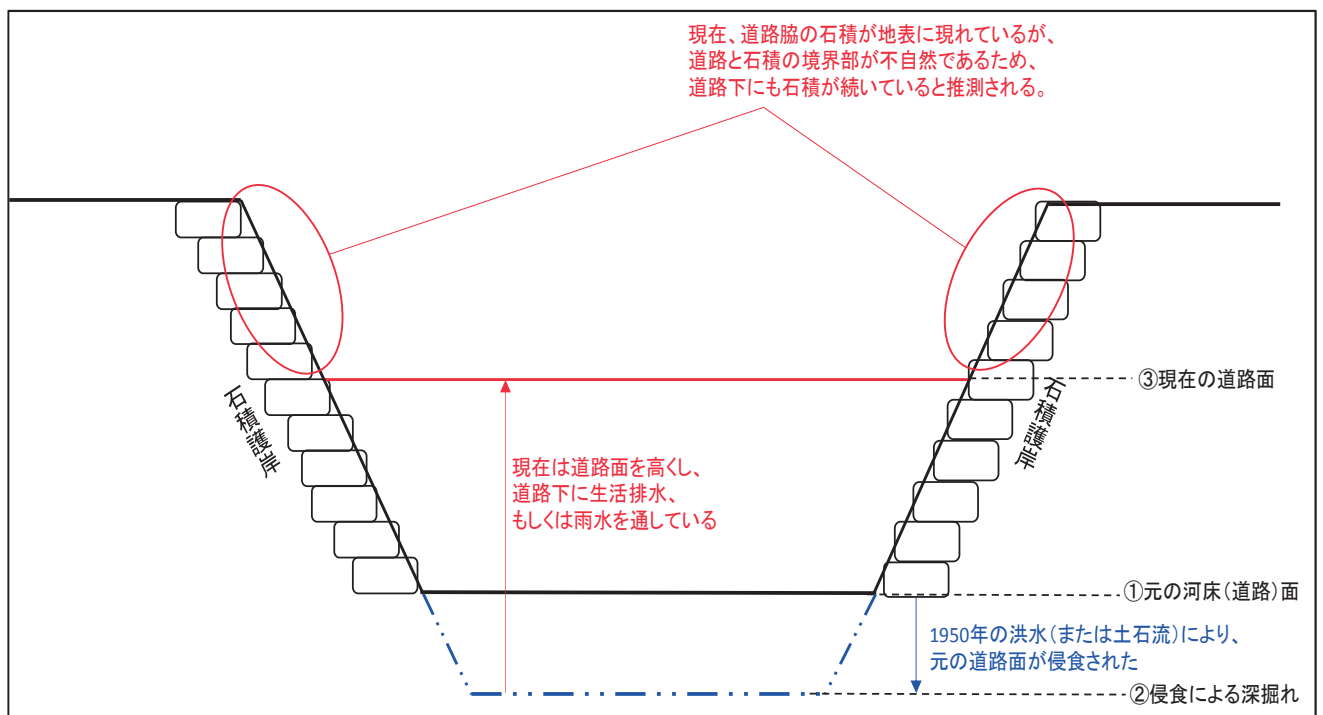


図 6.2-6 洪水による地形改変のイメージ

図 6.2-5 の位置図の箇所で見つけることはできなかったが、隣接する溪流には古い石積堰堤を発見した。図 6.2-3 の堰堤図面とは形状は異なる（袖小口が無い、水抜き暗渠が無い）が、石の積み方から同年代に建設された堰堤ではないかと推測した。堰堤下流には人家が立ち並んでおり、一部斜面が露わになっている部分が見られ、諸戸博士アルバムの写真の地形と似ていた。諸戸博士が訪れた当時の Šanov の丘陵地の表面部分は、土砂移動が活発で樹木が根付かないため、土壌が露出していたと推測される、

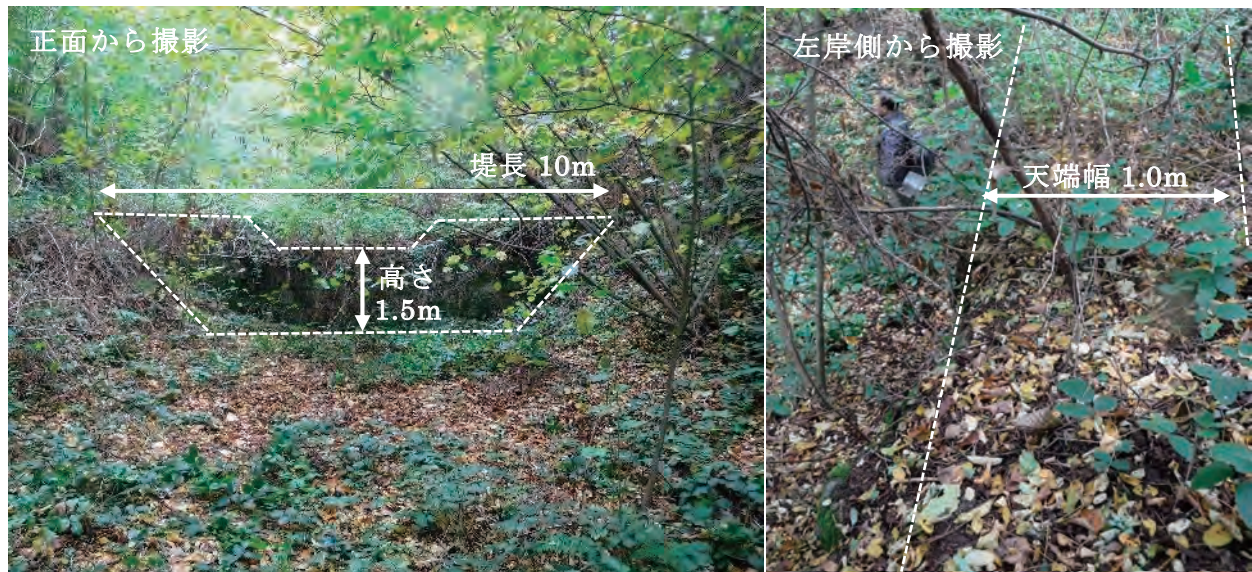


図 6.2-7 隣接溪流に位置する石積堰堤



図 6.2-8 隣接溪流の堰堤と周辺の状況写真

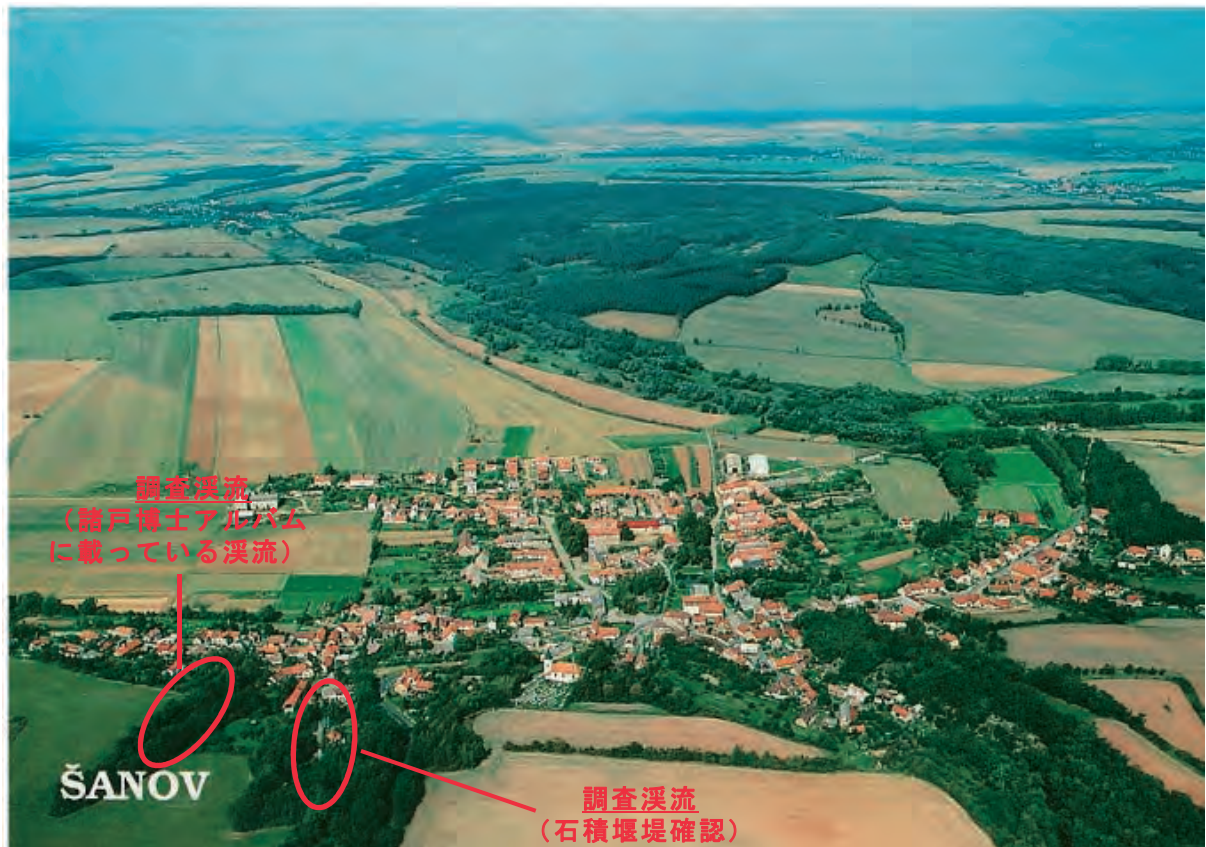


図 6.2-9 調査位置（ポストカードに追記）

6.2.3 Příčina (プシーチーナ) 周辺

Senomaty (セノマティ) の市街地から南へ 5.5km ほどの場所にある、昨年当地を訪れた際に調査した、Příčina (プシーチーナ) 駅近くの石積堰堤について、現地計測を実施した。堰堤の位置している溪流はペトゥロビツキー (Petrovický) 溪のブランドゥスキー (Brandský) 支溪である。当該堰堤はアーチ形をしており、袖部と水通し部が明確に分かれており、図 6.2-3 の工事雛形に形状が似ているが、水抜き暗渠の数が異なるため、同一のものではないと思われる。しかし、堰堤の石材には「1908」と刻まれており、諸戸博士がオーストリア周辺へ留学していた期間 (1909 年 3 月～1912 年 5 月) に近く、諸戸博士が留学をしていた当時は、チェコではこのような堰堤工事が主流であったと推測できる。

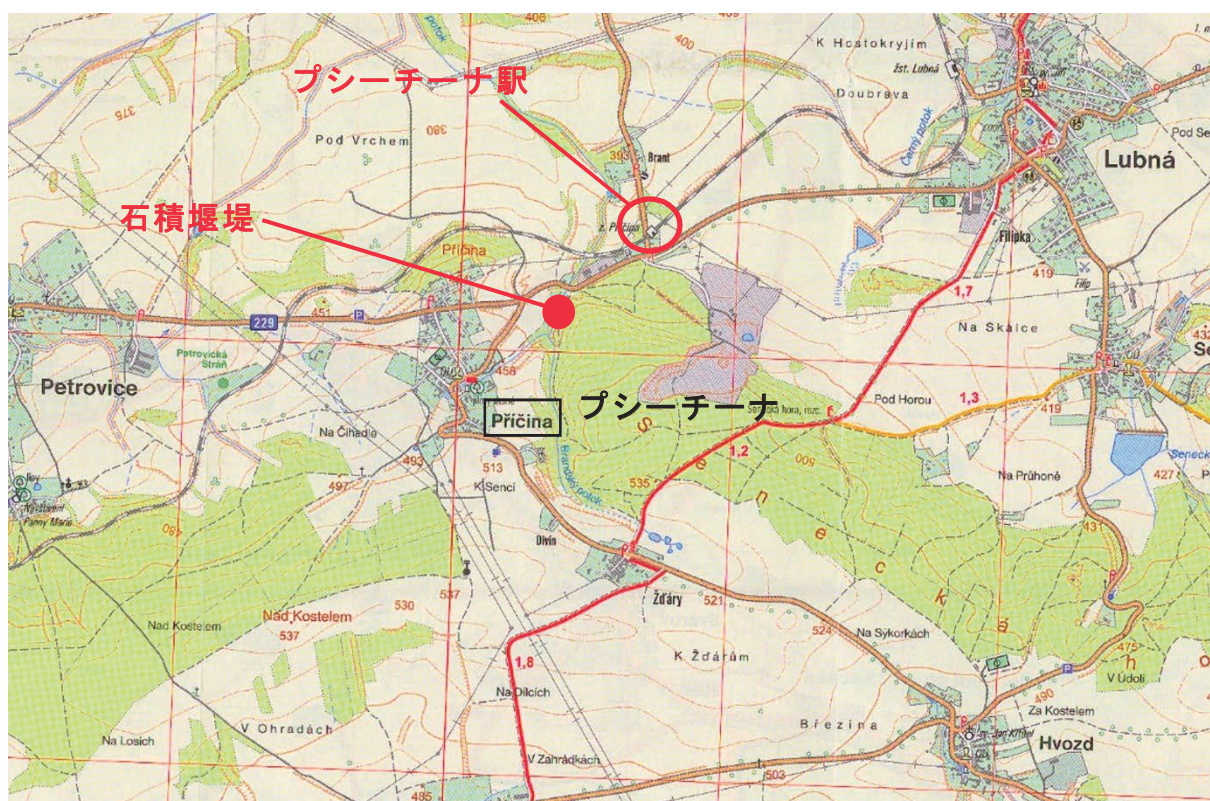


図 6.2-10 調査位置図



図 6.2-11 Příčina 駅



図 6.2-12 石積堰堤直近の道路

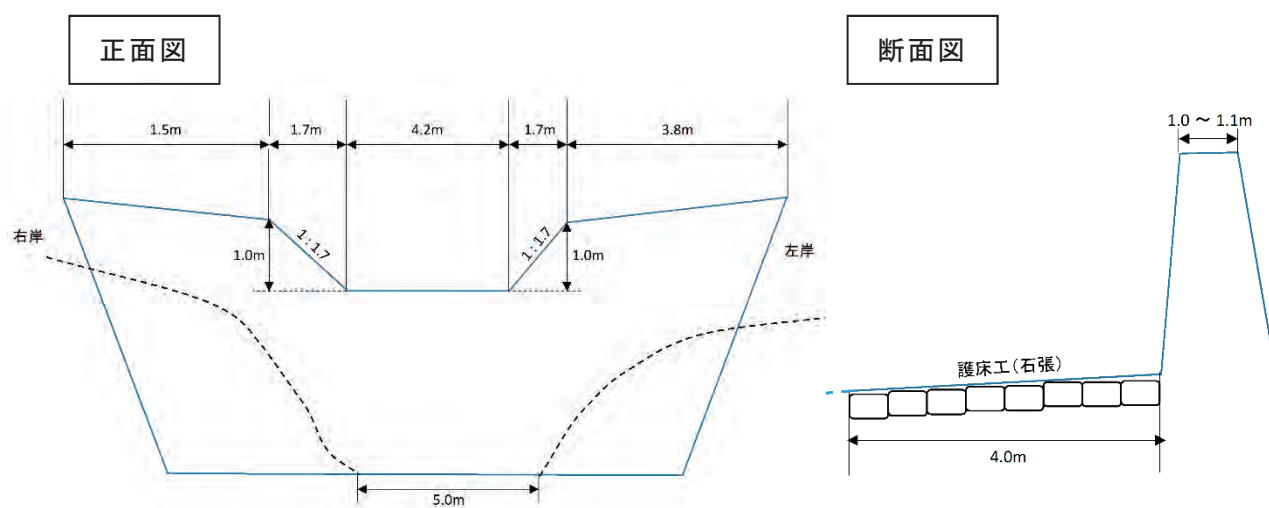


図 6.2-13 全景写真とスケッチ



図 6.2-14 天端状況



図 6.2-15 石材に刻まれた数字

6.3 チェコ工科大学 (České vysoké učení technické v Praze)

Josef Křeček (ヨゼフ・クシェチェック) 准教授からの要請で、チェコ工科大学で「日本の砂防」について西本が、平成 29 年九州北部豪雨について大村がプレゼンテーションを行った。プレゼン後には学生からの質問に答えた。質問は以下の通り。

【日本の砂防紹介】※Q：チェコ工科大学の学生からの質問、A：西本教授の回答

Q：砂防堰堤にたまった土砂は取り除くのか？

A：透過型堰堤に関しては取り除くが、不透過型堰堤は山脚固定の役割がある場合は、取り除かない。

Q：崩れた箇所には土砂を埋め戻すのか？それとも、別の対策をするのか？

A：崩壊した斜面は法枠工や植生工等の山腹工により対策する。

Q：砂防堰堤が捕捉できる土砂量は決まっているのか？それとも場所によって異なるのか？

A：対象とする溪流に堆積している土砂量を算出し、この土砂量を捕捉できる規模の堰堤を計画するため、場所によって異なる。

Q：災害が発生した際に発令する警報はどのくらい成功しているのか？

A：警報は災害発生前に発令されているケースが多いものの、住民が避難せず被害者が出るのが少なくない。

Q：土石流による被害額は他の災害（洪水、地震、津波等）と比較して、どのくらい大きいのか？

A：金額の大小は分からない。日本では土石流災害の数は約 1,000 件であり、このうち土石流の依るものは約 30%である。



図 6.3-1 講演の様子



図 6.3-2 講演の様子

【平成 29 年北九州豪雨】

Q：九州の一般的な降水量は？

A：福岡県で年平均降水量は 1612mm(1981～2010)。

Q：土石流を引き起こした豪雨の確率は？

A：福岡県の 50 年確率降雨の最大値は約 350mm であるのに対し、今回の災害で生じた 24 時間雨量は最大 545.5mm であった。

Q：流木の処理はどうしているのか？

A：堰堤に捕捉された流木は処分する。水に浸かってしまっているため、材木としては使えない。



図 6.3-3 講演（西本）の様子



図 6.3-4 講演（大村）の様子

第7章 フランス

7.1 概要

平成29年10月12日と13日に、フランスのグルノーブルを拠点として、RTM (Restauration Terrain en Montagne : 山地修復庁) との打合せ、モレール溪及びサン・ジュリアン溪の現地調査を実施した。フランスは東西約700km, 南北約900kmの国土を持ち、ベルギー・ルクセンブルク・ドイツ・スイス・イタリア・スペインと国境を接する国である。南東にはアルプス山脈、南にはピレネー山脈がそびえ、西は北大西洋に面している。国土全体を見るとなだらかな土地が占める割合が高い。主な河川はセーヌ川、ロワール川、ガロンヌ川、ローヌ川であり、フランス最高峰の山はモンブラン（標高4,810m）である。気候は西海洋性気候に属し、気温の年較差及び日較差が小さい。



図 7.1-1 調査位置図

7.2 RTM 本部

平成 29 年 10 月 12 日午前中は RTM (Restauration Terrain en Montagne : 山地修復庁) 本部で RTM の Simon Carladous 氏、IRSTEA (National Research Institute of Science and Technology for Environment and Agriculture) の Guillaume Piton 氏とミーティングで意見交換を行った。場所は RTM 本部 6 階の会議室で、まず Carladous 氏から RTM とその事業概要に関するプレゼンを、西本が日本の砂防に関してプレゼンを行った。

ミーティングの冒頭で、RTM の砂防責任者 (日本の国土交通省砂防部長相当職) である、Marco Olivier (マルコ・オリヴィエール) 氏より挨拶があった。発言の要旨は、「フランスでは 1860 年頃から荒廃地の復旧のための砂防ダム建設と植林を行ってきたが、近年の社会状況変化で現在は人家近傍を中心に砂防ダムの維持管理と透過型堰堤の設置を行っている。観光地における人口増に伴う災害リスクの増加といった新たな課題も生じてきており、今後の土砂災害防止対策をどう効率的に行っていくかについて検討しているところである。日本は土砂災害対策に長年の経験を有していると聞いており、その実態を勉強させていただきたい。また、今後の効果的な土砂災害対策の在り方について、定期的な日本との情報交換を始めたいと考えている」といった内容であった。



Mraco Olivier 氏の名刺

Dicection forêts et risques narurels : 森林と自然災害に関する局

Département risques naturels : 自然災害に関する部

7.2.1 RTM の紹介

RTM の Simon Carladous 氏、IRSTEA の Guillaume Piton 氏より RTM の紹介をしていた。

【RTM の概要】

・RTM は 1882 年に設立され、本部は Grnoble に置かれている。大半の地域は本部が管轄しているが、図 7.2-1 の緑の県には出先事務所が置かれ、各々の県の事業を管轄している。

・出先の事務所が置かれているのは、アルプス山脈側で 6 県、ピレネー山脈側で 3 県（Arige 県と Haute-Garonne 県は 1 つの事務所が管轄）である。

【事業内容】

・RTM は図 7.2-2 のように溪流対策事業を担っている。

・溪流の上流（砂防堰堤や山腹工）の対策は国が管理する施設であり、RTM が計画を立てて、工事まで行う。

・溪流の下流（溪流保全工や堤防）の対策は自治体が管理する施設であり、工事の方針等を提言するのは RTM である。

・溪流対策の他に雪崩対策も RTM の担当である。

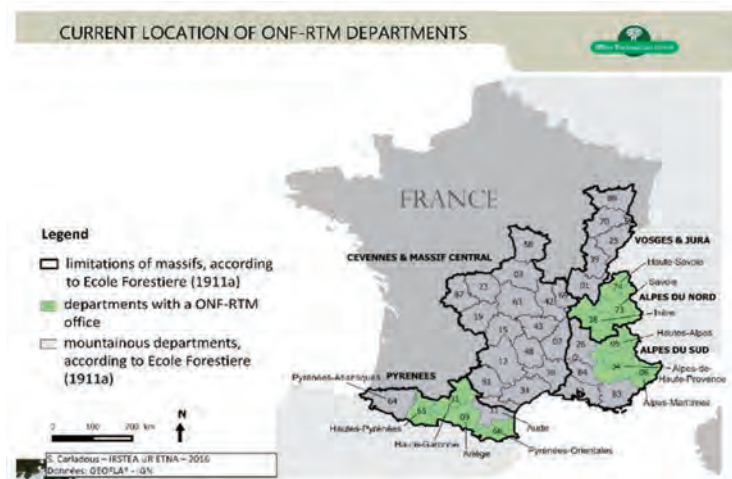


図 7.2-1 RTM 紹介スライド 1

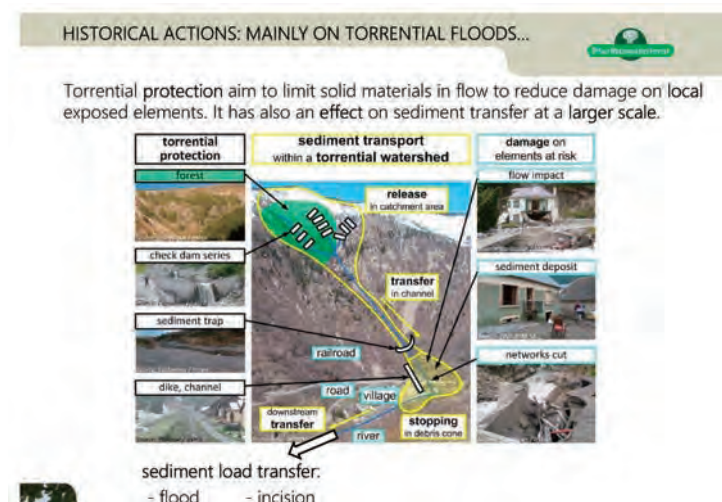


図 7.2-2 RTM 紹介スライド 2

【植林】

・図 7.2-3 の右図 (A) では、県の色分けは植林の割合を示しており、緑が濃いほど、国が土地を買収し、植林している割合が高い。

・図 7.2-3 の左図 (B) は、地域ごとの植林面積を示しており、黒線はフランス全土の合計値の推移を示している。

・グラフを見ると、1890 年～1910 年にかけて植林率が急上昇しているが、1913 年以降は第一次世界大戦の影響からか植林率の増加傾向は緩やかになった。

・1965 年には RTM が ONF に属することとなり、それ以降、植林率はほぼ横ばいで現在に至っていることから、近年のフランスの砂防事業はあまり進展していないことが伺える。

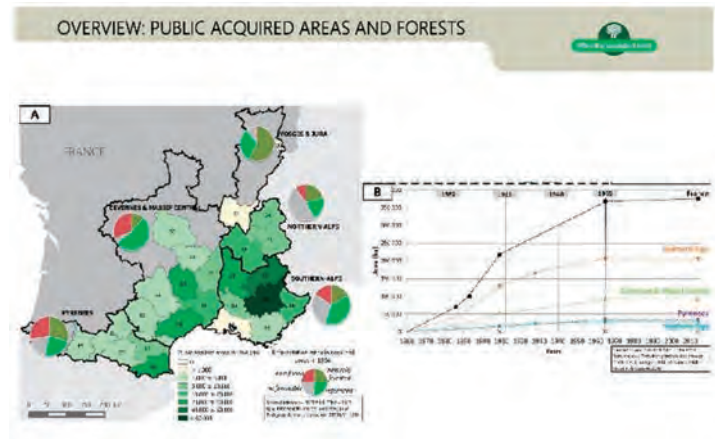


図 7.2-3 RTM 紹介スライド 3

【雪崩対策、土石流対策施設】

・図 7.2-4 の左図は 1964 年の雪崩対策、右図は土石流対策施設の数を示している。

・土石流対策施設については、円グラフで砂防ダム（緑）と治水ダム等の大規模ダムの数量比を円グラフで示している。

・雪崩対策、土石流対策ともに北アルプス地域の県で多く整備されている。

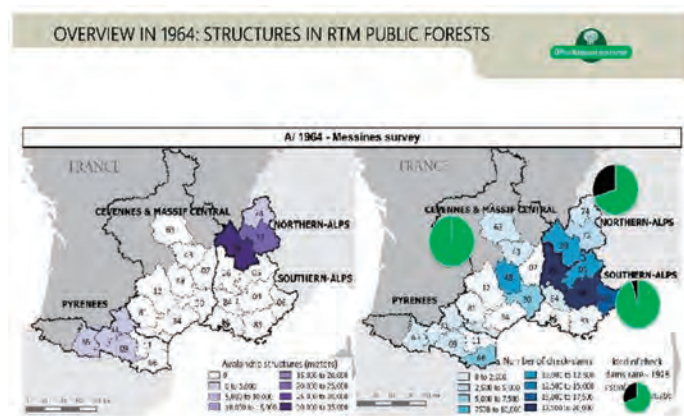


図 7.2-4 RTM 紹介スライド 4

・図 7.2-5 の左図は 2014 年の全構造物の数、右図は土石流対策施設の数を示している。

・左図に示すとおりオレンジで示されている溪流上流に位置する施設が、全構造物に占める割合が高い。

・右図では砂防ダムに限定した値であり、円グラフは施設規模を示しており、全体として高さ 2m 以下の低い堰堤が多いことが分かる。

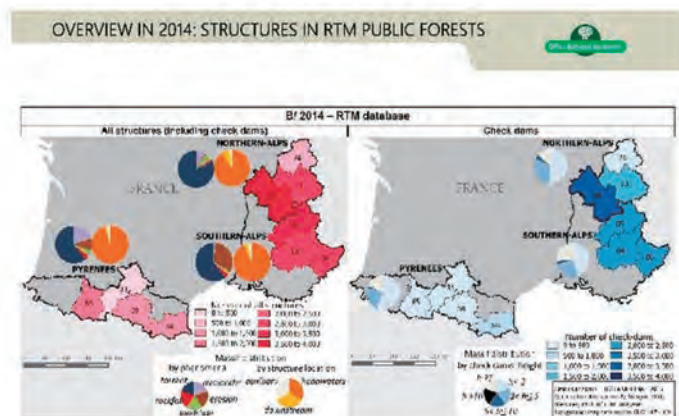


図 7.2-5 RTM 紹介スライド 5

【施設の変遷】図 7.2-6

- ・ 1964 年時点で砂防ダムは 9 万基以上あったが、その内、現在もメンテナンスをしている施設は 1 万 4 千基である。
- ・ 1964 年は多くの人はまだ山奥に住んでいたため、その分多くの砂防ダムが必要であった。
- ・ しかし、現在は山奥に住んでいた人も市街地へ下りてきたため、人的被害に直結しない砂防ダムが増えてしまった。
- ・ メンテナンスにはお金がかかるため、人の住んでいる地域に位置する堰堤をメンテナンスしている。

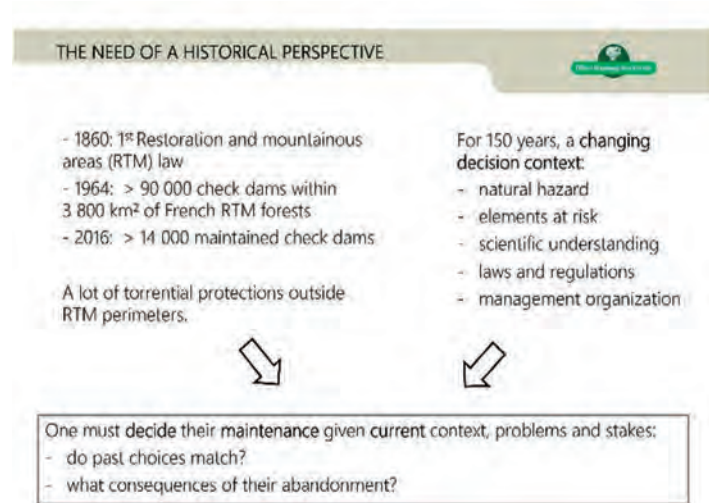


図 7.2-6 RTM 紹介スライド 6

<西本教授からの質問>

- ・ ユバイエ川には多くの砂防堰堤があるが、この地域の砂防事業は現在も継続しているのか？

<RTM からの回答>

- ・ ユバイエ川の下流に透過型堰堤を建設しているが、上流域については、経済的な問題もあり、施設整備は行っていない。

【人口の変遷】

- ・ 山地に住んでいた人口のピークは 1860 年近辺であったが、地方で過疎化が進行し、1960 年まで人口減少が続いた。
- ・ 1964 年からはグルノーブルでスキーの別荘が増えたこともあり、山地に住む人口が急増し、現在もアルプス北部に住んでいる人は多い。

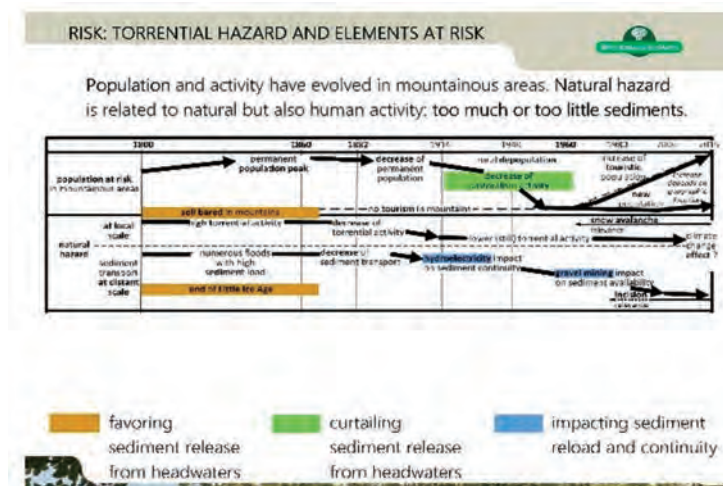


図 7.2-7 RTM 紹介スライド 7

【溪流対策の変遷】

・図 7.2-8 中の緑は溪流上流の対策施設数、青は下流の対策施設数の変遷を示している。

・溪流上流の対策（砂防ダム）については、以下のような時代の流れがあった。

①1860 年以前は植林によって土砂流出を軽減させていた。

②1860 年以降、砂防ダムの建設が試験的に始まり、試行錯誤した。

③1882 年からは、砂防ダムの建設が本格的に多くの場所で行われた。

④1914 年に山地に住む人口が減少したことで、砂防ダムは不要との風潮が広がった。

⑤現在は、砂防ダムに鉄筋が使用されて始めたことで、メンテナンスが不要となった分、砂防事業は衰退しているように見える。

・溪流下流の対策（堤防、溪流保全工、透過型堰堤）は 1980 年付近から始まり、近年は落ちてきているものの、増加傾向にある。

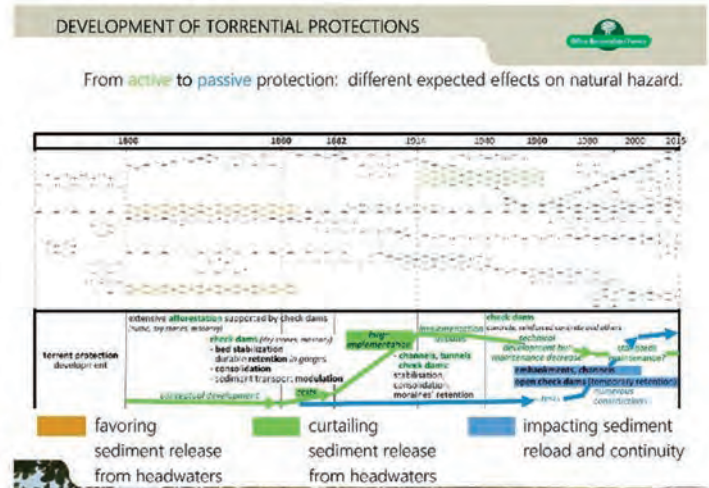


図 7.2-8 RTM 紹介スライド 8

【山地の復元】

・1860 年頃まではむやみやたらに植林しようとする風潮があった。

・しかし、当時は山地に住んでいる人も多く、植林をしてしまうと農業が出来なくなる問題があった。

・そのため、1882 年から RTM が植林する範囲を制限した。

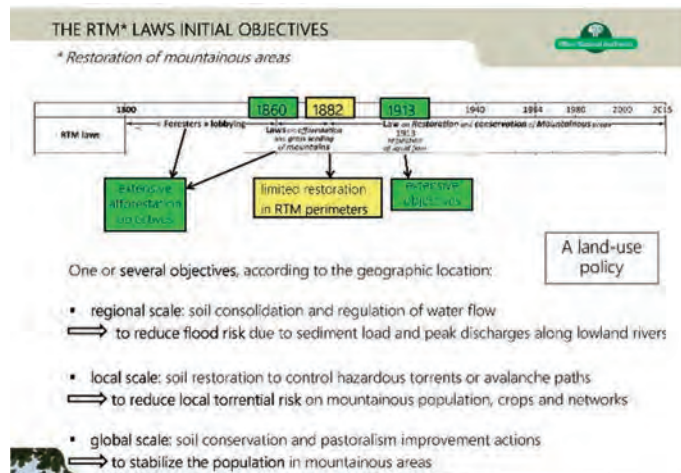


図 7.2-9 RTM 紹介スライド 9

・RTM の目的は想定するスケールによって異なる。以下、スケールの小さい順に示す。

Regional scale : 土砂流出の防止と治水によって、低地の土砂堆積と洪水の被害を軽減する。

Local scale : 急流や雪崩を安全に下流まで導き、山地に潜むリスクを軽減する。

Global scale : 土壌保全及び牧畜改善により、山地の人口減少を食い止める。

【事業の分担】

- ・1864 年以前は森林保全や治水、土砂災害対策等、全ての事業を国で受け持っていた。
- ・1964 年から各分野で担当する省庁が分かれた。

- ・フランスはナポレオン時代の名残もあり、全ての事業を国がやるという思想があった。
- ・しかし、全ての事業を国が行うと地方自治体との連携がとれず、都市計画がうまくいかないことが多かった。

- ・都市計画の問題、さらに国の負担を軽減するためにも、国への一極集中を避け、事業の分担を行った。

【防災の考え方の変化】

- ・国から自治体へ事業が分担されていくのに伴い、防災の考え方も、構造物で直接せき止めようとする考えから、予防保全の考えへとシフトしてきている。

【RTM による助言】

- ・溪流上流に整備する砂防ダムは RTM が管轄する分野であるが、溪流保全工等の溪流下流に整備する構造物は自治体が管轄する。
- ・RTM は自治体が管轄する事業に対して、助言をする役割も担っている。
- ・RTM の助言は重要視されており、この助言に従わなかった場合、市長に法的罰則がかけられることもある。

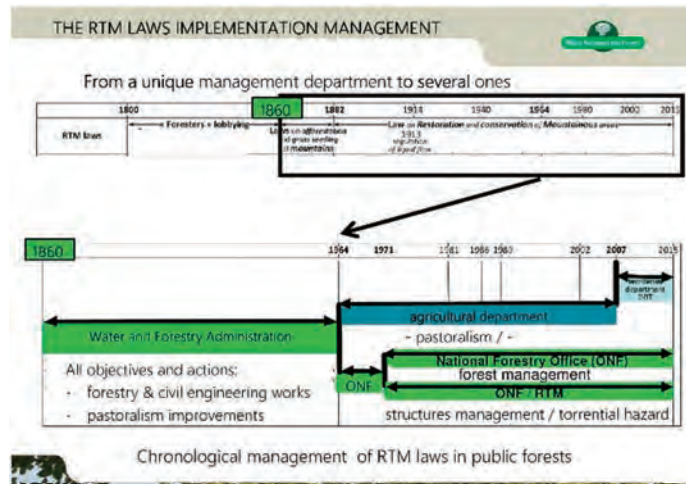


図 7.2-10 RTM 紹介スライド 10

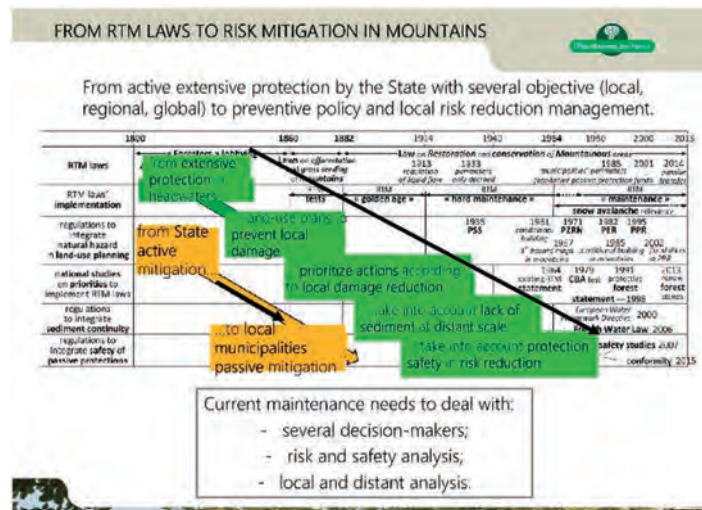


図 7.2-11 RTM 紹介スライド 11

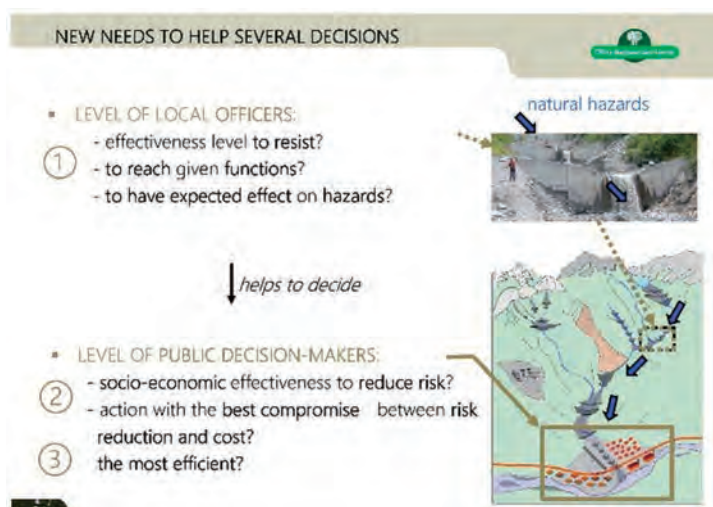


図 7.2-12 RTM 紹介スライド 12

7.2.2 日本の砂防事業の紹介

西本教授より、RTM の Simon Carladous 氏、IRSTEA の Guillaume Piton 氏に向けて、日本の砂防事業に関して紹介があった。質問のあった内容について、以下に示す。

※ $y(x)$ で示し、 y には、J（日本から）、R（RTM 側から）、 x には Q：質問、A：回答を入れる。

【現象の数え方】図 7.2-13

R(Q)：災害の数え方は？

J(A)：原則として被害が生じた災害をカウントしている。

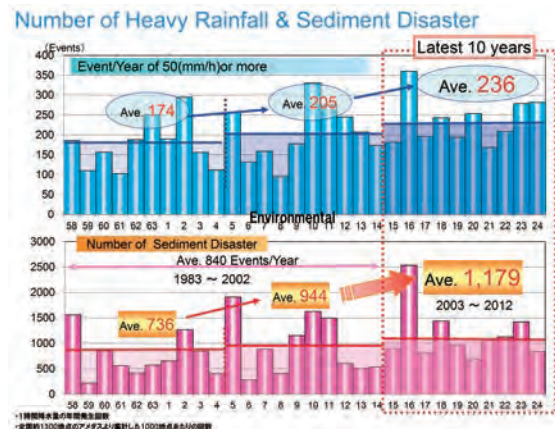


図 7.2-13 日本砂防紹介スライド 1

【広島土砂災害】図 7.2-14

R(Q)：土石流の発生した溪流に砂防ダムは整備されていたのか？

J(A)：災害発生時に既に砂防ダムのあった溪流もあれば、無かった溪流もある。
災害後は、新たな砂防ダムを設置している。

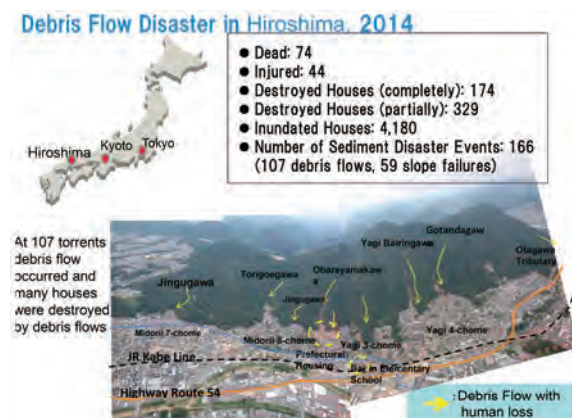


図 7.2-14 日本砂防紹介スライド 2

【天然ダム】図 7.2-15

R(Q)：深層崩壊により形成された天然ダムは安定化させるのか？

J(A)：安定化させる。

日本では、天然ダムが形成された場合、以下の順番で対策をたてる。

- ①天然ダム発生後、ヘリコプターで写真撮影等を行い、状況を把握する。
- ②越流する場合の氾濫シミュレーションを実施し、必要に応じて公表する。
- ③調査結果で必要あらば、天然ダムの決壊防止対策を実施する。

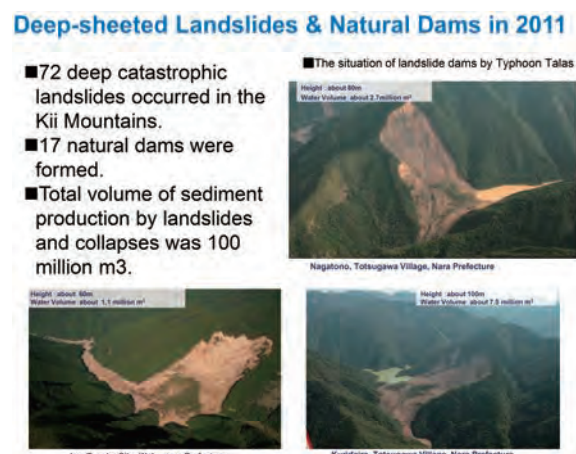


図 7.2-15 日本砂防紹介スライド 3

【砂防の組織】 図 7.2-16

Q：日本では、砂防ダムが国有地に位置していれば、国が管理し、民有地に位置していれば、自治体が管理するのか？

A：国有地、民有地は関係ない。砂防ダムの効果が広範囲に及ぶ場合や、重要施設を護るための場合などには国が直接管理する。



図 7.2-16 日本砂防紹介スライド 4

【溪流保全工】 図 7.2-17

図 7.2-17 は日本の長野県牛伏川にあるフランス式階段式工である。当該施設は池田技師がフランスのサニエル溪を参考に計画したものである。

Channel works



図 7.2-17 日本砂防紹介スライド 5

【土砂災害防止法】 図 7.2-18

Q：土砂災害防止法の特別警戒区域（R）と警戒区域（Y）はどのように決めているのか？

A：R は建築物の耐力と土石流の流体力との比較で決まり、Y は地形の勾配で決まる。R 区域では、原則建築物を新たに建てることはできないが、土石流に耐えることのできる対策を実施すれば、建てることができる。

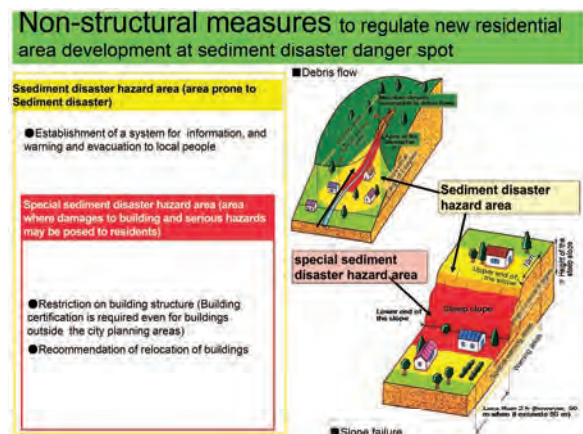


図 7.2-18 日本砂防紹介スライド 6

フランスでもハザードマップが作成されており、日本と同様に R と Y の 2 種類に分かれている。フランスでは R 区域では、対策をしても新たに建築してはいけない。Y 区域では建築をしてもよいことになっているが、なかなか許可が下りないのが現状である。

RTM の simon 氏の意見では、フランスでは他にも建物を建てることのできる土地が広くあるが、日本では山地が多く、建物を建てることのできる平地が少ないことが、R と Y の区域に関する規制の違いに現れているのではないかということであった。

7.2.3 意見交換

RTM と日本で砂防事業に関して、意見交換を行った。RTM 本部訪問の第一の目的は、ここ数年間に現場の実態調査を行ってきたが、フランス全体における砂防の歴史、現況について理解を深めることにあった。Carlados 氏のプレゼンで得た情報以外でのやり取りの内容は以下の通りである。

意見交換の最後に、RTM から、今後の日本—フランス間における技術交流への道筋を見出した。いとの希望を持っている旨の発言があり、その意向があることを国土交通省に伝えることを約束した。

※y(x)で示し、y には、J（日本から）、R（RTM 側から）、x には Q：質問、A：回答を入れる。

【ハザードマップ】

J(Q)：ハザードマップは、警戒区域を3つ以上に分けている国もあるが、フランスは黄色と赤色の2種類のみか？

R(A)：地域によって異なり、サボア県では上記2種類に加えて、青色と白色の区域がある。

- ・青色：日本の特別警戒区域に近い規制であり、土石流に耐えうる対策を実施すれば、建物の新築は可能。
- ・白色：建物の基礎の高さを上げることで、指定の解除が可能。

【警報】

J(Q)：避難等の警報はどのようにして出されるのか？

R(A)：RTM が自治体の市長等に警報を出すべきとの助言をして、警報が出されている。これまでの経験から RTM の助言の制度は高く、高い信頼が置かれている。

【老朽化対策】

J(Q)：砂防ダム那点検等、維持管理はどのようにして行っているか？

R(A)：国が建設した施設であれば、国が点検し、自治体が建設した施設であれば、自治体が点検するという考えの下、維持管理を実施している。また、フランスでは補修等の対策実施する基準は定まっていないが、大きく壊れる可能性が出てきたら、対策を実施するというスタンスである。特に石材の施設が壊れた場合には、補修費が国から補助金（予算外）が出る仕組みになっている。

【鉄筋を用いた砂防ダム】

J(Q)：フランスはこれまで不透過型堰堤を建設してきたが、近年建設している鉄筋を用いた砂防ダムはどのような構造をしているのか？

R(A)：従来のコンクリート不透過型堰堤は上下流に勾配を付けていたが、鉄筋を用い砂防ダムは法勾配が垂直な構造となっている。従来のコンクリート構造と比較してどの程度有効な構造であるのかはまだ分かっていない。建設時には雨に濡れてはいけないというのが弱点である。

【国際協力】

R(Q)：今回の意見交換で、日本の砂防について参考にできる情報を得ることができ、非常に良い機会となった。今後も継続して技術交流をしていけるよう、働きかけていただけないか？

J(A)：日本の国土交通省に RTM からの希望を伝える。個人的には、日本－フランス間の技術交流に向けての橋渡しができればよいと思っている。



図 7.2-19 堰堤構造の違い

7.3 IRSTEA

平成 29 年 10 月 12 日午後 3 時半から Guillaume Piton 氏に IRSTEA の図書室に案内していただいた。図書室にはフランスの砂防事業に関する資料を用意していただいた。拝見した資料は以下の通りである。

- ・資料①（資料②の復刻版）：LES TRAVAUX DE REBOISEMENT DES MONTAGNES,
PAR P. DEMONTZEY
- ・資料②（資料①の元資料）：L'EXTINCTION DES TORRENTS,
PAR P. DEMONTZEY
- ・資料③：Restauration des Montagnes, M. Berunard
- ・資料④：TORRENTS DE LA SAVOIE

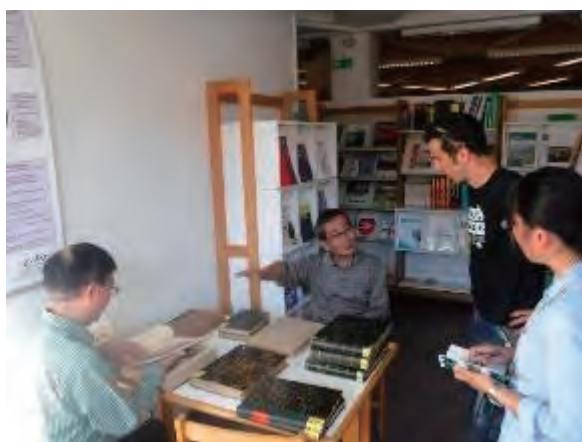


図 7.3-1 図書室での打合せ

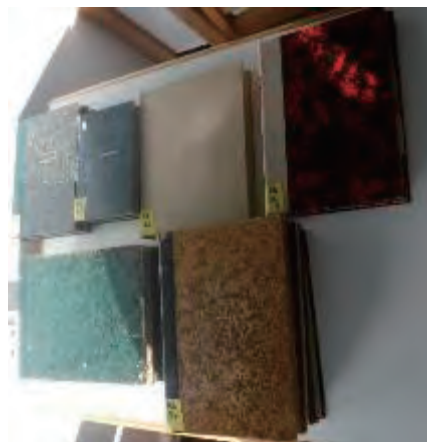


図 7.3-2 閲覧資料

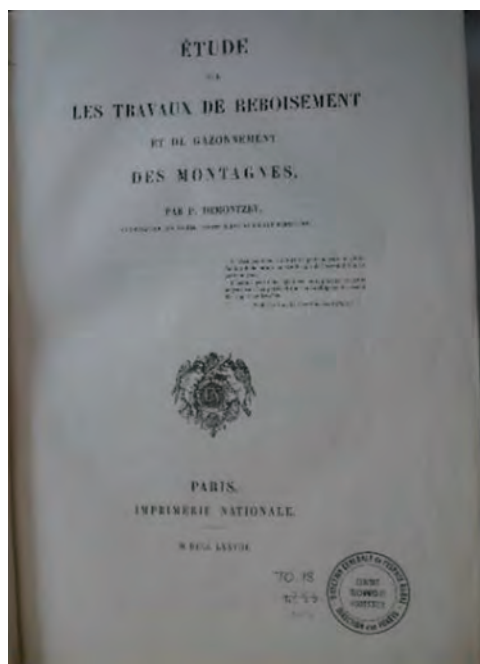


図 7.3-3 資料①（中表紙）

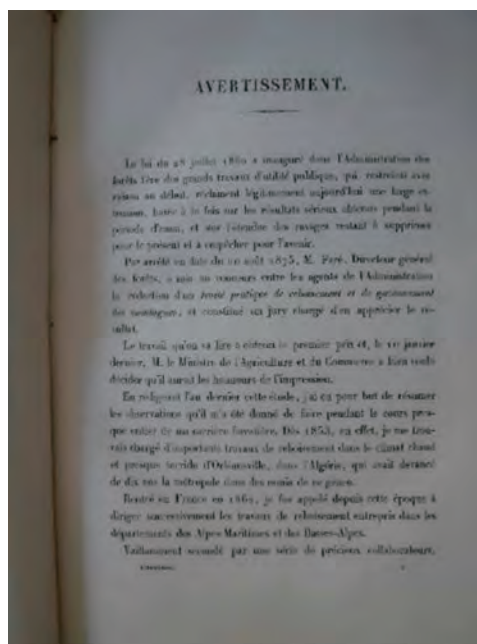


図 7.3-4 資料①（概要）

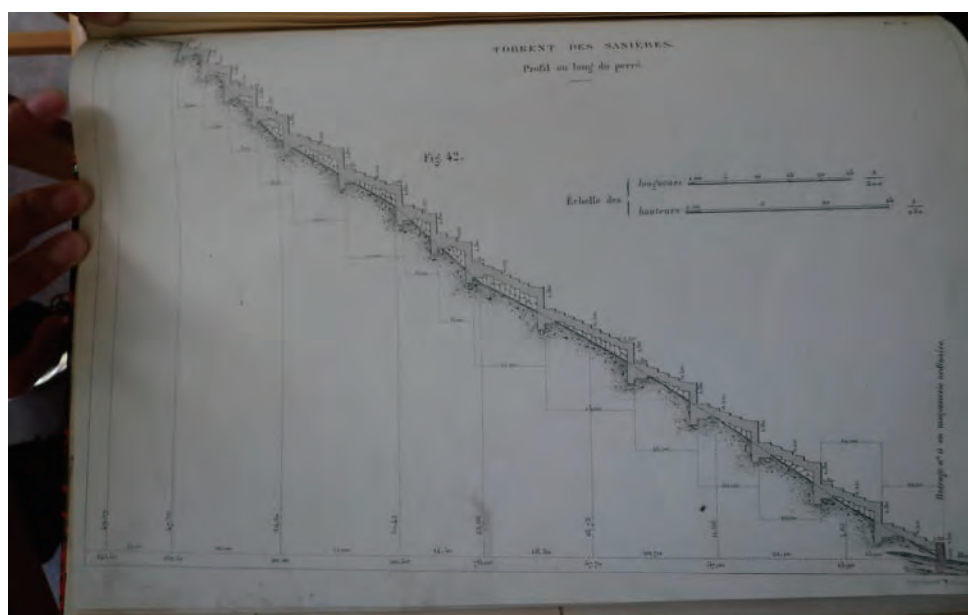


図 7.3-5 資料①（サニエル溪縦断面図）

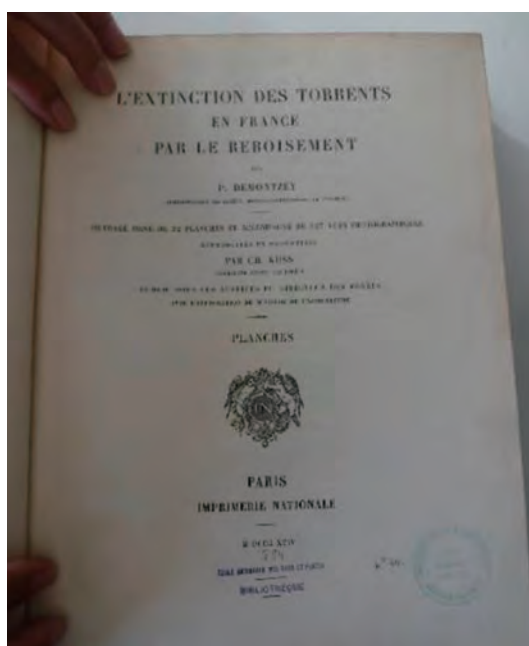


図 7.3-6 資料②（中表紙）



図 7.3-7 資料②（サニエル溪写真）

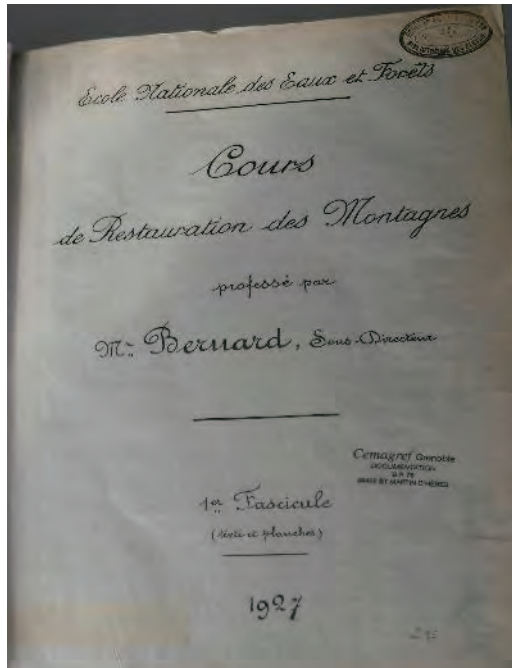


図 7.3-8 資料③（中表紙）

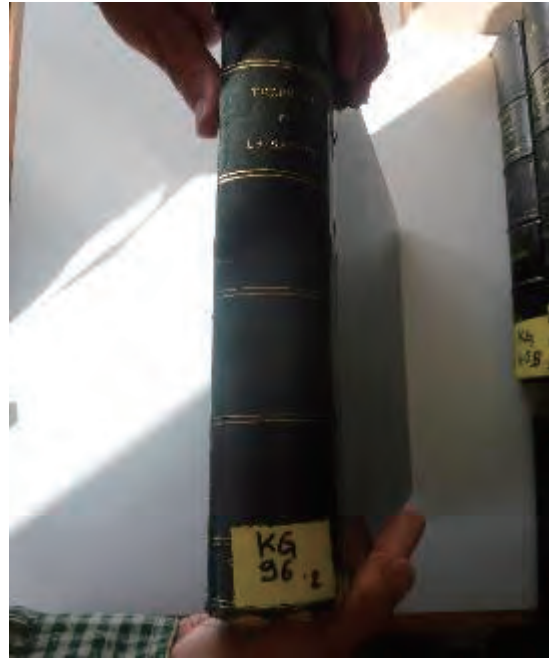


図 7.3-9 資料④（背表紙）

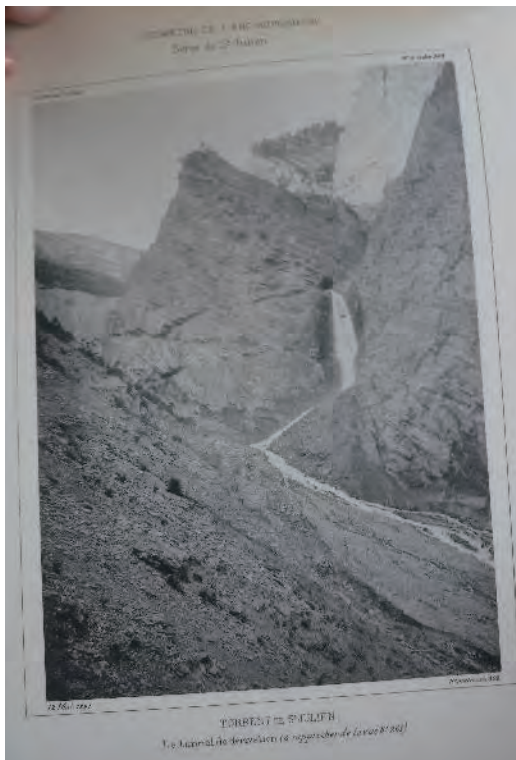


図 7.3-10 資料④（サン・ジュリアン溪写真）



図 7.3-11 資料④（サン・ジュリアン溪写真）

7.4 Morel（モレール）溪

モレール溪はイゼール川の左支溪で、Bellevcombe（直訳：美しい溪谷）集落（図 7.4-1）を流れる流域面積約 34km²、標高約 2,600m に源を発する流路延長約 10km の溪流である。

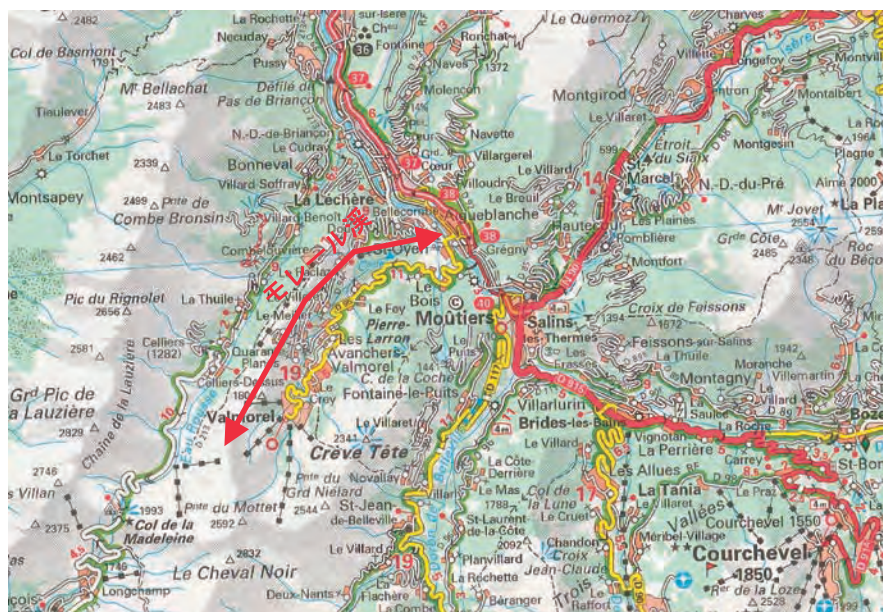


図 7.4-1 モレール溪位置図

モレール溪には散策道（片道約 1km）が整備されており、車でその出発点までアクセスし、徒歩で散策道最上流となる隧道出口までアプローチした。



図 7.4-2 散策道入口の案内看板



図 7.4-3 Bellevcombe の案内補標識
（散策道入口付近）

散策道入口から上流へ約 1km の隧道出口までの区間には、1905 年～1912 年に施工された約床固工群によって、溪床の固定及び溪床勾配の緩和、流路の整正が図られている。床固工群は建設後 100 年以上が経過しているため、水や石礫の流下により、被災した施設も複数見られた。建設当時から補修されていない床固工は石積のみで構成され、補修された床固工は部分的にセメントやコンクリートが用いられていた。散策路の下流ほどセメントやコンクリートが用いられた施設が多く、上流ほど石積のみの建設当時の姿のまま残っている施設が多い傾向があった。

床固工の構造に関して、日本では一般的に袖小口の勾配を 1:0.5 で設計するが、当該溪流の床固工の勾配は 1:2 以上（補修された床固工）、もしくは弧状（流路の湾曲部に多い）を呈していた。IRSTEA の Guillaume 氏の話によると、袖小口の勾配は元の溪流に合わせて設計しているとのことであった。



図 7.4-4 下流の床固工（袖小口の勾配 1 : 2）

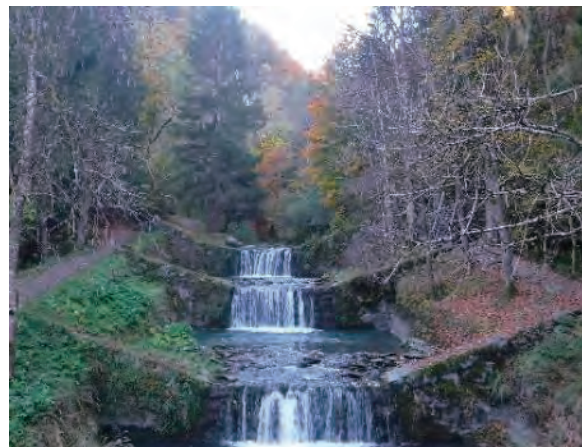


図 7.4-5 上流の床固工



図 7.4-6 上流の床固工（湾曲部）

図 7.4-6 のように、溪流の湾曲部の攻撃斜面側は護岸を高くし、水が乗り越えないようにしている。また、流路が直進する場合には床固工は流心に直行するよう設計されているが、湾曲部では床固工と流心のなす角度が 90 度以上になっている場合が多く、どの程度の角度をつけるかはシミュレーション等を実施し検討するとのことであった（図 7.4-7）。

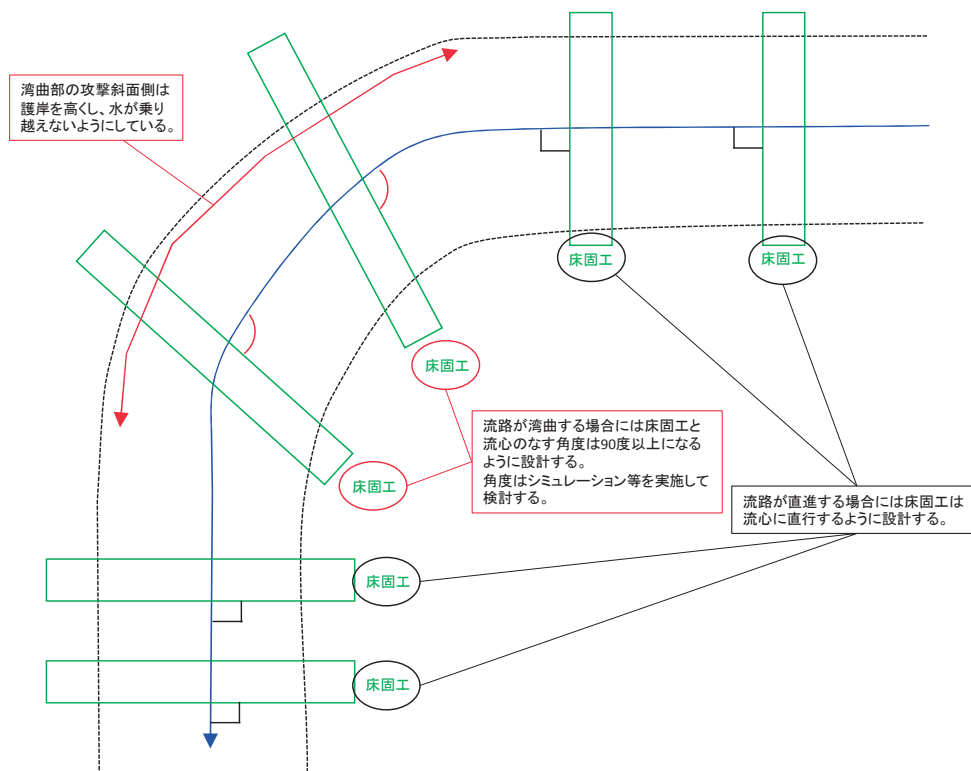


図 7.4-7 床固工の計画イメージ（湾曲部）

モレール溪の床固工のほとんどは袖の貫入は堤防までとなっており、安定性に乏しい印象ではあったが、谷幅の拡幅部や流路の湾曲部といった要所で、袖を両側の地山まで貫入させ、転倒等しないように考慮されていた。



図 7.4-8 袖が地山に貫入した床固工

散策道の最上流部は隧道の出口となっており、人口の滝を近くで観察できるように整備されており、展望台には隧道工事に関する多くの説明板が設置されていた。

この隧道の工事を指揮したのは Paul Mougin 氏であり、東京帝国大学の砂防工学講座教授の伊藤武夫博士が、「ムージャン先生」（「砂防」第 55 号、昭和 12 年 9 月、p.17-22）の中で隧道工事について記述している。以下に要約したものを記す。

＜モレール溪砂防工事概要＞

- 1) 集水面積約 3.4km^2 で、その内 1 割は海拔 $2,000\text{m}$ 、森林面積は 6km^2 で他は放牧地となっている。
- 2) 溪岸侵食、山腹崩壊による土砂流出が著しく、下流の溪床を高め、洪水氾濫の危険性が高まっていた。
- 3) 1880 年、サボア県はシャンベリー営林局へ要望を出した。
- 4) 1896 年、溪流左岸の大崩壊地の下流に高さ 12m の砂防堰堤（貯砂量 $31,000\text{m}^3$ ）を建設するも、崩壊力の崩壊土量に対して、効果は少なかった。
- 5) 抜本的対策は崩壊地の上流をせき止め、隧道にて溪水を導水することとし、1902～1906 年に、溪流右岸山腹中に長さ 978m 、平均勾配 11.6% 、平均断面積 18m^2 の隧道を開削した。流速を減ずるため、溪床には高さ 2m の低堰堤を 50 個設けて階段状をし、各部の勾配を 1% ととした。
- 6) この隧道工事の関連工事として、1905～1912 年に、隧道出口から下流に 57 基の堰堤を設置し、溪床の固定と水路の整正を図り、兩岸に護岸張石を設けることで、一連の工事は完成した。総工事費は 175 万フランである。

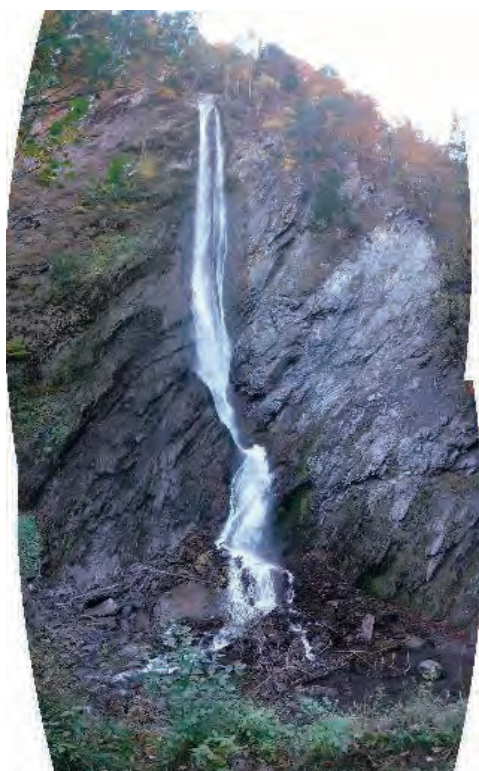


図 7.4-9 隧道出口全景



図 7.4-10 隧道説明板（設計図面）



図 7.4-11 隧道説明板（工事写真）

隧道出口に向かって右側には旧河道を確認した。隧道の影響で流水は確認できないが、石積堰堤があり、隧道建設前に堰堤を建設することで崩壊土砂を捕捉しようと試みた痕跡を確認した。

モレール溪の隧道は土砂の搬出を考慮し、下流側から掘削され、約 5 年をかけて完成した。Guillaume 氏によると、フランスには他にも 5 箇所程度、同様の隧道があるが、モレール溪が最も機能を発揮している隧道であるとのことであった。当該箇所は人口の滝として、水を放出しているが、他の箇所ではその位置エネルギーを発電に利用しているところもある。

隧道内部には工事用に整備されたと思われる歩道があり、本調査ではその歩道を歩いて隧道内部を視察した。隧道内部は照明等が無いため、懐中電灯等で足元を照らしながら視察した。隧道内には合計 50 基の低堰堤が設けられており、各堰堤の壁面には下流から振られた番号が記されていた。



図 7.4-12 旧河道



図 7.4-13 モレール隧道の位置

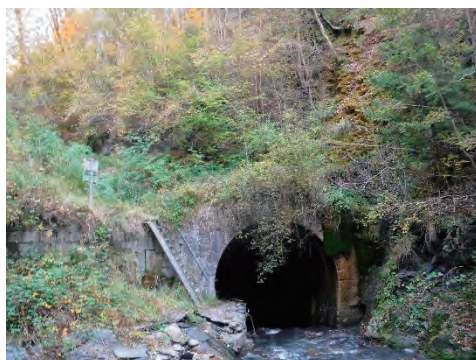


図 7.4-14 隧道呑口



図 7.4-15 隧道内部

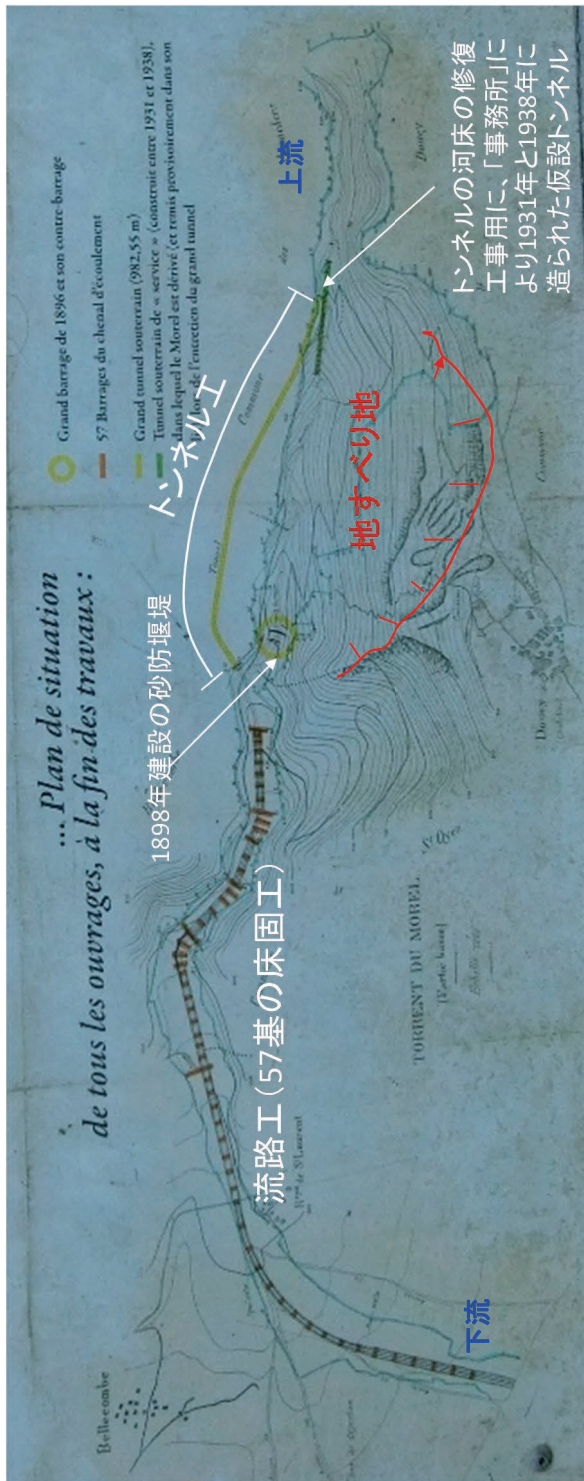


図 7.4-16 モレール溪平面図

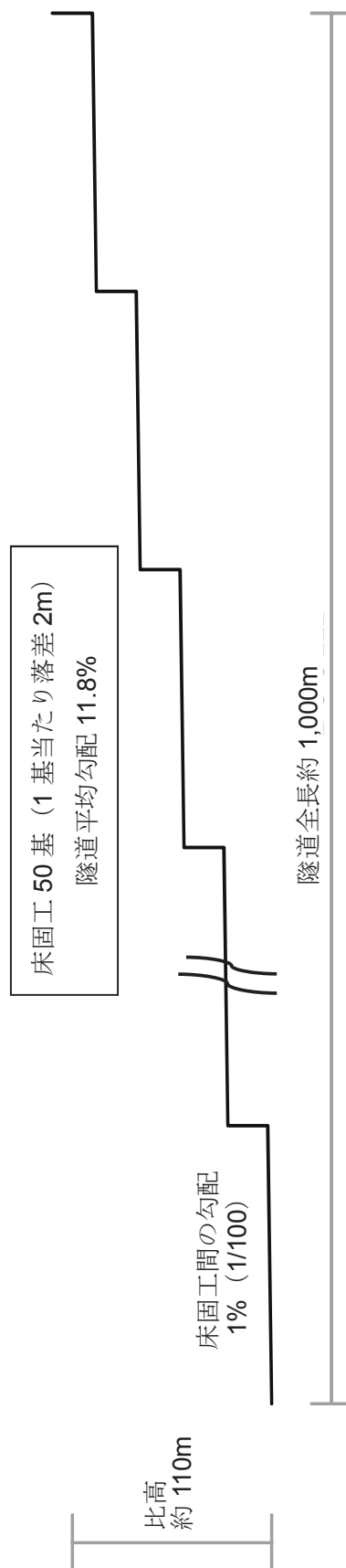


図 7.4-17 モレール溪縦断面図

散策道には複数の説明板が設置され、隧道や溪流保全工の工事の様子や工事に関わりの深い人物の学習や、植物や過去の土石流災害の学習ができるようになっており、小中学生の学習の場としての整備もなされている。

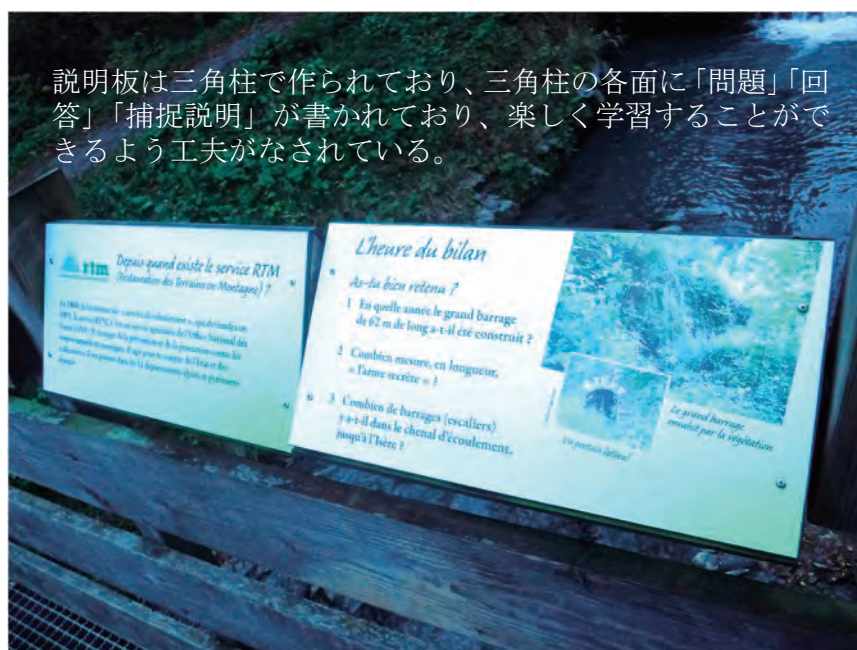


図 7.4-18 隧道出口付近にある橋に設置された説明板

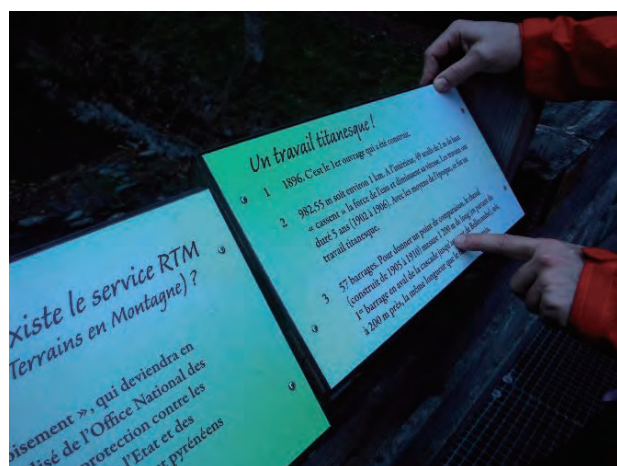


図 7.4-19 説明板（回答）



図 7.4-20 説明板（捕捉説明）



図 7.4-21 散策道に生えている樹木の説明



図 7.4-22 隧道の設計図面

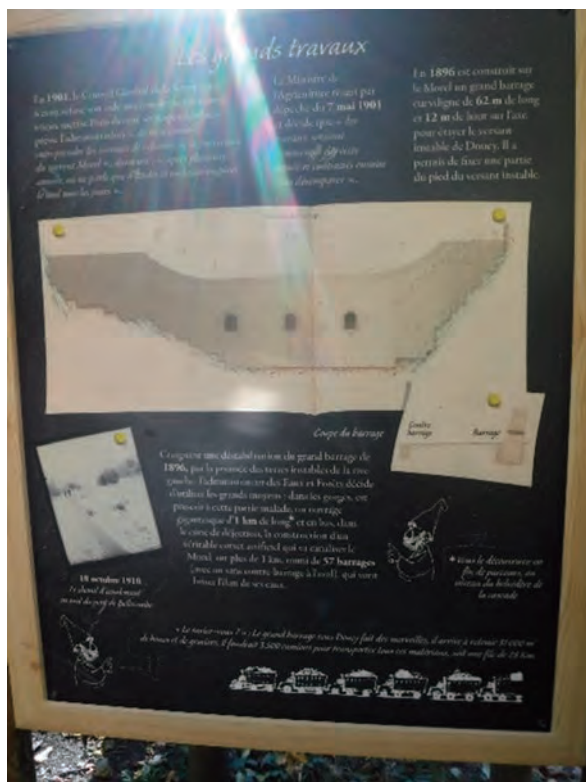


図 7.4-23 溪流保全工内にある石積堰堤の説明

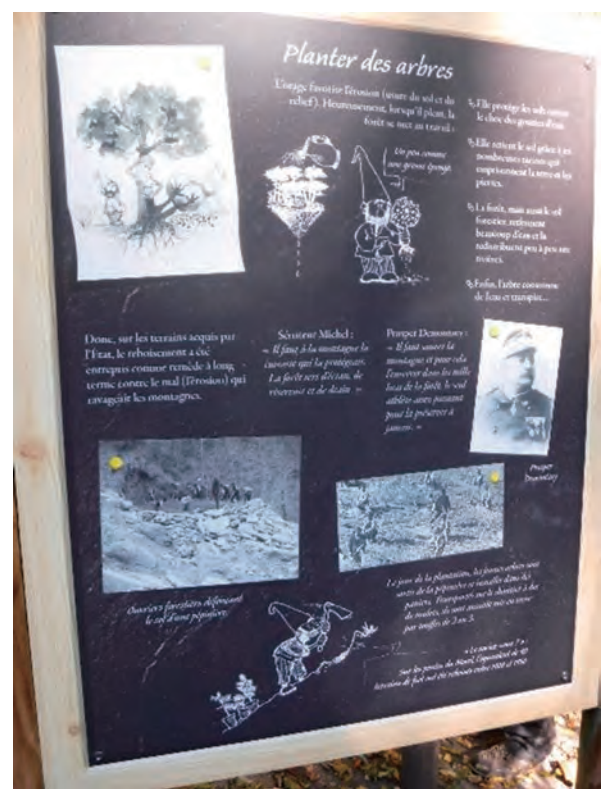


図 7.4-24 デモンゼーの説明

左岸側の散策道入口付近には当該溪流の過去の土石流に関する石碑がたてられていた。1620年の洪水を最初に、1901年までで合計8回の大洪水が発生したことを記している。

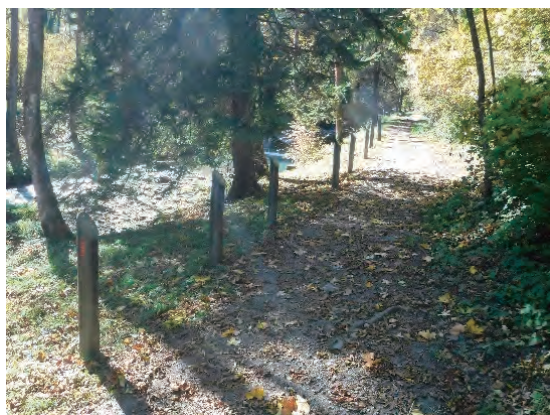


図 7.4-25 石碑全景



図 7.4-26 石碑 (1620)



図 7.4-27 石碑 (1733)



図 7.4-28 石碑 (1763)



図 7.4-29 石碑 (1777)



図 7.4-30 石碑 (1828)



图 7.4-31 石碑 (1859)



图 7.4-32 石碑 (1897)



图 7.4-33 石碑 (1901)

7.5 Staint-Julien (サン・ジュリアン) 溪

サン・ジュリアン溪はアルク川の右支溪で、Saint-Julien-Montdenis 集落を流れる流域面積約 20km²、標高約 2,758m に源を発する流路延長約 8km の溪流である。当該溪流もモレール溪と同様、上流に隧道が整備されている。本調査では隧道へのアクセスはできなかったが、IRSTEA で閲覧した資料（資料④）の中に隧道の写真を確認した。

周辺の山は露岩しており、地質はフリッシュ（FLYSCH：堆積岩の一種でアルプスに代表される地質）といわれている。斜面下部に落石防止用と思われるリングネットが整備されていることから、比較的脆弱な地質であることが推定される。



図 7.5-1 隧道写真

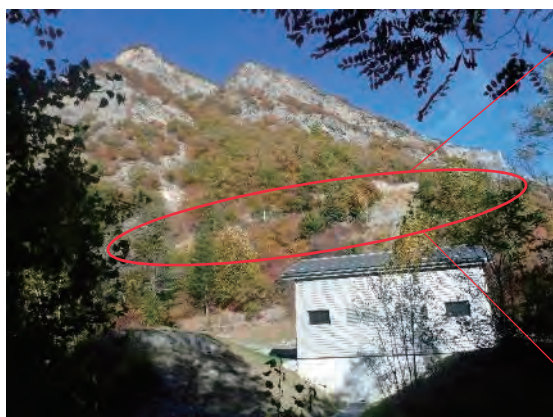


図 7.5-2 周辺地形

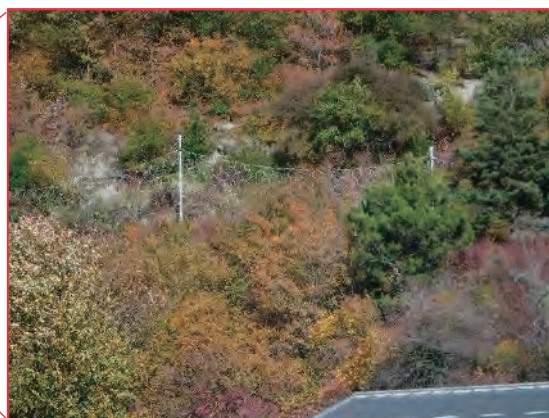


図 7.5-3 リングネット

溪流保全工には複数基の石積の床固工が整備されている。溪流保全工の両岸には土砂が付着しており、Guillaume 氏によると、平成 29 年 7 月に発生した土石流の痕跡であり、流出した土砂量は 4,000m³ ということであった。



図 7.5-4 流路工に整備された床固工



図 7.5-5 土石流痕跡

散策道から 5 分ほど歩いたところに 2003 年竣工の高さ約 4m のコンクリートスリット堰堤を確認した。上流側は堰堤が土石流により破損するのを防ぐために、巨石を張って保護していた。スリット幅は 5m と広いが、堰堤周辺に見られた礫は最大でも 1.5m 程度であった。日本の基準では透過型堰堤のスリット幅は堰堤計画地点の上下流 200m に存在する礫の長径の 95% 値で決めることが多く、当堰堤のスリット幅は過剰に広いように感じた。Gulaume 氏に質問すると、当該溪流では礫径 5m 以上の巨礫が流出した実績があり、この堰堤はそのような巨礫が下流へ流出するのを防ぐためだけに整備された堰堤であるということであった。



図 7.5-6 案内板（散策道入口）



図 7.5-7 透過型堰堤（下流から撮影）

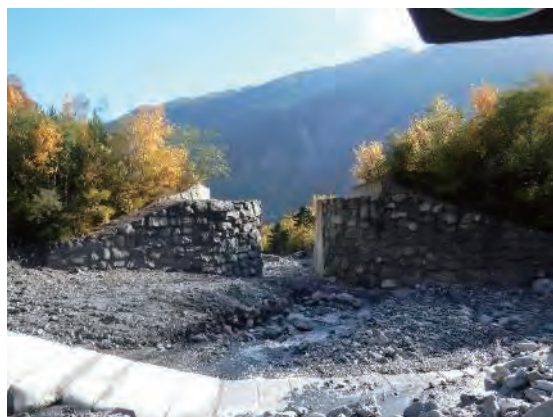


図 7.5-8 透過型堰堤（上流から撮影）



図 7.5-9 堰堤付近の巨礫

サン・ジュリアン溪の隧道工事を指揮したのもモレール溪と同様、Mougin 氏であり、溪流保全工の隣に整備されている道路は「Paul Mougin 通り」と名付けられている。



図 7.5-10 道路標識

第 8 章 収集資料

8.1 収集資料リスト

各訪問先で収集した資料を表 8.1 に示す.

8.2 収集資料

収集した資料を掲載する。ただし、書物である、「2」、「3」及び
閲覧のみ行った「14」～「17」は表紙のみの掲載とした。

表 8.1 収集資料リスト

番号	日付	名称	言語	入手先			概要
				国（都市名）	組織	人物	
1	10/2	留学生名簿	ドイツ語	オーストリア (ウィーン)	BOKU 大学	Hübl 教授	• Moroto Kitaro • Kawai Sitaro • Watanabe • Otokichi • Mochida • Gunjyuro • Akagi Masao タルビジオの森林地域の紹介
2	10/4	Foresta di Tarvisio	イタリア語	イタリア (タルビジオ)	CARABINIERI	Patrizio Terlicher	タルビジオ森林地域の千年史
3	10/4	La Foresta Millenaria di Tarvisio Patrimonio Europeo di uomini, Natura e storia	イタリア語	イタリア (タルビジオ)	CARABINIERI	Patrizio Terlicher	タルビジオ森林地域の千年史
4	10/5	Hydrogeomorphic processes and torrent control works on a large alluvial fan in the eastern Italian Alps	英語	イタリア (トルメッツ)	CNR-IRPI	Luca Marcato	巨大扇状地に関する研究
5	10/5	Characterisation of the surface morphology of an alpine alluvial fan using LiDAR	英語	イタリア (トルメッツ)	CNR-IRPI	Luca Marcato	巨大扇状地の LiDAR データを用いた研究
6	10/5	Monitoring, numerical modelling and hazard mitigation of the Moscard landslide (Eastern Italian Alps)	英語	イタリア (トルメッツ)	CNR-IRPI	Luca Marcato	Moscard 溪の観測技術に関する研究

番号	日付	名称	言語	入手先			概要
				国（都市名）	組織	人物	
7	10/7	Barberino Val d'Elsa 近郊溪流	イタリア語	イタリア (フィレンツェ)	公益法人団体	Marco	Borro Agliena 溪の 説明資料
8	10/7	Borro Agliena 溪の調査レポート	イタリア語	イタリア (フィレンツェ)		フィレンツ エ大学生	Consorzio di Bonifica 作成資料
9	10/7	Borro Agliena 溪関連図面	イタリア語	イタリア (フィレンツェ)		フィレンツ エ大学生	
10	10/9	Šanov 観光地図	チェコ語	チェコ (シヤノフ)	市役所	—	
11	10/9	Šanov 地形図 (1:25,000)	チェコ語	チェコ (シヤノフ)	市役所	—	
12	10/9	Šanov ポストカード	チェコ語	チェコ (シヤノフ)	市役所	—	
13	10/12	The french restoration of mountainous areas	英語	フランス (グルノーブル)	ONF	S. Carladous	ppt.
14	10/12	LES TRAVAUX DE REBOISEMENT DES MONTAGNES, PAR P. DEMONTZEY	フランス語	フランス (グルノーブル)	IRSTEA	Guillaume Piton	閲覧のみ
15	10/12	L'EXTINCTION DES TORRENTS, PAR P. DEMONTZEY	フランス語	フランス (グルノーブル)	IRSTEA	Guillaume Piton	閲覧のみ
16	10/12	Restauration des Montagnes, M. Berunard	フランス語	フランス (グルノーブル)	IRSTEA	Guillaume Piton	閲覧のみ
17	10/12	TORRENTS DE LA SAVOIE	フランス語	フランス (グルノーブル)	IRSTEA	Guillaume Piton	閲覧のみ

1 . BOKU 大学留学生名簿

[illegible][illegible]

Akagi Masao

IN EHRENGEDENKT
GEWIDMET
DEN FÜRSTLICHEN HERREN
CYPRIAN VON STRUGGL
BEZUGNEHMER DER KUNST- UND WISSENSCHAFTEN
EXART. K. K. AKADEMIE
1847

Foresta di Tarvisio

Patrimonio culturale e naturale
1007 - 2013 | Dieci secoli di storia di uomini e boschi

3 . La Foresta Millenaria di Tarvisio Patrimonio Europeo di uomini, Natura e storia



4. Hydrogeomorphic processes and torrent control works on a large alluvial fan in the eastern Italian Alps

Hydrogeomorphic processes and torrent control works on a large alluvial fan in the eastern Italian Alps

L. Marchi¹, M. Cavalli¹, and V. D'Agostino²

¹Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (CNR IRPI), Padova, Italy

²Dipartimento Territorio e Sistemi Agroforestali, Università di Padova, Legnaro (Padova), Italy

Received: 17 November 2009 – Revised: 26 February 2010 – Accepted: 8 March 2010 – Published: 23 March 2010

Abstract. Alluvial fans are often present at the outlet of small drainage basins in alpine valleys; their formation is due to sediment transport associated with flash floods and debris flows. Alluvial fans are preferred sites for human settlements and are frequently crossed by transport routes. In order to reduce the risk for economic activities located on or near the fan and prevent loss of lives due to floods and debris flows, torrent control works have been extensively carried out on many alpine alluvial fans. Hazard management on alluvial fans in alpine regions is dependent upon reliable procedures to evaluate variations in the frequency and severity of hydrogeomorphic processes and the long-term performance of the torrent training works. An integrated approach to the analysis of hydrogeomorphic processes and their interactions with torrent control works has been applied to a large alluvial fan in the southern Carnic Alps (northeastern Italy). Study methods encompass field observations, interpretation of aerial photographs, analysis of historical documents, and numerical modelling of debris flows. The overall performance of control works implemented in the early decades of 20th century was satisfactory, and a reduction of hazardous events was recognised from features observed in the field and in aerial photographs, as well as from the analysis of historical records. The 2-D simulation of debris flows confirms these findings, indicating that debris flow deposition would not affect urban areas or main roads, even in the case of a high-magnitude event. Present issues in the management of the studied alluvial fan are representative of situations frequently found in the European Alps and deal with the need for maintenance of the control structures and the pressures for land use changes aimed at the economic exploitation of the fan surface.

1 Introduction

Alluvial fans at the outlet of small, high-gradient drainage basins are a common feature of alpine valleys. Although debris flows commonly dominate the formation and development of these alluvial fans, also bedload and hyperconcentrated flows contribute to the transfer of sediment from the drainage basin to the alluvial fan and its distribution on the fan surface. These flow processes result in major risk when they encroach settlements and transport routes, which are often present on the alluvial fans of the European Alps. To cope with flow processes and to reduce their hazard, torrent control works have been built on many alpine alluvial fans. As a consequence, the study of contemporary hydrogeomorphic processes must take into account the interactions between natural phenomena and the control works implemented to reduce the risks on human activities.

Three steps can be highlighted in the hazard assessment on alpine alluvial fans:

- recognition of the type of sediment transport processes;
- reconstruction of the frequency and magnitude of hazardous events;
- runout analysis and mapping of the hazardous areas.

The identification of the type of sediment transport processes occurring on alluvial fans, with particular regard to the basic differentiation between bedload and debris flows, is a preliminary step in hazard assessment. The prevailing flow processes can be assessed through the recognition of morphological and sedimentological evidences (Aulitzky, 1982), or based on morphometric parameters of the drainage basin and the alluvial fan (Jackson et al., 1987; Marchi et al., 1993; Bovis and Jakob, 1999; Wilford et al., 2004; De Scally and Owens, 2004).



Correspondence to: L. Marchi
(lorenzo.marchi@irpi.cnr.it)

The most common approaches in the reconstruction of the frequency of sedimentary events on alpine alluvial fans have tended to be the application of dendrogeochronological methods and the use of historical archival documentation. The dating of the events through dendrogeochronology is applicable on alluvial fans with forests in relatively natural condition. In the European Alps, this requirement is often met on alluvial fans covered by protection forests in the upper valleys (Strunk, 1992; Baumann and Kaiser, 1999; Stefanini and Ribolini, 2003; Bollschweiler and Stoffel, 2007), whereas farming and urban areas often occupy alluvial fans located at lower elevations along the lower valleys. The reconstruction of the frequency of past events from historical archives is particularly fruitful where human activities are present and there is therefore documentation of the damage caused to buildings and land by floods and debris flows (Guzzetti et al., 1994; Barnikel, 2004; Marchi and Cavalli, 2007). Depending on availability and quality of historical information and topographic data of deposits, also the magnitude of past hydrogeomorphic events can be estimated, thus permitting to establish magnitude-frequency relations (Brochot et al., 2002; Helsen et al., 2002; Stoffel, 2010).

The methods for the zonation of hazard areas on alluvial fans can be subdivided into three classes: historical-geomorphological (Aulitzky, 1972, 1994), empirical and semi-empirical (Hung et al., 1987; Ikeya, 1989) and 2-D numerical models (e.g. O'Brien et al., 1993; Liu and Huang, 2006; Rickenmann et al., 2006). Numerical models have a relatively large data requirement: their application necessitates the assessment of debris-flow volumes and peak discharges, a sound choice of rheological parameters, and a detailed representation of the topography of propagation and deposition areas. Valuable characteristics of numerical models are the spatially distributed assessment of important variables, such as flow depth and velocity, and the possibility of considering different scenarios of event magnitude and rheology.

This paper proposes an integrated approach for the analysis of hydrogeomorphic processes on alpine alluvial fans, with particular regard to the assessment of the performance of torrent control works. Sections 2 and 3 describe, respectively, methods and study area; Sects. 4 and 5 describe and discuss the results. Finally, Sect. 6 summarises the main outcomes of the research.

2 Methods

Study methods include field observations, interpretation of aerial photographs, collection and analysis of historical documents and numerical modelling of debris-flow propagation and deposition. The analysis of published and unpublished historical documents made it possible to reconstruct the occurrence of past floods and debris flows, and the development of torrent training works. The interpretation of aerial photographs taken from 1954 to 2003 permitted analysis of

the evolution of the vegetation and to identify changes in the degree of hydrogeomorphic activity of the alluvial fan. Field observations of deposits and channel network were undertaken with the objective of recognising the flow processes (debris flows, floods with bedload) and to evaluate their activity in the various parts of the alluvial fan.

Numerical modelling of debris-flow propagation and deposition on the alluvial fan was carried out using the FLO-2D model (O'Brien et al., 1993). FLO-2D is a two-dimensional flood routing code able to simulate inundation area of mud flows spreading on a floodplain and/or on a channel network. FLO-2D follows an explicit finite-difference scheme, which distributes a bulked sediment-graph over a Digital Elevation Model (DEM) of selected square cells by means of the Saint-Venant equations. The dynamic equation is applied for each time step to the eight possible flow directions respect to the central cell and it is combined with the continuity equation for unsteady flow. The inflow volume is described by an entering water hydrograph coupled to a time dependent sediment-concentration graph. The model estimates the energy dissipation caused by the mixture motion by means of the rheological model proposed by O'Brien et al. (1993). This model is also known as quadratic model, because the total shear stress results by adding to the classic Bingham model the product of a constant by the quadratic shear rate. The choice of FLO-2D was suggested by the satisfactory applications carried out in the Italian Alps under different lithological conditions and for various debris-flow typologies (D'Agostino and Tecca, 2006; Sosio et al., 2006). Model application was intended to assess the deposition zones for a debris flow of high magnitude. It provided a further test, alongside the historical approach, based on records of past events and aerial photo interpretation, of the effectiveness of torrent training works.

3 Study area

3.1 Drainage basin and alluvial fan

The Rivoli Bianchi ("White Rills") alluvial fan is a complex system of coalescing alluvial fans in the Southern Carnic Alps (northeastern Italy) (Fig. 1). The alluvial fan covers an area of 2.71 km², ranges in elevation from 285 to 570 m and has a mean slope of 6.6°. Alluvial fan slope displays a marked variability, ranging from 10°–11° at the proximal part to 2°–3° in the lower areas in the northern and southwestern zones.

Six small drainage basins, covering a total area of 6.03 km², contributed to build the Rivoli Bianchi alluvial fan (Fig. 1). These basins are drained by ephemeral streams, on which sediment transport only occurs during intense runoff events. One stream, the Rio Citate, was responsible for building the majority of the alluvial fan. The Rio Citate drains a basin of 1.02 km², with a range in elevation from 570 to 1825 m and an average slope of 49°.

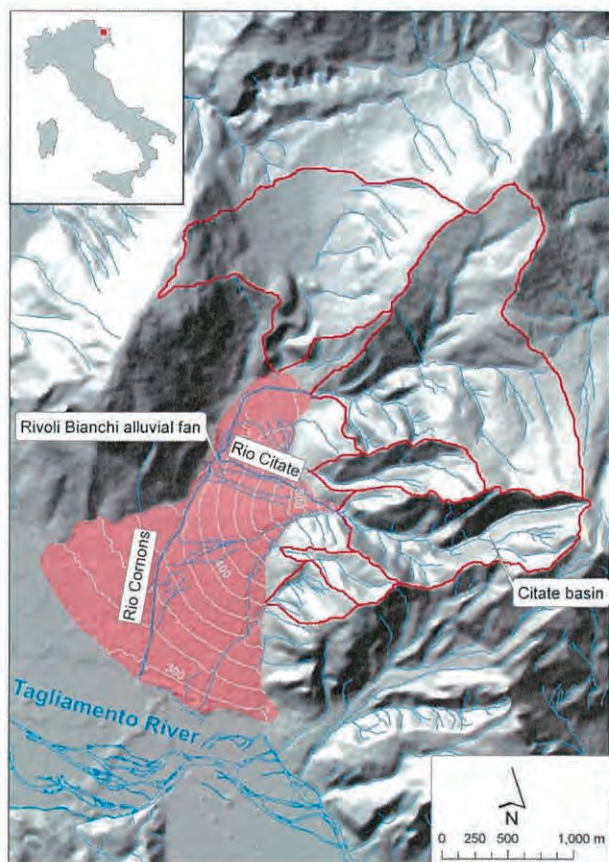


Fig. 1. Topographic map of the Rivoli Bianchi alluvial fan and up-slope drainage basins.

Solid bedrock in the study area consists of carbonate rocks (dolomite and limestone); scree slopes are common at the foot of the rock slopes; the distal part of the alluvial fan merges into the alluvial deposits of the main river (Tagliamento River) (Fig. 2).

The study area is located in a seismically active region (Boschi et al., 2000; Carulli and Slejko, 2005). On 27 March 1928, an earthquake with a maximum intensity IX of the Mercalli-Cancani-Sieberg scale, and whose epicentre was approximately 6 km southwest of the study area (Boschi et al., 2000), caused a large rockfall in the basin of the Rio Citate (Gortani, 1928). The most recent strong earthquake occurred in 1976: a shock of 6.4 magnitude on 6 May was followed by a long seismic sequence with three further strong shocks on 11 and 15 September (magnitude from 5.8 to 6.1). The epicentres of the 1976 earthquakes were at a distance of approximately 10 to 15 km from the study area. Widespread landslides (mostly rockfall) triggered by the 1976 earthquakes were described and mapped by Govi and Sorzana (1977) and Govi (1977). The map of Govi and Sorzana (1977) shows that the seismic shocks of 1976

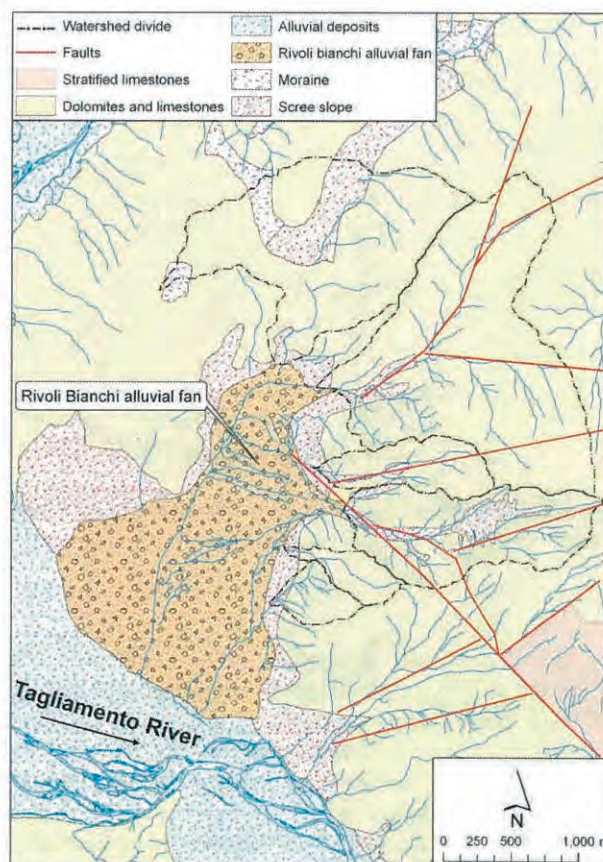


Fig. 2. Geological settings of the study area.

caused the falling of rock blocks in the drainage basin of the Rio Citate. No quantitative data are available on the volumes of debris supplied by the earthquakes to the channel network. However, the sources cited above outline that in the time span of concern in this study, which covers the last 100 years, at least two earthquakes caused rock instability in the feeder basin of the Rivoli Bianchi alluvial fan, thus increasing the availability of mobilisable debris. The assessment of the role of neotectonics on the long-term evolution of the Rivoli Bianchi alluvial fan is beyond the scope and aims of this paper.

Figure 3 shows the relationship between alluvial fan area and basin area for a sample of 62 alluvial fans in the eastern Italian Alps. The wide scatter in the relationship is due to the heterogeneous geolithological and geomorphological conditions in this region. The Rivoli Bianchi alluvial fan lies in the upper part of the scatterplot, regardless if the entire alluvial fan or only the section of it formed by the Rio Citate is considered. The large alluvial fan area is due to abundant sediment supply from the drainage basins, which in turn is caused by steep slopes, active seismicity and a high degree of rock fracturation.

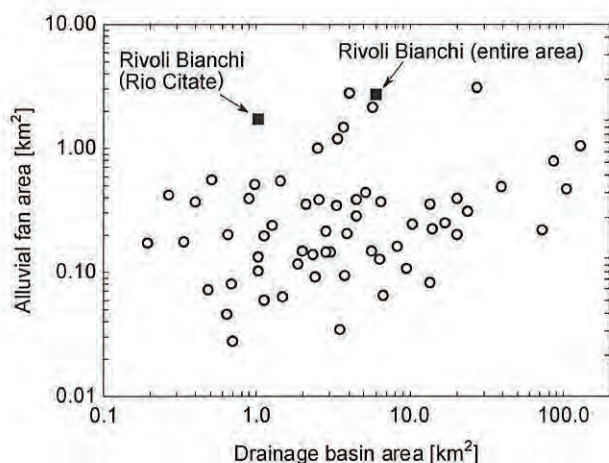


Fig. 3. Relationship between fan area and basin area in the eastern Italian Alps.

Climatic conditions are typical of the easternmost part of the Italian Alps, with abundant precipitation throughout the year: mean annual precipitation amounts to 2000 mm with maximum in November (approximately 250 mm) and minima in January and February (approximately 115 mm); the average temperature of the warmest and the coldest months, is 20.1 °C (July) and 0.6 °C (January), respectively.

3.2 Torrent control structures

Risk to agricultural areas and transport routes, induced by floods and debris flows in the lower part of the alluvial fan, has led to the implementation of works aimed at controlling sedimentary processes.

Early works, constructed in the 19th century, consisted of the construction of an embankment at the western limit of the alluvial fan of the Rio Citate along the confluence with the Rio Cornons. In the early 20th century, an attempt was made to channelise the flow in the southern sector of the fan. A debris flow that occurred in November 1904 (Gortani, 1906) caused major damage to these works, showing their inadequacy.

More systematic hydraulic works were built in the 1920s–1930s (Bonicelli, 1928), with repairs and additions made in the following years and decades (Stefanini, 1982). Stone masonry grade-control dams were built within the drainage basin of the Rio Citate and at the fan apex, with the objective of stabilising the channel through the reduction of slope (Fig. 4a). A diversion dike was built on the left bank of the Rio Citate starting from the fan apex, with a length of about 300 m (Fig. 4b). This structure was intended to direct the flow to the right part of the alluvial fan, preventing flooding of the left (southern) sector, where at-risk elements (national road, railway) were located. More check dams were

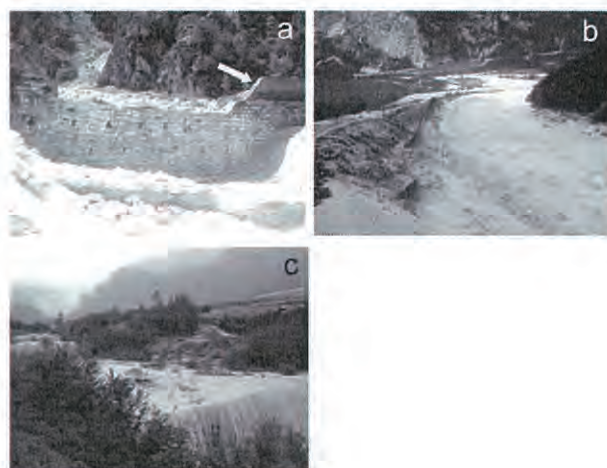


Fig. 4. Torrent control structures. (a) Check dam on the Rio Citate close to the fan apex; the wings of the dam (arrow) were raised in 1985; (b) Deflection dike (built in 1930s and raised in 1985), (c) check dams on the Rio Cornons in the recession phase of a flood (photo by Simona Scarsini).

constructed in the lower part of the left sector and on the Rio Cornons, which borders the alluvial fan of the Rio Citate (Fig. 4c).

4 Results

4.1 Hydrogeomorphic processes

The hydrogeomorphic processes affecting the Rivoli Bianchi alluvial fan and their evolution in the last century were analysed by means of historical documents, aerial photos and field surveys.

Scientific papers and documents from historical archives (technical reports, newspaper articles, and written communications from local authorities to governmental offices) made it possible to reconstruct the occurrence of the most intense alluvial events on the fan, and provided descriptions of the phenomenology.

Table 1 presents the record of main hydrogeomorphic events on the Rivoli Bianchi alluvial fan since the second half of the 19th century. Documents reporting on floods and debris flows regard major events, which have resulted in damage to properties and transportation routes. Minor events have not been found in the available documentation, therefore meaning that the actual frequency of hydrogeomorphic processes on the Rivoli Bianchi alluvial fan is likely higher than that arising from Table 1. The most common damage regards the embankment at the western limit of the alluvial fan; whereas damage to embankments and check dams reported after the 1933 and 1935 events indicate that the control constructions were already providing some degree of torrent bed stabilisation. Since the 1970s, thanks to the increased attention of natural hazards and better conservation

Table 1. Main hydrogeomorphic events on the Rivoli Bianchi alluvial fan.

Date	Damage
7 Oct 1857	Damage to the embankment at the western limit of the alluvial fan.
1 Oct 1893	Damage to the embankment at the western limit of the alluvial fan, flooding of cultivated areas.
23–24 Nov 1904	Widespread flooding of the alluvial fan with deposition of large boulders on the upper part. Damage to the embankment at the western limit of the alluvial fan, sediment deposition on cultivated areas, sediment obstruction of bridges.
20–21 Sep 1920	Damage to the embankment at the western limit of the alluvial fan.
9 Oct 1933	Damage to the embankment at the western limit of the alluvial fan. Damage to check dams.
16 May 1935	Damage to the embankment at the western limit of the alluvial fan. Damage to check dams. Bridges on the National Road and railway clogged by sediment.

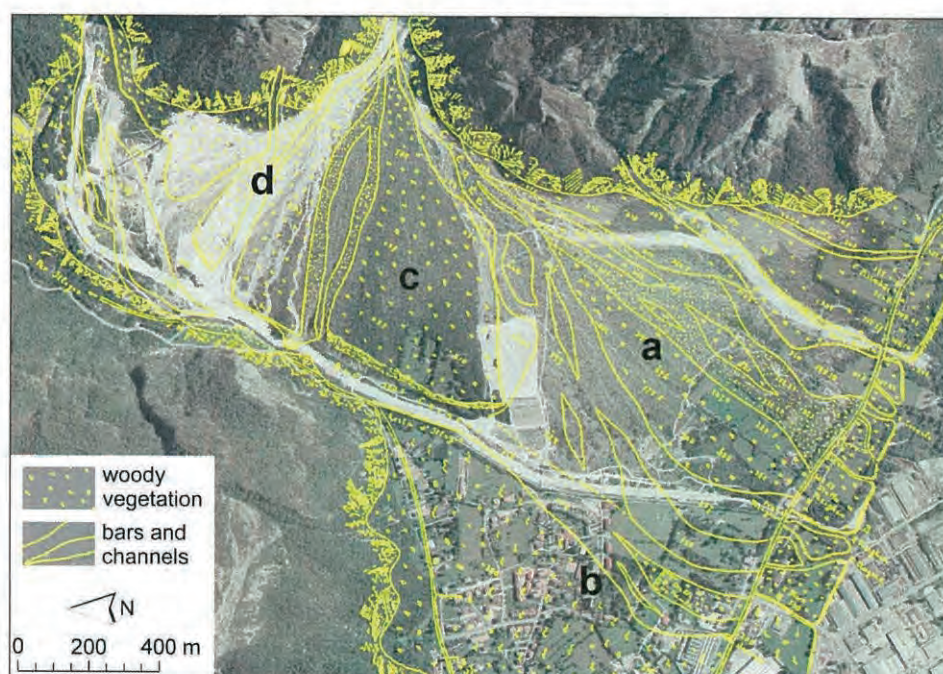


Fig. 5. Historical map of the Rivoli Bianchi fan (Gortani, 1912) overlapped onto an orthophoto taken in 2003. **(a)** Area characterised by active hydrogeomorphic processes and major hazard before the implementation of training works. **(b)** Urban expansion. **(c)** Central sector of the fan, already partly vegetated in the early years of 20th century. **(d)** The northern part of the fan, formerly less active, serves now as debris deposition area.

of documents, some information is also available for minor events, which did not cause damage to properties and transport routes (e.g. Querini, 1986).

Old documents and papers, when viewed from the modern perspective, usually contain imprecise terminologies for the classification of sedimentary processes. However, the description of phenomena often provides elements useful for the recognition of flow processes. As an example, Bonicelli (1928) provided an effective description of sediment transport on the alluvial fan of Rivoli Bianchi, which outlines

typical features of debris flows:

“... the phenomenon of mass transport of gravel along the channels occurs, even if the presence of water flowing on surface appears very limited”.

A paper by Gortani (1912) presented a topographic map on the scale of 1:15 000 of the Rivoli Bianchi alluvial fan. This map was georeferenced and overlapped onto an orthophoto taken in 2003 (Fig. 5). The comparison of these two pictures makes it possible to evaluate the main changes that occurred in almost 100 years on the alluvial fan. In the Gortani's

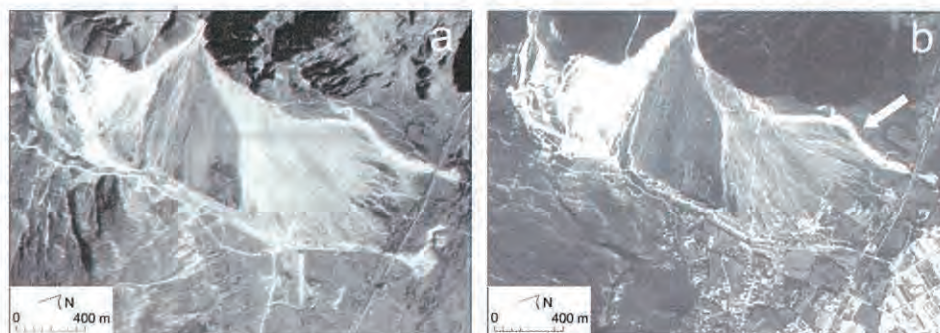


Fig. 6. Aerial photographs of the Rivoli Bianchi alluvial fan taken in 1954 (a) and 1993 (b). The arrow indicates a channel that is still active in the distal part of the fan.

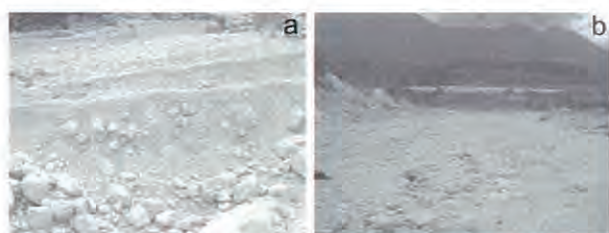


Fig. 7. (a) Clast to matrix supported debris-flow deposits close to the apex of the alluvial fan. The recession stage of the event caused erosion of the deposits, with the formation of different terraces. (b) Bedload deposits in the distal part of the alluvial fan.

map (1912), the most active areas were in the southern and southwestern parts of the fan, which were crossed by multiple channels. This area is now more stable, and the flow confined to narrow and well-defined channels. It is also worth noting the urban expansion in the southwestern sector of the fan, formerly used for agriculture and partially occupied by active channels (b in Fig. 5). Relatively minor changes have occurred in the central part of the fan, which was already partly vegetated in the early years of 20th century (c in Fig. 5). The northern part of the fan (d in Fig. 5) now serves as a debris storage area.

Aerial photographs make it possible to focus on changes in fan surface that occurred since the 1950s. Figure 6 presents two photographs of the fan, taken in 1954 and in 1993. In 1954, torrent training works had already moved the Rio Citate towards the northern sector of the fan. The most apparent change between 1954 and 1993 is the development of woody vegetation in the southern sector of the fan; where only sparse woody vegetation formerly existed. Woody vegetation on the Rivoli Bianchi alluvial fan mostly consists of open stands of Mountain pine (*Pinus montana*) and Austrian Pine (*Pinus nigra*); some trees and shrubs close to old channels show evidence of burial by sediment. The development of vegetation indicates the relative stability of the fan surface. This notwithstanding, a channel is still active in the

southernmost part of the alluvial fan, indicated by an arrow in Fig. 6b. The presence of this channel in the lower part of the fan is due to the inflows from two tributaries located south of the Rio Citate basin (Fig. 1), and probably also to saturation overland flow caused by the rise of groundwater after long-lasting rainfall. Sediment transport processes in this channel occurs as bedload, and can involve particles up to the size of pebbles.

Field observation allowed identification of sediment transport and deposition processes currently active on the alluvial fan. Sediment transfer from the drainage basin to the alluvial fan occurs both as debris flows and water floods with bedload and suspended load. Deposits ascribed to debris flows are observed in the upper part of the alluvial fan (Fig. 7a), whereas the distal parts are mostly affected by bedload and suspended load transport (Fig. 7b). Debris-flow deposits consist of angular to subangular, clast to matrix-supported gravel and pebbles with scattered boulders; the debris-flow matrix is composed of granules and coarse to silty sand. Overall, these features of debris-flow deposits are consistent with those generated from other catchments with dolomite rocks (Moscariello et al., 2002).

Historical documents and papers permit reconstructing the occurrence of major hydrogeomorphic events on the Rivoli Bianchi alluvial fan, but do not provide data on their magnitude. However, the Gortani's map (Fig. 5) offers elements for an approximate estimation of areas and sediment volumes involved in the large hydrogeomorphic events that occurred at the end of 19th century and in the first decades of 20th century. The active sectors of the alluvial fan, which correspond to unvegetated areas on the Gortani's map, cover 0.76 km². Active areas, occupied by fresh deposits and active channels, include both debris-flow deposits and bedload channels and deposits: the occurrence of different flow processes makes it difficult the estimate of sediment volumes. Moreover, the Gortani's map (1912) does not refer to one specific event: it is likely that one event does not affect all active areas. We focus on the debris flows of the Rio Citate, which are the most hazardous processes on the Rivoli Bianchi alluvial fan.

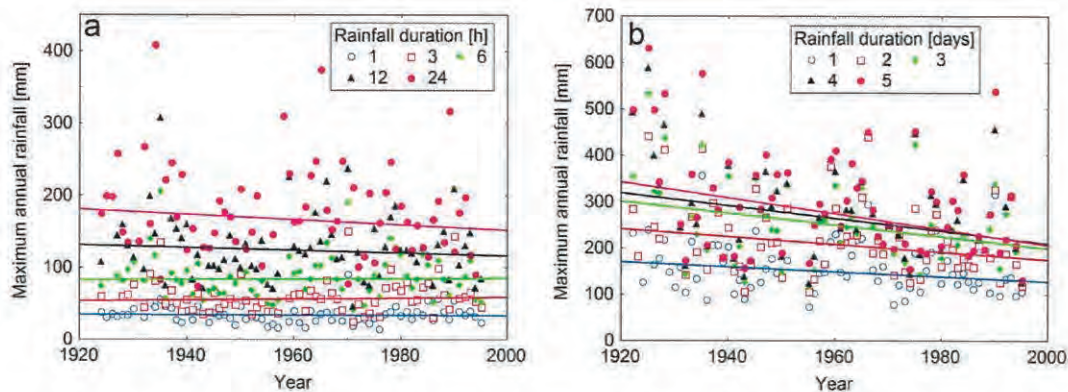


Fig. 8. Maximum annual rainfall and linear trends for durations from 1 to 24 h (a) and from 1 to 5 days (b). Rainfall was recorded at a raingauge located approximately 3 km from the study area.

Observations of the deposits on the fan surface indicate that the debris-flows deposits of the Rio Citate are present in the central part of the alluvial fan, corresponding to an area of approximately 0.125 km² on the Gortani's map. Assuming a mean thickness of the deposits of 1.0 m, we obtain a debris-flow volume of 125 000 m³. This value of debris-flow magnitude is affected by approximations in mapping and in the estimation of the thickness of the deposits and should be considered as a roughly approximate estimate.

Trends in the time series of intense precipitation have been investigated through the analysis of maximum annual rainfall of durations of 1, 3, 6, 12, 24 h and 1 to 5 days, recorded from 1922 to 1995 at a nearby raingauge. Figure 8 presents the values of maximum annual precipitation and the Sen's linear model for the trend (Sen, 1968; Salmi et al., 2002). The application of the Mann-Kendall test (Hipel and McLeod, 1994) has shown no trend in the time series concerned for most of the durations. However, at a level of significance of 0.05, a decreasing trend has been observed for the longest rainfall durations (3, 4 and 5 days).

4.2 Debris-flow modelling

The FLO-2D model was applied to assess the area flooded by a high-magnitude debris flow of the Rio Citate on the Rivoli Bianchi alluvial fan. The simulation was intended to test the performance of control structures in containing debris-flow expansion for a high-magnitude event. Although both debris flows and floods with bedload occur on the Rivoli Bianchi alluvial fan, numerical simulation focuses on a debris flow because debris flows are the main process of sediment transfer from the drainage basin to the alluvial fan and display a higher hazard than bedload.

Debris flows in the Rio Citate originate from erosion and entrainment of loose debris from channel bed and banks and shallow failures of the side slopes. This initiation process and

the large availability of mobilisable debris in the catchment make it possible to assess debris-flow discharge from water flood according to the volumetric method proposed by Takahashi (1978). The sediment concentration by volume (C_v) was supposed linearly increasing and decreasing during the rising and falling stage of the hydrograph respectively, and to reach its maximum value at the flood peak (D'Agostino and Marchi, 2003). It is important to note that the volumetric method is not mass conservative, as it implies that a water discharge is generated by the failure of the saturated stream bed and then is added to the triggering discharge during debris-flow formation (D'Agostino, 2006). The FLO-2D model evaluates the bulked (total water plus sediment) flow rate (Costa, 1984) by means of Eq. (1):

$$Q_d = Q_0 / (1 - C_v) \quad (1)$$

where Q_d is debris-flow bulked discharge and Q_0 is water discharge. Therefore, when setting up the numerical simulation, it was decided to scale up the hydrologic flood hydrograph by adding the water discharge released from channel-bed failure. This procedure allowed not to underestimate the maximum Q_d and to save the physical meaning of the sediment concentration (maximum C_v value has been set to 0.70; Table 2).

The rainfall-runoff analysis for the computation of the flood hydrograph required by the FLO-2D model was done by means of a distributed kinematic hydrological model based on the USDA-SCS method (Chow et al., 1988). The flood was generated by a hyetograph with 100 years return period, computed from the maximum annual data recorded at a raingauge approximately 3 km from the Rio Citate basin. The rainfall scenario lasts for 45 min with increasing intensity. Table 2 summarises the main characteristics of the simulated event.

The method adopted for the assessment of debris-flow volume and hydrograph in the Rio Citate has the advantage of combining geomorphological observations, related to

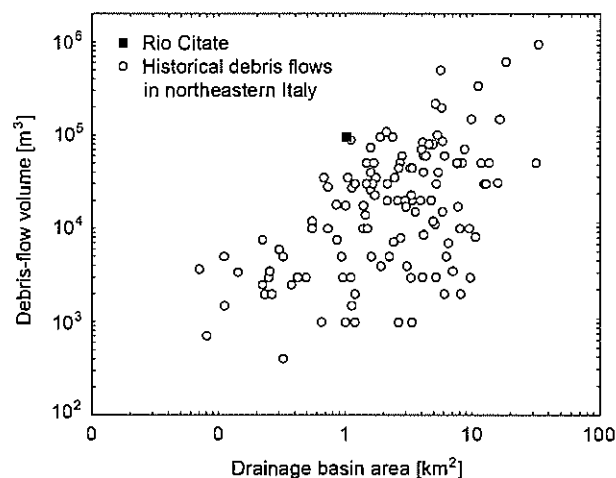
Table 2. Summary parameters of hydrological simulation and assessment of debris-flow event in the Rio Citate.

Rainfall duration (return period of 100 years) [h]	0.75
Cumulated rainfall [mm]	64
Direct runoff [mm]	29
Volume of the hydrologic water hydrograph [m ³]	29 700
Hydrologic water discharge at the peak [m ³ /s]	12.3
Minimum – maximum sediment concentration by volume [–]	0.12–0.70
Bulked and scaled up water plus sediment volume [m ³]	96 000
Debris-flow peak discharge [m ³ /s]	123.0

the recognition of erodible volumes, with the hydrological assessment of water runoff, i.e. the agent of debris erosion and entrainment. However, since the assessment of debris-flow magnitude is affected by relevant uncertainties, a consistency check with historical data recorded in the same region is advisable. Figure 9 compares the debris-flow volume estimated in the Rio Citate with a sample of 125 debris flows that occurred in northeastern Italy since late 19th century (Marchi and D'Agostino, 2004). The debris-flow volume computed for the Rio Citate lies in the upper part of the scatterplot of debris-flow volumes versus basin area. This ensures that the debris flow devised for FLO-2D simulation represents a challenging event for evaluating the performance of control structures. The estimated debris-flow volume, although somewhat smaller, has the same order of magnitude of the volume computed on the Gortani's map (Sect. 4.1). The large volume of the debris flow is consistent with the characteristics of the catchment, which is characterised by large availability of erodible debris and steep slopes.

The alluvial fan DEM (10 m grid size) was derived by interpolating elevation data extracted from the topographic maps of the Friuli Venezia Giulia Region (scale 1:5000; contour lines equidistance equal to 5 m). The DEM of the alluvial fan, including in it the depressions of the incised channels, represented the FLO-2D domain of computation. The FLO-2D levee component was used to describe more accurately the longitudinal pattern and the top height of the diversion dike on the left bank of the Rio Citate (Fig. 4b). The hydraulic roughness was estimated according to land use on the fan; the followings values of the Manning coefficient were selected: 0.07 for channels and bare debris, 0.10 for sparse shrubs areas, and 0.14 for dense shrubs and trees.

Two sets of rheological parameters were used in the analysis. The first rheology, named “Aspen Pit 1” in O'Brien and Julien (1988, p. 882), considers a flow with high values of viscosity and yield strength. The second scenario assumes the “Kang and Zhang” rheology (in O'Brien and Julien, 1988, p. 882–883), which represents a flow with a medium-low shear stress. The “Kang and Zhang” rheology proved to produce reliable flooded areas for debris flows generated from dolomite rocks, whose characteristics are similar to those of the debris flows in the studied area (D'Agostino

**Fig. 9.** Comparison of the debris flow of the Rio Citate used for model simulation with a sample of debris-flow volumes recorded in the eastern Italian Alps (modified from Marchi and D'Agostino, 2004).

and Tecca, 2006). Maximum values of flow depths (Fig. 10a) and mean flow velocities along the channel – just upstream of fan apex – are equal to 1.8–2.2 m and 4.0–4.2 m/s, respectively. Such values match well with the channel size and the capability of the diverting dike to bear the related maximum pressures.

The results of both simulations demonstrate that the flooded fan area (0.19 km² with Aspen Pit 1 rheology, and 0.34 km² with Kang and Zhang rheology) does not involve the southern part of the alluvial fan. Figure 10a presents the map of maximum flow depths for the Kang and Zhang rheology, which computes the largest flooded area. It is possible to note that the longitudinal dike contains the maximum flow depth, and no avulsion occurs to the left banks. The decisive role of the diverting dike on the left bank in preventing the flooding of the southern sector of the alluvial fan is confirmed by model simulation of the same debris flow (Kang and Zhang rheology) after removing the dike (Fig. 10b). The channel reach where maximum flow depths occur shortens (Fig. 10b), but maximum depths do not change (Fig. 10a and b). Maximum flow velocities are reduced by 10%. Total flooded area rises to 0.6 km², and the absence of the diversion dike causes large areas of the southern sector of the alluvial fan to be inundated, although generally with shallow flow depth. It is also possible to observe that the flooded areas in Fig. 10b agree well with the active areas of the historical map by Gortani (1912) presented in Fig. 5: this supports the choice of the Kang and Zhang rheology in the simulation of the debris flows of the Rio Citate.

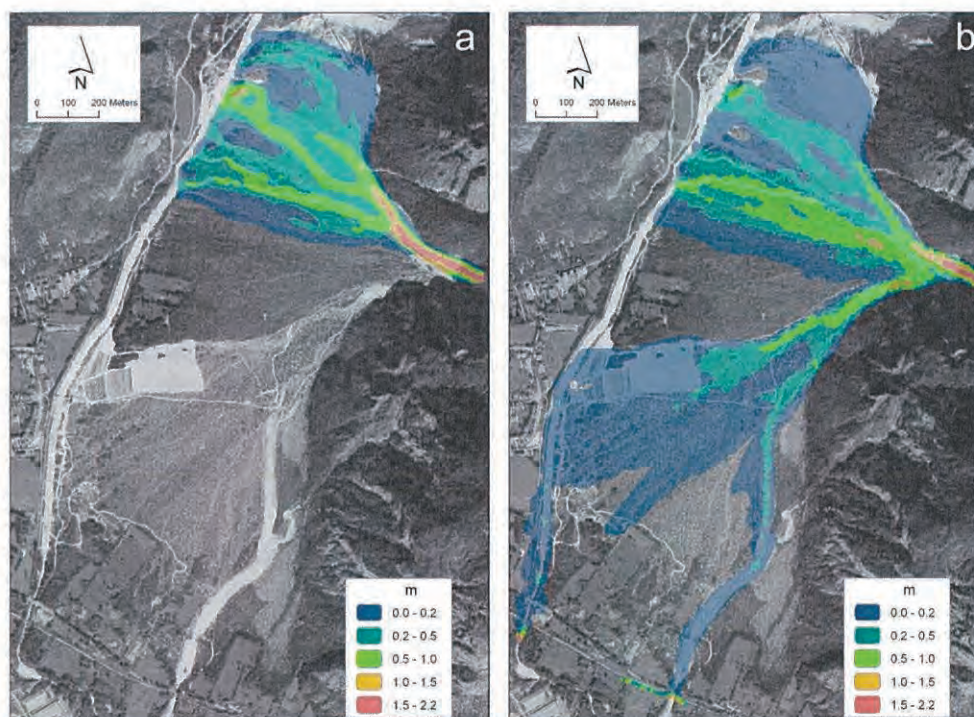


Fig. 10. Application of the FLO-2D model: map of the maximum flow depths. (a) Actual topography, including the presence of the diverting dike on the left bank of the channel. (b) Simulation without the diverting dike.

5 Discussion

The lack of major damage from floods and debris flows in recent decades, as well as the development of vegetation in previously bare areas and the narrowing of the channels in the southern part of the alluvial fan (Figs. 5 and 6) could be ascribed to a variety of causes: the depletion of sediment sources within the drainage basins, rainfall conditions less favourable to flood and debris flow occurrence, and the effect of the control works.

Field observations and aerial photo interpretation show that the availability of mobilisable debris in the drainage basin of the Rio Citate, which dominates the Rivoli Bianchi alluvial fan, is not a limiting factor for the occurrence of debris flows.

The analysis of intense precipitation presented in the Sect. 4.1 is not fully exhaustive because also rainstorms that do not correspond to annual maxima may trigger debris flows. However, the absence of a significant decreasing trend in the most intense rainfall for a wide range of durations, including the shortest ones, which are usually associated to debris-flow triggering in the region under study, suggests that the observed decrease in debris-flow activity could hardly be referred to an attenuation of intense rainfall. The decrease of rainfall amounts for the durations from 3 to 5 days could be responsible for an attenuation of long-lasting floods with sediment transport and could repre-

sent a possible concomitant cause, but not the only explanation, for the lack of major hydrogeomorphic events in recent decades.

Control works influence the hydrogeomorphic processes on the alluvial fan both through the decrease of sediment transfer from the drainage basin to the alluvial fan, achieved through the use of check dams on the Rio Citate, and the diversion of the channel of the Rio Citate toward the northern sector of the alluvial fan. Although it is difficult to discriminate the relative importance of the two effects, we note that grade control structures built in the basin of the Rio Citate do not prevent the flooding of the northern sector of the fan. The diverting dike thus seems to have played a key role in stabilising the southern sector of the fan, by disconnecting that area from the sediment transport events of the Rio Citate. This is indicated by the expansion of vegetation onto areas formerly almost bare (Fig. 6) or crossed by multiple active channel (cf. the historical map of Fig. 5). The positive verification which was conducted through the numerical model makes stronger the conclusion (Fig. 10). Nevertheless a cautionary note is appropriate: the soundness of a specific application has not to legitimate the dogmatic use of this mathematical tool to assess debris-flow hazard. Actually, a number of physical processes (self-formation of levees, bank and bed erosion, flow-state-dependent rheology, multi-phase flow) are not considered by the model, whose results should be treated with caution.

The reduction of hazard achieved by torrent control structures, often leads to political pressures to remove land use limitations. This happens also in the Rivoli Bianchi alluvial fan, where the stabilisation of the fan surface occurring in recent decades has resulted in an increased pressure for its economic exploitation (farming and cattle-breeding). When considering these requests, the original objective of torrent control works should be taken into account. With regard to the case study in this paper, the training works on the Rivoli Bianchi alluvial fan were intended to protect the road and the railway located at the southern end of the fan, rather than to achieve a complete stabilisation of the fan surface. These aspects are particularly relevant when the requests for land use changes do not relate to the use of alluvial fans for agriculture, as for the Rivoli Bianchi alluvial fan, but the expansion of urban areas, as often occurs in other alpine areas.

6 Conclusions

This study has demonstrated the suitability of a comprehensive approach, based on analysis of historical documents, aerial photo interpretation, field observations and numerical modelling of debris flows, for enabling recognition of contemporary hydrogeomorphic processes and evaluation of the long-term effect of torrent control works on alluvial fans.

Although geomorphic processes causing sediment supply from basin slopes to the channels are still active, and there are no evidences of a reduction in intensity of rainstorms, no debris flows with relevant damage have been recorded in the last decades. The absence of hazardous events since the late 1930s, which differs from repeated debris-flow damage observed in the previous decades (Table 1), can thus be ascribed to the effectiveness of control works implemented on the Rivoli Bianchi alluvial fan. The results of the 2-D numerical simulation of a high-magnitude debris flow, carried out taking into account the control works built on the fan, confirm that flow propagation does not affect areas with elements at risk. Current management considerations of the Rivoli Bianchi alluvial fan are listed below:

- although control structures have produced a reduction of hazards, high-magnitude debris flows can still deposit considerable amounts of debris on the alluvial fan;
- in order to keep the torrent control structures effective, they must undergo periodical maintenance;
- the pressures for permitting cattle breeding on the alluvial fan raise concerns for the stability of a fragile environment and the possible risk of groundwater pollution.

These issues and the associated implications are common to many alluvial fans in alpine valleys, in which the decrease of frequency and severity of debris flows, achieved thanks to hydraulic works, leads to disregard the persistency of residual hazards. The maintenance of torrent control works

built in past decades is of major importance to ensure their effectiveness in controlling hazards on alluvial fans. The long time elapsed from early extensive implementation of torrent regulation works in the Alps has urged studies aimed at evaluating their efficiency, and possible need for maintenance (Garitte and Lahousse, 2002; Mazzorana, 2008). In the Rivoli Bianchi area, the check dams of the Rio Cornons and those built on the left sector of the alluvial fan recently underwent maintenance works.

Acknowledgements. This research is partially funded by the European Commission (Sixth Framework Programme, HYDRATE Project, Contract No. GOCE-037024) and PRIN 2007 Project – Italian Ministry MIUR, Dept. TeSAF. The authors wish to thank Simona Scarsini of the Servizio gestione territorio rurale ed irrigazione of Friuli Venezia Giulia Region for providing the geographical data of the study area, and Lucy Clarke for revising an earlier version of the English text. The comments of two reviewers (Marcel Hürlimann and Brian Mc Ardell) have permitted to improve the paper.

Edited by: J. M. Vilaplana

Reviewed by: M. Hürlimann and B. W. Mc Ardell

References

- Aulitzky, H.: Vorläufige Wildbach-Gefährlichkeits-Klassifikation für Schwemmkegel, Österreichische Wasservirtschaft, 24, 1–3, 1972 (in German).
- Aulitzky, H.: Preliminary two-fold classification of torrents, Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, 144, 243–256, 1982.
- Aulitzky, H.: Hazard mapping and zoning in Austria: methods and legal implications, Mt. Res. Dev., 14(4), 307–313, 1994.
- Barnikel, F.: The value of historical documents for hazard zone mapping, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 4, 599–613, 2004, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/4/599/2004/>.
- Baumann, F. and Kaiser, K. F.: The Muletta debris fan, eastern Swiss Alps: A 500-year debris flow chronology, Arct. Antarct. Alp. Res., 31(2), 128–134, 1999.
- Bollschweiler, M. and Stoffel, M.: Debris flows on forested cones - reconstruction and comparison of frequencies in two catchments in Val Ferret, Switzerland, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 7, 207–218, 2007, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/7/207/2007/>.
- Boschi, E., Guidoboni, E., Ferrari, G., Mariotti, D., Valensise, G., and Gasperini, P.: Catalogue of strong Italian earthquakes from 461 B.C. to 1997, Version 3 of the Catalogo dei forti terremoti in Italia, Ann. Geofis., 43(4), 609–868, 2000.
- Bonicelli, G.: La sistemazione dei “Rivoli Bianchi” di Tolmezzo, Annali dei Lavori Pubblici, 66, 23–32, 1928 (in Italian).
- Bovis, M. J. and Jakob, M.: The role of debris supply conditions in predicting debris flow activity, Earth Surf. Proc. Land., 24(11), 1039–1054, 1999.
- Brochot, S., Marchi, L., and Lang, M.: L'estimation des volumes des laves torrentielles: méthodes disponibles et application au torrent du Poucet (Savoie), B. Eng. Geol. Environ., 61(4), 389–402, 2002 (in French).

- Carulli, G. B. and Slejko, D.: The 1976 Friuli (NE Italy) earthquake, *Giornale di Geologia Applicata*, 1, 147–156, 2005.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., and Mays, L. W.: *Applied Hydrology* – International edition, Mc-Graw-Hill, New York, 572 pp., 1988.
- Costa, J. E.: Physical geomorphology of debris flow, in: *Developments and Applications of Geomorphology*, edited by: Costa, J. E. and Fleisher, P. J., Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 268–317, 1984.
- D'Agostino, V.: Le opere di idraulica torrentizia per il controllo dei sedimenti, *Quaderni di Idronomia Montana*, 26, 231–250, 2006 (in Italian).
- D'Agostino, V. and Marchi, L.: Geomorphological estimation of debris-flow volumes in alpine basins, in: *Debris-flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment*, edited by: Rickenmann, D. and Chen, C., Proceedings of the Third International Conference on Debris-flow Hazards Mitigation, Davos, Switzerland, Millpress, Rotterdam, 1097–1106, 10–12 September 2003.
- D'Agostino, V. and Tecca, P. R.: Some considerations on the application of the FLO-2D model for debris flow hazard assessment, in: *Monitoring, simulation, prevention and remediation of dense and debris flow*, edited by: Lorenzini, G., Brebbia, C. A., and Emmanouloudis, D. E., WIT Transactions on Ecology and the Environment, 90, 159–170, 2006.
- De Scally, F. A. and Owens, I. F.: Morphometric controls and geomorphic responses on fans in the Southern Alps, New Zealand, *Earth Surf. Proc. Land.*, 29(3), 311–322, 2004.
- Garitte, G. and Lahousse, Ph.: Contribution à l'évaluation de l'aléa torrentiel dans le bassin versant du Riou Chanal (Alpes-de-Haute-Provence, France), *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 8(1), 61–70, 2002 (in French).
- Gortani, M.: I Rivoli Bianchi di Tolmezzo, *Giornale di Geologia Pratica*, 4(1), 37–45 1906 (in Italian).
- Gortani, M.: Materiali per lo studio delle forme di accumulamento. Falde di detrito e coni di deiezione nella valle del Tagliamento, *Memorie Geografiche*, 20, 339–433, 1912 (in Italian).
- Gortani, M.: Il terremoto del 27 marzo 1928 nelle Prealpi dell'Arzino (Friuli), *L'universo*, 9(12), 1155–1210, 1928 (in Italian).
- Govi, M.: Photo-interpretation and mapping of the landslides triggered by the Friuli earthquake (1976), *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 15, 67–72, 1977.
- Govi, M. and Sorzana, P. F.: Effetti Geologici del Terremoto: frane, in: *Studio Geologico dell'area maggiormente colpita dal terremoto friulano del 1976*, edited by: Martinis, B., *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 83(2), 329–368, 1977 (in Italian).
- Guzzetti, F., Cardinali, M., and Reichenbach, P.: The AVI Project: A bibliographical and archive inventory of landslides and floods in Italy, *Environ. Manage.*, 18(4), 623–633, 1994.
- Helsen, M. M., Koop, P. J. M., and Van Steijn, H.: Magnitude-frequency relationship for debris flows on the fan of the Chalance torrent, Valgaudemar (French Alps), *Earth Surf. Proc. Land.*, 27(12), 1299–1307, 2002.
- Hipel, K. W. and McLeod, A. I.: *Time series modelling of water resources and environmental systems*, Elsevier, Amsterdam, 1013 pp., 1994.
- Hungr, O., Morgan, G. C., Van Dine, D. F., and Lister, R. D.: Debris flow defenses in British Columbia, in: *Debris Flows/Avalanches: Process, Recognition, and Mitigation*, edited by: Costa, J. E. and Wieczorek, G. F., Geological Society of America, *Reviews in Engineering Geology*, 7, 201–222, 1987.
- Jackson, L. E., Kostaschuck, R. A., and MacDonald, G. M.: Identification of debris flow hazard on alluvial fans in the Canadian Rocky Mountains, in: *Debris Flows/Avalanches: Process, Recognition, and Mitigation*, edited by: Costa, J. E. and Wieczorek, G. F., Geological Society of America, *Reviews in Engineering Geology*, 7, 115–124, 1987.
- Ikeya, H.: Debris flow and its countermeasures in Japan, *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 40(1), 15–33, 1989.
- Liu, K. F. and Huang, M. C.: Numerical simulation of debris flow with application on hazard area mapping, *Computat. Geosci.*, 10(2), 221–240, 2006.
- Marchi, L., Pasuto, A., and Tecca, P. R.: Flow processes on alluvial fans in the Eastern Italian Alps, *Z. Geomorphol.*, 37(4), 447–458, 1993.
- Marchi, L. and D'Agostino, V.: Estimation of debris-flow magnitude in the Eastern Italian Alps, *Earth Surf. Proc. Land.*, 29(2), 207–220, 2004.
- Marchi, L. and Cavalli, M.: Procedures for the Documentation of Historical Debris Flows: Application to the Chieppena Torrent (Italian Alps), *Environ. Manage.*, 40(3), 493–503, 2007.
- Mazzorana, B.: Das EF30forward Konzept ein Hinweisinstrument zur Ermittlung der Zuverlässigkeit und Funktionseffizienz von Wasserschutzbauten, in: *Interpraevent 2008 Conference Proceedings*, Dornbirn–Austria, 1, 415–424, 26–30 May 2008 (in German).
- Moscariello, A., Marchi, L., Maraga, F., and Mortara, G.: Alluvial fans in the Italian Alps: sedimentary facies and processes, in: *Flood & Megaflood Processes and Deposits – Recent and Ancient Examples*, edited by: Martini, P., Baker, V. R., and Garzon, G., Blackwell Science, Oxford, UK, 141–166, 2002.
- O'Brien, J. S. and Julien, P. Y.: Laboratory analysis of mudflows properties, *J. Hydraul. Eng.-ASCE*, 114(8), 877–887, 1988.
- O'Brien, J. S., Julien, P. Y., and Fullerton, W. T.: Two-dimensional water flood and mudflow simulation, *J. Hydraul. Eng.-ASCE*, 119(2), 244–261, 1993.
- Querini, R.: Le lave torrentizie nelle Alpi e Prealpi Carniche e Giulie: nuovi contributi e conoscenze, *L'Italia Forestale e Montana*, 41(5), 279–300, 1986 (in Italian).
- Rickenmann, D., Laigle, D., McArdell, B. W., and Hübl J.: Comparison of 2D debris-flow simulation models with field events, *Computat. Geosci.*, 10(2), 241–264, 2006.
- Salmi, T., Maata, A., Antilla, P., Ruoho-Airola, T., and Amnell, T.: Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates – the Excel template application MAKESENS, Finnish Meteorological Institute, Publications on Air Quality No. 31, 35 pp., 2002.
- Sen, P. K.: Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau, *J. Am. Stat. Assoc.*, 63, 1379–1389, 1968.
- Sosio, R., Crosta, G. B., and Frattini, P.: Field observations, rheological testing and numerical modelling of a debris flow event, *Earth Surf. Proc. Land.*, 32(2), 290–306, 2006.
- Stefanini, S.: Le sistemazioni idraulico-forestali nella Carnia (bacino montano del Fiume Tagliamento), Regione Autonoma Friuli – Venezia Giulia, Comunità Montana della Carnia, Tolmezzo, 233 pp., 1982 (in Italian).

- Stefanini, M. C. and Ribolini, A.: Dendrogeomorphological investigations of debris-flow occurrence in the Maritime Alps (north-western Italy), in: *Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment*, edited by: Rickenmann, D. and Chen C. (Eds.), *Proceedings of the Third International Conference on Debris-flow Hazards Mitigation*, Davos, Switzerland, Millpress, Rotterdam, 231–242, 10–12 September 2003.
- Stoffel, M.: Magnitude-frequency relationships of debris flows – A case study based on field surveys and tree-ring records, *Geomorphology*, 116(1–2), 67–76, 2010.
- Strunk, H.: Reconstructing debris-flow frequency in the southern Alps back to AD 1500 using dendrogeomorphological analysis, in: *Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions*, edited by: Walling, D. E., Davies, T. R., and Hasholt, B., *Proceedings of the Chengdu Symposium*, Chengdu, China, IAHS publ. no. 209, 299–306, 5–9 July 1992.
- Takahashi, T.: Mechanical characteristics of debris flow, *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, 104(HY8), 1153–1169, 1978.
- Wilford, D. J., Sakals, M. E., Innes, J. L., Sidle, R. C., and Bergerud, W. A.: Recognition of debris flow, debris flood and flood hazard through watershed morphometrics, *Landslides*, 1(1), 61–66, 2004.

5. Characterisation of the surface morphology
of an alpine alluvial fan using LiDAR

Characterisation of the surface morphology of an alpine alluvial fan using airborne LiDAR

M. Cavalli and L. Marchi

CNR-IRPI, Corso Stati Uniti 4 35127 Padova, Italy

Received: 14 September 2007 – Revised: 16 January 2008 – Accepted: 27 March 2008 – Published: 11 April 2008

Abstract. Alluvial fans of alpine torrents are both natural deposition areas for sediment discharged by floods and debris flows, and preferred sites for agriculture and settlements. Hazard assessment on alluvial fans depends on proper identification of flow processes and their potential intensity. This study used LiDAR data to examine the morphology of the alluvial fan of a small alpine stream (Moscardo Torrent, Eastern Italian Alps). A high-resolution DTM from LiDAR data was used to calculate a shaded relief map, plan curvature and an index of topographic roughness based on the standard deviation of elevation within a moving window. The surface complexity of the alluvial fan, also influenced by human activities, clearly arose from the analysis. The surface roughness, defined here as the local topography variability, is compared with a previous classification of the fan surface based on field surveys. The results demonstrate that topographic analysis of ground based LiDAR DTM can be a useful tool to objectively investigate fan morphology and hence alluvial fan hazard assessment.

1 Introduction

Alluvial fans are gently sloping, fan-shaped landforms created by deposition of sediments often occurring at the base of mountain ranges. In Alpine valleys, alluvial fans have long been the preferred areas for agriculture and settlements. Therefore the deposition of sediment discharged by floods and debris flows, which causes alluvial fan formation and growth, represents a major hazard for human settlements. Debris flows are particularly dangerous because they pose a threat to the destruction of property and loss of lives in mountainous environments. The increasing human pressure

on alluvial fans, which in the Alps is predominantly linked to tourism, requires accurate assessment of the hazard. In this context, the recognition of surface features on alluvial fans is essential for correct classification of torrent-related processes.

The identification of morphological features of alluvial fans, including the recognition of debris-flow deposits, old channels, levees and lobes, is commonly carried out by means of field surveys and interpretation of aerial photographs. But these traditional methods are often problematic. Field surveys are time consuming and influenced by subjectivity, whereas the interpretation of aerial photographs is affected by uncertainty in forested areas. The airborne laser altimetry technology (LiDAR, Light Detection And Ranging) provides high-resolution topographical data, which can significantly improve the representation of land surfaces. A valuable characteristic of this technology is the capability to derive a high-resolution Digital Terrain Model (DTM) from the last pulse LiDAR data by filtering the vegetation points. In the field of geo-hydrological hazards in mountainous areas, the analysis of high-resolution DTMs is a promising approach to investigate fine-scale morphology of the landscape.

The use of LiDAR technology for these types of quantitative analyses is relatively new. Several studies have used high resolution LiDAR DTMs (McKean and Roering, 2004; Hanenberg et al., 2005; Tarolli and Tarboton, 2006) or LiDAR vector data (Glenn et al., 2006) to analyze landslides, whereas only a few studies have investigated individual alluvial fan morphology and depositional processes (Staley et al., 2006; Frankel and Dolan, 2007). In previous studies, LiDAR elevation data were used to evaluate meter-scale surface roughness as a useful approach to map landslides and detect potential landslide areas (Carter et al., 2001; McKean and Roering, 2004; Haugerud, 2004; Schulz, 2004; Ardizzone et al., 2007), and to characterize and differentiate the landslide morphology and activity (Glenn et al., 2006).



Correspondence to: M. Cavalli
(marco.cavalli@irpi.cnr.it)

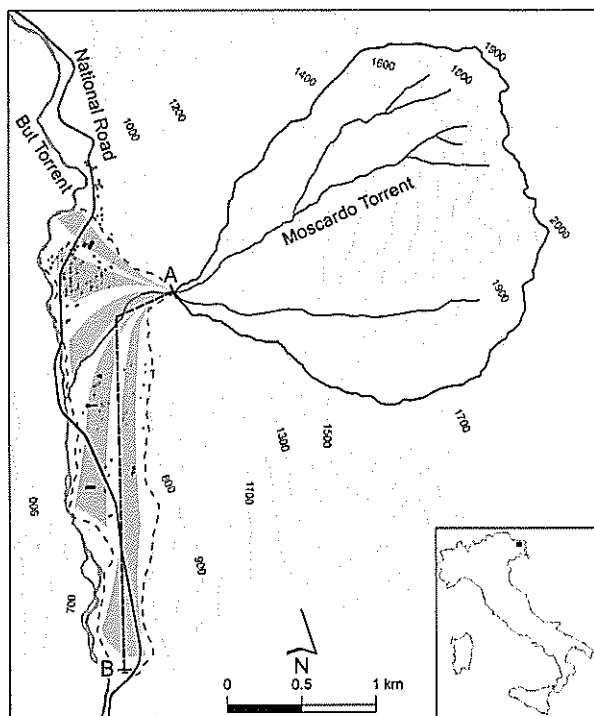


Fig. 1. Location map of the Moscardo Torrent basin and alluvial fan. The dashed line depicts alluvial fan boundary. Buildings are represented as black polygons. The line A–B indicates the section along which the profile of Fig. 2 was drawn.

Tarolli and Tarboton (2006) used LiDAR-derived DTMs to identify the optimal size of the cells for the assessment of shallow landslides. Staley et al. (2006) used LiDAR-derived topographic attributes (profile curvature and surface gradient) for differentiating deposition zones on debris-flow fans. Frankel and Dolan (2007) combined quantitative measures of surface roughness, obtained from LiDAR data, with classic methods of geomorphology and sedimentology to characterise and differentiate alluvial fan surfaces with different relative ages in an arid environment.

The purpose of this study is to test the capability of high-resolution LiDAR data to characterise the topography of an alpine alluvial fan. Particular attention was paid to discriminating areas where debris-flow deposits are present from areas in which these deposits are lacking. When compared to the study of alluvial fans with limited human influence under arid climate, the analysis of the topography of alluvial fans in the European Alps poses some additional problems. The humid climate favours the growth of a dense vegetation cover, which reduces the density of measurements at the ground surface. Moreover, roads, buildings, torrent control works and other structures are often present on alluvial fans: this makes it necessary to distinguish the influence of natural features and man-made structures on the surface morphology of alluvial fans.

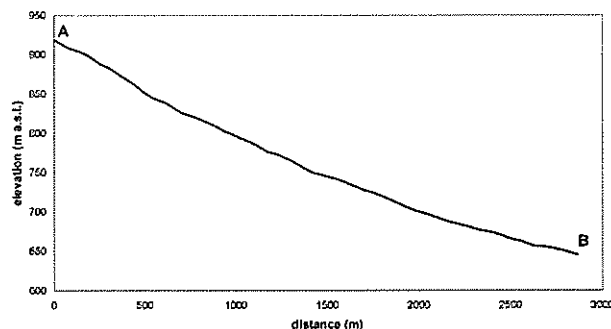


Fig. 2. Topographic profile of the alluvial fan drawn along the line A–B of figure 1.

vial fans.

In this study we use a LiDAR-derived DTM to analyse the surface morphology of an alluvial fan in the Italian Alps. The adopted approach encompasses the interpretation of shaded-relief and plan curvature maps and the comparison of a roughness index with a classification of the fan surface developed on the basis of field surveys.

2 Study area

The study area is the alluvial fan of the Moscardo Torrent, a small stream of the Eastern Italian Alps (Fig. 1). Widespread erosion and instability phenomena in the upper basin slopes and along the main channel result in large amounts of loose debris being available for mobilization as debris flows during intense summer rainstorms; high channel slope produce an efficient delivery of the sediment to the basin outlet.

The Moscardo Torrent basin drains an area of about 4 km² and ranges from 890 m at the fan apex to 2043 m at the highest summit; the mean slope of the main channel is 20°. The rocky substratum of the basin is made of Carboniferous flysch, represented by highly fractured and weathered shale, slate, siltstone, sandstone and breccia. Quaternary deposits, mostly consisting of scree and landslide accumulations, are common in the basin.

The Moscardo Torrent has formed a large, asymmetrical fan that spreads across the valley floor, forcing the main stream (But Torrent) to the toe of the opposite valley slope. The fan (Fig. 1) extends southward for approximately 2.7 km and covers an area of 1.27 km²; it has a composite slope ranging from 7°–8° at the proximal part and 4°–5° in the lower area. Figure 2 presents a profile of the alluvial fan. At present, the active fan is limited to a narrow area along the main channel. Woody vegetation covers the mid-fan area in the proximity of the channel, especially on the right side where a dense coniferous stand is present. Deciduous forest stands, meadows, some buildings and a quarry deposit are present on the left side of the main channel. More houses are located in the northern part of the fan and a national road

passes through the southern, no-longer active, portion of the fan (Fig. 1).

The climatic conditions of the Moscardo basin are typical of the easternmost part of the Italian Alps, with abundant precipitation throughout the year, cold winters and mild summers. Average annual precipitation amounts to 1660 mm with 113 rainy days per year.

3 Methods

3.1 LiDAR data

The LiDAR data were acquired from an helicopter using an ALTM 3033 OPTECH, at an average altitude of 1000 m above ground level during snow-free conditions in November 2003. The flying speed was 80 knots, the scan angle 20 degrees and the scan rate 33 KHz. The survey design point density was specified to be 2.5 points per m², with first and last return recorded, and a vertical accuracy <15 cm. LiDAR point measurements were filtered into returns from vegetation and bare ground using the TerrascanTM software classification routines and algorithms (Barilotti et al., 2006). The dataset covers most of the alluvial fan surface with the exclusion of a small area in the southern distal part. A 2 m grid size DTM from ground surface elevation points was generated by using Inverse Distance Weighted interpolation with a power of 2, a variable search radius with maximum distance of 3 m, and 3 as the number of nearest points to be used to perform the interpolation. The DTM grid spacing of 2 m was chosen as a compromise between the need for a fine-resolution DTM and the decrease of point density under canopy cover (about 0.25 points per m²) in the right side of the channel. The DTM from ground points was used to calculate a shaded relief map, a plan curvature map and an index of topographic roughness.

3.2 Shaded relief map

The shaded relief map was created with the Hillshade tool available in ArcGis 9.0 (ESRI, 2004), simulating illumination from the northwest with an altitude angle of the illumination source of 45° above the surface. Hillshading enhances the visualization of objects perpendicular to the azimuth of the illumination; the planar and altitude angles of the illumination source were selected taking into account that important morphological features on the alluvial fan of the Moscardo Torrent, such as most old channels and gullies have prevailing E-W or NE-SW direction. Differently from more complex landforms (e.g. drainage basins with rugged relief), which would require different illumination points, a single view appears to be adequate for the alluvial fan under study.

3.3 Plan curvature map

The plan curvature map was created with LandSerf 2.2, a freely available software for digital terrain analysis (Wood, 1996; www.landserf.org). Plan curvature, which describes the rate of change of aspect, provides a measure of convergence and divergence of flow (Wilson and Gallant, 2000) and is often used for the identification of ridges and channels on digital terrain models (Rana, 2006; Haneberg et al., 2005). LandSerf 2.2, which calculates plan curvature on a cell-by-cell basis, utilises a quadratic function fitted to the surface using a moving window.

In this study we used an 11-cell moving window to derive the plan curvature map in order to smooth out features smaller than approximately 22 m wide. In the plan curvature map, a positive value indicates the surface is upwardly convex at that cell, whereas a negative value indicates the surface is upwardly concave at that cell, and a zero value corresponds to a flat surface.

3.4 Roughness index

The calculation of a roughness index is intended to measure the variability of elevations in local patches of the alluvial fan at a scale of a few meters.

Several methods have been proposed to measure the surface roughness by LiDAR data (e.g. McKean and Roering, 2004; Haneberg et al., 2005; Glenn et al., 2006; Frankel and Dolan, 2007). In this work we define the surface roughness as the standard deviation of a residual topography (Cavalli et al., in press). A neighbourhood analysis was used to derive the roughness index of the Moscardo alluvial fan. Figure 3 shows the flow chart of the calculation of the roughness index. A smoothed version of the LiDAR DTM (mean DTM in Fig. 3) was created by averaging elevation values within a 5-cell moving window. Each cell of the mean DTM has a value corresponding to the mean of the 25 neighbourhood cells values of the LiDAR DTM. The grid of residual topography was then calculated as the cell-by-cell difference between the LiDAR DTM and the mean DTM. Finally, the standard deviations of residual topography values are computed in a 5-cell moving window over the residual topography grid. We define the roughness index as:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{25} (x_i - x_m)^2}{25}} \quad (1)$$

where σ is the roughness index or the standard deviation of residual topography, 25 is the number of the processing cells within the 5-cell moving window, x_i is the value of one specific cell of the residual topography within the moving window, and x_m is the mean of the 25 cells values.

The resulting roughness value for each grid cell represents the topographic variability over length scales, from 2 m (grid size) to 10 m (moving window size). The calculation of the

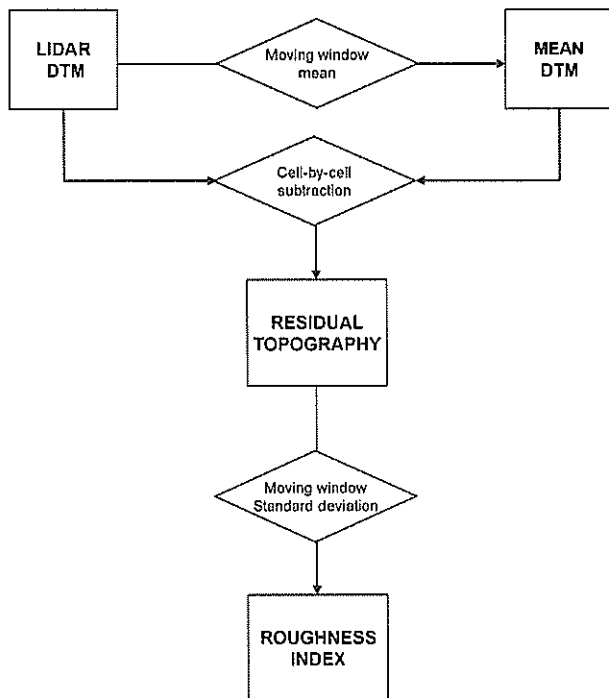


Fig. 3. Flow chart of the roughness index calculation.

surface roughness by means of the residual topography grid provides a measure of this index independent from the effect of slope along the surface.

The benefit of the roughness index map analysis is in relating values of surface roughness to different alluvial fan areas affected in the past by different flow processes: higher roughness values can be associated with debris-flow evidence on the alluvial fan surface and lower roughness values can be ascribable to smoother areas characterized by waterlaid deposition or artificially smoothed for agricultural expansion.

A map of the normalized distances from the fan apex was calculated in a similar manner to that of Staley et al. (2006), to analyse the spatial location and patterns of roughness index values. The map of the normalized downfan distance calculated for each cell is given by the equation:

$$D_n = \frac{D_a}{D_{\max}} \quad (2)$$

where D_n is the normalized downfan distance, D_a is the planimetric distance of the cell from the fan apex, and $D_{\max}$ is the maximum planimetric distance across the entire fan surface.

The planimetric distance map (D_a) has been derived using the ArcGIS Distance tool, which allows calculation of the Euclidean distance of each cell from a source, represented in this case by the fan apex. To obtain the normalized downfan distance map (D_n) the values of each cell in the planimetric distance map has been then divided for the maximum value

of the map ($D_{\max}$) using the ArcGIS raster calculator (Eq. 2). The values of D_n range from 0, at the fan apex, to 1, at the farthest cell on the fan surface.

3.5 Field survey

The local topographic variability, represented by the roughness index, is compared with a previous classification of the fan surface, which was undertaken using field surveys complemented by interpretation of aerial photographs (Marchi and Cavalli, 2005). This field classification of the alluvial fan surface aimed to distinguish areas with evidence of debris flow from areas where sedimentary processes have lower solid concentration. Field observations led to identification of three classes:

- Class 1: areas where debris-flow deposits (lateral levees and terminal lobes) can be clearly recognized;
- Class 2: areas with remnants of past occurrence of debris flows (irregular fan surface and presence of large lone boulders);
- Class 3: no evidence of debris flow.

The absence of debris-flow deposits in Class 3 could indicate the dominance of bedload deposition (likely to have derived from the reworking of debris-flow deposits accumulated in the upstream parts of the alluvial fan). It is also possible that deposits typical of debris flows have been obliterated by agricultural practices actively implemented on part of the alluvial fan until a few decades ago. This latter interpretation hints at the low frequency of debris flows in these areas, as only areas rarely hit by debris flows were used for agriculture. The classification of the alluvial fan surface into the three classes is presented in Fig. 4. We observe that the class with debris-flow evidences (Class 1) covers the active channel and a limited area mostly located on its right side. Class 3 (no trace of debris flow) covers a wider area reaching the northern and southern boundaries of the alluvial fan, while the intermediate class (Class 2, with remnants of debris flow activity) has a limited extent and is situated between the other two classes.

3.6 Comparison of roughness index and field classification

Statistical procedures were used to verify the consistency between the values from the roughness index and the field classification of the alluvial fan into three distinct classes. Both non-parametric and parametric tests were used for this comparison.

The non-parametric Mann-Whitney U test was used since it enables comparison of samples of different size and does not make any assumptions regarding the distribution of the data. The Mann-Whitney U test analyses for the existence of a null hypothesis, which here is that surface roughness values for the classes mapped in the field derive from the

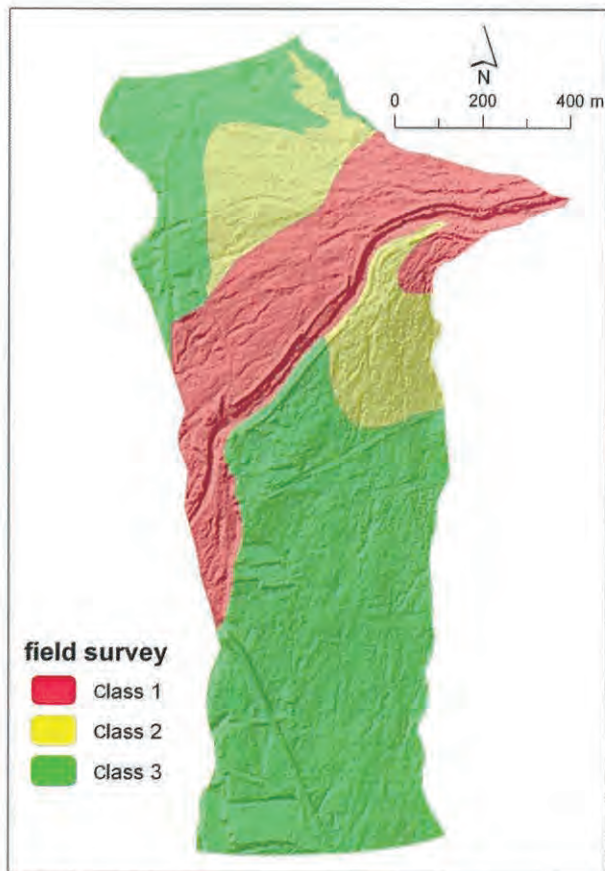


Fig. 4. Terrain classification through field surveys: Class 1 indicates areas where debris-flow deposits (lateral levees and terminal lobes) can be clearly recognised; Class 2 are areas in which there is some evidence of a previous debris-flow occurrence; and Class 3 has no evidence of debris flows.

same population. This test compares one group to another group, therefore, in order to analyse the three classes, each class was compared to the other two.

The F -test is an overall test of the null hypothesis that group means on the dependent variable do not differ. A significant value of F indicates that there are differences between the means but does not indicate where these differences are. Once a significant F -value was obtained in the analysis of variance, the Tukey's Honestly Significant Difference for unequal sample size post hoc test (Tukey HSD test) was performed to identify significant differences between individual classes. This test compares the difference between each pair of means. These tests require normal distribution of the variables under study. In order to obtain normal distribution of surface roughness data, a logarithmic transformation was applied.

The software Statistica for Windows (Statsoft, 2001) was used for this analysis.

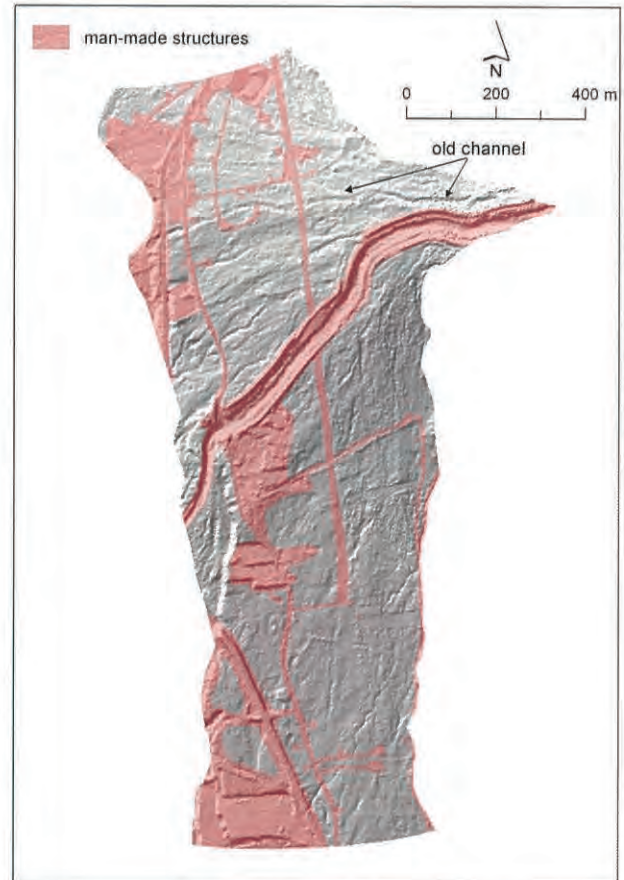


Fig. 5. Shaded relief map of the Moscardo Torrent alluvial fan. This representation enhances the visualization of objects perpendicular to the northwestern direction of the illumination. The man-made structures are outlined in red.

4 Results

The shaded relief map of the Moscardo alluvial fan is presented in Fig. 5. The ability of laser shots to penetrate the vegetation canopy is highlighted in the shaded relief map, which reveals several subtle geomorphic features that are not visible in aerial photographs and in digital models of the ground surface derived from topographic maps. One such example is the track of an old channel of the Moscardo Torrent, partially covered by coniferous forest, located in the northern part of the fan that is obvious in Fig. 5. Even artificial structures (indicated by red areas in Fig. 5) are easily recognizable. Buildings have been removed during the filtering process of LiDAR data but terrain embankments related to their presence are still identifiable.

The plan curvature map (Fig. 6) emphasizes linear features, assisting in the detection of channels and ridges. Old channels, sometimes bordered by debris-flow levees, are apparent in the northern sector of the alluvial fan (a in Fig. 6),

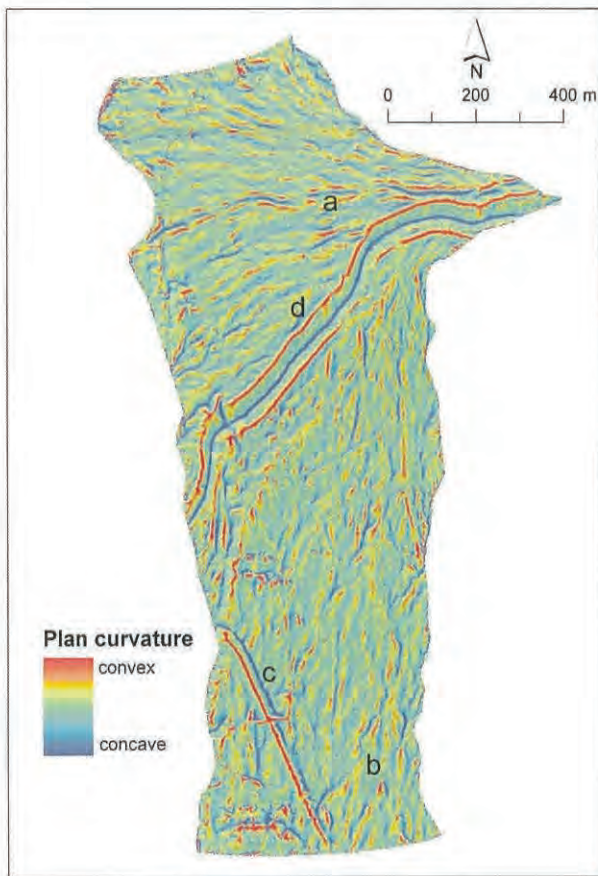


Fig. 6. Plan curvature map: (a) old channels, sometimes bordered by debris-flow levees, (b) flow directions of old channels and rills, (c) national road, (d) Moscardo Torrent dikes.

with the flow directions of old channels and rills (prevailing North to South) also outlined in the southern sector of the alluvial fan (b in Fig. 6). Artificial structures shown clearly in the plan curvature map are the national road in the south-western sector of the alluvial fan and the dikes built along the Moscardo Torrent (c and d respectively in Fig. 6).

The roughness index map (Fig. 7) contributes to the recognition of morphological features by emphasizing local elevation variability that may not be apparent on the shaded relief image. The surface roughness values for this alluvial fan ranged from 0 to approximately 1 m, although most of the values are <0.5 m (Fig. 8). Higher values of surface roughness can be found near the fan apex and along the main channel where debris-flow levees and lobes are present (a in Figs. 7 and 8). The distal areas of the fan are characterised by low values of roughness (c in Figs. 7 and 8), except where man-made structures, such as road embankments, increase local topographic variability.

As mentioned previously, the recognition of man-made structures is needed to avoid misinterpretation with natural

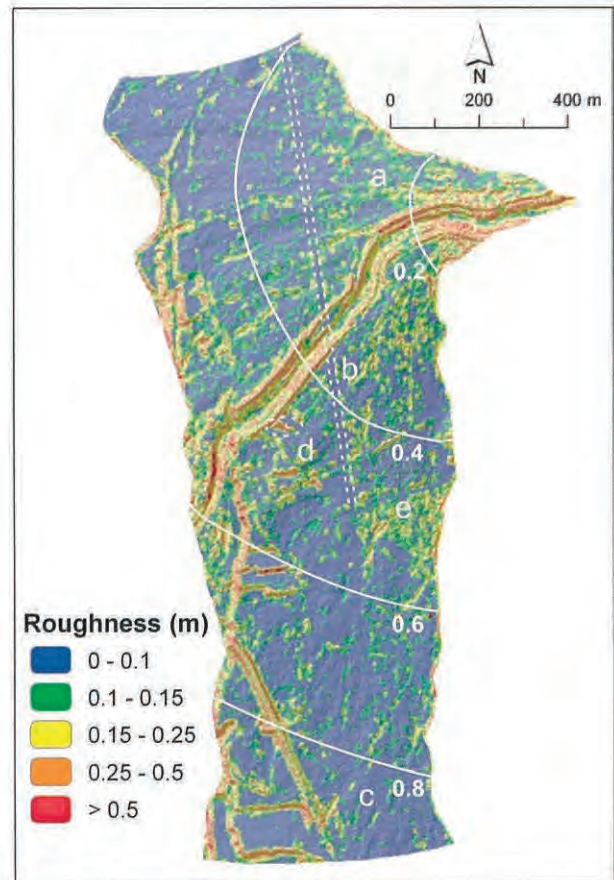


Fig. 7. Roughness index map: (a) area with high values of ruggedness (debris-flow levees and lobes), (b) low values of roughness index along a pipeline, (c) distal areas of the fan with low values of the index, (d) high values of roughness emphasize the quarry deposit, (e) isolated area with high values of roughness. See Figs. 8 and 12a for representative pictures. White continuous lines indicate the normalised downfan distance (cf. Fig. 10).

features. In Fig. 7a long strip with low values of roughness crossing the fan in the north-south direction can be recognized, which corresponds to a flat area alongside a pipeline (b in Figs. 7 and 8). More flat areas with low roughness values are associated with the presence of buildings, which have been removed during the LiDAR data filtering process. Another human-modified area corresponds to the quarry deposit to the left of the main channel and is characterized by high values of surface roughness (d in Fig. 7). An isolated, spatially limited area with relatively high roughness values can be distinguished in proximity of the eastern boundary of the fan (e in Fig. 7).

Table 1 presents basic descriptive statistics for the roughness index in the three classes and Fig. 9 shows the distribution of the roughness index values of each class. High values of the roughness index occur in Class 1, whereas

Table 1. Basic statistics for the surface roughness index (total study area).

Class	no of DTM cells	min	max	mean	median	std. dev.
1	60002	0.034	0.772	0.168	0.140	0.092
2	38918	0.023	0.540	0.112	0.098	0.056
3	143021	0.004	0.968	0.114	0.092	0.072

Table 2. Basic statistics for the surface roughness index (after the removal of man-modified areas).

Class	no of DTM cells	min	max	mean	median	std. dev.
1	45679	0.033	0.784	0.144	0.123	0.073
2	33934	0.024	0.489	0.107	0.097	0.046
3	86592	0.023	0.568	0.097	0.085	0.045

**Fig. 8.** Photographs of landforms related to the roughness index map (Fig. 7): (a) debris-flow deposits and levees, (b) a pipeline, (c) distal fan area with a smoothed surface, (d) quarry deposit.

lower values are observed in the other classes, for both the whole fan area and also after the removal of man-modified areas (Tables 1 and 2). The artificially-lined channel of the Moscardo Torrent and its banks were included in man-modified areas (Fig. 5) because they are not representative of natural depositional processes on the alluvial fan.

As mentioned previously, both parametric (F -test and Tukey HSD test) and non-parametric statistical analyses (Mann-Whitney U test) were carried out to compare the values of surface roughness in the three classes mapped from field surveys. The Mann-Whitney U test rejects the null hypothesis for all the comparisons (Class 1 vs. Class 2, $p < 0.001$; Class 1 vs. Class 3, $p < 0.001$; Class 2 vs. Class 3, $p < 0.001$) both on the whole data set and after removing human-altered areas. Therefore, the non-parametric test shows that individual classes are statistically different from

each other in term of surface roughness at the 99% confidence ($\alpha = 0.01$). The result of the F -test on the surface roughness values of the three Classes allows us to reject the null hypothesis ($F = 13773$, $p < 0.001$). The results indicate differences in the group means for each pair at the 99% confidence ($\alpha = 0.01$). These results are consistent with those obtained from the application of the non-parametric Mann-Whitney U test.

The scatterplot of the surface roughness versus the distance from the fan apex for the three mapped classes makes it possible to analyze the pattern of roughness along the alluvial fan. In Fig. 10a the entire data set is plotted: several peaks are present throughout the length in the scattergram both in Class 1 and Class 3. The peaks in Class 1 are located where debris-flow deposits and old levees are present, and also on the artificial banks of the main channel. The highest values of roughness in Class 3 are found at a distance of 0.5–0.7 from the fan apex, which corresponds to the spatial location of the majority of artificial structures in the alluvial fan. Class 2 is characterized by a more regular pattern and the natural fan surface is accurately depicted due to the lack of human-modified areas.

In Fig. 10b the data without the man-altered areas are plotted. For ease of comparison, the values of the downfan distance in Fig. 10b were computed using the same value of $D_{\max}$ as in Fig. 10a. Because of the removal of man-altered areas in the distal part of the alluvial fan, the values of D_n plotted in Fig. 10b do not attain the maximum value of 1.0. The most important differences arise in Class 3, in which most man-modified areas lie. A more regular trend of the maximum values is now evident. The peaks still present in this class can be related to other minor artificial structures, such as dry-stone walls bordering meadows and property boundaries. Class 1 exhibits major peaks in surface roughness, related to natural processes, at normalized downfan distances of 0.0–0.3 and 0.5–0.7.

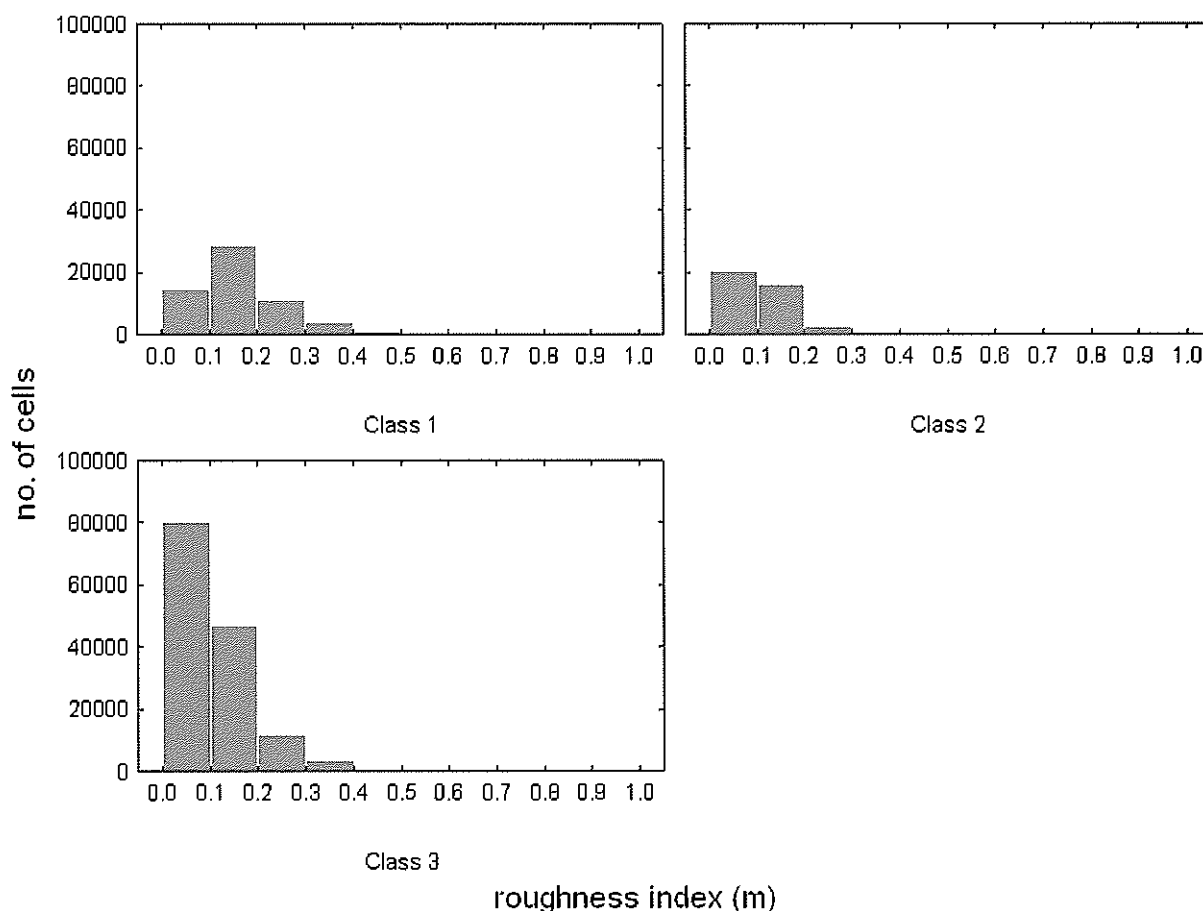


Fig. 9. Histograms of roughness index values for the three classes mapped from field surveys.

5 Discussion

The results of the statistical tests indicate that the quantitative assessment of the surface roughness agrees with the visual interpretation of the morphology of the alluvial fan, from which the three classes of the fan surface were mapped, shown in Fig. 4. The consistency of the results of the non-parametric Mann-Whitney U test with the parametric analysis of log-transformed roughness data, confirms the stability of the results obtained. In this paper, the statistical analysis was aimed at comparing topographic roughness derived from a LiDAR DTM with a previous field classification of the fan surface. The use of spatial statistics for the automated recognition of topographic features and classification of morphological units could represent an important step towards an enhanced use of data derived from aerial LiDAR in alluvial fan studies.

In addition to the quantitative analysis performed on roughness index values, the visual inspection of the maps of LiDAR-derived indicators can also contribute to the interpretation of the morphological features of the fan surface. In the previous section, the correspondence between values

of the roughness index and features observed in the field has been reported. Here we extend the discussion on this topic by comparing the capabilities of plan curvature and roughness index, and showing the potential of the roughness index in identifying areas with particular topographic features on the fan surface.

A valuable characteristic of plan curvature is that through the enhancing of concavities and convexities it is possible to identify linear features even in areas of low roughness, as is shown in the distal part of the alluvial fan in the Figs. 6 and 7. In contrast, linear features not marked by convexities and concavities, such as the pipeline that crosses the alluvial fan of the Moscardo Torrent, are not clearly recognised in the plan curvature map. As previously reported, the flat strip alongside the pipeline is easily identifiable on the roughness index map (b in Fig. 7). A combined use of different indicators is thus advised for a reliable identification of natural and man-altered features.

An example of the heuristic capability of the roughness index map in the characterisation of surface features on alluvial fans can be seen with the identification of an isolated area of relatively high roughness. This area, indicated as “e”

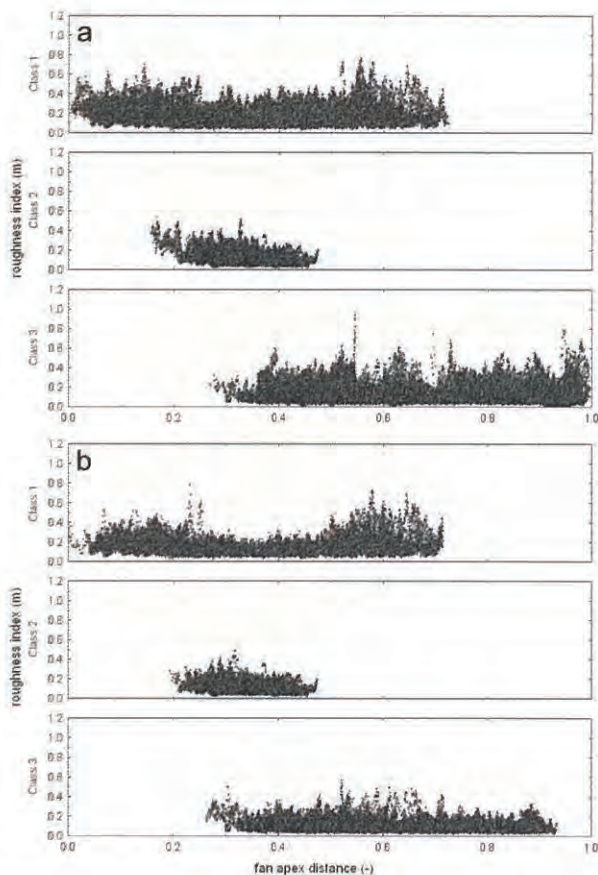


Fig. 10. Scatterplot of roughness values versus normalized distance from the fan apex: (a) whole data set, (b) after removing man-made structures.

in Fig. 7, was not recognised by the field surveys and aerial photograph interpretation, which led to the classification of the alluvial fan proposed in Fig. 4. An East – West topographic profile surveyed in the middle part of this area using a theodolite shows a close agreement with the LiDAR-derived DTM (Fig. 11), thus confirming that LiDAR elevation data represents the actual topography and are not affected by artifacts induced by data filtering. The visual inspection of this area confirms the presence of a rugged surface with scattered large boulders (Fig. 12a), which contrasts with the smooth surface of neighbouring areas (Fig. 12b). The widespread presence of large boulders, which makes agricultural activity difficult, may have caused this area to undergo lesser topographic alterations than other parts of the fan.

The Moscardo Torrent fan is characterized, like many alluvial fans in alpine valleys, by the presence of forest cover and artificial structures. Forest cover poses major problems in the recognition of the features of alluvial fan surface by means of aerial photo interpretation. LiDAR data can help overcoming these problems, provided that adequate attention

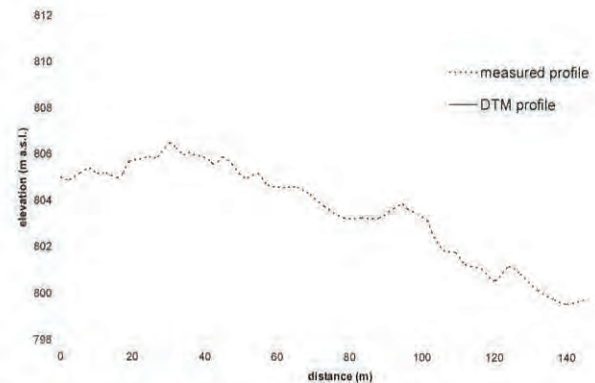


Fig. 11. Topographic profile along the area indicated as “e” in Fig. 7.

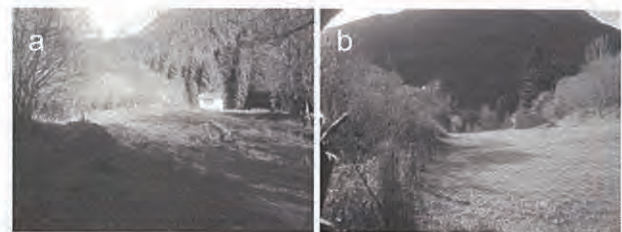


Fig. 12. Photographs taken in: (a) the rugged-surface area (e in Fig. 7), and (b) in a neighbouring smooth area.

is paid in the creation of the DTM and deriving geomorphic attributes. Since the spatial variability of DTM roughness is strongly influenced by LiDAR points density, care has to be taken where the different land use leads to different spatial density of ground LiDAR points. In correspondence to dense vegetation cover, as with coniferous forest on the right side of the channel in the Moscardo alluvial fans, the density of ground points recorded in LiDAR surveys is markedly lower than in open areas (2.5 and 0.25 points per m^2 respectively). To correctly select the DTM grid spacing in an area with different land uses, the spatial density of LiDAR points in the sector with the densest vegetation has to be taken into account. In the present study, a grid spacing smaller than 2 m could have given rise to misinterpretation of topography under forest cover with respect to open areas. When planning aerial LiDAR surveys, a high sampling point is then recommended, as it can provide higher density even under forest canopy, thus allowing a smaller grid spacing of the DTM.

Performing terrain analysis on an alluvial fan where artificial structures are present requires the distinction of natural features from man-made structures. The analyses carried out, both on the entire roughness value data set and on the data after removing artificial structures (Fig. 10a, b), demonstrate the strong influence of human activities for quantitative characterization of debris-flow depositional areas.

In Fig. 10b, which presents the relationship between surface roughness (ascribed only to natural features) and the distance from the fan apex, no decrease of the roughness for increasing distance can be observed within each class. In particular, Class 1, which represents the most recent sedimentary processes, shows high values of the roughness index in its distal part. This can be related to the efficient delivery of debris-flows to the lower part of the alluvial fan of the Moscardo Torrent. The deposition of debris flows close to the active channel results in a rugged fan surface even at long distances from the fan apex.

Staley et al. (2006) used morphometric indexes from a LiDAR-derived DTM to identify three zones with different depositional features in 19 debris-flow fans in the Death Valley. They observed high values of profile curvature at the proximal locations of the fan surface and correlated them to deposits with high internal shear strength. Moderate values of profile curvature correspond to deposits with lower shear strength, whereas the lowest values of profile curvature occurred in run-out zones in the mid-fan section. Both the profile curvature used by Staley et al. (2006) and the roughness index proposed in this study are indicators of topographic variability correlated to the typology of alluvial fan deposits. Staley and colleagues state that their findings are not applicable at the scale of individual fans. However, it is interesting to note (Fig. 10b) that, similar to the profile curvature in the debris-flow fans studied by Staley et al. (2006), the roughness index in Class 1 of the Moscardo alluvial fan shows the lowest values in the intermediate part of the profile (i.e. the run-out area). This pattern is not recognisable in Classes 2 and 3, which are influenced by fluvial reworking of debris-flow deposits, bedload deposition and artificial smoothing of the surface for agricultural exploitation.

6 Conclusions

This paper has shown the potential of LiDAR-derived topographic indexes in the analysis of the topographic variations within an alpine alluvial fan, where both natural landforms due to debris-flow deposition and man-made structures are present. Different tools (shaded relief and plan curvature, roughness index) were used in the detection of topographic features of alluvial fan surface.

The statistical comparison of the values of the topographic index was contrasted with a previous visual classification of the alluvial fan according to the presence of debris-flow deposits, and it was shown that there was consistency between the two approaches.

Man-made structures are often present on the alluvial fans of the European Alps and have a major influence on their surface topography. The analysis presented in this paper has shown that the presence of artificial structures on the alluvial fan of the Moscardo Torrent, although not preventing the quantitative description of natural morphology, had a non-

negligible impact on the values of the roughness index (Tables 1 and 2, and Fig. 10). Careful identification of artificial structures is thus recommended to avoid misinterpretation of LiDAR-derived topographic indexes. Digital photographs, commonly taken during aerial LiDAR surveys, are a good basis for the identification of human-related entities, although field checks are also recommended for further verification.

The analysis presented in this paper would not have been possible using digital models of the ground surface derived from traditional topographic maps, not only because of the lower resolution obtainable, but, and probably more importantly, also because of the lack of detail on local topography, especially under forest cover. Digital photogrammetry applied to large-scale aerial photographs makes it possible to obtain high-resolution DTMs (Lin and Oguchi, 2004), but detailed recognition of fine topographic features is possible with this method only in unvegetated areas or those with sparse vegetation.

The GIS tools presented in this paper can contribute to the characterization, both qualitative and quantitative, of the surface morphology of alpine alluvial fans and are suitable for a combined use with traditional techniques, such as field surveys and aerial photo interpretation.

Acknowledgements. The LiDAR data used in this study are available thanks to the University of Udine (European Project INTERREG IIIA Phare CBC Italy-Slovenia, Action 3.2.4). We are grateful to M. Derron and M. Jaboyedoff for their valuable comments on the manuscript, and to L. Clarke for revising the English text.

Edited by: T. Glade

Reviewed by: M.-H. Derron and M. Jaboyedoff

References

- Ardizzone, F., Cardinali, M., Galli, M., Guzzetti, F., and Reichenbach, P.: Identification and mapping of recent rainfall-induced landslides using elevation data collected by airborne Lidar, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 7(6), 637–650, 2007.
- Barilotti, A., Beinart, A., Fico, B., and Sossai, E.: Produzione e verifica di DTM da rilievi LiDAR aerei su aree montane ricoperte da foresta, in: *Convegno Nazionale SIFET 2006 Le nuove frontiere della rappresentazione 3D*, Castellaneta Marina, Italy, 14–16 June 2006, on DVD (in Italian), 2006.
- Carter, W., Shrestha, R., Tuell, G., Bloomquist, D., and Sartori, M.: Airborne laser swath mapping shines new light on Earth's topography, *EOS, Transactions, American Geophysical Union*, 82(46), 549–555, 2001.
- Cavalli, M., Tarolli, P., Marchi, L., and Dalla Fontana, G.: The effectiveness of airborne LiDAR data in the recognition of channel-bed morphology, Catena, available online, 26 December 2007, doi:10.1016/j.catena.2007.11.001, in press, 2008.
- ESRI: *ArcGIS 9.0 User's Guide*, Redlands, CA, 2004.
- Frankel, K. L. and Dolan, J. F.: Characterizing arid-region alluvial fan surface roughness with airborne laser swath mapping digital

- topographic data, *J. Geophys. Res. – Earth Surface*, 112, F02025, doi:10.1029/2006JF000644, 2007.
- Glenn, N. F., Streutker, D. R., Chadwick, D. J., Thackray, G. D., and Dorsch, S. J.: Analysis of LiDAR-derived topographic information for characterizing and differentiating landslide morphology and activity, *Geomorphology*, 73, 131–148, 2006.
- Haneberg, W. C., Creighton, A. L., Medley, E. W., and Jonas, D.: Use of LiDAR to assess slope hazards at the Lihir gold mine, Papua New Guinea, in: *Proceedings, International Conference on Landslide Risk Management, Vancouver, British Columbia, May–June 2005*, Supplementary CD, 2005.
- Haugerud, R., Harding, D., Johnson, S., Harless, J., and Weaver, C.: High-resolution Lidar topography of the Puget Lowland, Washington – A Bonanza for Earth Science, *GSA Today*, 4–10, 2003.
- Lin, Z. and Oguchi, T.: Drainage density, slope angle, and relative basin position in Japanese bare lands from high-resolution DEMs, *Geomorphology*, 63, 159–173, 2004.
- Marchi, L. and Cavalli, M.: Riconoscimento dei processi torrentizi in area di conoide e scenari di intensità, in: *La prevenzione del rischio idrogeologico nei piccoli bacini montani della regione: esperienze e conoscenze acquisite con il progetto CATCHRISK, Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione centrale risorse agricole, naturali, forestali e montagna, Servizio territorio montano e manutenzioni*, 113–143 (in Italian), 2005.
- McKean, J. and Roering, J.: Objective landslide detection and surface morphology mapping using high-resolution airborne laser altimetry, *Geomorphology*, 57, 331–351, 2004.
- Rana, S.: Use of Plan Curvature Variations for the Identification of Ridges and Channels on DEM, in: *Progress in Spatial Data Handling*, edited by: A. Riedl, W. Kainz, and G. Elmes, Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, 789–804, 2006.
- Schulz, W. H.: Landslides mapped using LIDAR imagery, US Geological Survey, Seattle, Washington, Open File Report 2004–1396, 11 pp., 2004.
- Staley, D. M., Waskiewicz, T. A., and Blaszczyński, J. S.: Surficial patterns of debris flow deposition on alluvial fans in Death Valley, CA using airborne laser swath mapping, *Geomorphology*, 74, 152–163, 2006.
- Statsoft: STATISTICA System Reference, Statsoft, Inc., 2300 East 14th Street, Tulsa, Oklahoma, USA, 1098 pp., 2001.
- Tarolli, P. and Tarboton, D. G.: A new method for determination of most likely landslide initiation points and the evaluation of digital terrain model scale in terrain stability mapping, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 10, 663–677, 2006, <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/10/663/2006/>.
- Wilson J. P. and Gallant J. C.: *Digital Terrain Analysis*, in: *Terrain Analysis: Principles And Applications*, edited by: J. P. Wilson and J. C. Gallant, John Wiley & Sons, New York, USA, 1–27, 2000.
- Wood, J. D.: The geomorphological characterisation of digital elevation models, PhD Thesis, University of Leicester, UK, <http://www.soi.city.ac.uk/~jwo/phd>, 1996.

6. Monitoring, numerical modelling and hazard mitigation of the Moscard landslide

(Eastern Italian Alps)



Monitoring, numerical modelling and hazard mitigation of the Moscardo landslide (Eastern Italian Alps)

G. Marcato ^{a,*}, M. Mantovani ^a, A. Pasuto ^a, L. Zabuski ^b, L. Borgatti ^c

^a IRPI-CNR Research Institute for Hydro-Geological Hazard Protection, National Research Council of Italy, Padua, Italy

^b IHEPAS Institute of Hydro Engineering, Polish Academy of Science, Gdansk, Poland

^c DICAM Department of Civil, Environmental and Material Engineering, Alma Mater Studiorum, Università di Bologna, Bologna, Italy

ARTICLE INFO

Article history:

Received 21 November 2009

Received in revised form 31 August 2011

Accepted 27 September 2011

Available online 6 October 2011

Keywords:

Numerical modelling

Slope deformation processes

Seismic effects

Landslide hazard assessment

Eastern Alps

ABSTRACT

The Moscardo Torrent basin (Eastern Italian Alps) is a high-risk site, since a large roto-translational landslide might dam the torrent, with the consequence of increasing the possibility of large debris flow events, creating a threat for the infrastructures and the socio-economic activities of the villages that dot the valley below. The landslide, whose volume is estimated 2 million m³, has been monitored since 2006 with inclinometers, electric piezometers and a GPS network. The velocity, along the entire body of the landslide, averages 1.0–1.5 cm per month. The shear surface develops at depths varying from 9 to 10 m to 55–62 m, while the groundwater table is almost constant throughout the year, despite a cumulative rainfall of the area that usually reaches 2000 mm/year. The movements were simulated in a numerical model, in order to estimate the stabilization effect obtained by different types of possible countermeasures. The simulation was carried out using FLAC 2D, with creep modelling. Visco-elasto-plastic model of the medium in the sliding zone was assumed, allowing to determine the relation between time and displacement. A 10-year displacement trend, starting from the initial situation of 2006 was simulated. Moreover, seismic conditions were taken into consideration with a quasi-static approach, by applying a horizontal acceleration. The numerical model was built and validated on the basis of the data retrieved from geological investigations, as well as from inclinometric and GPS measurements. The results show that an accurate and well-planned multidisciplinary approach can help the decision makers in the choice of the most effective engineering solution for the mitigation of landslide hazard and risk.

© 2011 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Debris flows are widespread slope instability phenomena in the eastern Italian Alps (Marchi and D'Agostino, 2004), as the region is characterized by rugged topography, high sediment supply along headwater streams and relatively frequent heavy precipitation events (Ceschia et al., 1991; Borga et al., 2007). Moreover, the outcropping of a fractured and weathered bedrock, together with the high seismicity of the area (Querini, 1977) result in an extensive landslide activity that increase hydrogeological hazard (Takahashi, 1991). In this region it is therefore of paramount importance to map and investigate these processes and landforms throughout the territory and, among these, to identify the sites that need effective preventive measures as well as efficient countermeasure works, in order to minimize the socio-economical impact and landslide risk. The landslide risk management approach, that requires assessment and control of existing risks and of their possible evolution, is widely used to tackle with these

problems (Corominas et al., 2003; Bromhead, 2005; Crozier, 2005; Jakob and Hungr, 2005; Corsini, 2008; Mayer et al., 2008).

The Moscardo Torrent basin represents a high landslide risk site, since a deep roto-translational rock slide of approximately 2 million m³, associated with a Deep-Seated Gravitational Slope Deformation (DSGSD), might dam the torrent, with the consequence of increasing the possibility of dam breaching and large debris flow events that could affect the valley below, in case of inadequate management (Deganutti et al., 2000; Marchi et al., 2002). The slope on the right flank of the Moscardo main stream exceeded the limit-equilibrium conditions, as it results from prominent geological and geomorphological features.

In this study, a monitoring system consisting of 13 GPS benchmarks, 3 inclinometers and 3 piezometers was implemented in order to determine the landslide geometry and to measure the ongoing deformations of the slope. Stress-strain-time numerical modelling of the landslide was then carried out with a continuum two-dimensional (2D) geomechanical simulation code, based on the explicit finite difference method, FLAC2D (Fast Lagrangian Analysis of Continua, ITASCA, 2000). The code allows to simulate large displacements and strains, and both linear and non-linear material behaviors, even if yield or failure over a large area or

* Corresponding author. Tel.: +39 049 8295800.
E-mail address: marcato@irpi.cnr.it (G. Marcato).

total collapse occur. Modelling of coupled groundwater–deformation problems can also be accommodated.

The model of the slope was set up on the basis of underground investigation and monitoring data. Geotechnical parameters were derived by back analysis of the monitored movements.

Numerical modelling has recently become a powerful tool in the characterization of rock slope deformation, failure and post-failure (for a review see Stead et al., 2006). The results can extend the understanding of the sliding mechanisms and therefore the associated risk, together with possible mitigation actions (van Asch et al., 2007).

The potential benefits of lowering groundwater table and increasing stabilizing forces by means of structural countermeasures such as shields of drainage wells and pile-founded and anchored retaining walls were investigated. The effectiveness of the stabilizing works was proved to be very useful in the adopted risk management procedure. The numerical simulation results also provided a feedback for the cost and benefit analyses of the mitigation structures in the area.

All the activities carried out during this study highlighted that with a proper management the landslide hazard could be reduced and its socio-economical impact could be minimized.

2. Geological and geomorphological setting

The Moscardo Torrent basin is located in the eastern Italian Alps, on the north western flank of Mount Paularo, in the Udine Province (Figure 1).

According to Venturini (2002), the rock masses outcropping in the basin, that has an extension of about 5.5 km², are Carboniferous in age and consist in highly fractured and altered flysch, with turbiditic quartz-sandstones and gray shales (“Hochwipfel Formation”), feldspar sandstones and greenish shales with volcanic explosive breccias displaying a low grade metamorphic facies (“Dimon Formation”).

This kind of bedrock appears to be very brittle and prone to erosion. Nevertheless, the lithotechnical characteristics of the bedrock itself are not the only cause of the diverse slope instability phenomena observed in the area. The whole basin is, in fact, involved in a large Deep-Seated Gravitational Slope Deformation (DSGSD), whose long-term evolution contributed to the progressive weakening of the rock mass properties, increasing both the magnitude and frequency of the collateral landslides phenomena, such as secondary slides and debris flows (Pasuto and Soldati, 1990; Agliardi et al., 2001).

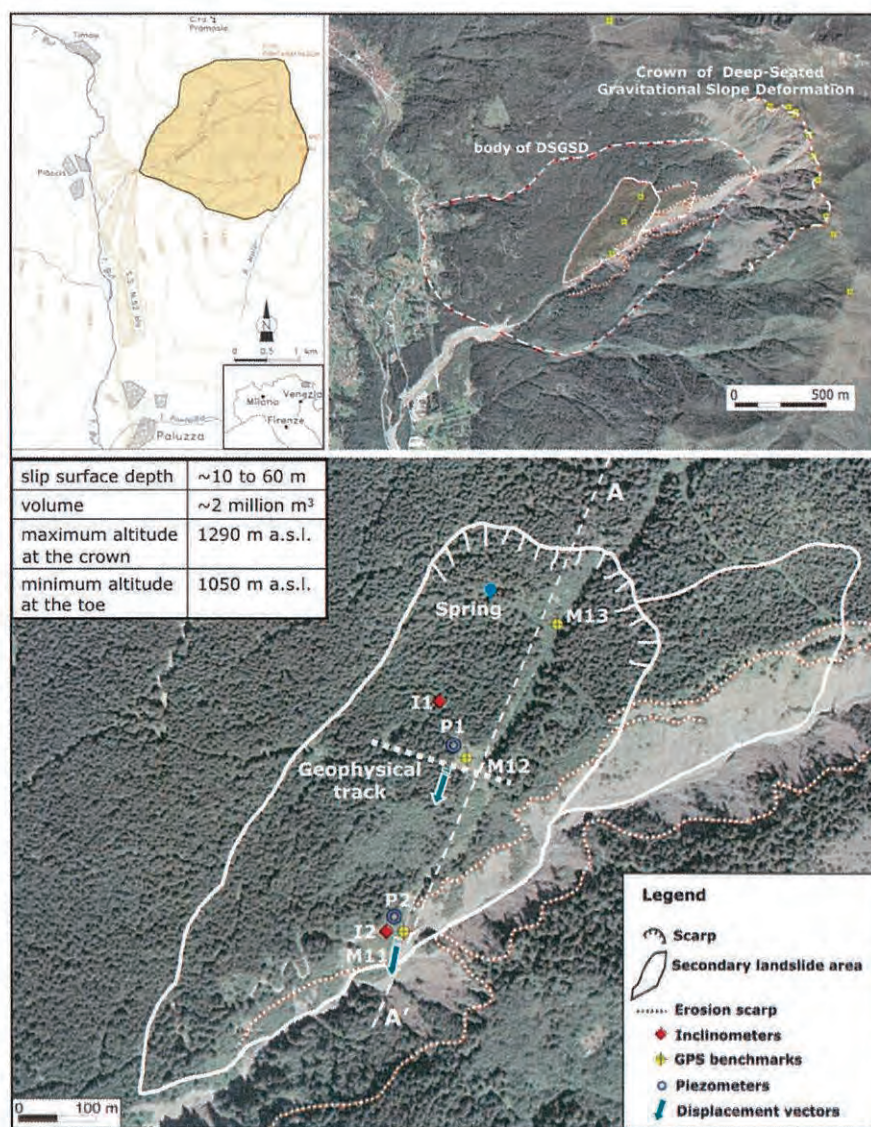


Fig. 1. Moscardo Torrent and the landslides affecting its basin, in the lower part the modeled landslide is represented.

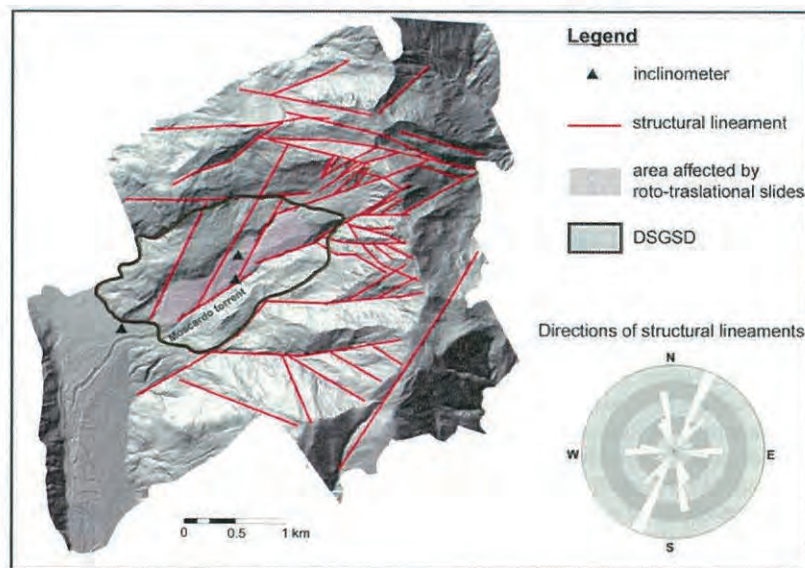


Fig. 2. Shaded relief of the Moscardo Torrent basin. The geosstructural features were interpreted on aerial photographs and on the DTM.

DSGSD can be described as gravitational movements that involve large rock volumes in high relief mountain areas, typically affecting the whole hillslope (Zischinsky, 1966). All the peculiar structural features and morphological evidence associated to DSGSD, as described by Ter-Stepanian (1966), are visible in the area. In particular, double crests, scarps and counter-slope scarps, slope-parallel trenches, bulging in the lower parts of the slope and also small scale landslides, debris flows and talus slope deposits have been mapped during a detailed geomorphological survey, whose results are summarized in Fig. 1. Among these secondary instability phenomena, the Moscardo debris flow has been studied by many authors (Marchi et al., 2002; Cavalli and Marchi, 2008), but only in the last decade the attention was focused also on the secondary landslides affecting the right bank of the torrent, among which the Moscardo roto-translational rock slide.

The kinematic processes involved in the evolution of a DSGSD are still not completely understood, although it is widely accepted that in the initial stages DSGSD show an evolution by gravitational creep (Genevois and Tecca, 1984), characterized by small displacement rates. Nevertheless, the evolution of DSGSD requires necessarily particular structural features that allow the release of major part of the slope. In order to understand this relationship, a geostructural analysis of the study area has been carried out by means of a high resolution Digital Terrain Model (DTM) obtained by a dedicated Airborne LiDAR survey. The results shown in Fig. 2 outline that the DSGSD is clearly controlled by the structural setting. The structural lineaments are mainly oriented NE-SW and are connected to strike-slip faults. This figure can also clarify the predisposing and triggering factors of the Moscardo landslide analyzed in this study, which is triggered by toe erosion by Moscardo Torrent, and is controlled by the presence of linear structural features parallel to those connected with the DSGSD.

In general, the kinematics of the Moscardo landslide appear to be strictly linked to that of the whole slope, as suggested by the continuous downslope increase of activity along the ENE-WSW trending morpho-structures, located above the landslide crown.

Pieces of information on the unstable slope were retrieved also from the analysis of the cores of three boreholes drilled in the landslide body and then equipped with inclinometric tubes (Figures 1 and 2). In borehole I1 (100 m deep) a heterogeneous mixture of loose soil and rock fragments ranging in grain size from clay particles to rock blocks (landslide and DSGSD body) was found down to the depth of 63 m, where the bedrock represented by "Dimon Formation"

is located. Borehole I2 (80 m deep) shows the same sequence, but in this case, mainly due to the stream erosion, the bedrock outcrops at the depth of 10 m. In borehole I3, drilled downslope in the debris flow fan, a 60 m thick layer of alluvial material of Moscardo stream was found.

A geophysical survey with the seismic refraction techniques was carried out in the landslide body, in the vicinity of borehole I1. The results show that two layers can be recognized. The upper layer, with a velocity of 900 m/s, extends down to the depth of 60 m and is ascribable to disintegrated landslide material. This layer tends to thicken from 30 to 60 m going from W to E. The lower layer, from 60 m downwards, displays a velocity in the order of 2200 m/s, which is relatively higher and can be ascribed to the bedrock.

On the basis of these data and of the geomorphological evidence, the landslide has been classified as a roto-translational rockslide and a geotechnical model was built.

3. Monitoring systems

In September 2006 three boreholes equipped with inclinometric tubes and piezometers were installed in the Moscardo Torrent basin; moreover, a GPS monitoring network consisting of 15 GPS benchmarks (2 reference points and 13 benchmarks) was installed in order to measure deformations, eventually caused by the DSGSD and related landslides (Figure 1).

A simulation process, used to define the shape of a reliable network, suggested the number and the location of the reference stations chosen among those areas considered stable from a morphological and geological point of view. The stability of the two reference stations was then periodically cross-checked by post-processing the data acquired during the surveys with those collected from the Cerci-vento permanent station, that is about 5 km faraway. The location of the 13 benchmarks in the Moscardo basin was strictly influenced by the morphology of the area, and by the presence of trees obstructing satellite signals and causing multipath errors; 10 benchmarks were located on the ridge crest of the mountain, close to the crown of the DSGSD and 3 were installed over the landslide. Benchmark M11 was materialized on a check dam built on the main channel of Moscardo Torrent, which is clearly damaged by the deformations caused by landslide movements. Benchmark M12 was placed in the vicinity of borehole I1, and M13 in the upper part of the unstable slope (Figure 1). All benchmarks were installed on concrete pillars and, in

order to guarantee the repeatability of the surveys avoiding positioning errors, a forced centering system was built. Static relative positioning was applied in order to achieve more accurate results (Hofmann-Wellenhof et al., 2001) within an acquisition time of 20 min, 2 s sampling rate and a 15° cut-off angle. During the 3 surveys that were scheduled on October 2006, May 2007 and October 2007 four Leica SR530 dual frequency receivers (12 channels on L1 and 12 channels on L2) were used. Two receivers were positioned on master stations, while the others were moved around all benchmarks collecting data simultaneously. The data were post-processed using precise ephemeris and the troposphere effects were reduced applying the Hopfield model. During each survey, 78 coordinate difference measurements corresponding to 26 baselines were calculated, ranging from minimum of 411 m to maximum of about 2170 m. No significant displacements were recorded between the first two surveys (October 2006 and May 2007), but comparing the first measurement with the third one (October 2007), the deformations occurred over two benchmarks became evident. Pillars M04 and M11 recorded a planar displacement of 2.23 cm and 1.84 cm respectively in 12 month (95% level of confidence). Data collected in M12, M13 are very noisy, due to the presence of high trees close to the pillars and even if the differences of the measured coordinates suggest that deformations occurred, they cannot be considered reliable from a statistical point of view.

During the same period, 5 series of inclinometric readings were carried out in the boreholes I1 and 4 series in I2, located within the landslide body (Figure 1). The data retrieved clearly highlighted the presence of sliding zones at a depth of 55–62 m in I1 and at the depth of 9–10 m in I2. Fig. 3 shows the rate of displacement, which appears to be perfectly constant and equal to 1 cm/month and 1.5 cm/month for borehole I1 and I2, respectively. The fact that the displacement rate derived from the inclinometer is about 10-times higher than the displacement rate derived from benchmark M11, that is very closed to the borehole, is due to the fact that the GPS point has been placed over the shoulder of a concrete check dam, whose foundation are deeper than the sliding surface and hence less deformable than the surrounding materials.

On the basis of displacement rates, the landslide can be described as very slow, with reference to the scale of Cruden and Varnes (1996). Moreover, considering the shape of the curves of the inclinometric readings, it can be assumed that most of the deformation tends to concentrate along a relatively thin shear surface, with a low-grade internal deformation inside the landslide body.

Concerning hydrogeological conditions, electric piezometers P1 and P2 (Figure 1) did not show any relevant variations of the groundwater table level. During two years of continuous measurements (sampling rate was set at 30 min for the whole period), the level remained constant at a depth of 11.3 m in P1 and at 9.9 m in P2, which represents the average level of the Moscardo Torrent.

It is worth to note the presence of a spring (Figure 1) in the head zone of the landslide, at about 1250 a.s.l. The spring has a low average discharge (few l/s), but it is perennial and feeds the torrent.

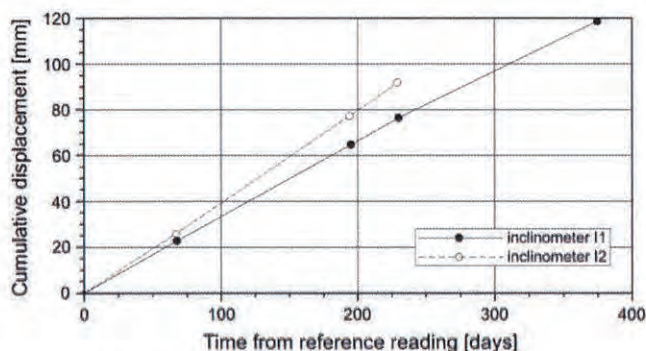


Fig. 3. Cumulative displacement measured in inclinometers vs. time.

The results gathered by the monitoring network provided the geometrical, geomechanical and the kinematic parameters used to build, calibrate and validate the numerical model.

4. Numerical simulation of the Moscardo landslide

In this study, the general objective of the numerical analysis is to provide information on the slope behavior nowadays and in the future, both in natural state (also in case of a seismic event) and after stabilization works.

At the present state of the art, understanding, forecasting and controlling the hazard associated to the different types of mass movements is still a largely empirical task, integrating both qualitative and quantitative analyses of datasets pertaining to several disciplines (e.g., geology, geomorphology, hydrology, hydrogeology, geophysics, geotechnics, etc.) (Van Asch et al., 2007).

At present, a number of research and commercial codes allow for slope stability simulations in different space (2D or 3D) and time (constant or time-dependent) conditions, and with reference to different approaches (continuum equivalent or discontinuous approach).

Numerical modelling is applied to slope stability mainly focusing on two main issues. On the one hand, the evolution of slopes is qualitatively described or back-analyzed with reference to long-term processes, like building of relief, glacier withdrawal and paraglacial response, strength degradation, reactivation mechanisms, etc. (Agliardi et al., 2001; Spickermann et al., 2003; Hermanns et al., 2006; Comegna et al., 2007; Brideau et al., 2009 among many others).

On the other hand, monitoring data are exploited as constrains for short-term modelling, with applications in the field of landslide risk mitigation (Bonzanigo et al., 2001; Tacher et al., 2005; Marcato et al., 2006; Borgatti et al., 2008). In fact, pre-, sin- and post-failure observations and data are fundamental constrains to develop, run, calibrate and validate a model (Crosta et al., 2003). The exploitation of geomorphological evidence and supporting monitoring data is a key issue in all the phases of the modelling, both as input and as feedback (Corominas and Ledesma, 2002).

All these mathematical models describe the relations between the predisposing and triggering factors, as model inputs, and the responses of the slopes, presented as model outputs. However, in most of cases, building up an effective numerical model can be very difficult, due to the complex nature of geologic materials and to the four dimensional pattern of slope movements, including space and time (Brunsden, 1999).

Geomorphological observations can help in the understanding the type of movement (kinematics, temporal and spatial distributions, etc.), which is important for the selection of relevant hypotheses in the modelling of the system and in the evaluation of results (Dikau et al., 1996).

In order to gain a quantitative assessment of landslide hazards, simulations based on both long- and short-term modelling of slope evolution, integrating many sources of knowledge (geomorphological, geotechnical, geophysical and hydrological analyses), and conducted with probabilistic approaches are essential tools to account for the variability of driving factors and for the uncertainties of their measurements.

4.1. Model set up

In this study, the modelling of Moscardo landslide was based on geological, geomorphological, geophysical and monitoring data that have allowed the evolution of the slope process to be analyzed in natural and engineered conditions. Sets of mitigation works have been simulated in both different layouts and in different scenarios, in order to propose the most efficient countermeasures.

The numerical simulation has been carried out with the code FLAC 2D (Fast Lagrangian Analysis of Continua, ITASCA, 2000), a continuum two-dimensional finite difference code for modelling soil, rock and structures behavior, provided with the creep option.

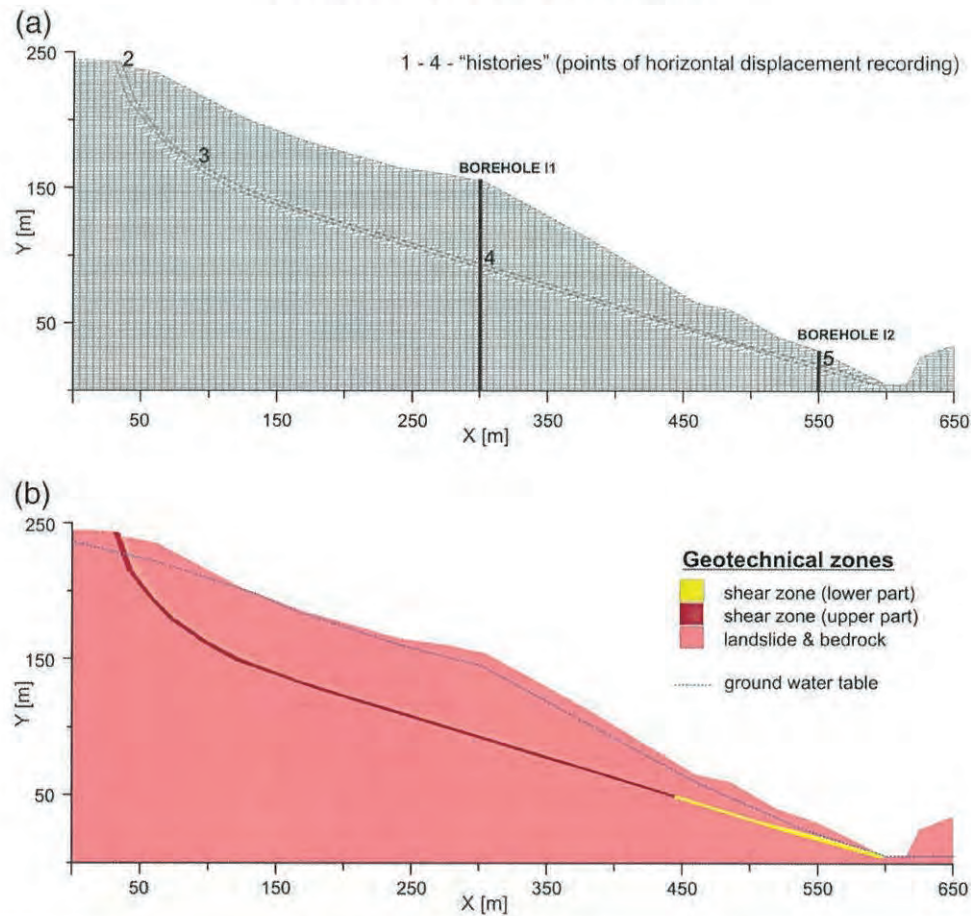


Fig. 4. Numerical model of the slope. (a) Finite difference mesh. The location of the boreholes (and inclinometers) I1 and I2 is represented, together with the location of marker points used to follow the histories of displacements (points 2 to 5); (b) Division of the slope model into geotechnical zones. The landslide body and the bedrock are modeled as elastic, while the shear zone is modeled as visco-elasto-plastic and is divided into two different sectors, upper and lower.

The simulation was carried out on a NE-SW cross section, that can be considered representative of the slope, before and after the eventual building of the different sets of mitigation measures (Figure 1).

The numerical model of the slope was based on the geomechanical one, which is in turn based on data from boreholes and inclinometric measurements. Since the geological structure of the slope is relatively simple, the geotechnical and numerical models did not need to be very complex. According to the results retrieved by the inclinometric data, the landslide moves approximately as a block and the shear strain is concentrated in a relatively thin slide zone. Hence, the assumption that plastic and viscous behavior characterize this zone, whereas both the bedrock and landslide block are elastic, is fairly reasonable.

Hence, the slope was divided into 3 parts, i.e., bedrock, landslide and a narrow slide zone between them, whose thickness has been considered of 1.5–2 m.

The cross-section was divided into finite difference zones and stress and deformation were calculated for each of them. The main sliding zone was modeled by means of appropriate modification of the grid geometry, to simulate the 2 m thick shear band. The uniaxial tension strength for all layers is set to zero. The initial state of stress is that induced by the material weight at rest and the classic displacement-type boundary conditions were applied (fixed bottom and no lateral horizontal displacements allowed).

The initial hydraulic conditions are induced by the groundwater table, as interpreted by piezometric data and surface evidence (i.e. location of the spring and of the torrent). The assumption was that of a changing parabolic groundwater table profile intersecting the slope profile at the elevation of the spring. The changes of

groundwater conditions have been simulated by imposing boundary conditions with different hydraulic head values during the different steps of the simulation.

As far as constitutive laws are concerned, it was assumed that the Mohr–Coulomb failure criterion determines the plasticity limit and visco-elasto-plastic Burger creep model the viscosity in the sliding zone, allowing the relation between time and displacement to be determined (Jaeger, 1969; Langer, 1979; Dusseault and Fordham, 1993; ITASCA, 2000; Zabuski, 2004; Marcato et al., 2008).

According to the reference data gathered so far, some assumptions were introduced into the numerical model. As the description of the media from the geotechnical point of view was not sufficient to build the proper model a priori, a "trial and error" procedure was followed in calculations. For example, the parameter distribution along the sliding surface was determined thanks to application of this procedure; the criterion leading to the appropriate model was the relative agreement of the simulation results with the field observations and monitoring data. The displacement field, reconstructed from monitoring data was used to calibrate the results of calculations.

Since the displacements calculated in preliminary simulation trials were significantly different from those retrieved by the inclinometers, it was necessary to assume some geotechnical heterogeneity of the material along the shearing zone, in order to obtain the agreement between measurements and calculation results. It was then necessary to determine the values of 14 parameters to characterize the medium in the shear zone (7 for each of the two parts, as shown in Figure 4b), i.e. elasticity Maxwell and Kelvin modulus, Poisson coefficient, plasticity parameters — cohesion and angle of friction and two coefficients of

Table 1

Geotechnical parameters in the two sectors assumed to model the shear zone. The parameters of the bedrock and of the landslide body are not relevant as they have no influence on the landslide process according to the assumed conceptual model.

Shear zone	Maxwell modulus of elasticity E_m	Kelvin modulus of elasticity E_k	Poisson coefficient	Cohesion c	Angle of friction ϕ	Maxwell viscosity coefficient η^m	Kelvin viscosity coefficient η^k
	[kPa]	[kPa]		[kPa]	[°]	[kPa s]	[kPa s]
Upper	10^6	5×10^6	0.3	68.6	33.5	10^{16}	10^{16}
Lower	10^6	5×10^5	0.3	38	33.5	1.05×10^{11}	1.05×10^{11}

viscosity (in Maxwell and Kelvin models). Many calculation trials were done to find the best fitted set of parameters. The set of parameters found using back analysis is listed in Table 1.

It should be mentioned that some other combinations allowed also for the positive calibration, and engineering judgment and data from literature helped to determine the set of parameters used in the following stages of simulation. In any case, viscous parameters are difficult to be assessed. Creep laboratory tests could be useful, but both the scale effect due to the dimensions of the sample if compared to the shear surface, and the time-scale effect due to the effective duration of the test if compared to the natural creep process in the slope cannot be overcome. Therefore, the study of these phenomena is based on a limited set of experimental data.

Some more comments are necessary on the differences of the cohesion and viscosity parameters between lower and upper part of the shear surface. If these parameters were assumed as identical, the simulated displacement in borehole I1 would have been much greater in comparison with the displacement in borehole I2, but this is not confirmed by the results of the inclinometric surveys. Therefore, in order to avoid this discrepancy, the decreasing of the quality of the lower portion of the shear zone was done with the help of trial-and-error method. The weakening lower part results from the smaller overburden, causing a more intensive rock mass loosening, that have negative influence on the rock mass quality.

The finite difference mesh and the locations of the four markers chosen as horizontal displacements recording points are presented in Fig. 4a. The division of the slope model into geotechnical zones is shown in Fig. 4b.

5. Numerical simulation of the Moscardo landslide: natural slope

5.1. Natural slope in static conditions

The simulation procedure of the slope deformation in natural, actual state was divided into two parts. The first one served for the determination of the model parameters and the results of inclinometric measurements helped to verify their appropriateness. The agreement of the measured and simulated displacements in the boreholes after 67 days (between the reference and the first measurement, carried out respectively on 5.10.2006 and on 11.12.2006) and after 194 days (between the reference and the second measurement on 18.04.2007) was satisfying. After the values of parameters were established, the second part of the simulation was performed, in which the determination of the future displacement of the slope was done. The considered periods for the forecasting were: 1 year, 2 years, 5 years and 10 years.

In Fig. 5 the horizontal displacement in the first year for recording points 4 and 5 is presented. The displacement in the lower part of the slope slightly predominates and it agrees with the displacement measured in I1 and I2 borehole, as presented in Fig. 3. In Fig. 6 the horizontal displacement field in the first simulation trial are shown, while in Fig. 7 the field of the predicted 10-year horizontal displacements is presented. The deformation process is mostly active in the lower part of the slope. It has to be noticed that the simulated changes of the slope shape (i.e., decreasing of the steepness) do not cause any stabilization effect.

The comparison of measured and calculated displacement in the boreholes I1 and I2 is shown in Fig. 8. The curved lines in the figure correspond with measured values, whereas straight lines with calculated displacements. The differences are small and the displacements measured as well as those simulated increase with a linear trend. This means that the course of predicted displacements will be approximately similar in the future, if any unexpected phenomena (e.g., seismic shocks) will eventually occur.

5.2. Natural slope in seismic conditions

The behavior of rock and soil structures in seismic conditions is frequently analyzed using pseudo-dynamic methods (e.g., Ling and Leshchinsky, 1995; Ausilio et al., 2000; Choudhury and Singh, 2006). However, the pseudo-static approach is widely accepted with reference to slopes, retaining walls and foundations (San and Leshchinsky, 1994; Ling, 2001; Askari and Farzaneh, 2003; Loukidis et al., 2003; Tien-Chien et al., 2004; Baker et al., 2006; Choudhury and Syed, 2007; Munwar Basha and Basudhar, 2010). Some authors compared the results obtained with both solutions, concluding that the pseudo-dynamic approach yields less conservative results if compared to the pseudo-static one (Choudhury and Syed, 2008). In the above listed references, the influence of horizontal, and/or vertical acceleration (which is important in the case of steep slopes) as well as some rock parameters, as friction angle was investigated with reference to the seismic behavior. Quantitative results are rare and the inherent difficulties in extrapolating the results from one specific site to other areas are underlined.

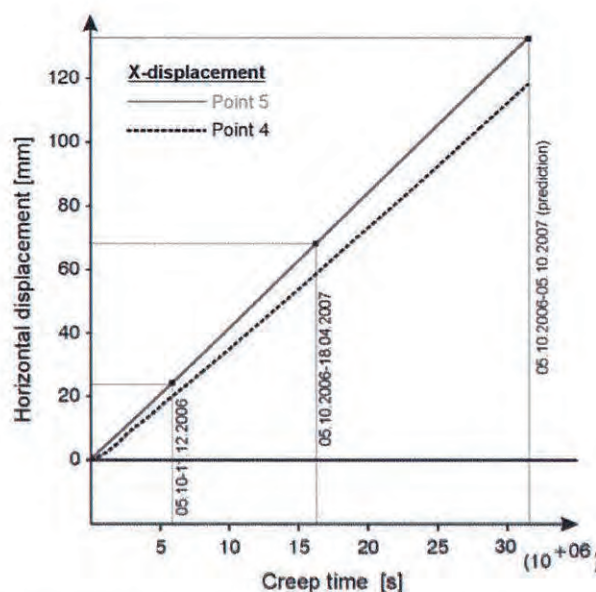


Fig. 5. Horizontal displacement in the creep process (simulation period = 1 year).

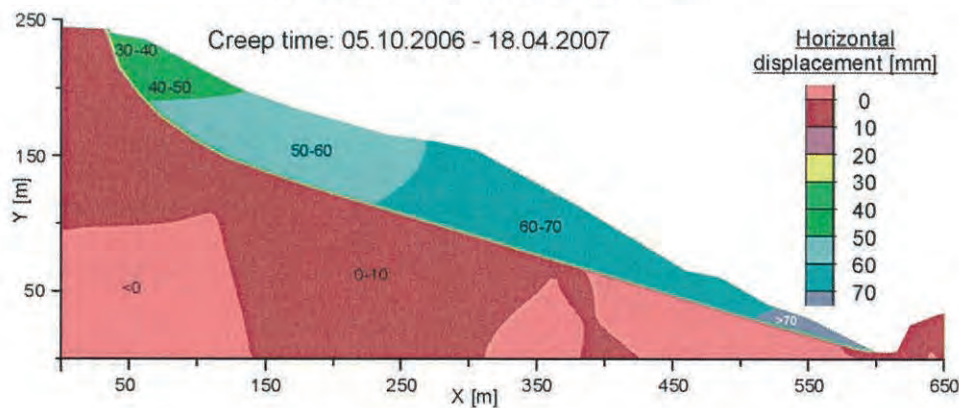


Fig. 6. Field of horizontal displacement in the creep simulation.

In the case considered in this paper, the seismic effects due to potential earthquakes were modeled in pseudo-static mode, by applying an acceleration component a_h in horizontal direction. The acceleration a_h , that is expressed in terms of the Earth gravity acceleration g (in %), was applied with a range varying from 1.5% to 5% of g to the natural slope gravity condition. However, this value appears to be exceptionally high, and in the Authors opinion it was more logical to assume lower values, in order to avoid overestimation of the countermeasure characteristics.

The viscous behavior was not considered in this analysis and only plasticity phenomena were taken into account in the framework of the elasto-ideally plastic model. This assumption is due to the short duration of seismic shocks, in comparison with the persistency of long-lasting creep, so that plastic deformations noticeably prevail during a short period.

After the addition of the horizontal component of the acceleration, the deformation process suddenly accelerates and the slope changes extensively, accordingly to the acceleration magnitude (Figure 9). The intensity of the displacement significantly increases, when a_h is greater than 2.0–2.5% of g . The torrent appears to be dammed when $a_h > 3\%$ of g . Fig. 10 presents the horizontal displacement field and the final shape of the slope for $a_h = 5\%$ of g . These results highlight that even small earthquake can cause extensive failure of the slope and consequently the damming of the Moscardo Torrent.

On the basis of a study by Bragato and Slejko (2004), the expected seismic acceleration in the area could reach 28% of g and is significantly greater than the acceleration causing the extensive landsliding. In this framework, remedial measures have to be considered, to avoid high risk conditions. The countermeasures were designed and numerically

tested under the assumption that they should be effective with acceleration reaching 28% of g .

6. Numerical simulation of the Moscardo landslide: engineered slope

An important task in the frame of risk management is to propose countermeasure works, that can stabilize unstable slopes and to evaluate their effectiveness in the medium- to long-term. In this study, a 10 year-displacement trend was simulated and different types of permanent structural mitigation works were tested, namely vertical drainage wells or sub-horizontal drains, eventually coupled with tied-back retaining walls founded on piles, located in distinct key areas of the landslide.

In the normal practice, the wells are drilled close each another, in order to create a sort of drainage front. Each well can be connected to its neighbor with a basal sub-horizontal drain. These systems normally drain by means of gravity flow; however, pumps can also be used in order to remove water from low-level collectors in case of intense rainfalls. The water drained by the wells and collected by the outlet drains can be conveyed to the streams by a pattern of diversion ditches.

In the highly disarranged rock masses of the landslide body the permeability can be estimated in the order at least of $1.0E-7$ m/s. This ensures the efficiency of the designed measures that however is generally achieved some months after the implementation of the drainage system. To avoid damage in case of reactivation and/or acceleration of the landslide, the drainage wells can be coupled with reinforced concrete walls founded on bored-in place contiguous piles. The reinforcement can be guaranteed by tied-back anchors,

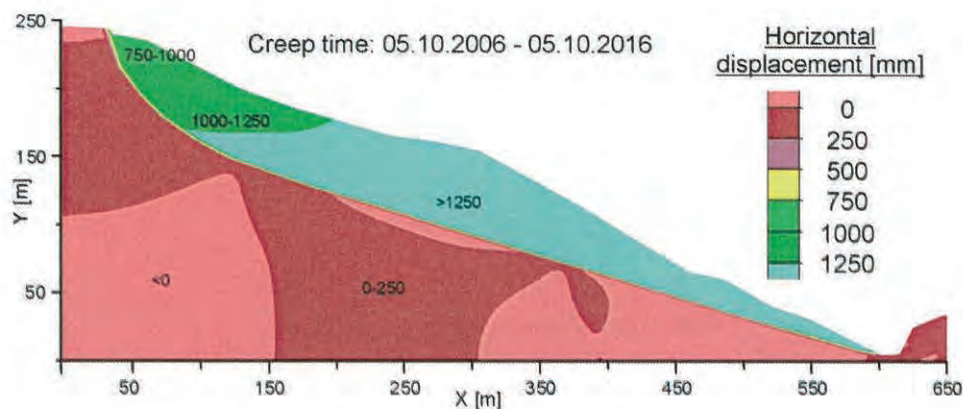


Fig. 7. Field of predicted horizontal displacement after 10 years.

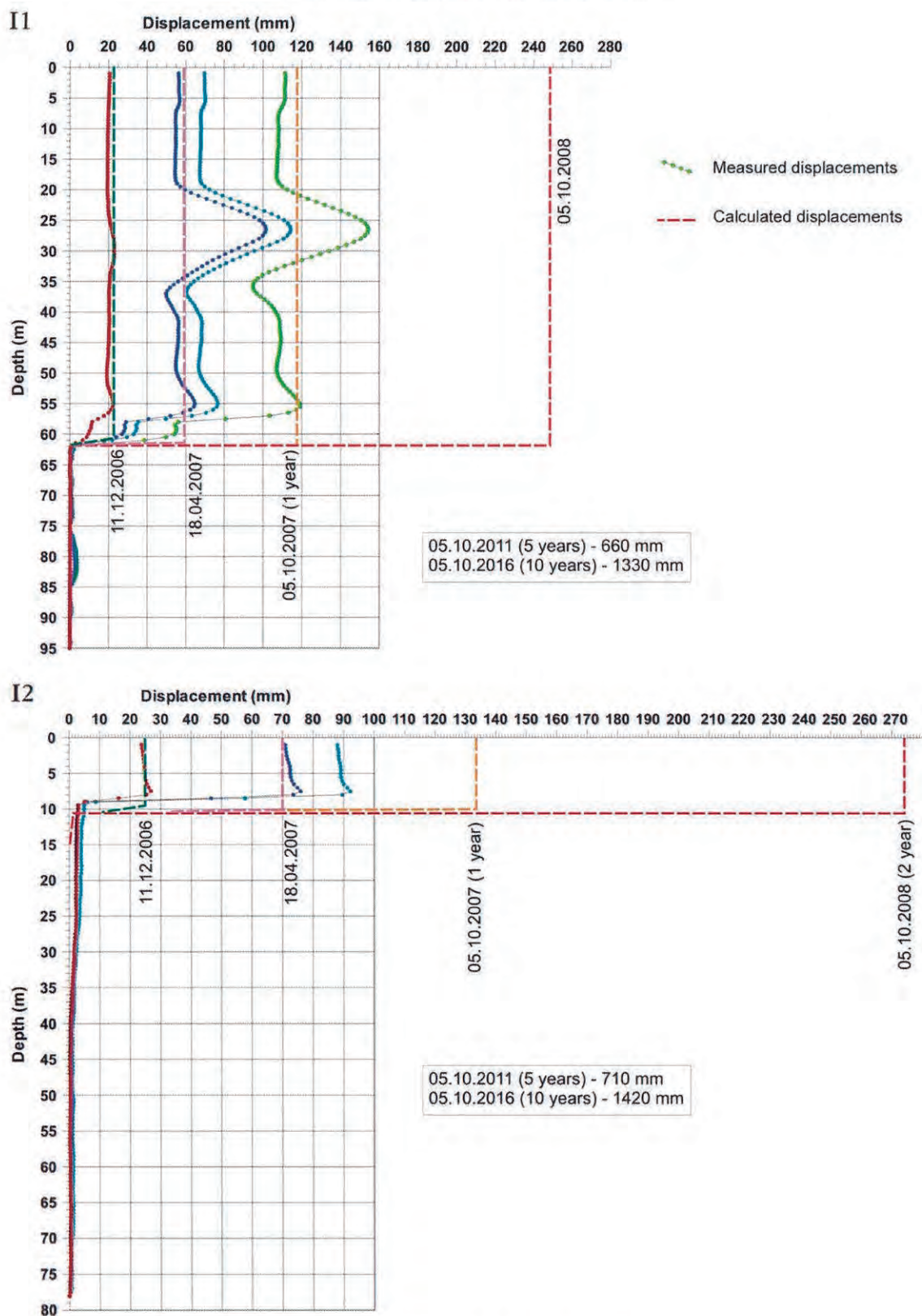


Fig. 8. Comparison of measured and simulated displacement.

installed and tensioned against the face of the wall. Considering the geological and geomorphological context, it is clear that this kind of rigid structures might suffer damages in case of major reactivations

of the rockslide front and/or earthquakes. It is worthy to stress the fact that, beside operating as actual retention systems, the walls have also the key function to guarantee the protection of the drainage

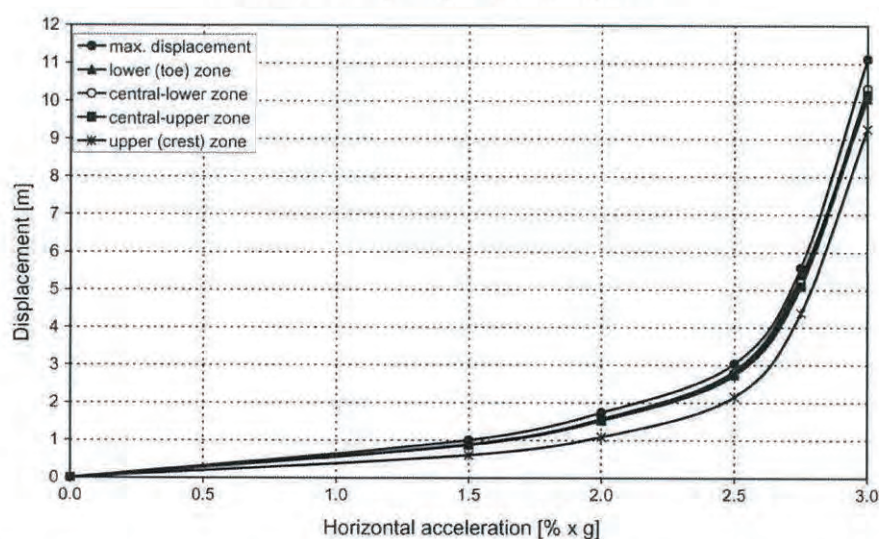


Fig. 9. Horizontal displacement vs. horizontal acceleration during the earthquake on the slope without countermeasures.

wells, which are in turn stabilizing the slope by lowering the groundwater level, thus reducing driving forces and improving the visco-plastic properties of the materials.

6.1. Simulation of different drainage systems

Two possible drainage systems were considered in the numerical simulation: the first one comprises vertical wells 60 m or 35 m deep; the wells are supposed to be located in the middle part of the slope (Figure 11a). A second system is composed of sub-horizontal drains, located at the height of about 100 m with respect to the local reference system (Figure 11b).

The vertical wells are ideally constructed continuously in time down to the depth of about 60 m, i.e. to the depth of the sliding surface. Numerical modelling was divided into 5 simulation steps. The first one begins after a 2-year-creep period, which is the expected time between beginning of the countermeasures installation and their full functioning. The time of creep for each step is equal to 6 months, except for the final one, which persists from 4 to 12 years. The groundwater level lowering due to the vertical drainage is shown in Fig. 11a.

In Fig. 12a the curves of horizontal displacement versus creep time are displayed for the 4 chosen marker points. The continuous lines represent the original situation (i.e., without drainage) while the

dotted lines shows the effects with a series of 60 m deep vertical wells. The influence of the wells on the displacements is clearly evident. The drained slope after few years becomes stable, whereas displacements of natural slope increase approximately with a linear trend.

These results can help to consider the drainage by means of vertical wells as one of the possible way to stabilize the slope. However, from the practical point of view, drilling 60 m deep holes is difficult and expensive and the effectiveness and duration of long wells is not guaranteed on the long term, especially in case of ongoing, even if slow, deformations. Therefore, the influence of 35 m deep holes was investigated. After a 12-year simulation, the overall stability of the slope is worst if compared to the former solution — especially in the lower part of the slope. The horizontal displacement field has a similar distribution to with respect to the former case, but the displacement values are somewhat higher. In any case, the displacement increments become very small after few years creep.

The sub-horizontal drains are about 40 m long (Figure 11b). This technical solution is cheaper in comparison to the vertical wells, having also the advantage that a pumping system is not necessary. They are introduced in the model after 2-year-creep and the simulation is continued until a 12-year period is reached. As seen in Fig. 11b, three simulation trials were carried out, with different groundwater levels.

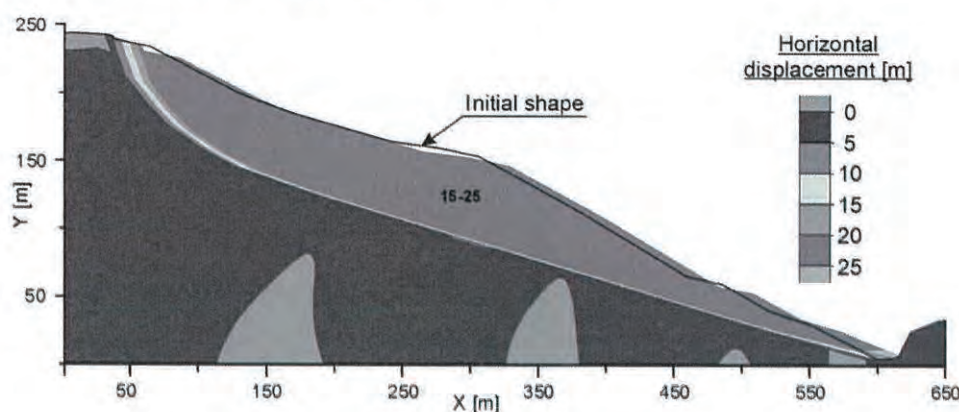


Fig. 10. Horizontal displacement field after the earthquake, $a_h = 5\%g$.

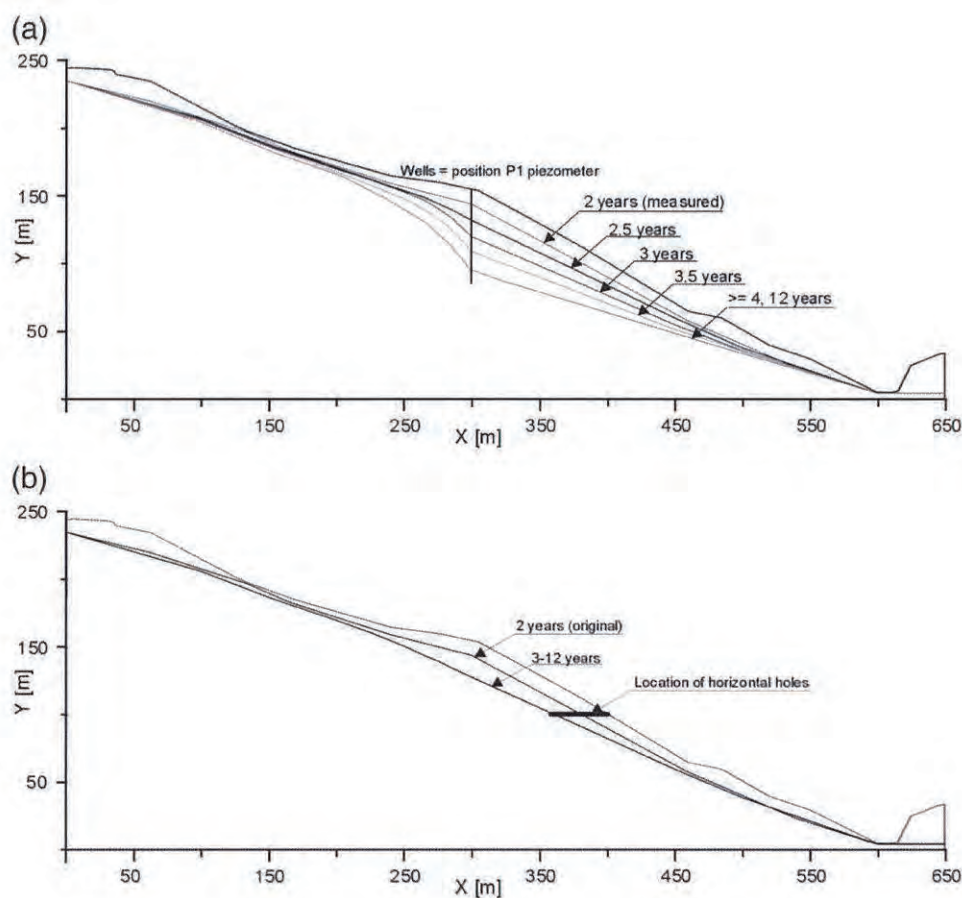


Fig. 11. Steps of ground water table lowering in numerical simulation (a) vertical wells; (b) sub-horizontal drains.

The displacement curves of the markers are presented in Fig. 12b. It is evident that this drainage solution by sub-horizontal drains is not very efficient and does not provide a proper stabilization of the slope, even if longer sets of drains could probably provide better effects. The horizontal displacement field proves that the slope moves approximately homogeneously, especially in the middle part. The upper region is also very unstable; therefore, this kind of drainage is not adequate to stabilize the whole slope.

6.2. Simulation of retaining structures

A pile-founded and anchored retaining wall, reaching a depth of 15 m is modeled in the lower part of the slope, in the proximity of bore-hole I2. The wall intercepts the sliding surface and it is fixed to stable bedrock, for about 3 m (Figure 13). It was assumed that the retaining wall is composed of reinforced concrete, so it can be considered elastic, with the modulus of elasticity equal to $E_w = 20,000$ MPa, and it is constructed. The pile diameter is equal to 0.8 m and the spacing between the shafts is 1.0 m.

Two simulation trials were carried out:

- Retaining wall and sub-horizontal drains;
- Retaining wall and vertical drainage wells, with a depth of 35 m.

The results of the simulation highlighted that the wall influence is restricted to the lower region, thus, in order to be effective for the entire slope, it has to be coupled with a drainage system.

The horizontal displacement curves corresponding to the markers proving the stabilization effect are shown in Fig. 14a. Like in the former cases, a concentration of horizontal displacement can still be observed in

the lower part of the slope. Since the wall affects the homogeneity of the modeled rock mass, some irregularities can be noticed, proving the efficiency of the countermeasure. It can be noticed that even the wall undergoes quite large horizontal displacements, in the order of 8 cm.

The stabilization is also assured if the slope is drained with vertical drainage wells 35 m deep and supported by the designed retaining wall. The curves of horizontal displacement in correspondence of the markers versus creep time are shown in Fig. 14b. After the installation of countermeasures, the movement rate decreases and the total displacement shown by marker 5 is equal to about 7–8 cm in 10 years. The displacement increments after 3–4 years creep are small and can be neglected. The composed action of the drainage wells and the retaining wall stabilizes the slope efficiently (Figure 15).

The maximum value is slightly greater with respect to the case of sub-horizontal drains, but the displacement of the wall is significantly smaller (4.85 cm compared to the 8.2 cm of the former case). The cumulative displacement of the wall equals to 4.85 cm, but the relatively low strain gradient does not induce failure in the reinforced concrete wall. It was found that maximum displacement develops in the lower part of the slope, but the deformation increments disappear and thus the slope is theoretically stable.

6.3. Effects of a seismic event on the engineered slope

The effect of a horizontal acceleration caused by a seismic event, with a value ranging from 0% to 100% of g , was tested with reference to seismic data on the maximum acceleration of past seismic events from Bragato and Slejko (2004), i.e. 28% of g . Taking into account this value it was possible to limit the range of the simulations to 5–

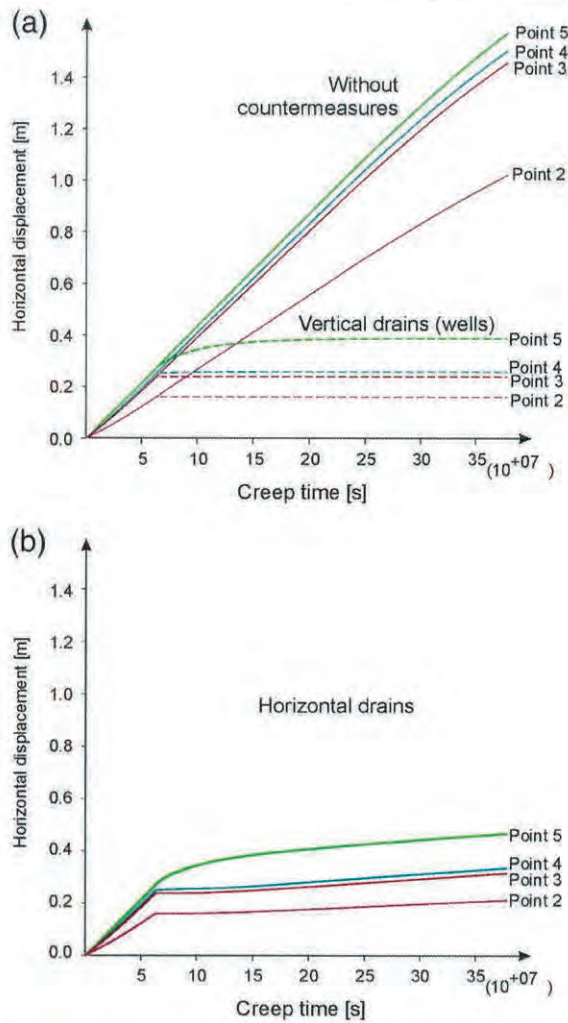


Fig. 12. Horizontal displacement in the creep process; (a) vertical wells 60 m deep; (b) sub-horizontal drains.

30% of g . However, it is interesting to notice that the relation of displacements vs. acceleration is not linear and that the influence of the rate of acceleration decreases in case of its higher values.

The countermeasures system composed of vertical drainage wells and a retaining wall was considered. The calculation procedure was the same as in case of the slope in natural conditions.

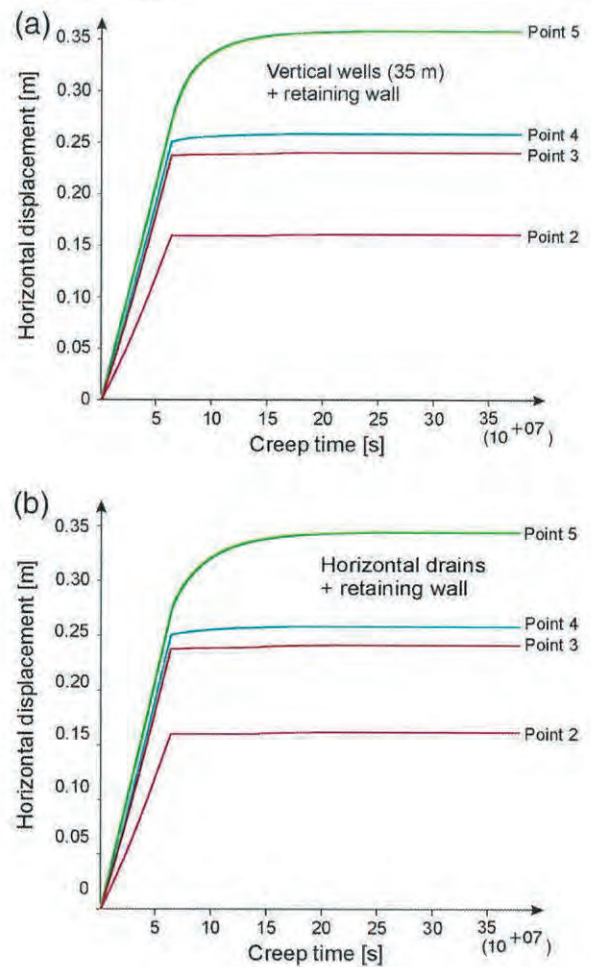


Fig. 14. Horizontal displacement in the creep process; (a) sub-horizontal drains and retaining wall; (b) 35 m deep vertical wells and retaining wall.

The results plotted in terms of displacement curves in the different parts of the slope as a function of the accelerations are shown in Fig. 16. The positive effect of the retaining wall is clearly visible, as the horizontal displacement in the lower part of the slope, where the recording point 5 is located (near the retaining wall, see Figure 4a), is more or less two times smaller than the displacements in its central and upper part.

The effect of the wall is evident, especially its influence on the lower part of the slope. However, according to the assumptions in

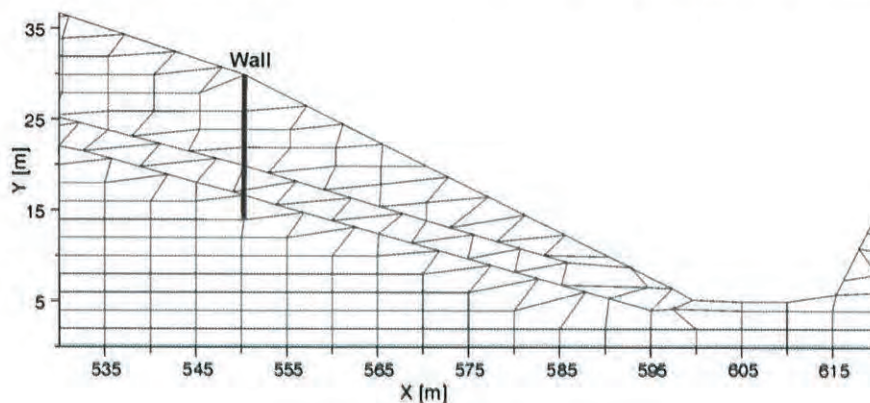


Fig. 13. Location of retaining wall, in the vicinity of I2 borehole.

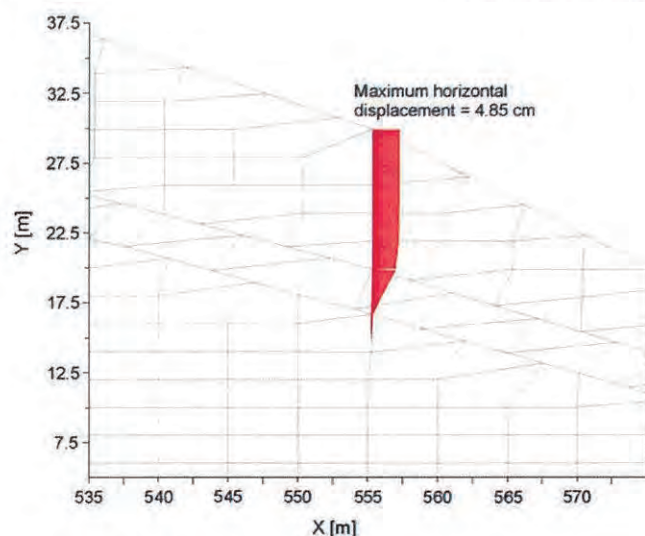


Fig. 15. Horizontal displacement of the retaining wall.

the geomechanical model, the wall is elastic and, despite of the deformation magnitude, it cannot fail. This assumption is therefore not realistic and more reasonably it should be stated that the wall can bear the effects of an earthquake with an acceleration not greater than a_h , equal to 20–30% of g . An extensive steel reinforcement of the wall is recommended in order to avoid an inelastic behavior and subsequent damage.

7. Final remarks and conclusions

This study deals with the numerical modelling of a large roto-translational rock slide, that might dam the Moscardo Torrent, with the direct consequence of increasing the possibility of floods induced by dam breach and debris flow events, threatening the infrastructures and the socio-economic activities of the villages located downstream.

The geomechanical model was constructed exploiting the vast amount of data retrieved from the geological investigations and the monitoring network, which allowed to determine the geometry of the moving mass, the hydrogeological conditions and the magnitude of the displacements in different sectors of the slope. The numerical

modelling of the phenomenon with the finite difference code FLAC 2D provided with creep option (ITASCA, 2000) was calibrated using monitoring data and has allowed on the one hand the evolution of the process to be investigated and on the other hand the efficiency of the engineered slope to be assessed.

The numerical analysis had to deal with three issues, namely:

- the prediction of the future behavior of the slope;
- the proof of the effectiveness of the countermeasures: drainage systems and retaining structures, and the evaluation the most effective solution for the stabilization of the slope;
- the verification of the influence of an earthquake on the slope behavior, without and with countermeasures.

Despite the necessary simplifications the model seems to fit well to the reality and the numerical analysis provides important pieces of information on the behavior of Moscardo roto-translational slide.

The creep simulation in static conditions predicted a monotonous and linear deformation process. Under these conditions, the probability of a sudden failure of the slope with the consequent damming of the Moscardo Torrent is relatively low, even if acceleration of the movements is case of extreme meteoroclimatic cannot be totally excluded.

In this situation, the design and construction of any countermeasure work could be considered excessive since, even if it could in theory stop completely the deformation, the cost/benefit ratio would be indeed too high.

The situation overturns if the seismic effects are taken into consideration. Earthquakes generating an horizontal acceleration $a_h > 3.5\%$ of g would deform the slope very intensively, causing its failure and the subsequent damming of the torrent. In this particular case, the building of a drainage system supported by the construction of a retaining wall could improve the stability of the slope, especially in its lower part, bearing horizontal acceleration up to 20–30% of g . Under these conditions countermeasures become necessary, as they significantly decrease the possibility of slope failure.

The most valuable result of the numerical modelling is the simulation of landslide behavior in its stages of development, starting from the present and under subsequent changing conditions, i.e. after the introduction of sets of countermeasure works. Scenarios of different types of remedial works placed in different locations were analyzed in order to assess the most effective one.

This study shows that geological and geotechnical surveys, together with an efficient monitoring system, are essential for a reliable numerical modelling, demonstrating that an accurate and well-

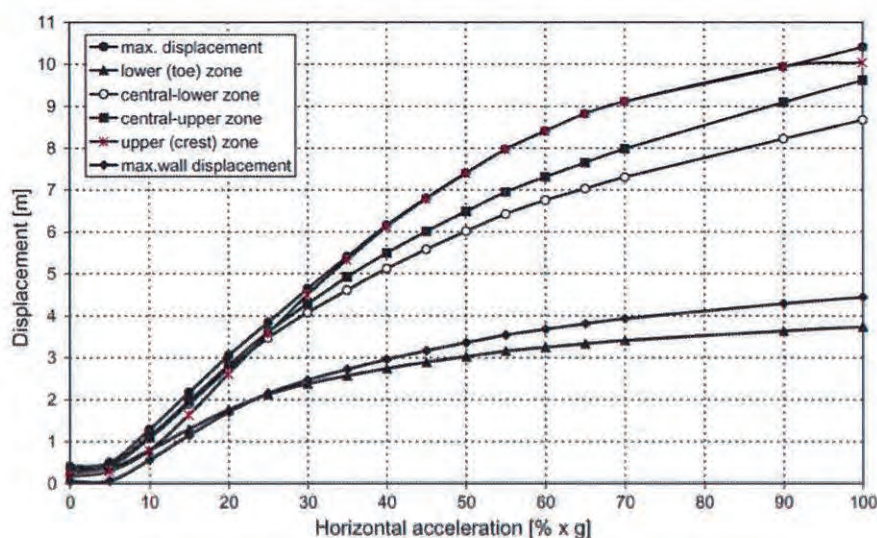


Fig. 16. Displacement of the stabilized slope vs. horizontal acceleration triggered by earthquake.

planned multidisciplinary approach can lead to a better management of landslide hazard, providing the general guidelines for its mitigation. The results of this methodology can assist decision makers in the choice of the more effective engineering solutions that can be analyzed in terms of costs and benefits.

References

- Agliardi, F., Crosta, G., Zanchi, A., 2001. Structural constraints on deep-seated slope deformation kinematics. *Engineering Geology* 59, 83–102.
- Askari, F., Farzaneh, O., 2003. Upper-bound solution for seismic bearing capacity of shallow foundations near slopes. *Geotechnique* 53 (8), 697–702.
- Ausilio, E., Conte, E., Dente, G., 2000. Seismic stability analysis of reinforced slopes. *Dynamics and Earthquake Engineering* 19 (3), 159–172.
- Baker, R., Shoukha, R., Operstein, V., Frydman, S., 2006. Stability charts for pseudo-static slope stability analysis. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 26 (9), 813–823.
- Bonzanigo, L., Eberhardt, E., Loew, S., 2001. Hydromechanical factors controlling the creeping Campo Vallemaggia landslide. *Landslides – Causes, Impacts and Countermeasures*, 17–21 June, Davos, Switzerland, pp. 13–22.
- Borga, M., Boscolo, P., Zanoni, F., Sangati, M., 2007. Hydrometeorological Analysis of the 29 August 2003 Flash Flood in the Eastern Alps. *Journal of Hydrometeorology* 8, 1049–1067.
- Borgatti, L., Corsini, A., Marcato, G., Ronchetti, F., Zabuski, L., 2008. Appraise the structural mitigation of landslide risk via numerical modelling: a case study from the northern Apennines (Italy). *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards* 2 (3), 141–160 1749–9526.
- Bragato, P.L., Slejko, D., 2004. Empirical ground motion attenuation relations for the Eastern Alps in the magnitude range 2.5–6.3. *Bulletin of the Seismological Society of America* 95, 252–276.
- Brideau, A., Yan, M., Stead, D., 2009. The role of tectonic damage and brittle rock fracture in the development of large rock slope failures. *Geomorphology*, Volume 103, Issue 1, Dating, triggering, modelling, and hazard assessment of large landslides, 30–49.
- Bromhead, E.N., 2005. Geotechnical structures for landslide risk reduction. In: Glade, Th., Anderson, M., Crozier, M.J. (Eds.), *Landslide Hazard and Risk*. John Wiley & Sons, pp. 549–594.
- Brunsdon, D., 1999. Some geomorphological considerations for the future development of landslide models. *Geomorphology* 30, 13–24.
- Cavalli, M., Marchi, L., 2008. Characterisation of the surface morphology of an alpine alluvial fan using airborne LIDAR. *Natural Hazard and Earth System Sciences* 8, 1–11.
- Ceschia, M., Micheletti, S., Carniel, R., 1991. Rainfall over Friuli Venezia Giulia: high amounts and strong geographical gradients. *Theoretical and Applied Climatology* 43, 175–180.
- Choudhury, D., Singh, S., 2006. New approach for estimation of static and seismic active earth pressure. *Geotechnical and Geological Engineering* 24 (1), 117–127.
- Choudhury, D., Syed, Mohd. Ahmad, 2007. Stability of waterfront retaining wall subjected to pseudo-static earthquake forces. *Ocean Engineering* 34 (14–15), 1947–1954.
- Choudhury, D., Syed, Mohd. Ahmad, 2008. Stability of waterfront retaining wall subjected to pseudo-dynamic earthquake forces and tsunami. *Journal of Earthquake and Tsunami* 2 (2), 107–131.
- Cornegna, L., Picarelli, L., Urciuoli, G., 2007. The mechanics of mudslides as a cyclic undrained–drained process. *Landslides* 4 (3), 217–232.
- Corominas, J., Ledesma, A., 2002. The role of geomorphological input in modelling of geomorphic processes. In: Delahaye, D., Levoy, F., Maquaire, O. (Eds.), *Geomorphology: From Expert Opinion to Modelling*. Strasbourg, France.
- Corominas, J., Copons, R., Vilaplana, J.M., Altimir, J., Amigó, J., 2003. From landslide hazard assessment to management. The Andorra experience. In: Picarelli, L. (Ed.), *International Conference on Fast-Slope movement. Prediction and Prevention for Risk Mitigation, IC-FSM2003*, Bologna, pp. 111–118.
- Corsini, A., 2008. Monitoring methods: systems behind a safer environment. In: Mayer, R., Bohner, A., Plank, C., Marold, B. (Eds.), *Results of the International Conference Monitor/08. Agricultural Research and Education-Centre Raumberg-Gumpenstein, Irtding, Austria*. ISBN: 978-3-902559-19-7, pp. 47–54.
- Crosta, G.B., Imposimato, S., Roddeman, D.G., 2003. Numerical modelling of large landslides instability an run out. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 3, 523–538.
- Crozier, M.J., 2005. Management framework for landslide hazard and risk: issue and option. In: Glade, Th., Anderson, M., Crozier, M.J. (Eds.), *Landslide Hazard and Risk*. John Wiley & Sons, pp. 331–350.
- Cruden, D.M., Varnes, D.J., 1996. Landslide type and processes. In: Turner, A.K., Shuster, R.L. (Eds.), *Landslide Investigation and Mitigation*. Natl. Acad. Press, Washington, D.C., pp. 36–75.
- Deganutti, A.M., Marchi, L., Arattano, M., 2000. Rainfall and debris flow occurrence in the Moscardo basin (Italian Alps). In: Wiecek, G., Naeser, N. (Eds.), *Proceedings, First International Conference on Debris Flow Hazard Mitigation: Mechanism, Prediction and Assessment*. Balkema, Rotterdam, pp. 67–72.
- Dikau, R., Brunsden, D., Schrott, L., Ibsen, M. (Eds.), 1996. *Landslide Recognition*. Wiley & Sons, Chichester, 251 pp.
- Dusseault, M.B., Fordham, C.J., 1993. Time-dependent behaviour of rocks. In: Hudson, J.A. (Ed.), *Comprehensive Rock Engineering: Principles, Practice and Projects*, 3, pp. 119–150.
- Genevois, R., Tecca, P.R., 1984. Alcune considerazioni sulle “deformazioni gravitative profonde” in argille sopra cnsolidate (in Italian). *Bollettino. Società Geologica Italiana* 103, 717–729.
- Hermanns, R.L., Blikra, L.H., Naumann, M., Nilsen, B., Panthi, K.K., Stromeyer, O., 2006. Examples of multiple rock-slope collapses from Kofels (Otztal valley, Austria) and western Norway. *Engineering Geology* 83 (1–3), 94–108.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Collins, J., 2001. *GPS Theory and Practice*, 5th revised edition. Springer Verlag, Wien, 370 pp.
- ITASCA, 2000. *FLAC (Fast Lagrangian Analysis of Continua) v. 4.0 Manual*. Minneapolis, USA.
- Jaeger, J.C., 1969. *Elasticity, Fracture and Flow*. Menthuen & Co. Ltd. and Science, 231 pp.
- Jakob, M., Hungr, O., 2005. *Debris Flow Hazards and Related Phenomena*. Praxis, Springer, Berlin, Heidelberg, 739 pp.
- Langer, M., 1979. Rheological behaviour of rock masses. *Proc. 4th Int. Congr. Rock Mech.*, Montreux, Vol. 3, pp. 29–62.
- Ling, H.L., 2001. Recent applications of sliding block theory to geotechnical design. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 21 (3), 189–197.
- Ling, H.L., Leshchinsky, D., 1995. Seismic performance of simple slopes. *Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering* 35 (2), 85–94.
- Loukidis, D., Bandini, P., Salgado, R., 2003. Stability of seismicity loaded slopes using limit analysis. *Geotechnique* 53 (5), 463–479.
- Marcato, G., Mantovani, M., Pasuto, A., Silvano, S., Tagliavini, F., Zabuski, L., Zannoni, A., 2006. Site investigation and modelling at “La Maina” landslide (Carnian Alps, Italy). *Natural Hazards and Earth System Sciences* 6, 33–39.
- Marcato, G., Mantovani, M., Fujisawa, K., Pasuto, A., Tagliavini, F., Silvano, S., Zabuski, L., 2008. Monitoring, modelling and mitigation of the Moscardo landslide (Eastern Italian Alps). *European Geosciences Union General Assembly: Geophysical Research Abstracts*, 10.
- Marchi, L., D’Agostino, V., 2004. Estimation of debris-flow magnitude in the Eastern Italian Alps. *Earth Surface Processes and Landforms* 29, 207–220.
- Marchi, L., Arattano, M., Deganutti, A.M., 2002. Ten years of debris flow monitoring in the Moscardo Torrent (Italian Alps). *Geomorphology* 46, 1–17.
- Mayer, R., Plank, C., Kollarits, S., Corsini, A., Siegel, H., Kreuzer, S., Liehr, C., 2008. Monitor – hazard monitoring for risk assessment and risk communication. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards* 2 (4), 195–222 (December 2008).
- Munwar Basha, B., Basudhar, P.K., 2010. Pseudo static seismic stability analysis of reinforced soil structures. *Earth and Environmental Science Geotechnical and Geological Engineering* 28 (6), 745–762.
- Pasuto, A., Soldati, M., 1990. Some cases of deep-seated gravitational deformations in the area of Cortina d’Ampezzo (Dolomites). Implications in environmental assessment. *Proc. of “European Experimental Course on Geomorphology Applied to Environmental Risk in Man’s Impact on the Dolomites”*. Cortina d’Ampezzo, 20–26 giugno 1990, vol. II, pp. 91–104.
- Querini, R., 1977. L’influenza del terremoto sulla torrenzialità nei bacini montani del Friuli (in Italian). *Annali dell’Accademia Italiana di Scienze Forestali* 26, 139–185.
- San, K.C., Leshchinsky, D., 1994. Seismic slope stability analysis – pseudo-static generalized method. *Soils and Foundations* 34 (2), 73–77.
- Spickermann, T., Schanz, M., Datcheva, I., 2003. Analysis of a deep seated slope failure in the Alps. AK 1.6 Workshop: Nachweise für Böschungen und Baugruben mit numerischen Methoden, Bauhaus-Universität Weimar, Schriftenreihe Geotechnik, Heft 11, pp. 47–58.
- Stead, D., Eberhardt, E., Coggan, J.S., 2006. Developments in the characterization of complex rock slope deformation and failure using numerical modelling techniques. *Engineering Geology* 83, 217–235.
- Tacher, L., Bonnard, C., Laloui, L., Parriaux, A., 2005. Modelling the behaviour of a large landslide with respect to hydrogeological and geomechanical parameter heterogeneity. *Landslides* 2, 3–14.
- Takahashi, T., 1991. *Debris Flow*. IJAR Monograph. A.A. Balkema, Rotterdam, 165 pp.
- Ter-Stepanian, G., 1966. Type of depth creep of slopes in rock masses. *Problems in Geomechanics* 3, 49–69.
- Tien-Chien, C., Meef-Ling, L., Ju-Jiang, H., 2004. Pseudostatic analysis of Tsao-Ling rockslide caused by Chi-Chi earthquake. *Engineering Geology* 71, 31–47.
- van Asch, T.W.J., Malet, J.P., van Beek, L.P.H., Amitrano, D., 2007. Techniques, issues and advances in numerical modelling of landslide hazard. *Bulletin de la Société Géologique de France* 178, 65–88.
- Venturini, C., 2002. Geological Map of the Carnic Alps. Museo Friulano di Storia Naturale.
- Zabuski, L., 2004. Prediction of the slope movements on the base of inclinometric measurements and numerical calculations. *Proc. Conf. “Risks Caused by the Geodynamic Phenomena in Europe”*, Wysowa, May 20–22, 2004: PGI Special Papers, 15, pp. 29–38.
- Zischinsky, U., 1966. On the deformation of high slopes. *Proc. 1st Int. Congr. Rock Mech.*, Lisbon, Sect. 2, pp. 179–185.

7 . Barberino Val d'Elsa 近郊溪流

La storia dell'Agliena



Semifonte e le acque dell'Agliena

Il nome deriva da latino *Summus Fons* (sorgente d'acqua alla sommità di una altura), divenuto in seguito *Summo fonte* e infine *Semifonte*.

Obiettivi di questo primo importante progetto di bonifica erano:

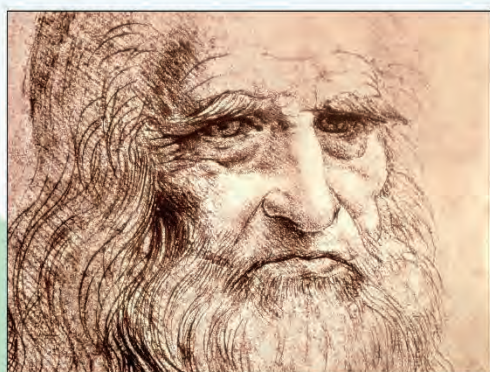
- assicurare acqua e risorse idriche alla futura città, e alla agricoltura,
- rallentare il deflusso tumultuoso delle acque piovane,
- interrompere i dissesti idrogeologici dei terreni collinari circostanti.

A questo scopo lungo gli alvei del torrente venne realizzato un organico sistema di briglie, scogliere e casse di espansione volte a regimare le piene in occasione di piogge torrentizie e creare a valle riserve idriche da utilizzare nei periodi di siccità.



Il torrente Agliena nel Codice Leicester di Leonardo

Il Codice Leicester (noto anche come Codice Hammer) è una raccolta di disegni e scritti di Leonardo da Vinci, comprendente 36 fogli databili tra il 1504 e il 1508.



Leonardo da Vinci was here!

"L'acqua che tocchi dei fiumi è l'ultima di quella che andò e la prima di quella che viene. Così è la vita." *Leonardo Da Vinci*

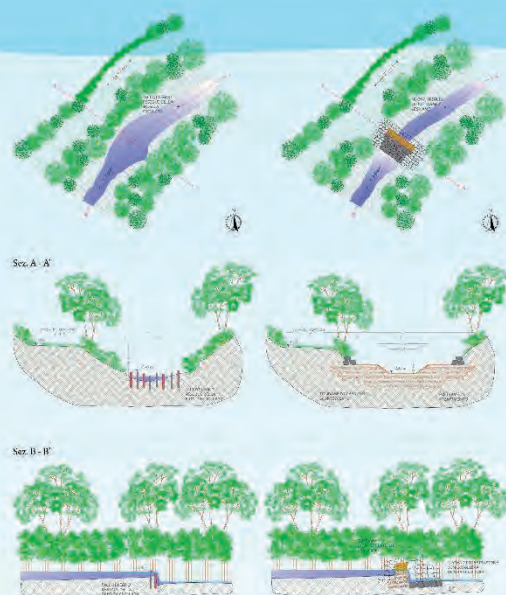
L'intero sistema rimase in funzione anche dopo la distruzione di Semifonte decretata dalla Città di Firenze allora sotto l'egida dei Guelfi.

Nel 1540 Leonardo da Vinci svolse una accurata indagine del torrente e ne lasciò memoria nel Codice Leicester (oggi Codice Hammer) in un suo scritto dal titolo "*Metodi per evitare l'erosione degli argini dei fiumi*".

Una pittura dell'Agliena, attribuibile allo stesso Leonardo, è conservata oggi al British Museum di Londra.

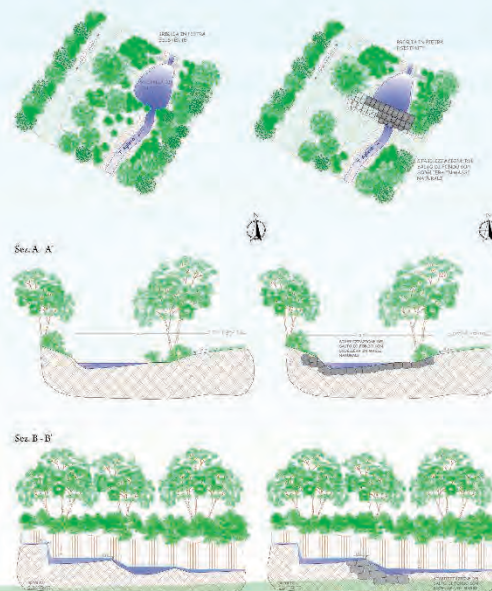
L'opera idraulica venne conservata e utilizzata fino a tutto il XVIII secolo come dimostrano le iscrizioni ancora oggi leggibili sulle briglie. Da quella data venne progressivamente abbandonata fino ai giorni nostri.

Agliena Grande: prima e dopo



Uno degli interventi principali sull'Agliena Grande ha riguardato la ricostruzione di nuove briglie in pietrarame e legname in sostituzione dei residui delle briglie crollate. La briglia è oggi composta da una struttura a cassone in legno di castagno, riempita di ciottoli e ghiaia e ben ammassata all'interno delle sponde per evitare l'aggiramento da parte della corrente.

In altri casi è stato stabilizzato il fondo alveo a valle delle briglie in pietra già esistenti, mediante la realizzazione di soglie a raso in scogliera, anch'esse ben ammassate all'interno delle sponde per evitare l'aggiramento da parte della corrente. L'obiettivo è evitare la formazione di fenomeni erosivi al piede di queste antiche opere idrauliche, per favorirne la funzionalità e la conservazione.



Un percorso tra le briglie



La valle di Petrognano: tra storia e natura

È composta da terreni molto sciolti e fertili con un buon microclima grazie all'ottima esposizione al sole e ai due rami dell'Agliena che l'attraversano.

Già nel precedente progetto di restauro del 1999 era prevista la creazione di una rete di percorsi trekking, alcuni dei quali adiacenti ai corsi d'acqua, in modo da favorire la vigilanza e la manutenzione dei manufatti e rendere fruibili queste storiche testimonianze dell'ingegno umano.

È anche per riprendere quanto già previsto in passato che il Consorzio, in occasione dei lavori sul corso d'acqua, ha eseguito anche interventi di sistemazione dei drenaggi e delle banchine dei sentieri già esistenti.

In questo modo i tracciati sono diventati adatti al passaggio dei mezzi agricoli e dei macchinari di servizio della bonifica, oltre che facilmente percorribili durante tutto l'arco dell'anno.



Quando la bonifica rivela tesori nascosti...

In ogni suo progetto, il Consorzio cerca di ridurre il rischio idraulico anche attraverso la riqualificazione ambientale e paesaggistica del corso d'acqua di propria gestione.

Il progetto del Consorzio per il recupero e la valorizzazione delle briglie storiche dell'Agliena nasce per rispondere ad una duplice esigenza:

- tenere puliti e sicuri i corsi d'acqua
- ricostituire antichi sentieri in un'area a cavallo dei comuni di Barberino Val d'Elsa e di Tavarnelle Val di Pesa, ancora piuttosto inesplorata.

Attualmente si contano ventisette briglie, alcune delle quali risalenti all'anno Mille, che rendono la valle racchiusa tra i due comuni e Petrognano una delle più interessanti sia sul fronte naturalistico che sul piano storico: qui la bellezza dei luoghi e la diversità florofaunistica si fondono alle tracce del passato, di questi primi esempi di opere idrauliche a vantaggio del territorio e dei suoi abitanti di ogni tempo.



Il percorso di servizio per la bonifica

Garantire la percorrenza agli operatori della bonifica in prossimità delle opere è fondamentale per fare la manutenzione e dunque ridurre il rischio idrogeologico.

Dedicata a tavarnellini e barberinesi e a tutti i cittadini delle valli dell'Elsa e della Pesa che intendano conoscere il territorio a caccia di tesori nascosti, la riscoperta di queste briglie e di una rete di percorsi trekking può avere una grande valenza turistica, sociale e sportiva.

Lungo i sentieri dell'Agliena, inoltre, anche i visitatori hanno la possibilità di immergersi nella natura chiantigiana, per conoscere luoghi finora poco conosciuti, al di fuori dei circuiti tradizionali.

L'attività del Consorzio è dunque riuscita a riscoprire e valorizzare le potenzialità sia dal punto di vista tecnico-operativo che storico-paesaggistico che anche un piccolo torrente come l'Agliena, così come gli altri corsi d'acqua della Toscana Centrale, possiede.

Agliena Piccolo: prima e dopo



Un momento dei lavori di ripristino dei percorsi di servizio alle attività del Consorzio di Bonifica.

La sistemazione di un tratto di sponda che era interessato da una consistente frana.

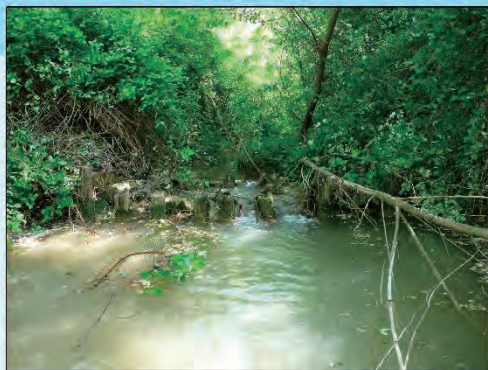


L'instabilità del ciglio di sponda e l'assenza dei drenaggi rendevano il percorso impraticabile ai mezzi operativi.

Lungo la pista, larga circa 4 m, è stato effettuato il taglio selettivo delle alberature secche, pericolanti e a fine ciclo vitale.



I progetti di recupero



La valenza storica e ambientale del sistema collinare della valle del fiume Elsa assume particolare rilievo in questa porzione collinare del bacino del torrente Agliena in cui ci troviamo, proprio per la presenza delle briglie, alcune delle quali databili intorno all'anno Mille.

Le opere idrauliche vennero conservate e utilizzate fino a tutto il XVIII secolo per poi essere progressivamente abbandonate fino ai giorni nostri.

Nel 1999 su iniziativa del Dr. Paolo Caccetta e progetto di massima della DREAM Italia, successivamente adottato dal Comune di Barberino Val d'Elsa, e grazie al finanziamento CEE (Reg. 2081/93. Mis. 2.1. Obb. 5/b.), l'intero sistema di gestione idraulica venne restaurato e riportato alla funzionalità originaria.

Una briglia prima dell'intervento

Alcune erano già crollate o avvolte dalla vegetazione, altre presentavano sintomi di sifonamento o di erosione alla base e dunque erano a rischio.

Nonostante le briglie fossero già state oggetto di un importante restauro, a distanza di oltre 10 anni di abbandono, emergeva nuovamente la necessità di risistemare i manufatti per poi inserirli in un programma di gestione, con azioni periodiche di manutenzione da parte del Consorzio.

Nel corso del 2011, ad opera del Consorzio, l'opera millenaria è stata dunque recuperata con interventi di sistemazione degli alvei, di ricostruzione di diverse briglie e scogliere e la messa in sicurezza del percorso di servizio accanto al corso d'acqua.

Le lavorazioni del Consorzio non hanno interessato solo il torrente Agliena, bensì anche il borro Agliena e il torrente Borraccio.



L'importanza della manutenzione ordinaria

Le opere dell'ingegno umano hanno bisogno costante di controllo e manutenzione, specie se sono antiche e fragili, come le briglie sull'Agliena.



Ingegneria naturalistica: sicura e sostenibile

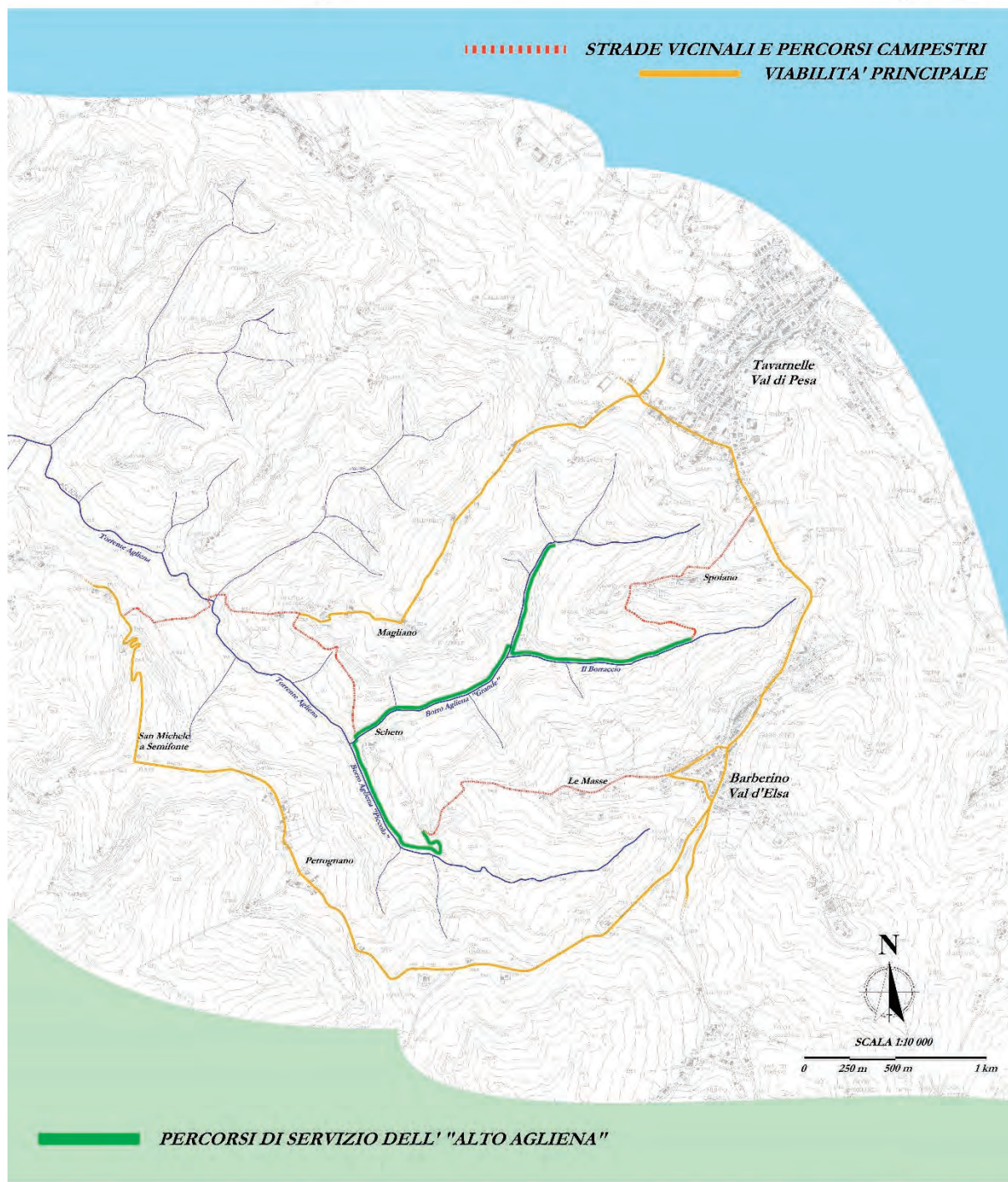
Le soluzioni "naturali" sono ottime sia in termini di efficienza che di durabilità nel tempo: non sempre, infatti, il cemento è migliore dei materiali più antichi, anzi...

Nello specifico, il progetto del Consorzio ha previsto inizialmente la rimozione della vegetazione infestante in prossimità delle vecchie strutture e il recupero dello spazio accanto all'alveo, in modo da procedere con la manutenzione straordinaria o la ricostruzione dei manufatti.

Come è ben visibile oggi, le briglie crollate sono state ricostruite secondo i metodi e con i materiali tradizionali: legno e pietre.

Le opere esistenti sono state riportate alla luce e, dove necessario, consolidate con la realizzazione di controbriglie in scogliera o palizzate in legname per ridurre il rischio di erosioni e di cedimenti.

Planimetria generale



8. Borro Agliena 溪の調査レポート



PROGETTO n° 450

**MANUTENZIONE STRAORDINARIA DELLE OPERE DI
STABILIZZAZIONE E DEI PERCORSI DI SERVIZIO SUL
TORRENTE AGLIENA, SUL BORRO AGLIENA E SUL
TORRENTE BORRACCIO, NEI COMUNI DI BARBERINO
VAL D'ELSA E TAVARNELLE VAL DI PESA (FI)
COMPENSORIO 21**

RELAZIONE DESCRITTIVA E TECNICA

INDICE

1 PREMESSA	2
2 INQUADRAMENTO DELLE AREE DI INTERVENTO.....	3
3 VINCOLI E STRUMENTI URBANISTICI.....	4
3.1 PERICOLOSITA' IDRAULICA.....	4
3.2 VINCOLO PAESAGGISTICO.....	4
3.3 STRUMENTI URBANISTICI DEL COMUNE DI BARBERINO VAL D'ELSA.....	5
3.4 STRUMENTI URBANISTICI DEL COMUNE DI TAVARNELLE VAL DI PESA...	7
4 CARTOGRAFIA E RILIEVI	9
5 INTERVENTI PREVISTI.....	9
5.1 INTERVENTO 1 – SISTEMAZIONE DI SPONDA LUNGO IL TORRENTE AGLIENA	10
5.2 INTERVENTO 2 – SISTEMAZIONE DI SPONDA LUNGO IL TORRENTE AGLIENA	11
5.3 INTERVENTO 3 – SOSTITUZIONE DI BRIGLIA IN PIETRAME E LEGNAME CROLLATA CON SOGLIA A RASO IN SCOGLIERA	12
5.4 INTERVENTO 4 – RICOSTRUZIONE DI BRIGLIA IN LEGNAME E PIETRAME.....	13
5.5 INTERVENTO 5 – RICOSTRUZIONE DI BRIGLIA IN LEGNAME E PIETRAME.....	14
5.6 INTERVENTO 6 – RICOSTRUZIONE DI BRIGLIA IN LEGNAME E PIETRAME.....	15
5.7 INTERVENTO 7 – REALIZZAZIONE DI CONTROBRIGLIA IN SCOGLIERA	16
5.8 INTERVENTO 8 – REALIZZAZIONE DI SOGLIA A RASO STABILIZZATRICE E PER IL PASSAGGIO DEI MEZZI ADDETTI ALLA MANUTENZIONE.....	17
5.9 INTERVENTO 9 – REALIZZAZIONE DI CONTROBRIGLIA IN SCOGLIERA	18
5.10 INTERVENTO 10 – SISTEMAZIONE DI EROSIONE IN ALVEO E REALIZZAZIONE DI CONTROBRIGLIA IN SCOGLIERA.....	19
5.11 INTERVENTO 11 – SISTEMAZIONE DI SPONDA LUNGO IL TORRENTE BORRACCIO.....	20
5.12 INTERVENTI DI MANUTENZIONE ORDINARIA E DI SISTEMAZIONE DELLE PISTE DI SERVIZIO.....	21
5.13 TAGLIO SELETTIVO DELLA VEGETAZIONE.....	22

1 PREMESSA

Il seguente progetto riguarda la sistemazione delle opere di stabilizzazione e dei percorsi di servizio presenti lungo il torrente Agliena, il borro Agliena e il torrente Borraccio ricadenti nei Comuni di Barberino Val d'Elsa e Tavarnelle Val di Pesa.

La valenza storica e ambientale del sistema collinare della valle del fiume Elsa assume particolare rilievo nella porzione montana del bacino del torrente Agliena per la presenza di numerose briglie storiche (se ne contano 27 nei tratti in esame) alcune delle quali datate intorno all'anno Mille. Le briglie sono state oggetto di un progetto di restauro conservativo nel 1998 ma attualmente si trovano in uno stato di relativo abbandono che evidenzia la necessità di sottoporle ad un programma di gestione ed azioni periodiche di manutenzione, alcune di esse sono crollate o avvolte dalla vegetazione, altre presentano sintomi di sifonamento o di erosione al piede.

Il presente progetto si propone di stabilizzare l'attuale profilo del fondo dell'alveo ricostruendo le briglie in legname e pietrame crollate e realizzando delle controbriglie in scogliera a valle delle opere che presentano il rischio di erosione al piede oltre alla rimozione della vegetazione in eccesso in prossimità delle strutture.

Il vecchio progetto di restauro era inoltre associato alla creazione di una rete di percorsi trekking, alcuni dei quali adiacenti ai corsi d'acqua; quello che rimane di tali percorsi evidenzia come l'attuale stato di manutenzione non sia sufficiente a consentire il passaggio dei mezzi addetti alla manutenzione del reticolo fluviale. Si rende perciò necessario provvedere con opportuni interventi di sistemazione dei drenaggi e di sistemazione delle sponde per garantire il passaggio in sicurezza dei mezzi di servizio durante tutto l'arco dell'anno.

Considerando gli obiettivi e le metodologie di intervento, non si è ritenuto necessario provvedere alla realizzazione di simulazioni idrauliche del corso d'acqua. Si sottolinea inoltre che il progetto non prevede l'acquisizione di terreni.

2 INQUADRAMENTO DELLE AREE DI INTERVENTO

L'area interessata dal progetto si estende all'interno dei territori comunali di Barberino Val d'Elsa e di Tavarnelle Val di Pesa e risulta delimitata ad est dall'abitato di Barberino, a nord dall'abitato di Tavarnelle e ad ovest dalla località Petrognano.

I corsi d'acqua oggetto dell'intervento sono il torrente Agliena a monte di località C. Scheto, il borro Agliena e il torrente Borraccio. Questi si estendono completamente a cielo aperto, per una lunghezza complessiva di circa 4 km, e lungo di essi è attualmente presente un percorso campestre, che è stato oggetto di sistemazione negli anni 1998-2000 e che costeggia i corsi d'acqua mettendo.

Il percorso attraversa zone di pregio dal punto di vista ambientale e paesaggistico e racchiude importanti testimonianze storiche per la presenza di un'imponente sistemazione idraulica risalente all'anno Mille che conta la presenza di più di venti briglie in pietra e muratura realizzate con buona probabilità prima della costruzione dell'antica città di Semifonte (completamente distrutta dai Fiorentini nel 1202), per la stabilizzazione del corso d'acqua e per avere piccole riserve idriche durante i periodi estivi.

I percorsi esistenti appaiono in uno stato di manutenzione non sufficiente a permettere il passaggio dei mezzi addetti alla manutenzione del corso d'acqua; alcuni tratti di essi risultano infatti inagibili a causa della ridotta larghezza del percorso, di fenomeni di instabilità delle sponde, di ristagni idrici o per la presenza di alberature cadute, secche o pericolanti. Anche le briglie risultano in genere avvolte da una rigogliosa vegetazione erbacea, arborea e arbustiva che, in assenza di azioni periodiche di manutenzione può rappresentare un potenziale fattore di danno per le strutture.

Lungo i tratti in esame si osservano inoltre alcuni fenomeni di instabilità delle sponde che interrompono la continuità delle piste; in particolare sono state individuate tre zone che necessitano di un intervento di sistemazione per la stabilizzazione delle scarpate e la messa in sicurezza del percorso di servizio esistente.

Per quanto concerne le opere storiche di sistemazione idraulica, risultano nel complesso in un buono stato di conservazione. Nonostante questo, quattro briglie in pietrame e legname sono attualmente crollate, due mostrano sintomi di instabilità al piede, dovuta a salti di fondo situati pochi metri a valle delle opere mentre una presenta sintomi di sifonamento. In tali casi si prevede la ricostruzione delle opere crollate con strutture analoghe e la stabilizzazione al

piede delle briglie che presentano fenomeni di instabilità tramite la posa in opera di scogliera in massi naturali.

3 VINCOLI E STRUMENTI URBANISTICI

Nel presente paragrafo si riportano gli estratti di mappa dei vincoli sovraordinati e degli strumenti urbanistici dei Comuni di Barberino Val d'Elsa e Tavarnelle Val di Pesa.

3.1 PERICOLOSITA' IDRAULICA

Le aree oggetto di intervento non risultano classificate in base alle classi di pericolosità idraulica previste dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno (vedi tavoletta 109 della perimetrazione delle aree con pericolosità idraulica a livello di sintesi).

3.2 VINCOLO PAESAGGISTICO

Dalle mappe del vincolo paesaggistico estratte dal SIT della Provincia di Firenze emerge che il tratto del borro Agliena interessato dall'intervento, che scorre dal limite orientale del Comune di Barberino Val d'Elsa fino a Scheto, è classificato come *“fiume escluso dal vincolo”*. La mappa non mostra altre classificazioni e si rimanda ai regolamenti comunali riportati di seguito per la rappresentazione di ulteriori imposizioni in termini vincolistici.

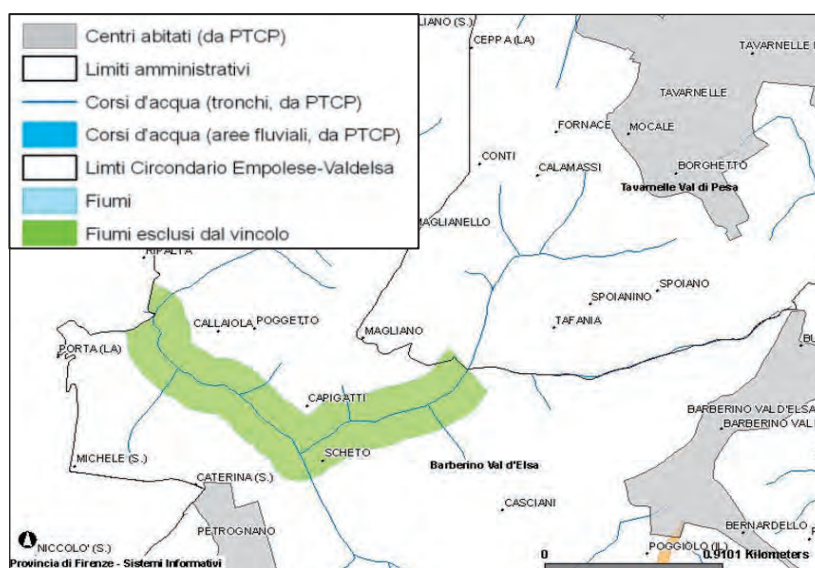


Figura 1 - Mappa del vincolo paesaggistico nei comuni di Barberino Val d'Elsa e di Tavarnelle Val di Pesa. [SIT della Provincia di Firenze]

3.3 STRUMENTI URBANISTICI DEL COMUNE DI BARBERINO VAL D'ELSA

Il Piano Regolatore Generale del comune di Barberino Val d'Elsa indica che le aree sottoposte agli interventi in progetto sono classificate come “Aree di protezione paesistica – Storico Ambientale e Archeologica” e, in alcuni tratti, come “Aree boscate”.

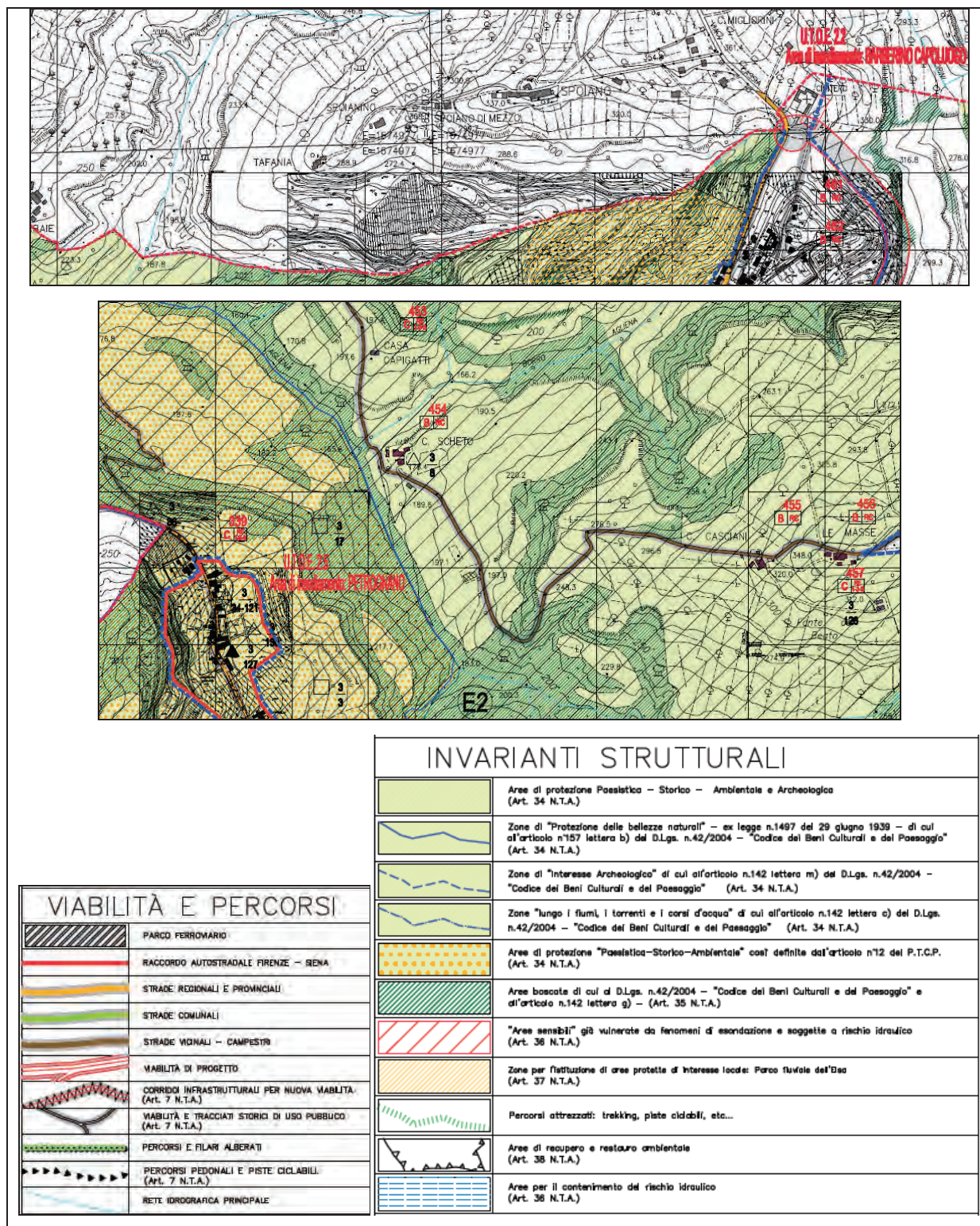


Figura 2 -Estratto del Piano Regolatore Generale del Comune di Barberino Val d'Elsa.

Dall'analisi degli strumenti urbanistici del Comune di Barberino Val d'Elsa emerge inoltre che le aree interessate dal progetto sono sottoposte al *vincolo idrogeologico* ma non al vincolo paesaggistico.

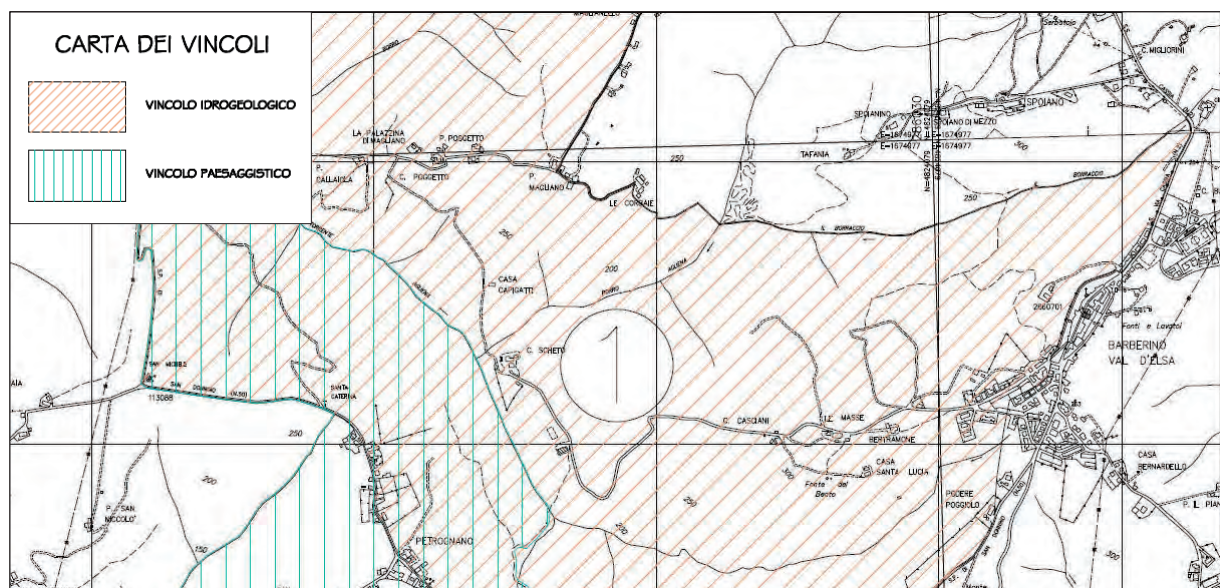


Figura 3 - Estratto della Carta dei Vincoli del Comune di Barberino Val d'Elsa.

3.4 STRUMENTI URBANISTICI DEL COMUNE DI TAVARNELLE VAL DI PESA

L'area interessata dal progetto che ricade all'interno del territorio comunale di Tavarnelle Val di Pesa coincide con la sponda destra del fosso Borraccio per tutta la sua lunghezza, a partire dalle sorgenti in prossimità della via Cassia e fino alla confluenza con il Borro Agliena.



Figura 4 -Estratto della tavola 9 "Planimetria Generale" del Piano Strutturale del Comune di Tavarnelle Val di Pesa.

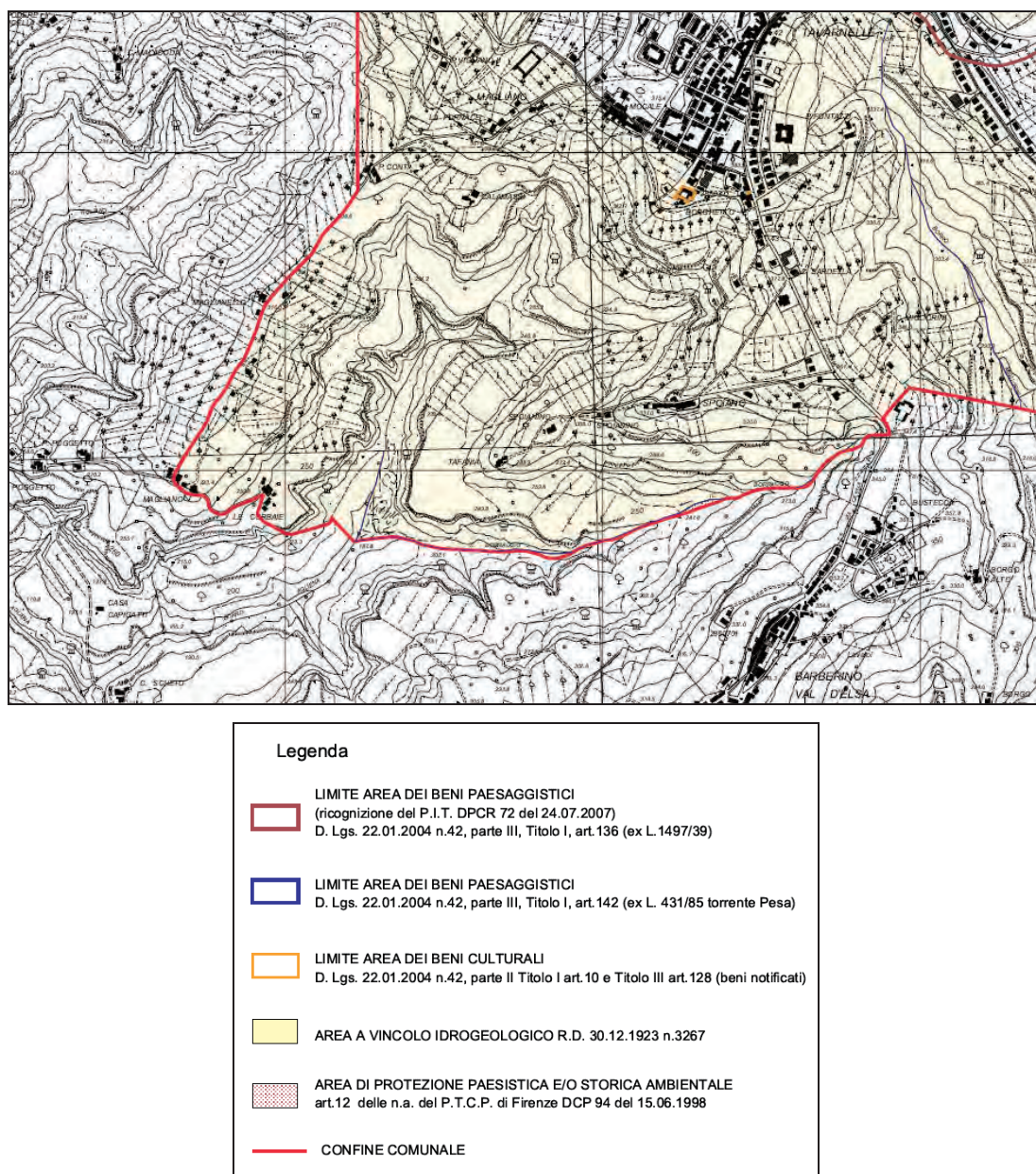


Figura 5 - Estratto dalla tavola Q.C. 9 “Ricognizione dei vincoli” del Comune di Tavarnelle Val di Pesa.

Dall’analisi degli strumenti urbanistici del Comune di Tavarnelle Val di Pesa emerge che l’area in esame ricade nella zona classificata come “*crinali e fondovalli dell’Elsa*”. L’area è soggetta a vincolo idrogeologico ma non al vincolo paesaggistico. Il tratto del corso d’acqua interessato dall’intervento attraversa zone classificate come “*paesaggio agrario/ territorio rurale*” adibito a “*vigneti, oliveti, coltivazioni arboree*”, come “*prati, seminativo, incolto*” e come “*boschi*”. Nel medio tratto del fosso Borraccio è presente una limitata area classificata come di “*protezione paesistica e/o storico ambientale*”.

4 CARTOGRAFIA E RILIEVI

Le informazioni geografiche e topografiche sono state ricavate da:

- a) carta CTR della Regione Toscana in scala 1:10'000, fogli: 286020, 286030, 286060, 286070;
- b) fogli catastali n. 6, 7, 8, 9 del Comune di Barberino Val d'Elsa (FI) e fogli n. 41 e 43 del Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI);
- c) rilievi topografici effettuati dal Consorzio nel periodo maggio-giugno 2010.

5 INTERVENTI PREVISTI

Gli interventi previsti nell'ambito di questo progetto sono i seguenti:

- a) Ricostruzione di n. 4 briglie crollate, identificati come intervento 3, intervento 4, intervento 5 e intervento 6;
- b) Realizzazione di n. 3 controbriglie, identificati come intervento 7, intervento 9 e intervento 10;
- c) Realizzazione di soglia a raso in scogliera identificata come intervento 8;
- d) Stabilizzazione locale di n. 3 tratti di sponda con tecniche di ingegneria naturalistica, identificati come intervento 1, intervento 2 e intervento 11.
- e) Interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria delle piste di servizio;
- f) Taglio e rimozione delle piante secche, cadute e pericolanti presenti lungo i corsi d'acqua e nei percorsi di servizio.

Gli interventi previsti sono studiati e realizzati in modo da preservare la morfologia plano-altimetrica dell'alveo e la continuità della fascia di vegetazione riparia eseguendo interventi a basso impatto ambientale e rispettosi dell'elevato valore storico e ambientale del corso d'acqua e delle aree che attraversa.

Il corso d'acqua è raggiungibile con i mezzi d'opera dalla viabilità principale percorrendo porzioni di strade vicinali e proseguendo poi lungo la viabilità privata con strade di tipo poderale o campestre. Al termine delle lavorazioni si prevede il ripristino delle stesse almeno al pari dello stato antecedente.

Ulteriori dettagli su ciascun intervento sono riportati nei paragrafi successivi ed negli elaborati grafici allegati.

5.1 INTERVENTO 1 – SISTEMAZIONE DI SPONDA LUNGO IL TORRENTE AGLIENA

L'intervento 1 prevede la sistemazione di un tratto di sponda lungo il torrente Agliena dove si è verificata una frana che interessa una porzione del percorso esistente per una lunghezza di circa 12 m. Allo stato attuale l'instabilità del ciglio di sponda riduce la larghezza del percorso a circa 2,5 m, rendendolo impraticabile ai mezzi addetti alla manutenzione del corso d'acqua. Si prevede di intervenire ripristinando una larghezza della pista pari a 4,00 m e stabilizzando il ciglio di sponda tramite la realizzazione di una palizzata in legno di castagno, di altezza 70 cm composta da pali di diametro 18-20 cm infissi ad interasse di 1 m con applicazione ortogonale di pali di diametro 10-14 cm. La palizzata sarà posta in corrispondenza del coronamento della frana e l'allargamento della pista avverrà verso campagna.

Le lavorazioni comprenderanno inoltre la riprofilatura della sponda interessata dai movimenti di massa, il nuovo inerbimento con semina a spaglio e la stesura di uno strato di georete biodegradabile per garantire maggiore stabilità alla scarpata durante il periodo necessario alla crescita del manto erboso.

L'eventuale terra di risulta dalle operazioni sarà idoneamente impiegata nell'ambito delle lavorazioni stesse secondo le prescrizioni della Direzione Lavori.

Questo tratto di pista rientra tra quelli per i quali si prevede la sistemazione dei drenaggi (par. 5.11). Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati grafici, tav. 2 e tav. 11.



Figura 6 - Intervento 1 – Immagine dello stato attuale in una vista da valle.

5.2 INTERVENTO 2 – SISTEMAZIONE DI SPONDA LUNGO IL TORRENTE AGLIENA

L'intervento 2 prevede la sistemazione di un tratto di sponda lungo il torrente Agliena dove è presente un'instabilità che interessa il percorso esistente (e la pista di servizio in progetto) per un'estensione lineare di circa 20 m. Allo stato attuale l'instabilità del ciglio di sponda riduce la larghezza del percorso a circa 3 m, rendendolo impraticabile ai mezzi addetti alla manutenzione del corso d'acqua.

In questo tratto si prevede di intervenire ripristinando una larghezza della pista pari a 4,00 m e stabilizzando il ciglio di sponda tramite la realizzazione di una palizzata in legno di castagno, di altezza 90 cm composta da pali di diametro 18-20 cm infissi ad interasse di 1 m con applicazione ortogonale di pali di diametro 10-14 cm. La palizzata sarà posta in corrispondenza del coronamento della frana e l'allargamento della pista avverrà verso campagna.

Le lavorazioni comprenderanno inoltre l'eventuale riprofilatura della sponda interessata dai movimenti di massa, un nuovo inerbimento con semina a spaglio e la stesura di uno strato di georete biodegradabile per garantire maggiore stabilità alla scarpata durante il periodo necessario alla crescita del manto erboso.

L'eventuale terra di risulta dalle operazioni sarà idoneamente impiegata nell'ambito delle lavorazioni stesse secondo le prescrizioni della Direzione Lavori.

Questo tratto di pista rientra tra quelli per i quali si prevede la sistemazione dei drenaggi (par. 5.11). Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati grafici, tav. 2 e tav. 11.



Figura 7 - Intervento 2 – Immagine dello stato attuale in una vista da valle.

5.3 INTERVENTO 3 – SOSTITUZIONE DI BRIGLIA IN LEGNAME E PIETrame CROLLATA CON SOGLIA A RASO IN SCOGLIERA

L'intervento 3 prevede la rimozione dall'interno dell'alveo dei pali di legno residui della briglia in pietrame e legname crollata e la stabilizzazione del salto di fondo esistente tramite la realizzazione di una soglia in scogliera con massi naturali. L'opera sarà sagomata con l'obiettivo di mantenere l'attuale profilo longitudinale del corso d'acqua e debitamente ammorsata all'interno delle sponde. L'altezza della scogliera analoga all'attuale quota sommitale dei pali residui, al fine di ripristinare il profilo del fondo antecedente al crollo dell'opera di stabilizzazione preesistente. La soglia si estenderà per 10,2 m in senso trasversale alla corrente e per 4,1 m in direzione longitudinale richiedendo circa 55 mc di scogliera in massi naturali di pezzatura 0,5-1,5 t.

L'eventuale terra di risulta dalle operazioni sarà idoneamente impiegata nell'ambito delle lavorazioni stesse secondo le prescrizioni della Direzione Lavori.

Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati grafici, tav. 2 e tav. 3.

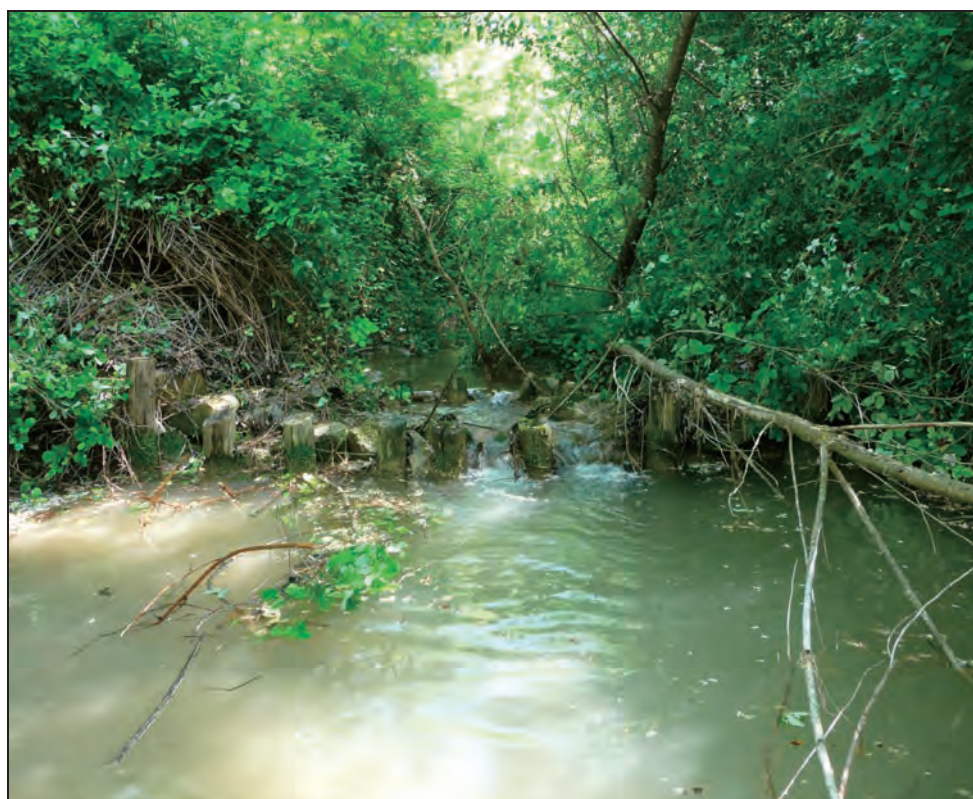


Figura 8 - Intervento 3 – Immagine dello stato attuale in una vista da valle.

5.4 INTERVENTO 4 – RICOSTRUZIONE DI BRIGLIA IN LEGNAME E PIETrame

L'intervento 4 prevede la rimozione dei pali di legno residui della briglia in pietrame e legname crollata e la stabilizzazione del salto di fondo con la costruzione di una nuova briglia in pietrame e legname.

La nuova struttura avrà una larghezza trasversale di 12 m e longitudinale di 1,7 m con una gaveta di larghezza pari a 2,4 m. La quota del piano della gaveta della nuova briglia sarà pari a quella della sommità dei pali residui attualmente presenti in alveo creando un salto massimo di circa 1,0 m sul lato di valle al di sotto del quale sarà realizzata una platea di dissipazione con scogliera in massi naturali che si estenderà trasversalmente per tutta la larghezza della sezione e verso valle per almeno 3 m.

La briglia sarà composta da una struttura a cassone in tondame di castagno scortecciato di diametro 20-25 cm unito con chiodi e graffe metalliche zincate. La struttura dovrà essere opportunamente ammorsata nelle sponde e sul fondo per evitare l'aggiramento da parte della corrente fluida.

La gaveta sarà rivestita con tondelli in legname interi o tagliati a metà e disposti in senso parallelo alla direzione della corrente. I tondelli della gaveta saranno poi rivestiti con una lamina in acciaio zincato opportunamente fissata agli stessi e le fessure tra il tondame di gaveta saranno riempite con del bitume a freddo.

Il cassone verrà riempito con pietrame di dimensioni idonee (per un volume complessivo stimato in circa 30 mc) di diametro superiore a 20 cm, opportunamente disposto in modo da evitarne la fuoriuscita dalle feritoie della parete di valle e intasato con ciottoli, ghiaia e terreno costipabile.

L'eventuale terra di risulta dalle operazioni sarà idoneamente impiegata nell'ambito delle lavorazioni stesse secondo le prescrizioni della Direzione Lavori.

Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati grafici, tav. 2 e tav. 4.

5.5 INTERVENTO 5 – RICOSTRUZIONE DI BRIGLIA IN LEGNAME E PIETRAME

L'intervento 5 prevede la rimozione dei pali di legno residui della briglia in pietrame e legname crollata e la stabilizzazione del salto di fondo con la costruzione di una nuova briglia in pietrame e legname.

La nuova briglia avrà una larghezza trasversale di 13 m e longitudinale di 1,9 m con una gaveta di larghezza pari a 2,4 m. La quota del piano della gaveta della nuova briglia sarà pari all'altezza dei pali residui attualmente presenti in alveo creando un salto di circa 1,0 m sul lato di valle al di sotto del quale sarà realizzata una platea di dissipazione con scogliera in massi naturali che si estenderà trasversalmente per tutta la larghezza della sezione e verso valle per almeno 3 m.

La briglia sarà composta da una struttura a cassone in tondame di castagno scortecciato di diametro 20-25 cm unito con chiodi e graffe metalliche zincate. La struttura dovrà essere opportunamente ammorsata nelle sponde e sul fondo per evitare l'aggiramento da parte della corrente fluida.

La gaveta sarà rivestita con tondelli in legname interi o tagliati a metà e disposti in senso parallelo alla direzione della corrente. I tondelli della gaveta saranno poi rivestiti con una lamina in acciaio zincato opportunamente fissata agli stessi e le fessure tra il tondame di gaveta saranno riempite con del bitume a freddo.

Il cassone verrà riempito con pietrame di dimensioni idonee (per un volume complessivo stimato in circa 32 mc) possibilmente di diametro superiore a 20 cm, opportunamente disposto in modo da evitarne la fuoriuscita dalle feritoie della parete di valle e intasato con ciottoli, ghiaia e terreno costipabile.

L'eventuale terra di risulta dalle operazioni sarà idoneamente impiegata nell'ambito delle lavorazioni stesse secondo le prescrizioni della Direzione Lavori.

Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati grafici, tav. 2 e tav. 5.

5.6 INTERVENTO 6 – RICOSTRUZIONE DI BRIGLIA IN LEGNAME E PIETRAME

L'intervento 6 prevede la rimozione dei pali di legno residui della briglia in pietrame e legname crollata e la stabilizzazione del salto di fondo con la costruzione di una nuova briglia in pietrame e legname.

La nuova briglia avrà una larghezza trasversale di 11,1 m e longitudinale di 1,7 m con una gaveta di larghezza pari a 2,4 m. La quota del piano della gaveta della nuova briglia sarà pari all'altezza dei pali residui attualmente presenti in alveo creando un salto massimo di 1,5 m sul lato di valle, al di sotto del quale sarà realizzata una platea di dissipazione con scogliera in massi naturali che si estenderà trasversalmente per tutta la larghezza della sezione e verso valle per almeno 3 m.

La briglia sarà composta da una struttura a cassone in tondame di castagno scortecciato di diametro 20-25 cm unito con chiodi e graffe metalliche zincate. La struttura dovrà essere opportunamente ammorsata nelle sponde e sul fondo per evitare l'aggiramento da parte della corrente fluida.

La gaveta sarà rivestita con tondelli in legname interi o tagliati a metà e disposti in senso parallelo alla direzione della corrente. I tondelli della gaveta saranno poi rivestiti con una lamina in acciaio zincato opportunamente fissata agli stessi e le fessure tra il tondame di gaveta saranno riempite con del bitume a freddo.

Il cassone verrà riempito con pietrame di dimensioni idonee (per un volume complessivo stimato in circa 32 mc) possibilmente di diametro superiore a 20 cm, opportunamente disposto in modo da evitarne la fuoriuscita dalle feritoie della parete di valle e intasato con ciottoli, ghiaia e terreno costipabile.

L'eventuale terra di risulta dalle operazioni sarà idoneamente impiegata nell'ambito delle lavorazioni stesse secondo le prescrizioni della Direzione Lavori.

Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati grafici, tav. 2 e tav. 6.

5.7 INTERVENTO 7 – REALIZZAZIONE DI CONTROBRIGLIA IN SCOGLIERA

L'intervento 7 prevede la stabilizzazione del salto di fondo che si trova circa 6 m a valle della briglia in pietra esistente, al fine di evitare la nascita e lo sviluppo di potenziali fenomeni erosivi che possano compromettere la stabilità dell'opera.

La stabilizzazione del salto di fondo sarà ottenuta mediante la realizzazione di una soglia a raso in scogliera in massi naturali non gelivi di idonea pezzatura (0,5-1,5 t) ed avrà dimensioni pari a 13,2 m in senso trasversale e 5,8 m in senso longitudinale per un volume di circa 135 mc. L'opera sarà ben ammorsata all'interno delle sponde per evitare l'aggiramento da parte della corrente e la sua quota sommitale sarà pari all'attuale quota del fondo dell'alveo per non ridurre la sezione utile ai fini del deflusso delle portate rispetto allo stato attuale.

L'eventuale terra di risulta dalle operazioni sarà idoneamente impiegata nell'ambito delle lavorazioni stesse secondo le prescrizioni della Direzione Lavori.

Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati grafici, tav. 2 e tav. 7.



Figura 9 - Intervento 7 – Immagine dello stato attuale in una vista da valle.

5.8 INTERVENTO 8 – REALIZZAZIONE DI SOGLIA A RASO STABILIZZATRICE E PER IL PASSAGGIO DEI MEZZI ADDETTI ALLA MANUTENZIONE

L'intervento 8 prevede la realizzazione di una soglia a raso in scogliera lungo il borro Agliena, 50 m a monte della confluenza con il torrente Borraccio. La soglia avrà la duplice funzione di stabilizzare l'alveo e di consentire il passaggio dei mezzi addetti alla manutenzione.

L'opera sarà costituita da scogliera in massi naturali non gelivi di idonea pezzatura (0,5-1,5 t) ed avrà dimensioni pari a 15,2 m in senso trasversale alla corrente e 7,6 m in senso longitudinale per un volume di scogliera di circa 120 mc. La sommità della soglia coinciderà con l'attuale quota del fondo dell'alveo per non ridurre la sezione utile ai fini del deflusso delle portate rispetto allo stato attuale.

L'eventuale terra di risulta dalle operazioni sarà idoneamente impiegata nell'ambito delle lavorazioni stesse secondo le prescrizioni della Direzione Lavori.

Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati grafici, tav. 2 e tav. 8.



Figura 10 - Intervento 8 – Immagine dello stato attuale in una vista da valle.

5.9 INTERVENTO 9 – REALIZZAZIONE DI CONTROBRIGLIA IN SCOGLIERA

L'intervento 9 prevede la stabilizzazione del salto di fondo che si trova circa 5,5 m a valle della briglia in pietra esistente, al fine di evitare la nascita e lo sviluppo di potenziali fenomeni erosivi che potrebbero compromettere la stabilità dell'opera.

L'intervento consiste nella realizzazione di una soglia a raso in scogliera costituita da massi naturali non gelivi di idonea pezzatura (0,5-1,5 t) ed avrà dimensioni pari a 13,1 m in senso trasversale e 6,7 m in senso longitudinale per un volume di circa 220 mc. L'opera sarà ben ammortata all'interno delle sponde per evitare l'aggiramento da parte della corrente e la sua quota sommitale sarà pari all'attuale quota del fondo dell'alveo per non ridurre la sezione utile ai fini del deflusso delle portate rispetto allo stato attuale.

L'eventuale terra di risulta dalle operazioni sarà idoneamente impiegata nell'ambito delle lavorazioni stesse secondo le prescrizioni della Direzione Lavori.

Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati grafici, tav. 2 e tav. 9.



Figura 11 - Intervento 9 – Immagine dello stato attuale in una vista da valle.

5.10 INTERVENTO 10 – SISTEMAZIONE DI EROSIONE IN ALVEO E REALIZZAZIONE DI CONTROBRIGLIA IN SCOGLIERA

L'intervento 10 prevede il ripristino della porzione di alveo eroso a monte della briglia in pietra esistente e la stabilizzazione del salto di fondo che si trova circa 6 m a valle dell'opera per ovviare ai sintomi di sifonamento presentati dalla struttura.

La porzione di alveo eroso sarà riempita con materiale di pezzatura crescente verso il basso e intasato con inerte di minore pezzatura (vedi tav. 10). A valle della briglia verrà posata in opera della scogliera in massi naturali che avrà la funzione di stabilizzare l'alveo a partire dal salto di fondo fino al piede della briglia esistente. Particolare cura dovrà essere posta nel posizionamento dei massi in corrispondenza del piede dell'opera al fine di evitare la fuoriuscita del nuovo materiale di riempimento posato a monte della briglia. La scogliera avrà pezzatura 0,5-1,5 t per un quantitativo totale stimato in circa 65 mc. La scogliera sarà ben ammassata all'interno delle sponde per evitare l'aggiramento da parte della corrente e la sua quota sommitale coinciderà con l'attuale quota del fondo dell'alveo per non ridurre la sezione utile ai fini del deflusso rispetto allo stato attuale.

L'eventuale terra di risulta dalle operazioni sarà idoneamente impiegata nell'ambito delle lavorazioni stesse secondo le prescrizioni della Direzione Lavori.

Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati grafici, tav. 2 e tav. 10.



Figura 12 - Intervento 10 – Immagine dello stato attuale in una vista da valle (a sinistra) ed in una da monte (a destra).

5.11 INTERVENTO 11 – SISTEMAZIONE DI SPONDA LUNGO IL TORRENTE BORRACCIO

L'intervento 11 prevede la sistemazione di un tratto di sponda lungo il torrente Agliena dove è presente un'instabilità che interessa il percorso esistente per un'estensione lineare di circa 15 m. Allo stato attuale l'instabilità del ciglio di sponda riduce la larghezza del percorso a circa 2,5 m, rendendolo impraticabile ai mezzi addetti alla manutenzione.

In questo tratto si prevede di intervenire allargando il percorso verso campagna al fine di ripristinare una larghezza pari a 4,00 m e stabilizzando la sponda con la posa in opera di una difesa al piede in scogliera con massi naturali, di pezzatura 0,5-1,5 t, avente un'altezza complessiva di 3,2 m per un quantitativo stimato pari a circa 180 mc.

Il ciglio di sponda adiacente alla pista di servizio sarà stabilizzato tramite la realizzazione di una palizzata in legno di castagno, di altezza 90 cm composta da pali di diametro 18-20 cm infissi ad interasse di 1 m con applicazione ortogonale di pali di diametro 10-14 cm. La palizzata sarà posta in corrispondenza del coronamento della frana e l'allargamento della pista avverrà verso campagna. Le lavorazioni comprenderanno inoltre la riprofilatura della sponda, il nuovo inerbimento della scarpata con semina a spaglio e la stesura di uno strato di georete biodegradabile per garantire maggiore stabilità alla scarpata durante il periodo necessario alla crescita del manto erboso.

L'eventuale terra di risulta dalle operazioni sarà idoneamente impiegata nell'ambito delle lavorazioni stesse secondo le prescrizioni della Direzione Lavori.

Questo tratto di pista rientra tra quelli per i quali si prevede la sistemazione dei drenaggi (par. 5.11). Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati grafici, tav. 2 e tav. 11.



Figura 13 - Intervento 11 – Immagine dello stato attuale in una vista da valle.

5.12 INTERVENTI DI MANUTENZIONE ORDINARIA E DI SISTEMAZIONE DELLE PISTE DI SERVIZIO

Allo stato attuale alcuni tratti delle piste adiacenti ai corsi d'acqua oggetto di sistemazione risultano in uno stato di manutenzione non sufficiente a garantire il passaggio dei mezzi addetti alla manutenzione. Le principali problematiche sono connesse al ristagno delle acque meteoriche a causa dell'assenza di un adeguato sistema di drenaggio delle stesse.

In tali tratti si prevede pertanto di realizzare dei fossi di guardia a lato delle piste di servizio le cui acque saranno poi convogliate verso l'alveo grazie alla costruzione di trincee drenanti adeguatamente posizionate.



Figura 14 - Immagine di un tratto di pista di servizio lungo il borro Agliena che sarà oggetto di sistemazione (tratto E).

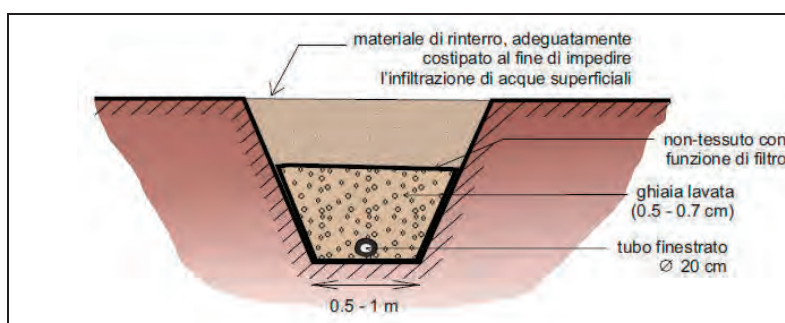


Figura 15 - Sezione tipo di trincea drenante.

Oltre a tali interventi è prevista la realizzazione di due cunette in scogliera - di larghezza pari a quella della pista di servizio e lunghezza pari a circa 5 m - laddove la pista interseca due impluvi che raccolgono le acque del prospiciente versante così da favorire il deflusso delle ed evitare danni ai percorsi di servizio.

Al di sopra della briglia presente sul borro Agliena in prossimità di loc. C. Scheto si prevede inoltre la posa di lastre di scogliera in massi naturali al fine di concentrare il deflusso delle

portate al di sopra della struttura e garantire condizioni di maggiore sicurezza per il passaggio dei mezzi addetti alla manutenzione.

L'eventuale terra di risulta dalle operazioni sarà idoneamente impiegata nell'ambito delle lavorazioni stesse secondo le prescrizioni della Direzione Lavori.

L'ubicazione degli interventi di manutenzione ordinaria e di sistemazione dei percorsi di servizio è riportata nella tav. 2 degli elaborati grafici allegati.

5.13 TAGLIO SELETTIVO DELLA VEGETAZIONE

Lungo i corsi d'acqua adiacenti alle piste di servizio oggetto di manutenzione o di sistemazione si prevede il taglio e la rimozione delle piante secche cadute e pericolanti.

L'azione verrà eseguita con criteri di taglio selettivo in modo da mantenere inalterata la continuità della fascia di vegetazione riparia.

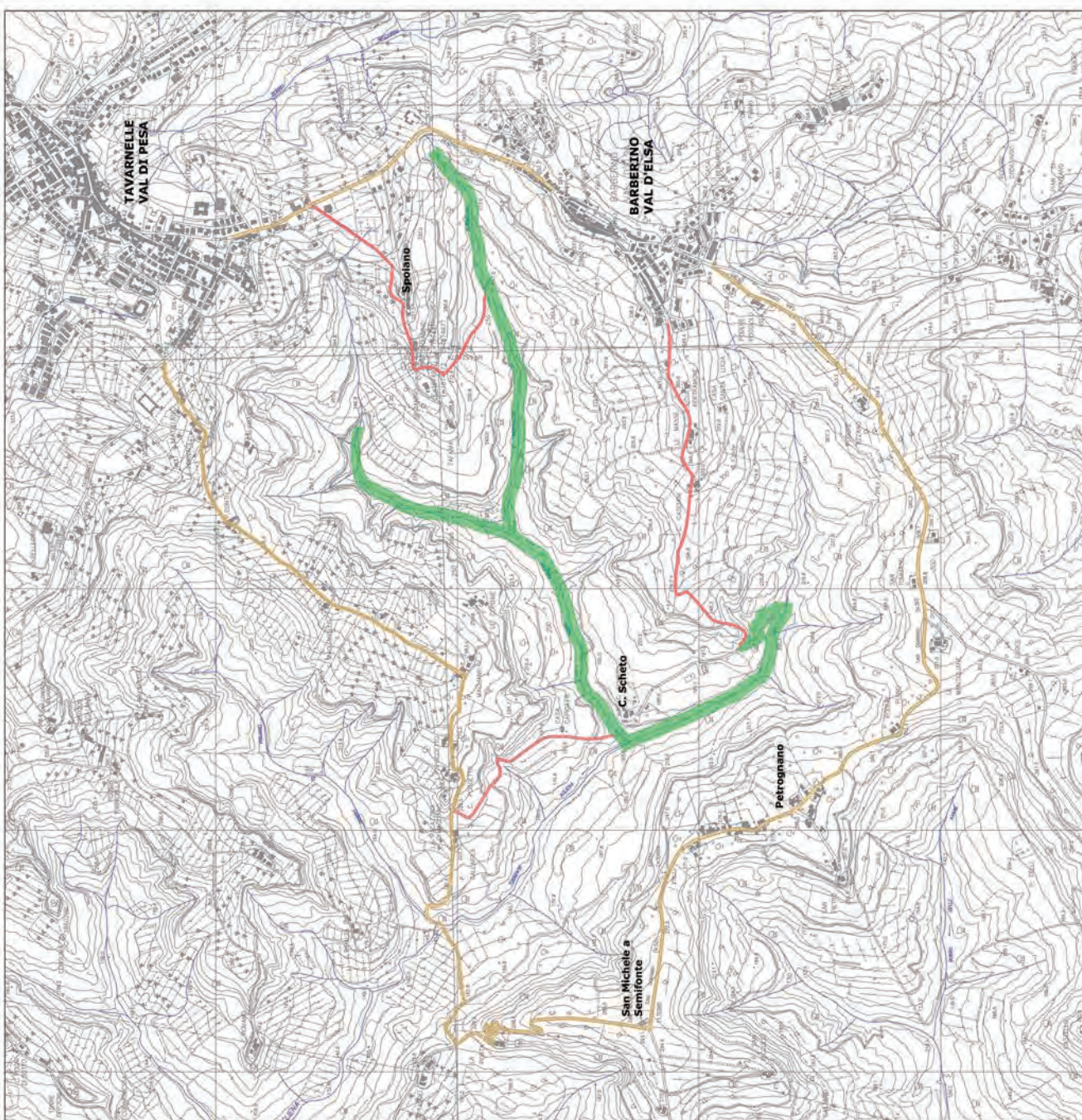


Figura 16 – Immagine di due tratti per i quali è previsto l'intervento di taglio selettivo della vegetazione.

Firenze, novembre 2010

I Progettisti
Ing. Leonardo Faggioli
Ing. Lorenzo D'Amico

9. Borro Agliena 溪関連図面



Legenda	
	LIMITI AMMINISTRATIVI COMUNALI
	AREA DI INTERVENTO
	VIABILITA' PRINCIPALE
	VIABILITA' SECONDARIA E PODERALE ESISTENTE - STRADE VICINALI E CAMPESTRI ESISTENTI



AREA TECNICA
Via S. Maria 16 - 50033 TORRANTE
Tel. 055-240298 - Fax 055-241438
info@atp.it

PROGETTO n. 450

MANUTENZIONE STRAORDINARIA DELLE OPERE DI STABILIZZAZIONE E DEI PERCORSI DI SERVIZIO SUL TORRENTE AGLIENA, SUL BORRO AGLIENA E SUL TORRENTE BORRACCIO, NEI COMUNI DI BARBERINO VAL D'ELSA E TAVARNELLE VAL DI PESA (FI) - COMPENSORIO 21

TAVOLA I

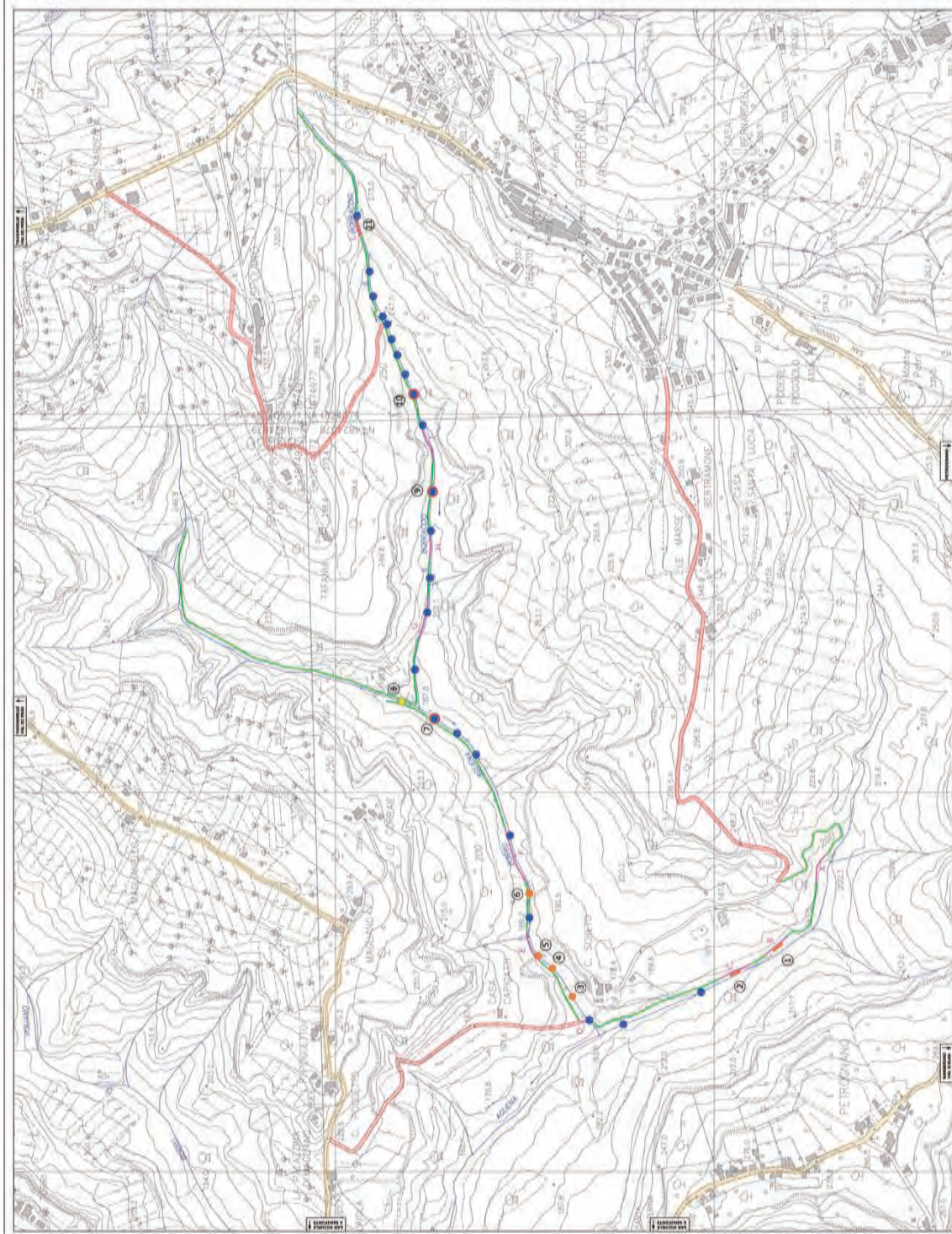
SCALA 1:10'000

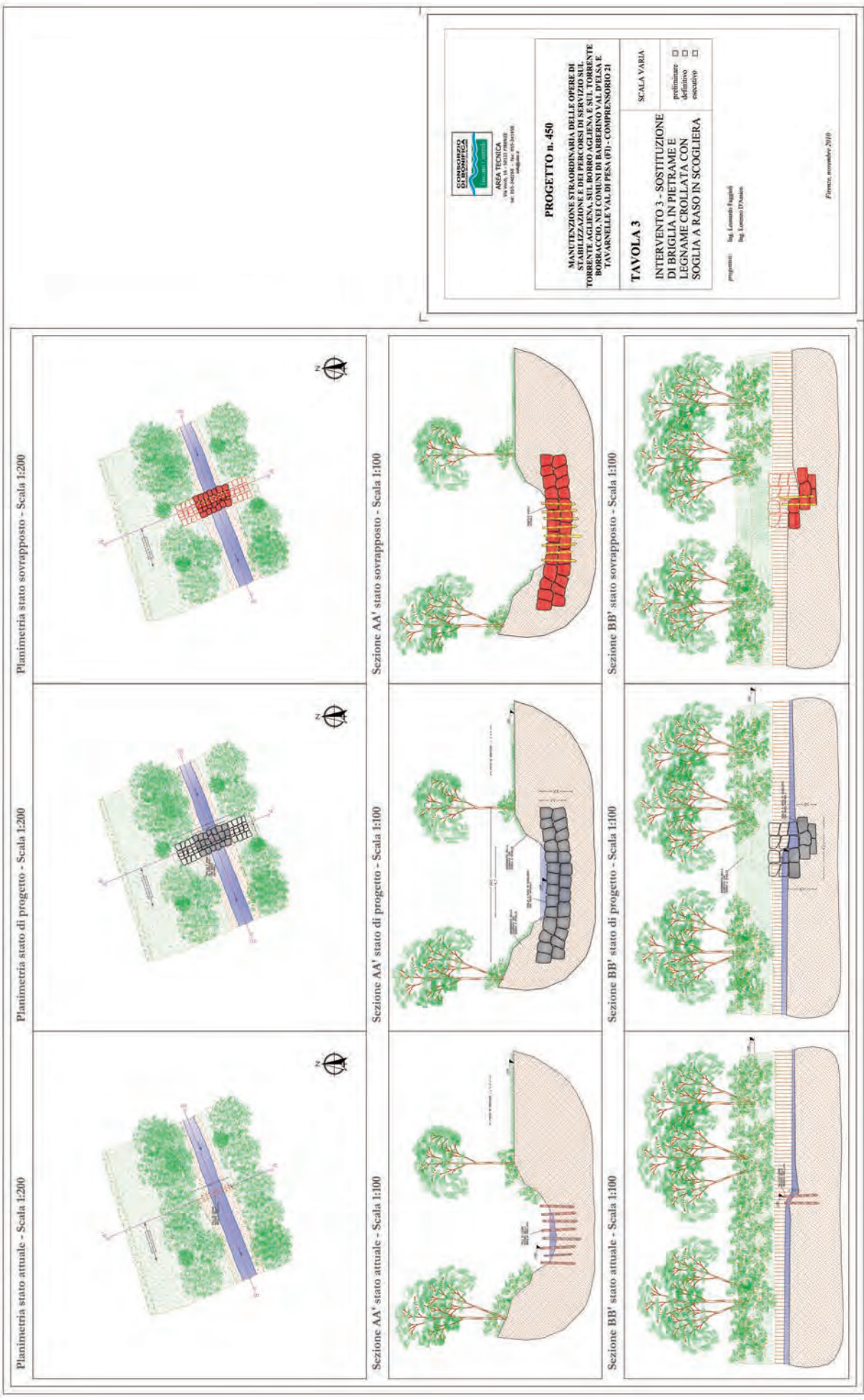
COROGRAFIA

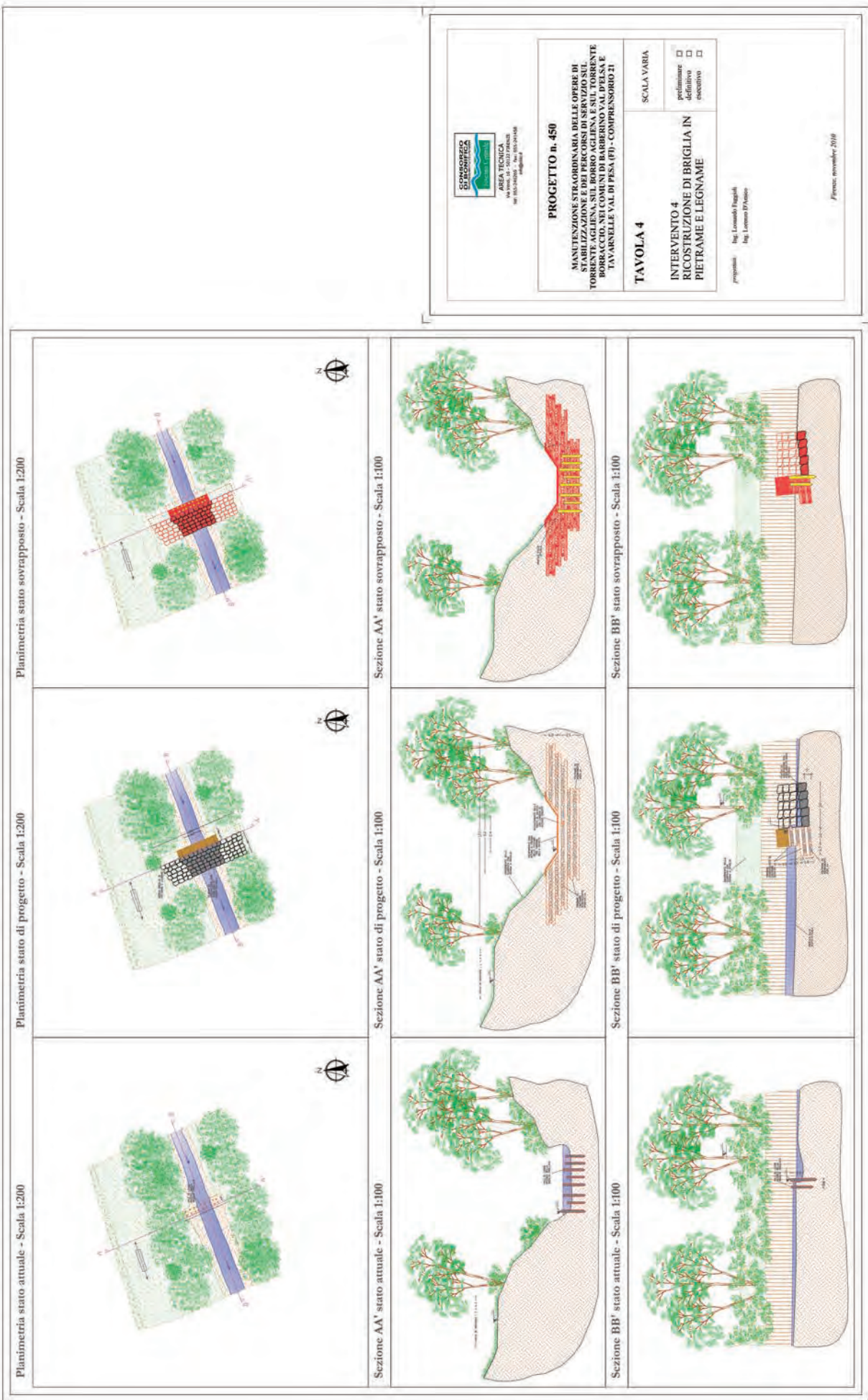
☐ preliminare
☐ definitivo
☐ esecutivo

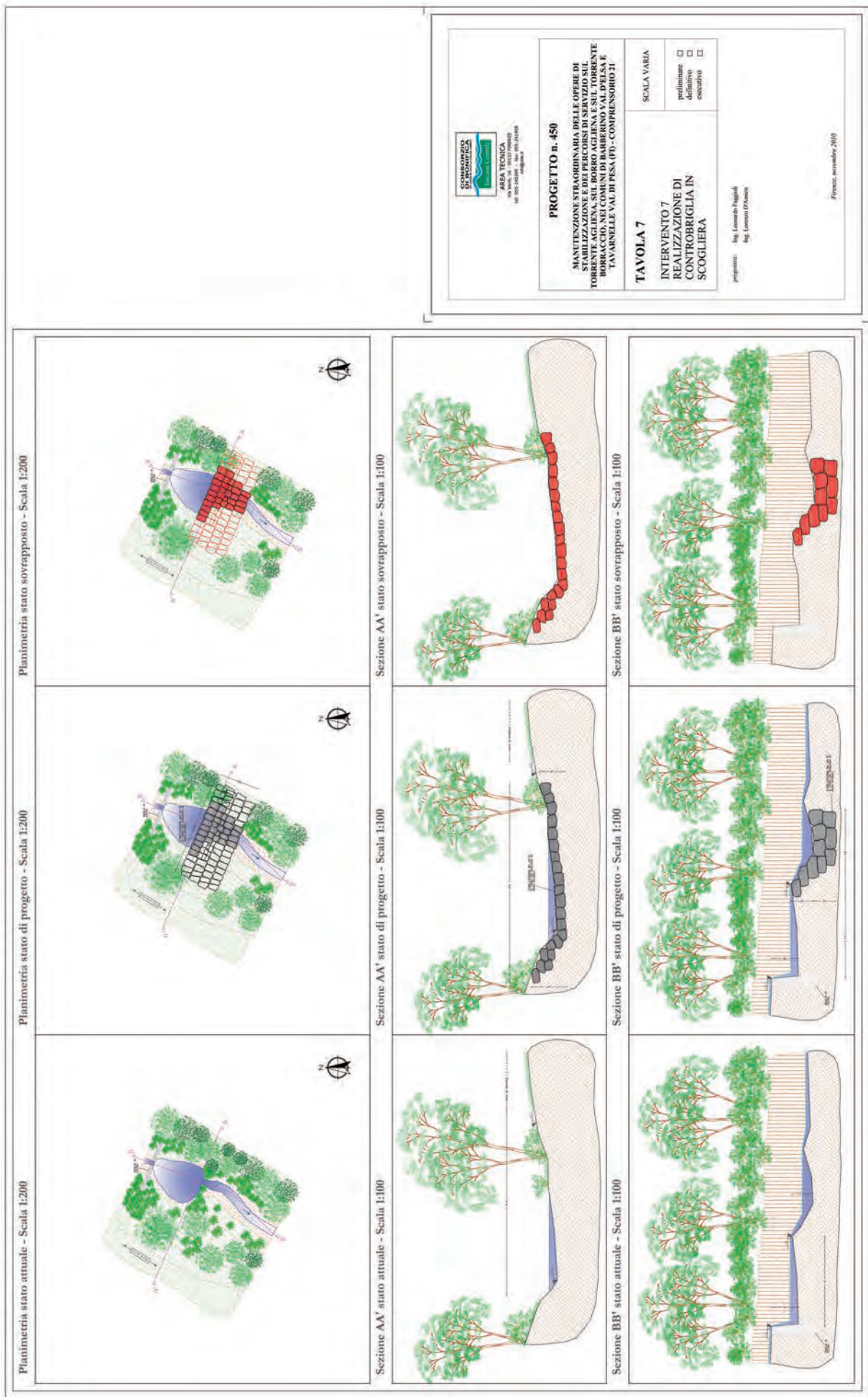
progettisti:
Ing. Leonardo Faggioli
Ing. Lorenzo D'Amico

Firenze, novembre 2010









Consorzio di Bonifica
AREA TECNICA
Progettazione e direzione dei lavori
per conto del Consorzio - Via dei Filippi
100 - 50139 Firenze

PROGETTO n. 450
MANUTENZIONE STRAORDINARIA DELLE OPERE DI STABILIZZAZIONE E DEI PERCORSI DI SERVIZIO SUL TORRENTE AGLIENA, SUL BORRO AGLIENA E SUL TORRENTE BORRACCIO, NEI COMUNI DI BARBERINO VAL D'ELSA E TAVARNELLE VAL DI PISA (PI) - COMPENDIO 21

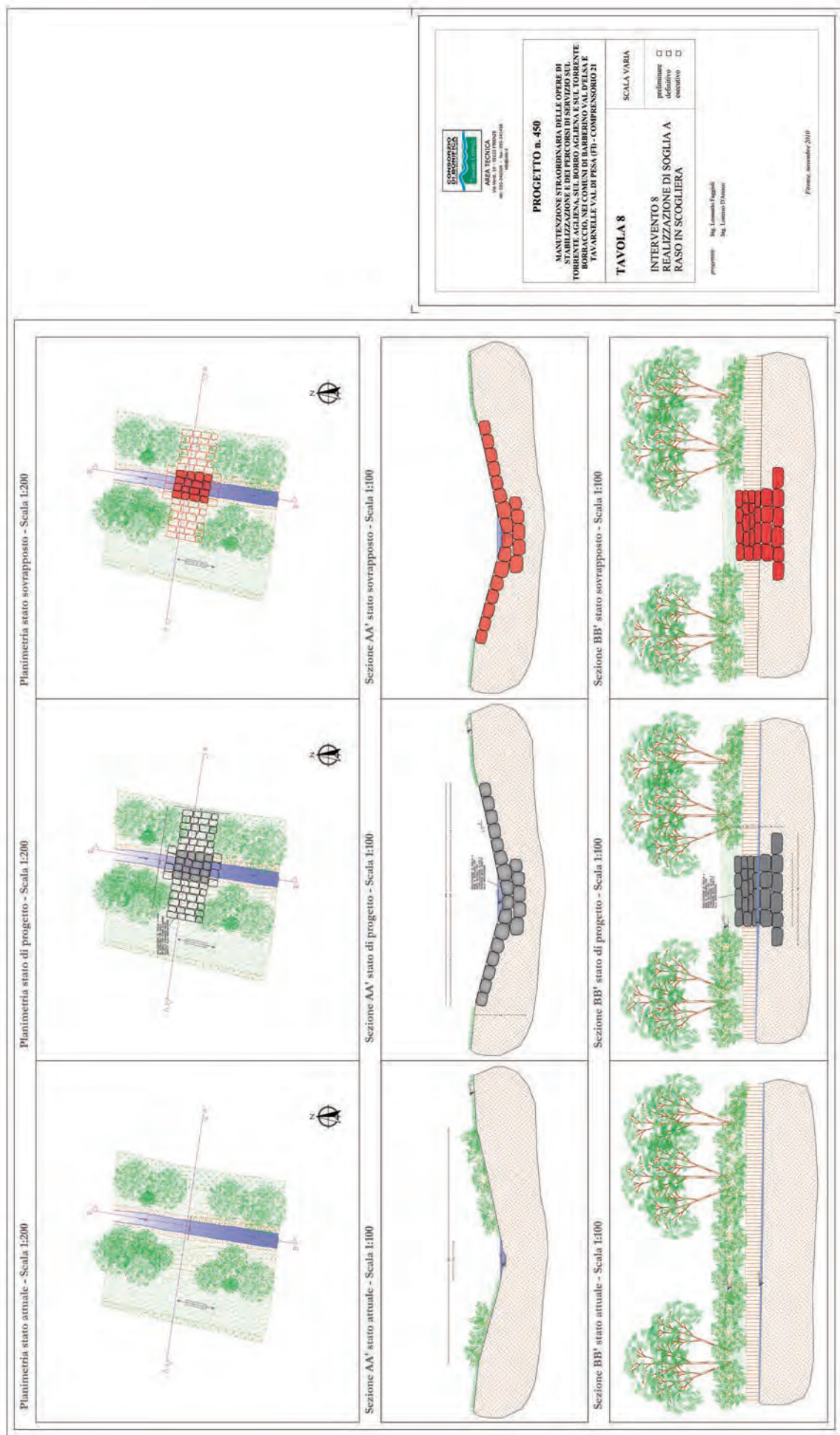
TAVOLA 7
INTERVENTO 7
REALIZZAZIONE DI CONTROBRIGLIA IN SCOGLIERA

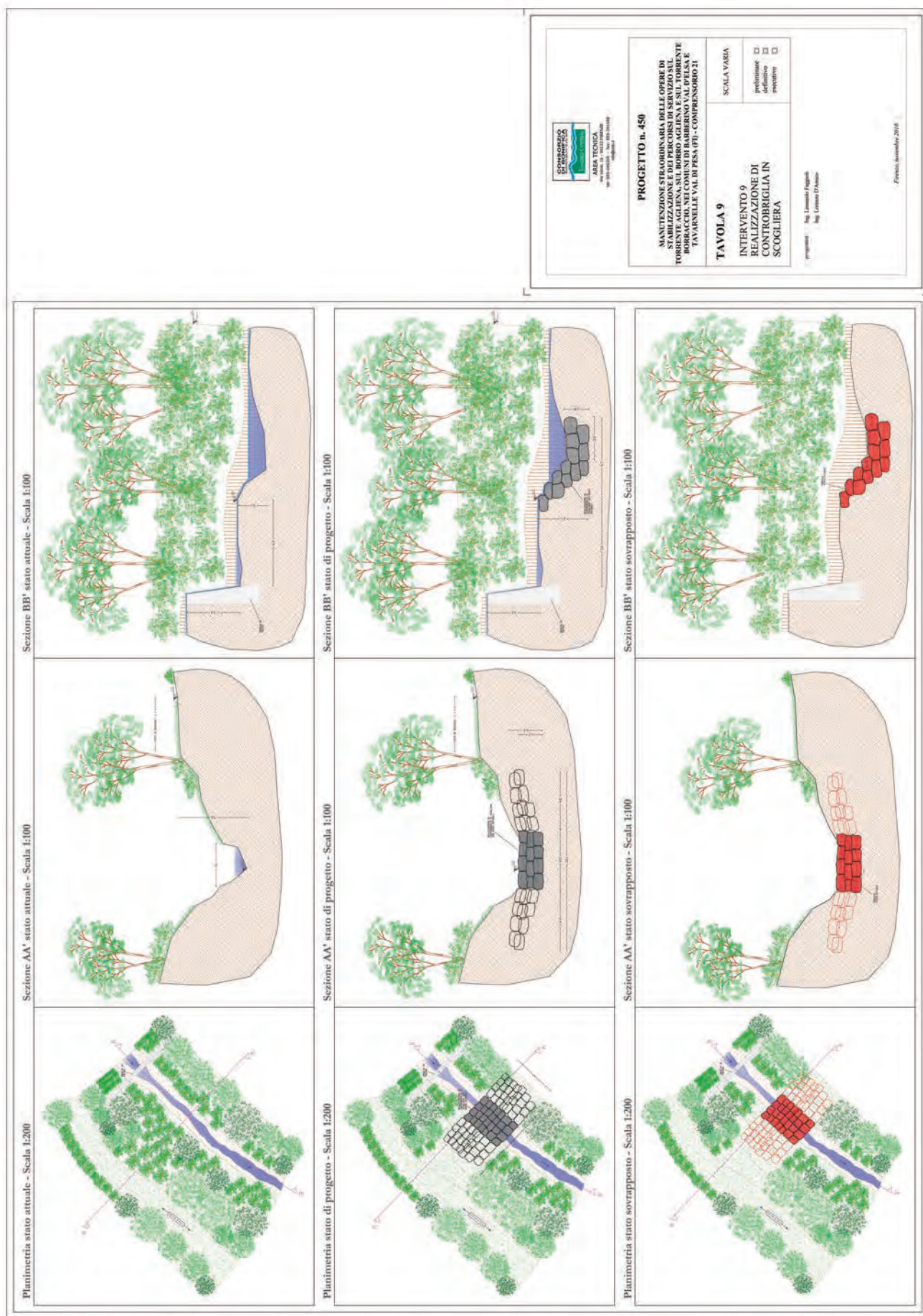
SCALA VARIA

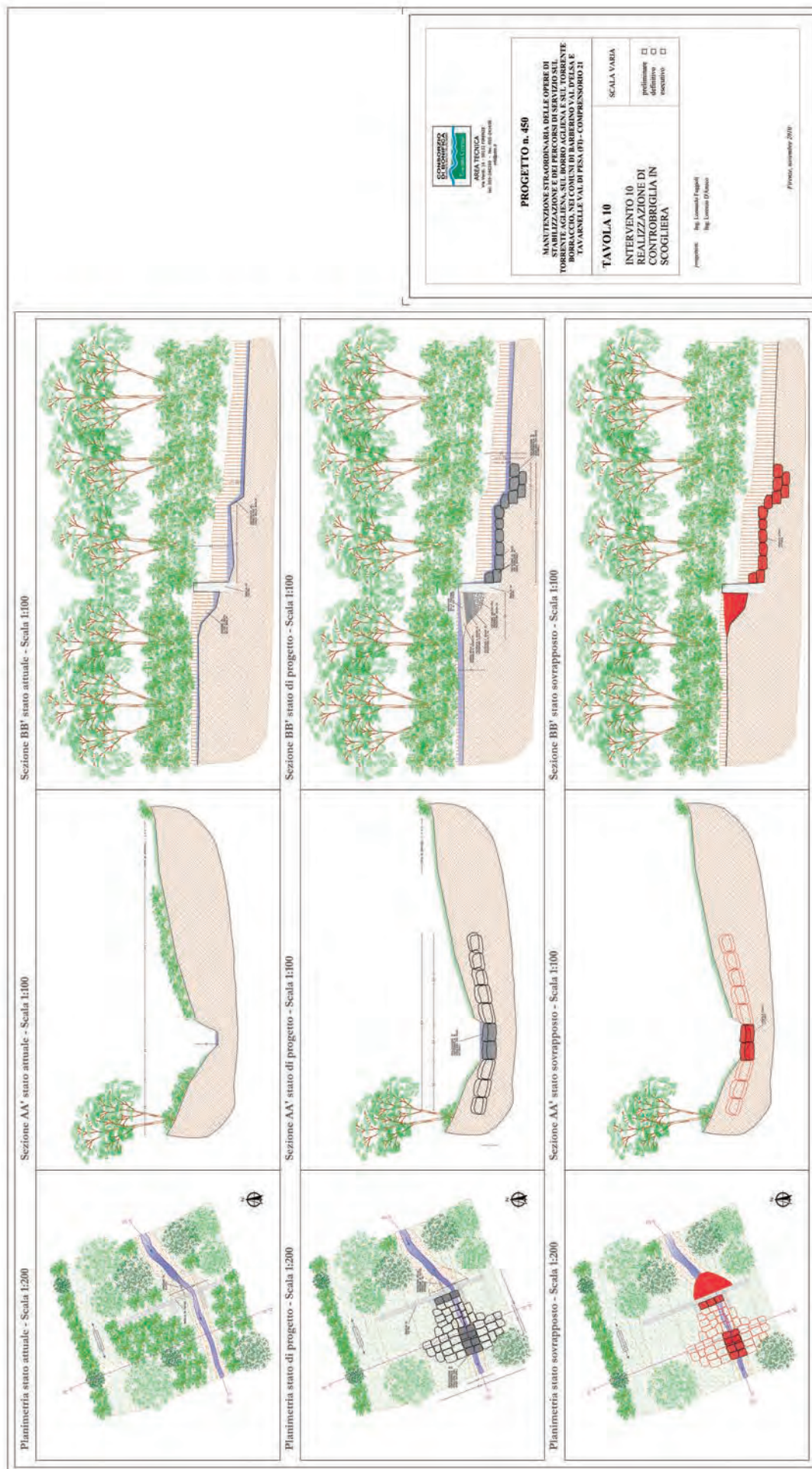
☐ predizione
☐ definitivo
☐ esecutivo

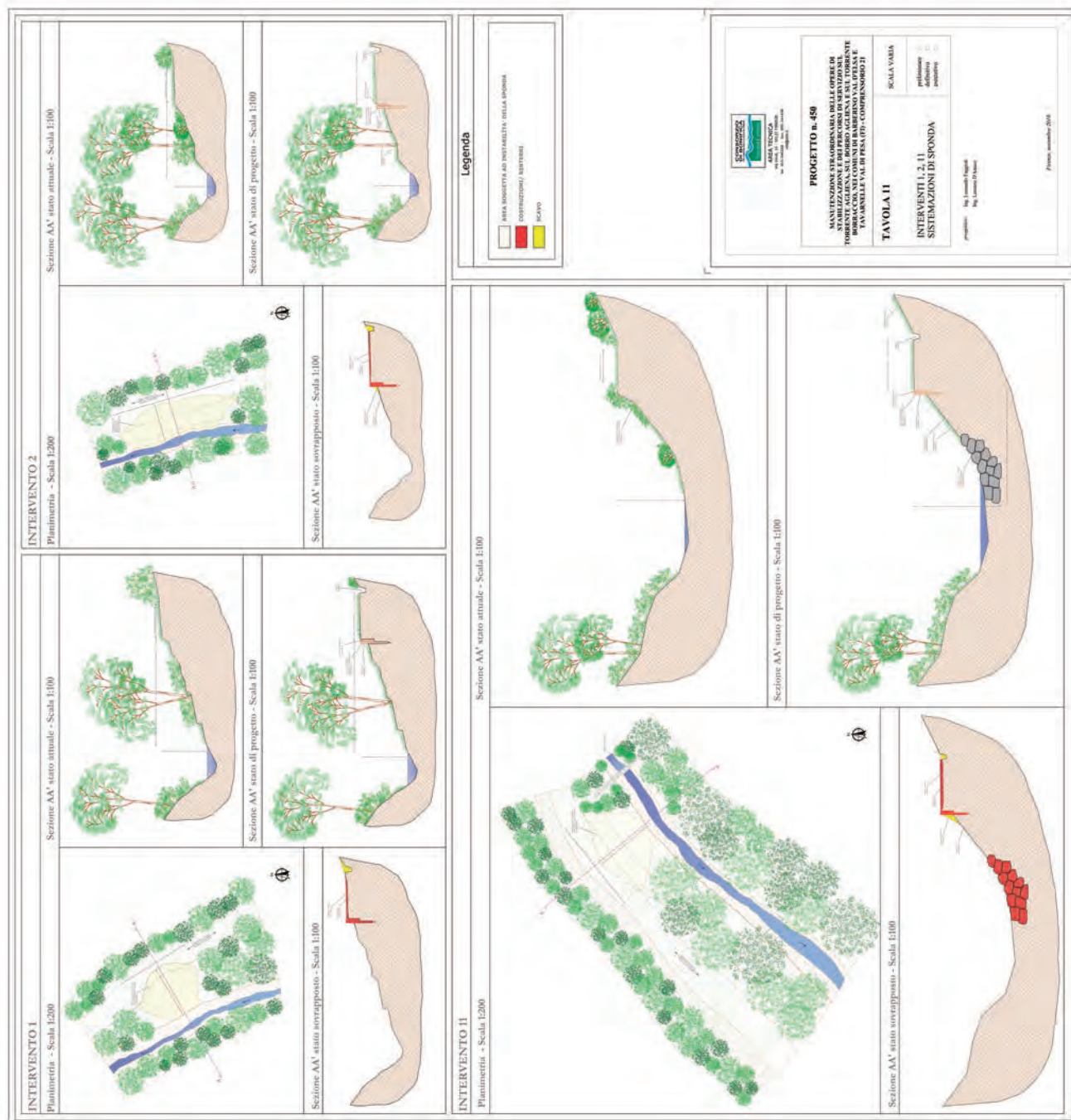
progettato: Ing. Leonardo Pignatelli
Ing. Lorenzo D'Amico

Firenze, novembre 2016









10. Šanov 観光地図



11. Šanov 地形図 (1:25,000)



12. Šanov ポストカード



13. The french restoration of mountainous areas

THE FRENCH RESTORATION OF MOUNTAINOUS AREAS

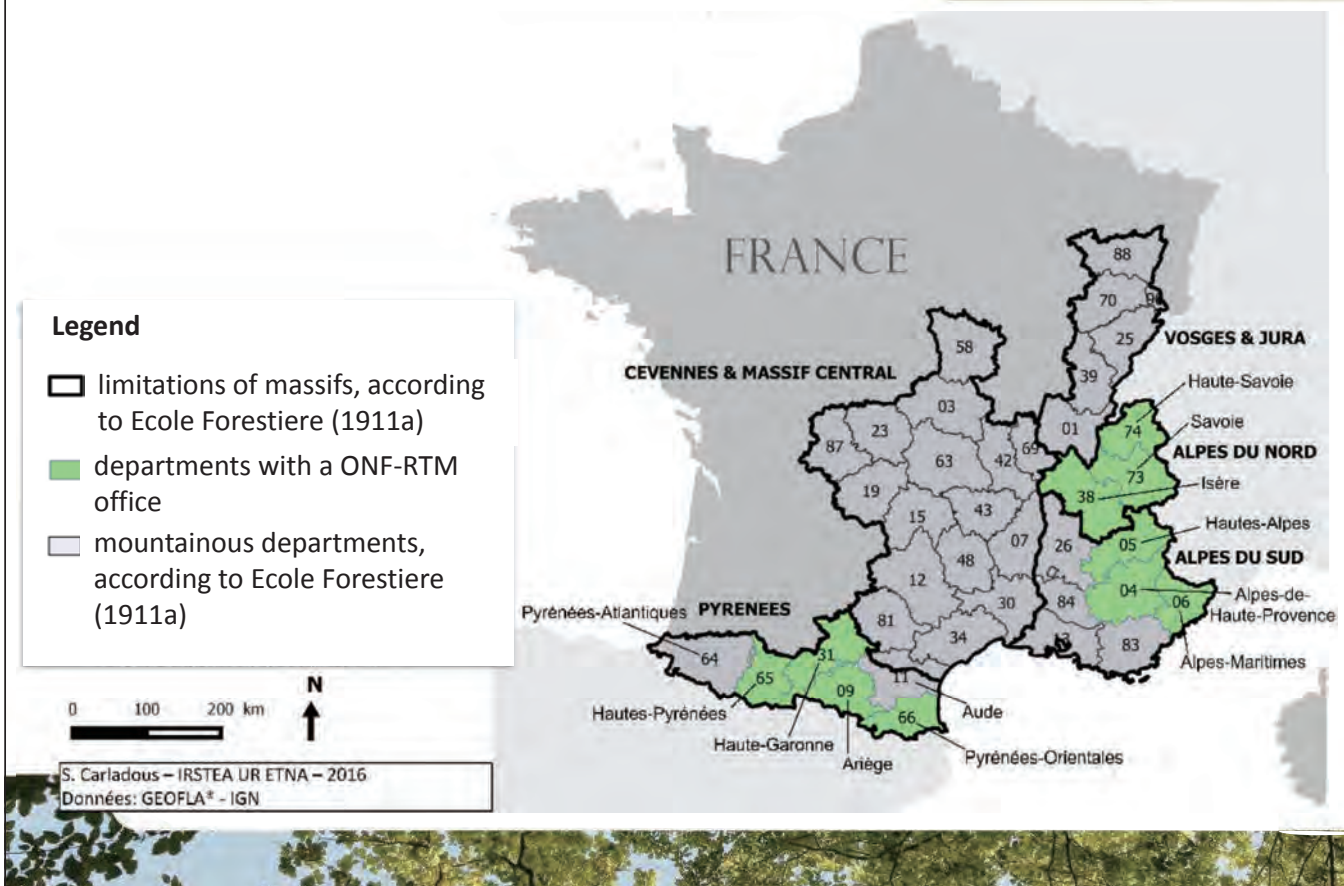
EXCHANGE WITH PROF. NISHIMOTO (JAPAN)

12 OCTOBRE 2017

S. CARLADOUS (ONF/DRN/RTM)



CURRENT LOCATION OF ONF-RTM DEPARTMENTS



Torrential **protective** structures ...



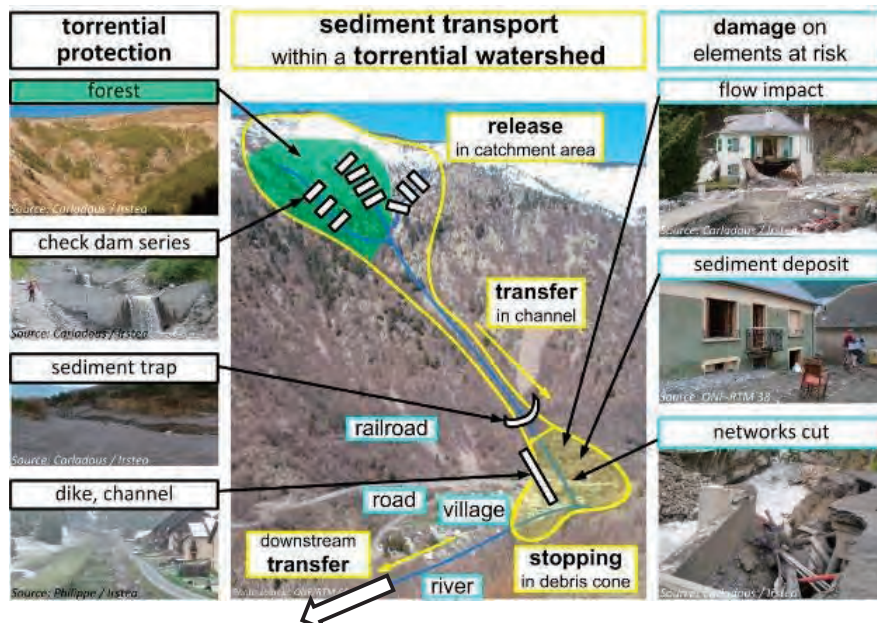
...aim to have an effect on **torrential phenomena** (solid materials + water) ...



debris flows, bed-load transport, torrential floods

... to **reduce damage** on elements at torrential risk.

Torrential **protection** aim to limit solid materials in flow to reduce damage on **local** exposed elements. It has also an **effect** on sediment transfer at a **larger scale**.



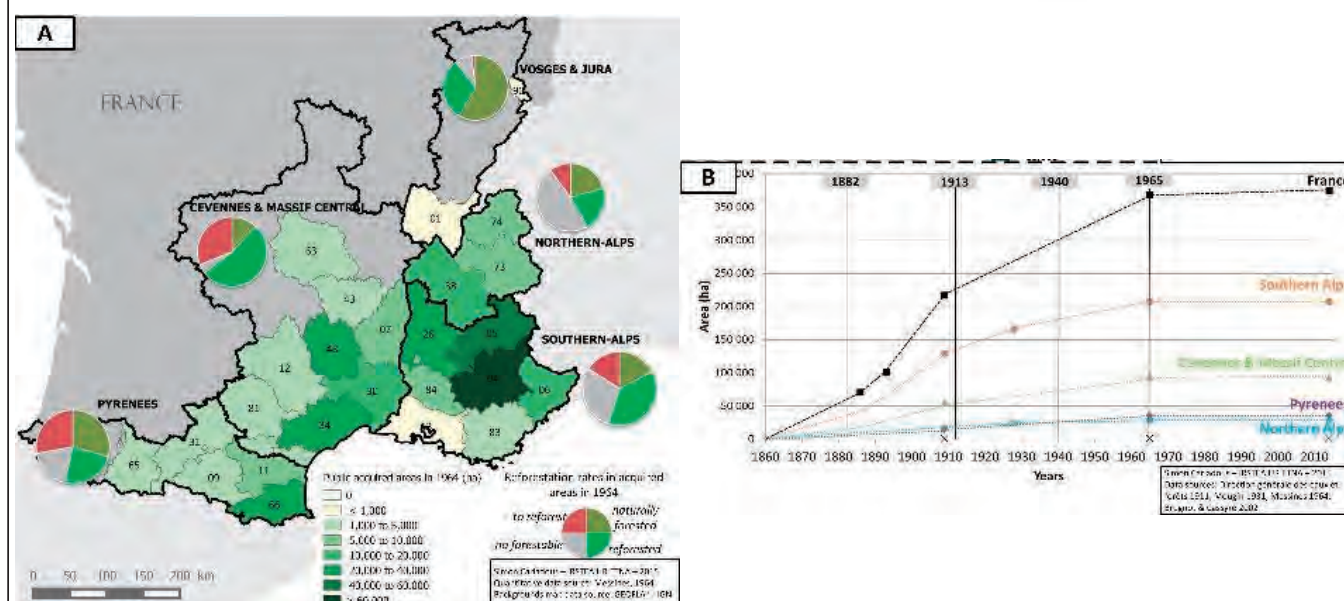
sediment load transfer:

- flood
- incision

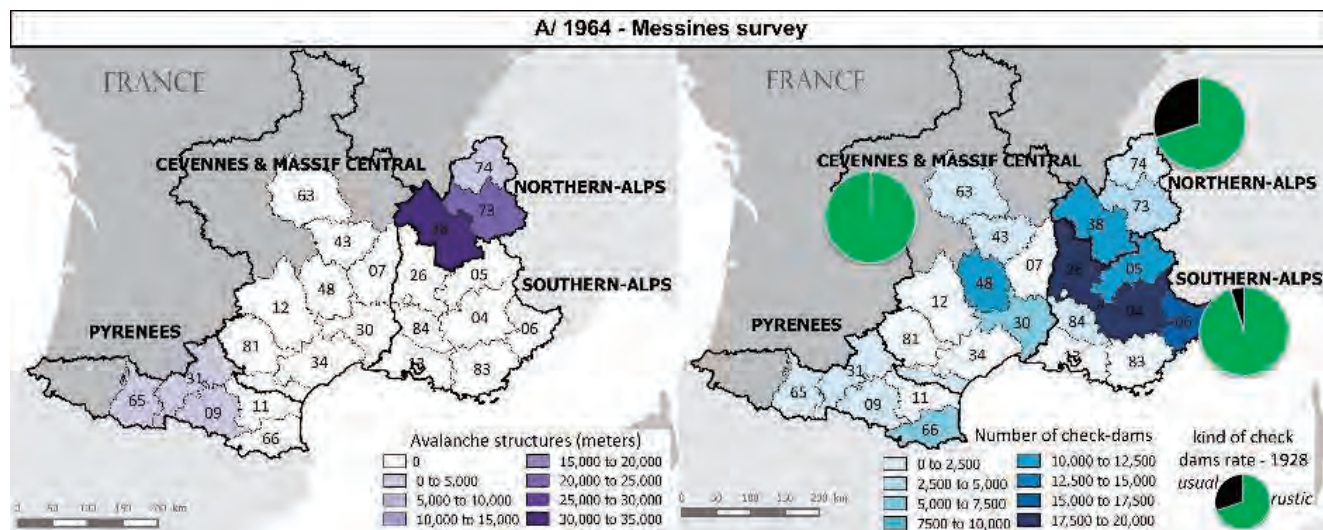
A famous example : Le Capet snowpath in Barèges (65)



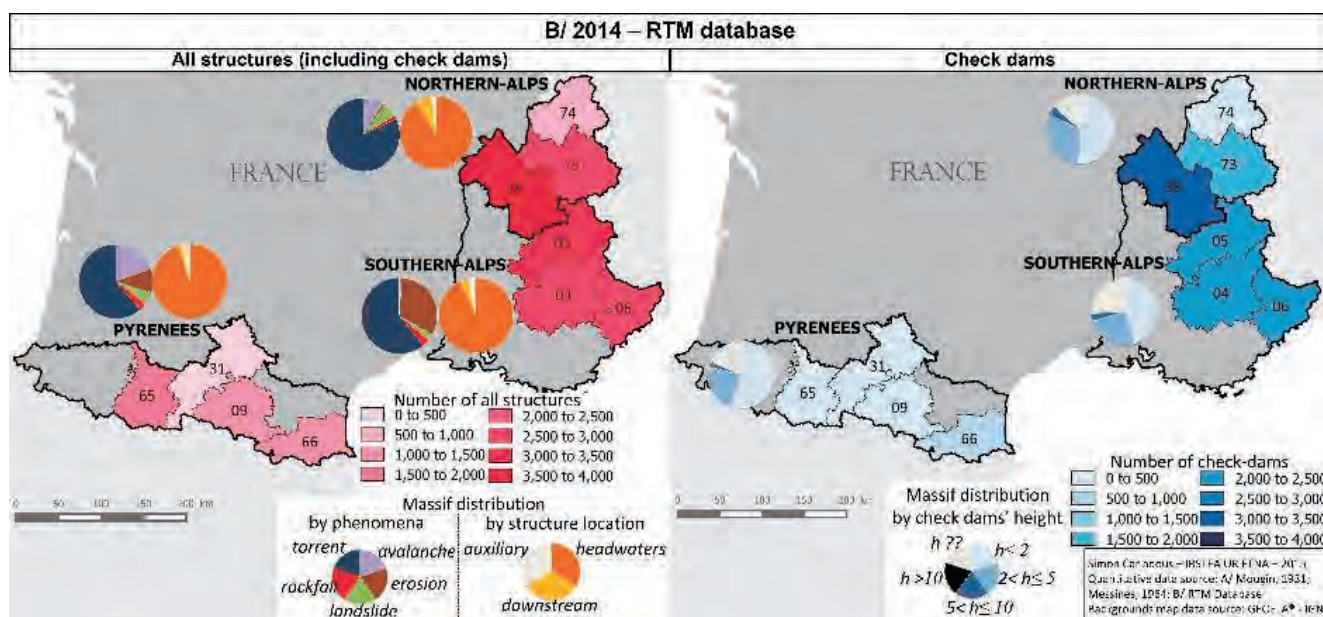
OVERVIEW: PUBLIC ACQUIRED AREAS AND FORESTS



OVERVIEW IN 1964: STRUCTURES IN RTM PUBLIC FORESTS



OVERVIEW IN 2014: STRUCTURES IN RTM PUBLIC FORESTS



- 1860: 1st Restoration and mountainous areas (RTM) law
- 1964: > 90 000 check dams within 3 800 km² of French RTM forests
- 2016: > 14 000 maintained check dams

A lot of torrential protections outside RTM perimeters.

For 150 years, a **changing decision context**:

- natural hazard
- elements at risk
- scientific understanding
- laws and regulations
- management organization



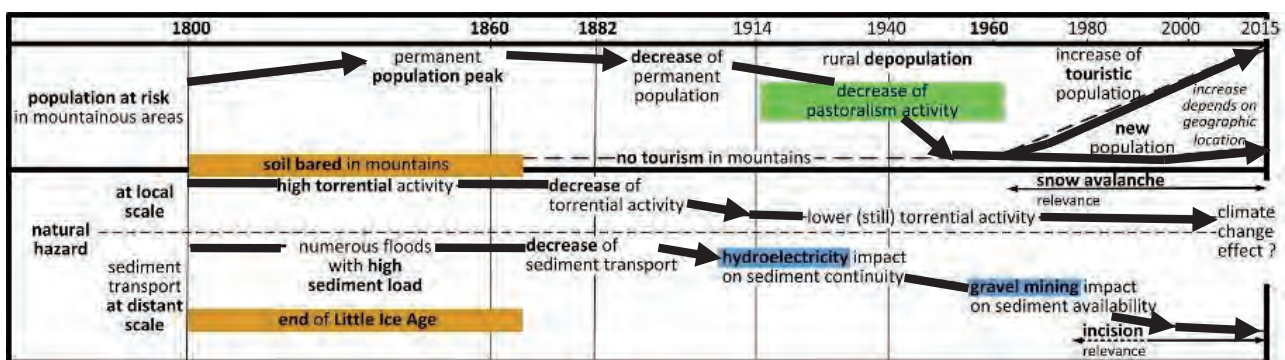
One must **decide** their **maintenance** given **current** context, problems and stakes:

- do past choices match?
- what consequences of their abandonment?



RISK: TORRENTIAL HAZARD AND ELEMENTS AT RISK

Population and activity have evolved in mountainous areas. **Natural hazard** is related to natural but also human activity: **too much or too little sediments**.



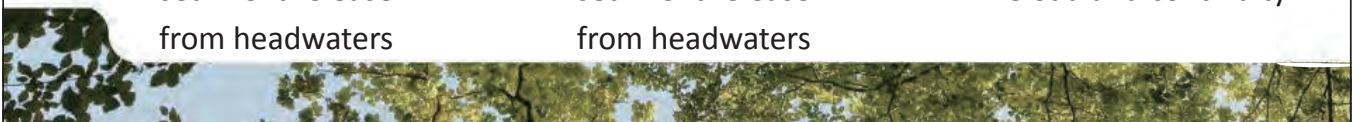
favoring
sediment release
from headwaters



curtailing
sediment release
from headwaters

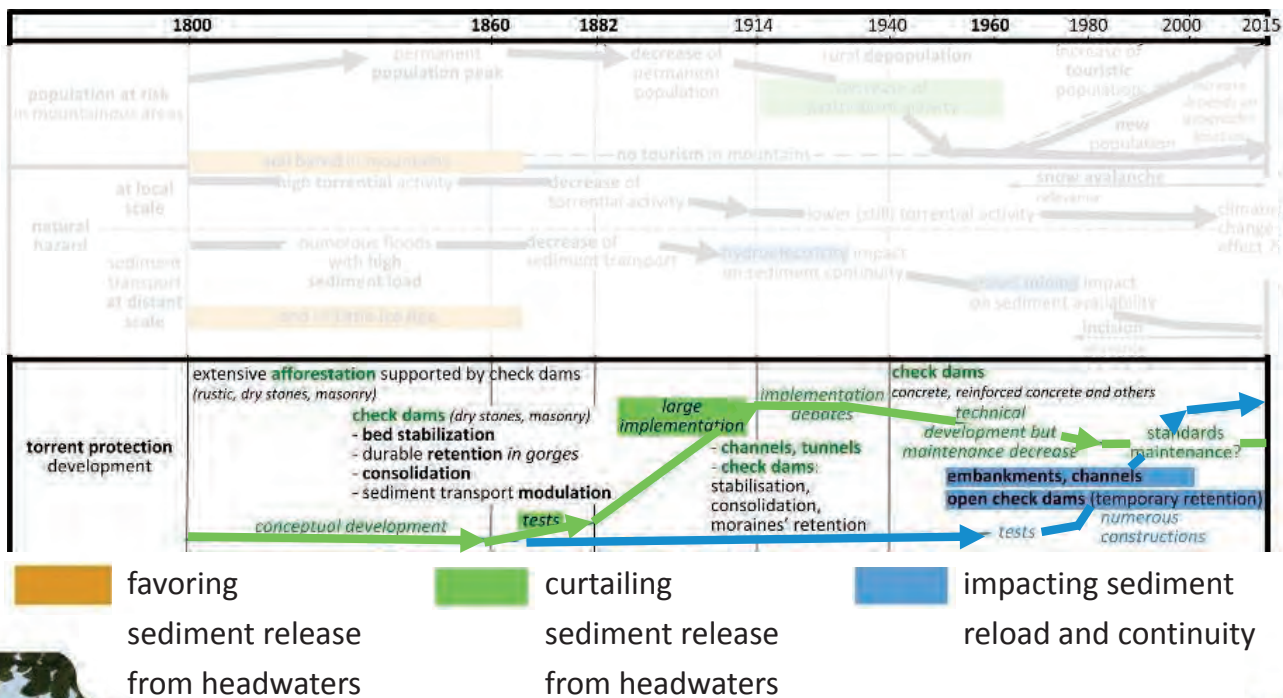


impacting sediment
reload and continuity



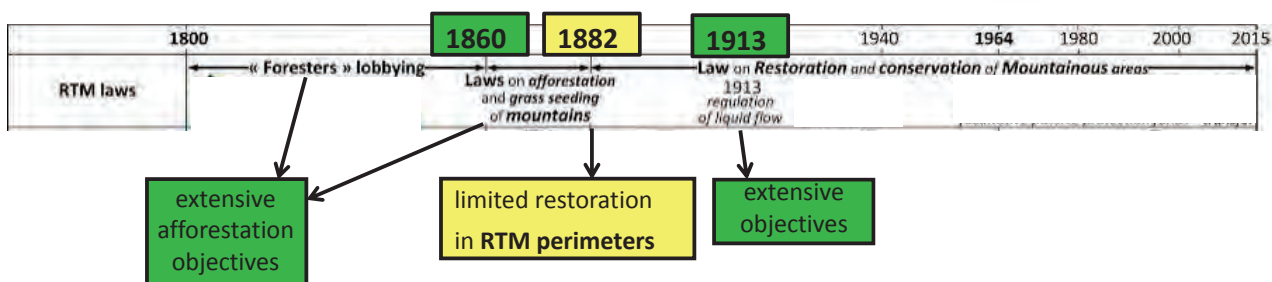
DEVELOPMENT OF TORRENTIAL PROTECTIONS

From **active** to **passive** protection: different expected effects on natural hazard.



THE RTM* LAWS INITIAL OBJECTIVES

* Restoration of mountainous areas

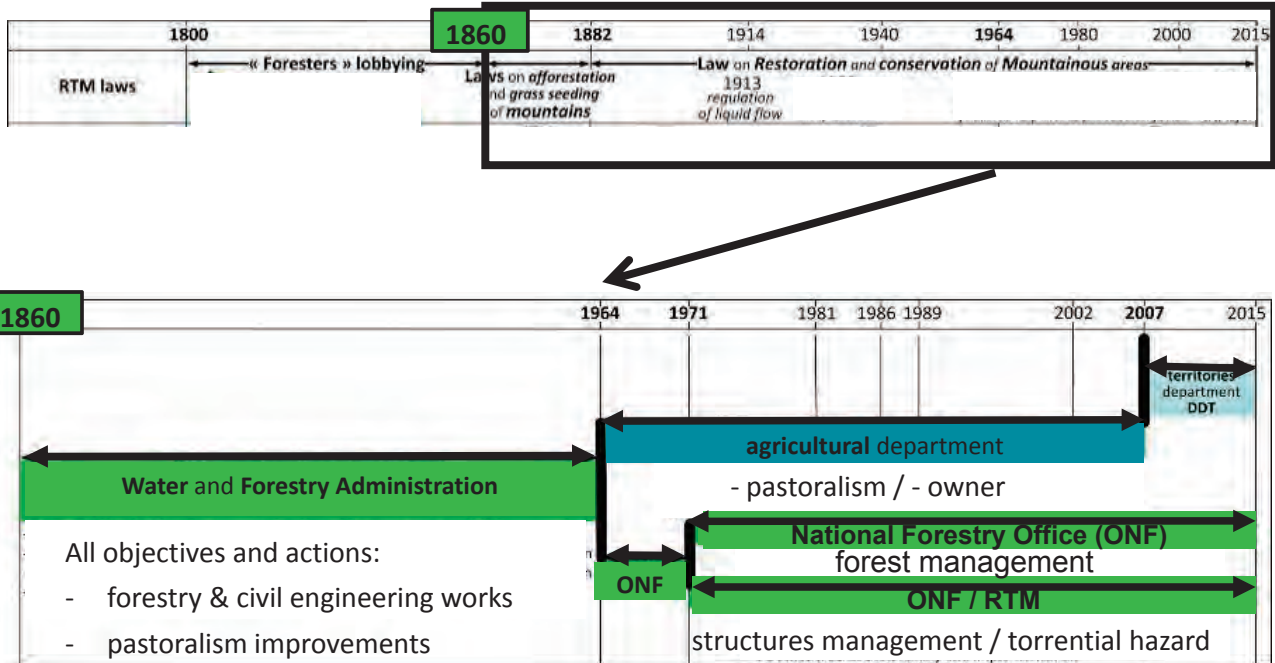


A land-use policy

One or **several objectives**, according to the geographic location:

- **regional scale:** soil consolidation and regulation of water flow
⇒ to **reduce flood risk** due to sediment load and peak discharges along lowland rivers
- **local scale:** soil restoration to control hazardous torrents or avalanche paths
⇒ to **reduce local torrential risk** on mountainous population, crops and networks
- **global scale:** soil conservation and pastoralism improvement actions
⇒ to **stabilize the population** in mountainous areas

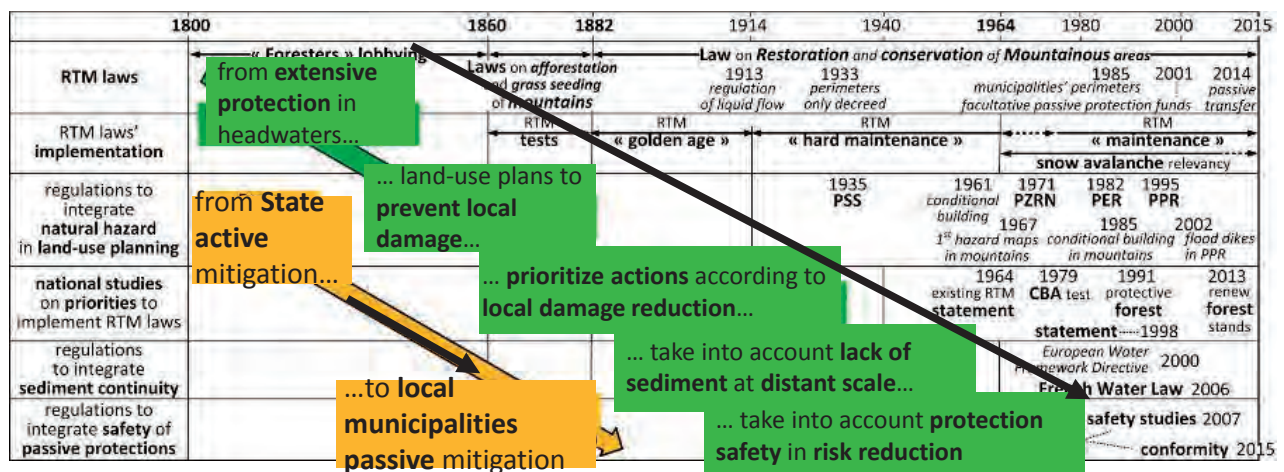
From a unique management department to several ones



Chronological management of RTM laws in public forests

FROM RTM LAWS TO RISK MITIGATION IN MOUNTAINS

From active extensive protection by the State with several objective (local, regional, global) to preventive policy and local risk reduction management.



Current maintenance needs to deal with:

- several decision-makers;
- risk and safety analysis;
- local and distant analysis.

Initial local technical
function



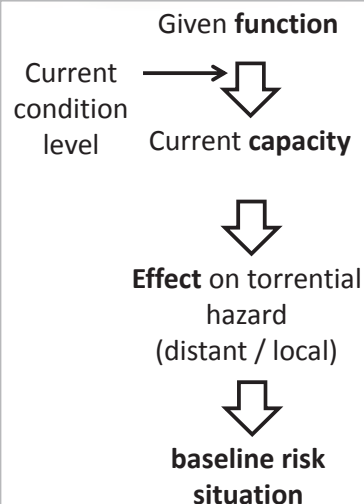
Expected effect on
torrential process



Initial risk reduction
objective
(regional / local)



Existing structures



*several
maintenance
alternatives to
compare*

- A0: maintenance to the current condition level
- A1: artificial destruction
- A2: voluntary abandonment
- A3: rehabilitation to increase the condition level

alternative risk situation

Alternative

cost

risk modification

NEW NEEDS TO HELP SEVERAL DECISIONS

■ LEVEL OF LOCAL OFFICERS:

①

- effectiveness level **to resist?**
- **to reach** given functions?
- **to have expected effect** on hazards?

helps to decide

■ LEVEL OF PUBLIC DECISION-MAKERS:

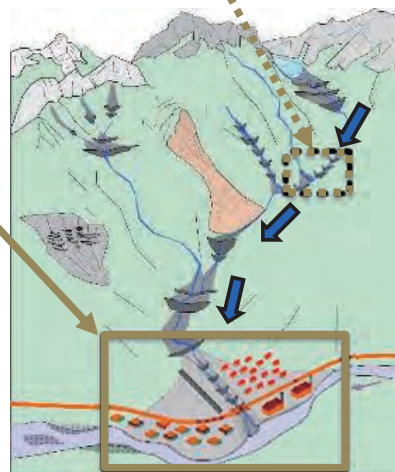
②

- **socio-economic** effectiveness to **reduce risk?**
- action with the **best compromise** between risk reduction and cost?

③

the most efficient?

natural hazards



1. ASSESSMENT OF TECHNICAL EFFECTIVENESS

FUNCTION, CAPACITY AND EFFECT ANALYSIS

For all types of measures

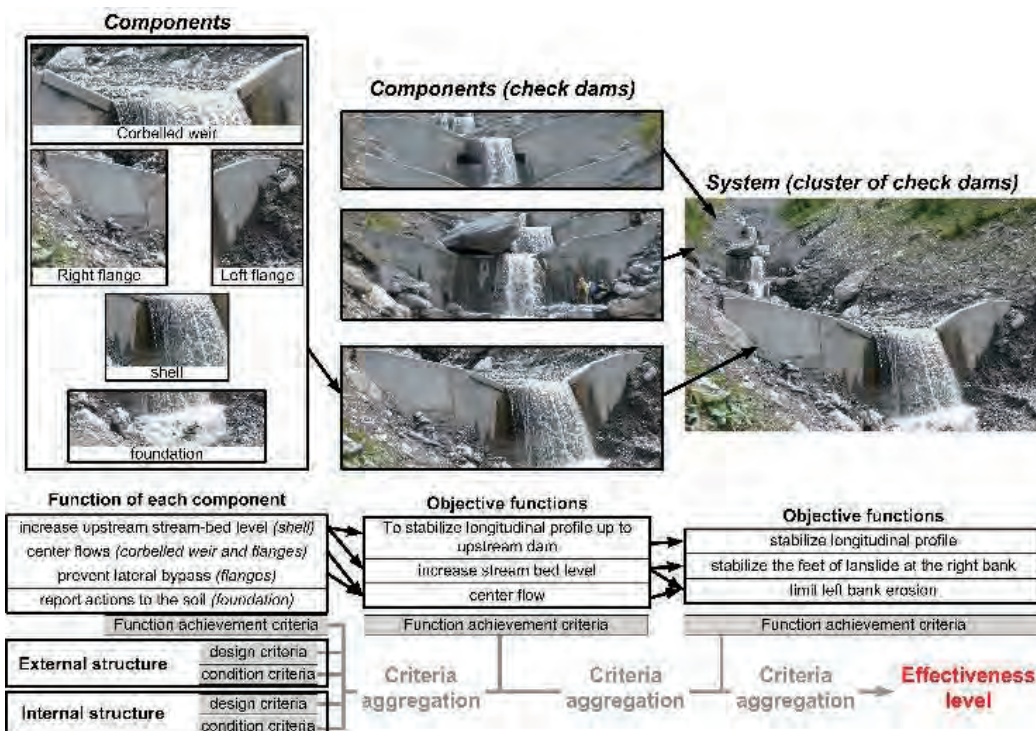


Measure	Function	Capacity	Parameters	Expected effects
Protection forest influence on forest hazards	To maintain sediment on mountainous hillslopes	Maximal volume of potential releasing sediment maintained on hillslopes	Area of potential erosion covered; the potential erosion depth according to geomorphic criteria	Reducing regular sediment production and sediment load at local and regional scales
	To limit run-off	Maximal water volume absorption	Time interval between rain events, rain intensity, soil characteristics, and covered soil area	Reducing the peak liquid flow mainly at regional scale
	To stop block propagation in rock fall paths	Maximal global volume of blocks maintained on hillslopes	Blocks' volumes	Reducing supply to the torrent bed, potentially recruited by debris flow events
Check dams	To punch the morpho in release zone of avalanche paths	Maximal potential releasing volume of snow maintained	Slope and possible uplope uncontrolled areas (cliffs, glaciers)	Reducing the volume of avalanche and the related potential wood and sediment supply
	To stabilize torrent beds	Sediment volume stabilised by the structure against incision and bank erosion (on the long term)	Geology, potential erosion depth, valley geomorphology	Decrease diffuse sediment production on the long term, facilitate vegetation setting
	To consolidate hillslopes	Decrease in supply volume due to the landslide or rock avalanche	Geology, geometrical and geochemical features of the mass movement, hydrogeology	Stop massive sediment supply from a key nearly unlimited source
Open check dams	To decrease bed slope	Decrease in sediment transport capacity (bulk discharge and boulder recruitment)	Hydrology, sediment supply, bed and transported grain size distributions	Prevent massive instantaneous sediment and huge boulder transport
	To durably retain materials	Maximum sediment volume trapped by the structure	Volume to retain, geometry of the valley	Short term trapping of the sediment load
	To regulate sediment transport	Mean transient volume of sediment storage buffering upstream supply	Frequency and magnitude of the sediment supply, length between structures, type of sediment transport process	Diminution of the number of intense sediment transport events
Dike	To store an event sediment volume	Maximum sediment volume trapped by the structure and subsequently degraded	Volume to retain	Flood scale total trapping of sediment supply
	To sort undesirable transported material	Change in the size and quantity of coarse material: woody debris and/or boulders	Type and size of material to sort (woody debris and/or boulders)	Trapping of material that aggravate flood transfer downstream: long logs and boulders
	To dose peak flow	Decrease in the instantaneous peak discharge (water or sediment)	Type of phenomena (defined, debris flood, debris flow)	Lower peak discharges
Bank protection	To break debris flows energy	Number of trapped coarse granular debris flow float	Size of transported boulders, typical number of oulges	Lower channel erosion and better transfer due to less 'surgery' debris flows
	To keep flow in a chosen path	Maximum contained event magnitude	Type of phenomena, flood height	Lower frequency of flooding
	To keep flow in a chosen path without lateral erosion	Length and depth of bank protected	Type of phenomena, flood height	Lower lateral erosion

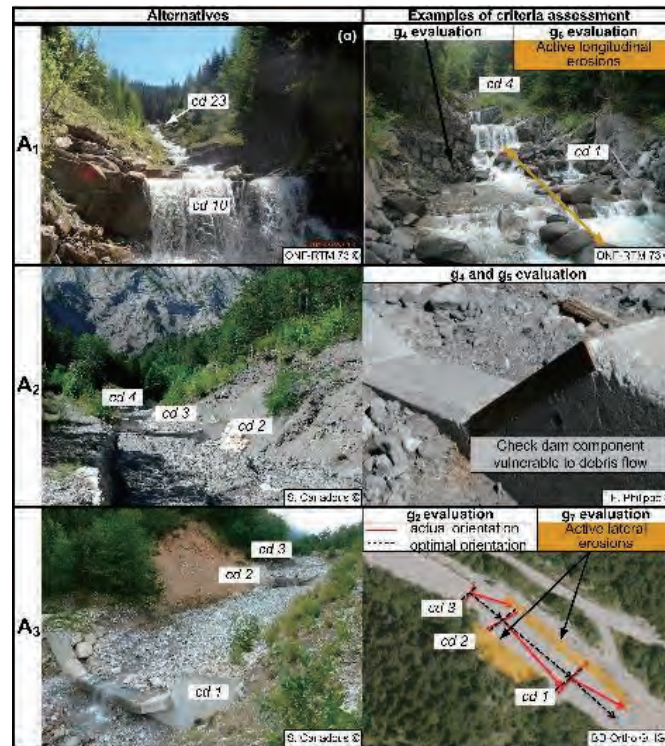
Table 1: Synthesis of structural measure function, capacity and expected effects.

1. ASSESSMENT OF TECHNICAL EFFECTIVENESS

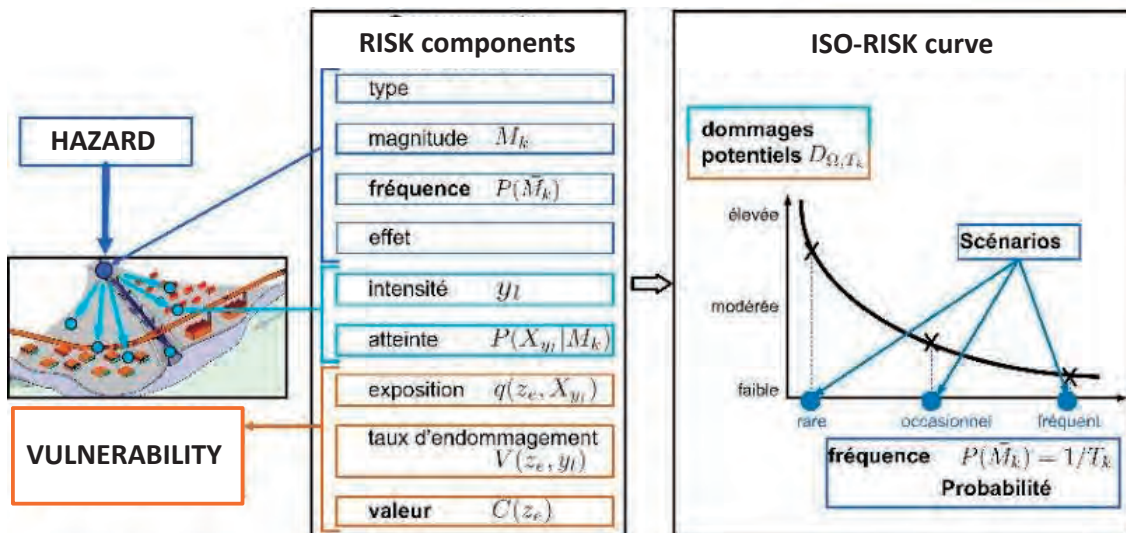
CURRENT CONDITION LEVEL → CURRENT CAPACITY AND EFFECT



■ CURRENT CONDITION LEVEL → CURRENT CAPACITY AND EFFECT



2. RISK ANALYSIS AND SOCIO-ECONOMY



- ➡ specificities of natural hazards in mountains (scenarios)
- ➡ assessment generally limited to monetary value:
to take into account **other value units**, more specific to mountainous areas

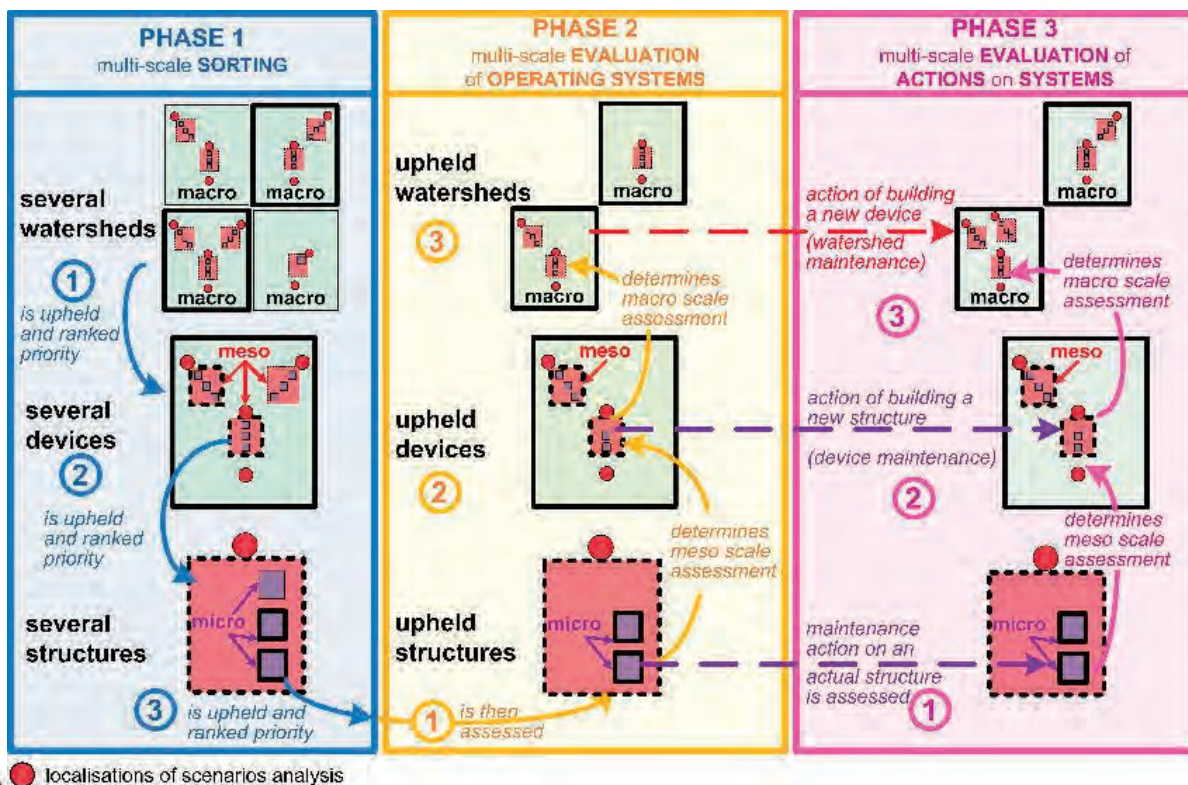
■ METHODOLOGICAL NEEDS:

- To make priority between actions at several scales : national, region, departments, local public forests
- To take into account several phenomena in risk analysis to make decisions (torrential floods, snow avalanches, rockfalls, landslides)

■ EXISTING DECISION-AIDING METHODS AND TOOLS:

- from **local tools** and existing ones in **other countries** (*Switzerland, Austria*) based on risk analysis, risk reduction, confronted to total cost
- existing **methods** from decision-aiding sciences to **adapt**

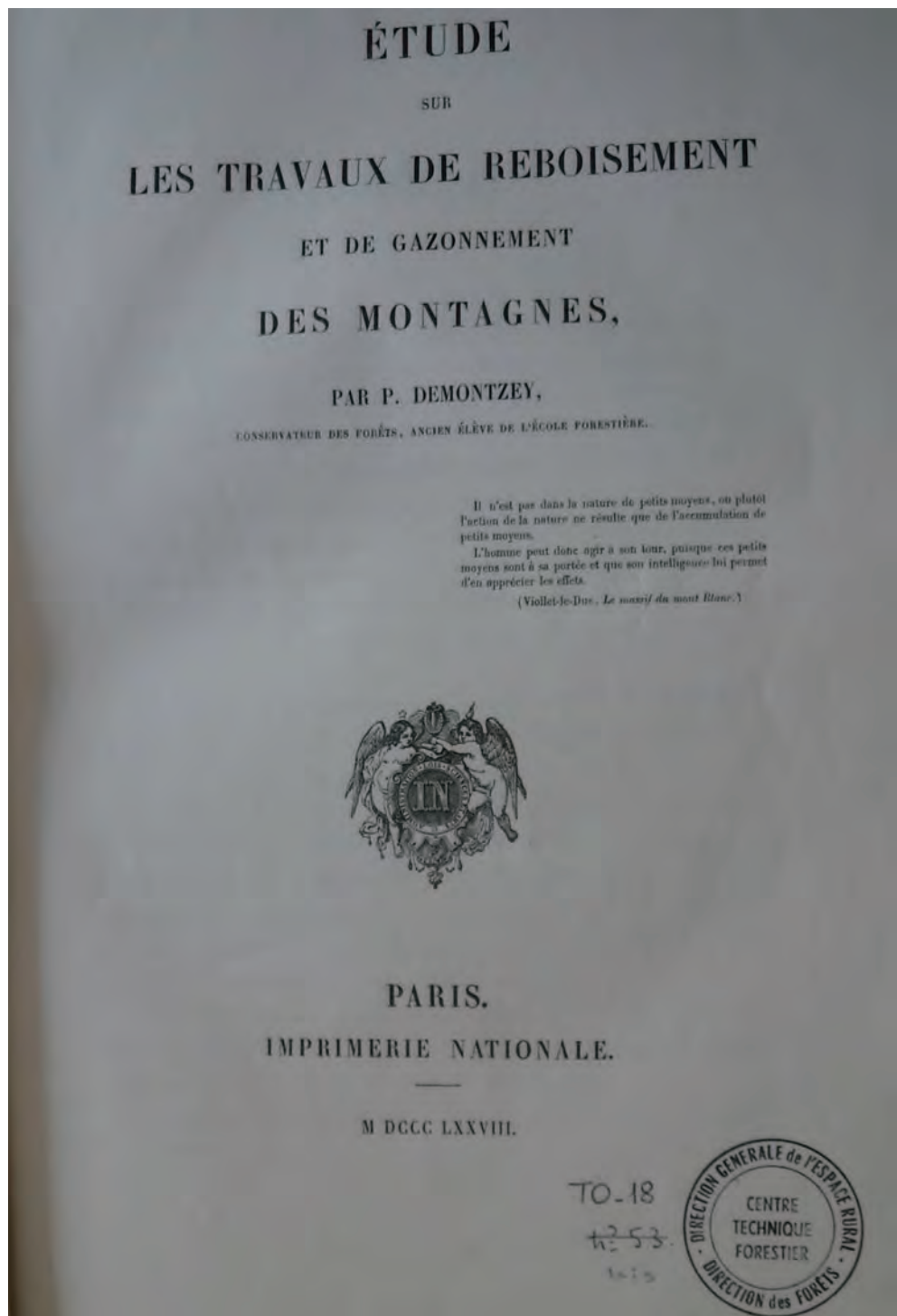
AN INTEGRATED FRAMEWORK



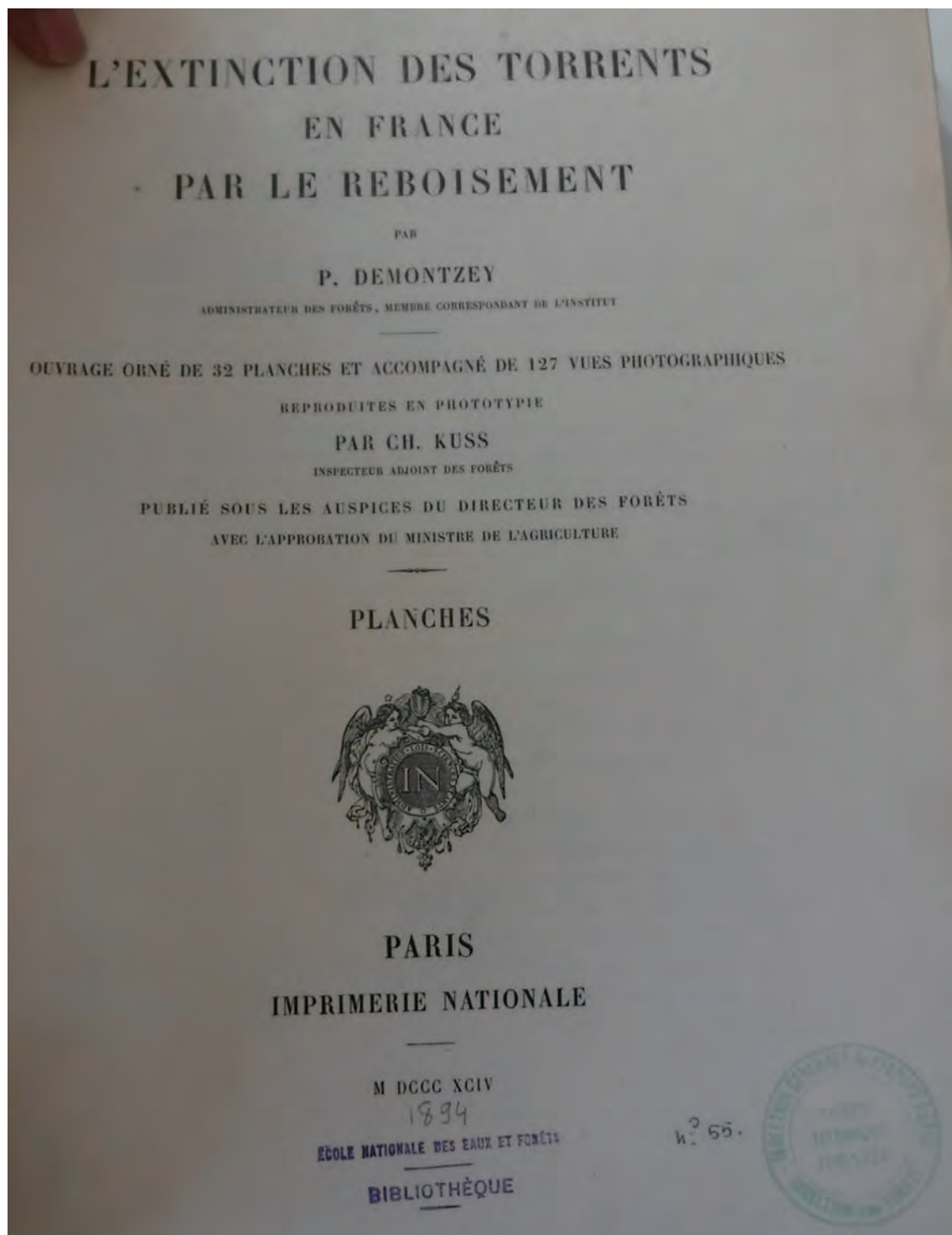
- **A changing decision context** over time and space:
 - natural hazard;
 - population and economic activities at risk;
 - techniques of mitigation measures: from active protection to land-use planning;
 - management evolution;
 - regulatory constraints with multi-issues to achieve;
 - new effectiveness, safety, dependability and risk reduction concepts.
- **To decide** on protection structures' maintenance, **numerous challenges**:
 - potential functions;
 - local functional capacity;
 - failure consequences on capacity;
 - failure probability;
 - torrential hazard at local scale;
 - sediment transport and related hazard at larger scale;
 - quantitative effect on hazard at local and regional scales;
 - potential damage on exposed elements (direct/indirect ; economic/no economic);
 - cost of maintenance actions;
 - decision-making given several criteria and all imperfect information.



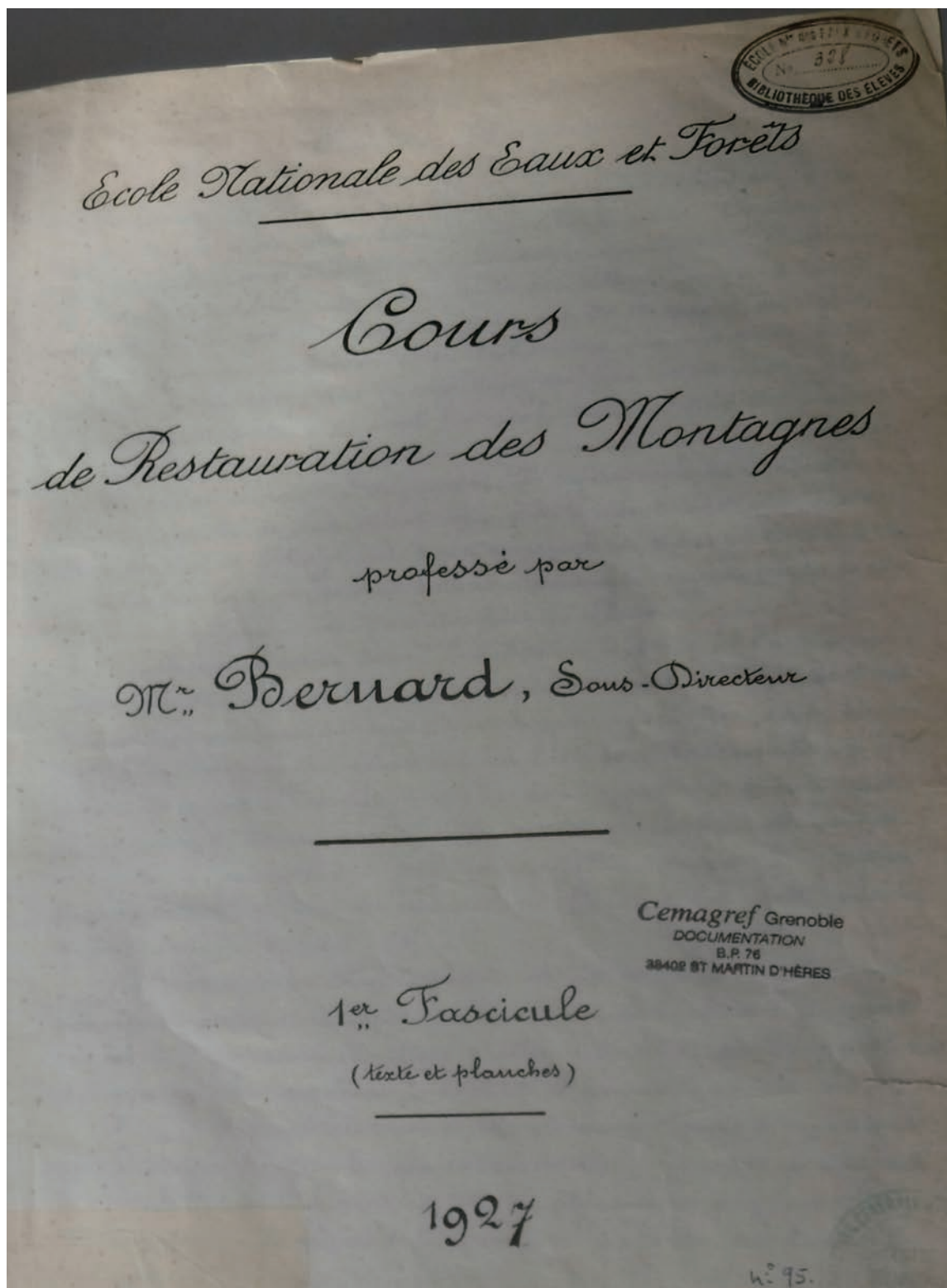
14. LES TRAVAUX DE REBOISEMENT DES MONTAGNES,
PAR P. DEMONTZEY



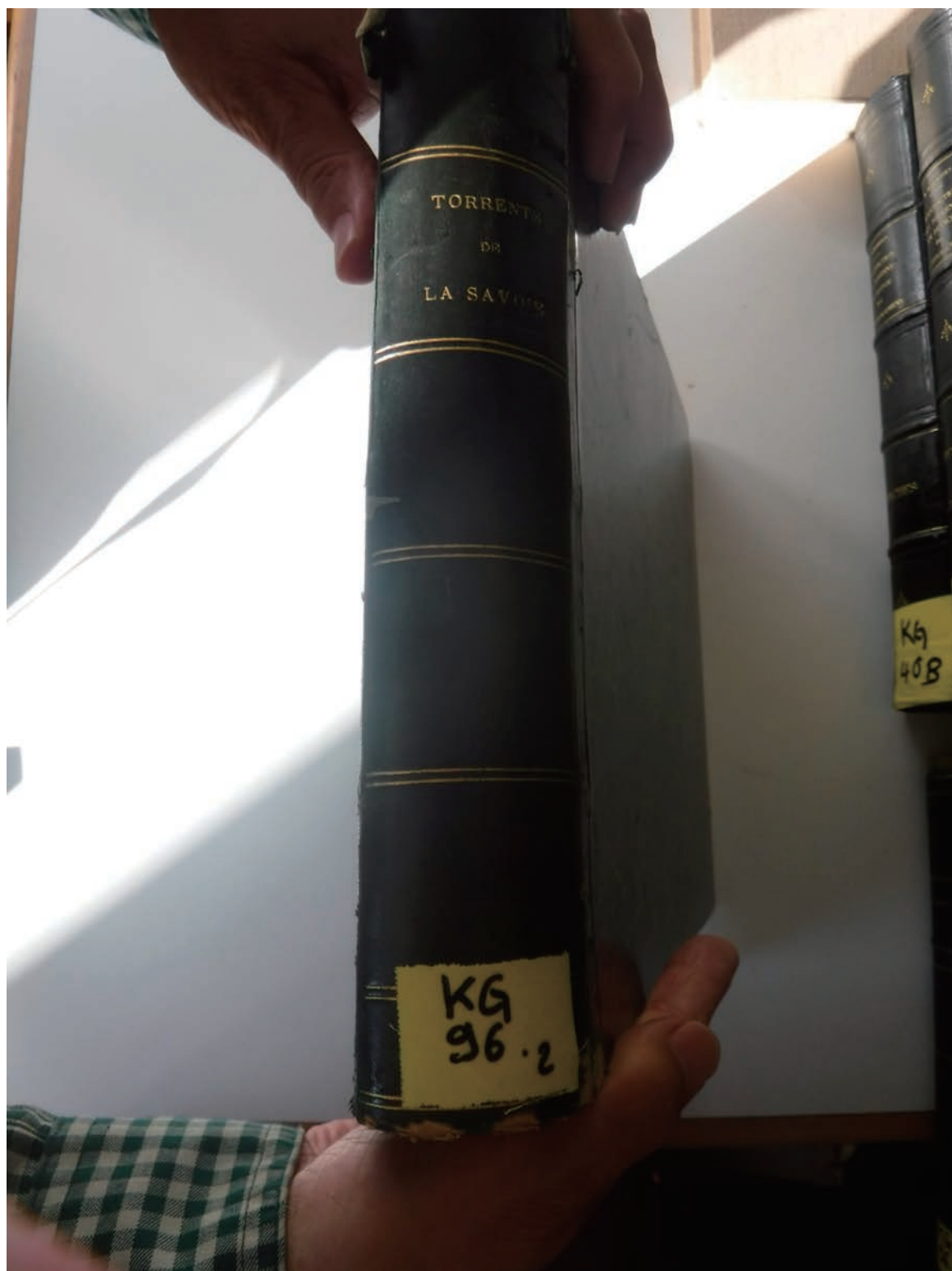
15. L'EXTINCTION DES TORRENTS, PAR P. DEMONTZEY



16. Restauration des Montagnes, M. Berunard



17. TORRENTS DE LA SAVOIE



第9章 調査写真

訪問先の様子，移動時の状況などを調査写真としてとりまとめた．

日本からオーストリアへ移動

オーストリア・ウィーン



ANAで経由する
ドイツのデュッセルゲンルフに向かう



デュッセルゲンルフにて乗り継ぎする
飛行機を確認中



BOKU正面にて
(Hübl教授の居室がある別館)



HÜBL教授・5名の学生とディスカッション
(日本の土砂災害事例の紹介
～平成29年7月「北九州豪雨」～)
【紹介者】大村

欧州調査写真 平成29年10月1日(日)

オーストリア・ウィーン

欧州調査写真 平成29年10月2日(月)

オーストリア・ウィーン



Hübl 教授・5名の学生とディスカッション
(アメリゴ・ホフマンの紹介)
【紹介者】西本教授



Hübl 教授・5名の学生とディスカッション
(オーストリアの砂防施設
と観測技術の紹介)
【紹介者】HÜBL教授



卒業生名簿の収集状況



Hübl教授と教授の居室前にて
(後方パネルはBOKUの
歴代砂防担当教授を表す)

欧州調査写真 平成29年10月2日(月)

オーストリア・ウィーン

欧州調査写真 平成29年10月2日(月)

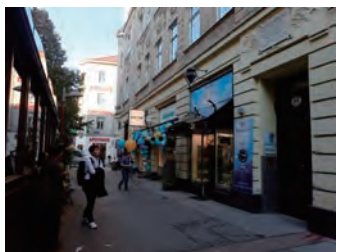
オーストリア・ウィーン



ゲンツガッセ26
諸戸博士下宿先
右の建物



ゲンツガッセ26 扉前



諸戸博士下宿先近くの
シューベルト「セレナーデ」誕生の地



ホーフブルク王宮(新王宮)

欧州調査写真 平成29年10月2日(月)

オーストリア・ウィーン

欧州調査写真 平成29年10月2日(月)

オーストリア・ウィーン



王宮庭園



モーツァルト像



シュテファン寺院



オペラ座

欧州調査写真 平成29年10月2日(月)

欧州調査写真 平成29年10月2日(月)

オーストリア・ウィーン



ゲーテ像



王宮庭園

オーストリア・ウィーン



ウィナーシュニッツェル発祥の店“Figlmüller”(フィグルミュラー)で、牛肉のウィナーシュニッツェルを食べる。グラスはこの時期(10月初め)のみ飲むことができるホイルゲという飲み物。



欧州調査写真 平成29年10月2日(月)

オーストリア・ウィーン

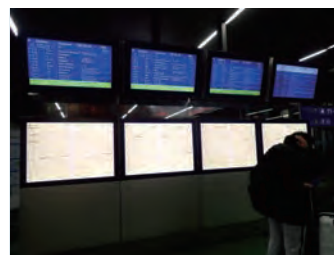


モーツァルト(カフェ)で休憩



欧州調査写真 平成29年10月2日(月)

オーストリアからイタリアに移動



ウィーン中央駅
電車の時刻表
直前にならないと表示が出ない
また、改札は無い



駅の中のスーパーで昼食を購入

欧州調査写真 平成29年10月2日(月)

オーストリアからイタリアに移動



ウィーンでフィラッハ行の列車に乗車
乗車口に高さがあるため、
荷物の積み込みに苦労する



フィラッハへ向かう列車内の様子

欧州調査写真 平成29年10月3日(火)

オーストリアからイタリアに移動



フィラッハでウディネ行のバスに乗り換え



バスは2階建て
2階席の1番前の席は
全面窓になっている

欧州調査写真 平成29年10月3日(火)

イタリア・ウディネ



イタリア滞在中の宿
Hotel Friuli
レストランも併設している



ホテルで紹介してもらった
HOSTARIAで夕食

欧州調査写真 平成29年10月3日(火)

イタリア・タルヴィジ奥



ホテルロビーで通訳の松井さんと打合せ



現地まで車で移動

欧州調査写真 平成29年10月3日(火)

欧州調査写真 平成29年10月4日(水)

イタリア・タルヴィジオ



バーでボナーニ氏と打合せ



森林警察の車で現地まで移動



1900年代の堰堤



1930～1935年頃の堰堤

欧州調査写真 平成29年10月4日(水)

イタリア・タルヴィジオ(シアイド溪)



施行中の堰堤
鉄筋を使用している



ボナーニ氏が設計した堆積工の状況

欧州調査写真 平成29年10月4日(水)

イタリア・タルヴィジオ



Alte Hiittelにて昼食
この地方で有名なサラミやフリッコを
注文する



パトリツィア氏と合流

欧州調査写真 平成29年10月4日(水)

イタリア・タルヴィジオ(サイセラ溪)



周辺は優良なミネラルウォーターの
産出地のため、水の売買や、
石についても売買したりする



500m3が捕捉できる堆積工

欧州調査写真 平成29年10月4日(水)

イタリア・タルヴィジオ(森林警察事務所)



UFFICIO TERRITORIAL
CARABINIERI PER LA
BIODIVERSITA TARVISIO



諸戸北郎博士やアメリゴ・ホフマンが
訪問し宿泊した

欧州調査写真 平成29年10月4日(水)

イタリア・ウディネ



ウディネのホテル近くの、通訳の松井さんおすすめのPepataにて夕食



欧州調査写真 平成29年10月4日(水)

イタリア・タリアメント



待ち合わせ場所まで車で移動



バースト氏、マルカート氏と合流

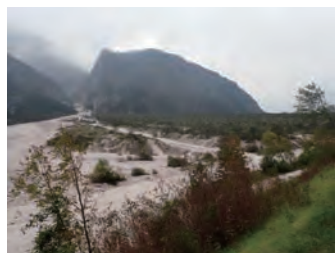
欧州調査写真 平成29年10月4日(水)

欧州調査写真 平成29年10月5日(木)

イタリア・タリアメント



リヴォーリ・ピオンキ扇状地



イタリア・タリアメント(モスカルド溪)



溪流の最上流部
正面に見えるのが地すべり本体



ブロックは破碎された泥岩で
構成されておりアンカーが効かない

欧州調査写真 平成29年10月5日(木)

イタリア・タリアメント(モスカルド溪)



最上流の堰堤
地すべり土塊の脚部固定をしている



欧州調査写真 平成29年10月5日(木)

イタリア・タリアメント(モスカルド溪)



10年前に施工された堰堤
流路が直線区間となっている箇所に
施工され、土石流を減速させる
効果を持つ



堰堤の上流堆積状況
既に満砂

欧州調査写真 平成29年10月5日(木)

イタリア・タリアメント(モスカルド溪)



中流の堰堤
支川は木製の堰堤になっている



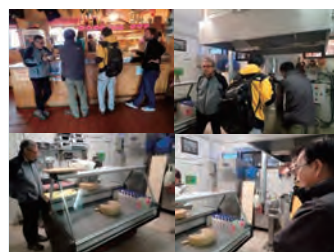
本川の堰堤
地すべりの脚部固定の役割を持つ

欧州調査写真 平成29年10月5日(木)

イタリア・タリアメント(モスカルド溪)



MALGA PRAMOSIOで休憩
チーズを作っているところを見学。新鮮なチーズを購入することもできる。



欧州調査写真 平成29年10月5日(木)

イタリア・タリアメント(モスカルド溪)



Matiz da Ottoで昼食



欧州調査写真 平成29年10月5日(木)

イタリア・タリアメント(モスカルド溪)



下流部の観測機器



実際に撮影された土石流の動画

欧州調査写真 平成29年10月5日(木)

欧州調査写真 平成29年10月5日(木)

イタリア

イタリア・フィレンツェに移動



ホテルのレストランで夕食
イタリアではパスタの後にメインとサラダが出てくる



ウディネ駅からフィレンツェに向け出発



電車内

欧州調査写真 平成29年10月5日(木)

イタリア・フィレンツェに移動

欧州調査写真 平成29年10月6日(金)

イタリア・フィレンツェに移動



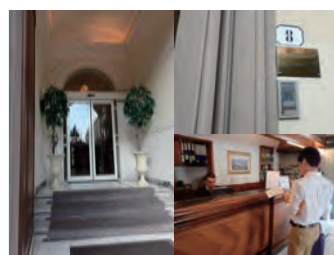
ヴェネツィア駅で乗り換え



電車内
サービスで水とお菓子のセットが出る



フィレンツェ駅に到着



フィレンツェでの宿
HOTEL ENBASSY

欧州調査写真 平成29年10月6日(金)

イタリア・フィレンツェ

欧州調査写真 平成29年10月6日(金)

イタリア・バルベリーノ・ヴァル・デルサ



ホテルで紹介された IL PORTALEで夕食
観光客が多いらしく、日本語メニューがある



集合場所まで車で移動



バルベリーノ・ヴァル・デルサで集合
左から2人目がMR.ホフマン氏、3人目がMS.ニースナー。二人はアメリゴ・ホフマンの孫。

欧州調査写真 平成29年10月6日(金)

イタリア・バルベリーノ・ヴァル・デルサ

欧州調査写真 平成29年10月7日(土)

イタリア・バルベリーノ・ヴァル・デルサ



今後観光に利用する事が検討され、
マップの掲示がされている
途中研究者のパウロ氏と合流



最初に発見された堰堤



堰堤群



観光用のパネル

欧州調査写真 平成29年10月7日(土)

欧州調査写真 平成29年10月7日(土)

イタリア・バルベリーノ・ヴァル・デルサ



レオナルド・ダ・ヴィンチが関与した
との見解のある堰堤



参加者集合写真



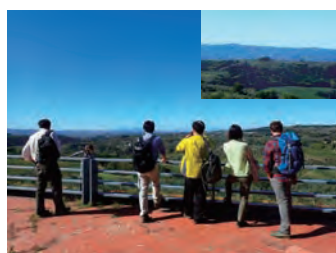
年号が入っている堰堤



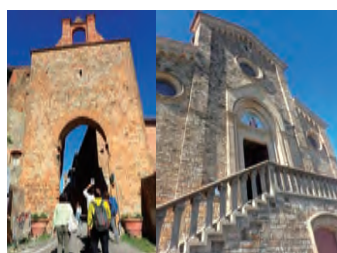
年号部分拡大
CCR1863の文字が見える

欧州調査写真 平成29年10月7日(土)

イタリア・バルベリーノ・ヴァル・デルサ



展望台からセミフオンテ遺跡を臨む



バルベリーノ・ヴァル・デルサの建物



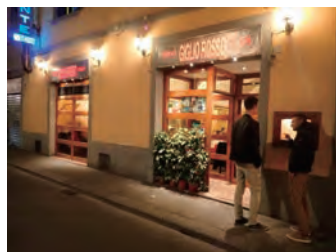
Osteria il Campanellino で昼食



食事をとりながら堰堤群について議論

欧州調査写真 平成29年10月7日(土)

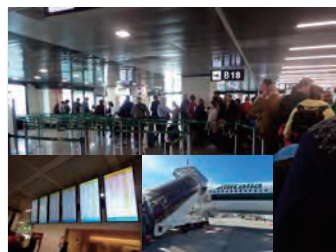
イタリア



GIGLIO ROSSOで夕食



経由地であるローマへ



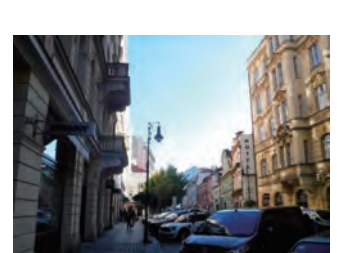
ローマからチェコへ

欧州調査写真 平成29年10月7日(土)

チェコ・プラハ



ホテルおすすめの郷土料理の店で夕食



ホテルからトラム乗り場まで徒歩移動



トラム乗り場

トラムの切符
(移動距離ではなく、
時間単位で購入する)
今回は30分券

欧州調査写真 平成29年10月8日(日)

欧州調査写真 平成29年10月9日(月)

チェコ・プラハ、シャノフ



ホテル「Diplomat」内にある
レンタカー店で手続き



堰堤に関するヒアリングを実施するため、
シャノフ庁舎を訪問



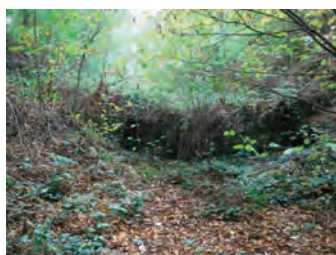
堰堤に関するヒアリング状況



シャノフ庁舎にあるシャノフの空中写真

欧州調査写真 平成29年10月9日(月)

チェコ・シャノフ



シャノフ庁舎職員が案内して
くれた石積堰堤



石積堰堤付近の
地形(諸戸博士の
写真と類似(!?))

欧州調査写真 平成29年10月9日(月)

チェコ・シャノフ



諸戸博士のアルバムの写真にある
(!?)谷の出口



溪流内の状況
(当時堰堤に
用いられていた
可能性のある石)

欧州調査写真 平成29年10月9日(月)

チェコ・シャノフ



谷上流域の土地利用(耕作地)



谷の下流で記念写真撮影

欧州調査写真 平成29年10月9日(月)

チェコ・シャノフ



谷下流の道路状況
(両端の石積は過去の護岸の名残)



調査した谷が合流する河川
(シェシシスキー溪)

欧州調査写真 平成29年10月9日(月)

チェコ・プシーチーナ



平成28年に調査した堰堤の再調査
を実施

欧州調査写真 平成29年10月9日(月)

チェコ・プシーチーナ



石積堰堤直下を横断する道路



石積堰堤付近のシンボルとなる
Příchina 駅

欧州調査写真 平成29年10月9日(月)

欧州調査写真 平成29年10月9日(月)

チェコ・セノマティ、プラハ



車窓からならかな丘陵地形が広がっていることを確認



屋食の様子
(「スヴィチェコヴァー」チェコ料理の定番)
チェコでは茹でたパンである
「クネドリーク」が付け合せとしてよく出でくる

チェコ・プラハ



カレル橋



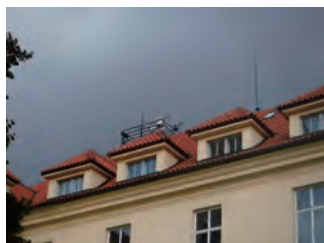
カレル橋から眺めたヴルタヴァ川

欧州調査写真 平成29年10月9日(月)

チェコ・プラハ



クレメンティヌム図書館の
旧気象計



クレメンティヌム図書館付近の建物に
設置された現役の気象計



ケブラーが研究していた塔



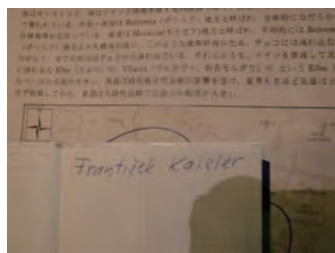
塔の出口にある石像

欧州調査写真 平成29年10月9日(月)

チェコ・プラハ

欧州調査写真 平成29年10月9日(月)

チェコ・プラハ(チェコ工科大学)



ブシーチーナの堰堤のデザイナー名



地下鉄で移動



大学構内図



大学図書館



アイスホッケー部
の勧誘

欧州調査写真 平成29年10月10日(火)

チェコ・プラハ(チェコ工科大学)

欧州調査写真 平成29年10月10日(火)

チェコ・プラハ(チェコ工科大学)



西本教授によるプレゼン



大村によるプレゼン



大学食堂での屋食



欧州調査写真 平成29年10月10日(火)

欧州調査写真 平成29年10月10日(火)

チェコ・プラハ(プラハ城)



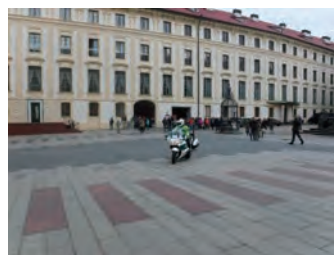
大学からプラハ城へタクシーで向かう



プラハ城入口(軍隊による身体検査あり)



プラハ城入口で記念写真撮影



客人警護の様子

欧州調査写真 平成29年10月10日(火)

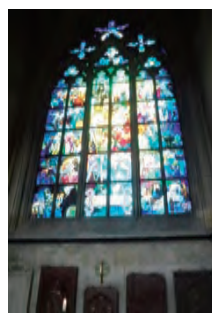
チェコ・プラハ(プラハ城)



聖ヴィート大聖堂外観



聖ヴィート大聖堂内観



アルフォンス・ムハの
ステンドグラス



聖ヤン・ネボムツキーの墓碑



聖ヴァーツラフ礼拝堂

欧州調査写真 平成29年10月10日(火)

チェコ・プラハ(プラハ城)



黄金の小路
(中には作家のフランツ・カフカの
仕事場もある)



プラハ城の出口付近
には、ブドウが栽培
されている



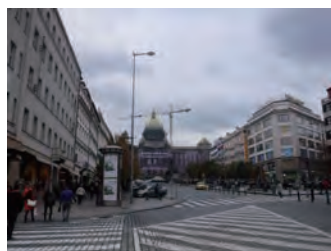
プラハ城からの市街地の眺め

欧州調査写真 平成29年10月10日(火)

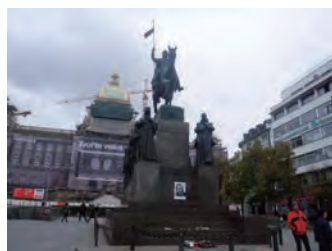
チェコ・プラハ(「プラハの春」の舞台)

欧州調査写真 平成29年10月10日(火)

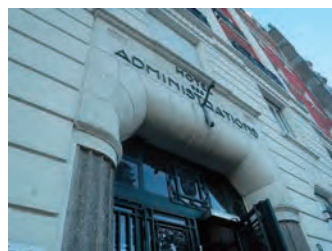
フランス・グルノーブル



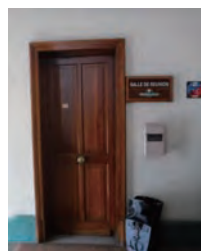
国立科学博物館



ヴァーツラフ広場の聖ヴァーツラフ騎馬像



RTM本部入口



RTM本部内部
(会議室前)



欧州調査写真 平成29年10月10日(火)

欧州調査写真 平成29年10月12日(木)

フランス・グルノーブル



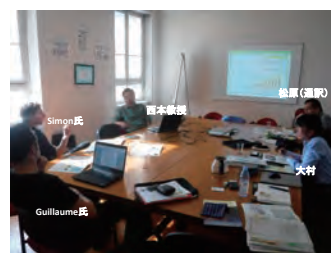
RTMによるプレゼン



西本教授によるプレゼン



昼食



RTMと日本の意見交換

欧州調査写真 平成29年10月12日(木)

フランス・グルノーブル



IRSTEAヘトラム向かう
RTM最寄駅
「Victor Hugo」



IRSTEA最寄駅
「Bibliothèques Universitaires」



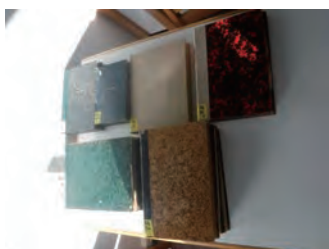
IRSTEA外観



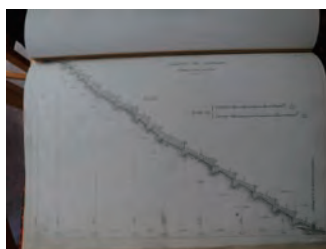
Guillaume氏からの資料説明

欧州調査写真 平成29年10月12日(木)

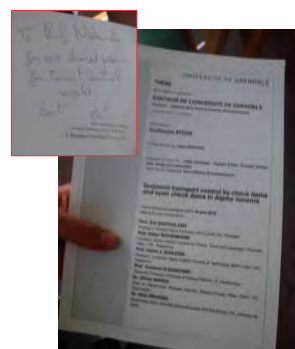
フランス・グルノーブル



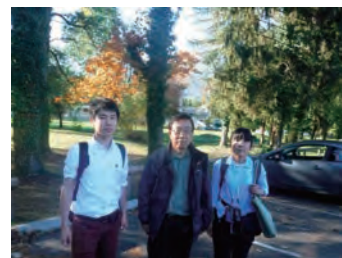
全閲覧資料(資料名は7.3に示す)



デモンゼー著書(西本教授が監修した
和訳本の原本)内のサニエル溪縦断面図
(資料収集の最大の目的)



Guillaume氏の学位論文(サイン入り)



IRSTEA前で記念撮影

欧州調査写真 平成29年10月12日(木)

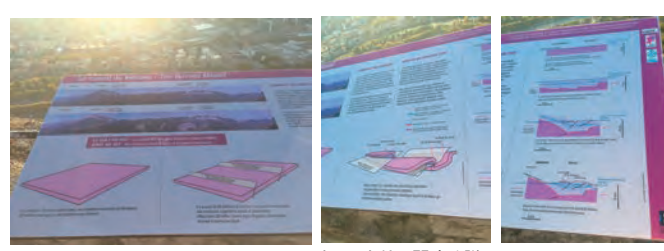
フランス・グルノーブル



グルノーブルにゆかりのある人物の説明



展望台(西側)からイゼール川下流を望む



地形・地質に関する説明

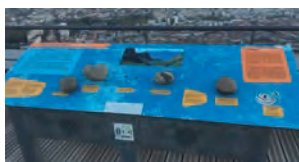
欧州調査写真 平成29年10月12日(木)

欧州調査写真 平成29年10月12日(木)

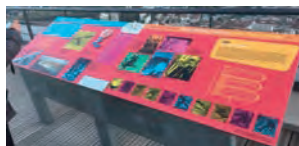
フランス・グルノーブル



バ스티ーユ城塞跡地はアスレチック施設として利用されている。



地質に関する説明



アルペールピル五輪の説明

フランス・グルノーブル



グルノーブル市街地全景

欧州調査写真 平成29年10月12日(木)

フランス・グルノーブル

欧州調査写真 平成29年10月12日(木)

フランス・モレール溪



アルプス山脈方面を望む



モレール溪散策路入口



散策路案内板

欧州調査写真 平成29年10月12日(木)

フランス・モレール溪

欧州調査写真 平成29年10月13日(金)

フランス・モレール溪



モレール溪散策開始、右岸を上流へ向かう



散策路の樹木には説明書きが施されている



床固工(下流部)



床固工(湾曲部)

欧州調査写真 平成29年10月13日(金)

フランス・モレール溪

欧州調査写真 平成29年10月13日(金)

フランス・モレール溪



床固工(地山まで貫入されている)



散策路折り返し点となる橋



展望台



隧道出口全景

隧道からは勢いよく水が流れ落ち、水衝部には岩片が堆積している。

岩片が堆積している

欧州調査写真 平成29年10月13日(金)

欧州調査写真 平成29年10月13日(金)

フランス・モレール溪



設計図



隧道工事の様子



旧流路(19世紀築造の堰堤を確認)



左岸側散策路で確認した説明板

欧州調査写真 平成29年10月13日(金)

フランス・モレール溪

欧州調査写真 平成29年10月13日(金)

フランス・モレール溪



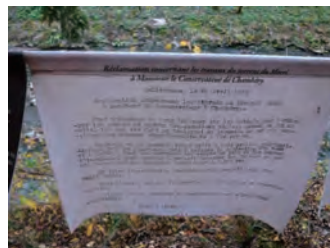
左岸側散策路で確認した説明板



左岸側散策路で確認した説明板



左岸側散策路で確認した説明板



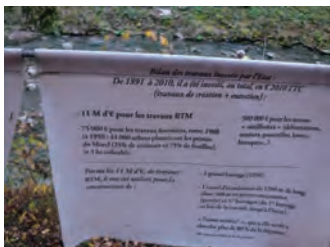
左岸側散策路で確認した説明板

欧州調査写真 平成29年10月13日(金)

フランス・モレール溪

欧州調査写真 平成29年10月13日(金)

フランス・モレール溪



左岸側散策路で確認した説明板



左岸側散策路で確認した説明板
(工事の様子)



左岸側散策路で確認した説明板
(工事の様子)



左岸側散策路で確認した説明板
(工事の様子)

欧州調査写真 平成29年10月13日(金)

フランス・モレール溪

欧州調査写真 平成29年10月13日(金)

フランス・モレール溪



左岸側散策路で確認した説明板
(工事の様子)



左岸側散策路で確認した説明板
(設計図面)



左岸側散策路で確認した説明板
(工事の様子)



左岸側散策路で確認した説明板
(堰堤袖部に吊られている)

欧州調査写真 平成29年10月13日(金)

欧州調査写真 平成29年10月13日(金)

フランス・モレール溪



左岸側散策路で確認した説明板



左岸側散策路で確認した説明板



右岸側散策路で確認した説明板
(デモンゼー氏関連)



右岸側散策路で確認した説明板

欧州調査写真 平成29年10月13日(金)

フランス・モレール溪



左岸側散策路で確認した説明板



左岸側散策路で確認した説明板



1886年の土石流災害の様子



1886年の土石流災害の様子

欧州調査写真 平成29年10月13日(金)

フランス・モレール溪



1886年の土石流災害の様子



1886年の土石流災害の様子



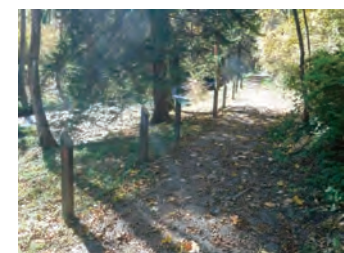
左岸側散策路で確認した説明板



左岸側散策路で確認した説明板

欧州調査写真 平成29年10月13日(金)

フランス・モレール溪



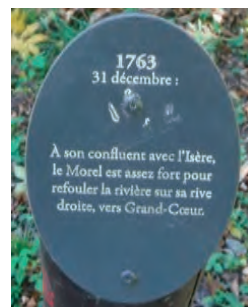
土石流災害に関する柱標(全景)



柱標上部の土石流災害(1620年)に関する説明



柱標上部の土石流災害(1733年)に関する説明



柱標上部の土石流災害(1763年)に関する説明

欧州調査写真 平成29年10月13日(金)

欧州調査写真 平成29年10月13日(金)

フランス・モレール溪



柱標上部の土石流災害(1777年)に関する説明



柱標上部の土石流災害(1828年)に関する説明



柱標上部の土石流災害(1859年)に関する説明



柱標上部の土石流災害(1897年)に関する説明

欧州調査写真 平成29年10月13日(金)

フランス・モレール溪



柱標上部の土石流災害(1901年)に関する説明



昼食の様子
(モレール溪隧道呑口へ下る登山道入口)



隧道呑口への登山道入口の看板



隧道呑口への登山道

欧州調査写真 平成29年10月13日(金)

フランス・モレール溪



隧道呑口への登山道



隧道呑口



隧道呑口から上流側を望む



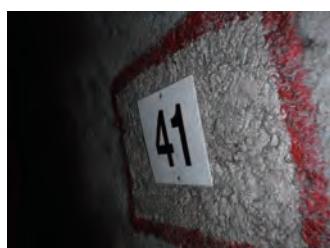
トンネル内の床固工

欧州調査写真 平成29年10月13日(金)

フランス・モレール溪



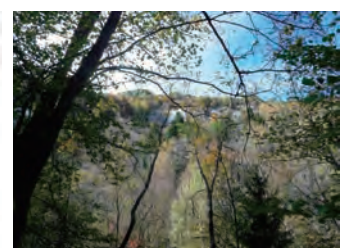
トンネル天井の様子



トンネル内標識
(数字は隧道出口からの床固工数を示す)



工事中の資材搬入に使われていたと見られる坑道



モレール溪左岸側の地すべり地遠景
(隧道呑口への登山道から撮影)

欧州調査写真 平成29年10月13日(金)

欧州調査写真 平成29年10月13日(金)

フランス・サンジュリアン溪

フランス・サンジュリアン溪



サンジュリアン溪入口



案内板



護岸工に確認できる土石流痕跡



透過型堰堤(スリット幅5m)
下流から撮影

欧州調査写真 平成29年10月13日(金)

フランス・サンジュリアン溪

欧州調査写真 平成29年10月13日(金)

フランス・サンジュリアン溪



透過型堰堤(スリット幅5m)
上流から撮影



透過型堰堤下流に確認した巨礫



透過型堰堤上流の様子



溪流保全工(下流を望む)

欧州調査写真 平成29年10月13日(金)

フランス・サンジュリアン溪

欧州調査写真 平成29年10月13日(金)

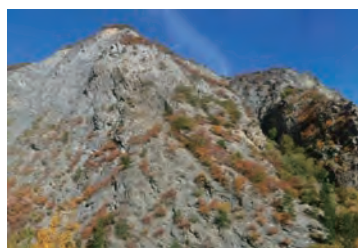
フランス・サンジュリアン溪



ムージャン通りの標識
(AVENUE Paul MOUGIN)



リングネット



サンジュリアン溪周辺の地形
地質:FLYSCH(堆積岩の一種)



夕食

欧州調査写真 平成29年10月13日(金)

欧州調査写真 平成29年10月13日(金)

調査旅行日記

出発前

- ・ 本調査に関する事前打合わせは、平成 29 年 9 月 15 日に実施した。

平成 29 年 10 月 1 日（日）移動（日本→ウィーン）

- ・ 8:30 集合
- ・ 8:40 チェックイン終わり中に入る
大村のトランクが 26 kg あり、西本先生の荷物として預かっていただく
23 kg までとのこと
中のお店で白い恋人 14 箱を購入
- ・ 9:40 手荷物検査終了 西本先生はラウンジへ
- ・ 10:00 41 番ゲート集合
- ・ 10:35 搭乗開始
- ・ 10:45 西本先生搭乗ゲートに。ANAshop でお土産を買えばよかったと残念がっていた。飛行機内で食事が出る。飛行機内で映画を見る。後から聞くと 3 人とも「君の膵臓をたべたい」を見ていた
- ・ 8:30（日本時間 3:00）ごろに再度食事が出る
- ・ 15:18 到着 空港で水を買う
- ・ 17:45 飛行機乗り換え
待ち時間に待合にいた東北大の考古学の先生と話し、名刺交換する。
火山災害でポンペイの話で盛り上がる。昔は石膏で人がいた空間をかたどりしていたが、今は透明な液体でかたどりするらしい。（性別や、宝石の袋を持って逃げようとしていたのかもわかるらしい）また、事前の噴火の兆候を見て、かなりの人が避難していたという。
飛行機、添乗員さんが男性だった。紙パックの水と簡単なサンドウィッチが出る。
- ・ 19:30 到着
- ・ 20:00 タクシーでホテルに移動タクシーが皆ベントで驚く。
- ・ 20:30 ホテル着
- ・ 部屋 先生 103、高橋 101、大村 204

平成 29 年 10 月 2 日（月）ウィーン（オーストリア）

- ・ 9:00 ホテルにて通訳の築瀬さんと打合せ。1190 は 19 区を示すそうである。
大学は、今引越し中でバタバタしているらしい。
有名なところのガイドをする人は避難訓練の講習が義務付けられている。年に 1 回半日くらい講習する。シンブルグ宮殿がそう。毎年更新が必要。築瀬さんはこっちのガイドがメインでないので受けていないとのこと。

- ・ 9:30 タクシーで Universität für Bodenkultur Wien（ウィーン農科大学：BOKU）へ移動．学校前で写真を撮る．新学期らしく学生が多い．
- ・ 10:00～ Johannes Hübl 教授と 5 名の学生とともにディスカッション．
 - 1) 日本の土砂災害の紹介～平成 29 年 7 月「北九州豪雨」【紹介者】大村
日本語でスピーチし、築瀬さんがドイツ語翻訳．終了時、拍手のかわりにこぶしで机をコンコンとたたく表現があり、最初戸惑った．
Q：報告の中に写真があったが、あれはいつとられたものなのか．
A：日本では、災害発生後、国の機関や民間会社が写真を撮り、それを公開している．その段階で撮影されたものである．
Q：山の木は利用されていたものなのか？
A：昔植林されたものだが、手入れがされていない山であった．
Q：流木の対策はこれまでは考えられてなかったのか．
A（西本先生）：1m²の中でどのくらい出るかといくことを考えて基準を作っていた．今回の災害で、想定を上回る流木が発生したため、方針を見直している．
 - 2) アメリゴ・ホフマンの紹介 【紹介者】西本教授 英語でスピーチ
Q：当時は通訳がいたのか．何語で話していたのか．
A：当時は英語より、ドイツ語が使われており、ドイツ語で話していたと思われる．
 - 3) オーストリアの砂防施設及び観測技術の紹介 【紹介者】HUBL 教授
※詳細は本文参照
 - 4) BOKU 大学の過去の留学生リストを入手（HUBL 教授→西本教授）
古い標記のドイツ語で書かれているためヒューブル先生でも読めない．
年配の方なら読めるかもしれないということで、築瀬さんに読める人を検討してもらうことに．名簿のデータをいただく．
手ぬぐいと白い恋人を一つずつ先生に渡す．
屋上から眺めが良いということで屋上に上がり写真を撮る．
ヒューブル先生にお礼を言い分かれたところで写真を撮るのを忘れていたことに気づき戻ってもう一度写真を撮る．
- ・ 12:45～ タクシーで移動．
途中タクシーから見える派手な建物：建築家がデザインしたごみ焼却場．大阪にも同じ建築家が作った同じような建物があるらしい．
- ・ 13:00 通訳の築瀬さんと 4 名で昼食．
- ・ 昨年も来たウィーンでのウィンナーシュニッツェル発祥の店”Figlmüller”（フィグルミュラー）で、牛肉のウィンナーシュニッツェルを食べる．並んでいる間に、1905 年かある店ということで、諸戸先生も来たかもしれないという話になる．この時期（10 月初め）だけのワインになりかけのお酒（ホイルゲ）をたのんで飲む．
- ・ 14:00～15:00 シュテファン大聖堂を見学
- ・ 15:00～16:00 「ケルントナー通り」、「リング通り」を歩いて、ホーフブルク王宮へ向かう（ウィーン国立歌劇場→ゲーテ像→王宮庭園→モーツァルト像）
- ・ 16:00～16:30 ホーフブルク王宮を見学し、タクシーで移動し、Gentzgasse（ゲンツガッセ）26（諸戸博士下宿先）を訪れる．建物が新しくなっていることを記す看板あ

- り、近くにはシューベルト「セレナーデ」誕生の地がある。
- ・ 16:30～18:00 カフェ「モーツァルト」で休憩し、喫茶店でお茶。
17時になったため、築瀬さんとはここで別れる。3人それぞれ洋菓子を頼む。
- 18:30 ホテル帰着

平成 29 年 10 月 3 日（火）移動（ウイーン→ウディネ）

- ・ 9:00 朝食，チェックアウトを済ませホテル出発。タクシーでウイーン中央駅へ移動
- ・ 電車の表示が出ていないので、スーパーで買い物をする。
- ・ ぎりぎりまで表示は出ない。また、改札は無い。
- ・ 10:25 ウイーン中央駅出発（RJ535）
- ・ 電車内で先生から
 - ・ トウヒ（spruce スプルース）は上向きに葉がつき、カラマツは下向きに葉がつく
 - ・ Val tal canale はどちらも V 字谷のこと についてご教授いただく。
- ・ 14:46 フィラハ中央駅到着、バスへ乗り換え
 - ・ 10 分しか乗り換え時間が無いのであせる
 - ・ エスカレーターで下って登って 3 分くらいでバス乗り場につく。
 - ・ バス会社の人っぽい人に聞いてみると一番近くの乗り場がそうであるとのこと。
- ・ 14:56 フィラハ中央駅出発、2 階建てバス。ウディネへの道中には車窓より、タルビジオの土石流発生箇所を複数確認した。
- ・ 16:30 ウディネ駅到着、タクシーでホテルへ向かう
- ・ 17:00 ホテル到着
- ・ ホテルで一旦パスポートを預かれる。おすすめのレストランを受付で聞く。
ただ、開くのが 19:00 とのことであるので、一旦解散。18:30 にロビーで待ち合わせることにする。部屋番号 先生 220、高橋 113、大村 409
- ・ 18:30 先生のパソコンがトラブル。ネットがつながらないという
受付に持ってくるとつながるようになる。
- ・ 19:00 20 分ほど歩いて店（HOSTARIA）に到着
入ると予約はしているかと聞かれる。していなかったが店内で調整してくれたように入れてもらえた。地元の人が集まるレストランのようで、常連が多いようである
先生と高橋さんはスパゲッティを大村はニョッキを頼む。赤ワインを飲む。食後デザートを頼む。

平成 29 年 10 月 4 日（水）タルビジオ（イタリア）

- ・ 7:00 朝食
西本先生、高橋さんと。また、通訳の松井氏とお会いし、今日の工程について話を
する。コーヒーを選んでもらう。通常のコーヒーを頼むとエスプレッソとお湯が持
ってこられる。今日の担当者に連絡してくれたそうである。現場付近のバルで待ち
合わせになった。パトリツィア氏は来れず、別の専門家に来るそうである。

- ・ 8:45 ロビー集合。
運転手のレオナルドさんと合流。松井氏と打合せ。ダビンチ堰堤は地図だけでなく住所が分からないと運転手が行けないとのこと。また、7日のホフマンのお孫さんとの約束が確定しておらず、松井さんにメールしてもらう。
- ・ 9:00 車で出発
車内で、松井氏がマルカート氏に電話をかけてくれる。明日の待ち合わせは、高速インターを降りてバールのあるところで待ち合わせとのこと。フィレンツェのダビンチ堰堤は、もし本当ならトレント砂防堰堤が最古となっている節が覆る。松井さんの話では、フィレンツェはダビンチが実験をしたところなので、可能性はあるのではないかとのことだった。
- ・ 10:20 バールに着。
先方は森林警察の方が既にお茶していたが、担当のボナーニ氏はまだ来ていなかったなので、お茶して待っていることにする。イタリアの定員は、女性に愛想が良いらしい。
- ・ 10:30 Bonanni, CARABINIERI 職員等と合流。
諸戸博士が写っている写真を見て頂き、施設について知っているか聞いたが写真が近景のため、難しいとのこと。ただ、森林警察の方が、マルベニアのほうにある施設に似ている確認してみておくと言ってくれる。モンテグアルダにあるグアルダ山らしい。スロベニアとの国境付近とのこと。
- ・ 10:50 出発
森林警察の車に乗せていただき、レオナルドさんには、バールで待っていてもらう。堰堤までの道は、勾配も急で、普通車では通行が難しい道となっていた。
- ・ 11:00 Lussari 溪の空石積堰堤を視察。
「重力式の堰堤であること」「堰堤が破損しているため、今後補修する予定であること」等の説明を受けた。
下流の方は後から作られたものもある。この堰堤が何年の物かは不明。オーストリアで支配されていたところに作られたものであるので、オーストリアで調べれば分かるかもしれないとのこと。国の調査では 1970 年代。施工年は石に書いてあればわかる。
※移動中に今年から森林警備署が「Corpo」から「CARABINIERI」という組織に編成されたこと、州独自の体制であること、編成が変わる際には反対運動があったことを聞いた。
- ・ 11:30 Lussari 溪の練石積堰堤を視察
「1930 年～1935 年（ファシズム）に建設された堰堤である可能性が高いこと」「石同士の接合にセメントを用いていること」「初期の空石積堰堤に比べ、礫径が小さいこと」の説明を受けた。
- ・ 11:40 Lussari 溪下流の練石積堰堤を視察
当該堰堤は副堤を持ち、側壁護岸も整備された比較的新しい堰堤で、1950 年頃に補修されたとの説明を受けた。
- ・ 12:00 Sciaid 溪本川で建設中の堰堤を視察
本堤自体は 15 年前に完成しており、現在は副堤となる施設を建設している。鉄筋

のいった堰堤であり、上下流ともに法勾配は垂直である。（日本では、無筋コンクリートで建設しているため、安定を保つために、上下流に勾配を付けて施工している）。法勾配が垂直で決まっているため、天端幅は堤高によって決定する。（日本では天端幅・堤高・下流法勾配から安定計算により上流法勾配を計算する）イタリアでは砂防堰堤と溪流保全工は国や州が設計、施工する。

・ 12:30 Sciaid 溪右支川の透過型堰堤（天端幅 1.5m）を視察

鉄筋のいったコンクリート堰堤であるため、上下流の法勾配は垂直である。天端幅 1.5m 鉄筋コンクリート。土砂の圧がかかるため、厚めにしている。コンクリートスリット形式であり、現在は過去 2 年間で流出した土砂で満砂しており、今後除石をする予定であるとのこと。その他、Bonanni から聞いたことを以下に示す。

Q：日本には「土対針」のような設計基準があるが、イタリアには共通の設計基準はあるか？

A：共通の設計基準はない。堰堤設計時には礫径や溪床勾配を参考にして、州の技士が測量や地質調査担当者（州の技士）と相談しながら堰堤高等の諸元を検討する

Q：設計図は誰が描くか？

A：自治州の担当者が設計図を描く。この堰堤は Bonanni が設計した堰堤である。イタリアでは砂防堰堤の設計に関して、すべてを州の担当者が担っているため、日本よりも技師個人の責任が重い。

ボナーニさんとは現場で分かれる。

手ぬぐいと白い恋人を一つずつわたす。また日本の砂防パンフレットをわたす。

・ 13:00 昼食

最初のバルで森林警察の方々とも別れる。4 人の方に手ぬぐいとステッカーをわたす。森林警察の方から、地元料理を出すレストランを教えていただき昼食をとる。運転手のレオナルドさんからは、サラミやフリッコなどが有名だとの話を聞く。

・ 15:00 Patrizio (Fond Edifici di Culto イタリアの農林省のようなものの局長) と合流し、アメリゴ・ホフマンに関する情報収集開始。

・ 写真について：ディプレーデイルにこういう堰堤はあるが、この資料だけでは難しい。鉛や銅の鉱山のある地区。閉鎖されている。写真を預かり、それらしいものが無いか見ておくようにする。

・ 書籍の写真について：以前いただいた書籍に関して、写真を利用しても良いか確認。⇒ 了解をいただく。論文が出たら送ってほしいとのこと。

・ ホフマンに関する会合が Tarvisio で約 20 年前に催され、Patrizio は organizer をしていたが、詳しい時期は覚えていない。

・ ホフマンに関する資料は Villaph (イタリア語で Villacco) の事務所に保管されている可能性が高い。

・ 資料館の担当者が、ここの地域出身

・ 専門家のユニオンが昨年あった。その担当者がこの地方出身の人である。（ヒューブル教授に聞けば分かるとのこと）

・ 会議は 20 年ほど前に行われたもの。90 年代の終わりあたり。

・ オーガナイザーをパトリッツィオさんが行った。

- ・その内容は本として出版したが、どこにあるかわからない。
- ・フィラハに行けば調べられることもあるはずである。
- ・実は砂防の視察が日本からくることを、地質担当の人間から聞いた。
一体何を見に来るんだろうと話題になっていた。
- ・昨年パウロは探しておくと言っていたのに何もしていない。

パウロのアドレス：P.molinari@kora.ch, VILCACM 0043-4242-3025

- ・ホーフラット ランゲーニュさん (HOFRAT LAENGERA) はプロジェクトを把握していると思われる。年配の方であるが、20 代の奥さんが取り次いでくれるはず。
- ・施設のディレクターに「パトリッツィオから連絡がありましたように」と記載してメールを出せばよい。

⇒施設に問い合わせをしてみることにする。

会議の資料について電話してみたり、食堂の人に聞いたりしていた。食堂の人は覚えていないようであった。

・ 16:30 Saisera 溪の砂防堰堤を視察。

中流に位置する施設は 2003 年の土石流で被災し、水通し及び堤体の下流側の石積が壊れていた。

- ・水関係は国が管理、川はパトリッツィオさんが管理。
- ・現場周辺は優良なミネラルウォーターの産出地のため、水の売買や、石についても売買したりする。
- ・2003 年に災害有。2003 年から 2008 年の間に、2 時間で 80 mm の雨が降った。
- ・緑色の木はブナ、黒ブナ、ファンジュ
- ・ブナの木はブロンズを作る時につかう。
- ・ストラトディバリウスを作るのにも使う。
- ・スラシは楽器職人の意味

・ 16:50 Saisera 溪上流の比較的新しい施設を視察。

当該堰堤は多くの土砂を捕捉できるように、上流側を彫り込んだ構造をしている。しかし、Patrizio によると、最近の洪水で土砂が流出する際は、過去よりも標高の高い部分で崩壊が生じるため、下流へ流出する土砂量が多くなり、当該堰堤はすぐに満砂し、土砂があふれてしまうことが問題となっているとのことであった。

- ・ここ 20 年くらい、崩れたのがそのまま出てきてしまう。
- ・ここから上の方は雨が降る。
- ・崩れた土砂が出てきてしまうのが課題。
- ・利水はまた別の基準でやっている。
- ・この施設では、500m³ がためられる
- ・堆積工をもっと作らないといけない。
- ・500 年に一度の規模が、この 20 年に 2 回も発生した。
- ・今は幅を広げて流せるようにしている。
- ・2003 年の災害では 8 名が亡くなっている。1903 年の災害（9 名が亡くなった）の記念式典の準備中に被災した。

- ・ 公示援助金 2 億 5 千ユーロ=300 億
- ・ 17:00 Saisera 溪下流の施設を視察。
当該堰堤も 2007 年、2008 年に災害。ここを乗り越えて下の村がやられた。古い石積堰堤は下流の法勾配が緩く、土石流によって運ばれる巨礫が衝突することで、堤体が破損している可能性が高い。
- ・ 17:30 Patrizio に CARABINIERI の事務所を案内していただいた。
当事務所 3F には客間があり、過去に諸戸博士も宿泊した。事務所内では以下の話があった。
 - ・ 1880 年代、戦争でイタリアが勝利したことでイタリアの所有となった。
それまではオーストリアの貴族の持ち物だった。いろんな貴族が所有していたようである。
 - ・ 客間は現在もセレモニーがある時など使っている。300 ユーロで泊めているが、「天蓋付ベットの特別室にして 500 ユーロで出そうかとも思っている」とのこと。
 - ・ 周辺の 5 州は資金が多い。災害があってもすぐ直せる。
 - ・ CARABINIERI は 80 に分かれた区画で、総量 2300m³ に及ぶタルビジオの森林を管轄し、毎年、住民に樹木を分け与えていた。
 - ・ 昔は各地の森林の持ち主がお伺いをたてにくる場所だった。
 - ・ 木の梁は 1516 年頃の物。
 - ・ 家具は、管理している森林の木を使って作ったもの。
 - ・ 52 年、ホフマンが局長をしていて、ローマでの仕事をしていた。
諸戸先生はその時お客さんとして来ている。
 - ・ アレキサンドロも小さいころ来ている。41~50 の時森林監として住んでいた。昨年
も来ている。
 - ・ 事務所にホフマンに関する会合の関連資料を発見したが、会合をした際に作成された報告書を見つけることができなかったため、見つけた際にはメールで情報提供
していただく。
- ・ 18:38 : 事務所出発。
- ・ 20:00 : 通訳の松井さんおすすめの Pepata にて夕食

平成 29 年 10 月 5 日（木）トルメッゾ（イタリア）

- ・ 7:00 : 朝食 西本先生を待つものの、10 分経っても来ないので先に高橋さんとする。
- ・ 結局 7:45 ぐらいまで来ず。コーヒー、カプチーノを頼む。セットは昨日と同じ。
- ・ 8:45 : ロビー集合。先生は 7 時ごろ今朝ホフマンさんから連絡が来たため、メールの返信をしていたそう。松井さんからも連絡いただく。
- ・ 8:50 : 車で出発
社内で、報告書案検討。各国で章を分ける。総説+各地ごとでまとめることにする。
7 日の待ち合わせは松井さん 8:30 ホテル：現場 Barberino v.Vdelsa
今回案内してくださるパスートさんとマルカートさんは、水野先生と関わりあり日本にもよく来ているそう。

- ・ 9:40 高速道路のインター近くの BAR で Pasuto と Luca と合流。
 - ・ 9:50 Rivoli Bionchi の Allubial Fan を視察。以下についての説明を受けた。
 - ・ 1857 年から長期間にわたり、土砂が流出し、堆積することで拡大した扇状地である。
 - ・ 1976 年には M6.3~6.4 の地震が発生し、多くの崩壊が生じた。その調査に訪れた地質学者を含む 1,000 人が亡くなっている。
 - ・ この辺りでは 1 年当たり 3,000mm の降水がある。
 - ・ 土石流が左岸側へ流出し、集落へ被害を与えるのを防ぐため、砂防ダムが建設された。砂防ダム下流には導流堤を建設し、土石流が生じた場合にも人的影響がないようにした。土石流の規模によっては導流堤を乗り越えることはあるものの、堤防自体が壊れたことはない。
 - ・ この扇状地に堆積している土砂はコンクリートの材料等で有効利用されている。
 - ・ 近年も毎年のように土砂は流出しているものの、水が主体で、土砂量は少ない傾向にある。
 - ・ 発生パターンは同じではない。左岸側にも土石流が流下し、下流側の集落が被災したことがある。完全に平らになった時期もある。溝を掘って流れ方をコントロールしている。
 - ・ この周辺は第 2 次世界大戦のとき国境になっていた。軍隊を置いて対応していたため、今でも訓練場として使われている
 - ・ 対応については国が決めている。実施は州。
 - ・ 壁がある・ない場合に分けてシミュレーションをしている。
 - ・ これまで壊れたことは無い。土石流の衝撃では壊れないが、オーバーフローすると被害が出る。ただ、流域が小さくそこまで出ることは無いためあまり壊れることは無い。
 - ・ 砂の堆積域は広がっている。
- 奥まで見に行こうとしたが、軍隊が訓練中で、入れず。
- ・ 今は土砂の流出は活発ではない。20000 年前には、一帯が覆われるくらいの量が出た。
 - ・ 地震の時も被害が多かった。
 - ・ 地震の影響範囲のマップがある。
- ・ 11:00 Mascardo 溪上流の砂防堰堤を視察。本川の砂防堰堤は溪岸からの崩壊が発生しないよう、主に山脚固定を目的として建設されたもの。
 - ・ 堰堤。主流路だけでは溢れてしまうため、支流にも入れている。
 - ・ 上流に地すべりがある。すべり面が 60m 下にある。
 - ・ 一度壊れた堰堤を再度作り直している。
 - ・ コンクリートを使わないのは環境への配慮。
 - ・ 1 年で出る量が 2 日で出たりしている。
 - ・ カメラ・ラジオレコーダー・ビデオで監視している。
 - ・ コンクリートではなく、石の利用。抑止には十分。地下水位が下がると、壊れる。動きが速いため、地すべりの直接的な対策は難しい。

- ・下流側の縦横浸食を防止することで地滑りの動きを止めている。
 - ・石はクレーンを使って持ってきている。毎年直している。
 - ・道路がきれいなので、登山で来る人もいる。
- ・ 12 : 00 MALGA PRAMOSIO で休憩

チーズを作っているところを見学。新鮮なチーズを購入することもできる
酪農をやっているところ。コーヒーと出来立てのチーズをごちそうになる。
牛は放し飼い
- ・ 12 : 50 Matiz da Otto で昼食
 - ・ラザニア・パスタ・スパゲティから選ぶ。レオナルドさんのおすすめはラザニアだという。デザートに期間限定の木の実のケーキとアップルパイが選べる。
 - ・マルカート氏から、古い施設の写真をいただく。
 - ・通路になっている部分が水路。表面に固い石灰岩をしいているもの。
 - ・あまりスペースが取れないので高さを取ってある。
 - ・シシリでは昨年 6 月に火山の研究センターができた。
- ・ 14 : 20 下流のセンサーの設置場所
 - ・センサー、ビデオカメラ、ジオフォン、バイブレーション
 - ・2つの砂防ダムそれぞれで測っている。
 - ・バッテリー、上のセンサーがトリガーになってる。センサーが反応したところからカメラの撮影開始
 - ・赤い点は、土石流が発生した後移動状況を確認するもの。
 - ・発生時のエネルギーはわかっている範囲でだんだん大きくなっている。
 - ・20年継続して実施。土石流が発生すると入れ替え。
 - ・大きなものは5〜7年に1回発生、小さい土石流は1年に1から2回発生する。
 - ・器械が飛ばされてしまったこともある。
- ・ 14 : 40 中流堰堤
 - ・コンクリートと採石場の石を使っている。レインフォレストコンクリート。
 - ・10年前施工。既に満砂。土石流を減速させるトラップ。まっすぐなのでスピードが上がりやすい。
 - ・上流が午前中に行ったところである。
- ・ 15 : 00 上流堰堤
 - ・いつ壊れたかは不明。地滑りの影響で壊れた。
 - ・25年モニタリング中。フォンセンサーあり。
 - ・地滑り水は下を抜いている
 - ・7月に雨が多い
 - ・ベドロックは強いがアンカーは入れられない。
 - ・1992年にセンサー設置
 - ・アラートについては、サイレンが鳴るようになっている。センサーがアクティブになった時点で反応する。市の部署にもつながっている。危機管理のシステムのトリガーになっている。

- ・ハザードマップはレッド、イエロー（オレンジ）、グリーンの範囲が明示されている。政府主導。各管轄で分かれている。スーパーバイザーの存在。ネゴシエイトもいる。
- ・更新については大規模で、コンサルがやったりする。州でやることも。
- ・リージョナルガバメントデザイン
- ・ガジェット 優先順位決める。首長が決める。
- ・ 19:50 ホテルのレストランで夕食。
ラウンジにメニューがあったため、食事前にイタリア語のメニューを訳してみたりしていた。

平成 29 年 10 月 8 日（日）移動（フィレンツェ→プラハ）

- ・ 7:30 朝食
- ・ 8:00 データやり取り
タクシーを呼ぶ。15 分前にこいと言われる
- ・ 9:30 15 分前
タクシー4 分で来ると言われる
- ・ 9:35 タクシーくる。待っててもらう。9 時 50 分全員そろい、空港に向けて出発
- ・ 10:00 空港着
- ・ 10:30 チェックイン。大村の荷物が引っかかる
28 キロ。本や資料をまとめてパッキングしていたため、それを引っ張り出して OK になる。
- ・ 11:00~35 空港内を見て回る。ワインやパスタがあったが、結局何も買わず。
先生とバルで待つ
- ・ 10:35 バスで飛行機まで移動する
- ・ 12:10~13:00 飛行機内
- ・ 13:00 ローマ着。手荷物検査なし
- ・ 13:30 昼食。20 ユーロのバイキング。ゆったりできた。
チェコ語を勉強する。
- ・ 14:30 乗り場へ移動
- ・ 14:50 バスで飛行機に。結構いっぱい。
移動の扱いで行き先の国としての扱いがわかるらしい。
- ・ 15:30 時間通り出発
飛行機内お菓子とジュースが出る。お菓子 2 種類聞かれたがよくわからず
- ・ 17:30 プラハ着
- ・ 18:00 先生と高橋さんの荷物が出てくるが、大村のトランクが出てこないまま。
- ・ 18:30 ロストバゲージ申請を窓口で行う。他にも同様の人がいるようなので、
良くあることのように。窓口で書類を書く。見つかったら宿に送ってくれるらしい。
窓口の人は、多分ローマにあるだろうとのこと。あった場合今日と同じ時間帯便で届くとのこと。
- ・ 18:30 タクシーでホテルへ移動

- ・ 19:10 ホテル着
日本のビジネスホテルに似た感じ。
- ・ 19:30 夕食
ホテルで教えてもらった近くのお店で、ピルスナーウルケルとチェコ料理。

平成 29 年 10 月 9 日（月）（チェコ）

- ・ 9:00 朝食を済ませ、ホテルロビーでチェコ工科大学の Josef Křeček 准教授と合流し、レンタカー店までトラムで移動。
- ・ 9:40 ホテル「Diplomat」にあるレンタカー店で手続き開始。
- ・ Josef Křeček 准教授のパスポートが期限切れのため、レンタカーを借りることは出来なかった。Josef Křeček 准教授は我々が運転するものだと思っていたとのこと。
- ・ Josef Křeček 准教授がタクシーを 1 日中借りることができるように手配していただいた。
- ・ 西本教授が諸戸博士のアルバムの中にある位置図（図 6.2-5）が、現在の Šanov であることを突きとめていたため、タクシーで Šanov へ向かう。
- ・ 11:10 諸戸博士のアルバムにある堰堤に関し、ヒアリングを実施するため、シャノフ庁舎を訪問。
- ・ 11:20 当日庁舎に在席していた 3 名の職員にヒアリングを開始。職員のうちの 1 名（Zdeněk Netrh? ※手書きで書いてもらったが解読できない）が、庁舎周辺に堰堤があるのを知っているということで、案内していただくことになった。庁舎ではシャノフ周辺の地図・観光マップ・ポストカードを多く頂いた。
- ・ 11:50 職員に案内していただき、石積堰堤に到着。写真撮影及び簡易測量を実施。しかし、調査した堰堤のある溪流は諸戸博士のアルバムにある位置図を全く異なる為、隣接溪流の調査を希望。移動中に諸戸博士のアルバムにある写真（図 6.2-1）に類似した風景を確認。
- ・ 12:15 諸戸博士が訪れたと推測される溪流に到着し、堰堤がないか調査。長年経過しているため、山の地形は異なっているもの、大きい変化は見られなかった。溪流を踏査したが、図面にあるような構造物は全く見られなかった。右支川には石が落ちているのを確認し、もしかすると、当時存在した堰堤の残骸ではないかと考えた。
- ・ 踏査した谷の下流には道路があり、その両端に石積があった。石積と道路の境目が不自然であったため、職員に質問したところ、元々は溪流となっていたが、道路をつくり、地形を改変したことで、石積護岸が中途半端に地表に出ているということであった（詳細は図 6.2-6 に示す）。
- ・ 12:45 シャノフ庁舎職員と別れ、平成 28 年に調査した石積堰堤を訪れた。前回調査では寸法を計測していなかったため、今回の調査で計測した（寸法は図 6.2-13 に示す）。
- ・ 堰堤はアーチ型を呈しており、石材には竣工年と思われる「1908」という数字が刻まれていた。竣工後 100 年以上経過していると考えられるが、堰堤に漏水やクラック等の著しい変状は見られず、現在も溪床安定の機能を果たしている。
- ・ 堰堤は溪流が道路と横断している地点から見える位置にあり、近くのシンボルとなる

のはプシーチナ駅である。

- ・ 13:30 プシーチナからプラハへの帰路では、車窓からなだらかな丘陵地形が広がっていることを確認した。
- ・ 14:45 プシーチナからプラハへ戻り、タクシーの清算を済ませた後、Křeček 准教授に勧めていただいたお店で昼食とした。
- ・ 昼食時に、Křeček 准教授から自身の講義の時間に、日本の砂防を紹介してほしいとの依頼があり、西本教授は快諾した。
- ・ 昼食後、ホテルへ帰りながら、Křeček 准教授にプラハ市内を案内していただいた。
- ・ 16:00 ترامで移動しカレル橋を訪れた。多くの観光客でにぎわっていた。カレル橋は全長 520m、幅 9.5m あり、1402 年に完成し、4 度の大修復（小規模補修は何度も）を経て、現在もなお、プラハを代表する重要な橋である。
- ・ 16:20 カレル橋付近にあるクレメンティヌム図書館を訪れた。クレメンティヌムには 18 世紀に設置されたとされる気象計を確認した。また、近くの建物の頂上には現役の気象計が設置されており、新旧の気象計を比較して見学することが出来る数少ない場所である。
- ・ クレメンティヌム図書館では天文学者のケプラーが研究していたこともあり、記念碑が建てられていた。
- ・ 17:00 ホテルに到着し、Křeček 准教授と別れる。

平成 29 年 10 月 10 日（火）（チェコ）

- ・ 10:00 朝食を済ませ、ホテルロビーで Křeček 准教授、通訳の岡村さんと合流した。
- ・ Křeček 准教授によると、前日調査したプシーチナの堰堤のデザイナーが「František Kaisler」である可能性が高いという情報を提供していただいた。
- ・ 講義会場であるチェコ工科大学へは地下鉄で向かった。
- ・ 10:40 チェコ工科大学到着。Křeček 准教授の所属する土木学部への道中では、近代的なデザインの図書館を確認した。また、新学期を迎えたばかりであるためか、アイスホッケー部の勧誘に遭った。
- ・ 11:00 西本教授による日本の砂防事業の紹介（詳細は 6.3.1 に示す）
- ・ 12:10 大村による平成 29 年 7 月北九州豪雨の紹介（詳細は 6.3.2 に記載）
- ・ 12:40 大学食堂で Křeček 准教授、大学院生の Ladislav Palan 氏とともに昼食。
- ・ 昼食時には、チェコ工科大学にはスロバキアの留学生が多いことを教えていただいた。昔の学生はチェコ語もスロバキア語も話す人が多かったが、最近は最も多いのが英語で、その次がドイツ語、スロバキア語となっているとのことであった。
- ・ 昼食後、Křeček 准教授、Ladislav Palan 氏と別れ、タクシーでプラハ城へ向かう。
- ・ 14:00 プラハ城到着。軍隊による身体検査を通過し、入城する。入場すると、サイレンが鳴り、白バイ警官が客人のため、道を空けるよう指示していた。
- ・ 14:10 衛兵の交代式に遭遇。
- ・ 14:20 聖ヴィート大聖堂に入る。聖ヴィート大聖堂はチェコで最も大きい協会であり、高さは 99m ある。ゴシック建築物で聖堂内部の大きな円形のステンドグラスは有名で

ある．いくつも並んでいるステンドグラスの中で最も有名なものが画家のアルフォン
ス・ムハの作品である．その他の有名なスポットとして、聖ヴァーツラフ礼拝堂や聖
ヤン・ネポムツキーの墓碑が挙げられる．

- ・ 15:00 旧王宮を見学．
- ・ 15:30 聖イジー教会を見学．
- ・ 15:40 黄金の小路を見学．元々城のまし使いや見張りが居住していた所であり、現在
は博物館やお土産屋となっている．その中にはプラは生まれのユダヤ人作家フランツ・
カフカの仕事場もある．
- ・ 16:00 プラハ城の見学が終わり、国立科学博物館に面したヴァーツラフ広場周辺で買い
物をする．
- ・ 東西冷戦下、48 年に渡った共産主義政権「人間の顔をした社会主義」（＝「プラハの
春」）に対し抗議をしていたヤン・パラフ氏が焼身自殺をしたのが、ヴァーツラフ広場
である．
- ・ 17:00 通訳の岡村さんと別れ、トラムでホテルまで戻る．

平成 29 年 10 月 11 日（水）移動（プラハ→グルノーブル）

- ・ 7:30 朝食・チェックアウトを済ませ、ホテルロビーに集合．タクシーで空港へ向か
う．
- ・ 「プラハ空港 10:40 発→ジュネーブ空港 12:10 着」予定だったが、飛行機が 2 時間程
度遅れる．
- ・ ジュネーブ空港 14:10 着．
- ・ ジュネーブ空港駅 14:32 発→ジュネーブ駅 14:39 着．
- ・ ジュネーブ駅 15:00 発（手荷物検査有り）→グルノーブル駅 17:04 着．
- ・ タクシーでホテルへ向かう．
- ・ 17:30 ホテル着．

平成 29 年 10 月 12 日（木）RTM 本部、IRSTEA（フランス）

- ・ 8:30 朝食を済ませ、ホテルロビーで通訳の松原さんと合流．
- ・ 9:00 徒歩で RTM に到着．RTM の入っている建物は「HOTEL DES
ADMINISTRATIONS」と書かれており、最初は通り過ぎてしまい、迷っていたが、偶
然、IRSTEA の Guillaume Piton 氏と遭ったため、無事に辿りつくことができた．
- ・ 9:30 RTM の Simon Carlados 氏から紹介していただいた（詳細は 7.2.1 に示す）．
- ・ 11:00 西本教授から日本の砂防を紹介した（詳細は 7.2.2 に示す）．
- ・ 12:40 プレゼンを一時中断し、昼食に向かう．
- ・ 14:00 西本教授のプレゼン再会（詳細は 7.2.2 に示す）．
- ・ 14:30 RTM と日本で意見交換を実施（詳細は 7.2.3 に示す）
- ・ 15:00 資料収集のため、トラムを用いて、IRSTEA まで Guillaume 氏に案内していた
だく．
- ・ 15:30 IRTSEA 到着．資料は西本教授とのメールのやり取りから、必要となるものを

あらかじめ Guillaume 氏が出しておいてくださっていた。

- ・ 資料の中には西本教授が監修し、日本で出版されたデモンゼーの著書の原本もあり、目的の資料を收拾することができた。その他、モレール溪やサンジュリアン溪などの隧道工事中の写真が多く含まれた資料もあった。また、Guillaume 氏から自身の学位論文もいただいた。内容は砂防ダムによる堆積物の移動現象に関するものである。
- ・ 16:40 IRSTEA を出る。
- ・ 17:20 トラムでホテルまで戻り、荷物を置いて、丘の上にあるバスティーユ城塞に向かう。
- ・ 17:40 バスティーユ城塞へはゴンドラに乗って向かった（往復券 8.20 ユーロ）。
- ・ 17:50 ゴンドラを下りると、すぐ近くに展望台があり、グルノーブルにゆかりのある人や地形地質に関する説明版があった。
- ・ バスティーユ城塞跡地は現在、アスレチック施設として利用されている。
- ・ バスティーユ城塞には展望レストランがあり、その上も展望台となっている。展望台には地質に関する説明版の他にも、アルペールビル五輪に関する説明版もあり、グルノーブルの観光施設としての役割が大きい。この展望台からはグルノーブル市街地を見渡せる他に、アルプス方面を眺めるとアルプス山脈最高峰のモンブラン山を確認することができる。

平成 29 年 10 月 13 日（金）モレール溪、サン・ジュリアン溪（フランス）

- ・ 9:30 ホテルロビー集合。Guillaume 氏、運転手と合流し、モレール溪へ出発。車中では Guillaume 氏にフランスの土砂管理について、話していただいた。
- ・ フランスは大きく分けて、2 種類の地形に区別され、北アルプス（H28 調査で踏査したマニバル溪等）は氷河によって形成された U 次谷が刻まれており、土砂移動が生じたとしても、土砂は谷の途中で堆積する。
- ・ 一方、南アルプスは流水によって形成された V 字谷が刻まれており、土砂移動が生じると、下流まで流下する傾向にある。
- ・ 南アルプス地方の河川は昔、川幅が広く、土地開発のために土堤を築き、河川の流路をコントロールしようとしたが、上流からの土砂供給が多く、河床が上昇した。河床の上昇に伴い土堤を築くことを繰り返すことで、周囲の地盤よりも高い位置を河川が流れるようになった河川（天井川）がある。
- ・ 10:20 モレール溪の散策路入口に到着。
- ・ モレール溪の散策路は隧道吐口を眺めることができる展望台まで左右岸に渡って整備され、片道約 1.3km であった。道中では、溪流保全工や床固工、砂防堰堤に関して Guillaume 氏と意見を交わした。
- ・ 日本では護岸工及び床固工の袖勾配は一律 1:0.5 であるが、モレール溪の床固工は袖勾配がより緩い（例えば、1:1.0）ことを確認した。フランスでは袖勾配は場所によって異なり、基本的に元の溪岸勾配に合わせているとのことであった。
- ・ 流路が湾曲する地点では、床固工と流心のなす角度が 90° よりも大きかった。これは攻撃斜面側における護岸侵食を防ぐための措置であり、どのくらいの角度にするかは

シミュレーションを繰り返して検討しているという。

- ・ 護岸工や床固工は基本的に石積だが、下流に位置するものは、所々コンクリートが使用されている。このような箇所は工事後、補修したものである。
- ・ 流路の湾曲部等、侵食力が大きくなる可能性が高い場所では床固工は地山まで貫入されていた。
- ・ 床固工を作る際には、その場の岩石（主に石灰岩）を用いているが、水通し部は流水による侵食を受けやすいため、花崗岩を取り寄せて使っていた。
- ・ 11:10 折り返し地点に到着。
- ・ 右岸と左岸の散策路をつなぐ橋には多くの説明板が設置され、クイズ形式でモレール溪に関する学習ができるように工夫されていた。
- ・ フランスの砂防事業費は1年当たり700万ユーロ程度であり、Guillaume氏によると少ないということであった。
- ・ 11:20 隧道展望台に到着。
- ・ 展望台には隋道工事の様子や当時の設計図を示す看板が複数設置されていた。
- ・ 隧道からは水が滝のように流れ落ち、水衝部には岩盤から削れ落ちたと見られる岩片が堆積していた。
- ・ また、旧流路の方向には遠目であるが、堰堤を確認した。旧流路に沿いには大きな地すべり地があり、そこからの土砂生産が著しく、過去は堰堤を設置することで土砂流出を防ごうとしていたが、堰堤でまかなえる土砂量ではなかったため、隧道を整備し、地すべり地に影響しない場所に流路を変更している。
- ・ 11:50 展望台から溪流出口まで戻り始める。往路とは反対に左岸側の散策路を歩いたが、途中に多くの説明板を確認した。工事の様子や当時の設計図面、フランスの砂防学者等、学習できるよう整備されていた。
- ・ 12:25 右岸側の散策路入口付近には隧道や溪流保全工の工事が始まる前に発生した土石流災害を示した石碑が置かれていた。
- ・ 12:40 モレール溪散策路入口から車で5分ほどするパン屋で昼食を購入し、隧道呑口へと続く登山道の入口まで車で移動し、昼食をする。
- ・ 13:30 隧道呑口に到着。トンネル内は照明が一切無いため、各人ライトを用意し、トンネル内を視察した。トンネル内には50基の堰堤が整備されており、今回の調査では下流から41基目の堰堤まで歩いた。途中には隧道工事中に使用されていたと見られる坑道も確認した。
- ・ 14:20 隧道の視察を終え、登山道に戻っていた途中で、モレール溪左岸側の地すべりの様子を捉えることができた。
- ・ 16:00 サンジュリアン溪に到着。溪流の入り口には、護岸工が整備されており、河床には礫が堆積していた。Guillaume氏によると、サンジュリアン溪では平成29年7月に土石流が発生しており、その時に土砂が流下した痕跡が護岸工に見られるということであった。その痕跡は、河床から約4mほど高い位置に確認することができた。
- ・ 16:10 車を停めた地点から5分ほど歩き、透過型堰堤に到着した。スリット幅は5mあり、この堰堤の主目的は当該溪流最大級の大きさの礫が下流に到達しないようにす

ることであるとの説明を Guillaume 氏から受けた。なお、堰堤周辺に堆積している礫の大きさは、礫径 1.5m 程度であった。

- ・ 16:40 透過型堰堤を確認した後、溪流の下流へ移動し、流路工の様子を確認した。流路工はまっすぐ下流へ繋がっており、河床には礫が堆積していた。溪流保全工に沿った通りは「ミュージャン通り (AVENUE Paul MOUGIN)」と名づけられていた。
- ・ 現地視察を終え、ホテルまでの帰路の途中、高速道路のサービスエリアでフランスの地形図を購入した。
- ・ ホテルに到着後、19 時半にロビーに集合し、近くのレストランで夕食を済ませる。

平成 29 年 10 月 14 日 (土) ~15 (日)

移動 (グルノーブル→シャルルドゴール空港→羽田空港)

- ・ 10:30 ホテルロビー集合。 タクシーでグルノーブル駅に向かう。
- ・ グルノーブル駅 11:21 発→リヨン・パールデュー駅 12:44 着。
- ・ リヨン・パールデュー駅構内で昼食を済ませる。
- ・ リヨン・パールデュー駅 14:00 発→パリ・シャルルドゴール空港 16:02 着。
- ・ パリ・シャルルドゴール空港 20:05 発→成田空港 14:55 着
- ・ 解散。

